

УНИВЕРЗИТЕТ "Св. КИРИЛ и МЕТОДИЈ" – СКОПЈЕ
РУДАРСКО – ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ - ШТИП
Катедра за минерална технологија

РУДНИК
САСА ДООЕЛ

Бр. _____

_____ 200__ год.
МАКЕДОНСКА КАМЕНИЦА

ИЗВЕШТАЈ

ЗА ПРЕЗЕМЕНИТЕ АКТИВНОСТИ ОД СТРАНА НА КАТЕДРАТА ЗА
МИНЕРАЛНА ТЕХНОЛОГИЈА ПРИ РУДАРСКО – ГЕОЛОШКИОТ
ФАКУЛТЕТ ВО СОГЛАСНОСТ СО ДОГОВОРОТ ЗА СОРАБОТКА СО
РУДНИК САСА – М. КАМЕНИЦА

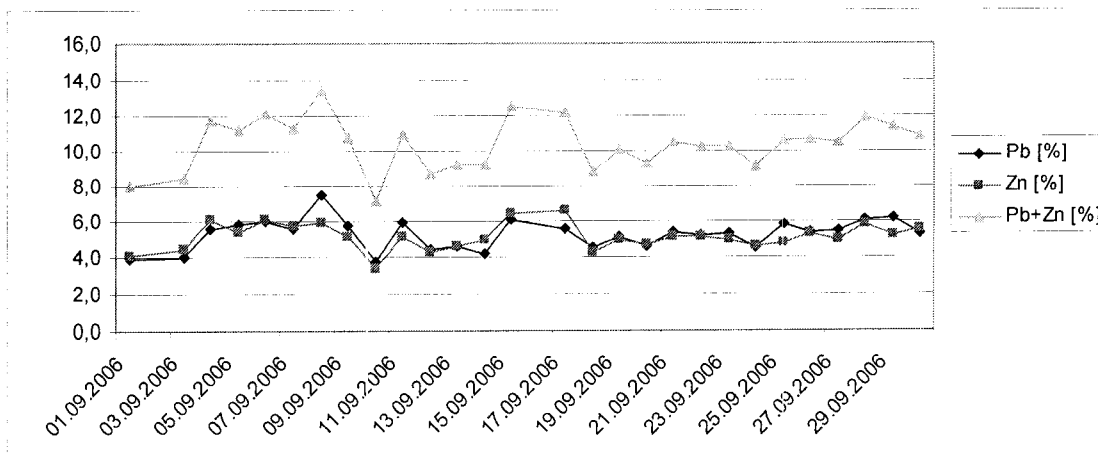
Штип, 2007

ИЗВЕШТАЈ

За преземените активности од страна на катедрата за Минерална технологија при Рударско – геолошкиот факултет во согласност со договорот за соработка со рудник САСА – М. Каменица.

Веднаш по потпишувањето на основниот договор и анексот кон него, кој произлезе врз основа на додатни консултации, на 12.09.2006 год., првата сугестија од наша страна беше дека треба да се испитаат сите можности за хомогенизирање на влезната руда во погон флотација, по основ на присуството на вкупниот процент на корисни компоненти (олови + цинк). Тоа е еден од најбитните елементи за да се постигне успешно функционирање на *мануелно* водениот технолошкиот процес во погон флотација. Имено, бидејќи технолошкиот процес не е автоматизиран, информациите за тоа колку успешно се води процесот, преку хемиските анализи, се добиваат со еден ден задоцнување (денес за вчера), поради тоа вработените мора да се потпираат на своето искуство и мануелна перцепција, што мораме да признаеме дека не е во согласност со денешниот развој на техниката и технологијата. Тоа се основните причини за да се инсистира на хомогенизација на влезната суровина,, бидејќи на тој начин барем ќе се избегнат можните пикови во позитивна или негативна насока, кога е во прашање вкупниот метал што влегува во флотација, а кои можат сериозно да го нарушат технолошкиот процес. Имено, во такви ситуации обавезно се појавува вишок или недостаток од флотациски реагенси, што и во едниот и во другиот случај, предизвикува сериозно нарушување на резултатите во негативна смисла. Во оваа насока добри се намерите на менаџментот, со помош на хемиски анализи на секој саат, да се постигне водење на процесот, колку толку, во реално време. Меѓутоа, сепак треба да се разгледаат и искористат сите можности, кои несомнено постојат, да се

хомогенизира влезот во што е можно потесни граници. Моменталната ситуација не може да се окарактеризира како задоволувачка. Тоа јасно произлегува од подолу дадениот график на кој се претставени влезовите во првите смени од месец септември 2006 год.



Вкупниот метал се движи воглавно помеѓу 8 и 12 %, со пооделни но ретки, отстапувања од овие граници. Сепак ова е прилично широк дијапазон. Сметаме дека има доволно предуслови, со поголемо ангажирање и соработка помеѓу стручните кадри од рудник и флотација, да се постигне хомогенизиран влез во границите од 8 – 10 % или од 9 – 11 % вкупен метал. Сметаме дека првата варијанта е поприватлива од повеќе причини кои овде не би сакале подетално да ги елаборираме.

Втората работа на која скренавме внимание беше потребата да се изврши снимање на процесот на мелење и класирање, со цел да се утврди дали истиот работи во рамките на општо прифатените норми и стандарди за ваков тип на процеси. За таа цел, на 07.09.2006 год., беше извршено снимање на процесот на мелење и класирање и на двете секции. При тоа, во поглед на квалитетот на преливот и големината на кружниот товар, параметри, преку кои се отценува ефикасноста на процесот на мелење и класирање, беа добиени следните резултати:

I - Секција

07.09.2006

Производ	T [gr]	+ 75 μ m [gr]	+ 75 μ m [%]	- 75 μ m [gr]	- 75 μ m [%]
Истек - Млин со шипки	258	171	66,28	87	33,72
Истек - Млин со топки	331	181	54,68	150	45,32
Песок - Класификатор	261	209	80,08	52	19,92
Прелив - Класификатор	292	95	32,53	197	67,47

II - Секција

07.09.2006

Производ	T [gr]	+ 75 μ m [gr]	+ 75 μ m [%]	- 75 μ m [gr]	- 75 μ m [%]
Истек - Млин со шипки	299	185	61,87	114	38,13
Истек - Млин со топки	221	157	71,04	64	28,96
Песок - Класификатор	475	293	61,68	182	38,32
Прелив - Класификатор	280	77	27,50	203	72,50

Од квалитетот на преливот (застапеноста на класата – 75+0 μ m), јасно се гледа дека и кај двете секции, посебно кај втората, тој е над потребното ниво кое треба да изнесува 60 ÷ 65 % – 75 μ m. Со зголемувањето на застапеноста на класата – 75 μ m, постои опасност од преуситнување на дел од галенитот кој важи за исклучително крт минерал. Во таков случај преуситнетите галенитни честички (под 20 μ m), неконтролирано се движат низ флотациските ќелии и голем дел од нив завршуваат во отокот. Што се однесува до големината на кружниот товар, кај првата секција тој изнесуваше само 133 %, додека кај втората секција, поради добиениот крајно нелогичен податок за учеството на класата – 75 μ m во песокот од класификаторот, дури 38,32 %, за вредноста на кружниот товар се добива нелогичен резултат. Ваквиот податок за квалитетот на песокот, во поглед на присуството на класата – 75 μ m во него, можеше да се должи само на две работи. Прво, песочната диза од хидроциклонот кој е поставен кај втората секција на мелење и класирање е многу широка. Во овој хидроциклон, инаку, се враќа производот од контролното флотирање на галенитот и отокот од

првото прочистување, и неговиот песок се меша со песокот од класификаторот. Поради несоодветната димензија на песочната диза, присуството на класата – 75 μm , во песокот од хидроциклонот е високо. Втората причина можеше да биде несоодветната поставеност на спиралите на класификаторот. Имено, очигледно беше дека истите се високо поставени и кај двете секции. Поради ова голем дел од песокот, и тоа најкрупните фракции, остануваат исталожени во коритото на класификаторот и не се враќаат назад во млинот со топки. Постоеше и трета причина за нелогичниот резултат при снимањето на втората сеција на процесот на мелење и класирање. Имено, при спробувањето на песокот кој влегува во млинот со топки, не беше земено предвид дека песокот од хидроциклонот може да учествува најмногу со 15% во вкупната маса, која се враќа во млинот со топки. Имајќи го сето погоре речено во предвид, беше договорено да се подобри наполнетоста на млиновите со мелни тела, да се изврши спуштање на спиралите на класификаторите од двете секции и да се постави потесна песочна диза на хидроциклонот кој е поставен кај втората секција. Откако беа преземени овие активности, беше извршено повторно снимање на процесот на мелење и класирање и тоа, на 20.09.06 на втората секција и на 26.09.06 на првата секција. При тоа, беа добиени следните резултати:

I - Секција		26.09.2006			
Производ	T [gr]	+ 75 μm [gr]	+ 75 μm [%]	- 75 μm [gr]	- 75 μm [%]
Истек - Млин со шипки	233	148	63,52	85	36,48
Истек - Млин со кугли	350	237	67,71	113	32,29
Песок - Класификатор	222	168	75,68	54	24,32
Прелив - Класификатор	348	117	33,62	231	66,38

II - Секција

20.09.2006

Производ	T [gr]	+ 75 μ m [gr]	+ 75 μ m [%]	- 75 μ m [gr]	- 75 μ m [%]
Истек - Млин со шипки	752	468	62,23	284	37,77
Истек - Млин со кугли	245	168	68,57	77	31,43
Песок - Класификатор	238	182	76,47	56	23,53
Прелив - Класификатор	184	68	36,96	116	63,04

Од добиените резултати јасно се гледа дека преземените активности дадоа резултат. Прво, може да се констатира дека квалитетот на преливот од класификаторот задоволува, иако кај првата секција е малку над горната граница од 65 % – 75 μ m (66,38 %). Она што е уште позначајно се добиените податоци за вредноста на кружниот товар кај двете секции. Имено, за првата секција на мелење и класирање, за кружниот товар, е добиена вредност од 376 % додека за втората секција е добиена вредност од 320 % со учество на песокот од хидроциклонот со 15% во вкупниот песок кој влегува во млинот со топки. Тоа значи дека и двете секции работат со значително подобрена ефикасност. Она што треба да се напомене е и податокот дека, и ова снимање покажа дека хидроциклонот кој е поставен кај втората секција, и понатаму не работи добро. Имено во неговиот песок е констатирано присуство на класата – 75 μ m од дури 71,33 %. Тоа значи дека е потребно намалување на пречникот на песочната диза и регулирање на притисокот со кој пулпата влегува во хидроциклонот.

