

## ВЛИЯНИЕ НА ГЕОМЕТРИЧНАТА ФОРМА НА ЦЕЛИКА ВЪРХУ НОСЕЩАТА МУ СПОСОБНОСТ

**Росица Ангелова**

Минно-геоложки университет  
"Св.Иван Рилски"  
София 1700, България  
e-mail: rossi\_angelova 2000@abv.bg

**Драгомир Стефанов**

Минно-геоложки университет  
"Св.Иван Рилски"  
София 1700, България  
e-mail: prof\_stefanov@abv.bg

### РЕЗЮМЕ

За преодоляване на слабостите при проектирането на параметрите на камерно-целиковите системи е необходимо разработването на научно обосновани, съвременни и точни методи за анализ и проектиране. Такива методи се разработват на основата на задълбочено теоретично и експериментално изучаване на проблема за правилното оразмеряване на камерите и целиците при дадени минно-геоложки условия.

Чрез определяне на минно-геометричните параметри на системата, широчина на камера, широчина на целик, височина на целик и съответните съотношения между тях, във всяка отделна фаза от минния процес се постига обезпечаване на механичната цялост на поддържащия целик и максимален коефициент на обемно извличане. За целта чрез анализ на геометричните параметри на целиците и използвайки в частност метода на подчинената зона се предлага адекватен метод за оразмеряване на гипсовите целици.

Демонстрирана е принципна процедура, как може да бъде осъществена тази задача за условията в рудник "Кошава".

### ВЪВЕДЕНИЕ

Последните десетилетия се характеризират със значителен подем по отношение изясняването механизма на устойчивост на целиците. В тази връзка проблемът за правилното оразмеряване на целиците формално може да се разгледа като комплекс от решаването на две задачи.

Целта на първата комплексна задача е по теоретичен път да се определи носения товар от целика, изхождайки от приетата хипотеза.

Втората задача е свързана с дадена емпирична оценка на параметрите на разрушаването на целика. При нейното решаване може да се изхожда от редица фактори, като якостни свойства на целика, неговите геометрични параметри, реологични свойства, вид на контактите и др.

В настоящият доклад този проблем е разгледан от гледна точка на геометричните параметри на целиците при камерно-целикова система на разработване.

Основно предназначение на целиците е да обезпечат неограничено дълго време поддържането на изработките с цел тяхното повторно използване, както и да изпълняват основна функция в управлението на скалния натиск. На практика се доказва, че вредното влияние върху състоянието на скалния масив вследствие на взривните работи, изветрянето и реологичните процеси се проявява чрез обрушване след 30-40 години, а понякога и по-рано. Пълна икономическа оценка на негативните последствия от такива неуправляеми обрушвания е трудно да се направи, но във всички тези случаи загубите за минните предприятия в съответните страни са големи.

В настояще време подземния добив на гипс, като правило се осъществява чрез използването на вариантите на камерно-целикова система на разработване, главно чрез оставяне на междукамерни целици и неограничено дълго поддържане на изработеното пространство.

### ОБОСНОВКА НА ПРОБЛЕМА

Разработването на находища, а също така и експлоатацията на подземните съоръжения е свързана с оставянето в земните недра на разнообразни целици,

изпълняващи ролята на естествена опора, бариера, стена на дадени своеобразни елементи от подземните конструкции, обезпечавачи нормално функциониране на минното предприятие.

Върху избора на този начин на разработване на гипсовите находища оказват влияние главно три фактора:

- Относително широкото разпространение на гипсови находища, залягащи на неголяма дълбочина;
- Голямата мощност (10 - 30 и повече метри);
- Полегатото залягане на гипсовите пластове;
- Високата устойчивост на откритите площи.

Малкият обем на подготвително-нарезните работи, добивът на гипс от изработки с голямо сечение, сравнително не трудния добив, свързан само с взривното отбиване и транспортиране на минната маса главно чрез автомобилен транспорт, отсъствието на някакви

проявления на скалния натиск по-време на експлоатация в изработките – всичко това обуславя относително ниската себестойност на добиваната гипсова суровина.

Практически обаче, при разработването на гипсови находища прилаганата технология е съпътствана от редица недостатъци. Главният от тях е този, че се допускат големи загуби на полезно изкопаемо в целиците (понякога достигащи до 70% от балансовите запаси) и неизбежното обрушване на отработените пространства.

Главното предназначение на оставените гипсови целици е да обезпечат поддържането на изработките неограничено дълго време с цел тяхното повторно използване. Обаче изследванията от практиката показват, че вследствие на вредното влияние на пробивно-взривните работи, изветрянето и реологичните процеси рано или късно се стига до обрушване на масива. Като пример за това могат да послужат обрушванията на “Никитовското” и “Деконското” находища в Донбас, “Порт – Марон” и “Шанте –Льо ву” във Франция, “Кошава” в България.

Целта е чрез подходящ начин на разработване на гипсовото находище да се обезпечи сравнително дълъг период на съществуване на отработените пространства при камерно-целиковата система на разработване, и то така че след време да не се достигне до неуправляемо обрушване на земната повърхност. Едно такова неуправляемо обрушване на повърхността може да продължи неопределен период от време, при което запасите от гипс оставени в целици са във такъв вид, че повторното им изземване или е невъзможно или е икономически нецелесъобразно.

