

Računalniški postopek izračunavanja zalog in virov mineralnih surovin

A computer based method for calculating the available mineral resources

GORAZD ŽIBRET¹, ROBERT ŠAJN²

¹Geological Survey of Slovenia, Dimičeva 14, SI - 1000 Ljubljana, Slovenia;
E-mail: gorazd.zibret@geo-zs.si

²Geological Survey of Slovenia, Dimičeva 14, SI - 1000 Ljubljana, Slovenia;
E-mail: robert.sajn@geo-zs.si

Received: September 23, 2004 **Accepted:** December 10, 2004

Izveček: Geološka dokumentacija, potrebna za pridobitev rudarske pravice, predvideva izračun zalog mineralnih surovin ter njihovo kategorizacijo. Klasični postopek vzporednih geoloških prereзов temelji na zapolnjevanju prostora rudnega telesa z množico paralelepipedov, piramid ter klinov in računanje prostornine vsakega posebej z znanimi enačbami. Izračun je dolgotrajen, poleg tega pa obstaja velika verjetnost napak. Predlagani računalniški postopek temelji na linearni interpolaciji točkovne mreže krovne in talne plasti ter trapezoidalnem pravilu za računanje volumna rudnega telesa, ki leži med dvema ploskvama. Geometrijsko gledano je slednji postopek enostavnejši, vendar je zaradi možnosti avtomatičnega računanja na zelo majhnih razdaljah hitrejši in boljši, poleg tega pa je možnost napak zelo zmanjšana. Kot dopolnilna metoda omogoča zelo hitro preverjanje točnosti klasičnih postopkov in hitro ter natančno oceno volumna teles.

Abstract: Before the beginning of exploitation of a mineral deposit it is compulsory to have the geological documentation with calculated available resources. The traditional procedure of conducting such calculation is with the method of parallel geologic profiles involves constructing in the space of an ore body regular geometric bodies, which are: pyramids, wedges and parallelepipeds. For all three bodies the exact mathematical equations for the calculation of their volumes are known. However, this procedure is not only quite long-lasting but there is also a high probability for making errors. The proposed computer method is based on linear interpolation between known points in space for the upper and lower limit of an ore bed and on the trapezoidal rule for the calculation of the volume of a body between two limiting planes. Geometrically, this procedure is simpler and also more accurate because the automatic computing algorithms allow to repeat calculations over very short distances. This reduces the possibility of errors and shortens the calculation time. The procedure is very useful as a supplemental method for quick verification of the accuracy of classical methods.

Ključne besede: mineralne surovine, računanje zalog, linearna interpolacija, trapezoidalno pravilo.

Key words: mineral resources, calculation of reserves, linear interpolation, trapezoidal rule.

UVOD

Za izkoriščanje mineralnih surovin na podlagi pridobljene rudarske pravice (13. člen ZRud, 1999) potrebujemo tudi dovoljenja za raziskovanje, izkoriščanje ali opustitev (48. člen ZRud, 1999) ali pa enotno dovoljenje (51. člen ZRud, 1999). Dokumentacija, potrebna za pridobitev teh dovoljenj (49. člen ZRud, 1999), vsebuje izračun zalog in virov (81. člen ZRud, 1999). Pri tem je s podzakonskim aktom (Ur. l. SFRJ, 53/79, v nadaljevanju "pravilnik") določena le gostota raziskovalnih del glede na vrsto mineralne surovine in tip nahajališča, ne pa tudi način izračuna slednjih. Pravilnik določa le največjo dovoljeno napako in uporabo ekstrapolacije. V interesu tako naročnika del, kot tudi izvajalca je, da je ves postopek opravljen čim hitreje, ceneje ter s čim manj napakami.

