

BIDJOVAGGE, NORJA: RIKASTUSKOEFRAKTIOIDEN MALMININERALOGIASTA

Tämä tutkimus käsittelee Bidjovaggen malmin rikastuskokeissa Bidj. 25 ja Bidj. 27 saatujen tuotteiden malmineralogialla.

Tutkimusraportti on tehty Reijo Anttosen (Outokumpu Oy, Kaivosteknillinen ryhmä) tilauksesta.

Tutkimuksen tekijät:
Pentti Sotka ja Esko Hänninen

O U T O K U M P U Oy
Malminetsintä

Avlis Häkli
Geologisen laboratorion
päällikkö

BIDJOVAGGE, NORJA: RIKASTUSKOEFRAKTIOIDEN MALMINERALOGIASTA

SISÄLLYS

JOHDANTO	1
TUTKIMUSMENETELMÄT	1
KOE Bidj. 25 <i>B-malm</i>	1
Tuotteiden kemismistä	1
Alkuaineiden saannit	1
Malmimineralogia	4
KOE Bidj. 27 <i>A-malm</i>	6
Tuotteiden kemismistä	6
Alkuaineiden saannit	6
Malmimineralogia	7
YHTEENVETO	8

JOHDANTO

Tämä selvitys käsittelee Bidjovaggen materiaalista tehtyjen laboratoriovaahdotuskokeiden tuotteiden malmimineralogiaa ja kemismia. Etenkin kullan ja telluridien esiintymistä on pyritty selvittämään.

Tutkitut fraktiot (9 kpl) ovat kokeista Bidj. 25 ja Bidj. 27. Kokeen Bidj. 25 syöte on B-malmin materiaalia ja kokeen Bidj. 27 syöte on A-malmin ja mustaliuskeen sekoitus.

TUTKIMUSMENETELMÄT

Rikastuskoefraktioista on valmistettu pintahienapit, jotka on tutkittu mikroskooppisesti. Malmimineraalien esiintymistapaa selvennetään muutamien pintahieistä otetuin valokuvin.

Outokumpu Oy:n Malminetsinnän Geologisessa laboratoriossa on näytteistä analysoitu Cu, Zn, Ni, Co, Pb, Fe, As, Sb, S, Ag, Au ja Bi, lisäksi on Metallurgisen tutkimuslaitoksen Analyttisessä laboratoriossa analysoitu Te- ja Se-pitoisuudet.

Fraktioissa esiintyvien malmimineraalien määriä (paino-%) on laskettu käyttäen hyväksi fraktioiden analyysitietoja ja mineraalien koostumuksia.

KOE Bidj. 25

Tuotteiden kemismistä

Tuotteiden kemialliset uusinta-analyysit esitetään taulukossa 1. Alkuperäiset Cu- ja Au-analyysit esitetään puolestaan liitteessä 1. Uusien analyysien Cu-pitoisuudet vastaavat hyvin alkuperäisten määritysten Cu-pitoisuuksia, mutta Au-pitoisuustaso on uusissa määrityksissä useimmiten korkeampi (jopa 40-70 %) kuin vanhoissa määrityksissä.

Tuotteiden analyyseista lasketut painotetut keskiarvot ilmentävät syötteen alkuainepitoisuuksia (1.595 % Cu ja 1.69 ppm Au). Te-pitoisuus on syötteessä 234 ppm ja eri tuotteissa Te-pitoisuus on suhteellisen tasaisesti jakautunut.

Alkuaineiden saannit

Tuotteiden prosentuaalisista paino-osuuksista ja kemiallisista analyyseista on laskettu alkuaineiden saanteja eri tuotteisiin (taulukko 2 ja liite 1). Cu:n saanti KR:een on 85.95 % ja n. 10 % kertausjätteisiin. Au:n saanti KR:een on 67.6 %, jätteeseen joutuu n. 22 % Au:sta. Telluridit näyttäisivät painuvan valtaosin kertausjätteisiin ja jätteeseen, myös Ag:n saanti rikasteeseen on heikko (17.3 %). Seleenin esiintyminen noudattelee S:n esiintymistä.

OUTOKUMPU Oy
Malminetsintä

P Sotka/EG

1.12.1983

Taulukko 2. Bidjovagge, Norja. Muutaman alkuaineen saannit eri rikastusfraktioihin (laskettu taulukon 1 tiedoista).