Всичко това потвърждава необходимостта от изучаване на техниката и технологията на добива на гипсовата суровина и свързаните с това методи за изчисляване на параметрите на камерите и целиците.

#### ПРЕДМЕТ НА НАУЧНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Предмет на изследванията в настоящия труд е анализът на геометричните параметри на целиците за гипсовото находище “Кошава”, чрез теоретично изучаване на проблема за носещата способност на целиците и намиране на адекватен метод за изчисляване.

Гипсовата среда има ясно изразени реологични свойства, които се проявяват главно в поведението на целиците, подложени на дълготрайно, често пъти променящо се натоварване. Регистрирани са случаи на значителни премествания и деформации. Дългогодишната практика на експлоатация на гипсовото находище “Кошава”, показва че при оформяне на достатъчно масивни целици се образува ядро на всестранен натиск, което гарантира устойчивостта на системата “камера – поддържащи целици”. В този случай, обаче коефициентът на извличане на запасите рязко намалява. Това води до

неефективното им използване, което в крайна сметка намалява срока на съществуване на рудника.

Технико-икономическата ефективност на камерно-целиковата система на разработване е тясно свързана с размерите на целиците. Икономическите фактори изискват от техническите решения да осигурят най-пълно изземване на запасите. На икономическите фактори се противопоставят изискванията за максимална безопасност на труда, които налагат да се работи при по-голям коефициент на сигурност, а това води до увеличаване размерите на целиците.

В табл.1 е показана връзката между параметрите на камерно-целиковата система на разработване и съответните загуби на гипс, оставени в целиците и охраниелните пачки в горницето и долницето на камерите. Очевидно е, че в случаите, когато изземването на гипса се осъществява по пълната мощност на пласта, коефициентът на извличане се увеличава и достига 60 – 70% (Камско-Устинското, Горазубовското находища), (Усаченко Б.М.,1985).

През последните 100 години са извършени многобройни аналитични и експериментални изследвания по въпросите на скалния натиск при камерно-целиковата система на разработване. За условията на хоризонтални и полегати находища, от различни автори са разработени аналитични методи за изчисление на натоварването и товарносимостта на целиците. Все по-пълното опознаване закономерностите на проявлението на скалния натиск довежда до по-точно и реално изчисляване на параметрите на целиците. Изследванията в последните години се основават на научни експерименти в лабораторни и промишлени условия и преди всичко върху численото моделиране и всестранно изучаване на физико-механичните и геоложките свойства на скалите. Натоварването и деформациите на целиците, като функция на скалния натиск, зависи от редица фактори:

- Дълбочина на минните работи;
- Съотношението между повърхнината на камерите и целиците;
- Строежа на покриващите скални слоеве;
- Устойчивостта им при огъване;
- Строежа, якостните и деформационни свойства на минералната суровина;
- Реологичните свойства на скалите;
- Разположението на целиците в добивното пространство.

Най-новите изследвания върху носещата способност на целиците, обаче са изложени в отделни разработки на различни съвременни изследователи, които все още изцяло не са обобщени.

Една от най-точните емпирични зависимости, изразяваща ефекта на обема на целика и геометричната му форма върху якостта на целика е тази на *Hardi and Agapito*(1977):

$$S = S_0 \cdot V^a \cdot (W_p / h)^b = S_0 \cdot V^a \cdot R^b$$

където:

$V$  – обем на целика,  $m^3$ ;

$W_p$  – ширина на целика,  $m$ ;

$h$  – височина на целика,  $m$ ;

$a, b$  – коефициенти (Brady, V.H.G., E.T. Brown, 1993);

$S_0$  – якостен параметър, представителен за рудния масив,  $Mpa$  (може да се приеме якостта на едноосов натиск);

$R$  – съотношението ширина на целика към височина на целика., (Brady, V.H.G., E.T. Brown, 1993)

Влиянието на геометричната формата на целика е свързано с три основни фактора:

- Оформя се ядро на обемен натиск в целика, поради ограничената възможност за странично разширение;
- Промяната на съотношението ширина към височина на целика, променя и самия начин на разрушаване на целика;
- Разпределението на напреженията е различно от разпределението им успоредно на оста на целика.

Параметри на камерно-целикова система при разработване на гипс

Таблица 1.

## АНАЛИЗ НА ГЕОМЕТРИЧНИТЕ ПАРАМЕТРИ НА КАМЕРИТЕ И ЦЕЛИЦИТЕ В РУДНИК “КОШАВА”

Основна система, по която е разработвано находище “Кошава” от началото до настоящия момент е камерно-целикова система. Трябва да се подчертае, че системата е прилагана в твърде разнообразни варианти, което и предопределя различното поведение и различния режим на работа на нейните конструктивни елементи: камера – целик – горнище – долнище.

