

Mirosław CHUDEK, Henryk KLETA  
Politechnika Śląska, Gliwice

## ZAGROŻENIE STATECZNOŚCI SZYBU NA ODCINKU WARSTW NADKŁADU WYNIKAJĄCE ZE ZMIANY WARUNKÓW GEOTECHNICZNYCH

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań przyczyn wystąpienia zagrożenia stateczności szybu na odcinku warstw nadkładu. Na podstawie przeprowadzonej analizy stwierdzono, że drenaż horyzontów wodnych spowodował stopniowe obniżenie się ciśnienia hydrostatycznego, doprowadzając do powolnego osiadania warstw nadkładu i nierównomiernego przemieszczenia się lunety wentylacyjnej jednostronnie podpartej na obudowie szybu. Najprawdopodobniej długotrwała sufozja chemiczna i koloidalna wraz z procesami odwadniania górotworu i osiadania warstw doprowadziły do spękania obudowy lunety wentylacyjnej, a w efekcie do przedarcia się zawodnionych piasków z warstw przypowierzchniowych przez lunetę wentylacyjną do szybu. Dla opisu stanu deformacji, który doprowadził do spękania obudowy lunety wentylacyjnej i wypływu zawodnionych piasków z warstw przypowierzchniowych przez lunetę wentylacyjną do szybu, przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych dla początkowego etapu osiadania gruntu przy szybie.

## MENACE TO THE SHAFT STABILITY ON THE SEGMENT OF OVERLAY STRATUMS CAUSED BY MODIFICATION OF GEOTECHNICAL CONDITIONS

**Summary.** The results from the investigations of reasons of menace to the shaft stability on the segment of overlay stratums have been presented in this paper. On the basis of analysis, it was found that drainage of water layers caused gradually decrease of hydrostatic pressure and generated slow subsidence of overlay stratums and non-uniform displacements of ventilation pipe one-sided supported on the shaft lining. The most probably longtime chemical and colloidal suffusion and process of dewatering and subsidence of rock layers have caused fractures of the ventilation pipe lining. Presented results of numerical calculation carried out for initial stage of ground subsidence near of shaft fully describing state of deformation, which caused fractures of ventilation pipe lining and outflow of watered sands from near surface layers by the ventilation pipe to shaft.

## 1. Wprowadzenie

Stan obudowy szybu ma szczególnie istotne znaczenie na odcinku warstw nadkładu, gdzie spękania obudowy często skutkują zagrożeniem deformacjami nieciągłymi, co może spowodować katastrofalne skutki dla rury szybowej, wieży szybowej, budynku nadszybia i obiektów towarzyszących. Z tego względu dla bezpiecznego użytkowania szybów ważne jest zachowanie ich stateczności, szczególnie na odcinku warstw nadkładu.

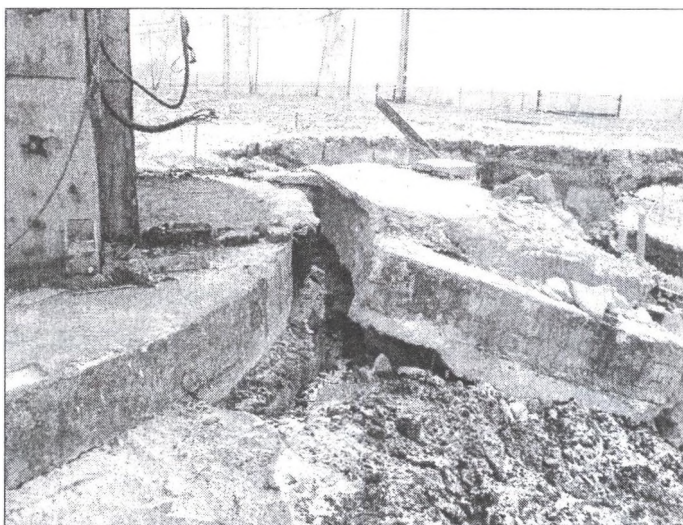
Szyb V ma głębokość 1017,5 m i średnicę 7,5 m w świetle obudowy; został zgłębiony w latach 1974 – 1980 – od powierzchni do głębokości 285 m głębinie prowadzono przy zastosowaniu metody zamrażania górotworu, a poniżej sposobem zwykłym. Szyb nie jest zazbrojony, nie posiada urządzenia wyciągowego. Do głębokości ok. 3,2 m szyb ma głowicę wykonaną w obudowie murowej z cegły, a poniżej do głębokości 282,6 m obudowę dwuwarstwową, przy czym obudowę ostateczną stanowi beton; poniżej szyb ma obudowę jednowarstwową betonową.

