

Leopold Staniek

PROBLEMY GŁĘBIENIA SZYBÓW  
PRZEZ STREFĘ PIASKÓW MIOCEŃSKICH NADKŁADU  
W OBSZARZE GÓRNICZYM KOP. WK SOŚNICA

Streszczenie. W artykule poruszono zagadnienie przepojonych wodą piasków miocęńskich z detritusem wapiennym.

Piaski te stanowią zagrożenie wodne wyrobisk górniczych a naruszone wdzierają się do nich pod ciśnieniem 4-15 atmosfer.

A. Zaleganie poziomu piasków z detritusem wapiennym i piasków kwarcowych w obszarze górniczym kopalni W.K. Sośnica

W obszarze górniczym kopalni Sośnica w tortońskich warstwach miocenu, stanowiących nadkład karbonu, występują bardzo słabo związane piaski jako stały poziom stratygraficzny.

Piaski te były badane w szybie Bojków, szybie IV i V. Składają się one z drobnoziarnistego kwarcu zmieszanego w 40 do 50% z organicznym detritusem wapiennym. Kompleks tych piasków nie stanowi jednolitej ławy w całym profilu, lecz posiada wkładki iłów, czystych piasków i słabozwiązanych piaskowców.

Piaskowce składają się z tego samego zespołu ziarnowego o tej samej granulacji co wyżej wymienione piaski z detritusem wapiennym.

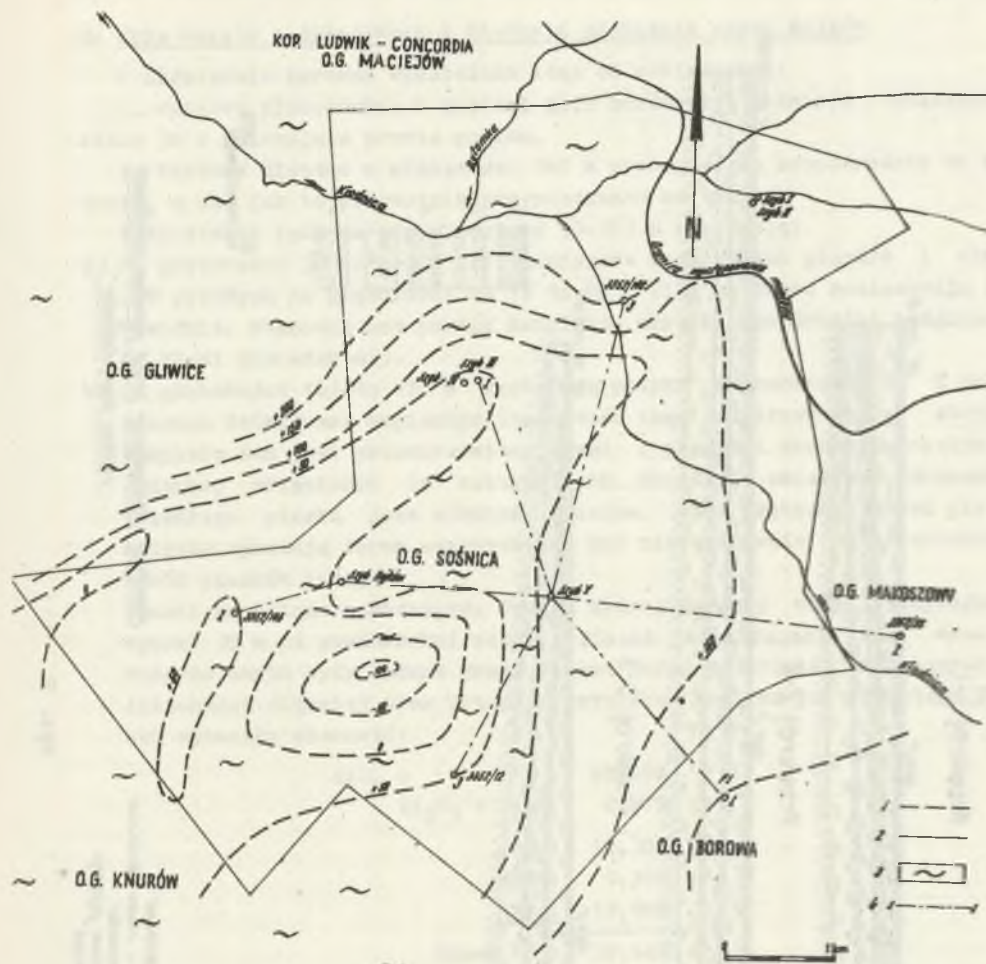
Stopień scementowania tych piasków jest różny, gdyż miejscami są one bardzo twarde (niemal jak zwarte wapienie), a miejscami kruche, rozsypliwie i dają się rozkruszyć na piasek przy rozcieraniu palcami. Wkładki piaskowców scementowanych mają w poszczególnych szybach różną głębokość zalegania i różną grubość.