За различни варианти на камерно-целиковата система имаме:

- Различни форми и геометрични параметри на целиците;
- Различни форми и геометрични размери на камерите;
- Различно състояние на изетите пространства след приключване на тяхната експлоатация;
- Различен ред на изземване на камерните запаси

Като резултат от прилагането на вариантите на камерно-целиковата система на разработване, в рудника има следните видове целици, разделени според формата и геометричните размери:

- Квадратни целици с размери 48 x 48 m;
- Квадратни целици с размери 20 x 20 m;
- Правоъгълни целици с размери 20 - 31 m;
- Правоъгълни целици с размери 19 - 27 m;
- Непрекъснати целици с дължина 102 - 128 m, ширина 16, 17, 19 m;
- Непрекъснати гребеновидни целици с дължина 110 - 120 m, ширина 18 - 19 m, тясна част - 6 m
- Непрекъснати гребеновидни целици с дължина 110 - 120 m, ширина 18 - 20 m, тясна част - 12 m.
- Бариерни целици с размери 120 - 120 m.

Според състоянието на изетите пространства след приключването на експлоатацията, камерите в рудника са : празни и запълнени.

За по-голяма яснота при анализа на геометричните параметри на целиците, е направен опит за райониране на рудника. Така са формирани три участъка, които от своя страна, по вторични признаци, са подразделени на няколко подучастъка. Два са основните фактора, отчетени при районирането на рудника: пропаданията през различни години и варианта на прилаганата камерно-целикова система (със запълнение или без запълнение).

#### Анализ на геометричните параметри на целиците в зоните на пропадналите полета (участък 1)

Участъкът е разположен в североизточния край на рудничното поле. В него са регистрирани три пропадания както следва:

- През 1976 година възниква внезапно обрушване на правоъгълни целици, (1A);
- През 1991 година в района на сондаж №24 се развива т.нар.самообрушващ се комин, който достига до повърхността, (1B);
- През 1992 година възниква масово пропадане на квадратните целици в района на галерия №14, (1C).
- На 05.03.1992 г. в района на т.нар."Бермудски триъгълник" (в северната част на рудничното поле) е регистрирано пропадане на добивното пространство, съпроводено с образуване на т.нар. самообрушващ се комин. За да се предотврати по-нататъшното развитие на комина до повърхността, в добивните камери на пропадналия участък са изградени стоманобетонни стени и е извършено частично запълване със сух пясък, (1D).

В резултат на тези пропадания на повърхността са се образували мулди на слягане с голямо площно

разпространение и значителна дълбочина. Следва да се подчертае, че води от кватернерния водоносен хоризонт не са проникнали в рудника. Теренът не е заблатен и продуктивността на почвата е запазена. Добивни работи в участъка повече няма да се извършват и той подлежи на ликвидация чрез запълване на останалите необрушени камери под с.Кошава. Наблюденията за оценка на състоянието на земната повърхност в района на с.Кошава следва да продължат. Необходимостта от изучаване на деформационния процес има принципно значение за осигуряване на безопасно развитие на минните работи за целия срок на съществуване на рудника.

#### Подучастък 1А

Разположен е северно от главна извозна галерия 3. Основните геометрични параметри характеризиращи подучастъка са представени в табличен вид, табл.2.

Основни геометрични параметри за подучастък 1А

Таблица 2

| ПАРАМЕТРИ                 | СТОЙНОСТ                 |
|---------------------------|--------------------------|
| Мощност на гипсовия пласт | 18,6 m                   |
| Дълбочина на разработване | 263 m                    |
| Обемно тегло на гипса     | 0,0223 MN/m <sup>3</sup> |
| Ширина на целиците        | 16 m; 18 m               |
| Височина на целиците      | 14 m                     |
| Ширина на камерите        | 7 m                      |
| Височина на камерите      | 14 m                     |
| Дължина на камерите       | 200-240 m                |

Отношението ширина към височина  $R = W_p / h_p$  за дадените размери е:

$$R = 16 / 14 = 1,14$$

$$R = 18 / 12 = 1,5$$

#### Подучастък 1В

Разположен около сондаж № 24 и камери с № 55, 56, 1/14, 1'/14, 1''/14. Имаме правоъгълни целици с размери 20 x 31 m и 19 x 27 m.

Основни геометрични параметри за подучастък 1В

Таблица 3

| ПАРАМЕТРИ                 | СТОЙНОСТ                 |
|---------------------------|--------------------------|
| Мощност на гипсовия пласт | 19,6 m                   |
| Дълбочина на разработване | 260 m                    |
| Обемно тегло на гипса     | 0,0223 MN/m <sup>3</sup> |
| Ширина на целиците        | 19 m; 20 m               |
| Височина на целиците      | 15m                      |
| Ширина на камерите        | 7 m                      |
| Височина на камерите      | 15 m                     |
| Дължина на камерите       | 20 m                     |

Отношението ширина към височина  $R = W_p / h_p$  за дадените размери е:

$$R = 19 / 15 = 1,27$$

$$R = 20 / 15 = 1,33$$

#### Подучастък 1С

Разположен около галерия № 14. Преобладават квадратни целици с размери 20 x 20 m.

