

第4章 鉱業活動の実情と課題

4.1 セ国の大鉱山 RTB Bor 社の鉱業活動

RTB Bor 本社は、首都ベオグラードの南東方向の陸路約 230km にある Bor 県に位置し、銅鉱山 Bor(RBB)、銅鉱山 Majdanpek(RBM)及び銅製錬所(TIR)の 3 つの鉱業コンビナートから成る。RBM は Majdanpek 市にあるが、それ以外は Bor 市にある。

100 年以上に及ぶ RTB Bor 社の採鉱操業は、最初に操業を始めた坑内鉱山の生産規模を拡大させながら、Bor、Majdanpek、Veliki Krivelj 及び Cerovo の各露天掘鉱山も開発して、1991 年には RTB Bor 社の年間最大出鉱量として 2,650 万 t を記録した。しかし、露天掘鉱山の内、Bor が 1993 年、Cerovo が 2002 年に出鉱を停止し、現在は Bor 坑内、Majdanpek と Veliki Krivelj 露天掘の 3 鉱山からのみ出鉱している。RTB Bor の過去 20 年間の出鉱量の推移を図 4.1 に示す。

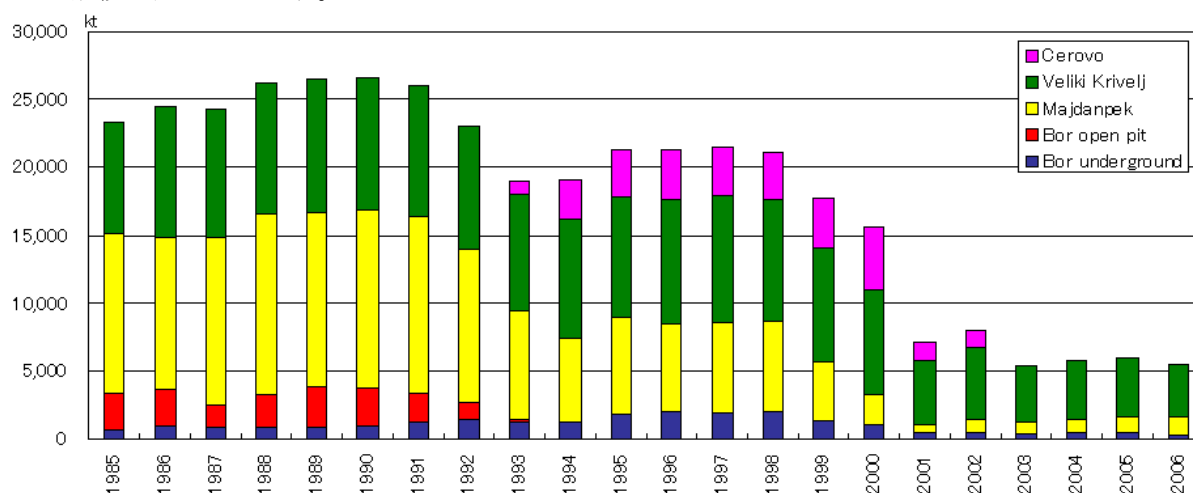


図 4.1 RTB Bor の過去 20 年間の出鉱量内訳(出典：RTB Bor)

図 3.18 と同じように、1993 年と 1999 年の生産の落込みが目立つ。また、昔は Majdanpek 鉱山が全生産量では最も大きな割合を占めていたが、1993 年以降は Veliki Krivelj 鉱山が首位を取って代わった。Majdanpek は 2001 年以降に生産の落込みが極めて深刻となり、それに伴い RTB Bor 全体の生産量の落込みも著しくなり、会社の経営が成り立たなくなった。国営鉱山 RTB Bor は、2005 年の再構築・民営化戦略に従い、民営化のための具体的なアクションを進めてきた。2006 年に民営化の入札が行われたが、ルーマニア国の Cuprom 社と政府の間で交渉が 2007 年 5 月に決裂し現在 2 回目の tender の落札者(オーストリア企業)との交渉が行われている。

RTB Bor の各鉱山は 365 日/年を 3 交代/日で連続操業されている。現在の Bor 市にある主要な鉱山施設の配置図を図 4.2 に示す。また、RBB の組織図を図 4.3 に示す。

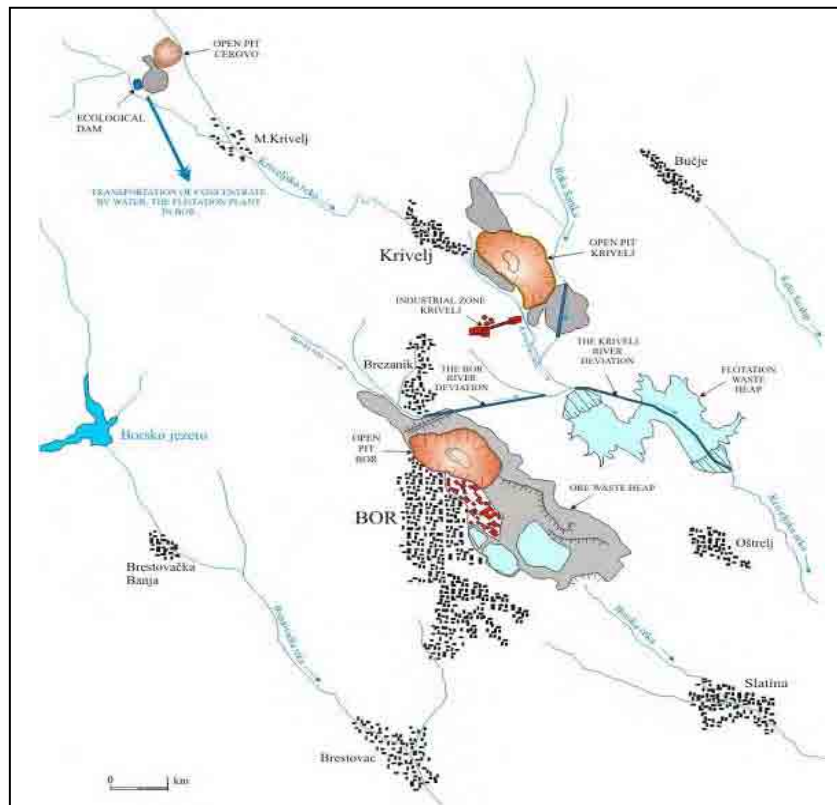


図 4.2 Bor 市の主要な鉱山施設配置図(出典：RTB Bor)

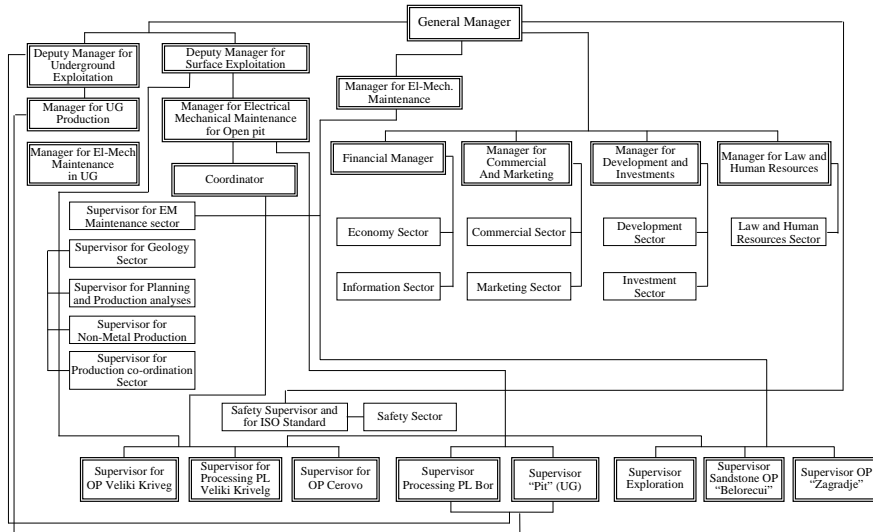


図 4.3 RBB の組織図(出典：RTB Bor)

4.1.1 Bor 坑内鉱山

RTB Bor 坑内鉱山の歴史は非常に古く、1897年に Tilva Ros 地域において私人資本で探鉱が最初に実施された時点まで遡る。1904年に Bor 坑内掘での採掘が開始された。1907年には年間6万tの銅鉱石を処理する製錬所が操業を開始した。開山当時の採掘対象は高品位鉱床だったので、粗鉱品位は非常に高品位(約9%)であり、選鉱をせずに精鉱として製錬

所に送られていた。選鉱場が 1933 年に建設され、1932 年から低品位鉱床の採掘が開始された。高品位鉱床の採掘は、その後も断続的に継続されたが、1991 年に終掘した。高品位帯の合計採掘量は 912 万 t で、平均品位は 6.2% であった。

Bor の露天掘による採掘が 1993 年に対象鉱体(Tilva Ros と P2A)が深部になったため採掘が中止され、これが現在の Bor 坑内鉱山の採掘対象の主力となっている。更に、この 2 つの鉱体から少し離れた Brezanik は 1980 年から開発が開始された。坑内の採掘量のピークは 1996 年で、約 193 万 t である。それから、3 年間は 190 万 t 近い大量出鉱を記録したが、1999 年以降減産となり、2001 年からは 47 万 t まで落ち込む。これは経済制裁で坑内機械の部品が調達できなくなったことに起因する。図 4.4 に 1985 年以降の Bor 坑内鉱山の出鉱実績を示す。1999 年と 2001 年の生産の落ち込みが目立つ。巻末に Bor 坑内鉱山の全採掘実績を添付する。

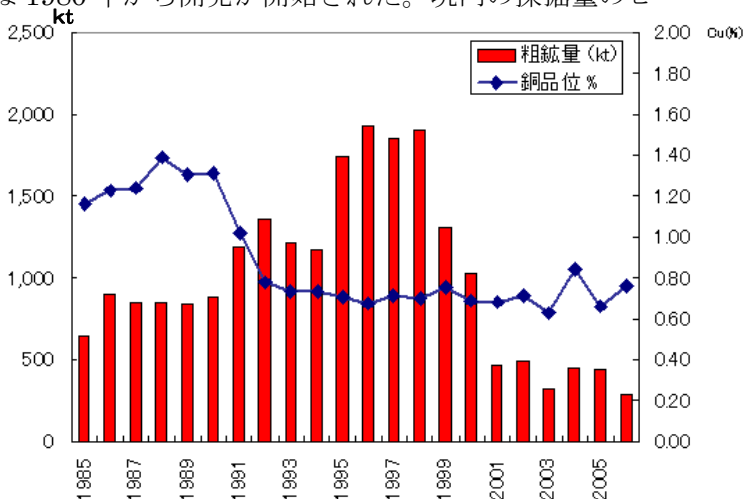


図 4.4 Bor 坑内鉱山の出鉱実績

図 4.5 に現在の坑内鉱山の坑内模式図を示す。

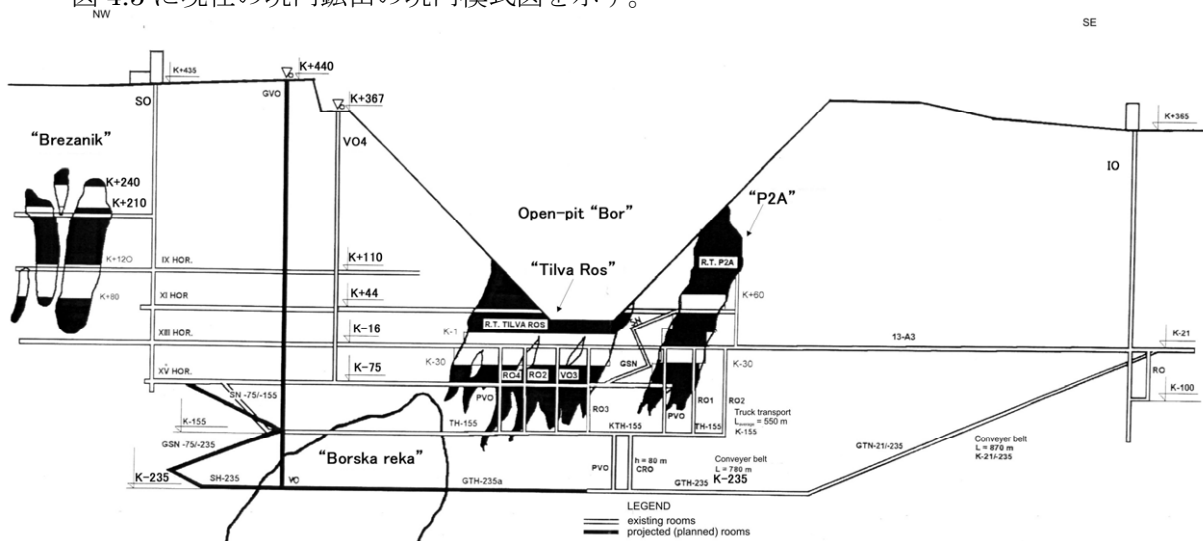


図 4.5 Bor 坑内鉱山の坑内模式図(出典 : RTB Bor)

直径 6.4m の主要立坑が K+440m 準～K-235m 準を貫通しており、その内 K+449m 準～K-76m 準間(525m)はケーベ式のケージ(120 人用)が運行されており、人員や機材の坑内への搬入に利用されている。更に、この主要立坑は坑内通気、圧縮空気、電気、飲料水などの重要なラインも確保している。

Bor 坑内採掘は 2003 年以来トラックレス方式で実施されており、軌条は廃止された。採鉱法は Tilva Ros と P2A ではサブレベルケービング法を Brezanik ではカットアンドフィル

法を適用している。切羽坑道加背は 4m(W)×3.5m(H)、主要運鉱ベルコン坑道は 5m(H)×3.5m(H)である。坑内で使用されている主な採鉱機械を表 4.1 に示す。

表 4.1 Bor 坑内鉱山の主要使用機械類(出典：RTB Bor)

機種	型	メーカー	台数	購入年	備考
Jumbos	MINIMATIK A 200M	TAMROK	1	1980	圧気式
	MINIMATIK H207M	TAMROK	2	1984	油圧式
		MONOMATIK	1	1983	
	SIMBA H153	Atlas Copco	3	1990	
LHD	ST6C (9t)	Wagner	4	1990	積込用
	ST2DR (3t)	Wagner	2	1990	サービス用
ローダ	CAVO320	Atlas Copco	2	1985	積込用
Tracks	MT-420 (11m ³)	Wagner	2	2003	運鉱用
	PK-6000	Normet	2	1983	

坑内に使用されている機械類は、総じて古く、扇風機類や破碎関連のフィーダー、ベルコン、ポンプ類等は 30 年以上も使用されているのが珍しくない。また、比較的新しく導入された坑内大型重機も、削岩機が 20 年以上、積込機も 20 年近くも使用されている状態で、故障のため稼働できない場合も少なくない。

P2A 鉱体では、K0m 準で採掘された鉱石は ST6C で運搬され、R01 坑井に投入される。Tilva Ros 鉱体では、K-30m 準で採掘された鉱石は ST6C で運搬され、R02 坑井に投入される。また、Brezanik 鉱体では、K+90m 準で採掘された鉱石は ST で運搬されて、R03 坑井に投入された後、K-13m 準で抜鉱し坑内トラックで運搬され、R04 坑井に投入される。これら 3 つの鉱体で採掘された鉱石は、各坑井を経由して、K-150m 準で抜鉱され、坑内トラックで、運搬されて、坑内粗鉱ビン(容量 55m³)に投入される。

各切羽から 3 次クラッシャーまでの鉱石の流れを図 4.6 に示す。

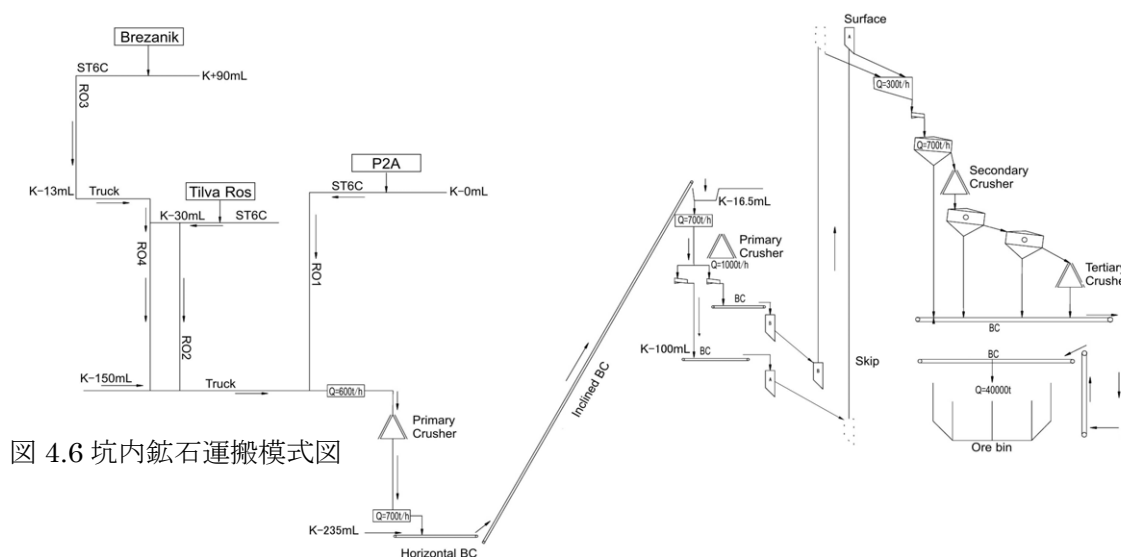


図 4.6 坑内鉱石運搬模式図

K-150m 準の下に設置された一次破碎クラッシャー(Allis-Chalmers)で、150mm アンダーに破碎される。破碎された粗鉱は K-235m 準にてベルコンで 755m 水平に運搬され、更に 770m の距離を傾斜に設置された別のベルコンで K-16.5m 準まで持上げられ、別の一次

破碎クラッシャー(Allis-Chalmers タイプの Krupp 社製)でもう一度 150mm アンダーに破碎され、粗鉱ビンに送られ計量された後、K-100m 準に設置されたケーベ式スキップ(容量 16t)で約 500m 持上げられ、地表に搬出される。地表に運ばれた鉱石は、地表の 2 次クラッシャー(Symons)で 50mm アンダーに破碎され、更に 3 次クラッシャー(Symons)で 20mm アンダーに破碎され、選鉱場にベルコンで送られる。

2007 年 2 月に、Bor 坑内鉱山で旧 Bor 露天掘のピット底が抜け、出鉱の主力であった Tilva Ros と P2A に大量の雨水が坑内に流入する事故が発生した。現在、両採掘域は水没下の状態にあり、出鉱不可の状態にある。現在、復旧可能かどうかベオグラード大で検討中である。

従って、Bor の坑内採掘域は現在 Brezanik のみとなっている。Brezanik 採掘域では、カットアンドフィル法で、3m 厚さのスライシングを行い、3m 厚さの充填を実施している。

Brezanik では、鉱体を 2 つに分けて採掘している。この場合、上下間には、10m 厚さの水平保安ピラーを残置している。図 4.7 に Brezanik のカットアンドフィル切羽の模式図を示す。

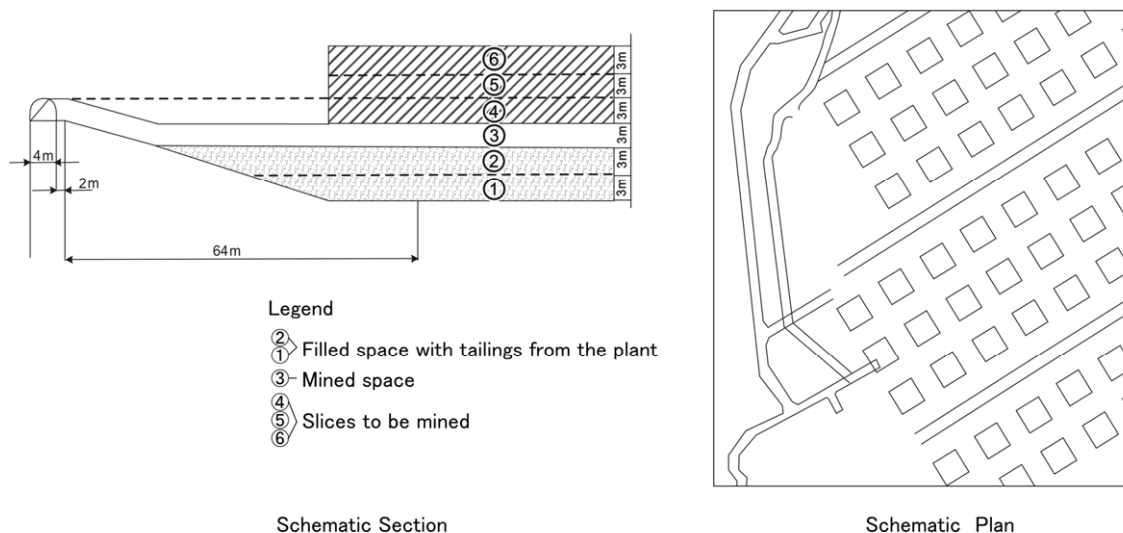


図 4.7 Brezanik のカットアンドフィル法

また、坑内はジーゼル機関を使用しているため、強制通気で必要通気量を確保している。主要立坑からの総入気量(GVO と IO 立坑)は 4,500m³/分、総排気量(VO4 と SO 立坑)は 4,560m³/分である。坑内通気網模式図を図 4.8 に示す。