Tabela 1 przedstawia korelację poziomu piasków z detritusem wapiennym w otworach i szybach kopalni Sośnica.

Dane z otworów i z szybów pozwoliły na wykreślenie izolinii zalegania spągu piasków z organicznym detritusem wapiennym i kurzawek, które stanowią jeden poziom wodonośny. Dane te obrazuje mapa geologiczna rysunek 1 i przekroje rys. 2. Z mapy i przekrojów wynika, że zarówno szyb V jak i szyb Bojków znajdują się na skłonie niecki wypełnionej kurzawką, której skrzydło południowo-wschodnie dochodzi w obszarze górniczym Borowa (+ 200 m n.p.m.) blisko powierzchni terenu. Szyb III i IV znajdują się na przeciwnym skłonie skrzydła północnego tej niecki.

Tablica 1

Lp.	Nazwa szybu względnie numer otworu	Stąd poz. piasków n.p.m. (m)	Głębokość wzgl. pow. poz. piasków (m)	Miąższość poz. piasków (m)	Miąższość iłów oddzie- lających piaski od pow. karbonu (m)	Uwagi
1	2	3	4	5	6	7
1	otw. nr 3352/105	+ 63.48	196.8	6.2	109	
2	otw. nr 3352/106	+ 58.2	200.0	15.0	108.5	
3	otw. nr 3352/57	+228.5	19.5	19.5	97.7	
4	otw. nr 3352/58	+220.5	22.5	22.5	23.0	
5	otw. nr 3352/14	+ 19.0	241.0	26.0	59.0	
6	otw. nr 3352/13	+ 21.0	237.0	30.0	33.0	
7	otw. nr 3352/12	+212.46	31.80	14.3	287.20	
8	otw. nr 3352/11	+ 78.25	171.0	23.0	155.0	
9	otw. nr 3352/2	- 1.5	254.0	27.0	18.0	
10	otw. nr 3352/1	+ 81.2	167.8	24.1	157.2	
11	Szyb Bojków	+ 77.7	176.0	12.5	149.5	
12	otw. nr 3352/33	+220.13	7.87	1.57	24.13	
13	otw. nr 3352/48	+191.0	39.0	11.0	16.1	
14	otw. nr 3352/67	+ 17.29	54.2	14.0	47.85	
15	otw. nr 3352/69	+164.89	67.11	67.11		
16	otw. nr 3352/96	+177.7	50.30	25.30	168.20	
17	otw. nr 3352/113	+211.9	18.4	18.4	146.44	
18	otw. nr 3352/181	+175.5	47.0	1.5	52.4	
19	otw. Paniówki	+188.0	52.8	20.6	188.0	
20	Szyby III i IV	+ 44.0	199.8	7.8	102.0	
21	Szyb V	+108.0	132	38.0	216.5	



1. izohipsy spęgu piasków kurzanikowych
2. granica obszaru górnicego
3. miocen
4. linie przetworu geologicznych

Mapa geologiczna występowania miocenu z zaznaczonym zasięgiem piasków kurzanikowych na SE od Gliwic

Rys. 1



## B. Opis warstw nadkładowych i historia głębień szymbu Bojków

W nadkładzie karbonu wydzielono idąc od powierzchni:

1. warstwy pliocenkie w postaci glin morenowych i żwirów o miąższości około 30 m zalegające prawie poziom,
2. Warstwy miocenu o miąższości 260 m spoczywające bezpośrednio na karbonie, a nie jak to pierwotnie przypuszczano na trasie.