Основни геометрични параметри за подучастък 1C

Таблица 4

| ПАРАМЕТРИ                 | СТОЙНОСТ                 |
|---------------------------|--------------------------|
| Мощност на гипсовия пласт | 19,6 m                   |
| Дълбочина на разработване | 260 m                    |
| Обемно тегло на гипса     | 0,0223 MN/m <sup>3</sup> |
| Широчина на целиците      | 18 m; 22m, 24 m          |
| Височина на целиците      | 15m                      |
| Широчина на камерите      | 7 m                      |
| Височина на камерите      | 15 m                     |
| Дължина на камерите       | 18 m, 20 m, 30 m         |

Отношението широчина към височина  $R = W_p / h_p$  за дадените размери е:

$$R = 18 / 15 = 1,20$$

$$R = 22 / 15 = 1,47$$

$$R = 24 / 15 = 1,6$$

### Подучастък 1D

Намира се в средната част северно от панелна галерия 3. Регистрираното пропадане на добивното пространство е съпроводено с образуване на т.нар. самообрушващ се комин. За да се предотврати по-нататъшното развитие на комина до повърхността, в добивните камери на пропадналия участък са изградени стоманобетонни стени и е извършено частично запълване със сух пясък. Добивни работи в района повече няма да се водят, а останалата част от запасите се завеждат като извънбалансови.

Основни геометрични параметри за подучастък 1D

Таблица 5

| ПАРАМЕТРИ                 | СТОЙНОСТ                |
|---------------------------|-------------------------|
| Мощност на гипсовия пласт | 19,6 m                  |
| Дълбочина на разработване | 210 m                   |
| Обемно тегло на гипса     | 0,022 MN/m <sup>3</sup> |
| Широчина на целиците      | 18 m, 20 m              |
| Височина на целиците      | 13 m                    |
| Широчина на камерите      | 6 m                     |
| Височина на камерите      | 13 m                    |
| Дължина на камерите       | 20 m                    |

Отношението широчина към височина  $R = W_p / h_p$  за дадените размери е:

$$R = 18 / 13 = 1,38$$

$$R = 20 / 13 = 1,53$$

### Анализ на геометричните параметри на целиците при камерно-целикова система без запълване на камерите (участък 2)

Участъкът обхваща централната част на рудника. В западна и северна посока границите на участъка съвпадат с естествените граници на рудничното поле. В южна и източна посока за граници служат контурите на предпазния целик под ж.п.линията и целика на промишлената площадка. В участъка попадат по-голяма част от старите експлоатационни полета, които са разработвани преди 1973 година. Поради опасност от внезапно разрушаване на целиците, тези полета са изолирани чрез принудително обрушване на панелните галерии, осигуряващи подходите към тях. Състоянието на камерите в двете полета е

неизвестно, като вероятността за наличие на акумулирани води е твърде голяма. Сложната геомеханична обстановка се допълва от наличието на няколко т.н. самообрушващи се комини, чието по-нататъшно развитие е предотвратено чрез изграждане в изработките на стоманобетонни прегради, подпрени от сух пясък. Добивни работи са извършвани през периода 1976-1980 година. Прилагана е камерно-целикова система на разработване с лентови целици без последващо запълване на камерите. Основните параметри на системата са дадени в табл.6.

Основни геометрични параметри за участък 2

Таблица 6

Отношението широчина към височина  $R = W_p / h_p$  за дадените размери е:

$$R = 16 / 11 = 1,45$$

$$R = 17 / 11 = 1,55$$

$$R = 19 / 11 = 1,73$$

### Анализ на геометричните параметри на целиците при камерно-целикова система с последващо запълнение на камерите (участък 3)

Участъкът е обособен в централната част на рудничното поле. Добивните работи в участъка се извършват с пълно или частично запълване на иззетите камери. В експлоатационния участък има стари отработени камери, чието запълване е необходимо условие за изземване на останалите запаси, блокирани в междукamerни целици. Параметрите, при които се прилага варианта със запълнение са показани в табл. 7.

Основни геометрични параметри за участък 3

Таблица 7

| ПАРАМЕТРИ                 | СТОЙНОСТ                |
|---------------------------|-------------------------|
| Мощност на гипсовия пласт | 19,6 m                  |
| Дълбочина на разработване | 290 - 330 m             |
| Обемно тегло на гипса     | 0,022 MN/m <sup>3</sup> |
| Широчина на целиците      | 16 m, 17 m              |
| Височина на целиците      | 12 – 13 m               |
| Широчина на камерите      | 5 – 8 m                 |
| Височина на камерите      | 12 – 13 m               |
| Дължина на камерите       | 110 - 132 m             |

Отношението широчина към височина  $R = W_p / h_p$  за дадените размери е:

$$R = 16 / 12 = 1,33$$

$$R = 17 / 12 = 1,42$$

Анализирайки горните резултати за работата на целиците, стигаме до извода, че якостта им е свързана с обема и геометричната форма на същите. Постигнатото

съотношение  $R$  се изменя в интервала 1,14 – 1,73. Извършеното сравнение показва, че вариантът с дълги лентови целици при вариант на камерно-целиковата система без запълнение има съществени предимства, които се свеждат до по-голямата устойчивост на поддържащите целици. Обобщените резултати от сравнителния анализ са представени в табл.8

Резултати от анализа на параметрите по участъци

Таблица 8

Стойностите на  $S_0$ , представляващи якостта на едноосов натиск на гипса са взети от (Иванов,В., Др.Стефанов, В.Василев., 1993. Геомеханична оценка на рудник "Кошава", договор, 20 -28)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Да се направи анализ на геометричните параметри на целиците в рудник "Кошава" е доста сложна задача, имайки предвид голямото разнообразие от форми и размери на същите и прилагането на различните варианти на камерно-целиковата система на разработване. Процесите на разрушение, които се наблюдават в различни участъци на рудника показват, че един от основните проблеми, който трябва да намери решение е оценка на устойчивостта на различните по тип, геометрична форма, разположение и последователност на оформяне целици и камери.