Tuote	Massa %	Saanti-%									
		Cu	Ni	Co	Fe	S	Ag	Au	Bi	Te	Se
Bidj. 25/											
KR	7.5	85.95	14.75	17.08	28.11	40.56	17.31	67.60	2.16	8.34	42.47
KJ ₂	5.1	8.26	14.86	17.39	10.19	13.34	7.65	5.87	39.58	4.58	11.49
KJ ₁	10.3	1.88	8.63	9.63	7.35	4.91	8.32	4.58	10.61	14.54	5.95
J	77.1	3.91	61.76	55.90	54.35	41.19	66.72	21.95	47.65	72.54	40.09
	100.0	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Bidj. 27/											
KR	3.5	54.32	4.38	4.86	13.90	16.79	14.41	28.26	0.13	0.66	20.08
KJ ₃	5.3	37.85	15.07	15.09	17.67	22.22	15.21	32.02	0.82	2.07	19.67
KJ ₂	2.8	3.10	4.67	5.00	3.93	3.83	4.19	6.80	2.20	1.88	4.02
KJ ₁	5.7	1.33	6.34	6.62	4.84	4.12	4.27	5.70	7.68	7.47	5.29
J	32.7	3.40	69.54	68.43	59.66	53.04	61.92	27.22	89.17	87.92	50.94
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

OUTOKUMPU Oy
Malminetsintä

Taulukko 1. Bidjovagge, Norja, Rikastuskoefraktioiden kemiallinen koostumus
(analysoitu OKMessä, paitsi Te ja Se Metallurgisen tutkimuslaitoksen
Analyyttisessä laboratoriossa).

Tuote	Anal. nro	Massa %	Cu %	Zn %	Ni %	Co %	Pb %	Fe %	As %	Sb %	S %	Ag ppm	Au ppm	Bi ppm	Te ppm	Se ppm
Bidj.25/83.																
B KR	29475	7.5	18.280	0.016	0.054	0.022	0.008	18.18	0.01	0.046	24.60	4.0	15.20	42	260	98
KJ ₂	76	5.1	2.583	0.008	0.080	0.033	0.006	9.69	0.01	0.038	11.90	2.6	1.94	113	210	39
KJ ₁	77	10.3	0.291	0.004	0.023	0.009	0.004	3.46	0.01	0.028	2.17	1.4	0.75	150	330	10
J	78	77.1	0.081	0.002	0.022	0.007	0.003	3.42	0.01	0.028	2.43	1.5	0.48	90	220	9
Paino- tettu ka			1.595	0.004	0.027	0.010	0.004	4.85	0.01	0.030	4.55	1.7	1.69	146	234	17
Bidj.27/83.																
A KR	29479	3.5	29.790	0.020	0.101	0.042	0.008	27.04	0.01	0.047	36.50	6.6	31.40	1.5	53	68
KJ ₃	80	5.3	13.710	0.019	0.230	0.086	0.015	22.70	0.01	0.048	31.90	4.6	23.50	6.3	110	44
KJ ₂	81	2.8	2.122	0.014	0.135	0.054	0.038	9.55	0.01	0.033	10.40	2.4	9.44	32	190	17
KJ ₁	82	5.7	0.447	0.009	0.090	0.035	0.014	5.78	0.01	0.031	5.50	1.2	3.89	55	370	11
J	83	82.7	0.079	0.004	0.068	0.025	0.004	4.91	0.01	0.031	4.88	1.2	1.28	44	300	7.3
Paino- tettu ka			1.920	0.006	0.081	0.030	0.006	6.81	0.01	0.033	7.61	1.6	3.89	41	282	12

Malmimineralogia

Tuote Bidj. 25/KR (T1283)

Päämineraalit: kuparikiisu, silikaatit (+ karbonaatti), pyriitti
Aksessorit: markasiitti, magneettikiisu, pentlandiitti, ilmeniitti, rutiili, kulta, tellurovismutiitti.

Kuparikiisu esiintyy yleensä puhtaana (liite 2), tavallisin esiintyvistä sekaraeetyypeistä on kuparikiisu + pyriitti. Myös vapaata pyriittiä on suhteellisen runsaasti, samoin harmemineraaleja. Pyriitin yhteydessä on hieman markasiittia. Magneettikiisua ja pentlandiittia tavataan satunnaisesti. Yksi vapaa lähes omamuotoinen kultarae (30 µm) on havaittu tuotteessa.