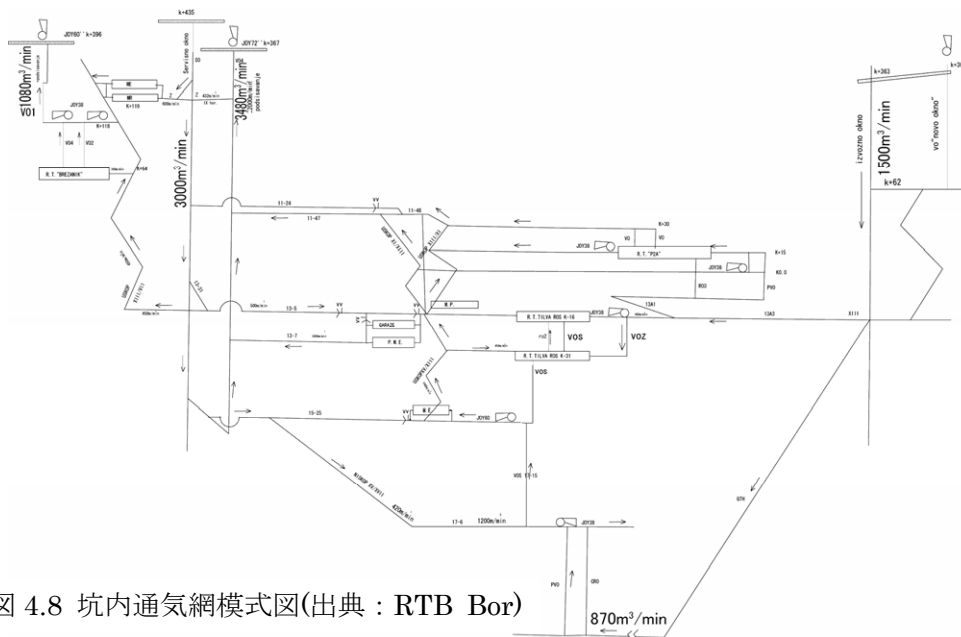


図 4.8 坑内通気網模式図(出典：RTB Bor)

西側の先進鉱山と同様に、Bor 坑内鉱山でも緻密な生産管理、コスト管理が行われており、各種の作業データが揃っており、各作業の数値管理が可能となっている。生産管理では、毎日、選鉱受入れ量、スキップの運鉱量、トラックの運鉱量などの情報が、採鉱課に入り、予算達成に気を配っている。達成されないときは、週単位で、採鉱部門で対策会議が開かれるが、主たる原因は機械類の老朽化による稼働率の低下が殆どで特にペナルティーは科せられることはない。表 4.2 に、過去のピーク時である 1996 年と減産となっている 2003 年の坑内作業能率を比較した。

表 4.2 Bor 坑内鉱山作業の能率比較(出典：RTB Bor)

項目	1996 年			2003 年			
	作業量	工数	能率	作業量	工数	能率	
採鉱	Brezanik	260,098t	22,896 工	11.36t/工	29,111t	4,315 工	6.75t/工
	Tilva と P2A	1,672,977t	18,960 工	88.24t/工	294,674t	9,221 工	31.96t/工
	計	1,933,075t	41,856 工	46.18t/工	323,785t	13,536 工	23.92t/工
開坑量	6,058m	12,900 工	0.47m/工	1,464m	7,484 工	0.20m/工	
起業関係	1,544m	9,694 工	0.16m/工	1,559m	8,587 工	0.18m/工	
運鉱・破碎	1,933,075t	12,644 工	152.88t/工	323,785t	12,644 工	25.61t/工	
総計	1,933,075t	75,987 工	25.44t/工	323,785t	42,251 工	7.66t/工	

表 4.2 を見ると、処理鉱量の激減に気づく。前述の通り、政治的な理由で、鉱山機械の部品が禁輸されたため、入手できずに、生産が約 1/6 まで落込んだ。また、機械が不十分な状況での作業だったために、総ての項目で作業能率が劇的に減っており、鉱山の苦しい操業が理解できる。限られた機械を生産に回す関係から、開坑量が約 1/4 迄減っており、採鉱段取りや採鉱が減らされているため、次の採鉱に支障を来たす可能性が大きい。

尚、表 4.2 の 1996 年当時と日本の非常に機械化された鉱山(神岡鉱山)での総合作業能率を比較すると、約 36%悪い。鉱山の坑内構造の条件が異なるのと破碎工程は日本では含ま

れないので、一概には比較できない処もあるが、日本のような徹底的な減員努力が行われなかったことが一因と見られる。また、ズリ混の実態は正確に把握されていない。

4.1.2 Borska Reka 鉱床の開発

Borska Reka 鉱床は、既存の Bor 坑内と Veliki Krivelj 露天掘の近傍に位置しており、Bor 坑内の採掘レベルよりも深部にある巨大な鉱床である。本鉱床の採掘計画に関しては、ベオグラード大学が 2003 年に作成したが、2005 年に世銀が雇用したコンサルタントがその内容についてレビューと解析をし、以下の結論を出している。

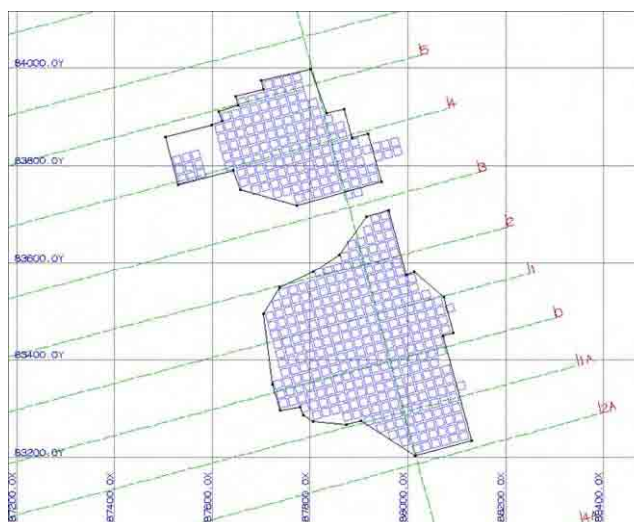


図 4.9 Gemcom による-450mL の UCL の平面 (出典：RTB Bor)図

- ◆ Borska Reka 鉱体を収益性の上がる方法で採掘することは技術的に可能である。
 - ◆ 鉱体の形状と特徴から、ブロックケービングは唯一でないが、良い方法である。
 - ◆ 資源の質と量から、低投資シナリオが P/J(プロジェクト)解析への戦略的アプローチとして妥当であり、Veliki Krivelj 選鉱場を活用し、23,000t/日(840 万 t/年)処理する。
 - ◆ 本 P/J の採掘量は 1.31 億 t(0.56%Cu、0.23g/tAu)である。この比較的低位品位鉱は、銅価格に非常に敏感である。
 - ◆ 建設期間は、3 年間の増産期間を含め、フル生産までに 7 年が必要である。
 - ◆ RTB が決めた戦略的決定に強く依存するので、解析したシナリオの収益性見込みは実施していない。P/J の TC/RC は銅の約 0.30\$/lb なら、収益性は大きくない。
 - ◆ 鉱山の人員要件は約 350 名である。もし、他の部門も含めると、全 P/J で直轄総数が 700~1,000 人、更に 700~1,000 人の関連業務に下請けが必要である。
 - ◆ 現在の情報の不足部分としては、岩石力学的条件と深部の水文地質学的特徴がある
 - ◆ P/J 情報は現段階で適切に整備されておらず、買山者に親切ではない。
- 次の勧告は民営化プロセスの見通しの中で、世銀の調査から出されたものである。
- ◆ 利用可能な現在の情報量について、余り金を掛けずに展開可能な業務が沢山残っている。具体的には以下に示す通り。
 - 説明用の断面図や利用可能なデータの平面図を通して、既存のボーリング孔の値から RQD モデルを作成すること。
 - 解析の質と鉱床の地質的特徴に関連した文書を改善すること。
 - 西側標準に沿った資源分類コードでブロックモデルを開発すること。
 - 本レポートの数値の信頼性を改善するブロックモデル検証を完結させること。

- ▶ RTB が実施したブロックモデリングの過程を正確に記録すること。これは、国際的な西側標準の後になされるべきである。
 - ▶ サンプル準備と分析過程で使用された QA/QC 手法を、分析結果を含めて記録すること。本業務の一環として、サンプル不良品の在庫は適正に整理すべきである。そうすれば、どんな買山者でも内部検証のため不良品を手にとることができる。
 - ▶ 銅精鉱を販売する指向のビジネススキームの展望の中で、浮選プラントの可能性を見直しすること。これは、精鉱品位を 30% に近づけるべく上昇させる選択肢を解析することである。この改善は P/J の経済的な指標に相応の影響を及ぼす。
- ◆ もっと深部の鉱石を解析することに興味を示す投資家がいるかも知れない。この意味で、-450mL より深部の鉱石の採掘の効果をもっと詳細に解析する次の段階に進めることを薦める。これには、現 P/J の精度を上げること、そして大まかな鉱山計画を作成し、精度を上げた P/J 内容を次の UCL に延長して考える必要がある。

4.1.3 Bor 露天掘鉱山

Bor 露天掘の操業は 1923 年から開始され、露頭の高品位部を中心に採掘されたが、剥土データは無い。剥土データは、露頭鉱床が少し深くなった 1928 年からある。操業の開山時は粗鉱品位は高く、4~7% に達していた。1955 年から粗鉱品位は 2% 台を切ったが、それでも露天掘の粗鉱品位としては比較的高い数値を維持してきた。1993 年に主な

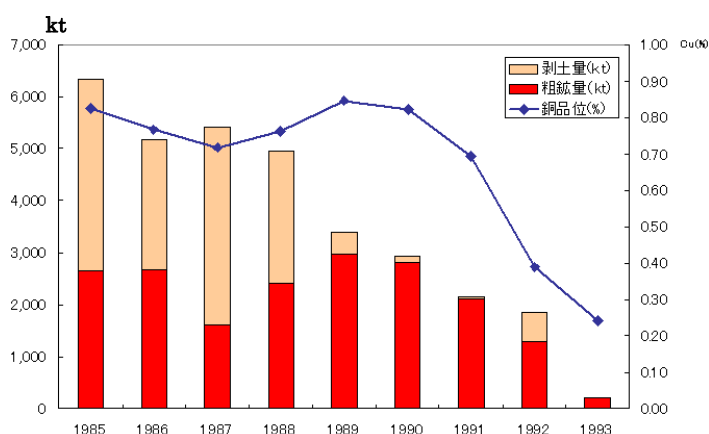


図 4.10 Bor 露天掘鉱山の操業実績

採掘対象の P2A と Tilva Ros 両鉱床の深部に達し、剥土比の拡大のため、採掘を中止し、サブレベルケーシング法による坑内採掘に切替えた。1985 年から終堀の 1993 年までの操業を図 4.10 に示した。全操業結果は巻末資料に示す。

Bor 露天掘鉱山の操業開始から閉山までの全採掘量は以下の通りである。

全採掘鉱量 95,799,627t (Cu1.4%) 全剥土量 171,176,926t (剥土比 1.40)

4.1.4 Veliki Krivelj 露天掘鉱山

当鉱山は、1979 年に初期剥土が開始され、1983 年に RTB Bor の 4 番目の鉱山として初出鉱した。初出鉱から 4 年目には 960 万 t を年間出鉱し、以後概ね同程度の出鉱を 1998 年まで維持してきたが、1998 年の経済制裁の影響で 1999 年からは減産に向かい、昨年は 400 万 t を切って、ピーク時の 40% 程度の操業度である。粗鉱品位も初出鉱当時は、0.5% Cu だったが、経時的に低下し続け、昨年は 0.28% であった。しかし、今日の RTB Bor では出

鉱の主役を務めており、全体の7割の出鉱を占める。



図 4.11 Veliki Krivelj 露天掘の地質断面図

図 4.12 に 1985 年以降の出鉱実績を示した。尚、巻末に Veliki Krivelj の年次毎の全操業データも示している。ここでも、1993 年と 1999 年の経済制裁による落込みが大きいことが分る。操業は数値管理されており、生産管理は、ボーリングデータ(総延長約 160km)と測量結果を 3 次元ソフト Gemcom にインプットして、数値管理が行われている。ズリ混もよく管理されており、実績として鉱量計算値と比較して 5%以内と良好な成績結果を残している。

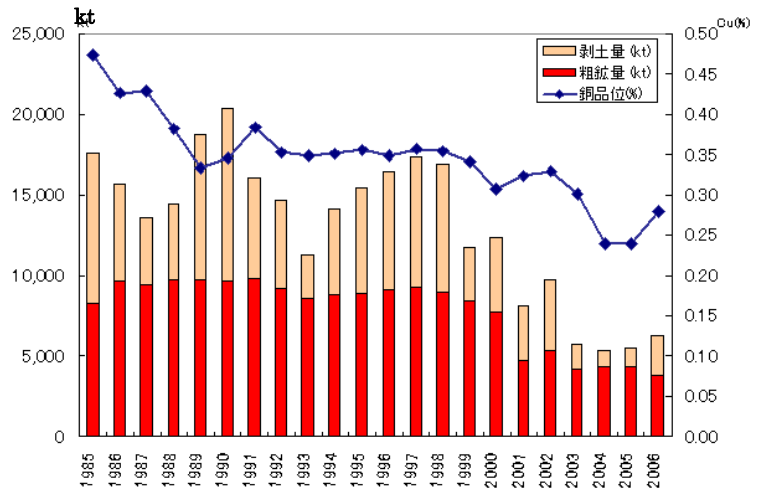


図 4.12 Veliki Krivelj の操業実績

当鉱山が好調な操業を維持していた 10 年間で最近 4 年間の処理量を比較すると表 4.3 の通りとなる。処理量で約 1/3 近くも減っており、採鉱量を極力維持するために剥土量は約 1/5 近くも減少しており、結果として剥土比が 0.86 から 0.36 と半分以下まで減少し、部分的に剥土遅れの状態となっているのが判る。

表 4.3 Veliki Krivelj 露天掘鉱山の処理量

年	採鉱量	剥土量	処理量計	剥土比
1983～1992 年	84,852,005t	73,340,701t	158,192,706t	0.86
1 年当りの平均	8,485,201t	7,334,070t	15,819,271t	0.86
2003～2006 年	16,769,965t	6,080,445t	22,850,410t	0.36
1 年当りの平均	4,192,491t	1,520,111t	5,712,603t	0.36

最近の出鉱減の原因は、使用機械の老朽化であり、使用機械を次頁の表 4.4 に示す。20 年以上稼働している古い機械もあり、相当に稼働率の低い機械も見られる。

表 4.4 Veliki Krivelj 露天掘鉱山の主要使用機械類(出典：RTB Bor)

機種	型	メーカー	購入年	備考
Drills	BE 45 R	Bucyrus Erie	1969	稼働率低い
	BE 45 R	Bucyrus Erie	1979	
	BE 45 R	Bucyrus Erie	1981	
Shovels	191 M (11.5m ³)	Marion	1970	
	191 M (11.5m ³)	Marion	2001	稼働率低い
	PH 2100 (11.5m ³)	P&H	1978	
	PH 2100 (11.5m ³)	P&H	1981	
Dump Tracks	Euclid R 170 (170t)	Volvo	1984	
	MT-3600 (190t)	Terex	1994	
	MT-3600 (190t)	Terex	1994	
	MT-3600 (190t)	Terex	1994	稼働不可
	MT-3600 (190t)	Terex	1997	
	Euclid R 170 (170t)	Volvo	1997	
	Euclid R 170 (170t)	Volvo	1997	
	MT-3600 (190t)	Terex	2000	
	MT-3600 (190t)	Terex	2000	稼働不可
	MT-3600 (190t)	Terex	2000	稼働不可
	MT-3600 (190t)	Terex	2000	
Bulldozers	D 8K	Caterpillar	1981	稼働不可
	D 8L	Caterpillar	1990	稼働率低い
	D 355-A	Komatsu	1987	
Grader	16 G	Caterpillar	1990	

現在は3つのピットで操業しているが、それらは拡大し最終的には1つのピットになる。

図 4.13 に最終ピットの計画平面図を示す。

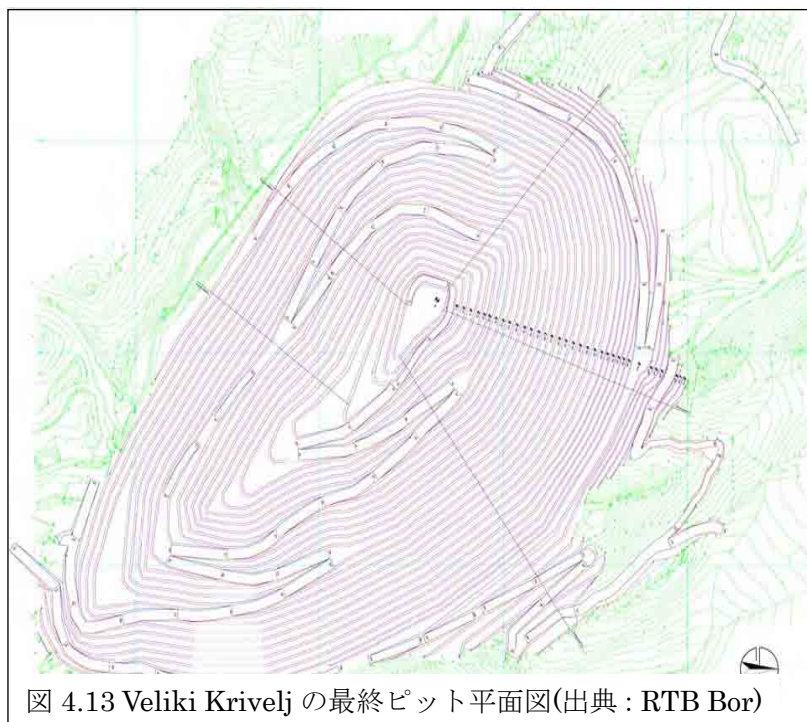


図 4.14 に現況のピット断面図を計画図と併記した図を示す。ピットの最終傾斜は下部が41度で上部が39度であり、法的に安定計算の安全率は1.3以上と定められており、それに従って、岩石力学に基づいて最終傾斜が算出される。地山の物性の他に、断層などの軟弱な部分については、36度まで傾斜を緩める場合もある。

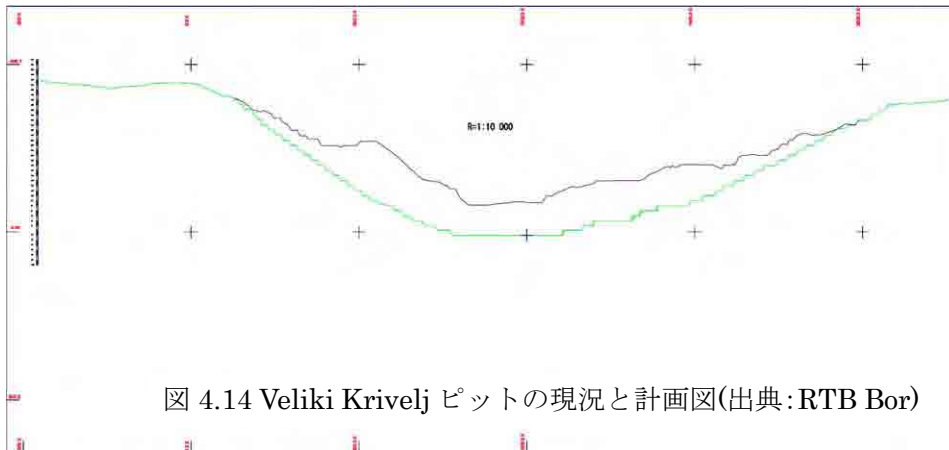


図 4.14 Veliki Krivelj ピットの現況と計画図(出典:RTB Bor)

尚、RTB Bor は、2007 年から 2026 年までの、20 年長期計画を作成(銅研究所による)している。それに拠ると、2007 年から剥土を徐々に強化し、2011 年には剥土比を 1.54 まで増やし、剥土遅れを取戻す計画になっている。出鉱量も漸次増やし、2010 年以降は 850 万 t ペースを維持する方針になっている。これを達成するためには、処理量を現状の 570 万 t から 2,000 万 t へと 3.5 倍も飛躍的に増やす必要があり、重機の台数の確保を含め整備が緊急の課題である。また、同年計画の IRR は、銅建値 2,940\$/t で、67%と極めて高い。

尚、Veliki Krivelj の剥土ズリの運搬システムは、ベンチからダンプトラックで、Allis Chalmeris Emisa 社製の破碎機まで(約 1km)運搬された後、適度の粒度に破碎される。破碎後、バルコンで運搬され、スタッカーにより、旧 Bor 露天掘跡に廃棄されている。

4.1.5 Cerovo 露天掘鉱山

Cerovo 露天掘鉱山は Veliki Krivelj 鉱山の北東方向に直線距離で約 8km 離れている。Cerovo 露天掘鉱山は、1991 年から初期剥土を行い、1993 年から出鉱を開始した。丁度、1993 年に終堀した Bor 露天掘鉱山の代わりを果たすような形で操業を開始した訳である。2002 年に、Cerovo1 は鉱

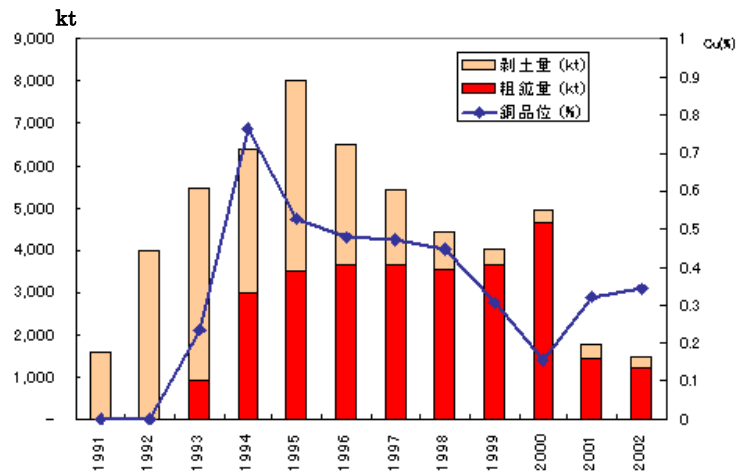


図 4.15 Cerovo の操業実績

量枯渇で終堀した。この 13 年間の全操業結果を図 4.15 に示す。採掘した粗鉱は、1980 年代に山元に建設された破碎工程(Allis-Chalmers 一次破碎、2 次及び 3 次破碎)と磨鉱工程で処理された後、濃縮されて鋼管を介してスラリー輸送し、Bor 選鉱場で浮選処理された。現在の残鉱量は、Cerovo2 など未だ 3.2 億 t(0.3%Cu、0.1g/tAu)と大量にあり、民営化にはこの鉱量も対象となっている。

