

UDK: 681.5:622.271:330.1(045)=861

*Daniel Kržanović\*, Radmilo Rajković\*, Miomir Mikić\**

## **PRIMENA SOFTVERSKIH PAKETA ZA PROJEKTOVANJE U RUDARSTVU GEMCOM I WHITTLE U CILJU RACIONALNOG I EKONOMIČNOG ISKORIŠĆENJA LEŽIŠTA BAKRA VELIKI KRIVELJ KOD BORA, SRBIJA\*\***

### **Izvod**

*Ležište bakra Veliki Krivelj nalazi se na oko 3 km vazdušnom linijom, severno od grada Bora i pripada porfirskim ležištima velikih razmera. Ukupne geološke rezerve bakra, u konturi graničnog sadržaja 0,15 %, iznose 621.921.288 t. Po svom značaju, ovo ležište ima vodeću ulogu u proizvodnji bakra u kompaniji RTB Bor, s obzirom da mu pripada 75% ukupne proizvodnje.*

*Svetske rudarske kompanije kod procene finansijske održivosti i definisanja optimalne strategije za razvoj rudnika u cilju racionalnog i ekonomičnog iskorišćenja ležišta mineralnih sirovina, koriste neke od softvera za optimizaciju i projektovanje, a među vodećim su Whittle i Gemcom, koje poseduje i Institut za rudarstvo i metalurgiju u Boru.*

*U radu je prikazan način definisanja optimalne konture ležišta bakra Veliki Krivelj primenom softvera Whittle i Gemcom, čime se postiže optimalno iskorišćenje ležišta, što je nužan preduslov odgovornog upravljanja mineralnim sirovinama.*

***Ključne reči:** Gemcom, Whittle, ležište bakra Veliki Krivelj, racionalno, optimalno, ekonomično iskorišćenje ležišta.*

### **UVOD**

Prirodna rudna bogatstva jedne zemlje predstavljaju osnovu njenog ekonomskog i društvenog prosperiteta. Po ekonomskoj vrednosti rudnih bogatstava kojim raspolaže, Srbija ne pripada bogatim zemljama. Zato postoji obaveza da se rudarska delatnost obavlja po principima racionalnog upravljanja mineralnim resursima.

Ležište bakra Veliki Krivelj nalazi se na oko 3 km vazdušnom linijom, severno od grada Bora i pripada porfirskim ležištima velikih razmera. Ukupne geološke rezerve bakra, u konturi graničnog sadržaja 0,15 %, iznose 621.921.288 t. Značaj ovog ležišta za kompaniju RTB Bor ogleda se u tome što mu pripada 75%

---

\* Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor

\*\* Rad je proizašao iz projekta broj 33038 „Usavršavanje tehnologija eksploatacije i prerade rude bakra sa monitoringom životne i radne sredine u RTB Bor Grupa“, koji je finansiran sredstvima Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije

ukupne proizvodnje bakra, u koju su uključeni i jama Bor i Rudnik bakra Majdanpek. Pored ovih ležišta, od izuzetnog značaja je i kompleks ležišta Cerovo, na kome su u ovoj godini nastavljeni radovi na eksploataciji rude bakra, koja je prekinuta 2003. godine.

S obzirom da ležište bakra Veliki Krivelj pripada ležištima sa niskim sadržajem metala u rudi koji u ukupnim geološkim rezervama iznosi 0,318 %, to je primena savremenog softverskog alata za strateško planiranje i optimizaciju ležišta Whittle i softvera za konstrukciju površinskih kopova Gemcom od izuzetnog značaja za racionalno iskorišćenje ležišta i postizanje maksimalnog profita u eksploataciji.

#### RUDNE REZERVE LEŽIŠTA

Proračun rudnih rezervi u ležištu bakra Veliki Krivelj, urađen je primenom računarskog softvera Gemcom, pri čemu je primenjena metoda mini blokova, koja je potvrđena u fazi eksploatacije ležišta poslednjih deset godina (od 2000. godine).

U slučaju ležišta bakra Veliki Krivelj i sličnih ležišta, sa velikim brojem podataka koji se koriste za proračun rezervi, neosporna je prednost proračuna rezervi korišćenjem računarske tehnike, u odnosu na proračun drugim („manuelnim“) metodama:

- Zbog veličine ležišta, stanja budućeg površinskog kopa i kapaciteta proizvodnje (velike količine iskopina), jako su složena projektovanja i izmene projekata sa optimalnim radnim i završnim konturama površinskog kopa, a digitalni model, sa proračunatim rezervama po mini-blokovima, olakšava i ubrzava taj proces, jer je moguće u kratkom vremenskom periodu sagledati veliki broj varijanti i iznaći najbolja rešenja
- Rezultati koji su dobijeni projektovanjem i ekonomskim sagledavanjem, na bazi formiranog blok-modela ležišta i proračuna rezervi ovom metodom, na ležištima bakra porfirskog tipa, zadovoljavajućeg su kvaliteta, odnosno u svetu su prihvaćeni kao zadovoljavajući
- Potencijalni koncesionari zahtevaju da ležište bude prikazano u digitalnom obliku.

U tabelama koje slede dat je pregled rezervi ležišta bakra Veliki Krivelj sa srednjim sadržajem i količinama korisnih komponenti, za ukupne geološke rezerve (tabela 1), bilansne rezerve (tabela 2) i vanbilansne rezerve (tabela 3), u konturi graničnog sadržaja 0,15% Cu.