Покрај сето ова, во рамките на процесот на мелење и класирање, беше договорено и извршено зголемување на густината на пулпата од преливот на класификаторот на ниво од 1300 ÷ 1320 g/lit, со цел да се зголеми густината на пулпата во процесот на флотирање, посебно на цинковите минерали.

Паралелно со сите овие активности се изведуваат и лабораториски испитувања во функција на оптимизација на реагенсниот режим во оловната и цинковата флотација. Првите, нецелосни податоци покажаа дека е

оправдано сомневањето дека потрошувачката на колектор, и во оловната и во цинковата флотација е над оптималното ниво, и дека треба да се смалува, бидејќи неговиот вишок во пулпата доведува до онечистување на селективните концентрати на олово и цинк. **Имајќи го сето ова предвид на 23.09.06 беше договорено да се изврши намалување на потрошувачката на колектори за околу 20 % и за исто толку и потрошувачката на активаторот CuSO₄ во цинкова флотација. Како резултат на тоа, а секако, и на сите други претходно преземени активности, на 24.09.06 веќе беа постигнати таргетираните резултати од анексот на договорот за соработка во поглед на квалитетот на оловниот концентрат, цинковиот концентрат и во поглед на присуството на олово и цинк во отокот, со сосема минимални отстапки.**

Дата	Смена	Концентрат Pb		Концентрат Zn		Истек	
		Pb [%]	Zn [%]	Pb [%]	Zn [%]	Pb [%]	Zn [%]
24.09.2006	1	78,6	2,2	2,5	49,0	0,5	0,5
	2	67,3	3,9	0,6	48,1	0,4	1,0
	3	70,7	3,9	1,1	50,2	0,3	0,6

Меѓутоа, за постигнување на бараните резултати во континуитет, пред се, потребно е поголема дисциплина и посветеност во работата. Односно подобрување на квалитетот на човечкиот потенцијал. Евидентно е дека погонот е добро концепиран и проектиран, ги овозможува сите предуслови за ефикасно водење на технолошкиот процес, кој може и треба да обезбеди континуирано добри резултати, но исто така евидентно е дека погонот располага со релативно неискусни и недоволно обучени извршители.

Опримирање на реагентниот режим во основната (груба) Pb флотација

Со одредено закаснување, предизвикано, пред се, од каснењето на хемиските анализи кои, според договорот, се обврска на инвеститорот, рудник Саса – М. Каменица, беа реализирани лабораториските испитувања поврзани со определувањето на оптималната потрошувачка на поделните реагенси во фазата на основната Pb флотација.

Успешноста на процесот на селективна флотациска концентрација, како најзначаен и, во индустриски услови, најприсутен облик на флотациска концентрација на типичните оловно – цинкови руди, пред се, се состои во добивањето на квалитетни селективни концентрати на олово и на цинк погодни за понатамошна металуршка преработка, со високо искористување на металите во тие концентрати. За да се постигне ова неопходно е, помеѓу останатото, да се изврши максимална сепарација (раздвојување) помеѓу минералите на оловото и минералите на цинкот во фазата на грубо флотирање на оловните минерали. Во спротивно, ако тоа не се направи, ќе дојде до зголемување на содржината на цинкот во концентратот на оловото, што има двојно негативно влијание. Прво, зголемената содржина на цинкот во концентратот на оловото ја смалува неговата вредност и второ, присуството на цинкот во концентратот на оловото истовремено преставува и негов губиток, бидејќи цинкот од таквиот концентрат не може ефикасно да се искористи. Имајќи го сето ова во предвид, јасно е дека процесот на грубо флотирање на оловните минерали преставува најзначаен сегмент во целокупниот процес на селективно флотирање на оловно – цинковите минерали. Поради сето ова, на оваа фаза од процесот на селективно флотирање на Pb - Zn минералите, треба да се обрне максимално внимание и да се изврши оптимизација на сите значајни фактори, кои имаат влијание врз истата, а посебно на реагентниот режим. Врз основа на сознанијата до кои ќе

се дојде, на многу едноставен начин може да се изврши оптимирање и на останатите фази од споменатиот процес. Ова, и поради тоа што, во текот на експлоатацијата на едно наоѓалиште доаѓа до помали или поголеми промени на карактеристиките на влезната суровина, што од своја страна бара динамичко пратење и определување на оптималните вредности на факторите од кои зависи ефикасноста на процесот на флотирање.

Најзначајни фактори, кои влијаат на ефикасноста на сепарацијата (раздвојувањето) на минералите на оловото и на цинкот, во фазата на грубо флотирање на оловните минерали, покрај останатите, се: степенот на отвореност на минералната суровина, рН вредноста и густината на пулпата, потрошувачката на колектор за оловните минерали, потрошувачката на деприматор за цинковите минерали и секако времето на флотирање.

За оптимирање на реагенсниот режим во фазата на груба Pb-Zn флотација е користен полн факторски план на експерименти (градиентна метода). Оваа метода е применета поради следните причини:

- ◇ бара изведување на помал број опити во однос на класичната метода; и
- ◇ ги зема во предвид интеракциите помеѓу поделните фактори кои се предмет на оптимизација.

Втората причина е посебно значајна ако се земе во предвид дека сфалеритот, иако важи за минерал кој не поседува природна флотабилност, поради повеќе причини (присуство на јони на бакарот во пулпата, изоморфни измени во кристалната решетка, разни уклопци од јони на обоени метали во кристалната решетка и др.), добива карактеристики на минерал со елементи на изразита флотабилност. Бидејќи, предмет на оптимизацијата во овој случај е потрошувачката на колектор (за Pb минералите) и потрошувачката на деприматори (за Zn минералите), јасно е дека тие не можат да се оптимизираат на класичен начин (со промена на потрошувачката на еден реагенс при константна потрошувачка на другите). Поради присуството на лесно флотабилен сфалерит, и малку зголемена

концентрација на колектор во пулпата изнад оптималната, ќе предизвика колектирање на неговите површини. Од друга страна тоа значи дека ќе биде потребно поголема потрошувачка на деприматор, што од своја страна може негативно да влијае врз колектирањето на површините на галенитот. Поради сето ова, оптимирањето на овие параметри е извршено со помош на полн факторски план (градиентна метода на Box и Wilson), а за целна функција е усвоена ефикасноста на сепарација (раздвојување) бидејќи третираните фактори взаемно влијаат на неа.

ПОЛН ФАКТОРСКИ ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ

Променливи фактори:

x_1 – потрошувачка на KEX

x_2 – потрошувачка на $ZnSO_4 : NaCN$

x_3 – потрошувачка на Na_2SO_3

Нулти режим:

x_1 – 70 gr/t KEX

x_2 – 150:75 gr/t $ZnSO_4 : NaCN$

x_3 – 300 gr/t Na_2SO_3

Интервали на варијација $\pm 15\%$

$\Delta x_1 = \pm 10$ gr/t $\Delta x_2 = \pm 20:10$ gr/t $\Delta x_3 = \pm 45$ gr/t

според тоа имаме:

$x_{1\max} = 80$ gr (+) $x_{2\max} = 170:85$ gr (+) $x_{3\max} = 345$ gr (+)

$x_{1\min} = 60$ gr (-) $x_{2\min} = 130:65$ gr (-) $x_{3\min} = 255$ gr (-)

План на експерименти:

Реден број на опит	X ₁	X ₂	X ₃
1	+	+	+
2	--	+	+
3	+	-	+
4	--	-	+
5	+	+	-
6	--	+	-
7	+	-	-
8	--	-	-

Се изведуваат две паралелни серии на опити.