以上の内容が銅鉱山 Bor(RBB)であるが、民営化戦略に従って、人員のリストラが行われている。例えば、2003年1月と2007年2月、7月の従業員の比較を表4.5に示す。

表 4.5 RBB の従業員の推移(出典：RTB Bor)

項目	2003年1月	2007年2月	2007年7月
Veliki Kreivelj 露天掘	516	405	396
Veliki Krivelj 選鉱場	352	288	278
Cerovo 露天掘	124	11	13
Bor 坑内	694	441	416
Bor 選鉱場	342	230	225
Bor 機械修理	128	87	87
湿式製錬	48	29	34
探査	147	92	98
管理	375	258	250
Zagradje 石灰鉱山	163	118	116
Bela Reka シリカ砂	72	67	66
合計	2,961	2,026	1,979

4.1.6 スラグ採鉱

過去数年間、Bor では製錬から排出され堆積されたスラグ(右の写真参照)を採掘して有価金属を回収する試みがTIRで行われて来た。以前はTIR自身で採掘されてきたが、坑内掘の主力であるTilva RosとP2Aが採掘できなくなったのを機に、RBBでは本格的に露天掘で採掘する検討が行われ、新施業案がMEMに提出されている。



計画では、露天掘のベンチ数は5つで、ベンチ高さは各10mである。ピット底は標高310mであり、最も高いベンチでは標高350m以上になる。最初の3つのベンチの開削はBor露天掘の補修建屋へのアクセス道路から計画されている。

採掘対象のスラグは、全量で約900万tあり、金属量で銅が約66,000t、金が2,600kg及び銀が41,000kg含まれている。各ベンチの鉱量を表4.6に示す。

表 4.6 採掘対象のスラグ

ベンチ	スラグ量 (t)	Cu (%)	Cu (t)	Au (g/t)	Au (kg)	Ag (g/t)	Ag (kg)
365/350	1,318,973	0.715	9,431	0.28	372.0	4.50	5,935.4
350/340	3,061,392	0.715	21,889	0.28	863.3	4.50	13,776.3
340/332	1,277,730	0.715	9,136	0.28	360.3	4.50	5,749.8
330/330	1,465,830	0.715	10,481	0.28	413.4	4.50	6,596.2
320/320	1,330,959	0.715	9,516	0.28	375.3	4.50	5,989.3
320/310	736,056	0.715	5,623	0.28	207.6	4.50	3,312.3
計	9,190,940	0.715	65,715	0.28	2,591.8	4.50	41,359.2

このスラグ採鉱に従事する労働者は、坑内のTilva Ros及びP2Aで働いていた労働者に

他所からも加えて総勢 130 名を予定している。

採掘されたスラグは過去の試験操業から浮選が最も効果的な回収方法と判明しているの
で、浮選で処理される。銅の本格浮選操業では表 4.7 を見込んでいる。

表 4.7 スラグの予定浮選成績

項目	見込み値
年間処理スラグ量	1,112,400 t
スラグ中 Cu 品位	0.715 %
スラグ中 Au 品位	0.282 g/t
スラグ中 Ag 品位	4.5 g/t
精鉱量	219,050 t
精鉱中 Cu 品位	15.0 %
Cu 採収率	50.0 %
精鉱中 Cu	32,857 t
精鉱中 Au 品位	5.072 g/t
Au 採収率	50.0 %
精鉱中 Au	1,296 kg
精鉱中 Ag 品位	64.748 g/t
Ag 採収率	40.0 %
精鉱中 Ag	16,544 kg

2007 年のスラグ処理の実績(1 月～6 月)を表 4.8 に示す。

表 4.9 を見ると、着実に処理量は増加しており、1 月に比べて 6 月の処理量は倍増してい
る。予定では、約 9.2 万 t/月(1,112,400t/12 月)であるが、6 月の実績ではその約 80%まで近
づいており、予定処理量はクリアされる可能性が大きい。また、懸念の Cu 採収率について
も、月々改善されており、6 月には 39.492%になっている。当面、これを 45%まで改善し、
最終的には予算の 50%を目指す。

表 4.8 スラグ処理実績

月	項目	値
1	処理量	33,258 t
	Cu 品位	0.739 %
	Cu 採収率	35.34 %
2	処理量	23,436 t
	Cu 品位	0.702 %
	Cu 採収率	35.267 %
3	処理量	32,001 t
	Cu 品位	0.793 %
	Cu 採収率	35.517 %
4	処理量	46,407 t
	Cu 品位	0.737 %
	Cu 採収率	35.777 %
5	処理量	39,514 t
	Cu 品位	0.718 %
	Cu 採収率	36.283 %
6	処理量	70,495 t
	Cu 品位	0.719 %
	Cu 採収率	39.492 %

スラグ採掘と浮選の操業コストとしては、露天掘で 1.77 ドル/t で浮選で 4.8 ドル/t を見
込んでおり、合計で 6.57 ドル/t であり、投資金額約 1,000 万ドルは十分回収可能と見てい
る。

4.1.7 Majdanpek 露天掘鉱山

Majdanpek 鉱山(RBM)は Bor 市から陸路で約 70km 離れた別の行政区に位置し、南北鉱の 2 つの露天掘と選鉱場を有し、精鉱は鉄道で Bor まで運搬されている。Majdanpek 市の市街地は丁度谷地形に位置しており、住宅などが谷の斜面に林立している。市街地から近い順位に、北鉱、南鉱、選鉱場が配置されている。更なる外側に、南北鉱のズリ捨場、廃滓堆積場が配置されており、これらの主要施設に比較的近い距離にある。RBM の主要施設を図 4.16 に示す。また、RBM の組織図を図 4.17 に示す。

尚、Majdanpek 市の人口はこの 10 年間に、鉱山のリストラのため 1.5 万人から 1 万人に減少している。

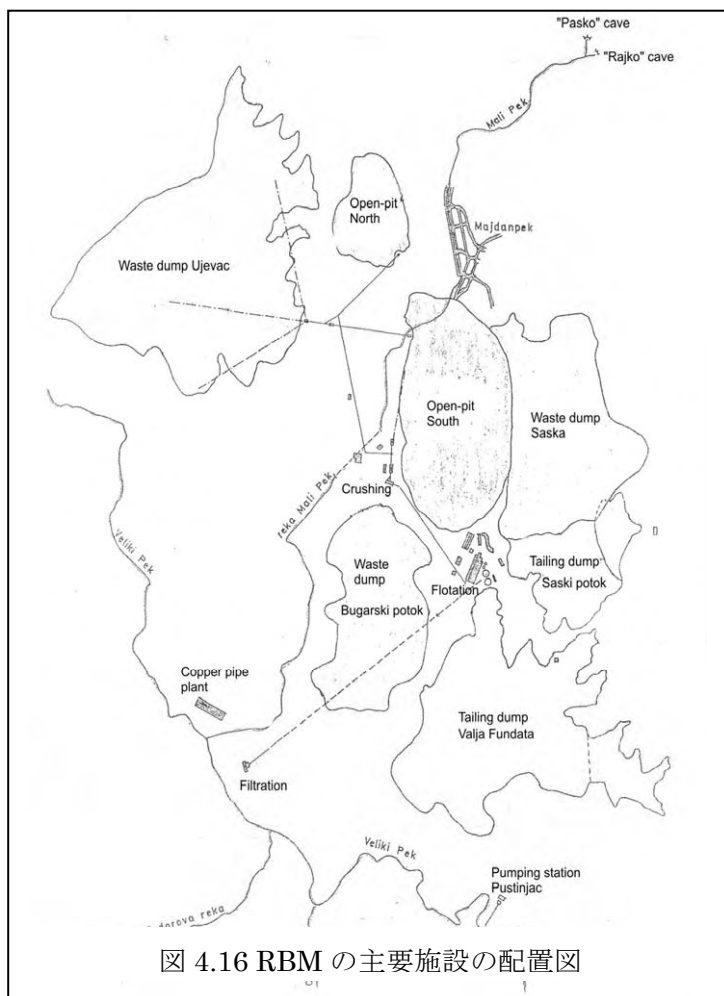


図 4.16 RBM の主要施設の配置図

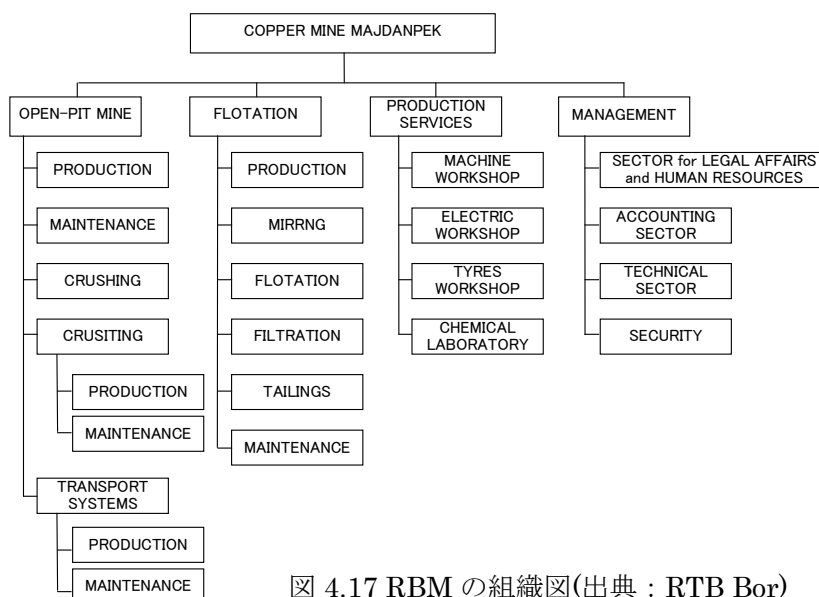


図 4.17 RBM の組織図(出典：RTB Bor)

南鉱は1959年から剥土が開始され、1961年に初出鉱された。選鉱場の建設もそれまでに完了し、同年から精鉱を Bor の製錬所に送った。鉱山は初出鉱以降、拡張を続け1976年には年間1,300万tを達成し、その後1989年まで略その生産量を維持した。初出鉱の翌年からRTB Borの出鉱割合の半分以上を占め、文字通り同社の鉱石供給の中心的な役割を果たしてきた。1968年以降、RTB Borにおいての出鉱割合は7割以上を占め、Veliki Kriveljの出鉱が開始された1982年まで続いた。また、北鉱は1977年から初期剥土が開始された後、13年後(但し1980年から3年間は剥土を中止していた)の1989年に初出鉱し、1990年から本格的な生産を開始した。Majdanpekの操業実績を図4.18に示す。

また、1993年からは北鉱のTenka鉱体から鉛・亜鉛鉱石も2ヶ月間だけ採掘されたが中断し、1999年から3年間、少量の採掘が行われている。

Veliki Kriveljの本格操業(1984年)後も、RBMはRTB Borでの出鉱首位の

地位を維持し続けたが、1992年の国連の制裁で大きく生産が落込み、翌年に首位の座をVeliki Kriveljに明渡した。それ以降のMajdanpek露天掘鉱山の減産は大きく、1998年の欧州等の経済制裁以降は往時の30%まで出鉱は急落した。

2001年以降の操業は特に酷く、年産54万tまで落込む。それ

以降は少しずつ増産に転じ、昨年は133万tまで回復したが、以前の面影は全くない。図4.19に鉱山の従業員数の推移を示すが、生産の落込みに呼応して急激な減少となっている。特に2002年には、1,370人に及ぶリストラを断行し、それまでの従業員数を半減した。しかし、作業能率から見ると、著しく落ちており、3交代は維持されているが、1の方は作業段取のみで生産活動をしていない。尚、民営化戦略によると、2007年中に950人になる予定である。

南鉱は、最高部が670m、ピット底が120mであり、北鉱は最高部が790m、ピット底が

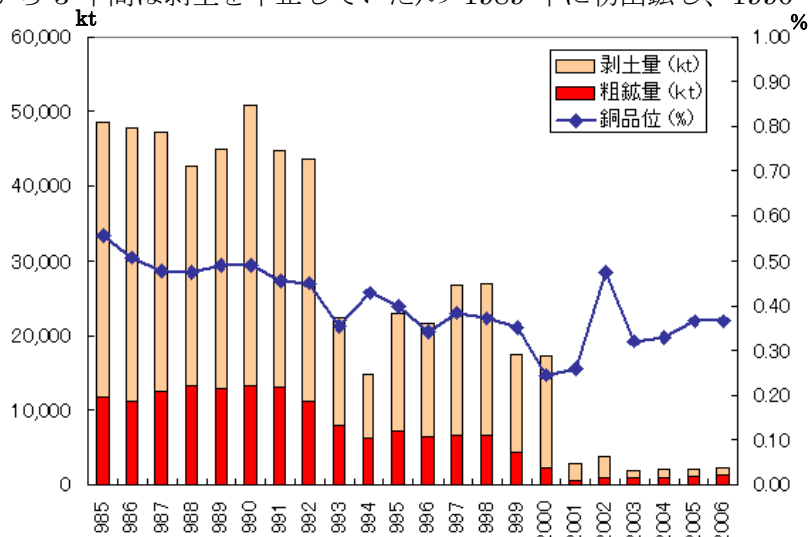


図 4.18 Majdanpek 露天掘の操業実績(出典:RTB Bor)

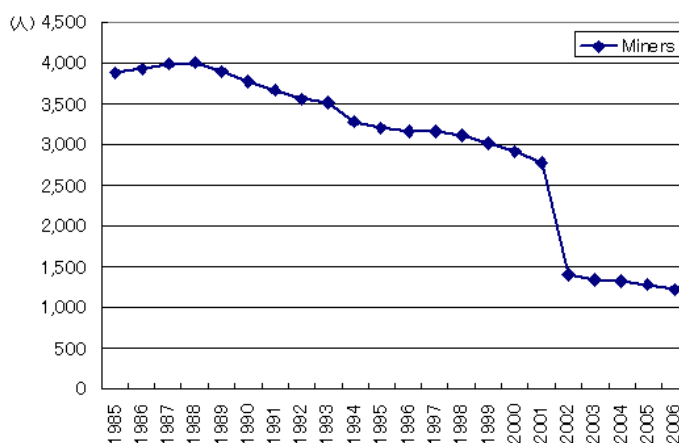


図 4.19 Majdanpek 鉱山の従業員数の推移(RTB Bor)

350m である。両者ともに斑銅鉱であるが、北鉱は一部に複合鉱床も含んでいる。しかし、上述のように生産減やリストラの混乱時の 2002 年 3 月に、南鉱はピット底の揚水を中止したため、雨水と地下水でピットが浸水し、現在は水深が 80m もあり、貯水水量は推定で 750 万 m³にも達している(図 4.20)。水質は pH6 程度であり、そのまま河川に放流可能である。また、北鉱も 2002 年 9 月に同様に一旦揚水を停止し、2004 年に 2 ヶ月間、2005 年に 7 ヶ月間揚水を行った後、揚水しておらず、水深 80m で約 350 万 m³の貯水量がある。北鉱の水質は pH3.5 と低く、Fe 分も溶出している。2007 年 2 月現在では、揚水の具体的な計画は立案されていなかった。

出鉱減の主因は、Veliki Krivelj と同様に使用機械の老朽化であり、現在の Majdanpek での使用機械を表 4.9 に示す。40 年以上稼働の古い機械もあり、稼働率の低い機械もある。

表 4.9 Majdanpek 露天掘鉱山の主要使用機械類(出典：RTB Bor)

機種	型	メーカー	購入年	備考
Drills	BE 9	Bucyrus Erie	1983	
	BE 10	Bucyrus Erie	1987	
Compressors	DXL 850	Ingersol Rand	不明	
	XA 350J	Atlas Copco	1989	
Shovels	182 M	Marion	1966	
	M-8	Marion	1977	
	M-11	Marion	1986	
Dump Tracks	630 E(170t)	Dresser	1990	
	630 E (170t)	Dresser	1991	
	630 E (170t)	Dresser	1991	
	3600 B (170t)	Terex	1997	
	R-65 (65t)	Terex	不明	
Bulldozer	TG 220 CK	Oktober	2004	
Grader	G-8	Caterpillar	2001	稼働不可

当鉱山が好調な操業を維持していた南鉱 13 年間と最近 4 年間の処理量を比較すると表 4.10 の通りとなる。

表 4.10 南鉱の処理量

年	採鉱量	剥土量	処理量計	剥土比
1977~1989 年	164,933,812t	358,684,295t	523,618,107t	2.17
1 年当りの平均	12,687,216t	27,591,100t	40,278,316t	2.17
2003~2006 年	3,500,200t	2,667,000t	6,167,200t	0.76
1 年当りの平均	875,050t	666,750t	1,541,800t	0.76

処理量で実に 75%も減っており、採鉱量を極力維持するために剥土量に至っては約 98%も減少しており、結果として剥土比が 2.17 から 0.76 と 1/3 近くまで減少し、明確な剥土遅れの状態となっている。ズリ搬出にベルコンが利用されていたが、南鉱では 2002 年以降故障して使用されていない。北鉱ではベルコンでズリ搬出されている。

また、RBB に比べ、RBM の IT 化は進んでおらず、操業でも過去のデータが余り活用された形に現状ではなっていない。道路整備も不十分で生産が軌道に乗っていないのが分る。

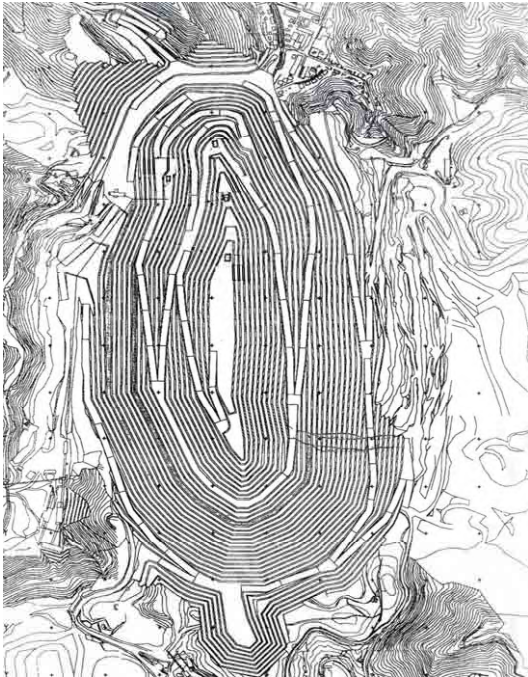


図 4.20 Majdanpek の南鉱の最終ピットの設計図(左)と現況ピットの様子(右)
(出典：RTB Bor)

同様に、北鉱が本格的に操業を開始した 1990 年から 11 年間で最近 4 年間の処理量を比較すると表 4.11 の通りとなる。

表 4.11 北鉱の処理量

年	採鉱量	剥土量	処理量計	剥土比
1990～2000 年	31,609,186t	98,987,692t	130,596,878t	3.13
1 年当りの平均	2,873,562t	8,998,881t	11,872,443t	3.13
2003～2006 年	752,800t	1,166,000t	1,918,800t	1.55
1 年当りの平均	188,200t	291,500t	479,700t	1.55

処理量で実に 99% も減っており、採鉱量を極力維持するために剥土量も約 99% も減少し、結果として剥土比が 3.13 から 1.55 と半減し、明確な剥土遅れの状態となっている。

尚、巻末に Majdanpek の年次毎の全操業データを示す。

RBM では、以前作成した南鉱の 14 年間の長期計画を 2006 年に改定した。しかし、北鉱については何の計画も作成されていない。

南鉱では、現在の水位より上の採掘を継続するには、近くの国道の付替えと堆積された大量の(800 万 t)ズリを再運搬する必要があり、大きな起業費を必要とする。

4.2 セ国の中小鉱山の鉱業活動

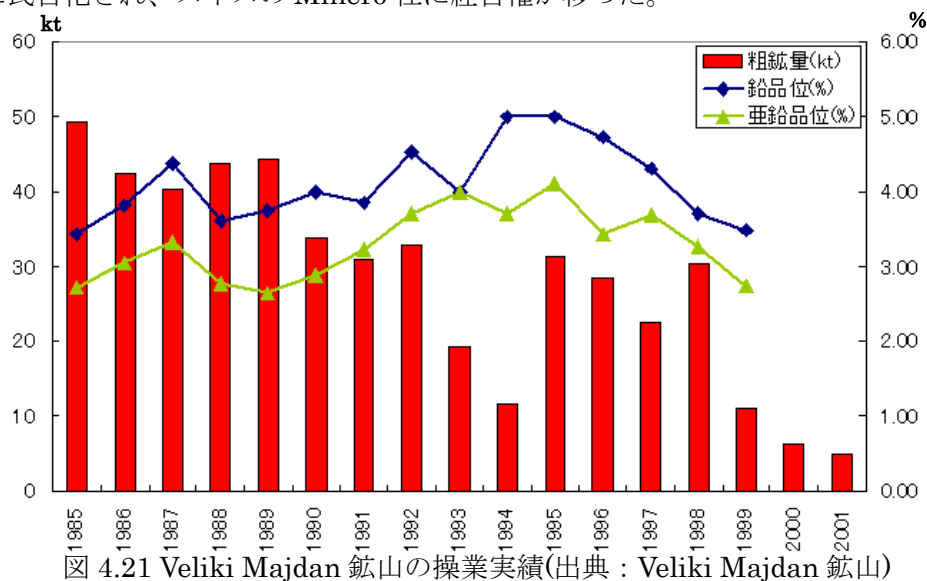
セ国には、鉛亜鉛、レアメタル等の中小鉱山が以前は多く活動していた。しかし、1991 年以降の政治的な不安定要因のため、生産活動は総て低調であり、現在総ての国営非鉄金属鉱山は民営化の対象であり、既に民営化が具体化している鉱山も出ている。

