

Jerzy Cieślak, Danuta Flisiak*, Jerzy Flisiak*, Jakub Mazurek**

PRZESTRZENNA ANALIZA NUMERYCZNA WYĘŻENIA FILARÓW KOMÓR SOLNYCH POLA EKSPLOATACYJNEGO PAGORY W OTWOROWEJ KOPALNI SOLI „BARYCZ”

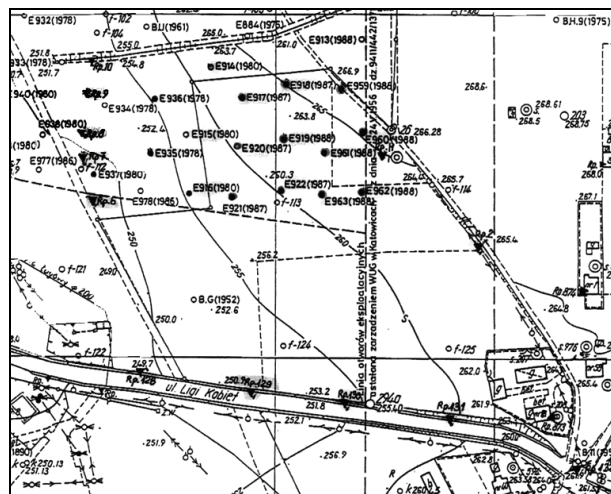
1. Wprowadzenie

Pozostałością po eksploatacji soli w Kopalni „Barycz”, którą prowadzono do 1992 roku są kawerny i komory wypełnione solanką. Obecnie komory te, w procesie ich likwidacji, są sukcesywnie podsadzane. Po zaprzestaniu eksploatacji w polu Pagory Kopalni „Barycz” wielokrotnie przeprowadzono geofizyczne badania echosondą (OBR GSChem. „Chemkop” 1997–2006), których celem była geometryzacja komór, oszacowanie przestrzennej ich lokalizacji oraz objętości. Przy wykorzystaniu wyników inwentaryzacji możliwe było oszacowanie objętości potrzebnego materiału podsadzkowego, kolejności podsadzania oraz analiza stanu półki stropowej. Ze względu na kolejność podsadzania oraz określenie warunków stateczności poszczególnych części pola eksploatacyjnego bardzo istotna była również analiza stanu wyężenia filarów międzykomorowych. To ostatnie zagadnienie, istotne ze względu na istnienie połączeń hydraulicznych komór, było przedmiotem obliczeń numerycznych oraz analiz, których wyniki zaprezentowano w tym artykule.

2. Budowa geologiczna górotworu w rejonie pola Pagory

Pole eksploatacyjne Pagory (rys. 1) różni się dość znacznie od pozostałych części złoża Barycz. Złoże w tym rejonie wykazuje charakter autochtoniczny, zostało w nim zachowane pierwotne następstwo warstw. Generalnie na łomarglach podsolnych (warstwy skałwińskie) występują spągowe utwory płonne serii solnej, a następnie pokłady soli kamiennej w znacznym stopniu pofałdowane. Wyżej zalegają stropowe utwory płonne serii solnej, złożone częściowo z ławic piaskowca i mułowca anhydrytowego, przechodząc w silnie muliste i piaszczyste warstwy chodenickie.

* Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków



Rys. 1. Mapa poglądowa lokalizacji pola Pagory z zaznaczonymi otworami eksploatacyjnymi E913–E963

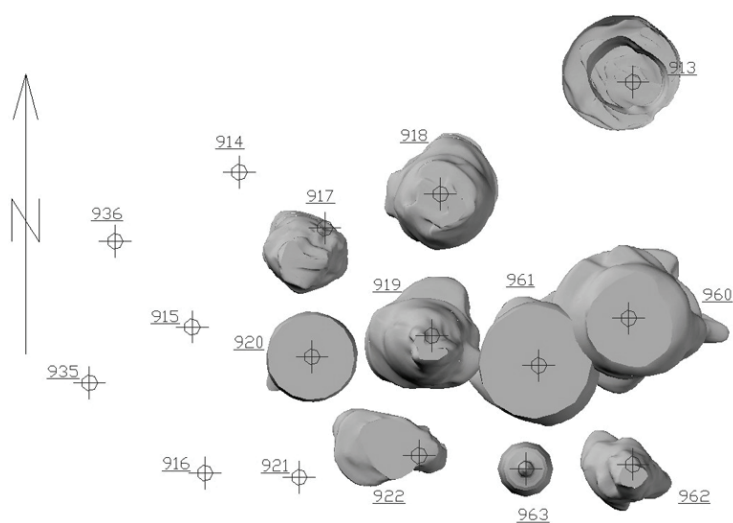
Średnia miąższość złoża soli w polu Pagory wynosi ok. 30 m. Głębokość zalegania stropu złoża waha się od 200 m w zachodniej części do ponad 270 m w części północno-wschodniej. Z budowy geologicznej złoża wynika, że bezpośrednio nad stropem złoża soli kamiennej zalega warstwa szarobrunatnego piaskowca z anhydrytem oraz przerostami ilowców i mułowców. Powyżej zalegają szarozielone ilowce margliste, zaliczane do warstw skałkowych, a jeszcze wyżej pakiet warstw chodenickich. Parametry fizyczne poszczególnych warstw geologicznych zebrano w tabeli 1.