Константни услови при изведувањето на сериите опити:

- тежина на пробата 850 gr во келија од 2,5 l – густина 27,5 %
- отвореност на минералната суровина: $\approx 65\%$; $-74\ \mu\text{m}$
- време на мелење: 14,5 мин. Ц:Т = 1:0.45 или при мелење се додава 385 ml H₂O
- рН ≈ 9
- време на кондиционирање 3 мин.
- време на флотирање 10 мин.
- Дауфрут 250 по 50 капки pp
- број на обртаи на флотациската машина 900 – 930 o/min

Променливи услови:

Опит бр. 1 и 1a

+++

- КЕХ 80 gr/t или 0,068 gr/0.85 kg или 13,6 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 10 ml пред кондиционирање и 3,6 ml после 4 минути флотирање;
- ZnSO₄ : NaCN 170:85 gr/t или 0,145:0,072 gr/0,85 kg или 14,5:2,4 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l за ZnSO₄ и 3% раствор од NaCN. Се додава во мелење.

- Na_2SO_3 345gr/t или 0,29gr/0,85kg или 14,5 ml од раствор со концентрација од 20 gr/l; Се додава пред кондиционирање.

Опит бр. 2 и 2а

- + +

- КЕХ 60 gr/t или 0,051 gr/0.85 kg или 10,2 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 8 ml пред кондиционирање и 2,2 ml после 4 минути флотирање;
- ZnSO_4 : NaCN 170:85 gr/t или 0,145:0,072 gr/0,85 kg или 14,5:2,4 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l за ZnSO_4 и 3% раствор од NaCN. Се додава во мелење.
- Na_2SO_3 345gr/t или 0,29gr/0,85kg или 14,5 ml од раствор со концентрација од 20 gr/l; Се додава пред кондиционирање.

Опит бр. 3 и 3а

+ - +

- КЕХ 80 gr/t или 0,068 gr/0.85 kg или 13,6 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 10 ml пред кондиционирање и 3,6 ml после 4 минути флотирање;
- ZnSO_4 : NaCN 130:65 gr/t или 0,11:0,055 gr/0,85 kg или 11:1,8 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l за ZnSO_4 и 3% раствор од NaCN. Се додава во мелење.
- Na_2SO_3 345gr/t или 0,29gr/0,85kg или 14,5 ml од раствор со концентрација од 20 gr/l; Се додава пред кондиционирање.

Опит бр. 4 и 4а

- - +

- КЕХ 60 gr/t или 0,051 gr/0.85 kg или 10,2 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 8 ml пред кондиционирање и 2,2 ml после 4 минути флотирање;

- $\text{ZnSO}_4 : \text{NaCN}$ 130:65 gr/t или 0,11:0,055 gr/0,85 kg или 11:1,8 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l за ZnSO_4 и 3% раствор од NaCN. Се додава во мелење.
- Na_2SO_3 345gr/t или 0,29gr/0,85kg или 14,5 ml од раствор со концентрација од 20 gr/l; Се додава пред кондиционирање.

Опит бр. 5 и 5а

++-

- KEX 80 gr/t или 0,068 gr/0.85 kg или 13,6 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 10 ml пред кондиционирање и 3,6 ml после 4 минути флотирање;
- $\text{ZnSO}_4 : \text{NaCN}$ 170:85 gr/t или 0,145:0,072 gr/0,85 kg или 14,5:2,4 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l за ZnSO_4 и 3% раствор од NaCN. Се додава во мелење.
- Na_2SO_3 255gr/t или 0,22gr/0,85kg или 11 ml од раствор со концентрација од 20 gr/l; Се додава пред кондиционирање.

Опит бр. 6 и 6а

-+-

- KEX 60 gr/t или 0,051 gr/0.85 kg или 10,2 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 8 ml пред кондиционирање и 2,2 ml после 4 минути флотирање;
- $\text{ZnSO}_4 : \text{NaCN}$ 170:85 gr/t или 0,145:0,072 gr/0,85 kg или 14,5:2,4 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l за ZnSO_4 и 3% раствор од NaCN. Се додава во мелење.
- Na_2SO_3 255gr/t или 0,22gr/0,85kg или 11 ml од раствор со концентрација од 20 gr/l; Се додава пред кондиционирање.

Опит бр. 7 и 7а

+ - -

- КЕХ 80 gr/t или 0,068 gr/0.85 kg или 13,6 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 10 ml пред кондиционирање и 3,6 ml после 4 минути флотирање;
- $ZnSO_4$: NaCN 130:65 gr/t или 0,11:0,055 gr/0,85 kg или 11:1,8 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l за $ZnSO_4$ и 3% раствор од NaCN. Се додава во мелење.
- Na_2SO_3 255gr/t или 0,22gr/0,85kg или 11 ml од раствор со концентрација од 20 gr/l; Се додава пред кондиционирање.

Опит бр. 8 и 8а

- - -

- КЕХ 60 gr/t или 0,051 gr/0.85 kg или 10,2 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 8 ml пред кондиционирање и 2,2 ml после 4 минути флотирање;
- $ZnSO_4$: NaCN 130:65 gr/t или 0,11:0,055 gr/0,85 kg или 11:1,8 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l за $ZnSO_4$ и 3% раствор од NaCN. Се додава во мелење.
- Na_2SO_3 255gr/t или 0,22gr/0,85kg или 11 ml од раствор со концентрација од 20 gr/l; Се додава пред кондиционирање.

Прва серија на опити

Е - преставува ефикасност на сепарација на Pb во однос на Zn;

$$E = I(\%) Pb - R(\%) Zn;$$

Опит 1 + + +

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	865,00	100,00	5,06	4,60	100,00	100,00	
К/Pb	137,00	15,84	27,14	6,60	85,02	22,74	62,28
Ј	728,00	84,16	0,90	4,22	14,98	77,26	

Опыт 2 - + +

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	859,00	100,00	5,55	4,51	100,00	100,00	
K/Pb	104,00	12,11	39,56	5,92	86,23	15,88	70,35
J	755,00	87,89	0,87	4,32	13,77	84,12	

Опыт 3 + - +

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	864,00	100,00	5,39	4,48	100,00	100,00	
K/Pb	129,00	14,93	28,35	6,14	78,53	20,46	58,08
J	735,00	85,07	1,36	4,19	21,47	79,54	

Опыт 4 - - +

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	868,00	100,00	5,04	4,89	100,00	100,00	
K/Pb	111,00	12,79	33,31	6,49	84,44	16,96	67,48
J	757,00	87,21	0,90	4,66	15,56	83,04	

Опыт 5 + + -

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	872,00	100,00	5,07	4,43	100,00	100,00	
K/Pb	133,00	15,25	28,35	5,79	85,29	19,92	65,37
J	739,00	84,75	0,88	4,19	14,71	80,08	

Опыт 6 - + -

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	865,00	100,00	5,61	4,55	100,00	100,00	
K/Pb	120,00	13,87	33,68	6,14	83,27	18,73	64,53
J	745,00	86,13	1,09	4,29	16,73	81,27	

Опыт 7 + - -

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	869,00	100,00	4,59	3,23	100,00	100,00	
K/Pb	127,00	14,61	29,16	6,14	92,92	27,80	65,13
J	742,00	85,39	0,38	2,73	7,08	72,20	

Опыт 8 - - -

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	855,00	100,00	5,29	4,48	100,00	100,00	
K/Pb	122,00	14,27	31,78	6,65	85,74	21,18	64,56
J	733,00	85,73	0,88	4,12	14,26	78,82	

Втора серија на опити

Опит 1а + + +

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	863,00	100,00	5,13	4,71	100,00	100,00	
К/Рб	128,00	14,83	30,12	7,20	87,05	22,66	64,40
J	735,00	85,17	0,78	4,28	12,95	77,34	

Опит 2а - + +

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	863,00	100,00	5,07	4,67	100,00	100,00	
К/Рб	137,00	15,87	29,30	6,42	91,71	21,82	69,88
J	726,00	84,13	0,50	4,34	8,29	78,18	

Опит 3а + - +

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	854,00	100,00	5,80	4,94	100,00	100,00	
К/Рб	124,00	14,52	29,61	7,02	74,19	20,62	53,57
J	730,00	85,48	1,75	4,59	25,81	79,38	

Опит 4а - - +

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	863,00	100,00	5,36	4,32	100,00	100,00	
К/Рб	120,00	13,90	32,60	4,75	84,58	15,29	69,29
J	743,00	86,10	0,96	4,25	15,42	84,71	

Опит 5а + + -

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	862,00	100,00	5,37	4,34	100,00	100,00	
К/Рб	130,00	15,08	29,51	4,09	82,91	14,20	68,72
J	732,00	84,92	1,08	4,39	17,09	85,80	

Опит 6а - + -

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	865,00	100,00	5,18	4,68	100,00	100,00	
К/Рб	110,00	12,72	34,15	6,48	83,83	17,60	66,23
J	755,00	87,28	0,96	4,42	16,17	82,40	

Опит 7а + - -

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	850,00	100,00	5,19	4,26	100,00	100,00	
К/Рб	120,00	14,12	31,36	6,08	85,28	20,15	65,12
J	730,00	85,88	0,89	3,96	14,72	79,85	

Опит 8а ---

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	855,00	100,00	5,47	4,35	100,00	100,00	
K/Pb	111,00	12,98	34,46	5,21	81,85	15,55	66,30
J	744,00	87,02	1,14	4,22	18,15	84,45	

Понатаму вршиме моделирање на зависноста $E = f(x_1, x_2, x_3)$, во вид на линеарен модел, за да го определиме интензитетот на влијанието на променливите фактори врз целната функција, и да го определиме градиентот по кој треба да се движиме за да дојдеме до нивните оптимални вредности.

Планот на експерименти со постигнатите резултати е прикажан во наредната табела.