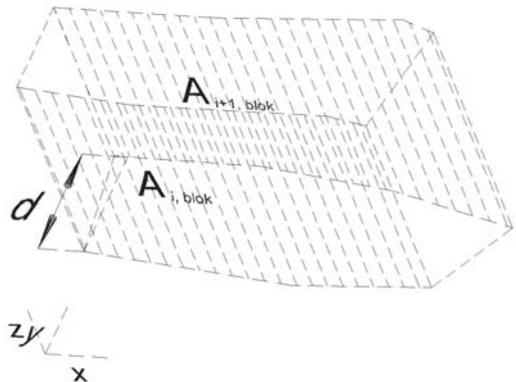
IZRAČUN ZALOG IN VIROV PO METODI VZPOREDNIH PREREZOV

V grobem klasične postopke izračuna zalog mineralnih surovin delimo na metode srednjih aritmetičnih vrednosti, blokov, geoloških prereзов in druge metode (JEREMIĆ, 1964). Opisana bo metoda vzporednih prereзов za hipotetično nahajališče mineralne surovine, pri katerem so vse zaloge kategorizirane v eno vrsto. Ta metoda izračuna zalog in virov je v Sloveniji najpogosteje uporabljena.

Način izračuna temelji na tem, da obliko rudnega telesa poizkušamo čim bolj sestaviti z uporabo pravilnih geometrijskih teles, za katere poznamo enačbe za izračun prostornin. To naredimo z množico vzporednih geoloških prereзов, ki jih izrišemo na podlagi geološkega kartiranja površine in rudarskih del, podatkov iz vrtin z geološko interpretacijo. Točnost rezultata je pogojena z geološko interpretacijo, natančnost pa z gostoto geoloških prereзов, njihovo orientacijo, in z gostoto podatkov.

Na vzporednih profilih (i) izrišemo segmente (šrafura na profilu na sliki 1) in izmerimo njihovo površino ($A_{i, \text{segment}}$). Pri tem izmerjene površine predstavljajo osnovno ploskev posameznega telesa, ki je lahko klin, piramida ali blok:

- če je površina segmentov na obeh sosednjih profilih večja od nič ($A_i > 0$, $A_{i+1} > 0$), uporabimo enačbo za izračun prostornine bloka:

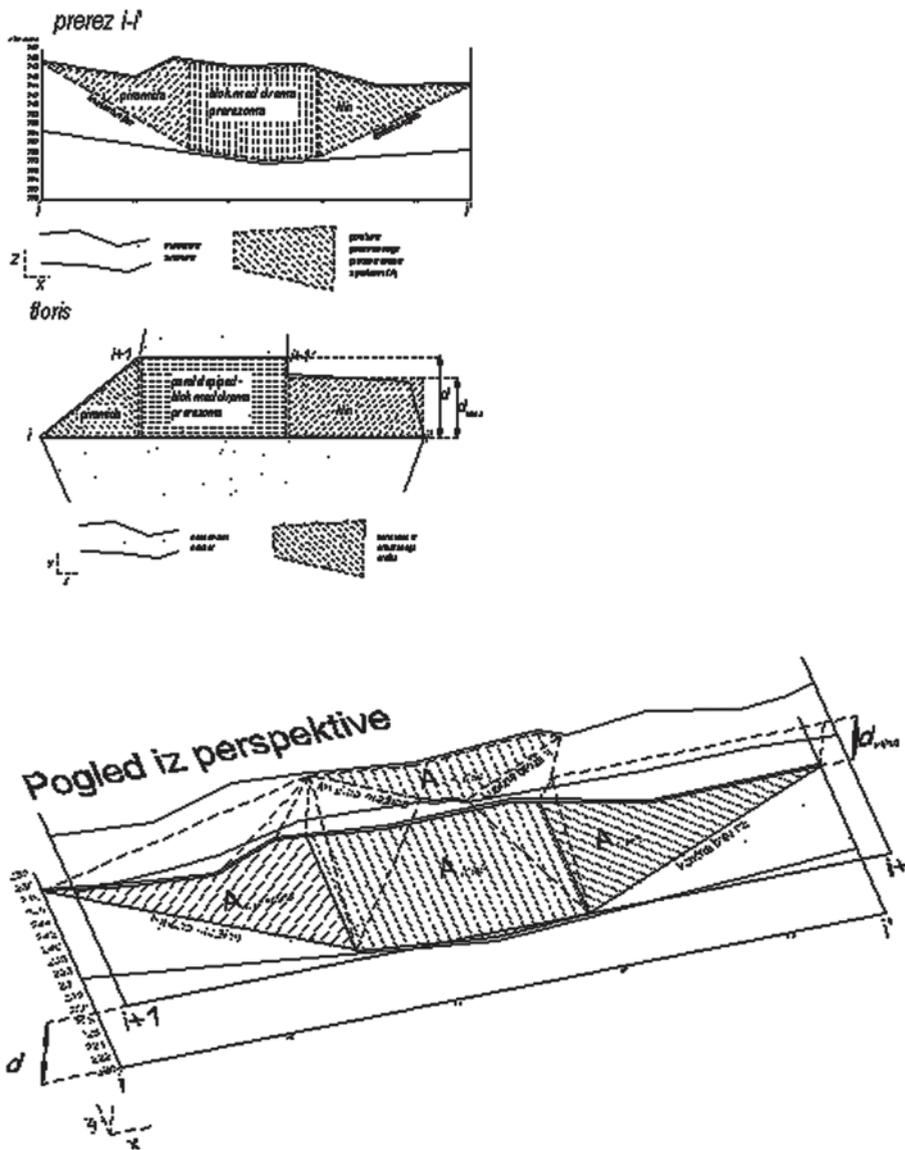


$$V_{\text{blok}} = \frac{d}{3} \cdot (A_i + A_{i+1} + \sqrt{A_i \cdot A_{i+1}}) \quad (1)$$

V = prostornina telesa

d = razdalja med dvema prerezoma

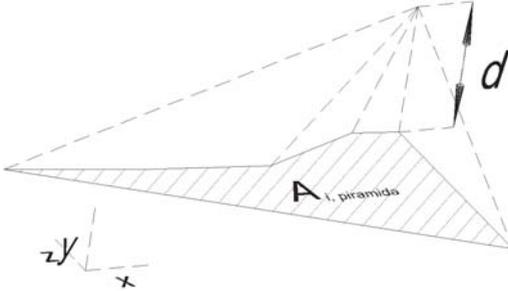
A = površina segmenta na prerezu



Slika 1. Plan hipotetičnega nahajališča mineralne surovine, primer geološkega prereza ter pogled iz perspektive.

Figure 1. Ground-plan of a hypothetic mineral deposit (upper left), an example of the geological section (upper right) and the same in perspective (lower drawing).

- če je površina segmenta na enem profilu večja od nič, na sosednjem pa enaka nič ($A_i > 0$, $A_{i+1} = 0$), uporabimo enačbo za piramido:



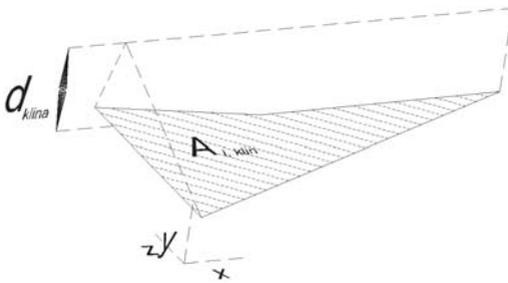
$$V_{piramide} = \frac{d \cdot A_i}{3} \quad (2)$$

V = prostornina telesa

d = razdalja med prerezoma

A = površina segmenta na prerezu

- če je površina segmenta na profilu večja od nič ($A_i > 0$), telo pa se sosednjega profila sploh ne dotika (meja pridobivalnega prostora, izklinjanje rudne plasti, prvi in zadnji profil...), uporabimo enačbo za izračun klina:



$$V_{klina} = \frac{d_{klina} \cdot A_i}{2} \quad (3)$$

V = prostornina telesa

d_{klina} = razdalja med prerezom in mejo

A = površina segmenta na prerezu

Ponazoritev definiranja segmentov je predstavljena na sliki 1. Prostornino mineralne surovine dobimo s seštevanjem prostornine vseh teles znotraj obravnavanega območja:

$$V = \sum_{i=1}^{i_{max}} V_{klin,i} + V_{piramida,i} + V_{blok,i} \quad (4)$$

IZRAČUN ZALOG IN VIROV PO PREDLOŽENI RAČUNALNIŠKI METODI

Z razvojem osebnih računalnikov so postala numerična matematična orodja široko dostopna, saj mikroprocesorji omogočajo izračun veliko matematičnih operacij v zelo kratkem času. Zato so dolgotrajni, zamudni ter nenatančni "ročni" postopki postali zamenljivi z uporabo matematičnih numeričnih orodij. Statistični izračuni, baze podatkov, računanje stabilnosti objektov so le nekateri zgledi izmed mnogih. Podobno je tudi z izračunom zaloga mineralnih surovin.