Dnia 05.12.2007 r. stwierdzono wystąpienie spękań w lunecie, a następnie powstanie deformacji nieciągłych w postaci zapadliska o głębokości około 5,0 m na powierzchni terenu przy szybie V (fot. 1). W późniejszym czasie wystąpiło „urwanie” się lunety wentylacyjnej na kontakcie z szybem i jej opadnięcie o około 3 m. W wyniku powstałych szczelin i przemieszczeń lunety, do szybu nastąpiła sufozja mas skalnych, których objętość szacowano na około 2500 m<sup>3</sup>, przy wypływie wody dochodzącym w początkowym okresie do 0,5 m<sup>3</sup>/min [6]. Przelot lunety w pobliżu okna do szybu zmniejszył się w wyniku zaistniałej awarii do około 6 m<sup>2</sup>. Wskutek zaistnienia tych deformacji górotworu i powierzchni terenu wytworzyło się zagrożenie dla właściwego i bezpiecznego użytkowania systemu wentylacyjnego, tj. szybu i lunety wentylacyjnej, a także budynku wentylatora.

W wyniku powstałych deformacji nieciągłych kopalnia znalazła się w sytuacji poważnego zagrożenia dalszego jej funkcjonowania związanego z:

- uszkodzeniem lunety wentylacyjnej łączącej wydechowy szyb V z budynkiem wentylatorów,
- niekorzystnymi zmianami warunków pracy obudowy szybu, zwłaszcza na górnym przypowierzchniowym odcinku usytuowanym w strefie zapadliska,
- powstaniem strefy deformacji nieciągłych, eliminującej ten teren dla zabudowy, obejmującej oprócz lunety wentylacyjnej również „szybik” stanowiący pionowy

fragment drogi przepływu powietrza oraz powierzchniowy kanał wentylacyjny prowadzący powietrze do wentylatorów.



Fot. 1. Deformacje nieciągłe przy szybie V  
Phot. 1. Discontinuous deformations near to shaft V

## 2. Warunki geologiczno – inżynierskie i hydrogeologiczne determinujące zagrożenia w szybie

W profilu szybu V występują od powierzchni do głębokości 48,6 m utwory czwartorzędowe, a od głębokości 48,6 m do głębokości 270,8 m utwory trzeciorzędowe, poniżej utwory karbońskie [6]. Utwory czwartorzędowe zbudowane są z naprzemianległych warstw oraz przerostów gliny pylastej, pyłu zailonego i piaszczystego, piasku o różnym uziarnieniu, a także żwiru. Wszystkie warstwy pyłu, piasku i żwiru są zawodnione i tworzą trzy horyzonty wodne, to jest:

1. horyzont wodny na głębokości od 9,1 m do głębokości 9,65 m,
2. horyzont wodny na głębokości od 15,8 m do głębokości 23,1 m,
3. horyzont wodny na głębokości od 30,1 m do głębokości 48,6 m.

Zwierciadło wody 1. horyzontu utrzymywało się pierwotnie na głębokości 4,9 m, a horyzontu 2. i 3. na głębokości około 11 m. W wyniku długotrwałego drenażu wody przez obudowę szybu poziomy wody w poszczególnych horyzontach uległy obniżeniu, zwłaszcza w horyzoncie 2. i 3.

Warstwy wodonośne tworzące 2. i 3. horyzont wodny, w tym zwłaszcza pyły, mają charakter typowej kurzawki [6]. W czasie wykonywania w nich otworu badawczego pod szyb w rurach powstawały korki kurzawkowe dochodzące w 2. warstwie wodonośnej (15,8 m – 23,1 m) do 2 m wysokości, a w 3. warstwie wodonośnej (30,1 m – 48,6 m) do 10,5 m wysokości. Powstające w czasie wykonywania robót górniczych duże wypływy mas skalnych do szybu oraz wypełnianie ubytków gruntu na powierzchni przez nawożenie luźnego materiału skalnego doprowadziło do tego, że w wielu miejscach utwory czwartorzędowe w przedziale do głębokości około 23 m nie mają struktury warstwowej, a nasypową o niskich parametrach geotechnicznych. Najprawdopodobniej w wielu miejscach wodne horyzonty 1. i 2. zostały połączone, a doszczelniające roboty cementacyjne prowadzone w przeszłości w otoczeniu szybu spowodowały, że struktura pierwotna warstw czwartorzędowych uległa zaburzeniu aż do głębokości około 40 m. Utwory trzeciorzędowe poza odcinkiem spągowym wykształcone są jako margliste i bentonityczne ily pylaste, w których występują kompleksy ilów z przerostami i cienkimi przewarstwieniami zawodnionych pyłów i piasków pylastych. W kompleksach z przewarstwieniami wodonośnych pyłów i piasków pylastych przechodzą w stan plastyczny, a niekiedy także w stan miękkoplastyczny.