Табела 1

Бр. на опитот	x_0	x_1	x_2	x_3	E_1	E_2	$E_{sr.}$	$E_{pres.}$	$\Delta E = (E_{sr.} - E_{pres.})^2$
1	+	+	+	+	62,28	64,40	63,34	62,61	0,54
2	+	-	+	+	70,35	69,88	70,12	70,33	0,05
3	+	+	--	+	58,08	53,57	55,83	57,89	4,26
4	+	-	--	+	67,48	69,29	68,39	69,49	1,23
5	+	+	+	-	65,37	68,72	67,05	67,78	0,54
6	+	-	+	-	64,53	66,23	65,38	65,16	0,05
7	+	+	--	--	65,13	65,12	65,13	63,06	4,26
8	+	-	--	-	64,56	66,30	65,43	64,32	1,23

Планот на експерименти е повторен два пати, вредностите на ефикасноста на сепарацијата на минералите на Pb во однос на минералите на Zn, прикажани се во колоните E_1 и E_2 . Моделот го наоѓаме за средните вредности $E_{sr.}$.

Коефициентите на линеарниот модел за средните вредности $E_{sr.}$, според формула изнесуваат:

$$b_0 = \frac{1}{8} [63.34 + 70.12 + 55.83 + 68.39 + 67.05 + 65.38 + 65.13 + 65.43] = 65.08$$

$$b_1 = \frac{1}{8} [63.34 - 70.12 + 55.83 - 68.39 + 67.05 - 65.38 + 65.13 - 65.43] = - 2.25$$

$$b_2 = \frac{1}{8} [63.34+70.12-55.83-68.39+67.05+65.38-65.13-65.43] = 1.39$$

$$b_3 = \frac{1}{8} [63.34+70.12+55.83+68.39-67.05-65.38-65.13-65.43] = - 0.66$$

$$b_{12} = \frac{1}{8} [63.34-70.12-55.83+68.39+67.05-65.38-65.13+65.43] = 0.97$$

$$b_{13} = \frac{1}{8} [63.34-70.12+55.83-68.39-67.05+65.38-65.13+65.43] = - 2.59$$

$$b_{23} = \frac{1}{8} [63.34+70.12-55.83-68.39-67.05-65.38+65.13+65.43] = 0.92$$

$$b_{123} = \frac{1}{8} [63.34-70.12-55.83+68.39-67.05+65.38+65.13-65.43] = 0.48$$

Според тоа, математичкиот модел на процесот на грубо флотирање на оловото, изразен преку ефикасноста на раздвојување на минералите на оловото и цинкот, а во зависност од факторите x_1 (потрошувачка на KEX), x_2 (потрошувачка на $ZnSO_4$ и NaCN) и x_3 (потрошувачка на Na_2SO_3), во условни единици го има следниот изглед (полином од прв ред):

$$E = 65.08 - 2.25x_1 + 1.39x_2 - 0.66x_3 + 0.97x_1x_2 - 2.59x_1x_3 + 0.92x_2x_3 + 0.48x_1x_2x_3$$

Анализа на моделот

Во понатамошниот текст вршиме анализа на добиениот линеарен модел за да ја утврдиме значајноста на поделните коефициенти и секако неговата адекватност, односно дали реално ја изразува зависноста $E = f(x_1, x_2, x_3)$.

- Грешка на репродуктивност на секој опит :

$$S_{r1}^2 = \frac{[(62.28 - 63.34)^2 + (64.40 - 63.34)^2]}{2 - 1} = 2.25$$

$$S_{r2}^2 = \frac{[(70.35 - 70.12)^2 + (69.88 - 70.12)^2]}{2 - 1} = 0.11$$

$$S_{r3}^2 = \frac{[(58.08 - 55.83)^2 + (53.57 - 55.83)^2]}{2 - 1} = 10.17$$

$$S_{r4}^2 = \frac{[(67.48 - 68.39)^2 + (69.29 - 68.39)^2]}{2 - 1} = 1.64$$

$$S_{r5}^2 = \frac{[(65.37 - 67.05)^2 + (68.72 - 67.05)^2]}{2 - 1} = 5.61$$

$$S_{r6}^2 = \frac{[(64.53 - 65.38)^2 + (66.23 - 65.38)^2]}{2 - 1} = 1.45$$

$$S_{r7}^2 = \frac{[(65.13 - 65.13)^2 + (65.12 - 65.13)^2]}{2 - 1} = 0.00$$

$$S_{r8}^2 = \frac{[(64.56 - 65.43)^2 + (66.30 - 65.43)^2]}{2 - 1} = 1.51$$

■ Проверка на еднаквоста на дисперзијата по критериумот на Kohren

$$G_r = \frac{S_{r_{i\max}}^2}{\sum_{i=1}^8 S_{ri}^2} = \frac{10.17}{22.74} = 0.45$$

Од табела, за вкупен број на дисперзии $k=8$ и степен на слобода $f=p-1=2-1=1$, критериумот на Kohren изнесува $G_T = 0.680$ (p - број на повторени опити). Бидејќи е $G_r < G_T$, тоа значи дека грешката на репродуктивност од 10.17 е случајна односно нема значење.

Бидејќи моделот е добиен врз основа на средните вредности за E , тогаш грешката на репродуктивност за средните вредности E_{sr} изнесува:

$$\bar{S}_{rEsr}^2 = \frac{\sum_{i=1}^8 (E_1 - E_2)^2}{4 \cdot N} = \frac{45.47}{32} = 1.42$$

$$\bar{S}_{\text{rEsr.}}^2 = 1.42; \text{ односно } \bar{S}_{\text{rEsr.}} = \sqrt{1.42} = 1.19$$

■ Проверка на значајноста на коефициентите на моделот

Грешката на репродуктивност на коефициентите на моделот изнесува:

$$S_{b_j} = \frac{S_{\text{rEsr.}}}{\sqrt{N}} \frac{1.19}{\sqrt{8}} = 0.42$$

Граничната значајна вредност на коефициентите изнесува:

$$|b_j|_g = t \cdot S_{b_j} = 2.306 \cdot 0.42 = 0.97$$

каде е:

t - критериум на Student

за број на степени на слобода $f_r = N(p-1) = 8(2-1)$ и ниво на поверение $p=95\%$; $t=2.306$.

Бидејќи, за вакво ниво на поверение, коефициентите b_0 , b_1 , b_2 , b_{12} и b_{13} по апсолутна вредност се поголеми од $|b_j|_g$ истите се сметаат за значајни, додека коефициентот b_3 , b_{23} , b_{123} не го задоволува овој услов и се сметаат за безначајни, поради што не се земаат во предвид. Поради тоа дефинитивниот изглед на математичкиот модел, на процесот на грубо флотирање на оловото, изразен преку ефикасноста на раздвојување на минералите на оловото и цинкот, во условни единици, изгледа вака:

$$E = 65.08 - 2.25x_1 + 1.39x_2 + 0.97x_1x_2 - 2.59x_1x_3$$

Исто така, со соодветна анализа е констатирано дека посматраниот

процес е коректно опишан со помош на полином од прв ред и разликата која се појавува помеѓу експерименталните и пресметаните резултати е случајна.

Анализа на добиените резултати

Врз основа на добиените експериментални резултати и добиениот математички модел можеме да го заклучиме следното:

- ◇ Ефективноста на процесот на грубо флотирање на оловото од рудникот “Сага” - М. Каменица, изразен преку ефикасноста на сепарација (раздвојување) на оловните и цинковите минерали, во зависност од факторите x_1 (потрошувачка на колектор KEX), x_2 (потрошувачка на деприматор $ZnSO_4 : NaCN$) и x_3 (потрошувачка на деприматор Na_2SO_3), во условни единици, може успешно математички да се моделира со помош на полином од прв ред:

$$E = 65.08 - 2.25x_1 + 1.39x_2 + 0.97x_1x_2 - 2.59x_1x_3$$

- ◇ Од четирите анализирани фактори, x_1 (потрошувачка на колектор KEX), x_2 (потрошувачка на деприматор $ZnSO_4 : NaCN$), x_3 (потрошувачка на деприматор Na_2SO_3), првите два имаат влијание на ефикасноста на сепарацијата на Pb и Zn минералите во фазата на грубата оловна флотација. Третиот фактор (потрошувачка на деприматор Na_2SO_3), во ваков дијапазон на промена од $\pm 15\%$, нема влијание врз ефикасноста на процесот на грубо флотирање на оловните минерали. Тоа значи дека нивото на потрошувачката на овој реагенс, која е земена како нулта вредност (300 gr/t), се наоѓа во зоната на оптималното. Од друга страна, присуството на петтиот член во линеарниот модел односно значајната вредност на коефициентот пред членот x_1x_3 , покажува дека постои

одредена интеракциска врска помеѓу потрошувачката на деприматорот Na_2SO_3 и колекторот КЕХ. Поради сето ова, добивме петочлен линеарен модел во кој се застапени два, од трите појдовни, независни фактори. При тоа, влијанието на факторот кој ја означува потрошувачката на колекторот КЕХ, е значително поголемо, за околу 60%, во однос на факторот кој ја означуваат потрошувачката на деприматорот $\text{ZnSO}_4 : \text{NaCN}$. На тоа укажува вредноста на коефициентите пред споменатите фактори во математичкиот модел. Имено, апсолутната вредност на коефициентот b_1 , кој се однесува на потрошувачката на колекторот, изнесува 2.25, додека апсолутната вредност на коефициентот b_2 , кој се однесува на потрошувачката на $\text{ZnSO}_4 : \text{NaCN}$ изнесува 1.39. Воопшто, ако внимателно се проанализираат добиените резултати од извршените лабораториски опити, веднаш паѓа во очи дека се добиени доста високи искористувања на оловото (достигнуваат и преку 90%), од друга страна искористувањата (распределбата) на цинкот во грубиот оловен концентрат се движат околу 20%, што претставува прилично добро раздвојување за овој дел од процесот. Ова јасно укажува на фактот дека, кога се во прашање сите анализирани фактори, може слободно да се каже дека нивните појдовни вредности се така избрани да истите се наоѓаат во зоната на оптималното или многу блиску до истата. На тоа јасно укажуваат и прилично ниските вредности на поделните коефициенти од линеарниот модел (по апсолутна вредност). Сето ова значи дека е тешко да се очекува некое поосетно подобрување на таргетираните вредности (во нашиот случај тоа е степенот на раздвоеност помеѓу оловото и цинкот).