Obstaja večje število numeričnih metod za računanje prostornin: Simpsonovo pravilo, Simpsonovo 3/8 pravilo, trapezna metoda, Newtonova metoda neskončnih vrst, pravokotniško pravilo... (BRONŠTEJN, 1980). Trapezna metoda je najbolj uporabna predvsem zaradi hitrosti algoritmov in ker jo podpira veliko programov (Surfer ali Matlab). Metoda temelji na enakomernem razrezu rudnega telesa na množico prizm. V primeru približno vodoravnega plastovitega rudnega telesa je osnovna ploskev prizme kvadrat na tlorisu talnine, višina pa je razdalja od talnine do krovline. Algoritem sešteva prostornine prizm po celotnem obravnavanem območju, pri čemer sami nastavimo gostoto razrezov rudnega telesa (vrednosti Δx in Δy).

Izhodiščne podatke za izračun zapišemo v datoteko v obliki tabele prostorskih koordinat (x, y in z) za množico znanih točk. Ti podatki definirajo prostorsko obliko ploskve. Lahko pa dodamo tudi dodatne spremenljivke, ki pa morajo biti numerično ovrednotene (npr. delež rudnih mineralov, specifično težo, propustnost. itd.). Takšna tabela vsebuje:

- podatke iz vrtin;
- točke, ki jih dobimo z geološkim kartiranjem;
- dodatne točke, ki so potrebne zaradi geološke interpretacije rudišča (pojavljanje prelomov, izklinjanje plasti, nezveznosti ali nagubana zgradba ležišča) (slika 2);
- dodatne točke, ki so potrebne zaradi omejevanja območja zalog, ki jih ni mogoče izkoristiti (končne brežine, varovanje objektov ali ceste).

Pri tem je zelo pomembno:

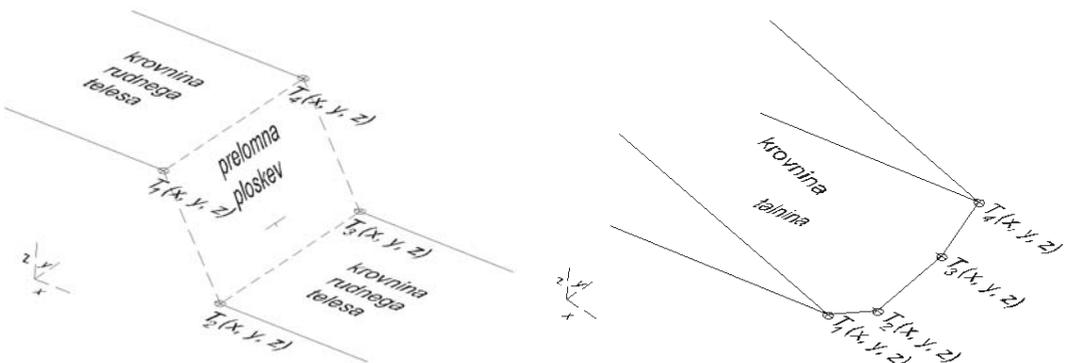
- da postavimo dodatne točke na vse ekstremne položaje (slika 2);
- da dodamo zadostno število točk, ki definirajo obliko rudnega telesa (slika 2);
- da so krovina in talnina definirane po celotnem območju pridobivalnega prostora. Če se plast izklinja, na njenih mejah definiramo točke, ki imajo enako prostorsko lego krovine in talnine. Poleg tega moramo biti pozorni, da so največje in najmanjše prostorske koordinate točk, ki definirajo rudonosno plast, vselej večje (manjše) od maksimalnih in minimalnih koordinat točk, ki definirajo obravnavano območje:

$$X_{\max., \text{plast}} \geq X_{\max., \text{prid. območje}}$$

$$X_{\min., \text{plast}} \leq X_{\min., \text{prid. območje}}$$

$$Y_{\max., \text{plast}} \geq Y_{\max., \text{prid. območje}}$$

$$Y_{\min., \text{plast}} \leq Y_{\min., \text{prid. območje}}$$



Slika 2. Shematski prikaz načina dodajanja točk k že znanim, kot so podatki iz vrtin. Primera prikazujeta dodajanje štirih točk, ki definirajo prelom (leva slika) ali izklinjanje plasti (desno).