### **3. Analiza zjawisk geomechanicznych w otoczeniu głowicy szybu V i lunety wentylacyjnej w świetle zaistniałych deformacji nieciągłych**

Zachodzące procesy przy szybie V, polegające na powolnym drenażu horyzontów wodnych, spowodowały stopniowe obniżenie się ciśnienia hydrostatycznego, doprowadzając do zagęszczania się szkieletu warstw wodonośnych, zmniejszenia się ich grubości i spadku podporności dla warstw nadległych nad warstwami zawodnionymi. Wywoływało to powolne osiadanie warstw (zwłaszcza czwartorzędowych) i nierównomierne przemieszczanie się lunety wentylacyjnej sztywno jednostronnie podparte na wolniej osiadającej obudowie szybu.

Częściowe odwodnienie warstw, które najprawdopodobniej miało bezpośredni wpływ na osiadanie i uszkodzenia obudowy lunety, to jest warstw stanowiących 2. (głęb. 15,3 – 23,1 m) i 3. (głęb. 30 – 48,6 m) horyzont wodonośny, mogło się wyrazić obniżeniem poziomu zwierciadła wody odpowiednio o około 5,5 m (do głębokości 16,5 m p.p.t) w 2. horyzoncie



i około 13,4 m (do głęb. 35,1 m) w 3. horyzoncie wodonośnym. Mogło to spowodować łącznie osiadanie wymienionych warstw i powierzchni o co najmniej około 0,2 m [6].

Proces osiadania warstw w rejonie szybu V pod wpływem obniżania się słupa wody potęgowany jest jeszcze innymi procesami [6], zwłaszcza sufozyjnymi (chemicznymi, koloidalnymi i wynikającymi z możliwego wysysania drobnych substancji mineralnych pod wpływem spadku ciśnienia w lunecie wywoływanego pracą wentylatora). Zachodzące przez około 25 lat procesy sufozyjne w warstwach wodonośnych permanentnie powodowały zmniejszanie się miąższości tych warstw. Równocześnie zagęszczaniu ulegały warstwy rozluźnione podczas wykonywania otworów mrozeniowych. Łącznie procesy odwadniania górotworu i osiadania warstw doprowadziły do spękania i rozszczelnienia obudowy lunety wentylacyjnej. Wskutek spękania obudowy proces odwadniania warstw i ich osiadania uległ przyspieszeniu, czemu sprzyjał również wypływ materiału skalnego. Na gwałtowność procesu przemieszczania się lunety wpłynęły w dużym stopniu negatywne zmiany w strukturze warstw skalnych spowodowane wcześniejszymi robotami, począwszy od wiercenia otworów mrozeniowych, a następnie robotami związanymi z wykonawstwem lunety wentylacyjnej, a zwłaszcza jej łączenia z szybem. W czasie tych robót duże ilości mas skalnych wyniesione zostały przez płuczkę wiertniczą bądź wdarły się przez okno wentylacyjne do szybu.