4.2.1 Veliki Majdan 鉛亜鉛鉱山

(1) 概要

Veliki Majdan 鉱山は、ベオグラードの東方約 200km の Macva 県 Ljubovija 市(人口約 5,000 人)にあり、Drina 川を挟んで 30m でボスニアヘルツェゴビナに達する。1934 年に近代鉱山として、英会社が Drina Mining を設立し本格的な探鉱を開始し、最初の坑道調査を行った。その後、1940 年に国営会社 Zajaca が探鉱を再開し、1954 年から出鉱開始した。1972 年に Veliki Majdan として独立し Zorka Sabac の傘下に入り、亜鉛とパイライト精鉱を Zorka に送り、鉛精鉱は Trepca に送った。1978 年に操業の近代化が行われ、破碎工程を 12,000t/年に、浮選工程を 6,000t/年に増強した。浮選も 12,000t/年に増強する予定だったが、資金不足のため実現しなかった。1996 年に経営権は Trepca に移り、2003 年に独立したが、2006 年 9 月に民営化され、スイスの Minero 社に経営権が移った。

図 4.21 に 1985 年から操業停止した 2001 年までの操業実績を示す。操業形態は 5 日/週で、採鉱が 2 交代/日、選鉱は 3 交代/日であった。1992 年までは、比較的順調な操業を続けていたが、国連制裁で 1993～1994 年の生産は低迷し、往時の 1/3 まで落ち込むが、



制裁解除後は順調に回復していた。しかし、1999 年の欧州等の経済制裁の翌年から生産が 1/3 以下まで再び落ち込み、苦しい操業を強いられていたが、2001 年 6 月の大雨で廃滓堆積場の一部が決壊したのが致命傷となり、操業停止に至った。更に、2003 年から坑内揚水を維持できなくなり、坑内の水没が始まった。Trepca が経営権を放棄したのは、政治的な問題に加え、これらの事情によるものである。現在の従業員は、社長(女性)他幹部が 3 名に技師 2 名の 5 名である。

以前は親会社への精鉱供給源としての位置づけが強く、建値の低迷時には Zorka や Trepca からの支援も大きく、親会社の影響が強かったと見られる。

当鉱山が生産再開するための現在の問題は、①水深 160m 以上も水没した坑内の揚水、②堆積場堤体の決壊で現在使用できない堆積場の再建、③主な従業員は総て解雇したため、操業のための熟練労働者の確保、④長期間放置された選鉱場の装置を始め、多くの機械類のリハビリ・購入である。これらの費用として 100 万ユーロを見込み、2007 年 9 月に操業再開を計画していたが、まだ再開されていない。

2003 年の揚水停止後、断続的に揚水をしていたが、現在未だ推定貯水量が 10 万 m³ もあり、民営化後 2006 年 12 月から本格的に坑内揚水を再開した(図 4.22)。排水質は pH6.0 で

その河川に放流している。水量の豊富な Drina 川に合流するまでは谷川の水量は少量であるため、環境的影響があると見られるが、住民が少なく問題とはなっていない。

2000 年当時の全従業員は 133 人(採選鉱で 60 人)であったが、この時点で既に最盛期の 14%程度の生産高であり、最盛期の人数(300~350 人)からは少ない。生産再開時には、200 人以下で運営する予定。現在の労働者は、坑内揚水 9 人(昨年 12 月から開始)と警備 9 人がおり、請負契約で働いている。

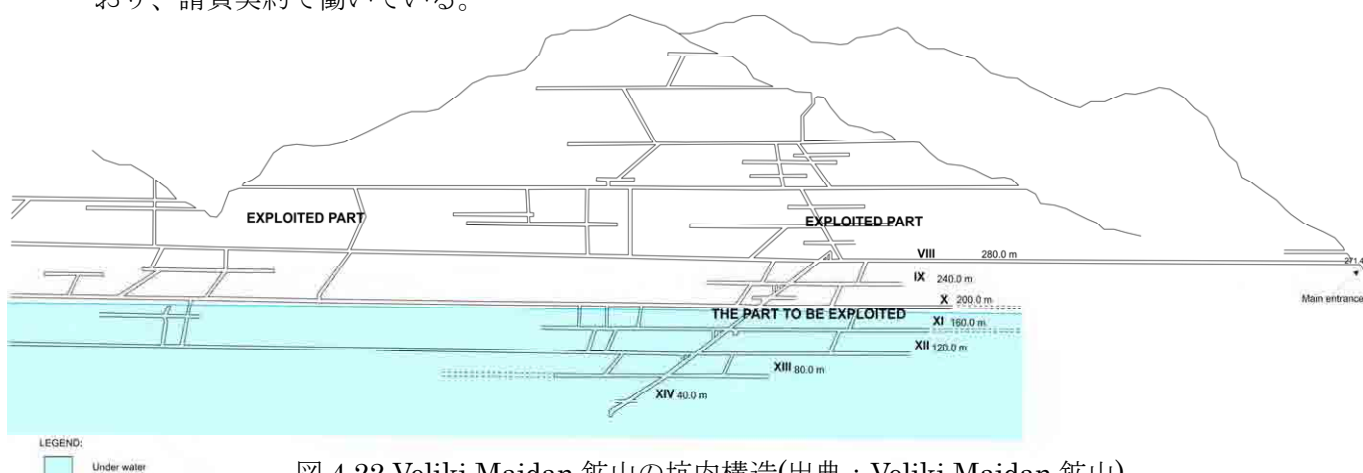


図 4.22 Veliki Majdan 鉱山の坑内構造(出典：Veliki Majdan 鉱山)

坑内坑道は 40m 間隔で水平に主要レベルが開削されており、これを基本に鉱床にアクセスする。主要坑口は 270mL で、水平主要レベルは 14 本あるが、現在は 270mL より下のレベル(6 本)が採掘対象である。270mL より上部は総て採掘が終了している。

生産時は採鉱操業形態が 5 日/週で 2 交代、選鉱は 5 日/週で 3 交代。生産が順調であった 1973~1989 年間は 4 万~5 万 t の出鉱していた。

常時坑内湧水量は 15l/秒(1,296m³/日)で、常時排水設備は 40mL→120mL→270mL と 200mL→270mL の 2 ラインがあった。現在の緊急排水では 25l/秒(2,160m³/日)の排水をしている。

従業員は坑口から切羽までは歩き、鉱石、ズリは各主要レベルと連絡する軌条インクライン巻揚機(傾斜 34 度)で 270mL まで上げ、坑外の選鉱場、ズリ捨て場まで蓄電車で運搬する。

鉱床は、概して小さく(最大で約 200m²)、しかも形状が不規則で膨縮が激しい。

主たる採鉱法は傾斜掘で鉱床の形状に合わせて採掘域の頂点まで、開坑し上から無充填のまま地並掘り下がる方法である。大きな鉱床では、空洞高さが坑内主要レベル(40m)まで達する。

採掘した鉱石は坑内手選で選別し、ズリ混入率を極力抑えていた。

選鉱の磨鉱では 60 μ 60%の粒度で、採集率は Pb90%、Zn82%で精鉱脱水も良く、良好な鉱質であった。脱水後の精鉱の水分率は Pb が 7%、Zn が 9%程度であった。

親会社からの援助で操業が支えられていたため、従業員達による経営改善意識は余り高くなかったと思われる。

しかし、鉱床が小さく、形状が不規則であるため、機械化には困難が伴い、採鉱能率を上げるには限界がある。

操業規模として、45,000t/年を考えており、従業員は総勢 200 人以下の採用を考えている。

4.2.2 Rudnik 鉱山

(1) 概要



Rudnik 村にある Rudnik 鉱山事務所

当鉱山はベオグラードの南方約 110km の Sumadija 県 Gornji Milanovac 行政区 Rudnik 村(人口 2,000 人)にある。当鉱山は 2004 年 9 月に実施された競売で当社の株 70% を購入した Contango 社 (Darko Vukobratovic 社長)により、セ国最初の民営化鉱山となった。残り 30%の株は鉱山の労働者が保有したが、現在その殆どが、銀行や投資会社に売られており、大株主は 10 社以上

となっている。

当鉱山は、1948 年に Trepca により設立され、1952 年に初出鉱をした。生産鉱種は鉛、亜鉛及び銅で、鉱床は鉛、亜鉛鉱床は小規模塊状スカルン型鉱床であるが、銅を含む鉱床は網状鉱床であり、鉛、亜鉛優勢の鉱床に比べ、規模はやや大きい。

当鉱山の生産は、概ね順調に推移したが、1993 年の経済制裁で大きく生産が落込み、2007 年は生産できない状態になった。1995 年から再び生産を開始したが、金属建値も振るわず、赤字が累積し、2004 年に民営化された。

民営化後、金属建値が回復したため、2005 年までは、赤字だった操業は、2006 年には黒字に転じた(1.6 億ディナール)。民営化になった直後は、生産が落込んだが、年々回復し、今年も、以前の生産のピークまで戻るという好転振りである(図 4.23)。Contango 社はこの数年の金属建値の好調に支えられて、競売代金(1.5 百万ドル)の支払いも、当鉱山の負債(3.0 百万ドル)も総て完済し、経営は順調である。同社の株価はこの半年(2007 年 4 月 20 日から 10 月 22 日)に 1,200 ディナールから 12,000 ディナールに急騰したことが注目される。

当鉱山から生産された精鉱は、初出鉱から鉛、亜鉛は Trepca の精錬所に、銅は Bor の精

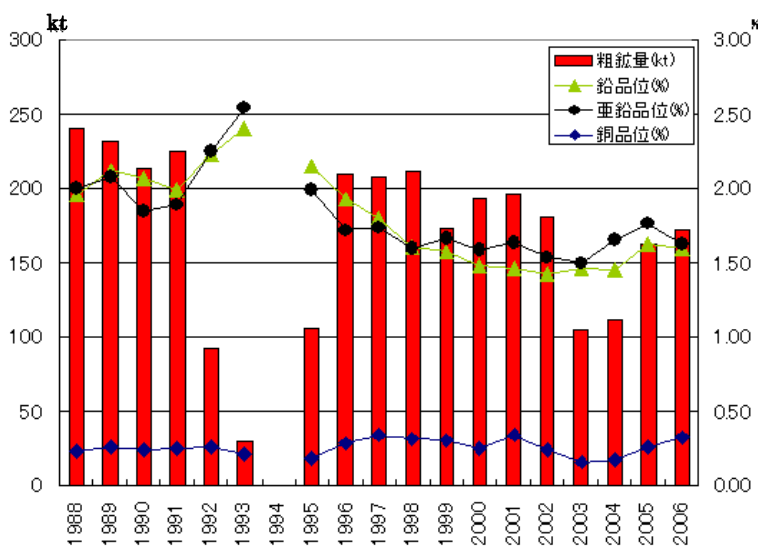


図 4.23 Rudnik 鉱山の民営化前後の出鉱量実績

錬所で処理された。しかし、コソボ紛争などで Trepca からの精錬代金の支払いが滞ったため、1996 年に Trepca から独立し別会社の形態となった。しかし、精錬の送り先は以前のままであった。しかし、1996 年に Trepca の精錬所が操業を停止したため、鉛精錬はブルガリアの Plovdiv 精錬所に、亜鉛精錬は Zorka 精錬所で処理されるようになった。亜鉛精錬は 1999 年から 2002 年までは、マケドニアの Veles 精錬所に運ばれたが、その後は鉛と一緒に Plovdiv 精錬所に運ばれている。銅精錬は、その後も Bor 精錬所で処理された。

現場から出てくる経費データをコンパイルし、ベオグラードの本社に電送している。更に毎月の出鉱量と販売価格を入力して、毎月の利益が集計できるよう財務管理している。

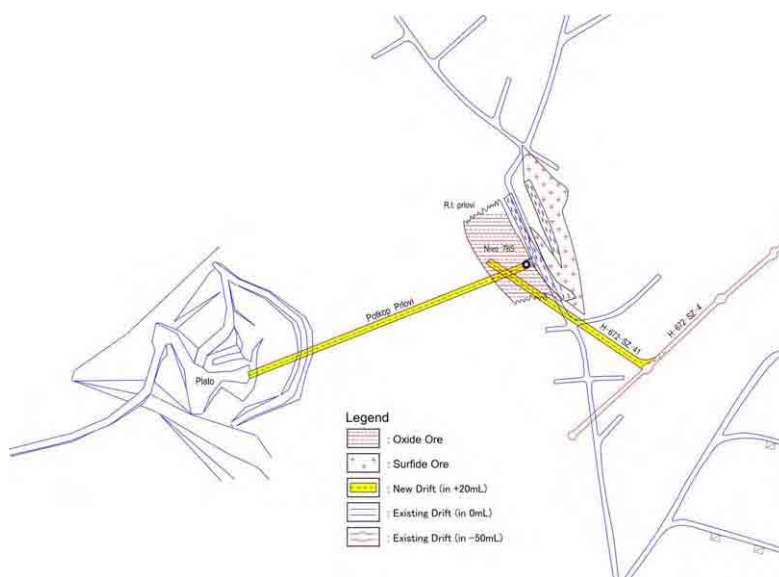
(2) 採鉱関係

当鉱山の坑内構造は、比較的単純で、主要入出坑レベルである海拔 725m(0mL)、海拔 675m(-50mL)及び鉱石の運搬レベルである海拔 575m(-150mL)の 3 本の水平坑道で構成される。当鉱山の採掘域は 0mL~-50mL を Srednji Sturac、-50mL~-150mL を Gusavi Potok と呼ぶ 2 つの採掘域から構成される。この 2 つの採掘域からの出鉱割合は概ね半々である。

当鉱山の採鉱法は、下向きルームアンドピラーであり、小さな鉱体は一つの切羽から出鉱されるが、大きな鉱体からは 2~3 のサブレベルで鉱体を水平に分割し、各部分を上から下にルームアンドピーラーで採掘する方式を採っている。現在採掘している切羽数は Srednji Sturac が 14 切羽、Gusavi Potok が 11 切羽である。

地表の近くにある酸化鉱とその直下にある硫化鉱体 P2 の合計鉱量は、80 万 t である。最近酸化鉱の選鉱試験を実施してきたが、採集率が悪いため、当面酸化鉱の開発を断念した。現在、この酸化鉱の直下にある硫化鉱の開発を坑内掘にて採掘するための、準備を進めている。掘削する坑道加背は 3.5m(幅)×3.2m(高さ)で、全長 200m の予定で、現在 20m まで掘進が進捗している。更に、鉱石坑井を 150m 掘削する予定である。但し、地表の近くのため、岩質が風化のため悪質で全面留付となっている。採鉱法は、同社主流のルームアンドピラーは不可で、現在の処、カットアンドフィルを採用する方針である。P2 鉱体の開発計画を図 4.24 に示す。

図 4.24 P2 鉱体開発計画図



当社の抱えている課題は優良な労働者不足である。特に坑内労働者については、現在、在籍が 148 人居るものの、実際に坑内で働いている者は 76 人に過ぎない。マケドニア国籍の労働者も多く、一時帰国する者が多いことも原因の一つである。民営化前後で、従業員の給与は改善され、平均で 2 倍にも上がっている。採鉱コストも上昇しており、2005 年に 890 ディナール/t だったものが、2006 年には 1,217 ディナール/t 37% も上昇している。但し、金属建値の上昇がこれらのコスト高を吸収している。

4.2.3 Zajaca 鉱山

(1) 概要

Farmakon 社はベオグラードから西方約 200km の Macva 県 Sabac 市(人口 5 万人)にある。当社は約 20 年前に設立された多角経営の民間会社で、農業をコア事業として、この 20 年間に徐々に事業拡大を図り、現在は年商 2 億ユーロ(約 300 億円)、従業員 2,200 人の大企業に成長している。

当社の現在のビジネスはグリーンハウス栽培の農産物、牛乳、金属鑄造工場、自動車部品工場、鉛精錬所などを所有し、2006 年 3 月に民営化でアンチモン鉱山部門に進出した。

Zajaca 地域は金属鉱床の豊かな地域で、長さ 25km にも及ぶ鉱床(幅 300-500m)が NW-SE の方向で続いており、130 年前から多くの鉱山開発が行われてきた。当該地域はアンチモンだけでなく、鉛、亜鉛、錫、砒素などの非鉄金属の鉱床が多くある。例えば、Veliki Majdan 鉱山もその内の一つである。

アンチモン鉱床については、現在までに金属量として 14 万 t の生産が行われてきた。生産は第 2 次大戦直後から活発に行われ、1945~1990 年に、平均年産量で 2,000t である。最盛期は 1965~1977 年でこの期間の年産量は 3,200t であった。

1980 年代までは、世界的なアンチモン生産国であったが、1980 年代後半に入り、中国の市場参加が増加して、アンチモンの建値が大幅に下落した。

例えば、1980 年までの建値：6,000 ドル/t

1980~1996 年の建値：1,800 ドル/t

1996~1998 年の建値：3,500 ドル/t

1998~2003 年の建値：2,000 ドル/t

2003 年以降の建値：6,000 ドル/t

建値の影響で、Zajaca のアンチモン生産は 1991 年に中止に迫られた。それ以降、当社は、精錬設備を利用して、鉛のスクラップを溶解して、自動車バッテリーなどに使用する鉛生産を行っている。過去 10 年の年間平均鉛生産量は 5,000t であったが、昨年は 6,500t に増加し、2007 年は 8,000t に更に増産するため、2007 年 9 月に伊の再生新技術を導入し、来年は 15,000t に強化する予定という。

(2) 採鉱対象鉱山

Zajaca 鉱山は、2006 年 3 月に民営化され、Farmakon が同山の設備を購入した。その

時点から、同社は鉍山再開を検討して、面談した 3 人と Sabac の技術担当責任者を中心に、鉍山開発を検討している。同社は、アンチモン鉍山開発のみでなく、鉛・亜鉛・錫、CaF₂ などのレアメタルも視野に入れている。

同社の保有している鉍区は多くあり、以下の通りである。

Zajaca 地域

- ① Rujevac 鉍区(Sb,Pb,Zn,As)
- ② Zavorje-Stira 鉍区(Sb)
- ③ Brasina 鉍区(Sb)
- ④ Dolic 鉍区(Sb)
- ⑤ Kik 鉍区(Sb)
- ⑥ Stolice 鉍区(Sb)



Zavorje 鉍山坑口

Kopaonik 山脈地域

- ① Rajiceva Gora(Pb,Zn,Sb)

同社が再開を検討している鉍山の優先順序は、以下の通りである。

- ① Rajiceva Gora
- ② Rujevac
- ③ Zavorje-Stira
- ④ Brasina

この優先順序は、鉍床の規模、品位、再開の遣り易さなどを考慮して決めた。

生産再開の規模(上の①及び②の鉍山、労働者数は選鉍も含める)

初年度：年産 40,000t(労働者数 40 人)

3 年後：年産 120,000t(労働者数 90 人)

採鉍法としては、充填式の採掘法と言っていたが、カットアンドフィル法の事かもしれない。現在、鉍山が実施している業務は再開のための書類の準備であり、同社の抱えている大きな課題は以下の 2 点である。

- (1) 総ての坑内設備は 80%以上が悪い状態と予想され、部分的な崩壊もあること。
- (2) 熟練労働者を確保することが 20 年近く経過しているので、困難であること。

(3) Zavorje 鉍山の取り明け工事

16 年前に閉山した Zavorje 鉍山は、Turin 採掘域、Pit28 採掘域、Pit500 採掘域の 3 つの坑内採掘域を対象に考えている。Zavorje 鉍山ではメインの鉍床の採掘は完了しており、現在は当時の掘り残した鉍床が対象となっている。従って、鉍床は小さく(幅 1.0~1.5m)で、傾斜は緩く(40° ~60°)で、鉍脈の形状も不規則である。

Turin では、373mL 主要運搬坑道において、落盤箇所の取明けと支保作業、落盤後の坑内貯留水の排水が完了して、約 350m 程度の坑内を見ることが可能となっている。Pit500 では、坑口の再生は完了しており、坑内を合計で約 30m を見学できる。Pit500 では、今後、

更に取明けを進め、2007 年中に開坑に漕ぎ着ける可能性がある。Pit28 の取明けの予定は今の処なく、今後生産開始までに、多くの開坑準備が必要と考えている。

Zavorje 鉱山では、以前採用していた採鉱法は、サブレベルケーシング法であった(無支保式及び支保式の模式図を各々図 4.25 及び図 4.26 に示す)。しかし、今回の対象鉱床は非常に小さいので、坑道掘削のみで採掘されると考えられる。

現在、Zavorje 鉱山では再開発を前提に取明け工事が進められているが、開発対象の地質調査が不十分で、例えば地質リコメン図面などが不足しており、具体的に開発計画を立案するのに問題がある。今後、開発計画を立案するために、不足の図面を整備していく必要がある。

セ国の鉱業法に従い、今後の具体的な採鉱法は専門の設計機関が実施することになると思われる。しかし、鉱床の特殊性から、近代的な採鉱法を適用するには、困難な点が多い。

切羽運搬には小型の LHD のジーゼル機械を導入したい旨の希望を聞いたが、鉱脈が狭いため、ズリ混入の大きな問題として出てくる。更に、内燃機械を導入する場合、盲人坑道での通気確保が大きな問題となる。坑内全体の通気網を確立する必要がある。例えば、16 年前の通気網も見たが、これでは、十分な通気がジーゼル機械まで行き渡らない可能性がある。単純に、扇風機を使用しても、車風になる可能性もあるので、酸欠の問題が起きないように十分な注意を要する。また、大きなジーゼル機械をどのように必要な切羽に持込むかも大きな問題であり、一旦坑内に搬入したジーゼル機械は定期的に補修を必要としているため、解体・排出するのも大きな問題である。更に、地山が悪い場合は、支保も必要となり、熟練した支保技術を有する坑内労働者の確保が問題となる。