Figure 2. Schematic presentation of adding new to the known points, such as data from drilling holes. The left example shows how to add four points to define a fault plane, and the right one, how to add points to define pinching out of a bed.

Naslednja stopnja predstavlja interpolacijo teh podatkov po celotnem obravnavanem območju. Najprimernejša je linearna interpolacija s triangulacijo, ker je tudi sama narava večine geoloških podatkov linearna

(plasti, prelomi...). Preostane le še izračun volumna telesa, ki ga omejujejo talnina, krovina ter pridobivalno območje s pomočjo matematičnih numeričnih metod.

Predstavljamo primer opisanega postopka s pomočjo uporabe računalniškega programa Surfer. Sam postopek poteka po naslednjem vrstnem redu. Z ukazom grid/data odpremo datoteko prostorskih koordinat x, y in z (najbolje v obliki Excelove datoteke *.xls). V pogovornem oknu je potrebno nastaviti način interpolacije (Gridding Method), meje interpoliranega območja (x_{\min} , x_{\max} , y_{\min} , y_{\max} - Grid Line Geometry) ter gostoto podatkov oz. natančnost izračuna (# of lines, Surfer User's Guide, 2002). Na takšen način kreiramo prostorsko mrežo podatkov (datoteki tipa *.grid) posebej za krovino in talnino. Pri postopku izračuna moramo biti pozorni na to, da so parametri v sklopu "Grid Line Geometry" identični za obe plasti (slika 3).

Za omejitev prostora potrebujemo poligonsko datoteko tipa *.bln. Ta datoteka

vsebuje niz x in y koordinat, ki definirajo mejo območja in podatek, ali prostornino računamo znotraj ali izven tega območja (Surfer User's Guide, 2002).

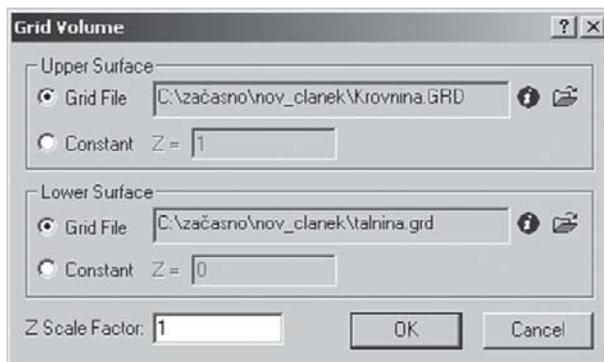
Naslednja stopnja je, da od obeh mrež (krovina.grid, talnina.grid) izločimo območje, ki je izven območja računanja zalog. To je lahko pridobivalni prostor, lahko pa tudi sama meja med vrstami mineralnih surovin (A, B, C₁, C₂), pri čemer moramo za vsako posamezno vrsto imeti posebno *.bln datoteko. Izrez izvršimo z ukazom grid/blank, pri tem pa Surfer ustvari novo *.grid datoteko.

Ko imamo definirani interpolirani prostorski mreži podatkov (datoteki tipa *.grid) za krovino in talnino, lahko z ukazom (grid/volume) izračunamo prostornino telesa (slika 4).



Slika 3. Surferjevo pogovorno okno za določanje parametrov mreže.

Figure 3. Surfer's communication window for defining grid parameters.



Slika 4. Surferjevo pogovorno okno za določanje zgornje in spodnje ravnine za računanje volumna med njima.

Figure 4. Surfer's communication window for defining the upper and lower planes for calculating the volume between them.

Volumes	
Z Scale Factor:	1
Total Volumes by:	
Trapezoidal Rule:	3446948.4251109
Simpson's Rule:	3446888.1357046
Simpson's 3/8 Rule:	3446895.0936754
Cut & Fill Volumes	
Positive Volume [Cut]:	3480521.6956129
Negative Volume [Fill]:	33574.51300206
Net Volume [Cut-Fill]:	3446947.1826109

Rezultat izračuna za hipotetično nahajališče je prikazan v zgornjem okvirčku. Prostornina, ki se nahaja med spodnjo in zgornjo plastjo, je prikazana kot "Positive volume". Prostor-nina teles, ki nastanejo tako, da talnina pride nad krovtnino, pa je prikazana kot "Negative volume". Ta vrednost mora biti čim manjša, oziroma enaka nič in služi za kontrolo. Zaloge mineralne surovine so torej prikazane pod "Positive volume".