- ◇ Во сите опити каде што имаме максимална потрошувачка на колектор, распределбата на цинкот во грубиот концентрат е значително повисока,

во однос на опитите каде потрошувачката на колектор е минимална а останатите услови идентични. Ова јасно укажува на фактот дека сфалеритот од рудното наоѓалиште “Саса”, се карактеризира со одредена природна флотабилност. Поради што, треба да се обрати исклучително внимание на концентрација на колектор во пулпата, доколку истата ја надмине оптимално потребната вредност, веднаш ќе дојде до поинтензивно колектирање на површините на сфалеритните зрна, без разлика на присуството на деприматори.

- ◇ Во согласност со добиениот линеарен модел, ќе се обидеме да ја подобриме раздвоеноста (сепарацијата) на оловните и цинковите минерали, во фазата на грубо флотирање на оловото, со понатамошно смалување на потрошувачката на колектор, а истовремено понатамошно зголемување на потрошувачката на деприматорите. При тоа, потрошувачката на колекторот ќе ја смалуваме, од опит во опит, со поголемо темпо во однос на зголемувањето на потрошувачката на деприматорите, адекватно на односот помеѓу апсолутните вредности на соодветните коефициенти.

Определување на оптималната потрошувачка на колектор (КЕХ) и деприматор ($ZnSO_4 : NaCN$)

Врз основа на анализираниот математички модел, изведена е уште една серија од три опити. При следните константни услови:

- ◇ Finoќа на отварање на минералната суровина 65% – 0,074 mm;
- ◇ Густина на пулпата 27,5 % Ц. – тежина на пробата 850 g.
- ◇ pH \cong 9 (регулатор на средината со хидратна вар);
- ◇ Време на кондиционирање = 3 min.;

◇ Време на флотирање = 10 min.

Во согласност со вредностите на коефициентите пред поделните фактори и соодветниот предзнак, варирањето на вредноста на променливите фактори, од опит во опит, се вршеше со следното темпо: KEX – 20 % во минус, ZnSO₄ : NaCN – 13% во плус и Na₂SO₃ – 6 % во минус. Односно:

Опит бр. 1

- KEX 56 gr/t или 0,048 gr/0.85 kg или 9,5 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 7 ml пред кондиционирање и 2,5 ml после 4 минути флотирање;
- ZnSO₄ : NaCN 170:85 gr/t или 0,145:0,072 gr/0,85 kg или 14,5:2,4 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l за ZnSO₄ и 3% раствор од NaCN. Се додава во мелење.
- Na₂SO₃ 282gr/t или 0,24gr/0,85kg или 12 ml од раствор со концентрација од 20 gr/l; Се додава пред кондиционирање.

Опит бр. 2

- KEX 45 gr/t или 0,038 gr/0.85 kg или 7,7 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 5 ml пред кондиционирање и 1,7 ml после 4 минути флотирање;
- ZnSO₄ : NaCN 192:96 gr/t или 0,164:0,082 gr/0,85 kg или 16,4:2,7 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l за ZnSO₄ и 3% раствор од NaCN. Се додава во мелење.
- Na₂SO₃ 265gr/t или 0,23gr/0,85kg или 11 ml од раствор со концентрација од 20 gr/l; Се додава пред кондиционирање.

Опит бр. 3

- KEX 36 gr/t или 0,031 gr/0.85 kg или 6 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 4,5 ml пред кондиционирање и 1,5 ml после 4 минути флотирање;

- $ZnSO_4 : NaCN$ 217:109 gr/t или 0,184:0,093 gr/0,85 kg или 18,4:3,1 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l за $ZnSO_4$ и 3% раствор од NaCN. Се додава во мелење.
- Na_2SO_3 249gr/t или 0,21gr/0,85kg или 10,3 ml од раствор со концентрација од 20 gr/l; Се додава пред кондиционирање.

На овој начин би требало да се движевме по претходно утврдениот градиент кон оптималната област.

Трета серија на опити

E - преставува ефикасност на сепарација на Pb во однос на Zn;

$$E = I(\%) Pb - R(\%) Zn;$$

Опит 1

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	855,00	100,00	5,17	4,67	100,00	100,00	
K/Pb	122,00	14,27	31,16	7,60	85,92	23,23	62,69
J	733,00	85,73	0,85	4,18	14,08	76,77	

Опит 2

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	860,00	100,00	4,99	4,51	100,00	100,00	
K/Pb	102,00	11,86	33,27	5,99	79,00	15,76	63,25
J	758,00	88,14	1,19	4,31	21,00	84,24	

Опит 3

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Pb [%]	I Zn [%]	E [%]
Влез	860,00	100,00	4,97	4,54	100,00	100,00	
K/Pb	86,00	10,00	37,39	5,35	75,20	11,78	63,42
J	774,00	90,00	1,37	4,45	24,80	88,22	

Анализирајќи ги резултатите од третата серија на опити, веднаш паѓа во очи осетното намалување на искористувањето односно, подобро речено, распределбата на цинкот во грубиот оловен концентрат, од опит во опит (во првиот опит имаме 23,23%, во вториот 15,76% а во третиот 11,78%). Во исто време од опит во опит благо расте степенот на раздвоеност (E%). Она што е

исто така воочливо, е фактот дека вредностите на $E\%$ се помали во однос на веќе добиени вредности за овој параметар, во првата и втората серија на опити и покрај значителниот пад на распределбата на цинковите минерали во грубите оловни концентрати. Тоа е резултат на осетното намалување и на искористувањето на оловото во грубиот оловен концентрат (во првиот опит задоволителни 85,92%, во вториот 79,00%, додека во третиот опит 75,20%). Ова јасно укажува на недостаток на колектор во пулпата. Односно концентрацијата на овој реагенс не е доволна да изврши колектирање на сите површини на оловните минерали. Ова јасно укажува на претходно дадените констатации, при анализата на резултатите од основните опити (првите две серии на опити), дека всушност од почетокот се наоѓаме во стационарната област, односно, во областа каде што лежат оптималните вредности или многу блиску до неа. Со промената на вредноста на појдовните фактори, во согласност со нивниот предзнак во линеарниот модел, во првиот опит од додатната серија за 20%, ние фактички ја прескокнавме односно напуштивме стационарната област. Во вакви услови, задача на инженерите е да проценат дали, во рамките на грубата оловна флотација, ќе усвојат реагентен режим со кој ќе ја минимизираат распределбата на цинкот во грубиот оловен концентрат без оглед на послабите искористувања на оловните минерали, кое нешто после може да се корегира во рамките на контролната оловна флотација или ќе се усвои реагентен режим кој ќе се заснива строго на параметарот “максимална раздвоеност– E ”, односно, ќе се бара што поголемо искористување на оловните минерали, со максимално можно депресирање на цинковите.

Имајќи го сето ова предвид, наша препорака е да во рамките на грубата оловна флотација потрошувачката на колектор KEX изнесува околу 50 gr/t, потрошувачката на $ZnSO_4 : NaCN$ предлагаме да изнесува 200 : 100 gr/t, додека потрошувачката на Na_2SO_3 да изнесува околу 250 gr/t. Секако дека, апликацијата на овие големини во индустриски услови

треба да се изврши дисциплинирано и внимателно, при тоа, можни се одредени корекции во позитивна или негативна насока.

Оптимирање на реагенсниот режим во основната (груба) Zn флотација

Кај грубата цинкова флотација, направен е обид преку, исто така, полн факторски план на експерименти се изврши оптимирање на реагенсниот режим (потрошувачката на колектор КАХ и потрошувачката на активатор за цинковите минерали CuSO_4). При тоа како целна функција е усвоено максималното искористување на цинковите минерали во грубиот цинков концентрат.

ПОЛН ФАКТОРСКИ ПЛАН НА ЕКСПЕРИМЕНТИ

Променливи фактори:

x_1 – потрошувачка на КАХ
 x_2 – потрошувачка на CuSO_4

Нулти режим:

x_1 – 60 gr/t КАХ
 x_2 – 200 gr/t CuSO_4

Интервали на варијација $\pm 15\%$

$\Delta x_1 = \pm 10 \text{ gr/t}$ $\Delta x_2 = \pm 30 \text{ gr/t}$

според тоа имаме:

$x_{1 \max} = 70 \text{ gr (+)}$ $x_{2 \max} = 230 \text{ gr (+)}$
 $x_{1 \min} = 50 \text{ gr (-)}$ $x_{2 \min} = 170 \text{ gr (-)}$

План на експерименти:

Ред. број на опит	x_1	x_2
1	--	+
2	--	+
3	--	-
4	--	-

Се изведуваат две паралелни серии на опити.