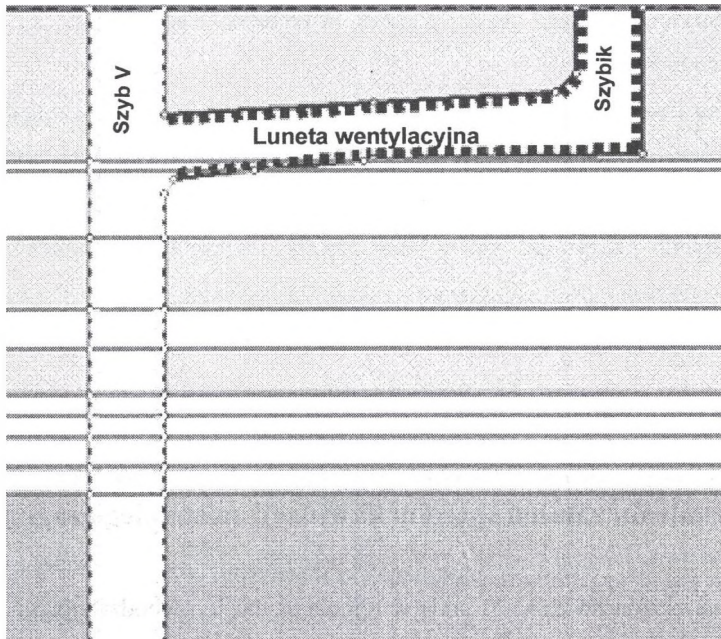
Przeprowadzone w latach 1979 do 1986 roboty doszczelniające górotwór nie zostały zakończone, pozostawiając duże rozluźnienie utworów czwartorzędowych w rejonie lunety i szybu; nie można wykluczyć, że w związku z tym pozostały pustki wypełnione płuczką i substancją płynno–plastyczną. Nie w pełni została doszczelniona obudowa szybu, przez którą wraz z wodą następowała długotrwała (około 25 lat) sufozja chemiczna i koloidalna, co najprawdopodobniej jest źródłem uszkodzenia lunety wentylacyjnej.

#### **4. Model geomechaniczny deformacji nieciągłych w otoczeniu szybu V służący ustaleniu założeń sposobu likwidacji zaistniałego zagrożenia**

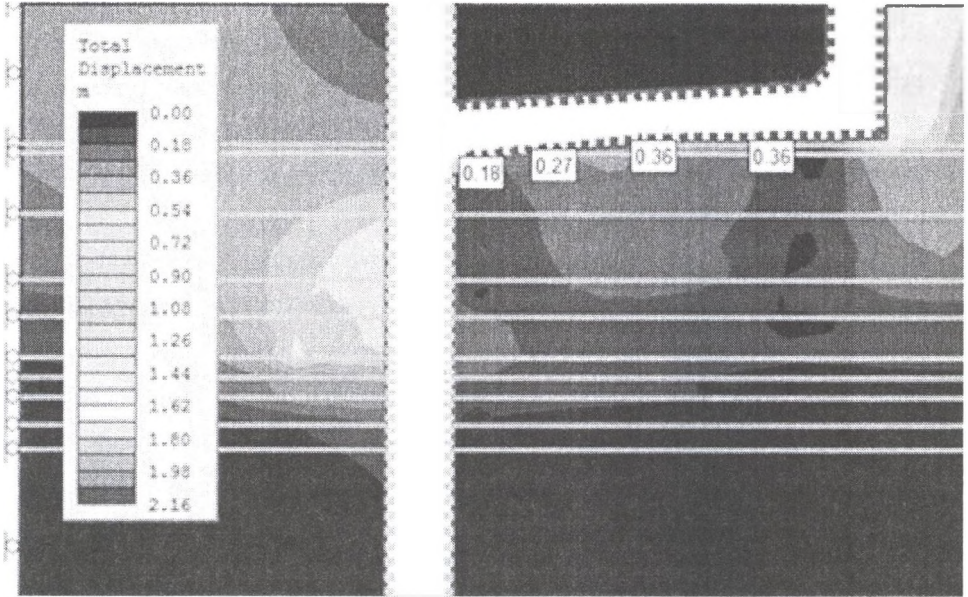
Z uwagi na złożoność zjawisk, jakie w rejonie szybu V zachodziły przez około 25 lat, model geomechaniczny górotworu uproszczono, a symulacyjne obliczenia numeryczne przeprowadzono dla początkowego etapu osiadania gruntu przy szybie V., które jak wynika z dokonanej analizy, doprowadziły przed laty do spękania i rozszczelnienia obudowy lunety wentylacyjnej. Obliczenia numeryczne przeprowadzono z wykorzystaniem metody

elementów skończonych, a model do obliczeń został zbudowany jako płaska tarcza o wymiarach 150 x 70 metrów (rys. 1), która odwzorowuje wycinek górotworu w rejonie szybu, szybika i lunety wentylacyjnej. Założono, że warstwy górotworu posiadają własności ośrodka o modelu Mohra – Coulomba. W pierwszym etapie wyznaczono stan pierwotny, a następnie zadano przedmiotowe wyrobiska oraz założono spadek poziomy wodonośnego, a mianowicie obniżenie poziomu zwierciadła wody odpowiednio o około 5,5 m (do głębokości 16,5 m p.p.t) w 2. horyzoncie oraz około 13,4 m (do głęb. 35,1 m) w 3. horyzoncie wodonośnym.