KR:n kuparikiisupitoisuus on 52.8 % ja mineraalin saanti ko. tuotteeseen on n. 86 % (Taulukko 3). Pyriittiä on tuotteessa 11.5 % ja harmemineraaleja karkeasti n. 35 %.

23

Tuote Bidj. 25/KJ₂ (T1284)

Päämineraalit: silikaatit (+ karbonaatti), pyriitti, kuparikiisu
Aksessorit: markasiitti, ilmeniitti, rutiili, tellurovismutiitti, magneettikiisu

Kertausrikasteessa on sulfideja karkeasti n. 25 %. Karkeinta kuparikiisua (yleensä yli 0.2 mm) on painunut tuotteeseen, myös sekaraeita kuparikiisu + pyriitti ja kuparikiisu + silikaatti tavataan. Tuotteen kuparikiisupitoisuus on 7.46 % ja pyriittipitoisuus 17.39 % (taulukko 3). Markasiittia, ilmeniittiä ja rutiilia tavataan hieman ja tellurovismutiittia ja magneettikiisua vain satunnaisesti.

Tuote Bidj. 25/KJ₁ (T1285)

Päämineraalit: silikaatit (+ karbonaatti), pyriitti
Aksessorit: markasiitti, ilmeniitti, rutiili, kuparikiisu, telluridi (huonosti kiillottunut)

Tuotteeseen on painut pääosin silikaatteja ja hieman pyriittiä. Tuote on rackooltaan hienorakeinen. Pyriitin määrä on 3.51 % (taulukko 3). Kuparikiisua tavataan hieman pyriitin ja silikaattien sulkeumina.

Taulukko 3. Bidjovagge, Norja. Rikastuskoefraktioiden kuparikiisu- ja pyriittipitoisuuksia ja -saanteja (laskettu taulukon 1 koostumustiedoista).

Tuote	Massa %	Pitoisuus-%			Saanti-%	
		Kupari- kiisu	Pyriitti	Summa	Kupari- kiisu	Pyriitti
Bidj.25/						
KR	7.5	52.80	11.51	64.31	86.01	15.70
KJ ₂	5.1	7.46	17.39	24.85	8.26	16.14
KJ ₁	10.3	0.84	3.51	4.35	1.88	6.58
J	77.1	0.23	4.39	4.62	3.85	61.58
Σ	100.0				100.00	100.00
Bidj.27/						
KR	3.5	86.05	12.04	98.09	54.31	3.97
KJ ₃	5.3	39.60	33.79	73.39	37.84	16.88
KJ ₂	2.8	6.13	15.45	21.58	3.09	4.08
KJ ₁	5.7	1.29	9.45	10.74	1.33	5.08
J	82.7	0.23	8.98	9.21	3.43	69.99
Σ	100.0				100.00	100.00

Tuote Bidj. 25/J (T1286)

Päämineraalit: silikaatit (+ karbonaatti), pyriitti

Aksessorit: markasiitti, ilmeniitti, rutiili,
magneettikiisu, tellurovismutiitti,
kuparikiisu, altaiitti, meloniitti.

Jäte on silikaattirikas, sulfidipitoisuus on yhteensä 4.62 %. Pääsulfidina on pyriitti, jossa on mukana myös markasiittia (liite 3). Pyriitin mineraloginen saanti jätefraktioon on 61.58 %. Tellurideista on yleisin tellurovismutiitti, joka esiintyy kookkainakin rakeina. Kuparikiisu esiintyy: 1) vapaina, osin karkeinakin (>300 µm) rakeina, 2) sekarakeina silikaattien kanssa, 3) sulkeumina pyriitissä ja 4) sekarakeina magneettikiisun kanssa. Jätteen totaali kuparikiisupitoisuus on vain 0.23 % ja sen saanti jätteeseen on 3.85 %.

KOE Bidj. 27

Tuotteiden kemismistä

Tuotteiden kemialliset uusinta-analyysit esitetään taulukossa 1. Alkuperäiset Cu- ja Au-analyysit esitetään puolestaan liitteessä 1. Cu-rikaste on Cu-pitoisuudeltaan hyvin korkealuokkainen (29.79 % Cu) ja sen Au-pitoisuus on 31.4 ppm.

Tuotteiden analyyseista lasketut painotetut keskiarvot ilmentävät syötteen koostumusta (1.92 % Cu ja 3.89 ppm Au). Syötteen Te-pitoisuus on samaa luokkaa (282 ppm) kokeen Bidj. 25 syötteen Te-pitoisuuden kanssa.