Константни услови при изведувањето на сериите опити:

- тежина на пробата 850 gr во келија од 2,5 l – густина 27,5 %
- Ph \approx 11.5
- време на кондиционирање 12 мин.
- време на флотирање 10 мин.
- Дауфрут 250 по 50 капки pp
- број на обратаи на флотациската машина 900 – 930 o/min

Пробите се земени директно од погонот, пред влезот во кондиционерот на цинкова флотација.

Променливи услови:

Опит бр. 1 и 5

++

- KAX 70 gr/t или 0,06 gr/0.85 kg или 12,0 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 9.0 ml после 8 минути кондиционирање и 3,0 ml после 4 минути флотирање;
- CuSO₄ 230 gr/t или 0,2 gr/0,85 kg или 20 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l CuSO₄. Се додава пред кондиционирање.

Опит бр. 2 и 6

- +

- KAX 50 gr/t или 0,043 gr/0.85 kg или 8,5 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 6.5 ml после 8 минути кондиционирање и 2,0 ml после 4 минути флотирање;

- CuSO_4 230 gr/t или 0,2 gr/0,85 kg или 20 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l CuSO_4 . Се додава пред кондиционирање.

Опит бр. 3 и 7

+ -

- КАХ 70 gr/t или 0,06 gr/0.85 kg или 12,0 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 9.0 ml после 8 минути кондиционирање и 3,0 ml после 4 минути флотирање;
- CuSO_4 170 gr/t или 0,146 gr/0,85 kg или 15 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l CuSO_4 . Се додава пред кондиционирање.

Опит бр. 4 и 8

- -

- КАХ 50 gr/t или 0,043 gr/0.85 kg или 8,5 ml од раствор со концентрација од 5 gr/l. Динамика на додавање 6.5 ml после 8 минути кондиционирање и 2,0 ml после 4 минути флотирање;
- CuSO_4 170 gr/t или 0,146 gr/0,85 kg или 15 ml од раствор со концентрација од 10 gr/l CuSO_4 . Се додава пред кондиционирање.

Прва серија на опити

Опит 1 + +

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Zn [%]
Влез	850,00	100,00	1,33	8,51	100,00
K/Zn	205,00	24,12	2,52	29,64	83,96
J	645,00	75,88	0,95	1,80	16,04

Опит 2 + -

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Zn [%]
Влез	850,00	100,00	1,34	8,59	100,00
K/Zn	193,00	22,71	2,72	29,64	78,39
J	657,00	77,29	0,93	2,40	21,61

Опит 3 - +

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Zn [%]
Влез	850,00	100,00	1,31	8,42	100,00
K/Zn	190,00	22,35	2,48	30,53	81,01
J	660,00	77,65	0,97	2,06	18,99

Опит 4 --

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Zn [%]
Влез	850,00	100,00	1,33	8,33	100,00
K/Zn	165,00	19,41	2,52	32,23	75,13
J	685,00	80,59	1,04	2,57	24,87

Втора серија на опити

Опит 1а ++

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Zn [%]
Влез	850,00	100,00	1,36	8,52	100,00
K/Zn	193,00	22,71	2,64	30,09	80,14
J	657,00	77,29	0,99	2,19	19,86

Опит 2а +-

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Zn [%]
Влез	850,00	100,00	1,41	8,43	100,00
K/Zn	185,00	21,76	2,76	30,27	78,11
J	665,00	78,24	1,04	2,36	21,89

Опит 3а -- +

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Zn [%]
Влез	850,00	100,00	1,08	7,96	100,00
K/Zn	170,00	20,00	2,11	31,64	79,50
J	680,00	80,00	0,82	2,04	20,50

Опит 4а --

Производ	T [gr]	T [%]	Pb [%]	Zn [%]	I Zn [%]
Влез	850,00	100,00	1,07	8,17	100,00
K/Zn	160,00	18,82	2,16	32,17	74,08
J	690,00	81,18	0,82	2,61	25,92

Понатаму е извршено моделирање на зависноста $E = f(x_1, x_2)$, во вид на линеарен модел, за да се определи интензитетот на влијанието на променливите фактори врз целната функција, и да го определиме градиентот по кој треба да се движиме за да дојдеме до нивните оптимални вредности.

Планот на експерименти со постигнатите резултати е прикажан во наредната табела.

Табела 1

Бр. на опитот	x_0	x_1	x_2	$I_{Zn\ 1}$	$I_{Zn\ 2}$	$I_{sr.}$	$I_{pres.}$	$\Delta I =$ $(I_{sr.} - I_{pres.})^2$
1	+	+	+	83,96	80,14	82,05	81,15	0,81
2	+	+	-	78,39	78,11	78,25	76,43	3,32
3	+	-	+	81,01	79,50	80,26	81,15	0,81
4	+	-	-	75,13	74,08	74,61	76,43	3,32

Планот на експерименти е повторен два пати, вредностите за искористувањето на цинкот во K/Zn , прикажани се во колоните $I_{Zn\ 1}$ и $I_{Zn\ 2}$. Моделот го наоѓаме за средните вредности $I_{sr.}$.

Коефициентите на линеарниот модел за средните вредности $I_{sr.}$, според формула изнесуваат:

$$b_0 = 1/4 [82,05 + 78,25 + 80,26 + 74,61] = 78,79$$

$$b_1 = 1/4 [82,05 + 78,25 - 80,26 - 74,61] = 1,36$$

$$b_2 = 1/4 [82,05 - 78,25 + 80,26 - 74,61] = 2,36$$

$$b_{12} = 1/4 [82,05 - 78,25 - 80,26 + 74,61] = -0,46$$

Според тоа, математичкиот модел на процесот на грубо флотирање на цинкот, изразен преку искористувањето на минералите на цинкот во грубиот

цинков концентрат, а во зависност од факторите x_1 (потрошувачка на КАХ) и x_2 (потрошувачка на CuSO_4), во условни единици го има следниот изглед (полином од прв ред):

$$I = 78,79 + 1,36x_1 + 2,36x_2 - 0,46x_1x_2$$

Анализа на моделот

Во понатамошниот текст вршме анализа на добиениот линеарен модел за да ја утврдиме значајноста на поделните коефициенти и секако неговата адекватност, односно дали реално ја изразува зависноста $E = f(x_1, x_2)$.

- Грешка на репродуктивност на секој опит :

$$S_{r1}^2 = \frac{[(83.96 - 82.05)^2 + (80.14 - 82.05)^2]}{2 - 1} = 7.30$$

$$S_{r2}^2 = \frac{[(78.39 - 78.25)^2 + (78.11 - 78.25)^2]}{2 - 1} = 0.04$$

$$S_{r3}^2 = \frac{[(81.01 - 80.26)^2 + (79.50 - 80.263)^2]}{2 - 1} = 1.14$$

$$S_{r4}^2 = \frac{[(75.13 - 74.61)^2 + (74.08 - 74.61)^2]}{2 - 1} = 0.55$$

- Проверка на еднаквоста на дисперзијата по критериумот на Kohren

$$G_r = \frac{S_{r_{i_{\max}}}^2}{\sum_{i=1}^8 S_{r_i}^2} = \frac{7.30}{9.03} = 0.81$$

Од табела, за вкупен број на дисперзии $k=8$ и степен на слобода $f=p-1=2-1=1$, критериумот на Kohren изнесува $G_T = 0.906$ (p - број на повторени опити). Бидејќи е $G_r < G_T$, тоа значи дека грешката на репродуктивност од 7.30 е случајна односно нема значење.

Бидејќи моделот е добиен врз основа на средните вредности за I_{Zn} , тогаш грешката на репродуктивност за средните вредности $I_{Zn\ sr.}$ изнесува:

$$\bar{S}_{r\text{lsr.}}^{-2} = \frac{\sum_{i=1}^4 (I_{Zn1} - I_{Zn2})^2}{4 \cdot N} = \frac{18.05}{16} = 1.13$$

$$\bar{S}_{r\text{lsr.}}^{-2} = 1.13; \text{ односно } \bar{S}_{r\text{lsr.}} = \sqrt{1.13} = 1.06$$

■ Проверка на значајноста на коефициентите на моделот

Грешката на репродуктивност на коефициентите на моделот изнесува:

$$S_{bj} = \frac{S_{r\text{lsr.}}}{\sqrt{N}} \frac{1.06}{\sqrt{4}} = 0.53$$

Граничната значајна вредност на коефициентите изнесува:

$$|b_j|_g = t \cdot S_{bj} = 2.78 \cdot 0.53 = 1.47$$

каде е:

t - критериум на Student

за број на степени на слобода $f_r = N(p-1) = 4(2-1)$ и ниво на поверение $p=95\%$; $t=2.78$.

Бидејќи, за вакво ниво на поверение, коефициентите b_0 и b_2 , по апсолутна

вредност се поголеми од $|b_j|_g$ истите се сметаат за значајни, додека коефициентот b_1 и b_{12} не го задоволува овој услов и се сметаат за безначајни, поради што не се земаат во предвид. Поради тоа дефинитивниот изглед на математичкиот модел, на процесот на грубо флотирање на цинкот, изразен преку искористувањето на цинковите минерали во грубиот цинков концентрат, во условни единици, изгледа вака:

$$I_{Zn} = 78.79 + 2.36x_2$$

Исто така, со соодветна анализа е констатирано дека посматраниот процес е коректно опишан со помош на полином од прв ред.