PRIMERJAVA OBEH METOD

Obe metodi bodo primerjani glede na različne vidike:

Točnost:

Pri obeh metodah je točnost rezultata odvisna predvsem od kvalitete in količine vhodnih podatkov ter od števila storjenih napak. Pri metodi vzporednih prereзов je za pojavljanje slednjih veliko možnosti, saj se napake lahko pojavijo že pri samem risanju profilov. Postopek nadalje zahteva množico različnih operacij (merjenje površin na profilih in razdalj na karti, prenašanje podatkov, računanje prostornin in razvrščanje). Pri vsakem od teh je možnost napak velika, ker ponavadi operiramo z veliko količino števil in tremi različnimi enačbami.

Bistvena prednost računalniške metode je, da nismo omejeni le s tremi geometrijskimi telesi (klin, piramida, blok). Računalniški algoritem resda uporablja le eno telo, to je prizma, vendar nam velika gostota razrezov

v smereh x in y omogoča doseganje dosti boljših rezultatov. Ne zanikamo pojavljanja napak, vendar je zaradi računalniške vizualizacije (npr. 3D grafi, žični modeli - wireframe, površine - surface) možna stalna kontrola podatkov. Pri končnem rezultatu pa imamo še zadnjo kontrolo točnosti, saj računalnik izračuna skupno prostornino teles, ki nastanejo takrat, kadar talnina sega nad krovino (napaka v podatkih). Ta vrednost mora biti vedno enaka 0.

Pri obeh metodah pa se ne moremo izogniti napakam po analogiji (JEREMIĆ, 1964). Te nastanejo zato, ker potek geološke meje med dvema znanima točkama, npr. vrtnama, predpostavimo. Takšne napake bi lahko v nekaterih primerih odpravili le z izbiro takšne raziskovalne metode, ki omogoča globinski pogled v strukturo ležišča (npr. geofizikalne metode.).

Če primerjamo količino zalog, izračunanih po obeh metodah, lahko vidimo, da razlike ne presegajo 5 %. V glinokopu Hadreška Šuma, ki meri približno 23 ha, znaša razlika med obema metodama izračunanih zalog 3,4% (ROKAVEC, 2003), v kamnolomu Podsmreka (ROKAVEC & BOLE, 2003), katerega površina znaša 12 ha znaša 3,9 %, v kamnolomu Brezovica pa 1,6 % (elaborat je v fazi izdelave). Vsi kamnolomi imajo količino zalog v istem velikostnem razredu, in sicer nekaj milijonov m³.

Natančnost:

Pri metodi vzporednih prerezov je natančnost dobljenega rezultata odvisna od števila postavljenih vzporednih prerezov. Pri tem se količina števil, s katerimi operiramo pri računanju, veča dosti hitreje od števila

profilov. Poleg tega smo omejeni tudi z natančnostjo merjenja razdalj na kartah, ki se giblje okoli milimetra. Pri računalniški metodi natančnost rezultata omejuje le procesorska moč računalnika in je že sedaj praktično neomejena.

Pravilnik določa dovoljeno napako glede na vrsto zaloge mineralne surovine. Če predpostavimo eno samo geološko interpretacijo, potem je napaka pri klasičnih metodah odvisna le od točnosti in natančnosti izrisa. Rezultat, dobljen po tej metodi, pa je ponovljiv.

Pri računalniški metodi je ponovljivost rezultatov ob enakih podatkih in algoritmih v celoti zagotovljena. Problem je, da za preverjanje izračuna potrebujemo enake programe. To pa zmanjšuje možnost neodvisne zunanje recenzije, ki je podlaga za potrditev zalog in virov v nahajališču mineralne surovine.