W warstwach tych na głębokości od 30-163 m występują:

- a) Od głębokości 30 do 163 m iły nadgipsowe z wkładkami piasków i utworów pyłowych na głębokości od 77 do 88 m (iły te łatwo rozlasowują się w wodzie. Stanowią one partię kompleksu określonego drugimi nadgipsowymi iłami miocenijskimi).
- b) od głębokości 163 do 170 m występują piaski drobnoziarniste z organicznym detritusme wapiennym (zawartość tego detritusu wynosi 40-50%. Kompleks ten jest przewarstwiony iłami i piaskami drobnoziarnistymi o zmiennej zwięźłości od rozsypliwych do silnie zwięzłych. Miąższość zwięzłego piasku jest również zmienna. Przy głębień szymbu piaski zwięzłe wykazują formę soczewek lub buł nieregularnie rozmieszczonych wśród piasków luźnych.

Piaski są silnie zawodnione. Poziom hydrostatyczny wody wypływającej wynosi 38 m od powierzchni ziemi. Piaski wdzierające się wraz z wodą do szymbu były badane przez Zakład Badań Materiałów Budowlanych Politechniki Śląskiej oraz przez J. Sztelaka. Analiza już rozmytego piasku wykazała obecność:

SiO <sub>2</sub> -	69,06%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + T <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0,37%
CaO	16,38%
MgO	0,36%
CO <sub>2</sub>	12,68%
Razem	99,64%

Współczynnik filtracji mierzony w temperaturze + 10°C wynosi 0,197 cm/min Ciężar objętościowy piasku wynosi 1,42 kg/dcm<sup>3</sup> (w stanie powietrzno suchym i utrzęsionym).

Wg krzywej uziarnienia skład granubometryczny przedstawia się następująco:

klasa	0-0,125 mm	11%
	0,125-0,250 mm	55%
	0,250-0,500 mm	31,5%
	0,500-1,00 mm	2,5%
Razem		100%

- c) Opisywane piaski scementowane i luźne zalegają na iłach zwanych pierwszymi nadgipsowymi iłami miocenijskimi (spąg tych iłów leży na głębokości 239,50 m).

- d) Od głębokości 239,50 m do 240,50 m występują gipsy.
- e) Iłozłupki leżące pod gipsami zawierają mniej  $\text{CaCO}_3$ , o czym świadczy słabsza reakcja z HCl (iłozłupki przechodzą w spąg w mułkowce, które na głębokości 263 m są lekko zawodnione).
- f) pod mułkowcami od głębokości 263 do 298 m występują iłowce zielone lekko zaplaszczone.
- g) Pod zielonymi iłowcami od głębokości 298 do 321,50 m zalegają iłozłupki szarozłote i szarozielone (przylegają one bezpośrednio do warstw karbonskich i ułożenie ich jest niezgodne w stosunku do zalegania warstw rudzkich i siodłowych, które występują w karbonie).

W roku 1946 przystąpiono do wiercenia otworu badawczego pod szyb Bojków. Po odwierceniu otworu w październiku 1947 roku przystąpiono do głębiania szybu Bojków. Przy głębokości 17 m wody czwartorzędowe z piaskiem wdarły się do szybu, wskutek czego w grudniu 1947 r. zatrzymano dalsze głębianie i szyb zasypano do wysokości 4 m od zrębu. W takich warunkach zaistniała konieczność głębiania szybu z zastosowaniem mrożenia. Po odwierceniu 3 otworów mrożeniowych do głębokości 340 m zadecydowano o mrożeniu nadkładu tylko do głębokości 130 m, co motywowano brakiem odpowiedniego sprzętu mrożeniowego.