Проведеният анализ ще има необходимата представителност, ако в постановката на задачата се отчете якостта на целика, дефинирана емпирично, както и коефициента на сигурност. Така ще може да се даде отговор на въпросите, които имат решаващо значение за по-нататъшното развитие на минните работи в рудника.

## ЛИТЕРАТУРА

- Иванов,В., Др.Стефанов, В.Василев., 1993." Геомеханична оценка на рудник "Кошава", договор, 20 -28.  
Усаченко, Б.М., 1985. Геомеханика подземной добычи гипса., Киев., Наукова думка, 24 -25.  
Brady, В.Н.С., Е.Т. Brown.,1993. *Rock Mechanics for Underground Mining*. Champan & Hall. London, 571.

*Препоръчана за публикуване от катедра  
"Подземно разработване на полезни изкопаеми", МТФ*

# INFLUENCE OF THE PILLAR GEOMETRIC FORM OVER THE LOAD BEARING CAPACITY

Rositza Angelova

Dragomir Stefanov

University of Mining and Geology

University of Mining and Geology

“St. Ivan Rilski”

“St. Ivan Rilski”

Sofia, 1700, Bulgaria

Sofia, 1700, Bulgaria

E-mail: rossi\_angelova2000@abv.bg

E-mail: prof\_staefanov@abv.bg

## SUMMARY

The weak points arising upon parameter design of the open stope and pillars give us the challenge to overcome them developing new scientific-based, up-dated and precise methods of analysis and design. Consequently such methods are developed on the basis of profound theoretic and experimental study of the problem on the proper room and pillar measuring under specified mining and geological conditions.

Specifying the mining and geological parameters of the system, such as: width of room, width of pillar, height of pillar and the respective correlation at each separate step of the mining process, makes it possible to reach and to provide the mechanical completeness of the supporting pillar and maximal ratio volumetric.

For that purpose an adequate method of measuring of the gypsum pillars upon analysis of the geometric parameters of pillars, and particularly applying the method of the subordinated area has been suggested.

In the present study has been demonstrated a principal procedure how such a task could be accomplished under the conditions in the “Koshava” mine plant.

## INTRODUCTION

Last decades are described as to have marked a considerable boom regarding the clarification of the pillar stability mechanism. Relevant to that, the problem of the proper measuring of the pillars could formally be treated as a complex decision including the solution of 2 problems.

The purpose of the first complex problem is to define in a theoretical way the pillar load bearing, going out from the accepted hypothesis.

The second purpose is related to specified empiric estimation of parameters of the collapse of pillar. To find the proper solution, numerous factors such as: strength properties of pillar, geometric parameters of pillar, flow properties, kind of contacts etc. could be the outgoing subjects.

In the present report the problem is referred as to the geometrical parameters of pillars in the open stope and pillar of exploitation.

## FOUNDATIONS OF THE PROBLEM

The exploitation of the fields and the underground equipment suppose that various pillars acting as natural support, barrier, wall of some peculiar units of the underground constructions, providing the normal functions of the mine plant. are left in the bowels of the earth.

The principal design of the pillars is to guarantee the maintenance of the works within not limited long period of time, in order to get use of them for the second time, as well as to perform a main function in the management with the rock pressure. Indeed the experience has proved that the bad influence on state of the rock massif due to blasting works, weathering and flow processes might come up upon caving after 30-years, or sometimes even earlier.

To supply a full economic evaluation of the negative consequences of such sudden collapses would hardly be possible. However in all those cases the losses of the mining plants sustained in the respective countries are reported to be quite big.

At present the underground gypsum extraction as a rule is made using the versions of the open stope and pillar of exploitation, mainly upon leaving rib pillar room fender and keeping maintenance of the mined area within not limited long period of time.

The decision on the exploitation version of the gypsum fields is believed to result from the choice of 3 factors:

- Relatively wide spread of the gypsum fields, bedding not quite deep;
- Big thickness (10-30 m) and more;
- Slope bedding of the gypsum layers;
- High resistance of the open-mining areas.

The small volume of the development and undermining cut operations, the gypsum extraction in works of big section, comparatively not difficult

mining extraction /yield/ related only to the explosion breaking and carrying away the mined mass mainly by road transport, the absence of some developments of the rock pressure during the exploitation in the works – are known to be the main reasons determinant the comparatively low cost of the mined gypsum mineral.

Indeed the applied technology in the practice is going along with a number of disadvantages. As a main disadvantage are considered the big losses sustained of the mineral in the pillars (sometime reaching up to 70% of the balanced stocks) and the inevitable caving of the mined area.

The main design of the gypsum pillars left is to provide the maintenance of the works within not limited long period of time in order to get use of them for the second time. However the examinations in the practice have demonstrated that due to the bad influence of drilling and blasting operations, the weathering and the flow processes, rock caving is known to occur as early or as late. As examples could be pointed out the caving in the mine fields of Nikitovsko, Dekonsko, in Donbas, Port-Maron and Chante Le Vou in France, Koshava in Bulgaria.