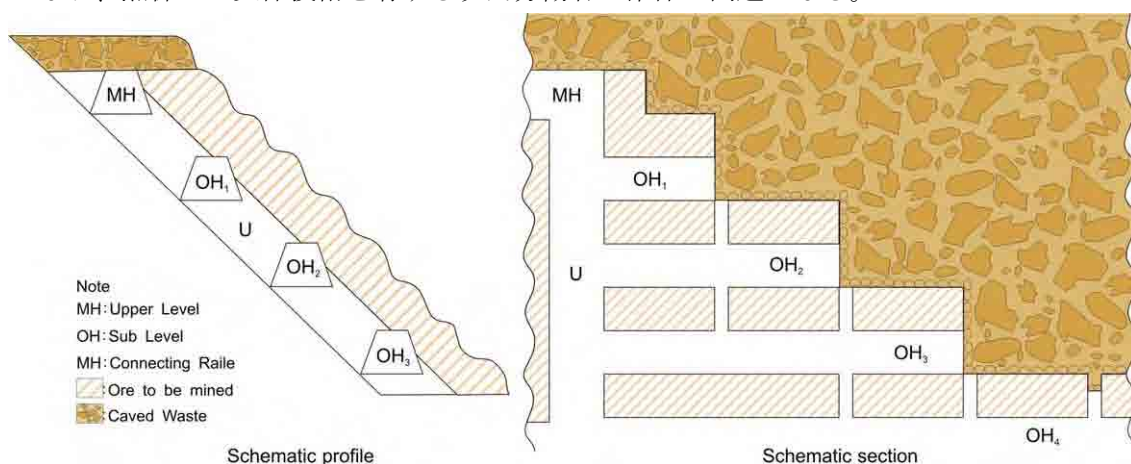


図 4.25 無支保式サブレベルケーシング法(出典：Zajaca 鉱山)

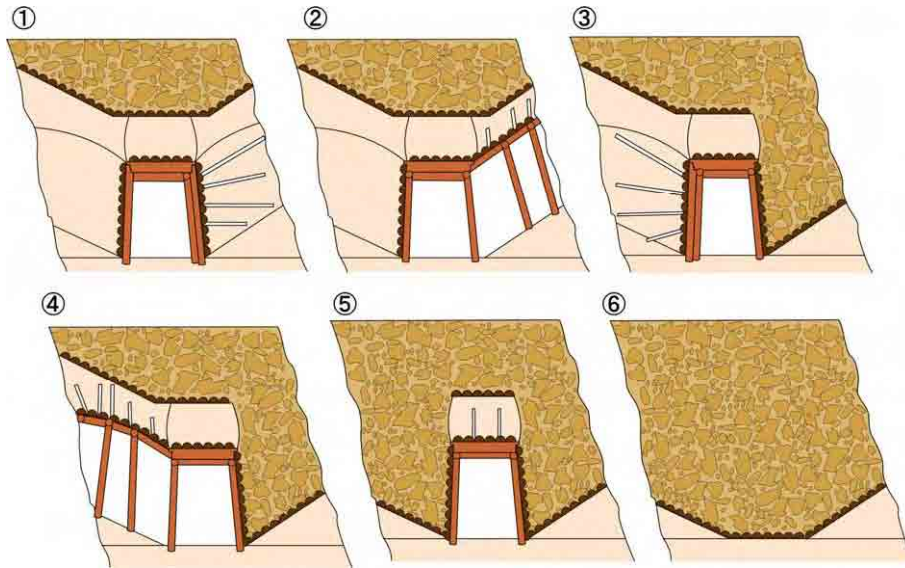


図 4.26 支保式サブレベルケーシング法の採掘順(出典：Zajaca 鉱山)

以上を総合的に考えると、地表から坑内に LHD 坑道を開削すれば、①LHD の搬入搬出が可能となる、②大きな LHD 坑道で通気が確保できる、③支保木材や人員輸送も車を利用すれば容易になる。等の利点が挙げられるが、経費的に大きくなるため、大きな投資に見合うだけの鉱量が確保できるか 1 つのポイントである。例えば、現在の Zavorje の鉱量では、Sb の金属量試算で 2,058t と算出されている。可採率を 50%と仮定すると、約 200 万ドルとなる。坑内採掘の不確定要素を配慮すると、もう少し鉱量があれば、投資し易くなるので、現在の採掘対象周辺で、探鉱を実施して、鉱量の全体像を明確にしてから、最も効果的な位置に LHD 坑道を開削するのが望ましいと考えられる。

4.3 その他の鉱業活動

セ国は鉱物資源に富んでおり、金属鉱物以外にも各種の鉱業活動が行われている。石炭と石灰の採掘活動の実情に関する調査内容を報告し、課題を抽出する。石炭は、国営企業である EPS の所有する Kostolac 炭鉱と、石灰は 2003 年に民営化された Kovilovaca 鉱山である。

4.3.1 Kostolac 炭鉱

現在 Kostolac では、700 万 t 足らずの採炭を行い 1,000Mw の発電施設で、40 億 kWh/年の発電をしているが、将来発電増量のため、採炭量を 900 万 t に増産する予定である。図 4.27 に過去 20 年の生産実績を示すが、金属鉱山と比較して、経済制裁の影響が少ないのは、使用機械がロシア製であったため、部品供給が止まらなかったため

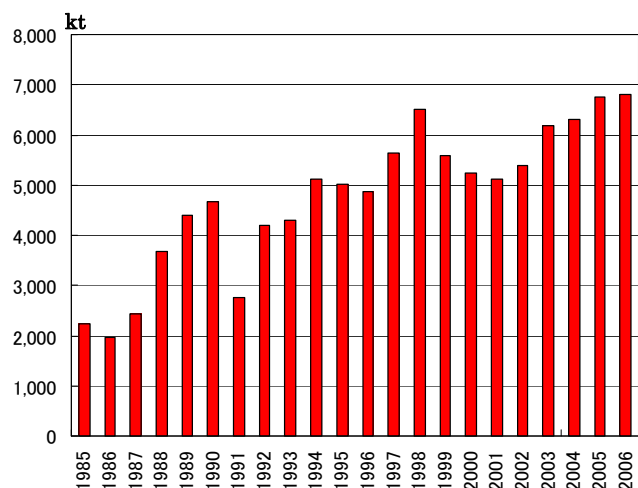


図 4.27 Kostolac の採炭量の推移

ある。尚、巻末に 1976 年以降の生産実績を示す。Kostolac には、発電所部門で 1,000 名、炭鉱部門で 2,600 名の労働者が働いている。尚、セ国民のライフラインに直結していることもあり、民営化の対象にはなっていない。

Kostolac はベオグラードの東約 100km に位置する Branicevo 県の行政区は Pozarevac で、Kostolac 町に本社を置く EPS の発電子会社である。採炭費用は 7~8€/t で、鉱山の採算は黒字である。

Kostolac での石炭生産は 1870 年に始まり、当該地域の経済的な状況を大幅に変えた。最初の石炭は「Stari Kostolac」と言う坑内掘であった。1885 年に「Klenovnik」坑内炭鉱が開山した。これらの坑内炭鉱は 1960 年代に採掘が終了した。この頃に Cirikovac 炭鉱が第 3 の坑内炭鉱として開山し、18 年間操業した。また、露天掘 Kostolac は、セ国最初の露天掘として 1943 年に開山した。この 5 年後にセ国最初の発電所(8MW)が建造され、当地の産出した石炭を燃料とした。この後 10 年間に次々と発電所が増設され、1980 年に露天掘 Cirikovac が生産を開始した。更に、1987 年 4 月に Drmno 露天掘が開山した。



Drmno 炭鉱のピット



Drmno 炭鉱用の揚水状況

現在 Kostolac には、Drmno(採掘域 2.5×5.0km)、Cirikovac(1.5km×2.0km)、Klenovnik (0.8km×1.0km)の 3 つの露天掘ピットがある。

Drmno では、ドラッグラインで剥土し、採炭は 4 台の連続エクスペーターで採炭した後、幅 2m のベルトコンベアで発電所まで直接運搬する。

主力の Drmno は、そのピット底と近く(約 500m)を流れるダニューブ川との水位差が 50~80m もあり、ダニューブ川との間に揚水井戸を 200 本設け、連続揚水しながら、操業をしている。採炭 1t に対し、2t の揚水量である。今後、ピットが移動するに連れ、この揚水井戸を増設する必要があり、500m 移動する度に、40~50 本の井戸が必要と見込んでいる。

Drmno のもう一つの問題は、炭層の上に Viminacijum というローマ時代の遺跡があり、これを避ける必要があることである。大半の遺跡は移設する予定で、2,000 万ディナール(約 25 万ユーロ)/年の移設費が必要で、移設不可の箇所があり、それで 4,000 万 t の採炭ロスが発生する。

Cirikovac 炭鉱では、採炭を開始して既に 30 年以上経過している。2 つの採掘対象の炭層がある。採掘が村民の居住域に 700m まで接近している。現在のままでは、採炭を進めることが困難で、将来は坑内掘をする可能性がある。しかし、剥土比が 7 と高いが、揚水の必要性はない。この炭鉱では約 900 人が働く。

Klenovnik 炭鉱は年間 15 万 t 程度の採炭量で、剥土比 7.0 で 1 台のドラッグラインで採炭をしており、列車で 2km 発電所まで運搬している。炭量が十分でなく、運搬に経費が掛かるので、3 年後には閉山する見込みである。

Kostolac は、現在、700 万 t の採炭で 800Mwh の発電をしているが、近い将来に、900 万 t の増産で 1,000Mwh に増強する計画があり、増産のためのエクスカベーター等の新規機械の購入が課題となっている。

4.3.2 Kovilovaca 石灰鉱山

Kovilovaca 石灰鉱山は、ベオグラードの東 135km の Branicevo 県の Pozarevac 行政区に所在する。当鉱山は 2003 年に民営化され、経営者は当鉱山の経営者になる前は、高校の地理の教師であり、当鉱山取得後は、斬新な経営手法で鉱山の近代化に実績を挙げている。

当鉱山は、1960 年の開山で 40 年以上の歴史を有するが、民営化前の生産実績などの生産データは、総て廃棄されて民営化会社に渡されたため、昔の実態は不明である。現在の確定鉱量は 2,165 万 t であるが、鉱区としては大きな範囲を所有しており、鉱山ライフに関しては、全く心配していない。しかも、表土厚は 0.5m と薄く、採掘条件は恵まれている。石灰は用途に応じて、純度と粒度に応じて出荷している。粒度は 15 種である。粒度は微粉から粒径 700mm まで多岐に分かれている。主力の顧客は、アスファルト道用途が 60%、製鉄溶剤(US スチール)が 30%、砂糖工場が 10% である。US スチールとは 10 年の長期契約を結ぶと共に、ドロマイトの探鉱も共同で実施しており、戦略的パートナーの関係を樹立している。民営化後の年間生産量の推移は、図 4.28 に示す通りである。

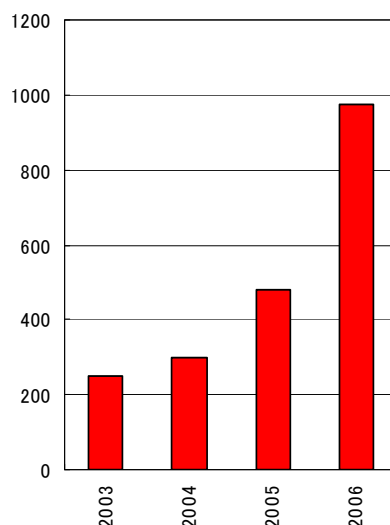


図 4.28 年間生産量の推移

民営化後に、機械を更新したり、能率給制度を導入したり、経営努力した結果、生産は飛躍的に増加し、今年は更に 150 万 t 近く迄増産する計画を立てている。

民営化してから、当時 68 人所属していた従業員を、労働意欲、作業技術などで半分を減首して、厳しく管理する反面、能率給制度で実績を挙げた労働者には大きな給料で答えている。経営では、市場開発には特に留意しており、①品質向上、②受注量の安定供給を実施することで顧客との信頼関係を維持している。

当社の現在の課題は環境問題であり、特に石



灰の洗浄で発生する泥に対し、沈殿地(7つ)を設けて対処している。また増産に伴い、2006年以降 3 交代制を導入したが、夜間の騒音が住民に影響しており、近日中に騒音対策用にフェンスを設ける予定である。又、夏季の乾燥時に発生する粉塵対策としては、散水を実施している。

当鉱山の設計はベオグラードの Contractor 社が担当しているが、ベンチ高さは 20m でベンチ数は 3 つであり、操業は通常の露天掘である。

なお、公的な採掘許可を受けて操業している非金属鉱山は、現在、59 山あるが、他方許可を受けずに操業している鉱山も同等数あると言われており、これの管理は MEM の緊急の課題である。

4.4 製錬事業の活動

4.4.1.セルビアの銅産業の概要

(1) 銅の貿易((Statistical yearbook of Serbia 2006)

year	Export			Import		
	2,003	2,004	2,005	2,003	2,004	2,005
Total	39,319	37,788	59,723	20,812	47,897	41,747
Cyplus	1,673	3,809	19,015	824	4,564	19,386
Italy	2,526	4,164	7,416			
Gemany	4,054	6,040	5,821	950	493	376
USA	3,089	4,341	3,695			
Romania	1,333	1,746	3,111			
Bosnia	1,127	1,010	2,084			
Bulgalia				4,379	23,614	13,077
Russia				4,255	4,974	4,312
Austria				1,298	1,620	2,366
Others	25,517	16,678	18,581	9,106	12,632	2,230

(2) TIR[※] Bor' s の生産量

Year	2003	2004	2005
Cathode	14,000	12,000	31,000

※ RTB Bor の製錬部門

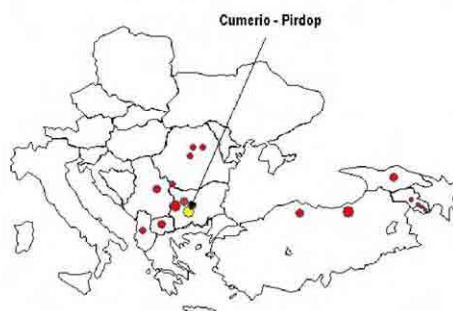
Bor の報告によれば 2004 年 3,584 tons cathode と 1,214 tons の wire and foundry products をセルビア国内に販売した。3,800 tons cathode と 1,337 tons wire and foundry products は海外へ販売した。

1980 年代には Bor smelter の生産量は 150,000 t/y に達し、その約 70%がユーゴスラビア国内の加工業者に供給されていた。

(3) バルカン地域の銅産業

1) 銅鉱山

Proximity to mines in Black Sea region:
>1 million tonnes available



Copper mines ('000 tonnes concentrates)	
Bulgaria	488
Turkey	207
Armenia	113
Serbia	107
Romania	89
Georgia	63
Macedonia	44
Albania	18

精鉱量合計 11,129,000 ton

銅精鉱の銅品位を 25%とした場合銅量は 282,000 ton

2) 銅製錬所

Country	Location (Name)	Capacity x 1,000	Process Type (S); secondary
Albania	Kukes (Gjegian)	5	Reverberatory
	Lac	7	Blast Furnace
	Rubik	5	Reverberatory
Armenia	Alaverdi	7	Reverberatory
		3	Reverberatory (S)
Bulgaria	Eliseina	14	Blast Furnace (S)
	Pirdop	190	Outokumpu Flash
Hungary	Csepel	4	Reverberatory (S)
Italy	Porto Marghera	24	Reverberatory (S)
Poland	Glogow District (Glogow I)	220	Blast Furnace
	Glogow District (Glogow II)	205	Outokumpu Flash
	Wroclaw (Hutmen S.A.)	9	Blast Furnace (S)
	Legnica	93	Blast Furnace
Romania	Baia Mare	35	Outokumpu Flash
	Zlatna	10	Reverberatory (S)
	Zlatna	40	Outokumpu Flash
	Zlatna	13	Reverberatory
Serbia	Bor	170	Reverberatory
Slovakia	Krompachy	20	Reverberatory (S)
Turkey	Samsun	42	Outokumpu Flash

合計 1,032,000 ton

バルカン地域の銅量合計は 282,000 ton でこの地域での銅精鉱は不足している。

ルーマニアの Baia Mare と Zlatna はスクラップを原料とする二次製錬所に転換した。

4.4.2. TIR Bor の操業

RTB Bor の全体と製錬部門の特徴をあげると以下の通りである。

- RTB Bor の銅精鉱の銅品位が低い。20% Cu 以下では国際市場では流通出来ない。そのため自前の製錬所が必要である。
- TIR Bor の生産は Bor mines からの生産だけを基本としていて、輸入鉱石は Smelter への装入鉱石品位を 20%Cu にするために用いられている。28% Cu までは Smelter での操業に差し支えないにも係わらず、最低輸入量での操業をしている。
- 1990 年の経済制裁の以前にはセルビア国内に電気銅を原料とする加工工場があり、約 100,000t/y をユーゴスラビア国内で消費していた。現在、セルビア国内の加工量は約 20,000t/y である。現在、加工工場は RTB Bor を除いて民営化されている。
- 輸入鉱石の購入、電気銅の販売をキプロスの East point 社にゆだねているので、TIR Bor の電気銅が国内に優先的にまわっていない。
- TIR Bor の計算上の銅の採取率は 93%程度で契約採取率 95%を下回っている。
- 銅精鉱中の金銀の無評価品位(Cut off)は金 1 g/t, 銀 30g/t で銅とは逆に差益を出している。ただし、RCを取っていない。
- 硫酸の販売価格が現状、0.5 EURO/t.硫酸であり硫酸を作るだけ赤字を出す状態に

なっている。公害対策として SO₂ を硫酸として固定する場合、公害対策費用として考えなければならない状態である。(以下の検討では銅操業コストとしては考えていない。)

(1) 組織

1) RTB の組織

RTB Bor の組織は以下の通りである。

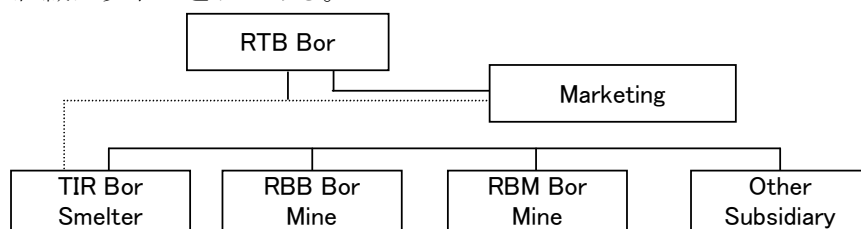


図 4.29 RTB Bor の組織

RTB Bor は持ち株会社で政府の 100% 支配下にある。RTB Bor には Market 部門があり、傘下にある会社は生産、製造会社である。この Market 部門はキプロスの East point 社を使い銅精鉱の輸入、カソードの販売を行っている。また、Bor の鉱山から出る銅精鉱の仕切り価格を決めている。2~3 年間の国際市場の価格参考にしている。ちなみに現在の仕切り価格を 700US\$/t Cu (31.75 C/lb) としている。

銅の契約採取率は国際取引ベースと同じユニットレスである。(銅品位 1%分)

Smelter の生産量は以下の流れで決めている。

- Bor 鉱山の銅精鉱の産出量 (銅品位) Market 部門から製錬部門へ
- ブレンドに必要な輸入精鉱量 製錬部門から Market 部門へ

2) TIR の組織

TIR の組織は以下の通りである。

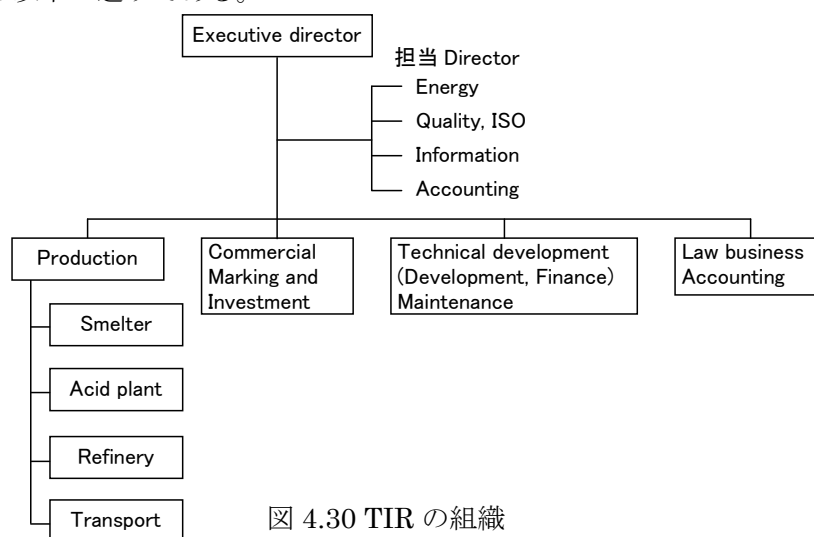


図 4.30 TIR の組織

品質管理について LME 電気銅の登録済みであり、ISO 9001 (品質管理) を一部部門で取得済みである。また Refinery, Blending control ISO 14000 (環境管理) は民営化後

に予定している。

経理に関しては決算書が1年及び3ヶ月ごとにまとめている。なお、この3年間の決算書の要約は下表のようである。

表 4.12 TIR の決算書

	year	2004	2005	2006
On business				
Sales income		4,719,515,000	972,833,566	8,349,505,494
Raw material		2,131,885,563	416,129,030	4,636,136,492
Other direct cost		2,533,952,437	497,773,759	3,811,487,246
Profit and loss		53,677,000	58,930,777	-98,118,244
Financial cost				
Financial income		563,139,973	568	582,696,040
Financial outgoing		1,101,050,971	15,678,646	506,113,018
Profit and loss		-537,910,998	-15,678,078	76,583,022
Non-business profit/loss				
Other income		16,654,434	315,416	118,517,138
Other outgoing		131,890,056	3,443,512	67,889,965
Profit and loss		-115,335,622	-3,128,096	50,627,173
Accounts receivable				30,019,966
Grand total				
Profit Loss (Din)		-599,569,620	40,124,603	59,111,917
Profit Loss (US\$)		-10,240,301	603,204	883,342
Din/US\$		58.55	66.52	66.92
Electrolytic copper t/y				
		11,997	31,284	41,387
LME price US\$/t				
		2,866	3,679	6,722

利益及び損失は単年度で処理されるため、再投資資金が算出できない。投資した場合は償却方式で処理する。なお、貸借対照表を作っていないため在庫調整が判らない、累積損益が判らないなどの問題がある。