**Tabela 1.** Geološke rezerve ležišta bakra Veliki Krivelj, u konturi graničnog sadržaja 0,15% Cu

Kategorija	Količina rude (t)	Srednji sadržaj Cu (%)	Količina Cu (t)	Srednji sadržaj Au (g/t)	Količina Au (kg)	Srednji sadržaj Ag (g/t)	Količina Ag (kg)
B	430 049 240	0,344	1 477 700	0,062	26 469	0,264	113 544
C1	191 872 047	0,261	500 814	0,043	8 250	0,198	37 972
B+C1	621 921 288	0,318	1 978 514	0,056	34 719	0,244	151 516

**Tabela 2.** Bilansne rezerve ležišta bakra Veliki Krivelj, u konturi graničnog sadržaja 0,15% Cu

Kategorija	Količina rude (t)	Srednji sadržaj Cu (%)	Količina Cu (t)	Srednji sadržaj Au (g/t)	Količina Au (kg)	Srednji sadržaj Ag (g/t)	Količina Ag (kg)
B	364 663 299	0,347	1 266 014	0,061	22 073	0,266	97 090
C1	109 627 786	0,244	267 807	0,039	4 270	0,188	20 631
B+C1	474 291 085	0,323	1 533 821	0,056	26 343	0,248	117 721

**Tabela 3.** Vanbilansne rezerve ležišta bakra Veliki Krivelj, u konturi graničnog sadržaja 0,15% Cu

Kategorija	Količina rude (t)	Srednji sadržaj Cu (%)	Količina Cu (t)	Srednji sadržaj Au (g/t)	Količina Au (kg)	Srednji sadržaj Ag (g/t)	Količina Ag (kg)
B	65 385 941	0,324	211 685	0,067	4 397	0,252	16 454
C1	82 244 2616	0,283	233 008	0,048	3 980	0,211	17 340
B+C1	147 630 202	0,301	444 693	0,057	8 376	0,229	33 794

### PRIMENA SOFTVERA WHITTLE I GEMCOM U PROJEKTOVANJU EKSPLOATACIJE RUDE BAKRA U LEŽIŠTU VELIKI KRIVELJ

Primena softvera za projektovanje u rudarstvu predstavlja danas standard u Svetu, pre svega što omogućavaju brzo i sa velikom tačnošću sagledavanje najpovoljnijih varijanti eksploatacije mineralnih sirovina, sa aspekta njihovog racionalnog iskorišćenja iz ležišta uz postizanje maksimalnog profita.

Projektovanje eksploatacije rude bakra u ležištu Veliki Krivelj izvršeno je primenom softvera Whittle i Gemcom, koji predstavljaju jedne od najsavremenijih softverskih alata za projektovanje u rudarstvu u Svetu.

Na osnovu blok modela ležišta i definisanih ulaznih tehno-ekonomskih parametara, u programu za ekonomsku optimizaciju Whittle 4.1.3, izvršena je optimizacija ležišta i definisan fazni razvoj površinskog kopa u granicama optimalnih kontura.

Izbor završne – optimalne konture kopa izvršen je za baznu cenu bakra od 6.000 \$. U slučaju nestabilnosti na tržištu metala,

eksploatacija rude u projektovanoj konturi kopa biće rentabilno do granične cene bakra od 3.480 \$. Veća cena od planirane znači da će i ekonomski efekti poslovanja biti bolji od planiranih, tj. ostvariće se veći profit. Ekonomski efekti eksploatacije rude bakra obračunati su za granični sadržaj metala bakra u rudi GS = 0,15 %.

Primenom ovog graničnog sadržaja, obračunati su osnovni pokazatelji u dobijenim granicama kopova, prikazani u tabeli 4. U ovoj tabeli, pored fizičkih pokazatelja, odnosno ukupnih količina iskopina (rude i jalovine), za 91 varijantu granice kopa, prikazan je novčani tok (cashflow) i diskontovani novčani tok (discounted cashflow) za tri varijante analize – „best case“, „worst case“ i „specified case“ koje definišu način prostornog razvoja kopa.

Nakon izvršene analize dobijenih rezultata ekonomskih efekata eksploatacije rude bakra iz ležišta Veliki Krivelj (tabela 4), kao optimalan izabran je kop broj 45, sa 419.610.060 t rude.

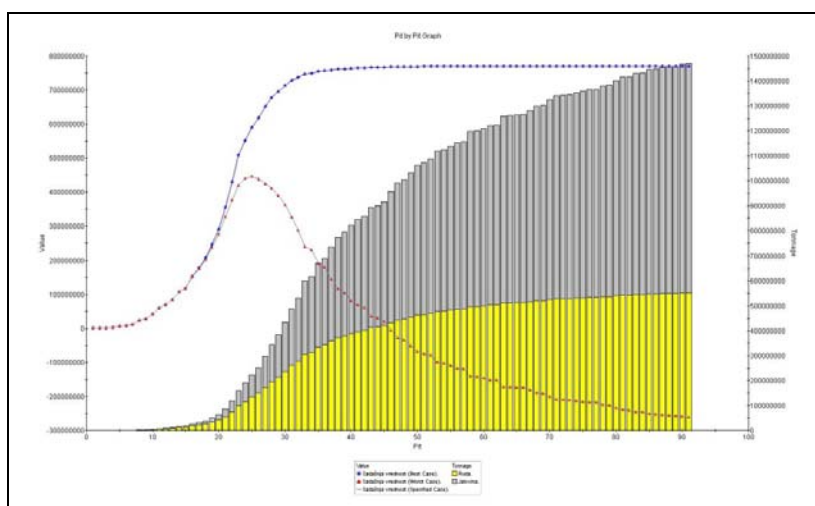
**Tabela 4.** Osnovni pokazatelji u granicama kopova za GS=0,15 % Cu

Kop	Iskopine (t)	Ruda (t)	Novčani tok (cashflow best) \$	Novčani tok (cashflow best) \$ disc	Novčani tok (cashflow worst) \$	Novčani tok (cashflow worst) \$ disc
1	29 910	29 582	490 904	490 775	490 904	490 775
2	67 356	66 886	985 521	984 934	985 521	984 934
3	109 928	107 534	1 574 076	1 572 569	1 574 076	1 572 569
4	274 424	262 930	3 555 604	3 547 286	3 555 604	3 547 286
5	426 857	412 355	5 404 891	5 385 075	5 404 891	5 385 075
6	627 023	595 630	7 664 789	7 624 231	7 664 789	7 624 231
7	1 027 505	958 359	11 535 955	11 437 897	11 535 955	11 437 897