W lipcu 1951 r. przystąpiono do mrożenia nadkładu i głębiania szybu. W dniu 6.03.1952 r. po zgłębieniu szybu Bojków do głębokości 144,5 m nastąpiło pierwsze wdarcie się kurzawki rurą otworu badawczego, znajdującego się w osi szybu. Dopływ wody z piaskiem kurzawkowym osiągnął wydajność  $2,5 \text{ m}^3/\text{min}$ . Po upływie 37 godzin zwierciadło wody osiągnęło wysokość 54 m od zrębu szybu, a ciśnienie hydrostatyczne wynosiło 13 atmosfer. Otwór ten od jego wylotu do szybu do głębokości 160 m, zacementowano 8 tonami cementu i  $2 \text{ m}^3$  piasku. Cementacja miała miejsce w dniach od 7 do 8.04.1952 r. Po związaniu cementu od 13.04 do 23.04.1952 r. wypompowywano wodę z szybu, która oddzieliła się od drobno-ziarnistego piasku na głębokości 135 m. Poniżej był już sam piasek. W dniu szybu po wybraniu piasku wykonano korek betonowy, do którego wykonania zużyto  $110 \text{ m}^3$  betonu, sporządzonego z 38 ton cementu.

W dniu 17.05.1952 r. rozpoczęto wiercenie otworu cementacyjnego z dna szybu pod kątem  $13^\circ$  do głębokości 164,5 m. Otworem tym nawiercono kurzawkę pod znacznym ciśnieniem. Kurzawka przedostała się poza obudowę szybu i wypełniła szyb. W dniu 27.05.1952 r. szyb Bojków został zatopiony po raz drugi. Wobec niepowodzenia cementacji poziomu kurzawkowego z dna szybu, przystąpiono do cementacji 5 otworami wierconymi z powierzchni do głębokości 180 m. W pierwszej fazie do cementacji zużyto 400 ton cementu typu "250". Dopływ kurzawki został zamknięty. Przystąpiono z kolei do odwadniania szybu. Pozostawioną przestrzeń poza obudową szybu zacementowano przez otwory wiercone w obudowie szybu. W ten sposób zacementowano pod ciśnieniem 40 atmosfer wolne przestrzenie poza obudową od zrębu szybu aż do głębokości 121 m. Szyb oczyszczono z cementu i kurzawki do głębokości 135 m. Cement

nie wiązał się z kurzawką. Osobno występowały pnie cementu, osobno drobno ziarnisty zailony piasek. Na głębokości 135 m przystąpiono do wiercenia 8 otworów cementacyjnych. Otwory nie przyjmowały wiele cementu. Zużyto za ledwie 3300 kg cementu na 3 otworach cementacyjnych i dlatego w dniu 15.07.1953 r. przystąpiono po raz drugi do wiercenia otworu z korka cementowego wypełniającego dno szybu do głębokości 164 m pod kątem  $13^{\circ}$ . Do otworu wdarła się gwałtownie kurzawka i w ten sposób w dniu 25.07.1953 r. szyb Bojków został zatopiony po raz trzeci. Postanowiono cementować poziomo kurzawkowymi otworami z powierzchni. Próby cementacji otworami trwały od 11.09.1953 r. do 21.04.1954 r. Próby te nie dały wyników pozytywnych. W kolejno po sobie następujących próbach cementacji w jednym otworze zużyto 151, 96, 60, 26,5 ton cementu najlepszej jakości typu "350".

Próby cementacji nie powiodły się. Za każdym razem do otworu po przewierceniu korka cementowego dostawała się kurzawka. Na następnym otworze zużyto przy cementacji 9 ton cementu. Trzecim z kolei otworem cementacyjnym wtłoczono 56 ton cementu. Wtłaczanie cementu odbywało się pod ciśnieniem od 0-35 atmosfer.

W okresie, kiedy trwały próby zacementowania poziomu kurzawkowego, wiercono w odległości 20 m od osi szybu otwór badawczy, na podstawie którego wyników zdecydowano, że dalsze głębienie szybu może się odbywać po zamrożeniu warstw nadkładu do głębokości 275 m. Wiercenie mrożeniowe rozpoczęto w r. 1956, a ukończono w kwietniu 1957 r. Po zamrożeniu nadkładu w dniu 15.02.1958 r. przystąpiono do głębienia szybu. Głębienie odbywało się odcinkami 3 m długości z równoczesnym murowaniem obudowy. Obudowa wykonywana była z klinkieru na zaprawie cementowej. Od głębokości 144,10 do głębokości 151,00 m grubość muru wynosi 1,1 m. Na głębokości 151 do 154,40 m została wykonana stopa szybowa o wymiarach 3,5 x 2,5 m. Poniżej tej stopy zastosowano obudowę stalową pierścieniową, tzw. tubingi. Tubingi nie przylegają bezpośrednio do ociosu, lecz oddziela je mur na 1,5 cegły i koszulka betonowa o grubości 0,5 m, co w sumie daje grubość obudowy wodoszczelnej i odpornej na tak znaczne ciśnienie wynoszące 15 atm.