The purpose is to exploit the gypsum mine in a proper way and to provide comparatively long lifetime of the extracted areas with the open stope and pillar of exploitation and to do it in a way to prevent from uncontrolled caving of the earth surface through out the years. Such an uncontrolled earth caving could last uncertain period of time while the gypsum reserves left in the pillars are in such a shape that makes the repeated stopping either not possible or economic not efficient.

All stated above proves the necessity to study the machinery and technologies of the gypsum mining and the relevant methods on parameter calculations of rooms and pillars.

#### SUBJECT OF THE SCIENTIFIC RESEARCH

The subject of scientific research in the present study is referred as to the analysis of the geometric parameters of pillars in "Koshava" gypsum field, by means of theoretically study of the problem on the pillar load bearing capacity and to find out an adequate method of calculation.

The gypsum environment has clearly expressed flow properties, which are to be found mainly in the behavior of pillars, put under long lasting and very often changing exertion. Several cases of considerable flow-shifts and deformations have been registered. The long –term experience of Koshava mining exploitation has pointed out that upon building of solid enough pillars, is being created a core of confinement, which can guarantee the stability of "room-supporting pillars" system. However in that case the extraction ratio drops considerably. That leads to inefficient exploitation, which finally cuts the life – time of the mine.

The technical and economic efficiency of the open stope and pillar of exploitation is closely linked to the dimensions of the

pillars. The economic factors require that the technical concepts assure the most efficient extraction of the mine stocks. However the economic factors are against the requirements of maximal safety of labor, which force to work at higher safety ratio, and that provoke the enlarging of the pillar dimensions.

In table № 1 is shown the relation between the parameters of the open stope and pillar of exploitation and the appropriate losses of gypsum, left in the pillars and the protective top and floor benches in the rooms. It is obviously that in cases of gypsum extraction at the full sickness of the layer, the extract ratio is going to be increased and reaches 60-70% (the mine fields of Kamsko-Ustinsko, Gorazubovsko), (Usachenko, B.M., 1985).

The recent 100 years are rich of a number of analytic and experimental explorations carried out on the matters concerning the rock pressure in the open stope and pillar of exploitation. Some authors have developed analytic methods for evaluation of the loading and load bearing capacity of the pillars for the conditions of horizontal and sloped mine- fields. The more profound the objective law of development of the rock pressure is known, the more precise and real the evaluation of the pillar parameters will be. The investigations in the recent years based on scientific experiments in labs and industrial conditions have concentrated mostly on the digital modeling and universal study of the physic-mechanical and geological properties of the rocks. The loading and deformations of the pillars as a function of the rock pressure is said to be dependant on number of factors, such as:

- The depth of mining works;
- The correlation between the surface of pillars and rooms ;
- The composition of the covering rock layers;
- Their bending resistance;
- The composition, strength, and deformation-properties of the mineral;
- The flow properties of the rocks;
- The pillars location in the mined area.

The latest examinations on the load bearing of pillars are to be found in different works of various contemporary explorers, which are not completely generalized.

One of the most precise empiric relation expressing the effect of the volume and geometric form of the pillar toward the pillar strength is that of Hardi and Agapito(1977):

$$S = S_0 \cdot V^a \cdot (W_p / h)^b = S_0 \cdot V^a \cdot R^b$$

Referred to as follows:

V – volume of pillar, m<sup>3</sup>;

W<sub>p</sub> - width of pillar, m;

h - height of pillar, m;

S<sub>0</sub> - parameter of strength, representing the mined area, MPa;

R – correlation width of pillar toward height of pillar., (Brady, B.H.G., E.T. Brown, 1993)

The shape effect arises from three possible sources:

- Confinement which develops in the body of a pillar due to constraint on its lateral dilation, imposed by the abutting country rock;
- Change in pillar failure mode with change in aspect ( i.e. width / height) ratio;

- Redistribution of field stress components other than the component parallel to the pillar axis, into the pillar domain.

- Various conditions of the extracted area after finishing their exploitation.
- Various sequence in extraction of the room mine stores.

The variety of applied versions of the open stope and pillar exploitation system, has resulted in certain kinds of pillars, divided according to the form and geometric size, which are to be found in the mine as follows:

- Square pillars, with dimensions of 48x48 m;
- Square pillars, with dimensions of 20x20 m;
- Rectangular pillars, with dimensions of 20-30 m;
- Rectangular pillars, with dimensions of 19-27 m;
- Continuous pillars, with length 110 - 120 m, width 16 - 18 m;
- Continuous comb-shaped pillars, with length 110 - 120 m, width 18 - 19 m and narrowing - 6 m;
- Continuous comb-shaped pillars, with length 110 - 120 m, width 18 - 20 m and narrowing - 12 m;
- Barrier pillars with dimensions 120 -120 m.

#### ANALYSIS OF THE GEOMETRIC PARAMETERS OF THE ROOMS AND PILLARS IN "KOSHAVA" MINE PLANT

The open stope and pillar is the principal one, which the works in Koshava mine exploitations have followed from the very beginning till now. It should be highlighted that the system has been applied in different versions and that is believed to determine different behaviour and different operation conditions of the composition units: room – pillar – roof - floor. For different versions of the open stope and pillar, the versions applied are as follows:

- Various forms and geometric parameters of pillars.
- Various forms and geometric parameters of rooms.