8	2 313 114	2 155 619	23 690 594	23 240 047	23 690 594	23 240 047
9	2 958 650	2 658 544	28 972 205	28 294 175	28 972 205	28 294 175
10	4 949 120	4 417 189	45 293 800	43 546 271	45 293 800	43 546 271
11	7 321 384	6 406 354	63 131 626	59 629 910	63 131 626	59 629 910
12	9 029 763	7 659 288	74 251 463	69 354 597	74 251 463	69 354 597
13	11 730 621	9 616 086	91 164 693	83 681 043	91 164 693	83 681 043
14	15 892 438	12 663 158	119 468 873	108 223 901	119 565 161	108 238 394
15	17 920 191	13 965 699	131 360 892	118 470 820	131 573 394	118 405 792
16	25 174 088	18 682 288	173 142 266	152 502 056	173 771 762	151 201 869
17	31 021 328	22 420 726	205 879 646	177 908 043	206 674 729	175 328 925
18	38 638 100	27 175 624	244 901 278	208 010 726	245 910 715	203 318 340
19	49 547 011	33 642 790	297 951 548	245 842 303	299 193 226	236 949 549
20	63 259 170	42 112 004	366 459 724	291 451 918	369 619 910	277 436 583
21	85 797 798	55 079 842	470 297 062	355 201 325	477 385 285	329 346 507
22	118 287 028	74 005 879	616 811 197	430 937 206	631 640 208	377 940 954
23	159 667 669	98 825 552	800 747 296	509 580 857	818 614 350	421 267 096
24	189 577 442	115 793 415	924 303 475	552 775 158	943 171 862	439 794 899
25	222 256 514	133 016 248	1 046 937 309	590 091 947	1 067 017 556	446 734 583
26	252 430 580	148 999 425	1 157 996 594	618 463 228	1 179 550 911	438 729 903
27	296 922 791	171 856 092	1 311 651 507	652 103 359	1 334 496 612	424 878 477
28	342 589 322	194 922 116	1 459 213 954	678 129 140	1 481 827 291	412 851 160
29	382 823 379	213 458 494	1 580 555 317	695 730 321	1 605 079 229	390 864 550
30	432 551 682	236 472 055	1 726 701 205	713 479 157	1 752 878 929	364 320 532
31	486 933 216	260 089 622	1 877 698 519	727 737 746	1 905 426 130	326 902 636
32	530 507 671	276 968 140	1 985 459 151	736 251 653	2 014 068 545	289 352 065
33	599 048 234	305 235 290	2 158 811 899	746 641 246	2 188 192 897	241 181 739
34	617 598 990	313 607 458	2 205 291 711	749 120 696	2 234 697 022	230 810 522
35	671 991 222	334 363 117	2 328 033 827	754 458 155	2 357 900 315	191 169 250
36	690 450 640	342 456 306	2 371 069 072	756 129 120	2 400 973 132	181 133 588
37	735 659 231	358 212 735	2 459 548 052	759 095 762	2 489 928 400	144 752 173
38	773 786 426	371 650 802	2 531 684 666	761 369 135	2 562 406 007	117 321 434
39	793 434 978	378 825 077	2 567 951 741	762 357 707	2 598 749 124	104 617 047
40	824 250 908	388 914 953	2 620 333 608	763 764 548	2 651 440 275	81 296 094
41	843 083 911	395 633 986	2 650 924 905	764 518 435	2 682 129 055	68 733 300
42	857 665 379	400 987 294	2 674 351 990	765 047 823	2 705 603 015	61 636 371
43	894 466 018	412 275 607	2 725 847 668	766 156 415	2 757 398 355	35 836 121
44	901 522 365	414 652 982	2 735 662 866	766 355 940	2 767 236 913	31 133 205
45	916 413 694	419 610 060	2 754 619 445	766 713 771	2 786 297 656	21 015 616
46	957 712 821	431 985 896	2 805 266 684	767 581 472	2 837 221 492	- 5 201 934
47	991 112 469	441 908 484	2 841 504 231	768 157 072	2 873 689 960	- 26 343 365
48	1 005 354 875	446 292 295	2 856 783 235	768 391 144	2 889 045 502	- 34 341 121
49	1 031 434 676	453 593 026	2 881 860 067	768 731 804	2 914 240 747	- 49 594 157
50	1 060 999 692	461 880 115	2 910 051 367	769 082 881	2 942 575 361	- 67 047 681
51	1 073 260 491	465 294 430	2 920 480 753	769 214 137	2 953 054 680	- 74 022 242
52	1 085 921 499	469 315 733	2 931 692 956	769 344 756	2 964 271 053	- 79 099 597
53	1 118 356 519	477 299 327	2 955 300 322	769 595 814	2 988 041 139	- 99 041 430
54	1 125 951 338	479 609 259	2 960 870 334	769 649 269	2 993 614 294	- 102 377 486
55	1 138 323 890	482 922 408	2 969 037 392	769 734 674	3 001 795 916	- 108 604 825
56	1 153 382 960	486 564 343	2 978 283 956	769 826 921	3 011 090 358	- 116 401 898
57	1 158 205 998	487 651 866	2 980 833 559	769 851 021	3 013 665 898	- 119 410 476
58	1 198 236 683	497 228 807	3 001 419 826	770 020 723	3 034 387 252	- 140 778 988
59	1 200 769 104	497 962 252	3 002 729 275	770 030 518	3 035 696 736	- 141 527 219
60	1 208 817 105	499 800 081	3 006 279 213	770 060 837	3 039 256 992	- 144 812 585
61	1 221 273 828	502 691 710	3 010 827 280	770 098 424	3 043 847 315	- 151 744 512
62	1 223 942 696	503 534 750	3 011 875 600	770 106 518	3 044 895 636	- 152 543 932
63	1 258 918 125	510 810 191	3 021 468 022	770 156 418	3 054 624 753	- 171 073 241
64	1 261 198 182	511 324 445	3 022 039 559	770 159 327	3 055 198 311	- 172 218 022
65	1 263 747 676	512 041 030	3 022 661 372	770 161 943	3 055 821 802	- 172 988 938
66	1 265 750 880	512 538 424	3 023 090 238	770 163 709	3 056 250 668	- 173 582 796
67	1 281 737 858	515 851 573	3 025 296 826	770 173 410	3 058 469 252	- 180 618 353
68	1 301 153 009	520 100 498	3 027 356 274	770 183 761	3 060 542 505	- 189 320 186
69	1 302 834 907	520 471 436	3 027 502 684	770 184 261	3 060 688 915	- 189 873 773