W czasie głębienia szybu ocios miał temperaturę  $-3^{\circ}\text{C}$ . Na odcinku kurzawkowym zamiast wody z piaskiem był zwięzły piasek zlodowacony względnie piasek zwięzły przypominający piaskowiec występujący soczewkami względnie warstwowo. Kurzawka zatem występowała nad soczewkami większych lub mniejszych rozmiarów zwięzłego piasku lub pośród tych soczewek. Cement występował tutaj w postaci cienkich wkładek nie związany z piaskiem zarówno luźnym jak i zcementowanym. W czasie kilkakrotnych prób tłoczenia mleczka cementowego przed rozpoczęciem mrożenia i głębienia szybu od głębokości 141,1 m zużyto 408 ton cementu. Próby cementacji odcinka kurzawkowego kosztowały 3,9 miliona złotych, w tym sam cement 1,8 miliona złotych. Osiedlenie terenu wywołane trzykrotnym wdarciami się piasków płynnych do szybu Bojków spowodowało obniżenie 30-50 mm. Największe 50 mm osiedlenia miały miejsce od strony południowo-zachodniej.

### C. Głębianie szybu V

W roku 1968 przystąpiono do głębiania szybu V kopalni Sośnica w Przyszowicach, gdzie wodonośny poziom kurzawkowy został stwierdzony na głębokości 94-136 m. Szyb V został zgłębiony we wrześniu 1969 r. do poziomu 550 m, w tym do głębokości 320 metodą mrożeniową. Obudowa szybowa na odcinku zawodnionym została wykonana wodoszczelnie podobnie jak w szybie IV który został zgłębiony w r. 1967. W szybach IV i V obudowę tubingową stosowaną w szybie Bojków zastąpiono obudowę betonową. W szybie V na odcinku od 94 do 170 m obudowa betonowa przedstawiała się następująco: mur klinierowy 380 mm szerokości, folia igielitowa grubości 3 mm i z kolei beton o grubości 650 mm. Łączna grubość obudowy szybowej wynosi 1033 mm. Obudowa murowa była wykonywana odcinkami dobowymi długości 3 m, a przy łączeniu poszczególnych odcinków folia igelitowa była układana na zakładkę. Po zgłębianiu szybu w dniu 30.8.1970 r. stwierdzono zwiększenie się dopływu wody do szybu i z szybu do chodnika i przecznicy C5. Dopływ wody wzrastał stopniowo z 400 do 2200 l/min. Woda wdzierająca się do szybu była słabo zmineralizowana i zawierała 322 mg/l chlorków i 18,7 mg/l siarczanów. Z wodą wypływał również piasek drobnoziarnisty w ilości 13 g/l. Dla zapobieżenia zatopienia wyrobisk górniczych sprowadzono w dniu 1.09.1970 r. z Centralnej Stacji Ratownictwa Górniczego w Bytomiu 2 pompy typu "Bibo", które odpompowywały wodę ze zbiornika na dnie szybu na przecznice C5. W międzyczasie Przedsiębiorstwo Budowy Szybu sprowadziło kołowrót typu "Alisawer" i radiotelefony oraz zbudowało odpowiedni pomost wiszący. Dzięki tym urządzeniom już w dniu 2.09.1970 r. o godz. 14<sup>00</sup> można było ustalić miejsce wypływu wody i piasku w szybie. Woda z piaskiem wypływała ze szczeliny na łączeniu się odcinków 3 m betonowej obudowy na głębokości 117 m. Strumienie wody były tak silne, że nie pozwalały na obniżenie się poniżej tego poziomu. Piasek, który wypływał ze szczeliny, poddano badaniom granulometrycznym i skład ziarna tego piasku przedstawiał się następująco:

0,65 mm	0,50%
0,65-0,5 mm	1,00%
0,5-0,4	1,62%
0,4-0,315	12,88%
0,315-0,2	0,34%
0,2-0,16	60,00%
0,16-0,125	19,88%
0,125-0,08	2,37%
0,08	1,38%

Stwierdzono w czasie wizji w szybie, że obudowa betonowa na głębokości 117 m uległa nieznacznemu przemieszczeniu, na co mogła mieć wpływ eksploatacja pokładu 408/4 i wywołane tą eksploatacją obniżenie poziomu piasków płynnych.



O eksploatacji w pokładzie 408/4 będzie mowa w dalszej części w punkcie D.

Przedsiębiorstwo Budowy Szybów dokonało cementacji szczelin, z których wypływała woda z piaskiem. Do szczelin wtłaczano mleczko cementowe typu "400" z trocinami oraz chlorek wapnia ze szkłem wodnym.

W czasie przeglądu szybu V w dniu 27.09.1970 r. stwierdzono poniżej poziomu 117 m do głębokości 140 m na łączeniu odcinków obudowy betonowej, 10 punktowych wycieków o wydajności sumarycznej około 300 l/min. Te wycieki również zlikwidowano w ten sam sposób, co główny wyciek z poziomu 117 m. Obecnie w szybie dopływa woda z lunety wentylatora w ilości ok. 20 l/min nie mająca żadnego związku z poziomem piasków płynnych.

#### D. Eksploatacja pokładu 408/4 w rejonie filara szybu V kopalni Sośnica

W rejonie szybu V prowadzono eksploatację tylko w jednym pokładzie. Eksploatacja miała miejsce w pokładzie 408/4 pomiędzy poziomem 385 a 550 m na wschód od przecznicy C, w roku 1969. Część strefy eksploatacyjnej od poziomu - 137,50 m do głębokości bezwzględnej - 222,0 m jest objęta filarem szybu V. Zezwolenie na eksploatację filara wydał Okręgowy Urząd Górniczy w Gliwicach. Pokład 408/4 o miąższości 2,5 m zapada pod kątem  $37^{\circ}$  na SE. Powierzchnia pokładu objęta filarem szybu V wynosi  $4260 \text{ m}^2$  w stosunku do całej powierzchni wewnątrz koła filarowego wynoszącej  $16,600 \text{ m}^2$ . Stanowi to 9% powierzchni koła filarowego. Obniżenia wywołane eksploatacją tego pokładu mogą być obserwowane na powierzchni na reperach ustabilizowanych koło szybu V i na trasie gazociągu biegnącego w sąsiedztwie. Do porównania wzięto tylko 2 repery a mianowicie reper nr 157 znajdujący się przy krawędzi górnej wyeksploatowanego pokładu i reper nr 1 zainstalowany na obudowie wentylatora szybu V. Cecha wysokościowa reperu nr 157 wynosiła przed eksploatacją w sierpniu 1968 r. + 239,101 m.

Cecha wysokościowa reperu nr 1 w momencie rozpoczęcia eksploatacji miała wartość + 240,399 m. Odległość pomiędzy reperami wynosi około 180 m.

Obniżenie po	I	kwartale	1969 r.	przy	reperze	nr 157	-	96 mm,
	I	"	1969 r.	"	"	nr 1	-	15 mm,
po	II	"	1969 r.	"	"	nr 157	-	144 mm,
	II	"	1969 r.	"	"	nr 1	-	37 mm,
po	I	"	1970 r.	"	"	nr 157	-	161 mm,
	I	"	1970 r.	"	"	nr 1	-	78 mm,
po	II	"	1970 r.	"	"	nr 157	-	210 mm,
	II	"	1970 r.	"	"	nr 1	-	97 mm.