Hitrost:

Bistvena razlika med obema metodama je v tem, da se izračun zalog mineralnih surovin po metodi vzporednih prerezov meri v dnevih, pri računalniški metodi pa v urah. Pri prvi metodi je najbolj zamudno opravilo risanje profilov ter merjenje površin in razdalj. Računalniški način pa zahteva največ časa za pripravo datotek prostorskih podatkov za definiranje krovine in talnine.

Cena:

Če odštejemo ceno delovnih ur, je klasična metoda vzporednih prerezov daleč cenejša. Pri računalniški metodi pa imamo na izbiro dve možnosti. Ali nabavo posebnih rutin za

Autocad (Platea, Quicksurf, Map), ki stanejo nekaj 1000 USD, ali pa nabavo specializiranih programov, ki operirajo s telesi (npr. Lynx), ki stanejo nekaj 10.000 USD. Tretja možnost pa je uporaba cenejših nespecializiranih programov (npr. kombinacije Surferja, TextPad-a in Autocad-a), ki stanejo nekaj 100 USD.

Uporabnost glede na različno geološko zgradbo nahajališča:

Težava pri izračunavanju zalog s programom Surfer je v tem, da moramo za vsako vrsto zalog rudno telo ali plast rude zaloge izračunavati posebej. Če je geološka zgradba zapletena in imamo veliko posameznih rudnih teles, rudnih plasti, ki so naložene ena nad drugo, ali večje število prelomov, postane postopek zelo nepregleden. Problem predstavlja tudi množica različnih datotek (za vsako rudno telo je potrebnih vsaj 5), s tem pa se veča tudi možnost napake. Obstaja še ena omejitev, ki je povsem matematične narave. Metoda je uporabna le za vodoravne, poševne in zelo strme ploskve, odpove pa pri navpičnih (npr. pri vertikalnih prelomih).

Po drugi strani je metoda vzporednih prereзов univerzalna in uporabna v vseh geoloških situacijah. Omejeni smo le z velikostjo papirja, na katerega rišemo profile.

ZAKLJUČEK

Računalniška metoda izračuna zalog in virov mineralnih surovin ima veliko prednosti. Prva je predvsem hitrost izračuna, na drugem mestu pa natančnost. Zaradi avtomatiziranih postopkov in možnosti vizualne kontrole

podatkov je tudi zmanjšana možnost napak. Tudi ponovljivost rezultata je zagotovljena.

Metoda vzporednih prereзов po drugi strani ne zahteva računalniške pismenosti. Poleg tega je bolj uporabna za izračun zalog v rudiščih z zapleteno geološko zgradbo, ki pa jih v Sloveniji v bližnji prihodnosti ne bomo več izkoriščali.

Računalnik se je tudi na tem področju izkazal kot zelo uporabno orodje. Pospeši računske postopke, pri tem pa ne dela napak trivialne narave. Zavedati pa se moramo, da je računalnik le v pomoč pri zamudnih izračunih. Za opisan postopek je potrebno imeti tudi nekaj računalniške spretnosti, saj uporabljamo nespecializirane programe, ki so bili prvotno namenjeni za druga opravila.

SUMMARY

A computer based method for calculating the available mineral resources

Calculation of the quantity of available mineral resources is vital for preparing documentation for their exploitation, which is directed by the Mining Law and by the book of rules for classification of mineral resources into classes and their evidence. It is in an investor's best interest that calculation of the quantity of available resources is carried out as fast and as accurate as possible.

The classical methods for calculating the volumes of an ore body include methods of middle arithmetical values, methods of blocks, methods of geological profiles and other methods. The method, which uses many parallel geological cross sections

through the exploitable geological beds is the most frequently used in Slovenia. This method is based on cutting up an exploitable bed with many parallel cross sections into different geometrical bodies for which exact mathematical equations for calculating the body volume are known. Those bodies are the parallelepiped, pyramid, and wedge. The figures above the equations 1, 2 and 3 represent those three bodies. The meaning of symbols in equations 1-3 is: "V" is a volume of a body, "d" means the distance between two geological cross sections and "A" means the surface of the body on the cross section, for which we calculate the volume. The final result is achieved, when we sum all the volumes together (equation 4).