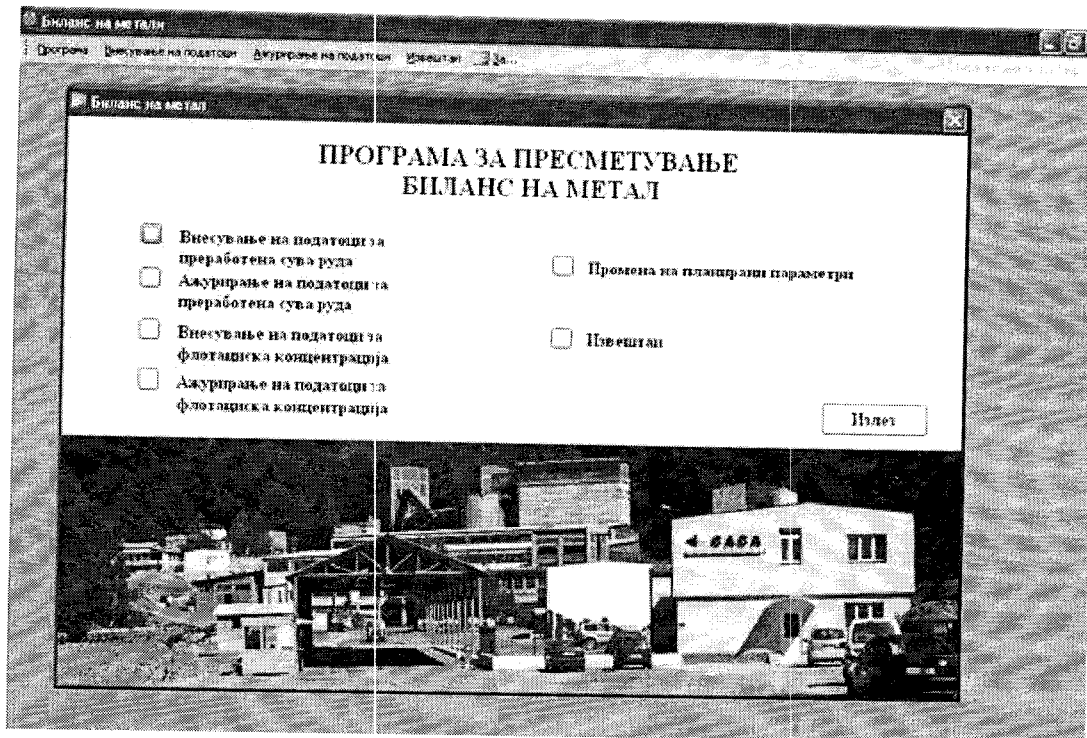
Резултатите од лабораториските опити и податоците добиени врз основа на нивната статистичка анализа јасно укажува на фактот дека, и овде, појдовните вредности на третираните параметри лежат во стационарната област, каде што се наоѓаат и оптималните решенија. Тоа е нормално ако се земе предвид дека, и кај грубата оловна флотација и кај грубата цинкова флотација, појдовните вредности на независните параметри се усвоени врз основа на податоците од полуиндустриски испитувања направени од страна на проектантот на технолошкиот процес. Особено ова се однесува на потрошувачката на колектор чија вредност од околу **60 gr/t** може да се смета за оптимална. Што се однесува до вториот независен фактор (потрошувачката на $CuSO_4$), според добиениот линеарен модел, постои одреден простор за зголемување на неговата вредност. Тоа би требало да го подобри искористувањето на цинковите минерали, во грубиот цинков концентрат. Меѓутоа, имајќи ги предвид веќе добиените прилично високи искористувања, пропратени со исто така повеќе од задоволителен квалитет на грубиот цинков концентрат, кога е во прашање овој дел од технолошкиот процес, слободно може да се усвои вредност за потрошувачката на

активаторот CuSO_4 од околу **250 gr/t**. Поради сето ова, сметавме дека не потребно да се направи додатна серија од лабораториски опити кои повеќе од очигледно е дека ќе ги потврдат веќе изнесените ставови и мислења.

Во рамките на нашето ангажирање во рудникот САСА, а во согласност со постигнатиот договор, изготвен е софтвер за изработка на квалитетни дневни и времени извештаи за погон флотација.

ОПИС НА КОМПЈУТЕРСКАТА ПРОГРАМА ЗА ПРЕСМЕТУВАЊЕ НА МЕТАЛ БИЛАНС

Програмата за пресметување на биланс на метал за селективна флотација е работена специјално за рудникот за оловно-цинкова руда САСА, Македонска Каменица. Програмата е Microsoft Access база на податоци и се состои од две податотеки: `rudnik_v4_be.mdb` ги содржи само табелите и `MetalBalance.mdb` со сите прашалници, извештаи, макроа, модули и сл. Втората се користи за стартување на програмата и притоа се појавува следниот прозорец (Слика1).



Слика 1

До опциите на програмата може да се дојде на два на`ина преку главното мени или преку иконите во главниот прозорец. Главното мени се состои од: Програма, Внесување на податоци, Ажурирање на податоци, Извештаи и За.

Внесувањето на податоци е поделено во два дела. Првиот дел е Внесување на податоци за преработена сува руда (Мени: Внесување на податоци -> Мелење и класирање) и притоа се стартува прозорецот на Слика 2. Притоа се бира секцијата (1 или 2) и смената (1, 2 или 3), па се внесуваат податоци за ден, број на работни часови и количество на преработена сува руда во тони.

Мелење и класирање

ВНЕСУВАЊЕ НА НОВИ ПОДАТОЦИ ЗА ПРЕРАБОТЕНА СУВА РУДА

Секција Смена Датум

Ефективни часови (h) Преработена сува руда (t)

Record: of 1

Слика 2

Вториот дел е Внесување на податоци за флотациска концентрација (Мени: Внесување на податоци -> Флотациска концентрација) и притоа се стартува прозорецот на Слика 3. Овде се бира смената, датум и се внесуваат податоци добиени од хемиска анализа и тоа: содржина на олово во влезна руда (%), содржина на цинк во влезна руда (%), содржина на олово во оловен концентрат (%), содржина на цинк во оловен концентрат (%), содржина на олово во цинков концентрат (%), содржина на цинк во цинков концентрат (%), содржина на олово во јаловина (%) и содржина на цинк во јаловина (%).

Флотациска концентрација

ВНЕСУВАЊЕ НА НОВИ ПОДАТОЦИ ЗА ФЛОТАЦИСКА КОНЦЕНТРАЦИЈА

Датум Смена

Содржина на олово во влезна руда (%) <input type="text"/>	Содржина на олово во цинков концентрат (%) <input type="text"/>
Содржина на цинк во влезна руда (%) <input type="text"/>	Содржина на цинк во цинков концентрат (%) <input type="text"/>
Содржина на олово во оловен концентрат (%) <input type="text"/>	Содржина на олово во јаловина (%) <input type="text"/>
Содржина на цинк во оловен концентрат (%) <input type="text"/>	Содржина на цинк во јаловина (%) <input type="text"/>

Record: of 1

Слика 3

Промената на истите податоци се врши во Ажурирање на податоци за преработена сува руда (Мени: Ажурирање на податоци -> Мелење и класирање) и Ажурирање на податоци за флотациска концентрација (Мени: Ажурирање на податоци -> Флотациска концентрација). Притоа се отвараат слични прозорци, со претходно отварање на помошни прозорци за избор на секција, смена и датум во првиот случај и смена и датум во вториот случај.

Програмата нуди можност и за поставување и промена на месечни пла-нирани параметри (Мени: Ажурирање на податоци->Промена на планирани па-раметри или Главен прозор: Промена на планирани параметри) како на Слика 4.

Промена на планирани параметри

ПРОМЕНА НА ПЛАНИРАНИ ПАРАМЕТРИ ЗА МЕСЕЦ ЈАНУАРИ

Број на работни денови	31
Ефективни часови	23
Преработена сува руда (t)	900,00
Содржина на олово во влезна руда (%)	4,50
Содржина на цинк во влезна руда (%)	4,80
Оловен концентрат (t)	100
Содржина на олово во оловен концентрат (%)	68,00
Содржина на цинк во оловен концентрат (%)	3,50
Цинков концентрат (t)	130
Содржина на олово во цинков концентрат (%)	1,11
Содржина на цинк во цинков концентрат (%)	49,90
Јаловина (t)	1570
Содржина на олово во јаловина (%)	0,80
Содржина на цинк во јаловина (%)	1,50

Снимај промена Излез

Слика 4

Главната цел на оваа програма е добивање на извештаи. Дадени се четири типа на извештаи и тоа: Листа на внесени податоци за преработена сува руда (Слика 5), Листа на внесени податоци за флотациска концентрација (Слика 6), Дневен извештај (Слика 7) и Временски извештај (Мени: Извештаи или Главен прозорец: Извештаи). За првите два вида извештаи се внесува почетна и крајна дата. Дневниот извештај се дава за даден датум и содржи технолошки параметри за мелење и класирање и за флотациска концентрација. Притоа се даваат податоци за содржина на олово и цинк во тони во влезна руда, оловен концентрат, цинков концентрат и

јаловина, искористување на олово и цинк по оловен и цинков концентрат, заедно со нивното вкупно искористување. Податоците се дадени по смени, вкупно од сите смени, кумулативно и како процент во однос на планираните вредности. Временскиот извештај (Слика 8) содржи слични податоци но за одреден временски период, кој се одредува со внесување на почетна и крајна дата.