70	1 324 574 470	524 846 816	3 028 399 272	770 179 162	3 061 608 418	- 199 842 101
71	1 341 793 178	527 898 623	3 028 623 827	770 175 947	3 061 848 565	- 208 818 505
72	1 343 006 690	528 227 409	3 028 588 143	770 175 209	3 061 812 881	- 209 119 253
73	1 345 644 541	528 817 537	3 028 456 524	770 173 449	3 061 681 262	- 209 839 866
74	1 353 464 473	530 807 113	3 027 783 340	770 166 028	3 061 008 077	- 211 985 751
75	1 360 189 098	532 139 117	3 027 079 131	770 160 605	3 060 304 399	- 214 475 322
76	1 365 916 793	533 353 096	3 026 275 992	770 155 399	3 059 502 101	- 216 384 984
77	1 366 748 775	533 530 134	3 026 138 338	770 154 524	3 059 364 518	- 216 656 213
78	1 380 246 008	535 696 749	3 023 913 120	770 140 886	3 057 156 344	- 223 870 892
79	1 383 338 502	536 362 751	3 023 232 513	770 136 873	3 056 475 738	- 224 816 611
80	1 402 617 243	540 088 990	3 018 541 928	770 107 672	3 051 798 604	- 232 606 033
81	1 415 067 370	541 876 236	3 015 643 733	770 090 296	3 048 920 148	- 239 098 493
82	1 417 006 216	542 280 895	3 015 054 935	770 086 848	3 048 331 691	- 239 728 297
83	1 430 237 956	544 447 510	3 011 063 202	770 064 321	3 044 343 281	- 244 579 954
84	1 431 634 414	544 759 435	3 010 605 015	770 061 885	3 043 885 136	- 245 078 948
85	1 446 170 838	547 415 013	3 005 401 308	770 035 448	3 038 689 252	- 250 679 145
86	1 447 764 097	547 710 077	3 004 763 557	770 032 327	3 038 051 717	- 251 201 593
87	1 454 915 498	548 772 308	3 001 920 345	770 018 730	3 035 211 599	- 254 027 244
88	1 458 510 817	549 294 993	3 000 563 411	770 012 440	3 033 860 236	- 255 821 526
89	1 460 264 394	549 657 501	2 999 700 708	770 008 429	3 032 997 996	- 256 294 791
90	1 467 141 196	550 938 922	2 996 541 212	769 994 131	3 029 838 500	- 258 486 697
91	1 469 621 413	551 394 164	2 995 315 867	769 988 395	3 028 613 626	- 259 331 679

Određeni karakteristični pokazatelji iz tabele 4 prikazani su i grafički na slici 1.



Sl. 1. Grafički prikaz podataka za kopove

Vrlo važan pokazatelj racionalnog korišćenja mineralnih sirovina je iskorišćenje bilansnih rezervi ležišta. Na osnovu količina bilansnih rezervi rude i količina rude u optimalnoj konturi kopa (eksploatacione rezerve) dobija se stepen iskorišćenja bilansnih rezervi ležišta Veliki Krivelj i on iznosi:

$$I = R_e / R_b \cdot 100, \% \quad (1)$$

gde su:

$R_e$  – eksploatacione rezerve, (t)

$R_b$  – bilansne rezerve, (t).

$$I = 88,47\%$$

## ZAKLJUČAK

Ležište bakra Veliki Krivelj, koje se nalazi na oko 3 km vazдушnom linijom,

severno od grada Bora, ima primarnu ulogu u proizvodnji bakra u kompaniji RTB Bor, s obzirom da mu pripada 75% ukupne proizvodnje, u koju su sada uključeni i jama Bor, površinski kop Cerovo Cementacija 1 i Rudnik bakra Majdanpek u kome se eksploatacija rude odvija na površinskom kopu Severni revir, a od 2013. godine planiran je početak eksploatacije i na površinskom kopu Južni revir.

S obzirom da se radi o ležištu sa niskim sadržajem metala u rudi koji u ukupnim geološkim rezervama iznosi 0,318 %, to je primena savremenog softverskog alata za strateško planiranje i optimizaciju ležišta Whittle i softvera za konstrukciju površinskih kopova Gemcom od izuzetnog značaja za racionalno iskorišćenje ležišta i postizanje maksimalnog profita u eksploataciji.

Proračun rudnih rezervi u ležištu bakra Veliki Krivelj, urađen je primenom računarskog softvera Gemcom, pri čemu je primenjena metoda mini blokova, koja je potvrđena u fazi eksploatacije ležišta poslednjih deset godina (od 2000. godine).

U konturi graničnog sadržaja 0,15% Cu, ukupne geološke rezerve u ležištu iznose 621.921.288 t, a bilansne rezerve 474.291.085 t.

Izbor završne - optimalne konture kopa izvršen je za baznu cenu bakra od 6.000 \$, u softveru za ekonomsku optimizaciju ležišta Whittle.

Na osnovu ulaznih tehno - ekonomskih parametara u pomenutom softveru generisana je 91 granica kopa. Nakon izvršene analize dobijenih rezultata ekonomskih efekata eksploatacije rude bakra iz ležišta Veliki Krivelj, kao optimalan izabran je kop broj 45, sa 419.610.060 t rude.

Vrlo važan pokazatelj racionalnog korišćenja mineralnih sirovina je iskorišćenje bilansnih rezervi ležišta. Na osnovu količina bilansnih rezervi rude i količina rude u optimalnoj konturi kopa (eksploatacione rezerve) dobija se stepen iskorišćenja bilansnih rezervi ležišta Veliki Krivelj i on iznosi 88,47 %.

Na primeru ležišta Veliki Krivelj, dobijena vrednost iskorišćenja bilansnih rezervi, u potpunosti potvrđuje značaj korišćenja softvera za projektovanje u rudarskoj struci u cilju racionalnog i ekonomičnog iskorišćenja ležišta.