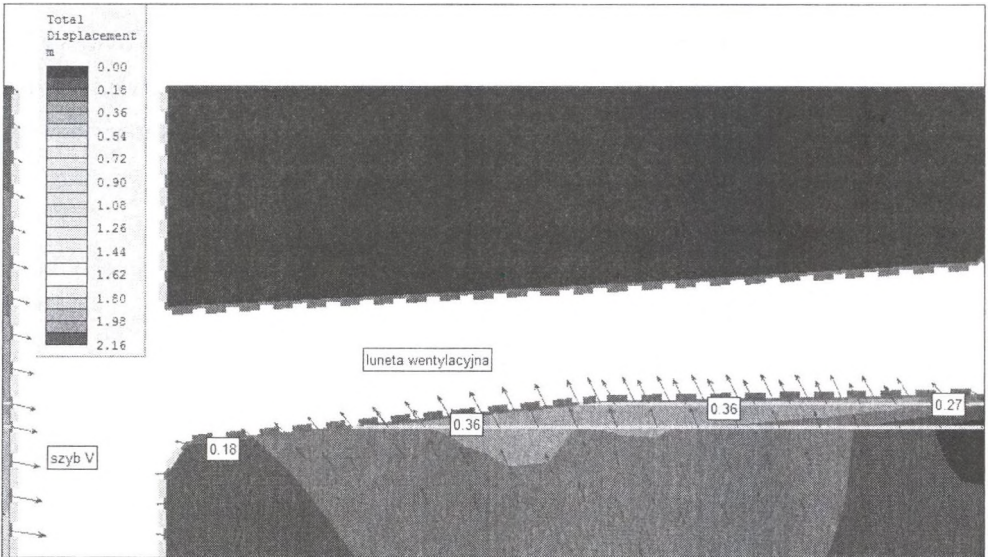
Wyniki obliczeń numerycznych w niniejszym opracowaniu przedstawiono graficznie w postaci rozkładu przemieszczeń na rys. 2 (dla całego modelu) oraz na rys. 3 w bezpośrednim otoczeniu lunety wentylacyjnej. Obliczony rozkład przemieszczeń wskazuje, że w otoczeniu lunety wentylacyjnej wystąpiły przemieszczenia wynoszące od około 0,18 – 0,36 m, przy czym bezpośrednio pod lunetą przemieszczenia są nierównomierne, powodując wyraźne zginanie lunety wentylacyjnej. Stan taki wskazuje, że nierównomierne przemieszczenia od wpływu odwadniania mogły spowodować „złamanie” lunety, a tym samym doprowadzić do rozszczelnienia obudowy, co stworzyło sprzyjające warunki dla wypływu gruntu wraz z wodą do szybu i tworzenia się pustek i stref rozluźnień gruntu w tym rejonie.



Rys. 1. Model geometryczny przyjęty do obliczeń  
Fig. 1. Geometrical model used for calculation



Rys. 2. Obliczone przemieszczenia w otoczeniu modelowanego szybu V i lunety wentylacyjnej  
Fig. 2. Calculated displacements in the vicinity of modeling shaft V and ventilation pipe



Rys. 3. Obliczone przemieszczenia w otoczeniu lunety wentylacyjnej po wystąpieniu obniżenia poziomu wodnego  
Fig. 3. Calculated displacement in the vicinity of modeling shaft V and ventilation pipe after water horizon decreasing



## 5. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy warunków geologiczno – hydrogeologicznych i inżynierskich, uwarunkowań i przebiegu głębiania szybu V oraz obliczeń można sformułować następujące wnioski:

1. Warunki geologiczno – inżynierskie na odcinku w utworach czwartorzędowych w rejonie szybu V od początku nie były korzystne dla posadowienia i budowy obiektów inżynierskich ze względu na duże zawilgocenie warstw i pozostawanie przeważnie w stanie plastycznym, na granicy stanu miękkoplastycznego oraz ze względu na łatwość przechodzenia w kurawkę warstw zawodnionych. W wyniku wykonania licznych wierceń mrozeniowych z zastosowaniem płuczki wiertniczej warstwy czwartorzędowe uległy w wielu miejscach rozluźnieniu.
2. Zaistniałe uszkodzenie lunety wentylacyjnej przy szybie V jest skutkiem niekorzystnych procesów hydrogeologicznych i geologiczno – inżynierskich zachodzących w górotworze przy równoczesnej eksploatacji urządzeń wentylacyjnych. Powolny drenaż horyzontów wodnych spowodował stopniowe obniżenie się ciśnienia hydrostatycznego, doprowadzając do zagęszczania się szkieletu warstw wodonośnych, zmniejszanie się ich grubości i spadku podporności dla warstw nadległych nad warstwami zawodnionymi. Wywoływało to powolne osiadanie warstw, zwłaszcza czwartorzędowych i nierównomierne przemieszczanie się lunety wentylacyjnej sztywno jednostronnie podpartej na obudowie szybu.
3. Zachodzące przez około 25 lat procesy sufozyjne w warstwach wodonośnych permanentnie powodowały zmniejszanie się miąższości tych warstw. Równocześnie zagęszczaniu ulegały warstwy rozluźnione podczas wykonywania otworów mrozeniowych. Łącznie procesy odwadniania górotworu i osiadania warstw doprowadziły do spękania i rozszczelnienia obudowy lunety wentylacyjnej. Wskutek spękania obudowy lunety proces odwadniania warstw i ich osiadania uległ przyspieszeniu, czemu sprzyjał również wpływ materiału gruntowego. Prowadziło to do wystąpienia przemieszczeń obudowy lunety, w tym również na kontakcie z obudową szybu.
4. Obliczony numerycznie rozkład przemieszczeń wskazuje, że w otoczeniu lunety wentylacyjnej wystąpiły przemieszczenia wynoszące od około 0,18 – 0,36 m, przy czym bezpośrednio pod lunetą przemieszczenia są nierównomierne, powodujące zginanie lunety. Stan taki wskazuje, że nierównomierne przemieszczenia od wpływu odwadniania



mogły spowodować „złamanie” lunety, a tym samym doprowadzić do rozszczelnienia obudowy, co stworzyło sprzyjające warunki dla wypływu gruntu wraz z wodą do szybu i tworzenia się pustek i stref rozluźnień gruntu.

5. Wskutek wystąpienia deformacji nieciągłych górotworu i powierzchni terenu wytworzyło się zagrożenie dla właściwego i bezpiecznego użytkowania systemu wentylacyjnego, tj. szybu i lunety wentylacyjnej, a także budynku wentylatora, a kopalnia znalazła się w sytuacji poważnego zagrożenia dalszego jej funkcjonowania.

## BIBLIOGRAFIA

1. Chudek M.: Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2002.
2. Chudek M., Kleta H.: Zagrożenie obiektów przyszybowych deformacjami nieciągłymi typu liniowego. Górnictwo i Geoinżynieria. Kwartalnik AGH, Kraków z. 3/1, 2007.
3. Chudek M., Kleta H.: Raport dotyczący oceny przyczyny nagłej utraty stateczności warstw zawodnionych i wdarcia się wody z częściami stałymi do ściany nr 107 090 – 95 oraz wyrobisk przyścianowych 107-290-15 i 107-190-15. Praca naukowo-badawcza dla Okręgowego Urzędu Górniczego w Prievidzy. Słowacja 2007.
4. Kleta H.: Probabilistyczne ujęcie bezpieczeństwa obudowy szybu uwzględniające poziome odkształcenia górotworu. Budownictwo Górnicze i Tunelowe, nr 1, Katowice 2006.
5. Kleta H.: Wpływ odkształceń górotworu na bezpieczeństwo szybu. Międz. Konf. GEOTECHNIKA 2005, VII Szkoła Geomechaniki, Gliwice – Ustroń, 13-16.IX.2005.
6. Praca zbiorowa: Ocena zagrożenia dla szybu V w świetle zaistniałych deformacji nieciągłych wraz z analizą warunków geologiczno – hydrogeologicznych i technologii zamrażania górotworu w czasie głębienia szybu wraz ze sposobem likwidacji tego zagrożenia w aspekcie bezpiecznego użytkowania szybu zgodnie z przeznaczeniem. Praca niepublikowana, Katowice 2007.
7. Sztelak J.: Hydrogeologia górnicza i sposoby zwalczania zagrożeń wodnych w kopalniach podziemnych. Wyd. Pol. Śl., Gliwice 1998.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Andrzej Zorychta