Alkuaineiden saannit

Alkuaineiden saanteja eri tuotteisiin esitetään taulukossa 2 ja liitteessä 1. Cu:n saanti KR:een on huono (54.32 %), sillä lähes 38 % Cu:sta joutuu kolmanteen kertausjätteeseen. Samoin Au:sta on noin kolmannes painunut kolmanteen kertausjätteeseen. Jätteessä on 27.22 % malmin sisältämästä kullasta. Te ja Bi ovat rikastuneet jätteeseen ja 1. kertausjätteeseen. Telluridit eivät näytä vaahdottuvan kuparikiisun mukana. Seleenin esiintyminen noudattelee rikin jakautumista tuotteiden kesken.

Malmimineralogia

Tuote Bidj. 27/KR (T1287)

Päämineraalit: kuparikiisu, grafiitti, pyriitti

Aksessorit: silikaatit (+ karbonaatti), markasiitti, rutiili, pentlandiitti, magneettikiisu, telluridit?, kulta, kobolttihohde.

KR on hyvä Cu-rikaste, joka sisältää yhteensä 98.09 % sulfideja. Silikaatteja on vähän ja hienorakeista grafiittia tavataan yleisemmin. Rikasteessa on n. 86 % kuparikiisua ja n. 12 % pyriittiä (taulukko 3). Pyriitti esiintyy vapaina rakeina sekä sekarakeina kuparikiisun kanssa. Rikasteessa on tavattu yksi vapaa kultarake (80 µm, liite 4), jossa on telluridisulkeuma (frohbergiitti?, calaveriitti?).

Tuote Bidj. 27/KJ₃ (T1288)

Päämineraalit: kuparikiisu, pyriitti, grafiitti, silikaatit (+ karbonaatti)

Aksessorit: markasiitti, rutiili, ilmeniitti, magneettikiisu, milleriitti, kobolttihohde, pentlandiitti, lyijyhohde

Tuotteessa on runsaasti (39.6 %) vapaata karkeahkoa kuparikiisua (liite 5). Karkeiden pyriitti- ja kuparikiisurakeiden maksimi raekoko on noin 0.5 mm. Myös silikaattia on karkearakeinen. Tuotteessa on runsaasti hienoa grafiittia.

Tuote Bidj. 27/KJ₂ (T1289)

Päämineraalit: silikaatit (+ karbonaatti), pyriitti, grafiitti, kuparikiisu

Aksessorit: markasiitti, ilmeniitti, rutiili, magnetiitti, lyijyhohde, kulta

Kuparikiisu esiintyy pääasiassa hyvin hienorakeisena (<10 µm), ilmeisesti kookkaissa flokeissa. Kuparikiisua tavataan myös pyriitin ja silikaattien kanssa sekarakeina. Tuotteessa on runsaasti grafiittirikkaita fragmentteja (>100 µm). Kuparikiisu + pyriittisekarakeessa (n. 250 µm) on kuparikiisussa havaittu 10 µm: kultasulkeuma.

Tuote Bidj. 27/KJ₁ (Tl290)

Päämineraalit: silikaatit (+ karbonaatti), pyriitti

Aksessorit: grafiitti, markasiitti, kuparikiisu

1. kertausjätteessä kuparikiisu esiintyy hyvin hienorakeisena (< 10 µm) pölynä ja sulkeumina silikaatissa ja pyriitissä. Pyriitti on tuotteen pääsulfidi (9.45 % pyriittiä).

Tuote Bidj. 27/J (Tl291)

Päämineraalit: silikaatit (+ karbonaatti), pyriitti

Aksessorit: markasiitti, grafiitti, kuparikiisu, magneettikiisu, pentlandiitti, ilme-
niitti, rutiili, magnetiitti

Jätteessä on 9.21 % sulfideja, joista pyriitin osuus on täysin hallitseva. Kuparikiisu (0.23 %) tavataan yleisimmin karkeissa pyriitti- ja silikaattirakeissa sulkeumina.

YHTEENVETO

Bidjovaggen rikastuskokeiden Bidj. 25 (syöte B-malmista) ja Bidj. 27 (syöte A-malmista) tuotteiden malmineralogialla on tutkittu mikroskooppisesti ja tuotteista on tehty kemialliset analyysit.