## LITERATURA

- [1] D. Kržanović, R. Rajković, M. Žikić, Primena softverskih paketa Whittle i Gemcom za proračun bilansnih rezervi rude bakra u ležištu Južni Revir Majdanpek, Časopis Rudarski radovi, br. 4, 2011, str. 81-92
- [2] D. Kržanović, M. Žikić, Z. Vadušković, Inovirani blok model ležišta rude bakra Južni revir Majdanpek kao osnova za analizu optimalnog razvoja površinskog kopa primenom softverskih paketa Whittle i Gemcom, Časopis Rudarski radovi, br. 3, 2011, str. 61-76
- [3] D. Kržanović, R. Rajković, V. Marinković, Geološke karakteristike, modeliranje i tehničko rešenje otkopavanja tehnogenog ležišta „Depo šljake 1“ u Boru, Časopis Rudarski radovi, br. 1, 2009, str. 7-16
- [4] R. Rajković, D. Kržanović, V. Marinković, Geološka interpretacija ležišta „DEO“ Donja Bela Reka programom Gemcom 6.1.3, Časopis Rudarski radovi, br. 1, 2009, str. 1-6
- [5] R. Rajković, V. Marinković, R. Lekovski, Digitalni 3D model terena, Časopis Rudarski radovi, br. 3, 2011, str. 25-40
- [6] Dopunski rudarski projekat otkopavanja i prerade rude bakra u ležištu „Veliki Krivelj“ za kapacitet  $10,6 \times 10^6$  tona vlažne rude godišnje, IRM Bor, septembar 2011.
- [7] Gemcom User Manuel, Gemcom Software International Inc. Sute 2200.1066 West Hastings, P.O. Box12507, Vancouver, BC.CanadaV6E 3X1
- [8] <http://www.gemcomsoftware.com/products/whittle>

UDK: 681.5:622.271:330.1(045)=20

*Daniel Kržanović\*, Radmilo Rajković\*, Miomir Mikić\**

**APPLICATION OF SOFTWARE PACKAGES GEMCOM AND WHITTLE FOR DESIGN IN MINING AIMED TO RATIONAL AND COST-EFFECTIVE UTILIZATION THE COPPER DEPOSIT VELIKI KRIVELJ NEAR BOR, SERBIA\*\***

**Abstract**

*The copper deposit Veliki Krivelj is located about 3 km by the air, north of the town of Bor and belongs to the porphyritic large-scale deposits. Total geological reserves of copper, in a contour of limit content 0.15% amount to 621 921 288 t. For its importance, this deposit has a leading role in the production of copper in the company RTB Bor, as it has 75% of total production.*

*The World mining companies in assessment the financial viability and defining the optimum strategy for development the mine and rational and economical utilization of mineral deposits, use some software for optimization and design, and among the leading ones are Whittle and Gemcom, which the Mining and Metallurgy Institute Bor also owns.*

*This work presents a method of defining the optimum contour of the copper deposit Veliki Krivelj using the software Whittle and Gemcom, which ensure the optimum utilization of deposit, which is a necessary prerequisite for responsible management of mineral resources.*

**Keywords:** *Gemcom, Whittle, copper deposit Veliki Krivelj, rational, optimum, economical utilization of deposit*

**INTRODUCTION**

Natural mineral resources of one country are the basis of its economic and social prosperity. According to the economic value of mineral resources at its disposal, Serbia does not belong to the rich countries. Therefore, there is an obligation to perform the mining activity by the principles of rational management of mineral resources.

The copper deposit Veliki Krivelj is located about 3 km by the air, north of the town of Bor and belongs to the porphyritic large-scale deposits. Total geological reserves of copper, in a contour of limit content 0.15% amount to 621 921 288 t.

The significance of this deposit for the company RTB Bor is reflected in the fact

---

\* *Mining and Metallurgy Institute Bor*

\*\* *The work is the result of the Project No. 33038 "Improvement the Technologies of Mining and Copper Ore Processing with Monitoring the Living and Working Environment in RTB Bor Group", funded by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia*

that it has 75% of total copper production, which also involves the underground mine Jama Bor and Copper Mine Majdanpek. In addition to these deposits, the complex of the deposit Cerovo is of exceptional importance, in which the operations are continued this on mining the copper ore, which was interrupted in 2003.

Since the copper deposit Veliki Krivelj belongs to the deposits with low metal content in the ore, which in total geological reserves amounts to 0.318%, the use of modern software tools Whittle for strategic planning and optimization of deposit and software Gemcom for design of the open pits is essential for rational utilization of deposit and obtaining maximum profits in mining.

#### ORE RESERVES OF DEPOSIT

Calculation of ore reserves in the copper deposit Veliki Krivelj was performed using the computer software Gemcom where the method of mini blocks was used, which was confirmed in the stage of deposit mining in the last ten years (since 2000).

In the case of the copper deposit Veliki Krivelj and similar deposits, with a large number of data used for the calculation of reserves, the advantage of calculation the budget reserves using the computer technology is indisputable, as compared to the

calculation using the other ("manually") methods:

- Due to the size of deposit, states of the future open pit and production capacity (large amounts of excavation), project designs and changes are very complex with optimum working and final contours of the open pit, and the digital model with calculated reserves by mini-blocks, facilitates and accelerates the process, since it is possible in a short period of time to see a large number of variants and find the best solutions,
- The obtained results in design and economic consideration, on the basis of formed block-model of deposit and calculation of reserves by this method, on the copper deposits of porphyritic type, have the satisfactory quality, or they are accepted as satisfactory in the world,
- Potential concessionaires require the deposit to be displayed in a digital form.

The following Tables give an overview of reserves of the copper deposit Veliki Krivelj with the medium content and amounts of useful components for total geological reserves (Table 1), balance reserves (Table 2) and off-balance reserve (Table 3), in a contour of limit content 0.15 % Cu.