TIR には3つの労働組合がある。

- Smelter
- Refinery Dore など Smelter 以外
- Refinery の組合の一部分裂した組合。

(2) 過去の生産量

Bor の Smelter/ Refinery は1961年から反射炉1炉で生産を開始した。1971年からは反射炉2炉体制の17.5万トンの能力になった。

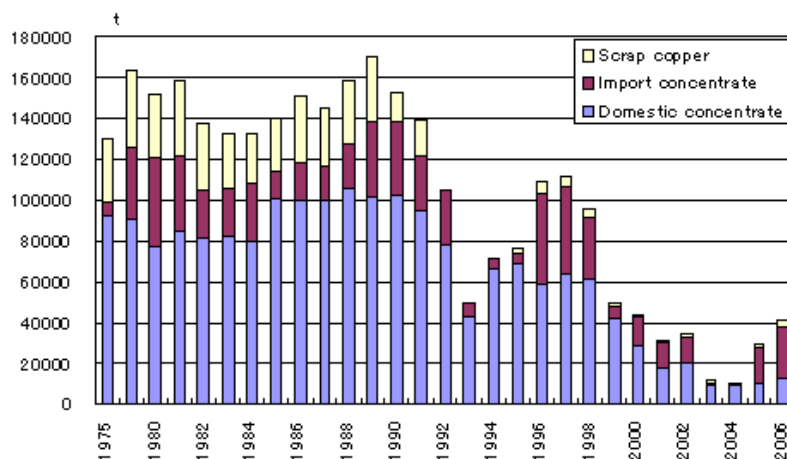


図 4.31 過去の生産量

1990年に国内が内戦状態になり交際的な経済制裁を受けて生産量が急激に落ち始めた。輸入予備品が入手出来なくなったためである。1993年には経済制裁は解かれたが生産量は落ち続けて今に至っている。セルビアの鉱山(RTB Bor)からの銅は100,000 t/yの生産が最高であった。現在の輸入鉱石はキプロスのEASAT POINT社により主にブルガリアから輸入している。

(3) 操業コスト

銅生産能力は16万トンであるが最近の生産量は能力の10ないし20%にしか過ぎない。このため操業コストは高くなっている。過去の運転実績から操業コストを推定した。

(4) フル生産時の操業コストの予測

1991年から2006年までの操業コストの基礎データを受領して生産量に対する操業コストを計算した。

計算結果から生産量別の操業コストを算出した結果を下図に示す。

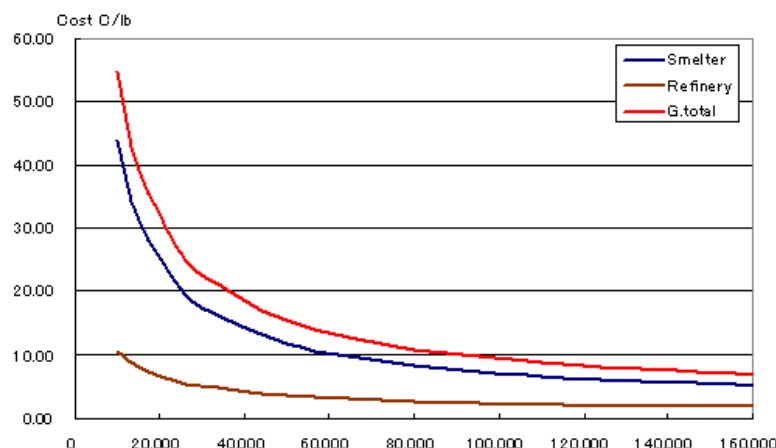


図 4.32 生産別操業コスト

165,000 t/yでの直接操業コストは6.9C/lbである。現在の仕切り価格31.75C/lbで計算した利益の出る生産量の下限は19,500 t/yである。ただし、操業コストは直接費ベースであり間接費を含めた下限生産量はさらに増える。なお、公害対策のために排煙脱硫設備及び廃水処理設備を設置した場合、このコストとして約1.5 C/lbが上積みになると想定すると Total 8.4 C/lbとなる。

また、世界の製錬所の操業コストとBorの操業コストを比較検討した。

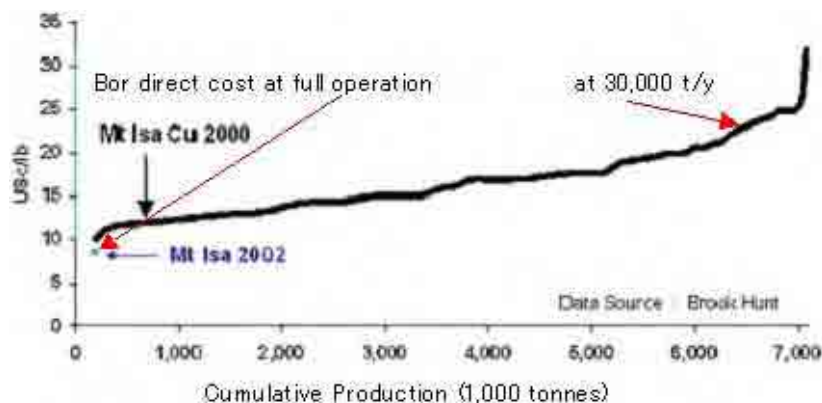


図 4.33 世界の製錬所コスト

Bor の操業コストはフル生産をすれば世界の製錬所の中ではもっとも安価となる。ただし、このコスト算出にあたり、2005 年の実績価格を使用した。すなわち電気代 0.3C/kwh、燃料代 120US\$/t、人件費 5,000US\$/man.year とした。これらの価格は世界水準に比べて安く、経済成長に従って高くなっていくと考えられる。ただし、現在のセルビアの経済成長およびインフレ等を考慮すると将来的には操業コストは上昇すると考えられる。

(5) 銅精鉱品位

Smelter の操業は精鉱量を基準'に行われる。コストは精鉱量に比例する部分が多いので、精鉱中の銅量が少なければ銅量ベースの操業コストは高くなる。RTB Bor で使用されている精鉱品位は世界の平均精鉱品位 28%に比べて極めて低い。RTB Bor の鉱山から産出される精鉱の銅品位は以下のとおりである。

Bor	10~12 % Cu	12~18g/t Au	150~350 g/t Ag
Veliki Krivelj	16~22 % Cu	50~200g/t Au	600~1500 g/t Ag
Majdanpek	10~16 % Cu	4~7g/t Au	30~60 g/t Ag

銅精鉱としての国際的な取引は Cu 20%以上が通常である。Bor の精鉱は国際的取引品位に比較して下回っている。従って、RTB Bor の鉱山の銅精鉱は国際的な市場での取引は難しいので自前の Smelter が必要になる。しかし、選鉱工程の改善により 20%以上の精鉱を生産することが、Bor の今後の重要課題であり、コスト削減に不可欠である。

なお、金は 1g/t、銀は 30 g/t 以上を売買の対象としている。例えば、Majdapec の銅精鉱中の銀は 30~60 g/t で精鉱で外部に販売した場合、銀は 30 g/t 以下は価格として評価されない。すなわち 60g/t としても評価は 30 g/t になる。

また、銅精鉱品位は銅品位の高い輸入鉱を使用して Bor の精鉱とブレンドし、20~22% Cu になるように調整している。2000 年以降輸入鉱が少なくなり銅品位は下がって 15%程度までになった。2005 年には輸入鉱の使用によりやや回復が見られる。マットは 35%から 45%の範囲で運転している。スラグは概ね 0.5%台を保っている。銅精鉱、マット、スラグの銅品位のトレンドを図 4.34 に示す。

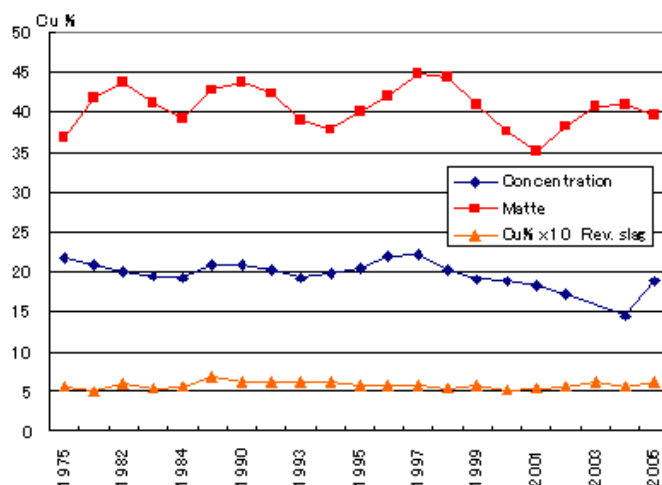


図 4.34 銅精鉱、マット、スラグの銅品位のトレンド

4.4.3.銅精錬事業

(1) TC/RC と 操業コスト

TC/RC とは smelter/refinery が受け取る加工費である。従って、操業コストは TC/RC より低くなければ利益が出ない。

TC は精鉱の量あたりの単価であるが銅量あたりに換算して C/lb でも表される。従って精鉱中の銅品位によって変わることになる。下の表は換算値である。たとえば TC 70 \$/t, では精鉱中の銅品位が 28% のときは 銅量ベースで TC 11.8 C/lb, であるが 10% Cu になると 35.3 C/lb になる。下表に銅精鉱品位による TC/RC の価格比較を載せた。

表 4.13 TC/RC 一覧表

	Concentrate Cu %	Combined TC/RC C/lb	TC C/lb	RC C/lb	Cu recovery Contract %	
TC \$/t	100	10	60.4	50.4	10.0	90.0
RC C/lb	10	15	42.4	32.4	10.0	93.3
		20	33.9	23.9	10.0	95.0
		28	26.8	16.8	10.0	96.4
TC \$/t	90	10	54.4	45.4	9.0	90.0
RC C/lb	9	15	38.2	29.2	9.0	93.3
		20	30.5	21.5	9.0	95.0
		28	24.1	15.1	9.0	96.4
TC \$/t	80	10	48.3	40.3	8.0	90.0
RC C/lb	8	15	33.9	25.9	8.0	93.3
		20	27.1	19.1	8.0	95.0
		28	21.4	13.4	8.0	96.4
TC \$/t	70	10	42.3	35.3	7.0	90.0
RC C/lb	7	15	29.7	22.7	7.0	93.3
		20	23.7	16.7	7.0	95.0
		28	18.8	11.8	7.0	96.4
TC \$/t	60	10	36.2	30.2	6.0	90.0
RC C/lb	6	15	25.4	19.4	6.0	93.3
		20	20.3	14.3	6.0	95.0
		28	16.1	10.1	6.0	96.4
TC \$/t	50	10	30.2	25.2	5.0	90.0
RC C/lb	5	15	21.2	16.2	5.0	93.3
		20	16.9	11.9	5.0	95.0
		28	13.4	8.4	5.0	96.4

なお、利益は TC/RC - 操業コストである。TC と TC/RC を合わせて表示すると以下の図 4.35 になる。

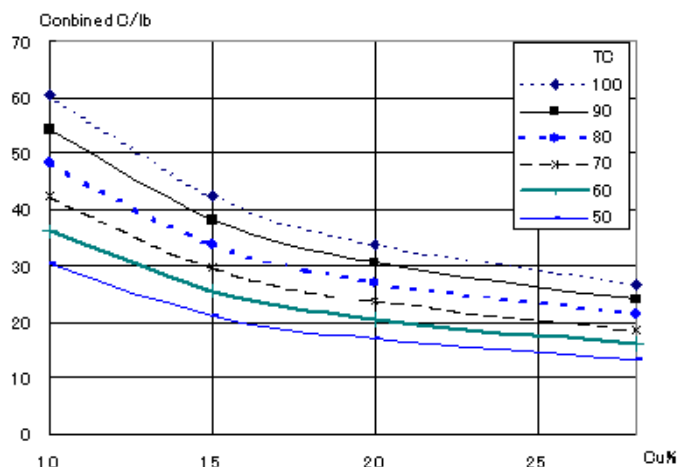


図 4.35 TC/RC と 操業コストの関係図

過去の世界の TC/RC の動きを下の図 4.36 に示した。銅精鉱は 28% Cu を標準としている。これを見ると TC/RC は、LME 価格に相関して変化している。RTB Bor において、鉱山側と製錬側との売鉱契約上の TC/RC は不明であるが、自山鉱とはいえ、国際スタンダードで

の売買を行い、売上・コスト管理を行っていく必要がある。

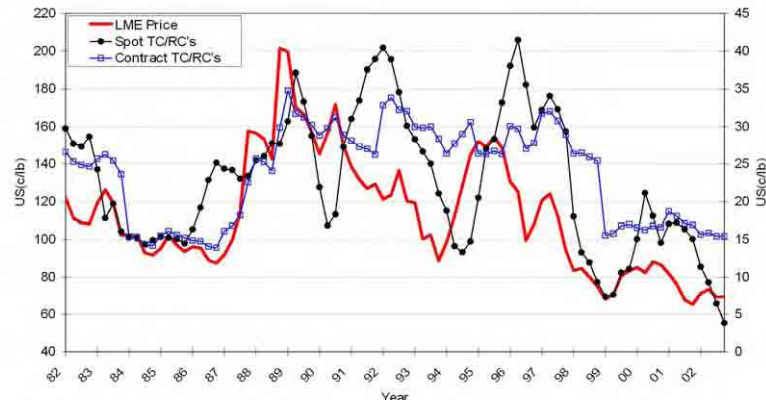


図 4.36 LME Copper Price and TC/RC sin real terms (2002 US /lb)

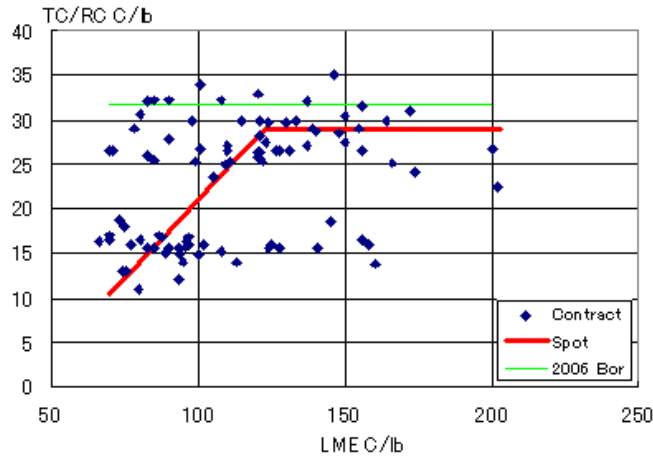


図 4.37 LME 価格との相関

TC/RC は鉱石の需給状態により、売り手（鉱山側）と買い手（製錬側）の関係で決まるためきちんとした相関は認められないものの最大で 35C/lb (TC/RC=130/13) で、最低では 10C/lb(TC/RC=40/4)程度である。また、その他の製錬収入源として銅の採取差益、硫酸の収益、金、銀の加工収益と採取差益がある。これ等に関しては以下に述べる。

(2)銅の採取差益損

銅精鉱の売買では銅品位のパーセンテージから 1%を引いた値で取引される。つまりそれ以上の実収率があればそれが利益になる。採取率 1%あたりの利益(損失)は以下の表 4.14 のようになる。

表 4.14 LME 価格別銅の採取差損益

LME price \$/t	\$/y	\$/t	C/lb
2,000.0	3,200,000	20	0.91
3,000.0	4,800,000	30	1.36
4,000.0	6,400,000	40	1.81
5,000.0	8,000,000	50	2.27
6,000.0	9,600,000	60	2.72
7,000.0	11,200,000	70	3.18
8,000.0	12,800,000	80	3.63
9,000.0	14,400,000	90	4.08

TIR Bor の銅の採取率を下図に示す。

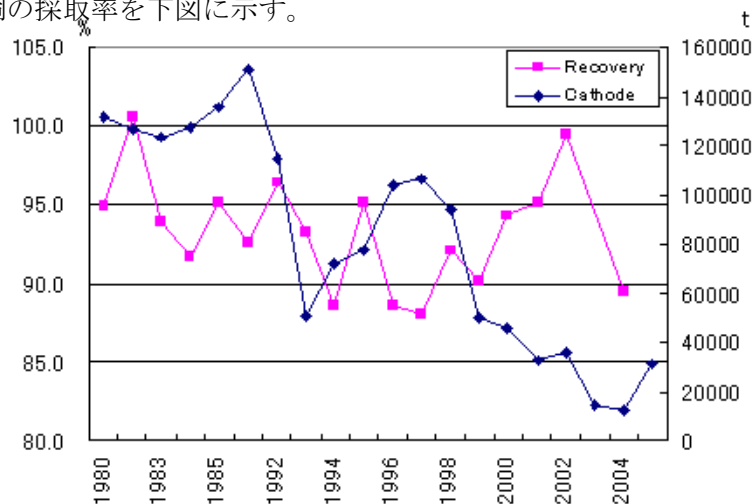


図 4.38 TIR Bor の銅採取率トレンド

1980 年以降の銅採取率は 93%である。銅精鉱中の銅品位が 20%のときの契約採取率は 95%であるので 2% 程度の損失を発生している。通常の製錬所では採取率は 98%程度あり、Bor とは逆に銅回収で利益を出している。測定出来るロスは反射炉スラグである。採取率換算 2.3% のロスと推定される。なお、Bor では 2001 年から銅の採取率を上げるため積み上げていた反射炉スラグを選鉱してスラグ中の銅の 50%程度を回収している。銅の損失源を精査して早急に対策をとる必要がある。少なくとも採取率は契約採取率以上を確保しなければならない。

(3) 硫酸の収益

銅精鉱中の硫黄から硫酸を生産するが、硫黄は精鉱の価格に含まれていない。操業見合いのコスト以上で売れば収益となる。しかし、近年、硫酸は供給過剰で良い条件での販売は難しい。現状 運転コストが 20 EURO/t.硫酸に対して硫酸の販売価格は 0.5 EURO/t.硫酸であり硫酸を生産するだけ赤字を出す状態になっている。したがって硫酸の利用を検討していく必要がある。現在ケーススタディで実施中の廃さいの調査・評価・抽出試験で銅回収に SXEW を利用できれば、将来の硫酸問題の一部の解決に結びつく。

なお、硫酸工場は 3 工場を保有しているが補修部品が入手できないので、そのうち 2 工場の運転を停止している。

(4) 金銀の採取差益

銅精鉱中の過去の平均 Au、Ag はそれぞれ 5.5 g/t, 36.7 g/t であった。Cut off が 1g/t Au, 30g/t Ag とするとその契約採取率は 82% Au, 18% Ag となる。実際の採取率はおよそ 95% Au, 88%Ag であり採取差益を得ている。このような採取差益を管理していくことが、経営改善につながる。

4.4.4 公害対策

公害の現状（操業度が低い状態）について、“ Environment Assessment of RTB Bor

operation, August 2006".に基づいて検討した。

(1) ガス関係

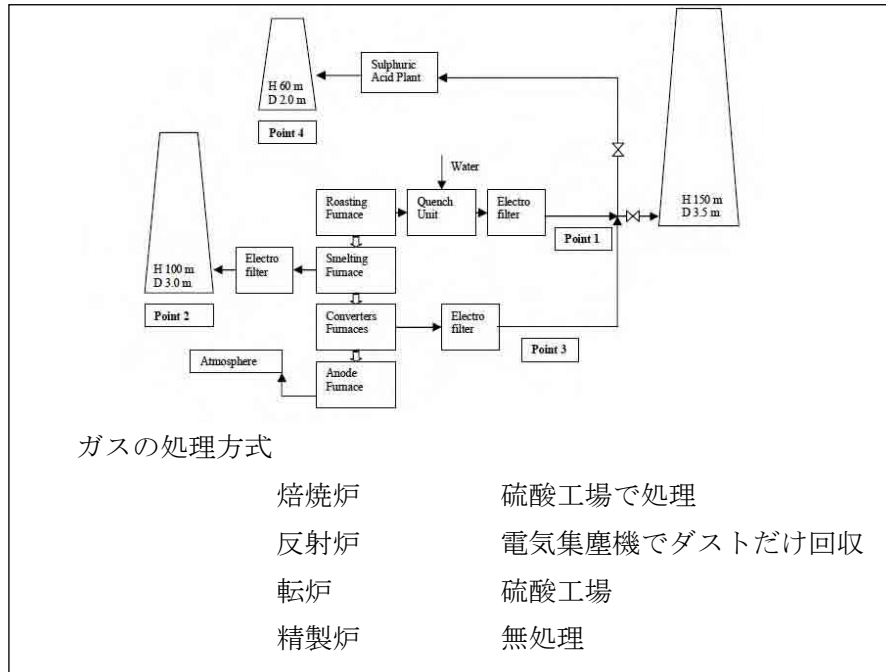


図 4.39 ガスの流れと処理方式

1) SO₂ ガス

A. 硫酸工場からの排気ガスの予測(フル生産ではない)では、硫酸工場の排ガスは高さ 60 m の煙突から排出される (図 4.39 の point 4)。

	Gas volume Nm ³ /h	SO ₂ %	Dust g/Nm ³
Roaster	34,211	8.8	0.04
Converter	92,905	5.6	0.52
Total	127,116	6.5	0.39

↓

Sulfuric acid plant Conversion efficiency 95%			
--	--	--	--

↓

S.A plant out	120,760	0.34	
---------------	---------	------	--

図 4.40 SO₂ ガスの排出予測

B. 反射炉ガス

表 4.15 反射炉ガスの排出予測

	Gas volume Nm ³ /h	SO ₂ %	Dust g/Nm ³
Rev. furnace	55,146	0.58	1.23

反射炉ガスは高さ 100 m の煙突から排出される (図 4.39 の point 2)。

なお、SO₂ の排出規制は EU では、2,000 mg/m³ (as 700ppm)、Serbia では 1,200 mg/m³ (as 420ppm)である。

2) ダスト

反射炉の電気集塵機的设计仕様は 100,000Nm³/hr(2 炉分)で出口濃度は 0.5 g/Nm³. である。ガス量が设计地の半分であるにも関わらず排出濃度は2倍以上である。図 4.41 はガス量と排出濃度の関係を示したものである。現在 1 炉操業でガス量は 55,000 Nm³/hr であるので、まともな運転をしていれば 0.012 g/Nm³ 程度になるはずである。しかし、測定値は 1.23 g/Nm³ である。メンテナンスが不十分であると推測される。