Tuotteiden analyysistä laskettu Bidj. 25:n syöte sisältää 1.595 % Cu:a ja 1.69 ppm Au:a ja Bidj. 27:n syöte vastaavasti 1.92 % Cu:a ja 3.89 ppm Au:a.

Kokeessa Bidj. 25 Cu:n saanti KR:een on 85.95 % ja Au:n saanti 67.6 %. Kerratturikaste sisältää Cu:a 18.28 %, joten lisäkertaus on vielä tarpeellinen etenkin silikaattiaineksen painamiseksi. Rikasteessa on havaittu vapaa Au-rae (30 µm). Tuotteiden Te-pitoisuus on suhteellisen tasainen, joten selvää selektiivisyyttä Te:n osalta ei ole havaittavissa. Tellurin saanti jätteeseen on 72.54 %. Tuotteissa esiintyy jonkin verran tellurideja, etenkin tellurovismutiittia (Bi₂Te₃) ja jätteessä on havaittu myös altaiittia (PbTe) ja meloniittia (NiTe₂). Bidj. 25 -kokeessa on pyriitistä painettu jätteeseen 61.58 %.

Kokeessa Bidj. 27 on Cu:n saanti KR:een heikko (54.32 %), koska 3. kertausrikasteeseen on painettu lähes 38 % Cu:sta. Kuparikiisu esiintyy kertausjätteessä pääosin vapaina, karkeahkoina partikkeleina. Rikasteessa on havaittu vapaa, n. 80 µm:n Au-rae. Cu:n tavoin on myös Au:sta lähes kolmannes painettu

3. kertausjätteeseen. 2. kertausjätteessä on kupari-
kiisu + pyriitti -sekarakeessa havaittu 10 μ m:n kulta-
sulkeuma. KR:ssa ja kertausjätteissä tavataan yleises-
ti grafiittia, jonka fraktioitumista lienee syytä seu-
rata C-analyysien. Pyriitistä on painettu jätteeseen
(J) n. 70 %.

Etenkin kokeessa Bidj. 27 Te näyttää konsentroituvan
jätteisiin. Bidjovaggen kairasydännäytteiden minera-
logiaa tutkittaessa (P Sotka ja E Hänninen, 1983) ha-
vaittiin kohtalaisen usein Au:n liittyvän telluridien
yhteyteen. On syytä olettaa, että ainakin osa jättee-
seen joutuvasta Au:sta joutuu sinne sekarakeina tellu-
ridien myötä. Mutta todennäköisesti myös sulkeumina
silikaatissa.

Pentti Sotka

Esko Hänninen

P Sotka/EG

1.12.1983

Bidjovagge, Norja. Rikastuskoefraktioiden
Cu- ja Au-pitoisuudet ja -saannit alkuperäisen
analyysitiedon pohjalta.

Tuote	Massa %	Cu		Au	
		Pitoi- suus-%	Saanti-%	Pitoi- suus-ppm	Saanti-%
Bidj. 25/KR	7.5	19.3	85.6	10.54	68.3
KJ ₂	5.1	2.81	8.5	1.34	5.9
KJ ₁	10.3	0.236	1.4	0.76	6.8
J	<u>77.1</u>	0.098	<u>4.5</u>	0.28	<u>18.9</u>
	100.0		100.0		99.9
Bidj. 27/KR	3.5	30.3	55.5	41.62	39.8
KJ ₃	5.3	13.45	37.0	22.78	33.0
KJ ₂	2.8	2.14	3.1	6.12	4.7
KJ ₁	5.7	0.447	1.3	2.79	4.3
J	<u>82.7</u>	0.082	<u>3.5</u>	0.80	<u>18.2</u>
	100.0		100.4		100.0



100 μm

Bidjovagge, B-malmi, Rikastuskoefraktio Bidj. 25/KR (T1283).
Cuk=kuparikiisu, Sk=pyriitti. Suurennus 100x.



100 μm

Bidjovagge, B-malmi, Rikastuskoeifraktio Bidj.25/J (T1286).
Sk=pyriitti, Cuk=kuparikiisu, Fei=ilmeniitti. Suurennus
100x.



Bidjovagge, A-malmi, Rikastuskoeifraktio Bidj.27/KR (T1287).
Cuk=kuparikiisu, Sk=pyriitti, Au=kulta. Suurennus 100x.



100 μm

Bidjovagge, A-malmi, Rikastuskoeifraktio Bidj.27/KJ3 (T1288).
Cuk=kuparikiisu, Sk=pyriitti. Suurennus 100x.