**Table 1.** Geological reserves of the copper deposit Veliki Krivelj in a contour of limit content, 0.15% Cu

Category	Amount of ore (t)	Medium content Cu (%)	Amount Cu (t)	Medium content Au (g/t)	Amount Au (kg)	Medium content Ag (g/t)	Amount Ag (kg)
B	430 049 240	0.344	1 477 700	0.062	26 469	0.264	113 544
C1	191 872 047	0.261	500 814	0.043	8 250	0.198	37 972
B+C1	621 921 288	0.318	1 978 514	0.056	34 719	0.244	151 516



**Table 2.** Balance reserves of the copper deposit Veliki Krivelj in a contour of limit content, 0.15% Cu

Category	Amount of ore (t)	Medium content Cu (%)	Amount Cu (t)	Medium content Au (g/t)	Amount Au (kg)	Medium content Ag (g/t)	Amount Ag (kg)
B	364 663 299	0.347	1 266 014	0.061	22 073	0.266	97 090
C1	109 627 786	0.244	267 807	0.039	4 270	0.188	20 631
B+C1	474 291 085	0.323	1 533 821	0.056	26 343	0.248	117 721

**Table 3.** Off-balance reserves of the copper deposit Veliki Krivelj in a contour of limit content, 0.15% Cu

Category	Amount of ore (t)	Medium content Cu (%)	Amount Cu (t)	Medium content Au (g/t)	Amount Au (kg)	Medium content Ag (g/t)	Amount Ag (kg)
B	65 385 941	0.324	211 685	0.067	4 397	0.252	16 454
C1	82 244 2616	0.283	233 008	0.048	3 980	0.211	17 340
B+C1	147 630 202	0.301	444 693	0.057	8 376	0.229	33 794

#### APPLICATION OF SOFTWARE WHITTLE AND GEMCOM IN DESIGN THE COPPER ORE MINING IN THE DEPOSIT VELIKI KRIVELJ

Application of software for design of mining is nowadays a standard in the world, primarily by enabling fast and accurately understanding the most appropriate variants of mining the mineral resources from the aspect of their rational utilization from deposits with attaining maximum profits.

Design the copper ore mining in the deposit Veliki Krivelj was made using the software Whittle and Gemcom, which represents one of the most advanced software tools for design in mining industry in the world.

Based on the block model of deposit and defined input techno-economic parameters in the program Whittle 4.1.3 for economic optimization, the optimization of deposit was made and the stage development of open pit was defined within the limits of optimum contours.

Selection of the final - optimum contour of open pit was made for the base copper price of 6 000 \$. In the case of instability on

the metal market, the ore mining in designed contour of open pit will be profitable to the marginal copper price of 3 480 \$. Higher price than the planned one also means that the economic effects of business will be better than expected, i.e. a higher profit will be achieved. The economic effects of copper ore mining were calculated for the limit metal content of copper in the ore GS = 0.15%.

The basic indicators were calculated using this limit content in the obtained open pit limits, shown in Table 4. In this Table, in addition to the physical indicators, i.e. total amount of excavations (ore and waste), for the 91 variant of the open pit limit, the cash flow and discounted cash flow are present for three variants of analysis - the "best case", "worst case" and "specified case" that define the spatial development of the open pit.

After carried out analysis of the obtained results of economic effects the mining of copper ore from the deposit

Veliki Krivelj (Table 4), the open pit No. 45, with 419 610 060 t of ore, was selected as the optimum one.

**Table 4.** Basic indicators within the limits of open pits for  $GS=0.15\% Cu$

Open pit	Excavations (t)	Ore (t)	Cashflow best \$	Cashflow best \$ disc	Cashflow worst \$	Cashflow worst \$ disc
1	29 910	29 582	490 904	490 775	490 904	490 775
2	67 356	66 886	985 521	984 934	985 521	984 934
3	109 928	107 534	1 574 076	1 572 569	1 574 076	1 572 569
4	274 424	262 930	3 555 604	3 547 286	3 555 604	3 547 286
5	426 857	412 355	5 404 891	5 385 075	5 404 891	5 385 075
6	627 023	595 630	7 664 789	7 624 231	7 664 789	7 624 231
7	1 027 505	958 359	11 535 955	11 437 897	11 535 955	11 437 897
8	2 313 114	2 155 619	23 690 594	23 240 047	23 690 594	23 240 047
9	2 958 650	2 658 544	28 972 205	28 294 175	28 972 205	28 294 175
10	4 949 120	4 417 189	45 293 800	43 546 271	45 293 800	43 546 271
11	7 321 384	6 406 354	63 131 626	59 629 910	63 131 626	59 629 910
12	9 029 763	7 659 288	74 251 463	69 354 597	74 251 463	69 354 597
13	11 730 621	9 616 086	91 164 693	83 681 043	91 164 693	83 681 043
14	15 892 438	12 663 158	119 468 873	108 223 901	119 565 161	108 238 394
15	17 920 191	13 965 699	131 360 892	118 470 820	131 573 394	118 405 792
16	25 174 088	18 682 288	173 142 266	152 502 056	173 771 762	151 201 869
17	31 021 328	22 420 726	205 879 646	177 908 043	206 674 729	175 328 925
18	38 638 100	27 175 624	244 901 278	208 010 726	245 910 715	203 318 340
19	49 547 011	33 642 790	297 951 548	245 842 303	299 193 226	236 949 549
20	63 259 170	42 112 004	366 459 724	291 451 918	369 619 910	277 436 583
21	85 797 798	55 079 842	470 297 062	355 201 325	477 385 285	329 346 507
22	118 287 028	74 005 879	616 811 197	430 937 206	631 640 208	377 940 954
23	159 667 669	98 825 552	800 747 296	509 580 857	818 614 350	421 267 096
24	189 577 442	115 793 415	924 303 475	552 775 158	943 171 862	439 794 899
25	222 256 514	133 016 248	1 046 937 309	590 091 947	1 067 017 556	446 734 583
26	252 430 580	148 999 425	1 157 996 594	618 463 228	1 179 550 911	438 729 903
27	296 922 791	171 856 092	1 311 651 507	652 103 359	1 334 496 612	424 878 477
28	342 589 322	194 922 116	1 459 213 954	678 129 140	1 481 827 291	412 851 160
29	382 823 379	213 458 494	1 580 555 317	695 730 321	1 605 079 229	390 864 550
30	432 551 682	236 472 055	1 726 701 205	713 479 157	1 752 878 929	364 320 532
31	486 933 216	260 089 622	1 877 698 519	727 737 746	1 905 426 130	326 902 636
32	530 507 671	276 968 140	1 985 459 151	736 251 653	2 014 068 545	289 352 065
33	599 048 234	305 235 290	2 158 811 899	746 641 246	2 188 192 897	241 181 739