The computer-based calculation is geometrically simpler, because we need only one geometrical body, which is a prism. The base plane of the prism is the rectangle on the lower limit of an ore bed and the upper base plane of a prism is the upper limit of an ore bed. The algorithm cut an ore body into a grid of vertical prisms. The volume of an individual prism is a product of the area of the base plane of a prism and the average height of a prism. The volume of an ore body is a total sum of the prism volumes. Fast computation allows us to repeat calculations over short distances, which makes the final result more accurate than the method of many geological cross sections (with an assumption that the input data are the same for both methods).

In the next part we will compare both methods from different aspects:

Accuracy: the accuracy is mainly affected by the quality of input data for calculation. By both methods the satisfactory accuracy

can be achieved in such a manner that the final result can be verified. This is the consequence that both methods allow us visual control over the whole process. If we compare the final results, achieved by both methods, we can see that the differences are less than 5 %.

Precision: in classical methods precision is limited by the precision of the human body, which is around one millimeter. The precision of computer algorithms is limited mainly by the speed of a computer. Nowadays, a computer can be several levels more precise than a human hand.

The possibility of revision: classical procedures of calculating the volumes of mineral resources can be revised by almost all experts working in this area. Computer based methods use different programs, which makes external revision of the final result difficult.

Speed: the speed of calculating the volumes with the help of classical methods is measured in days. The duration of computer based calculation is measured in hours. In the first method the longest lasting step is drawing geological cross sections and in the second method the most time-consuming work is preparing data for final calculation.

Price: not calculating the costs for working hours the classical methods are the cheapest. For computer based calculations we can choose between three options: we use the specialized programs, which cost several tens of thousands of dollars, we use AutoCAD application with additional routines, which costs several thousands of dollars or we can use none specifically application (like com-

ination of Excel, Text Pad and Surfer) which costs altogether several hundreds of dollars.

Usefulness at different geological situations: the method of parallel geological cross-sections is universal and useful in all geological situations. The computer based calculation can be very complicated if there is a complicated geological situation with many ore bodies, complicated fault system or many discontinuities. There is also one important mathematical limitation. The mathematical algorithm can work with different inclinations of geological beds, but cannot work with vertical structures.

The computer based calculation of quantity of mineral resources in the exploitable geological bed works very well in non-complicated geological situations. Its main advan-

tages are speed, accuracy and precision, which can be achieved also with the help of visualization of data. Moreover, a computer does not make trivial errors, like mistakes at copying a series of numbers from one sheet of paper to another. The classical methods, however, can be very useful in complicated geological situations. Nevertheless, at both methods we have to include our own geological interpretation of structures beneath the surface, which can not be done by computers.

Zahvala

Avtorja se zahvaljujeta mag. Milanu Bidovcu za koristne pripombe k članku, mag. Duški Rokavec (oba iz Geološkega zavoda Slovenije) za pomoč, posredovane podatke ter koristne predloge. Še posebej se zahvaljujeva dr. Simonu Pircu za recenzijo.

LITERATURA

- BRONŠTEJN, I. (1980): *Matematični priročnik za inženirje in slušatelje tehniških visokih šol*; 6. ponat. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 699 str.
- JEREMIĆ, M. (1964): *Istraživanje ležišta mineralnih sirovina*; Tuzla: Rudarski fakultet Sarajevskog univerziteta, str. 434-444.
- Pravilnik o uvrščanju zalog trdnih mineralnih surovin v razrede in vrste in o njihovi evidenci. Beograd: Uradni list SFRJ, št. 53, let. 1979, 1621-1692 str.
- ROKAVEC, D. & BOLE, B. (2003): *Elaborat o klasifikaciji in kategorizaciji izračunanih zalog in virov tehničnega kamna- dolomita na območju kamnoloma Podsmreka s stanjem 31. 12. 2002*; Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 20 str.
- ROKAVEC, D. (2003): *Elaborat o klasifikaciji in kategorizaciji izračunanih zalog in virov opekarske gline na območju glinokopa Hardeška Šuma s stanjem 31. 12. 2002*; Ljubljana: Geološki zavod Slovenije, 24. str.
- Surfer User's Guide; Colorado: Golden Software Inc., 2002, 640 str.
- Zakon o rudarstvu (ZRud), Ljubljana: Uradni list Republike Slovenije, št. 56, let. 1999, str. 7071-7090.