Maksymalne obniżenie pomierzone zostało przy reperze nr 157 na krawędzi eksploatowanego pokładu w momencie powstania awarii na szybie V, która miała miejsce we wrześniu 1970 r., czyli w rok po zakończeniu głębenia szybu V. W tym samym czasie obniżenie powstałe na reperze wentylatora wy-

nosiło mniej niż połowę obniżenia powstałego na krawędzi pokładu. Na odcinku 180 m powstała różnica obniżeń - 113 mm. Różnica ta mogła wywołać w poziomie piasków z detritusem wapiennym pewne zaburzenia stateczności obudowy betonowej i rozwarcie się szczelin na łączeniu się betonowych odcinków obudowy szybowej, zwłaszcza w poziomie występowania płynnych piasków, których ciśnienie - jak wyżej podano - wynosi 4-9 atmosfer.

#### E. Spostrzeżenia i wnioski

Bezpośrednią przyczyną licznych awarii w czasie głębenia szybu Bojków i po zgłębieniu szybu V była kurzawka, na którą składają się piaski z domieszką 40-50% detritusu wapiennego, przepojone wodą.

Jak wynika z obserwacji, wkładki piasków silnie scementowanych mają w każdym z szybów z obszaru górniczego kopalni "Sońnica" inną grubość i różną głębokość zalegania. Fakty te świadczą o tym, że tworzą one formy soczewek lub buł nieregularnie rozmieszczonych wśród piasków sypkich. Piaski te są silnie zawodnione. Poziom hydrostatyczny wody wypływającej z tych piasków leży 28-38 m poniżej powierzchni ziemi, są to więc piaski płynne. Ze szczegółowej analizy badań, wykonanych na próbach tego piasku, i z obserwacji dokonanych w szybach jak i otworach tego rejonu wynika, że piaski te tworzyły korki, których strop znajdował się na głębokości 40-90 m od powierzchni.

Omówiony kompleks piasków występuje w stropie ilów nadgipsowych. Piasków tych w szybie Bojków nie udało się związać z cementem, który w ilości 408 ton włączano pod ciśnieniem do szybu Bojków. Wynika z tego bezsporny wniosek, że nie wiążą się one z cementem. Woda razem z piaskiem, wpływająca z tego poziomu, działa ze względu na skład chemiczny agresywnie na cement portlandzki i powoduje osłabienie betonu na łączeniu się poszczególnych odcinków betonowej obudowy szybu, co spowodowało np. po rozmrozie niu szybu V powstanie przecieków.

W szybie V stopniowe powiększanie się szczelin na skutek przemieszczenia obudowy doprowadziło do wzrostu wycieku. Przemieszczenia te mogły być wywołane zachwianiem równowagi w prężności piasków płynnych po rozmrozeniu. Na przestrzeni 3 dni uderzenie piasku z wodą wzrosło z 400 do 2250 l/min.

Zabiegi cementacyjne z użyciem szkła wodnego, chlorku wapnia, a w pierwszym etapie tłoczenia cementu z trocinami pozwoliło na zlikwidowanie całkowite szczelin.

Zabezpieczeniem szybów przed wdarciami się kurzawki mogłoby być w takich warunkach:

a) wybudowanie tamy wodnej przed zgłębieniem szybu na poziomie do którego szyb jest głębeny,

- b) właściwa technologia pod nadzorem specjalistów przy przechodzeniu odcinka kurzawkowego zamrożonego w czasie głębienia szybu,
- c) odczekanie przez okres dłuższy po rozmrożeniu z przebicciem się do wyrobisk eksploatacyjnych ze względu na możliwość opóźnionego reagowania kurzawki na obudowę,
- d) unikanie eksploatacji w filarach szybowych przy istnieniu w nadkładzie silnych poziomów piasków płynnych.

#### Р е з ю м е

В статье затронут вопрос, касающийся пропитанных водой миоценовых песков с органическими остатками известковых корочек. Эти пески создают водную опасность для горных выработок, а нарушенные врываются туда под давлением 4 до 15 атмосфер.

#### S u m m a r y

The article discusses the problem of miocene sands containing organic residues of calciferous shells (calcium detritus) saturated with water. Such sands constitute a danger for mining excavations, and if touched, they force their way into those excavations under a pressure of 4 to fifteen atmospheres.