34	617 598 990	313 607 458	2 205 291 711	749 120 696	2 234 697 022	230 810 522
35	671 991 222	334 363 117	2 328 033 827	754 458 155	2 357 900 315	191 169 250
36	690 450 640	342 456 306	2 371 069 072	756 129 120	2 400 973 132	181 133 588
37	735 659 231	358 212 735	2 459 548 052	759 095 762	2 489 928 400	144 752 173
38	773 786 426	371 650 802	2 531 684 666	761 369 135	2 562 406 007	117 321 434
39	793 434 978	378 825 077	2 567 951 741	762 357 707	2 598 749 124	104 617 047
40	824 250 908	388 914 953	2 620 333 608	763 764 548	2 651 440 275	81 296 094
41	843 083 911	395 633 986	2 650 924 905	764 518 435	2 682 129 055	68 733 300
42	857 665 379	400 987 294	2 674 351 990	765 047 823	2 705 603 015	61 636 371
43	894 466 018	412 275 607	2 725 847 668	766 156 415	2 757 398 355	35 836 121
44	901 522 365	414 652 982	2 735 662 866	766 355 940	2 767 236 913	31 133 205
45	916 413 694	419 610 060	2 754 619 445	766 713 771	2 786 297 656	21 015 616
46	957 712 821	431 985 896	2 805 266 684	767 581 472	2 837 221 492	- 5 201 934
47	991 112 469	441 908 484	2 841 504 231	768 157 072	2 873 689 960	- 26 343 365
48	1 005 354 875	446 292 295	2 856 783 235	768 391 144	2 889 045 502	- 34 341 121
49	1 031 434 676	453 593 026	2 881 860 067	768 731 804	2 914 240 747	- 49 594 157
50	1 060 999 692	461 880 115	2 910 051 367	769 082 881	2 942 575 361	- 67 047 681
51	1 073 260 491	465 294 430	2 920 480 753	769 214 137	2 953 054 680	- 74 022 242
52	1 085 921 499	469 315 733	2 931 692 956	769 344 756	2 964 271 053	- 79 099 597
53	1 118 356 519	477 299 327	2 955 300 322	769 595 814	2 988 041 139	- 99 041 430
54	1 125 951 338	479 609 259	2 960 870 334	769 649 269	2 993 614 294	- 102 377 486
55	1 138 323 890	482 922 408	2 969 037 392	769 734 674	3 001 795 916	- 108 604 825
56	1 153 382 960	486 564 343	2 978 283 956	769 826 921	3 011 090 358	- 116 401 898
57	1 158 205 998	487 651 866	2 980 833 559	769 851 021	3 013 665 898	- 119 410 476
58	1 198 236 683	497 228 807	3 001 419 826	770 020 723	3 034 387 252	- 140 778 988
59	1 200 769 104	497 962 252	3 002 729 275	770 030 518	3 035 696 736	- 141 527 219
60	1 208 817 105	499 800 081	3 006 279 213	770 060 837	3 039 256 992	- 144 812 585
61	1 221 273 828	502 691 710	3 010 827 280	770 098 424	3 043 847 315	- 151 744 512
62	1 223 942 696	503 534 750	3 011 875 600	770 106 518	3 044 895 636	- 152 543 932
63	1 258 918 125	510 810 191	3 021 468 022	770 156 418	3 054 624 753	- 171 073 241
64	1 261 198 182	511 324 445	3 022 039 559	770 159 327	3 055 198 311	- 172 218 022
65	1 263 747 676	512 041 030	3 022 661 372	770 161 943	3 055 821 802	- 172 988 938
66	1 265 750 880	512 538 424	3 023 090 238	770 163 709	3 056 250 668	- 173 582 796
67	1 281 737 858	515 851 573	3 025 296 826	770 173 410	3 058 469 252	- 180 618 353
68	1 301 153 009	520 100 498	3 027 356 274	770 183 761	3 060 542 505	- 189 320 186
69	1 302 834 907	520 471 436	3 027 502 684	770 184 261	3 060 688 915	- 189 873 773
70	1 324 574 470	524 846 816	3 028 399 272	770 179 162	3 061 608 418	- 199 842 101
71	1 341 793 178	527 898 623	3 028 623 827	770 175 947	3 061 848 565	- 208 818 505

72	1 343 006 690	528 227 409	3 028 588 143	770 175 209	3 061 812 881	- 209 119 253
73	1 345 644 541	528 817 537	3 028 456 524	770 173 449	3 061 681 262	- 209 839 866
74	1 353 464 473	530 807 113	3 027 783 340	770 166 028	3 061 008 077	- 211 985 751
75	1 360 189 098	532 139 117	3 027 079 131	770 160 605	3 060 304 399	- 214 475 322
76	1 365 916 793	533 353 096	3 026 275 992	770 155 399	3 059 502 101	- 216 384 984
77	1 366 748 775	533 530 134	3 026 138 338	770 154 524	3 059 364 518	- 216 656 213
78	1 380 246 008	535 696 749	3 023 913 120	770 140 886	3 057 156 344	- 223 870 892
79	1 383 338 502	536 362 751	3 023 232 513	770 136 873	3 056 475 738	- 224 816 611
80	1 402 617 243	540 088 990	3 018 541 928	770 107 672	3 051 798 604	- 232 606 033
81	1 415 067 370	541 876 236	3 015 643 733	770 090 296	3 048 920 148	- 239 098 493
82	1 417 006 216	542 280 895	3 015 054 935	770 086 848	3 048 331 691	- 239 728 297
83	1 430 237 956	544 447 510	3 011 063 202	770 064 321	3 044 343 281	- 244 579 954
84	1 431 634 414	544 759 435	3 010 605 015	770 061 885	3 043 885 136	- 245 078 948
85	1 446 170 838	547 415 013	3 005 401 308	770 035 448	3 038 689 252	- 250 679 145
86	1 447 764 097	547 710 077	3 004 763 557	770 032 327	3 038 051 717	- 251 201 593
87	1 454 915 498	548 772 308	3 001 920 345	770 018 730	3 035 211 599	- 254 027 244
88	1 458 510 817	549 294 993	3 000 563 411	770 012 440	3 033 860 236	- 255 821 526
89	1 460 264 394	549 657 501	2 999 700 708	770 008 429	3 032 997 996	- 256 294 791
90	1 467 141 196	550 938 922	2 996 541 212	769 994 131	3 029 838 500	- 258 486 697
91	1 469 621 413	551 394 164	2 995 315 867	769 988 395	3 028 613 626	- 259 331 679

The certain characteristic indicators from Table 4 are shown graphically in Figure 1.