According to the condition of the extracted area after finishing the exploitation, the rooms in the mine plant are known to be with filling and without filling.

Parameters of the open stope and pillar upon gypsum exploitation  
Table № 1

| Mine field               | Depth of Bedding | Thickness of layer | Angle of dipping | Length Of Room | Width Of Room | Thick-ness Of safety bench | Pillar dimensions     | Extract ratio |
|--------------------------|------------------|--------------------|------------------|----------------|---------------|----------------------------|-----------------------|---------------|
|                          | m                | m                  | °                | m              | m             | m                          | m                     | η             |
| Koshava Bulgaria         | 297              | 30                 | 18               | 12             | 7             | 3                          | 15-17                 | 0,36-0,40     |
| Shoals- USA              | 105-158          | 30                 | 6                | 3,6-5,2        | 7,5-9         | -                          | 6 x 9                 | -             |
| Stemp Hil-England        | 30-270           | 24,4-36,6          | 6                | 9,14           | 4,88          | -                          | 7,2 x 7,2<br>6,4 x 12 | 0,5-0,75      |
| Britling-England         | 40               | 2,1-6              | -                | 1,8-4,8        | 6,4           | -                          | 6,4 x 6,4             | 0,56-0,79     |
| Taverni-France           | 45-80            | 9-12               | 0                | 7,5-9,5        | 8             | 2                          | 16 x 16<br>4 x 4      | 0,40-0,65     |
| Port-Marion-France       | 70-80            | 8                  | 1                | 6              | 7,5           | 2                          | 6,5 x 6,5             | 0,70          |
| Gorazobaerk-Ukraine      | 150              | 10-16              | 5-8              | 9-14           | 8             | 0                          | 5 x 150               | 0,61          |
| Olekminsk-Russia         | 35-65            | 6-11               | 8-10             | 6-7            | 10            | 1-2                        | 6 x 100               | 0,42-0,46     |
| Beblovska-Russia         | 90               | 4,4                | 0-3              | 3-4            | 8             | 1                          | 4 x 10                | 0,38-0,40     |
| Artemovska-Russia        | 100              | 25                 | 3-7              | 15-18          | 8-11          | 5,5                        | 12 x 30<br>12 x 100   | 0,32-0,42     |
| Neomoskovsk a-Russia     | 120-130          | 17                 | 0-2              | 9-11           | 10-11         | 6,5-8,5                    | 9 x 50<br>10 x 50     | 0,34-0,36     |
| Kamsko Ustinskaja-Russia | 100-130          | 12                 | 0-1              | 10-12          | 15            | 0                          | 12 x 20               | 0,62-0,70     |
| Dambo Main-Canada        | 116              | 1,5-2,4            | 5                | -              | 6             | -                          | 6 x 6                 | -             |

|                     |   |       |   |           |    |   |        |      |
|---------------------|---|-------|---|-----------|----|---|--------|------|
| Obrigeim<br>Germany | - | 12-13 | 2 | 11,5-12,5 | 10 | - | 8 x 15 | 0,74 |
|---------------------|---|-------|---|-----------|----|---|--------|------|

To be in position to follow easier the analysis of the geometric forms of pillars, an experimental task to divide the mine plant in districts has been undertaken. Consequently 3 districts have been established which on turn according to secondary attributes have been subdivided in few districts. There are 2 main factors which are known to be taken into consideration upon split of the mine: creeps through out the years, and the appropriate version of the applied open stope and pillar ( with or without backfilling).

### Analysis of the geometric parameters of pillars in the area of creeps fields ( district 1)

The district is situated in the northeast part of the mined area. Three creeps have been registered in it as follows:

- In 1976 sudden caving of rectangular pillars have appeared, ( 1A );
- In 1991, in the district of bore – hole № 24 arised a self – caving, known as chimney-like heading which has reached the surface (1B);
- In 1992 a mass creep of square pillars in the district of drift № 14 has come up, ( 1C );
- On 05.03.1992 has been registered a creep in the extraction area of the district known as “Bermudian triangle” ( in the north part of the mine field ). The creep arised along with self - caving known as chimney-like heading. To prevent from further development of that chimney - like heading to the surface, certain walls of reinforced concrete have been built and a partial backfilling with dry sand has been made in the extracted areas, ( 1D ).

Moulds of subsidence spread out wide and deeply in the area are believed to be the result from the creep at the surface. It is necessary to stress on the fact that waters from quaterner water-carrying horizon did not penetrate in the mine -field. The land did not become boggy and the soil productivity has been preserved. There will be no more extraction works in the district and it should be liquidated by backfilling the not caved existing rooms left under the village of Koshava. The observations for assessment of the surface conditions in “Koshava” mine should go one. The necessity to study the deformation processes has a principal importance for assuring a trouble free development of the mine works as long as the mine exist.

#### District 1A

It is situated to the north of the main extract haulage drift 3. The working parameters are given in table 2.