さらに銅ロスの面から考えると、ダスト中の銅濃度を 10%とした場合ダストとして放出している銅は 55,000 Nm³/hr x 1.23 g/Nm³ x 10% x 24 時間 360 日=60t/y となる。銅価格を 7,000\$/t とすると 420,000\$/y の損失となる。メンテナンスコストより回収金額が上回ると思われる。なお、この電気集塵機は 2007 年 9 月に修理することに決まった。

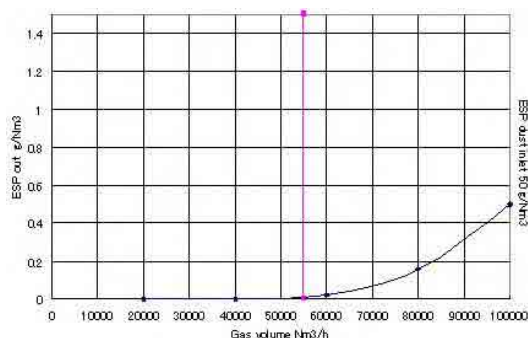
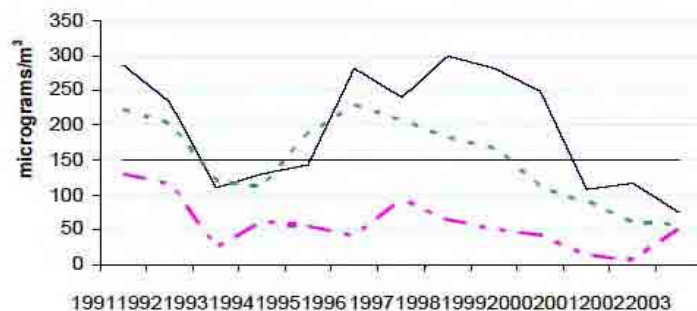


図 4.41 ガス量と排出濃度との関係

3) その他の SO₂ ガス源

精製炉ガスは、溶体輸送時のガスと、転炉からの漏れガス(発電設備)である。これらのガスも有害であり、長期間での放出で環境に影響を与えており、処理しなければならない。



Year	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Smelter production 000t.y	95.8	?	70	69	70	59.9	59	50	54	45	34	42	18

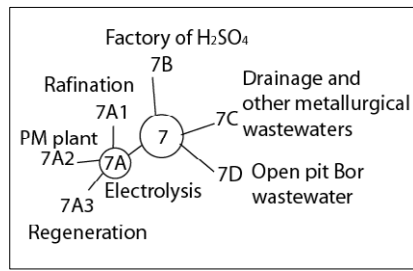
図 4.42 SO₂ 着地濃度の例 (Near Bor Smelter)

現在 地方政府によって着地濃度計が製錬所のまわりに 3 箇所に設置されている。この濃度計は Smelter の中央コントロール室に設置されている。濃度が所定以上に上がれば操業度を落としている。硫酸工場は 3 ラインあるが現状は#2 ラインだけが稼動している状態である。

(2) 排水

排出規制値と排出地点は下記の図 4.43 のようになっている。なお、WB のガイドラインを

表 4.16 に示した。



Effluent	m3/day	Refinate	Acid plant	Total
		80	360	440
PH			1.92	
Zn	g/l	0.16	0.057	0.076
As	g/l	0.16	0.12	0.127
Cu	g/l	10	0.07	1.875
Cd	g/l		0.002	
Pb	g/l	0.0061	0.0087	0.008
Fe	g/l	0.4	1.18	1.038
S.S	g/l			
Hg	g/l			
Mn	g/l			
Mn	g/l			
Cl	g/l	0.025		
H2SO4	g/l	100	0.54	18.624
Total salt	g/l			
Soluble substance	g/l	0.48	1.5	1.315

図 4.43 廃水の場所と排出規制値

表 4.16 セルビアの排出規制値と WB のガイドライン

Parameter	Unit	Serbian Legislation		EU	WB Guidelines			
		Class I and II	Class III and IV		Legislation	Mining and Milling	Base Metal & Iron Ore Mining	General Guidelines
pH		6,8 - 8,5	6 - 9 (2)			6 - 9		
BOD ₅	mgO/l				50			-
COD	mgO/l					150	250	-
Oil and greases	mg/l				20	10	10	-
Total Suspended Solids (TSS)	mg/l	10 Class I	80 (2)				50	
Total Dissolved Solids (TDS)	mg/l	30 Class II						
Heavy metals - Total	mg/l					10		10
Arsenic	mg/l	0.05	0.05		1.0	0.1		0.1
Cadmium	mg/l	0.005	0.01	0.2 (3) (5)			0.1	
Chromium (hexavalent)	mg/l	0.1	0.1		0.05	0.1		-
Total Chromium	mg/l				1.0			
Copper	mg/l	0.1 (0.01)*	0.1		0.3	0.5		0.5
Iron	mg/l	0.3	1.0		2	3.5		3.5
Lead	mg/l	0.05	0.1 (5)		0.6	0.2		0.1
Mercury	mg/l	0.0001	0.0001	0.05 (4) (5)	0.002	0.01		0.01
Nickel	mg/l	0.05	0.1 (5)		0.5	0.5		-
Zinc	mg/l	0.2	1.0		1.0	2		1.0
Cyanide	mg/l	0.1	0.1			1.0		
Free Cyanide	mg/l					0.1		
WAD	mg/l	6.0	10.0			0.5		
Temperature Increase	°C				<5°C**			≤3°C****
					<3°C***			

(1) Maximum Allowable Concentrations

* for salmonides

** Max 5° C above ambient temperature of receiving waters

*** Max 3° C if receiving waters >28°

**** The effluent should result in a temperature increase of no more than 3° C at the edge of the zone where initial mixing and dilution take place. Where the zone is not defined, use 100 meters from the point of discharge.

(2) the limit value is not defined for Class IV waters

(3) Directive 83/513/EEC. Limit value applicable since 01/01/1989 to the industrial sector "extraction of zinc, refining of lead and zinc, industry of non-ferrous metals and of metallic cadmium". Average monthly concentration of total cadmium.

(4) Directive 84/156/EEC. Limit value applicable since 01/01/1989 to the industrial sector "extraction and refining of non-ferrous metals".

(5) Included in the Priority Substances list of the Decision 2455/2001/EC. According to art. 16 specific measures shall be adopted by the EC for the progressive reduction and the cessation or phasing out of discharges, emissions and losses.

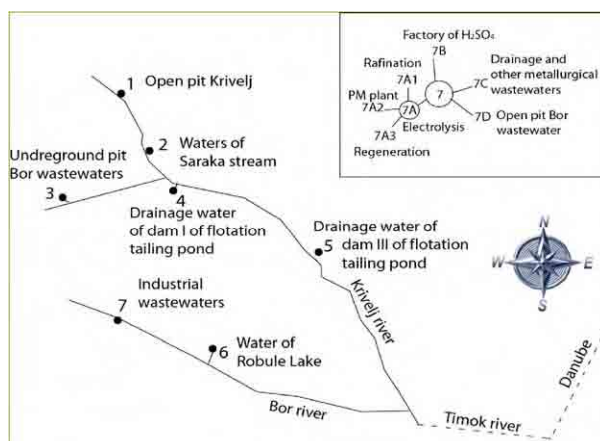


図 4.44 RTB Bor の排出地点と水質測定地点

表 4.17 RTB Bor の水質測定値

Sampling point	1	2	3	4	5	6	7	Standard
Water amount m3/day	2,330	3,802	3,599	1,944	3,024	484	2,330	Class IV
material	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Fe	0.380	26.129	616.201	1.465	2.090	895.000	322.500	0.100
Cr+6+/Cr3+	0.000	0.002	0.003	0.003	0.006	0.002	0.009	0.1/0.5
Cu	127.500	76.680	174.677	0.200	0.069	55.160	54.040	0.100
Ni	0.076	0.113	0.154	0.004	0.005	0.322	1.046	0.100
As	0.000	0.004	0.244	0.006	0.040	0.001	0.017	0.050
Zn	3.100	1.020	31.327	0.311	0.219	26.500	1.920	1.000
Pb	0.000	0.009	0.007	0.009	0.009	0.010	2.083	0.100
Cd		0.011	0.026	0.002	0.003	0.034	0.225	0.010
Mn		11.490	10.043	0.633	1.063	129.000	9.630	

4.4.5. BOR Smelter の改造

(1) 反射炉方式

1) 生産能力を現状の 160,000 t/y とした場合と現状設備に公害対策を織り込む場合とで検討してみた。

現状の反射炉方式は操業コストが安く、生産量を増加すればさらに操業コストを安くすることが出来る。いまのところ、Bor の銅精鉱だけを処理することを基本に操業しているが、生産量を増やして操業コストを抑えることで、より多くの利益を生むことが出来る。

1990 年までの操業実績から 165,000 t/y の生産実績をもっている。今まで放置されたメンテナンスの実施と公害対策設備を織り込むことで操業の継続は可能である。

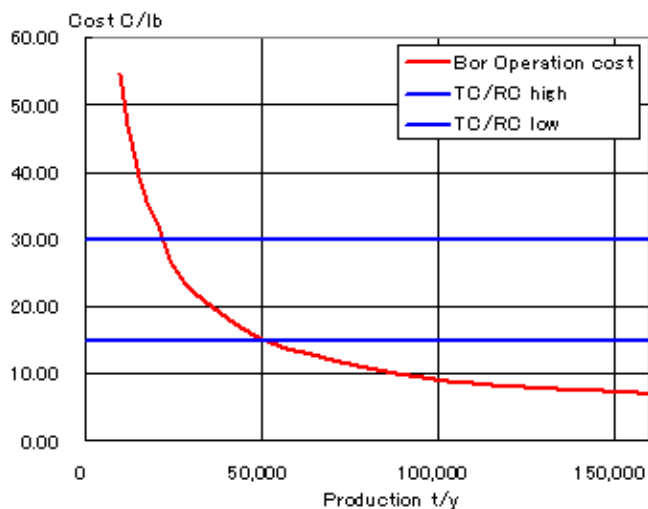


図 4.45 限界生産量

図 4.45 のように過去の TC/RC の上限を 30C/lb とすれば 20,000 t/y 以上、TC/TC の下限を 15 C/lb とすれば 45,000t/y 以上で利益を得ることが出来る。つまり、45,000 t/y 以上の生産を行なうことが要求される。

なおフル操業時の Material balance を表 4.18 のように想定する。

表 4.18 フル操業時のマテリアルバランス

	OTY	Cu %	Cu	S %	S	Fe %	Fe	SiO2 %	SiO2
Cu CONCENTRATION	829,165	20.00	165,833	34.00	281,916	27.00	223,874	9.00	74,625
SILICEOUS ORE	174,398							85.00	148,239
SLAG CONC.	0	20.00	0	8.30	0	37.00	0	10.00	0
TOTAL	1,003,563	16.52	165,833	28.09	281,916	22.31	223,874	22.21	222,864
CONCENTRATION	1,002,560		165,667		281,634		223,651		222,641
TOTAL	1,002,560		165,667		281,634		223,651		222,641
FS CHARGE	1,002,560		165,667		281,634		223,651		222,641
RETURN DUST	65,166	22.40	14,597	3.80	2,476	23.70	15,444	12.00	7,820
CF BOILER DUST	4,483	25.00	1,121	13.00	583	7.00	314	10.00	448
DUST TOTAL	69,650	22.57	15,718	4.39	3,059	22.63	15,758	11.87	8,268
CF SLAG	274,215	7.80	21,389	2.20	6,033	52.00	142,592	16.00	43,874
TOTAL	1,346,424		202,774		290,726		382,001		274,783
MATTE	460,798	40.00	184,319	25.50	117,504	31.10	143,308		
REV. SLAG	636,760	0.57	3,655	1.20	7,641	35.00	222,866	35.00	222,866
REV. DUST	65,166	22.40	14,597	3.80	2,476	23.70	15,444	12.00	7,820
BURNT SULFER					162,814				
TOTAL			202,571		290,435		381,619		230,686
MATTE	460,798	40.00	184,319	25.50	117,504	31.10	143,308		
ANODE SCRAP	29,490	98.50	29,047						
RETURN from AF	11,496		10,451						
SILICEOUS ORE	56,181							80.00	44,945
D49 TOTAL	557,965		223,817		117,504		143,308		44,945
MOLTEN BLISTER	203,788	98.00	199,712						
CF SLAG	274,215	7.80	21,389	2.20	6,033	52.00	142,592	16.00	43,874
CF BOILER DUST	4,483	25.00	1,121	13.00	583	7.00	314	10.00	448
CF EP DUST	2,649	18.00	477	12.00	318	8.00	212	15.00	397
CF BURNT SULFER					109,983				
CF TOTAL			222,698		116,916		143,117		44,720
REV. SLAG	636,760	0.57	3,655	1.20	7,641	35.00	222,866	35.00	222,866
SLAG CONC.	0	20.00	0	8.30	0	37.00	0	10.00	0
SLAG TAILING	636,760	0.57	3,655	1.20	7,641	35.00	222,866	35.00	222,866
TOTAL	636,760		3,655		7,641		222,866		222,866
BLISTER	201,729	99.00	199,712						
ANODE	190,011	99.50	189,061						
CAST MOLD	3,800	99.50	3,781						
REJECT ANODE	5,700	99.00	5,643						
AF SLAG	1,900	50.00	950						
OTHERS	95	80.00	76						
TOTAL	201,507		199,512						
REFINED ANODE	190,011	99.50	189,061						
RECYCLE ANODE	0	99.50	0						
FS GAS					159,558				
CF GAS					107,783				
TOTAL					267,341				
SULFURIC ACID	791,196			32.10	253,974				
TOTAL RECOVERY %			97.01		90.09				

前提条件は下記の通りである。

- 排煙脱硫処理

160,000 t/y の生産時の排煙脱硫設備の仕様を下表のように想定する。

	Nm3/hr	SO2 %	SO2 Nm3/h
Reverberatory gas	140,872	0.75	1057
Sulfuric acid exhaust gas	278,650	0.32	900
Total	419,522	0.47	1957

- 建設費（石灰石膏法） 30 million US\$
- 運転コスト 2.1 million US\$ /y include indirect cost
0.59 C/lb as 160,000 t/y copper production
- 廃水処理設備
 - 現状 440m³/day の廃水があるが、フル生産時の排水量を 530m³/day と想定する
 - 建設費（中和法+鉄共沈法） 3.5 million US\$
 - 運転コスト 3 million US\$ /y include indirect cost
0.85 C/lb as 160,000 t/y copper production
- 公害対策総計
 - 建設費 33.5 million US\$
 - 運転コスト 1.44 C/lb

なお、World Bank Report (Environmental assessment of RTB Bor Operation) では投資額は 63 million EURO と報告されている。これは反射炉を電気炉に変えて発生ガス量を少なくして排煙脱硫を行う方式である。

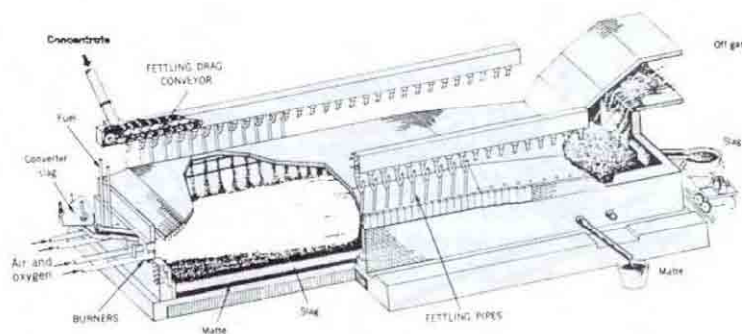
(2) 製錬方式

銅の製錬は古くから行なわれており、いろいろな方式はあるが、基本的には二段階に分かれていて、第一段の溶錬炉 (Primary smelting) と第二段の転炉 (secondary smelting) に分かれる。

溶錬炉にはいろいろな種類があるが、転炉はほとんど P.S 転炉が用いられている。

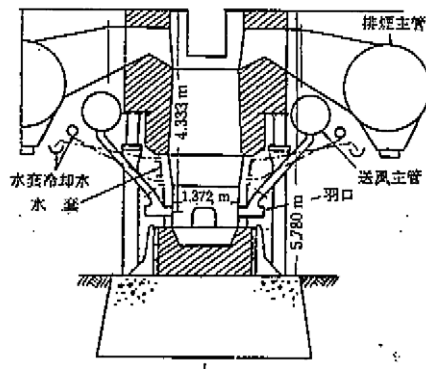
① 第一段の溶錬炉

A. 反射炉 (Reverberatory furnace) RTB Bor の方式。



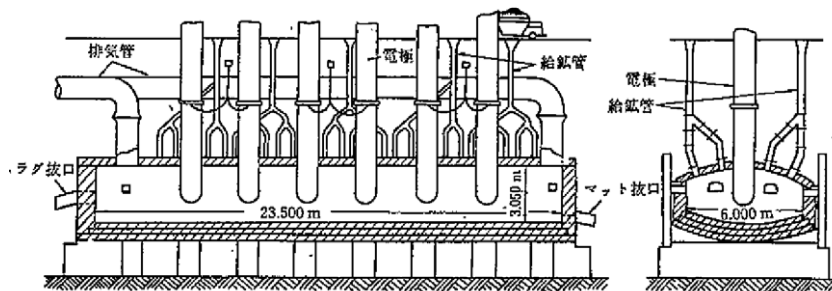
大量の排ガスが出る。また、排ガス中の SO₂ 濃度は 1%以下と低く硫酸回収に向かない。このため他の方式に転換されている。産出されるマットは転炉で処理される。産出するマットの銅濃度が低いので転炉での負荷が大きくなる。

B. 溶鉱炉 (Blast furnace)



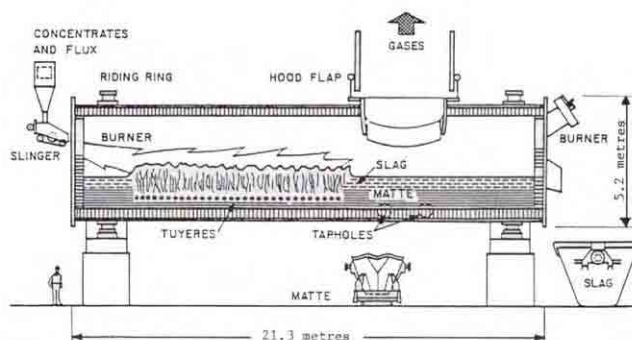
原料、燃料を事前に塊状にする必要がある。発生する SO₂ の濃度が低いので硫酸回収に向かない。また、大量生産に向かないなどの理由で用いられなくなっている。産出されるマットは転炉で処理される。産出するマットの銅濃度が低いので転炉での負荷が大きくなる。

C. 電気炉(Electric furnace) 鉍石を溶解するだけの炉である。溶錬機能として事前に焙焼処理を行なう。



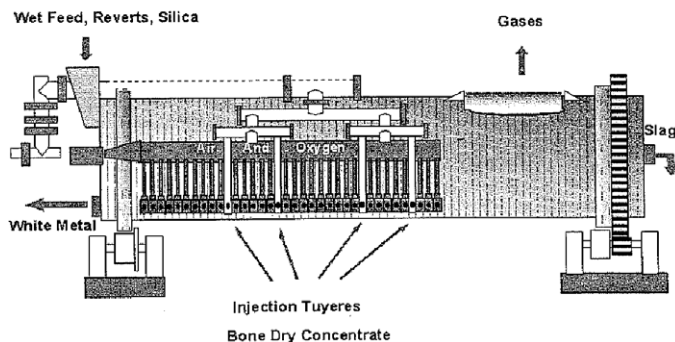
大量の電気を使用するので生産コストが高くなるので安い電気が得られるところでしか使用できない。産出されるマットは転炉で処理される。産出するマットの銅濃度が低いので転炉での負荷が大きくなる。

D. ①ランダ炉 (Noranda furnace)



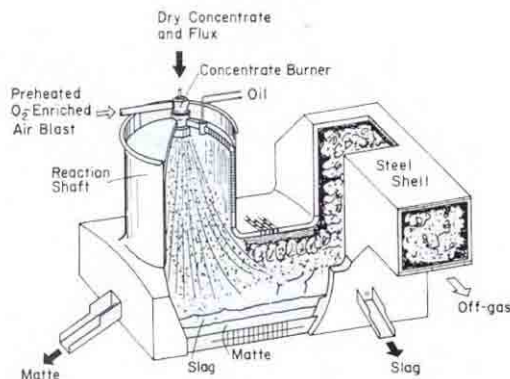
高濃度の SO₂ ガスが得られるのでダブルコンタクト方式の硫酸工場でガスが処理できる。産出されるマットは転炉で処理される。産出するマットの銅濃度が高いため転炉での負荷は小さい。

E. CMT ノランダ炉に酷似している。



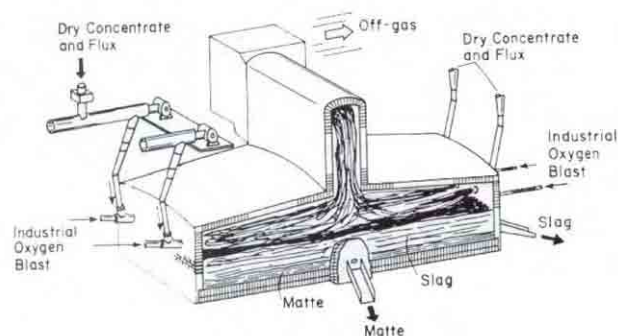
高濃度のSO₂ガスが得られるのでダブルコンタクト方式の硫酸工場でガスが処理できる。産出されるマットは転炉で処理される。産出するマットの銅濃度が高いので転炉での負荷は小さい。