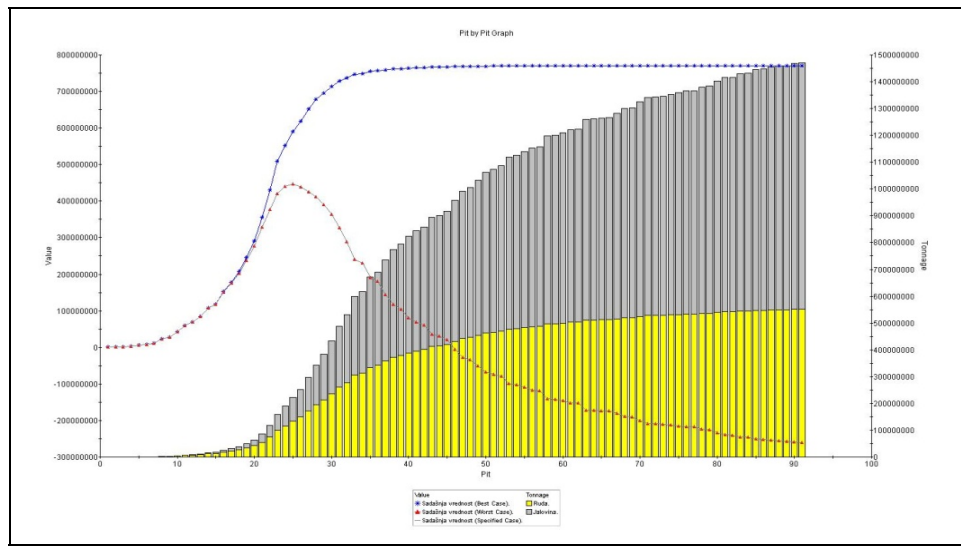


Fig. 1. Graphical view of data for open pits

An important indicator of rational use of the mineral resources is utilization of the balance reserves of deposit. Based on the amount of balance ore reserves and the amount of ore in the optimum contour of open pit (mineable reserves), the utilization degree of balance reserves of the open pit Veliki Krivelj is obtained and amounts:

$$I = R_e / R_b \cdot 100, \% \quad (1)$$

where:

$R_e$  – mineable reserves, (t)

$R_b$  – balance reserves, (t).

$$I = 88,47\%$$

## CONCLUSION

The copper deposit Veliki Krivelj, located about 3 miles by the air, north of the town of Bor, has a primary role in the production of copper in the company RTB Bor as it has 75% of total production, which now involves the underground mine Jama Bor, open pit Cerovo Cementacija 1 and Copper Mine Majdanpek, where ore mining takes place at the open pit North Mining District, and from 2013 the start of mining operations is planned in the South Mining District.

Since it is a deposit with low metal content in the ore, which in total geological reserves is 0.318%, the use of modern software tools Whittle for strategic planning and optimization of deposit and software Gemcom for design of open pits is essential for rational use of deposit and attaining the maximum profits in mining.

Calculation of ore reserves in the copper deposit Veliki Krivelj was made using the computer software Gemcom with the use of mini blocks method, confirmed during the operation stage of deposit mining in the last ten years (since 2000).

In a contour of limit content 0.15% Cu, total geological reserves in the deposit amount 621 921 288 t, and the balance reserves amount 474 291 085 t.

Selection of the final – optimum contour of the open pit was made for the basic copper price of 6 000 \$ using the software Whittle for economic optimization of the deposit.

Based on the input of techno - economic parameters in the given software, the 91 copper limit was generated. After carried out analysis of the obtained results of economic effects the copper ore mining from the deposit Veliki Krivelj, the open pit No. 45, with 419 610 060 t of ore, was selected as the optimum one.

An important indicator of rational use of the mineral resources is utilization of the balance reserves of deposit. Based on the amount of balance ore reserves and the amount of ore in the optimum contour of open pit (mineable reserves), the degree of utilization of the balance reserves of the deposit Veliki Krivelj is obtained and it is 88.47%.

In the example of the deposit Veliki Krivelj, the obtained value of utilization of the balance reserves, fully confirms the importance of using the software for design in the mining profession aimed to a rational and economical utilization of the deposit.

## REFERENCES

- [1] D. Kržanović, R. Rajković, M. Žikić, Application of Software Packages Whittle and Gemcom for Calculation of the Balance Reserves of Copper Ore in the Deposit South Mining District Majdanpek, Mining Engineering, No. 4, 2011, pp. 81-92;
- [2] D. Kržanović, M. Žikić, Z. Vadušković, Innovated Block Model of the Copper Ore Deposit South Mining District Majdanpek as the Basis for Analysis of the Optimum Development of Open Pit Using the Software Packages Whittle and Gemcom, Mining Engineering, No.3, 2011, pp. 61-76;

- [3] D. Kržanović, R. Rajković, V. Marinković, Geological Characteristics, Modeling and Technical Solution of Mining the technogene Deposit "Depo Slag 1" in Bor, Mining Engineering, No. 1, 2009, pp.7-16;
- [4] R. Rajković, D. Kržanović, V. Marinković, Geological Interpretation of the Deposit "DEO" Donja Bela Reka Using the Program Gemcom 6.1.3, Mining Engineering, No. 1, 2009, pp.1-6;
- [5] R. Rajković, V. Marinković, R. Lekovski, Digital 3D Model of Terrain, Mining Engineering, No. 3, 2011, pp.25-40;
- [6] Additional Mining Design of Mining and Processing the Copper Ore in the Deposit "Veliki Krivelj" for Capacity of  $10.6 \times 10^6$  t of Wet Ore Annually, MMI Bor, September 2011;
- [7] Gemcom User Manual, Gemcom Software International Inc. Suite 2200.1066 West Hastings, P.O. Box 12507, Vancouver, BC. Canada V6E 3X1;
- [8] <http://www.gemcomsoftware.com/products/whittle>