Листа на внесени податоци за преработена сува руда				
Ден	Секција	Смена	Ефективни часови (h)	Преработена сува руда (t)
<i>02.04.2000</i>				
	1			
		1	8	240,00
		2	8	240,00
		3	8	240,00
	2			
		1	7	230,00
		2	8	250,00
		3	7	230,00
<i>03.04.2000</i>				
	2			
		3	8	250,00

Слика 5

Листа на внесени податоци за флотациска концентрација

Дат	Смена	Содржина на оливо во влезна руда	Содржина на лимон во влезна руда	Содржина на ополо во оливо концентрат	Содржина на лимон во оливо концентрат	Содржина на оливо во лимон концентрат	Содржина на лимон во лимон концентрат	Содржина на оливо во јаловина	Содржина на лимон во јаловина
02.08.2006	1	6,00	6,60	65,10	6,80	1,40	49,00	0,70	1,10
	2	6,10	5,90	75,10	4,80	1,60	52,30	1,00	0,70
	3	3,90	3,70	62,80	7,10	3,00	44,70	0,50	0,60
03.08.2006	1	4,80	4,50	73,60	3,10	3,10	44,20	0,80	0,40
	2	4,70	4,80	74,10	2,70	2,80	48,10	1,60	0,60
	3	4,60	4,80	68,20	4,10	2,90	47,50	2,50	1,30
04.08.2006	1	4,60	4,90	71,70	3,50	1,90	47,50	0,80	1,20
	2	4,30	4,60	63,80	5,20	0,80	51,70	0,40	0,90
	3	4,40	5,40	72,30	3,10	0,20	49,70	1,00	2,50
05.08.2006	1	3,50	3,90	70,30	3,60	1,70	45,30	0,80	1,00
	2	4,20	4,10	68,40	3,10	2,60	49,20	1,10	0,50
	3	4,10	4,40	59,30	5,60	0,30	46,40	0,80	2,70
06.08.2006	1	4,20	4,30	60,30	5,00	0,40	51,60	0,30	0,70
	2	4,20	4,50	75,60	2,30	0,90	48,50	0,40	0,60
	3	3,80	3,70	73,90	3,00	2,30	43,80	0,80	1,30
07.08.2006	1	5,20	5,90	62,30	5,00	1,00	45,20	0,60	0,70
	2	6,20	7,60	64,50	2,10	0,70	50,60	0,80	1,00
	3	4,80	5,60	71,20	5,30	1,90	52,10	1,30	1,60
08.08.2006	1	5,80	6,20	67,80	5,50	0,70	50,50	0,40	0,70
	2	4,70	5,50	65,20	4,80	0,20	51,90	0,50	0,40

Страна 1 од 2

Слика 6

РУДНИК ЗА ОЛОВО И ЦИНК

"С А С А"

Македонска Копненица

ДНЕВЕН ИЗВЕШТАЈ

ОД ПОГОН ФЛОТАЦИЈА ЗА ОСТВАР УВАЊЕ НА ПЛАНОТ

Датум 10.08.2006

Ред. број	ТЕХНОЛОШКИ ПАРАМЕТРИ ЗА МЕЛЕЊЕ И КЛАСИРАЊЕ	I СЕКЦИЈА						II СЕКЦИЈА						I + II СЕКЦИЈА КУМУЛАТИВНО		
		СМЕНА			ДНЕВНО	КУМУЛ.	СМЕНА			ДНЕВНО	КУМУЛ.	ПЛАНИРАНО	ОСТВАРНО	%		
		I	II	III			I	II	III							
1	Ефективни часови	(h)	8	3	8	24	218	8	8	8	24	218	46	48	106,87	
2	Производена сува руда	(t)	360	363	380	1099	9232	325	350	327	1002	9497	1800	2082	115,67	
3	Произведен часовен капацитет	(t.h)	45	45	45	45	42,74	40,62	43,75	40,88	41,75	39,24	40	43,38	108,46	

Ред. број	ТЕХНОЛОШКИ ПАРАМЕТРИ ЗА ФЛОТАЦИСКА КОНЦЕНТРАЦИЈА	СМЕНА			ОСТВАРНО	ПЛАНИРАНО	%	КУМУЛАТИВНО
		I	II	III				
1	Производена сува руда	(t)	685	710	687	2082	1800	115,67
2	Содржина на Pb	(%)	4,4	6,3	8,9	5,87	4,5	130,44
3	Содржина на Zn	(%)	4,5	6,8	7,5	6,27	4,8	130,62
4	Pb метал во руда	(t)	30,14	44,73	47,4	122,27	81	150,95
5	Zn метал во руда	(t)	30,82	48,28	51,52	130,82	88,4	151,18
6	Доделен Pb концентрат	(t)	32,89	48,00	57,4	138,38	100	138,38
7	Содржина на Pb	(%)	77,2	79,8	72	75,88	68	111,59
8	Содржина на Zn	(%)	3,4	1,9	5,7	3,83	3,5	109,43
9	Pb метал во Pb концентрат	(t)	25,39	38,28	41,33	105	68	154,41
10	Zn метал во Pb концентрат	(t)	1,12	0,91	3,27	5,3	3,5	51,43
11	Доделен Zn концентрат	(t)	55,56	82,83	80,04	218,43	130	168,02
12	Содржина на Pb	(%)	2,1	1,6	2,1	1,87	1,11	168,47
13	Содржина на Zn	(%)	48,1	46,7	40,3	48,01	49,9	96,21
14	Pb метал во Zn концентрат	(t)	1,17	1,24	1,68	4,69	1,44	284,03
15	Zn метал во Zn концентрат	(t)	25,72	38,66	39,46	104,88	64,87	161,66
16	Јаловина	(t)	686,6	579,1	549,6	1725,19	1570	109,88
17	Содржина на Pb	(%)	0,6	0,9	0,8	0,76	0,8	95
18	Содржина на Zn	(%)	0,5	1,5	1,8	1,19	1,5	79,33
19	Pb метал во јаловина	(t)	3,58	5,21	4,4	13,19	12,95	105,02
20	Zn метал во јаловина	(t)	2,98	8,06	8,79	20,46	23,55	86,88
21	Искористување на Pb во PbK	(%)	84,24	85,58	87,19	85,88	83,95	102,3
22	Искористување на Zn во PbK	(%)	3,63	1,88	6,35	4,08	4,05	100,25
23	Искористување на Pb во ZnK	(%)	3,88	2,77	3,54	3,35	1,78	188,2
24	Искористување на Zn во ZnK	(%)	88,7	80,12	76,59	80,28	75,08	106,03
25	Вкупно искористување на Pb	(%)	88,12	88,35	90,73	89,23	85,73	104,08
26	Вкупно искористување на Zn	(%)	90,33	82	82,94	84,34	79,13	106,58

Податоците ги подготвил

Сл

лика 7

Биланс на метали [Vremet : Report]

Програма Внесување на податоци Ажурирање на податоци Извештаи За...

РУДНИК ЗА ОЛОВО И ЦИНК
"С А С А"
Македонска Каменица

ВРЕМЕНСКИ ИЗВЕШТАЈ
За периодот од 01.08.2006 до 01.08.2006
ОД ПОГОН ФЛОТАЦИЈА ЗА ОСТВАРУВАЊЕ НА ПЛАНОТ

МЕЛЕЊЕ И КЛАСИРАЊЕ

СЕКЦИЈА 1		СЕКЦИЈА 2	
Ефективни часови:	240	Ефективни часови:	240
Преработена сува руда:	10223	Преработена сува руда:	9510
Просечен часовен капацитет:	42,6	Просечен часовен капацитет:	39,62

Ред. број	ТЕХНИСКОШКИ ПАРАМЕТРИ		Планирано	Остварено	%
1	Ефективни часови	(h)	720	240	33,33
2	Остварен часовен капацитет	(t/h)	80	82,22	102,78
3	Преработена сува руда	(t)	57600	19733	34,26
4	Содржина на Pb	(%)	4,5	4,9	108,89
5	Содржина на Zn	(%)	4,8	5,16	107,5
6	Pb метал во руда	(t)	5184	966,27	18,64
7	Zn метал во руда	(t)	5529,6	1018,31	18,42
8	Добие Pb концентрат	(t)	6400	1187,77	18,56
9	Содржина на Pb	(%)	68	68,09	100,13
10	Содржина на Zn	(%)	3,5	4,5	128,57
11	Pb метал во Pb концентрат	(t)	4352	908,8	18,58
12	Zn метал во Pb концентрат	(t)	224,02	53,45	23,86
13	Добие Zn концентрат	(t)	8320	1671,09	20,09
14	Содржина на Pb	(%)	1,11	1,64	147,75
15	Содржина на Zn	(%)	49,9	48,11	96,41

Слика 8

10.01.2007 год.

Рударско – геолошки факултет

Катедра за минерална технологија

проф. др. Борис Крстев,

проф. др. Благој Голомеов