Basic geometric parameters of district 1A  
Table 2

The ratio of width toward height  $R = W_p / h_p$  for the specified dimensions is as follows:

$$R = 16 / 14 = 1,14$$

$$R = 18 / 12 = 1,5$$

#### District 1B

It is situated round a bore – hole № 24 and rooms № 55, 56, 1/14, 1'/14, 1"/14. Rectangular pillars of dimensions 20 x 31 m and 19 x 27 m are available.

Basic geometric parameters of district 1B  
Table 3

The ratio of width toward height  $R = W_p / h_p$  for the specified dimensions is as follows:

$$R = 19 / 15 = 1,27$$

$$R = 20 / 15 = 1,33$$

#### District 1C

It is situated round a bore – hole № 14. Square pillars of dimensions 20 x 20 m are predominated.

Basic geometric parameters of district 1C  
Table 4

The ratio of width toward height  $R = W_p / h_p$  for the specified dimensions is as follows:

$$R = 18 / 15 = 1,2$$

$$R = 22 / 15 = 1,47$$

$$R = 24 / 15 = 1,6$$

#### District 1D

It is situated in the middle part to the north of a panel drift 3. The registered creep of the extracted area is going along

with a self-caving structure, known as chimney-like heading. To prevent from further development of that chimney-like heading to the surface, certain walls of reinforced concrete have been built in the extraction rooms in the area of creep and a partial backfilling with dry sand has been made.

There will be no more extraction works in the district and the remaining part of the mine stores should be registered as items out of the balance sheet.

Basic geometric parameters of district 1D  
Table 5

The ratio of width toward height  $R = W_p / h_p$  for the specified dimensions is as follows:

$$R = 18 / 13 = 1,38$$

$$R = 20 / 13 = 1,53$$

#### **Analysis of the geometric parameters of pillar in the open stope and pillar without backfilling the rooms (district 2)**

The district comprises the central part of the mine plant. In the west and in the north the district borders coincide with the natural borders of the mine field. The outlines of the safety pillar placed under the rail - way and the pillar of the industrial site serve as borders in the south and in the east. Most of the old exploitation fields, which have been exploited before 1973, are also supposed to get into the district. Those fields have been purposely insulated by forced caving of the panel drifts, assuring the access to them, because of danger of sudden collapse of pillars. The condition of rooms inside both fields is not known, but it is quite probable that some amount of accumulated waters might be available. The complicated geo-mechanical conditions are attributed by the availability of some self-caving structures, known as chimney-like headings. To prevent from further development of those chimney-like headings in the works, certain protective barriers of reinforced concrete have been built and backed up by dry sand. Extraction works are known to have taken place within 1976-1980. A open stope and pillar of exploitation with rib pillars without further room backfilling has been applied. The basic parameters of the system are given in table № 6.

Basic geometric parameters of district 2  
Table 6

The ratio of width toward height  $R = W_p / h_p$  for the specified dimensions is as follows:

$$R = 16 / 11 = 1,45$$

$$R = 17 / 11 = 1,55$$

$$R = 19 / 11 = 1,73$$

#### **Analysis of the geometric parameters of pillar in the open stope and pillar with a follow up backfilling the rooms (district 3)**

The district is located in the central part of the mine plant. The extraction works in the district are carried out by partial- or entire- backfilling of the extracted rooms. Some old extracted rooms are to be found in the district. For that reason it is necessary to backfill them as an indispensable condition for extraction of the mine stores left, due to the fact they have been locked in rib pillar room fender.

The parameters referring as to the version of backfilling, is shown in table № 7.

Basic geometric parameters of district 3  
Table 7

The ratio of width toward height  $R = W_p / h_p$  for the specified dimensions as follows:

$$R = 16 / 12 = 1,33$$

$$R = 17 / 12 = 1,42$$

Going through the above analysis on the pillar works, following results are supposed to be concluded: the pillar strength is closely related to the volume and the geometric form. The reached correlation  $R$  vary in the range of 1,14 - 1,73. The comparison made in the present study has demonstrated that the version with long rib pillars in the open stope and pillar without backfilling has substantial advantages which can be categorized as bigger stability of the supporting pillars. The general results from the comparative analysis are specified in table № 8

Results from the comparative analysis  
Table 8

the safety ratio, provided that they have been included in the terms of the problem.

Thus there are appropriate replies to the questions of substantial importance for the further development of the mine works in mine plant and they could be found.

## CONCLUSION

It turned out to be quite complicated issue to draw analysis on the geometric parameters of the pillars in Koshava mine field, having in mind the great variety of forms and dimensions of pillars and the applied versions of the open stope and pillar system of exploitation. The collapse processes which are to be found in different part of the mine demonstrate that one of the main problems to be solved is the estimation of the stability of the pillars and rooms which are varied in types, geometric forms, location and sequence of building.

A second possible source to become more representative could be the pillar strength, defined in a empiric way, as well as

## REFERENCES

- Ivanov, V., Dr. Stefanov, V. Vasilev, 1993. "Geomechanical estimation of "Koshava" mine "., contract, 20 - 26.
- Usachenko, B.M., 1985. "Geomechanics of the underground mining of gypsum"., Kiev, Naukova dumka, 24 - 25.
- Brady, B.H.G., E.T. Brown, 1993. *Rock mechanics for underground mining*. Chapman & Hall, London, 571.

*Recommended for publication by Department of  
Underground mining , Faculty of Mining Technology*