F. 自溶炉(OKO flash furnace) 現在世界で、最も多く採用されている炉である。



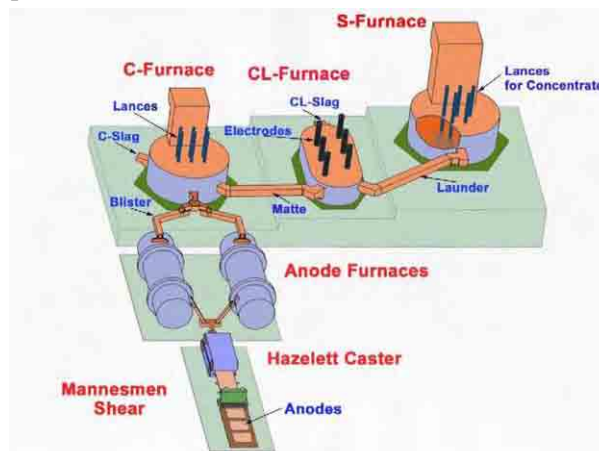
高濃度のSO₂ガスが得られるのでダブルコンタクト方式の硫酸工場でガスが処理できる。産出されるマットは転炉で処理される。産出するマットの銅濃度が高いので転炉での負荷は小さい。

G. インコ方式自溶炉(INCO flash furnace)



100%の酸素を使用する。高濃度のSO₂ガスが得られるのでダブルコンタクト方式の硫酸工場でガスが処理できる。産出されるマットは転炉で処理される。産出するマットの銅濃度が高いので転炉での負荷は小さい。

H. MI プロセス (MI process)



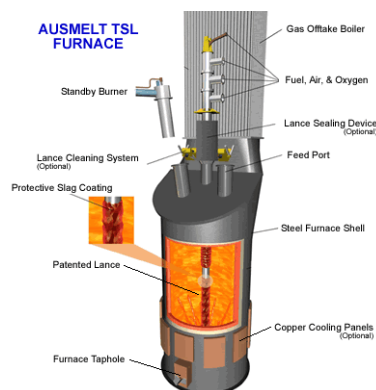
溶錬炉からアノード炉まで連続で運転できる。高濃度の SO_2 ガスが得られるのでダブルコンタクト方式の硫酸工場でガスが処理できる。C-Furnace が転炉の機能を行なう。

また、連続であるため、マットをレードルで移動する必要もなく、レードルを使わないためレードルから発生するガスもない。現在、最も大気公害の少ない製錬法式である。

I. ISASMELT 炉

高濃度の SO_2 ガスが得られるのでダブルコンタクト方式の硫酸工場でガスが処理できる。産出されるマットは転炉で処理される。産出するマットの銅濃度が高いので転炉での負荷は小さい。

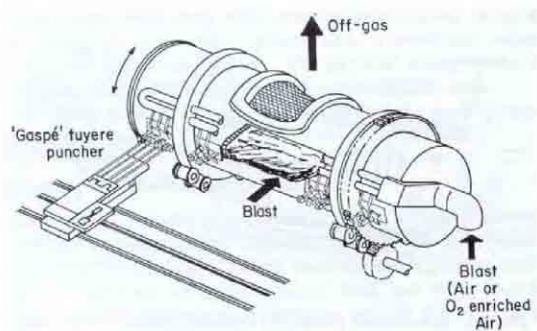
J. AUSMELT 炉 ISA 炉と酷似している。



高濃度の SO_2 ガスが得られるのでダブルコンタクト方式の硫酸工場でガスが処理できる。産出されるマットは転炉で処理される。産出するマットの銅濃度が高いので転炉での負荷は小さい。

②第二段転炉

RTB Bor で使用されている PS 転炉が代表的な方式である。



PS 転炉の他に MI プロセスの C Furnace, 自溶炉転炉 (Flash converter)、ISASMEL, AUSMELT などの炉が第二段転炉として使用されるようになってきている。

③硫酸工場プロセス

硫酸工場のプロセスとしてシングルコンタクト方式とダブルコンタクト方式がある。製錬排ガス中の SO₂ ガスは 410°C 以上で排ガス中の酸素と反応して発熱しながら SO₃ に転化する。反応は SO₂ の 95% が SO₃ になって終了する。生成した SO₃ ガスは水と接触して硫酸になる。

この反応発熱量で温度を保つことが出来るが、排ガス中の SO₂ ガス濃度が低いと反応熱不足のため反応温度を保つことが出来なくなる。これがシングルコンタクト方式である。

SO₃ ガスを硫酸として除去してしまうと、残留 SO₂ は新たに酸素と反応して SO₂ の約 90% を SO₃ に転化させることが出来る。これを再び水と接触させて硫酸を生産できる。これをダブルコンタクト方式という。ダブルコンタクト方式では 99.5% の SO₂ を除去できる。

無燃料で反応温度を保つためにはシングルコンタクト方式では 4% 以上、ダブルコンタクト方式では 6% 以上の SO₂ 濃度が必要である。例えば 6% SO₂ のガスをシングルコンタクト硫酸工場処理した場合の排出ガス SO₂ 濃度は 3,000ppm であるがダブルコンタクトの硫酸工場であれば 300 ppm である。反射炉排ガスは SO₂ 1% 以下であるため硫酸工場では処理できない。RTB Bor の現状の硫酸工場は焙焼炉と転炉の排ガスを原料としたシングル方式である。

反射炉排ガスのように SO₂ 1% 以下のガスを処理するにはアルカリを使用して SO₂ を固定する排煙脱硫処理が行なわれる。

(3) 製錬方式の比較

表 4.19 は、製錬方式による操業コストの比較である。地域により人件費、エネルギー価格が違うので地域ごとでの比較となっている。

表 4.19 製錬方式別操業コスト比較

	Africa	Asia	Australia	W Europe	Latan America	N.America
Reverberatory	8.8	25.1		28.2	10	16.6
OKO Flash		17.8	5.7	16.4		11.3
Inco flash						12.6
Noranda						13.6
MI		20.1				9.9
ISASMELT			12.4			12.6
Blast	27.6				39.8	
Electric	7.6	10.6		23.4		
Noranda			12.6			
CMT					9.7	

Smelting cost C/lb 1993

反射炉方式は Blast furnace に続いて、どの地域でも Smelting cost が二番目に高い。Bor では製錬コストは安いのはエネルギー単価および人件費が安いなどの特殊な事情がある。国際化が進むと製錬費の上昇が懸念される。

1) 新精錬法

新精錬法は Bor の現状のバイ焼炉と反射炉の機能を1つの炉でまかなう。これにより、反射炉から発生する濃度の低い SO₂ ガスを発生させることはない。高い SO₂ ガスが必要なダブルコンタクト方式の硫酸工場が適用できる。ダブルコンタクト硫酸工場は硫酸への転化率がシングルコンタクトの 95%から 99.5%程度まで上げることが可能で別途の排煙脱硫工場は不要である。

なお製錬方式の主流は Flash -> MI-> CMT->ISASMELT or AUSMELT に代わってきている(図 4.46)。

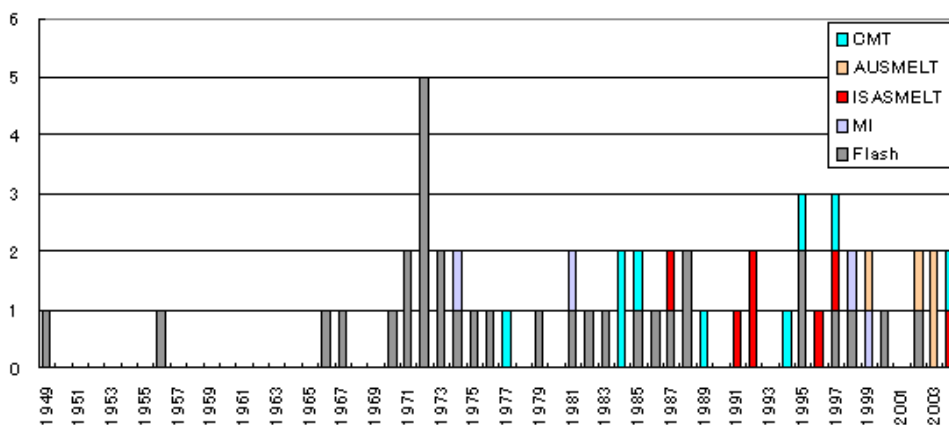


図 4.46 世界の新製錬炉の採用状況

TIR Bor では新方式への転換計画を 1979 年、1990 年、1998 年になされている。しかし、実現に至っていない。計画が実現しなかった理由はわからない。大きな投資計画は RTB Bor の承認が必要である。つまり、政府の承認が必要であったため、承認が得られなかったのはでは、と考えられる。

2) ISASMELT の例

① Process Flow sheet

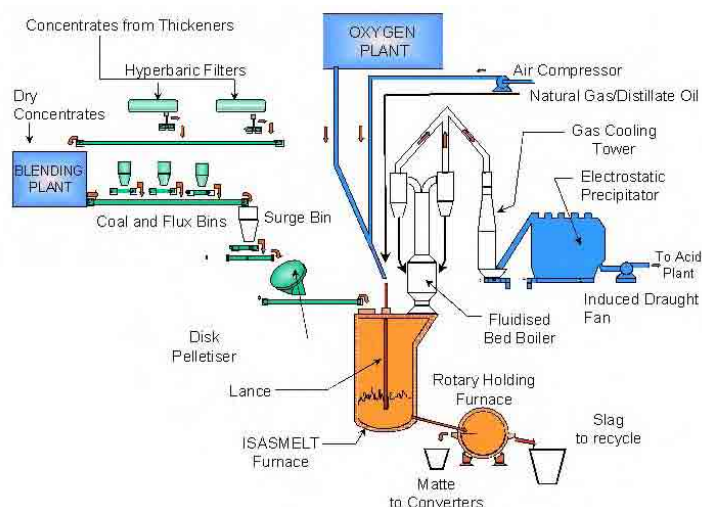


図 4.47 ISASMELT フローシート

②主要 Operation parameter

表 4.20 主要操業パラメータ

Parameter	Rate	Unit
Concentrate Rate	160	Tph
Dry Concentrate Assay	23.8	%Cu
Silica Flux	3.4	Tph
Reverts	1.6	Tph
Coke Breeze	0.7	Tph
Natural Gas	706	Nm3/h
Lance Air	20,210	Nm3/h
Lance Oxygen (95%)	23,580	Nm3/h
Lance Oxygen Enrichment	60.8	%
Bath Temperature	1172	degC
Matte Grade	57.0	%

③Operation cost

もともと Operation cost が低い方式と報告されている(約 10C/lb vs. Bor Smelter 21.7C/lb)。

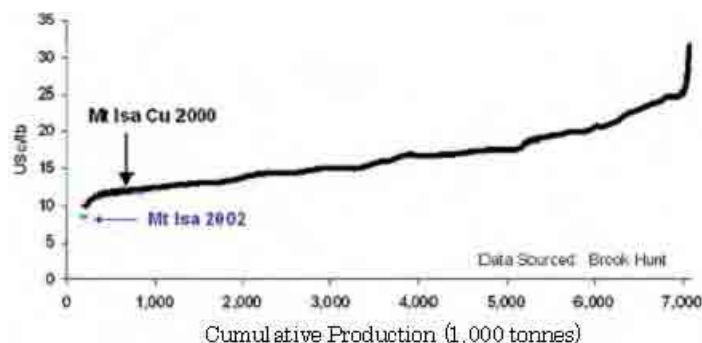


図 4.48 ISASMELT-years of continuous evolution(July 2005 by P.S.Artur, S.P.Hun)

④Sterite Tuticorin(India) は最近 120,000t/y の増産を ISASMELT を更新した。この建設費は概略 87million US\$と報告されている(Scope is unknown.)。現在のシングルコンタクト方式の硫酸工場はダブルコンタクト方式の硫酸工場に更新する必要がある(廃水処理工場併設)。

140 million US\$

総投資額 約 140+87= say 230 million US\$

転炉以降の工程は現状のまま使用可能。

なお、World Bank Report(Environmental assessment of RTB Bor Operation)では投資額は 250 million EURO と報告されている。

ISASMELT 法による Material balance を下表に示す。

⑤マテリアルバランス

表 4.21 ISASMELT 法による Material balance

	QTY	Cu %	Cu	S %	S	Fe %	Fe	SiO2 %	SiO2
Cu CONCENTRATION	821,072	20.00	164,214	34.00	279,164	27.00	221,689	9.00	73,896
SILICEOUS ORE	132,052							85.00	112,244
SLAG CONC.	8,829	20.00	1,766	8.30	733	37.00	3,267	10.00	883
TOTAL	961,953	17.25	165,980	29.10	279,897	23.39	224,956	19.44	187,023
CONCENTRATION	961,953		165,980		279,897		224,956		187,023
TOTAL	961,953		165,980		279,897		224,956		187,023
ISASMELT CHARGE	961,953		165,980		279,897		224,956		187,023
RETURN DUST	62,527	22.40	14,006	3.80	2,376	23.70	14,819	12.00	7,503
CF BOILER DUST	4,483	25.00	1,121	13.00	583	7.00	314	10.00	448
DUST TOTAL	67,010	22.57	15,127	4.42	2,959	22.58	15,133	11.87	7,952
CF SLAG	92,133	7.80	7,186	2.20	2,027	52.00	47,909	16.00	14,741
TOTAL	1,121,095		188,293		284,883		287,998		209,716
MATTE	298,325	57.00	170,045	22.61	67,451	16.14	48,150		
ISASMELT SLAG	588,608	0.69	4,054	0.69	4,061	38.18	224,741	31.82	187,284
ISASMELT DUST	62,527	22.40	14,006	3.80	2,376	23.70	14,819	12.00	7,503
BURNT SULFER					210,709				
TOTAL			188,105		284,598		287,710		194,788
MATTE	298,325	57.00	170,045	22.61	67,451	16.14	48,150		
ANODE SCRAP	29,490	98.50	29,047						
RETURN from AF	11,496		10,451						
SILICEOUS ORE	19,582							80.00	15,665
D49 TOTAL	358,892		209,544		67,451		48,150		15,665
MOLTEN BLISTER	203,788	98.00	199,712						
CF SLAG	92,133	7.80	7,186	2.20	2,027	52.00	47,909	16.00	14,741
CF BOILER DUST	4,483	25.00	1,121	13.00	583	7.00	314	10.00	448
CF EP DUST	2,649	18.00	477	12.00	318	8.00	212	15.00	397
CF BURNT SULFER					64,186				
CF TOTAL			208,496		67,114		48,435		15,587
ISASMELT SLAG	588,608	0.69	4,054	0.69	4,061	38.18	224,741	31.82	187,284
SLAG CONC.	8,829	20.00	1,766	8.30	733	37.00	3,267	10.00	883
SLAG TAILING	579,779	0.39	2,288	0.57	3,329	38.20	221,474	32.15	186,401
TOTAL	588,608		4,054		4,061		224,741		187,284
BLISTER	201,729	99.00	199,712						
ANODE	190,011	99.50	189,061						
CAST MOLD	3,800	99.50	3,781						
REJECT ANODE	5,700	99.00	5,643						
AF SLAG	1,900	50.00	950						
OTHERS	95	80.00	76						
TOTAL	201,507		199,512						
REFINED ANODE	190,011	99.50	189,061						
RECYCLE ANODE	0	99.50	0						
ISASMELT GAS					209,656				
CF GAS					62,903				
TOTAL					272,558				
SULFURIC ACID	840,601			32.10	269,833				
TOTAL RECOVERY %			97.83		96.66				

4.4.6.改善計画案

民営化後を前提とした場合の Bor の改善点とスケジュールは以下が考えられる。

(1) 公害対策

1) 排煙対策

第一段階として部品がないということで停止している既設硫酸工場の稼動が優先される。現状では、反射炉 2 炉の設備で現状 1 炉操業であるが、そのガスを受け入れる硫酸工場 3 工場のうち 1 工場しか稼動できないでいる。ガス処理能力は銅生産量に比例するのではなく反射炉稼動基数によるものなので硫酸工場は少なくとも 2 工場の稼動が必要であると思われる。硫酸工場の能力不足のため焙焼炉と転炉の排ガス(約 5 ないし 6% SO₂)の一部が硫酸工場で処理されずに煙突から排出されている可能性が高い。

大気公害対策は時間的に優先されるべきであり、そのためには既設設備の設計能力に戻

して既設設備能力の不備を確定する必要がある。

第二段階として既設製錬炉の SO₂ 排出削減を行なう。第一段階で既設設備能力の不備を確定して改造仕様を決定する。現在の情報では排煙脱硫処理対象は主として、反射炉排ガス (55,146Nm³/hr, 0.58% SO₂) と硫酸工場排ガス(120,760Nm³/hr, 0.34% SO₂)が主たる対象である。排煙処理方式は BOR の立地に合わせた方式が選定されるべきである。

一般的に排煙脱硫工場の SO₂ の除去率は 90% 程度が期待されるので排煙脱硫処理により Fig.4.41 に示された着地 SO₂濃度は 1/10 程度になり EU 規制値以下になることが期待される。(上記ガス仕様は将来の操業度に併せて決定されるべきである。)

第三段階では製錬炉の改造に併せた SO₂除去設備の設置が必要である。製錬規模の確定、製錬炉方式の選定、多額の投資が必要である、工事期間も長くなるなどの理由により第一、二段階の手順をふむことが望ましい。

なお、反射炉方式での生産コストに問題がなければ反射炉方式が継続されることも考えられるが、その場合でも生産量の増加に見合った公害防止設備への投資が必要である。

2) 排水対策

既設工場には#3 硫酸工場向けの廃水処理設備しかない。電解工場他の廃水量、質の決定を急ぎ、早急に廃水処理設備の建設にとりかかる必要がある。

(2) 改造スケジュール案

① 2007 排煙処理設備のプロセス選定。銅生産量 40,000 t/y
廃水処理設備の発注。

② 2008 排煙処理設備の発注、工事。銅生産量 40,000 t/y
廃水処理設備工事、完成。

硫酸工場の復旧を含む、メンテナンス不備の解消

③ 2009 排煙処理設備工事、完成。銅生産量 40,000t/y
廃水処理設備運転開始。

硫酸工場の復旧を含む、メンテナンス不備の解消

④ 2010 排煙処理設備運転開始。

反射炉方式での生産増加。銅生産量 160,000 t/y

Bor 鉱山からの精鉱が不足する場合、輸入鉱にて対応。

⑤ 2011 新方式製錬導入検討開始。

生産量の設定。製錬方式の選定。Feasibility study の実施。など

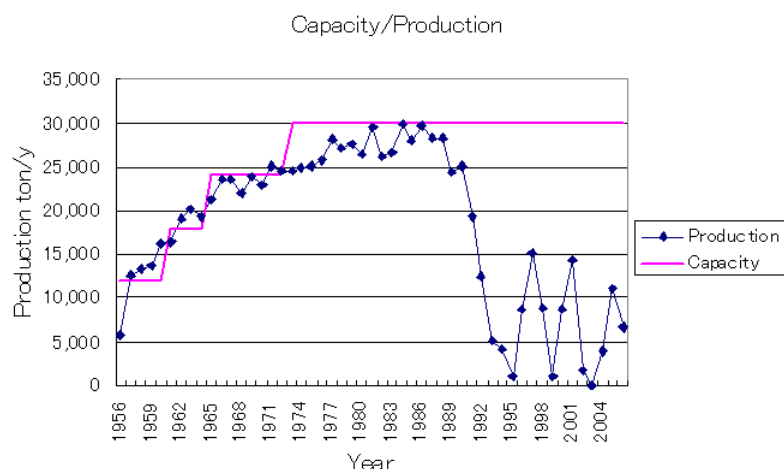
⑥ 2013 新製錬方式の発注

⑦ 2017 新方式製錬運転開始。

4.4.7 Zorka 亜鉛製錬所

(1) 生産量の経緯

図 4.49 Zorka の亜鉛生産量の推移



Bor 銅製錬所と同じく 1990 年までは順調に生産量を伸ばしてきた。1990 年に勃発した戦争、それ以降の EU の経済性制裁のため生産量が落ちてきて現状 3 万トン能力に対して 2006 年は 6,000 t であった。

(2) 工程 Steam を発電会社に売っている。SO₂ ガスを肥料会社に売っている。

残渣(residue)処理方式はジャロサイト方式である。

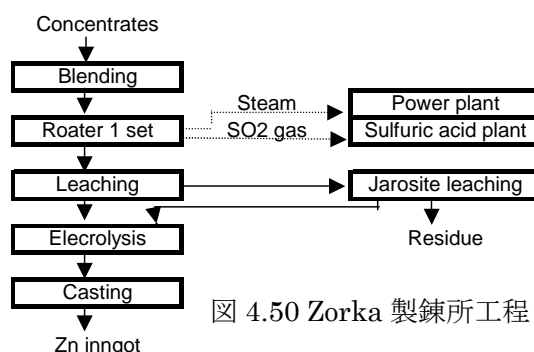


図 4.50 Zorka 製錬所工程

(3) 問題点

鉱石が入手できなく、残渣中の亜鉛が 10%残留、亜鉛の採取率は 87%と低い。

4.4.8 冶金教育の実情と課題

セ国の冶金教育場所はベオグラード大学の冶金学科と Bor にあるベオグラード大学の支部(Technical faculty in Bor)がある。

ベオグラード本部 学生定員 80 人/年、学部 5 年制
 教授(正、准、助)19 名(内女性 12 名)
 1995 年には正教授 55 名、准教授 29 名、助教授 27 名、助手 90 名を抱える大所帯であった。
 1995 年までの卒業生は 8,058 名である。

Bor 支部 正教授 3 名、准教授 3 名、助教授 0、助手 3 名、学生 5 人

Bor 支部には、採鉱、冶金、工学、経営、情報及び電子工学の6学科がある。正教授 15 名、准教授 12 名、助教授 10 名、助手 19 名、その他 21 名

このように、教授陣および学生も揃っているものの最近は学生の人気は経営などに集中し冶金には学生が集まらなくなっている。将来の **Bor** の製錬部門を考えると上記 4.4.6 で示したように、改善をすすめ、生産回復させていくことが学生への就職につながり、将来の後継者となることと考えられる。また、現在の製錬所(**RTB Bor** と **Sabac**)を踏まえ、且つ冶金の応用分野も考慮し、適正な数(教授、スタッフ、学生)の検討が必要である。