TABELA 1
Parametry fizyczne wybranych utworów Kopalni „Barycz” wg [1, 3]

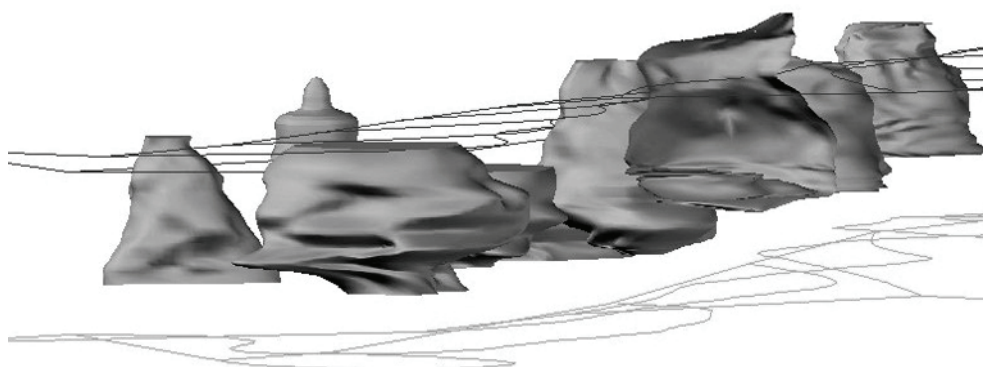
Nazwa skały	Ciężar objętościowy γ [kN/m ³]	Moduł odksz. podłużnej E [MPa]	Współczynnik Poissona ν	Kąt tarcia wewn. φ [deg]	Spójność c [kPa]
Sól spizowa	21,3	912	0,30	30	1500
Zubry solne	21,0	520	0,30	–	–
Piaskowiec	23,4	–	0,20	34	474
Iłowki	22,0	60	0,35	13–26	60–100
Iły chodenickie	21,8	6,3	0,38	6,5	100
Utwory podsolne	25,0	1000	0,20	–	–
Solanka	12	–	0,5	–	–

3. Przestrzenne odwzorowanie geometrii komór pola Pagory

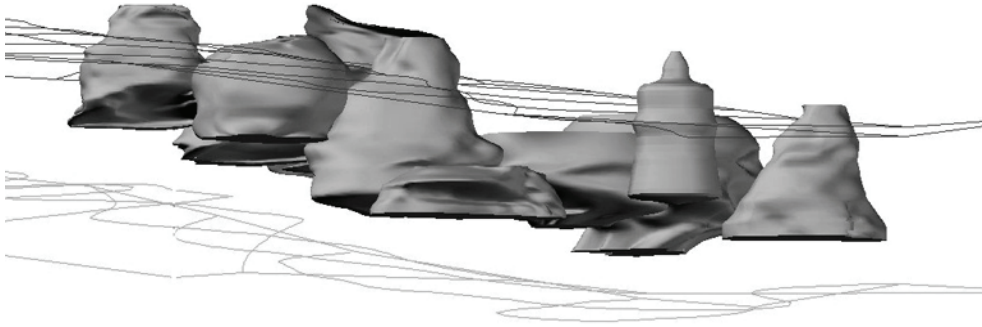
Do opracowania przestrzennego (bryłowego) modelu odwzorowania geometrii komór wykorzystano szczegółowe dane z pomiarów echosondą, dotyczące poziomych przekrojów pustek poeksploatacyjnych oraz napisane przez autorów skrypty programu AutoCAD. Rysunek 2 przedstawia widok komór poeksploatacyjnych z góry, patrząc od strony południowej pola, a dwa pozostałe ujęcia, w rzutach izometrycznych od strony południowo-wschodniej i zachodniej pokazano na rysunkach 3 i 4.



Rys. 2. Poglądowy obraz pustek poeksploatacyjnych odwzorowanych na podstawie danych z pomiarów echosondą. Widok z góry od południowej strony pola Pagory



Rys. 3. Ujęcie izometryczne aktualnej (pomierzonej echosondą) geometrii komór poeksploatacyjnych. Widok od strony południowo-wschodniej



Rys. 4. Ujęcie izometryczne aktualnej (pomierzonej echosondą) geometrii komór poeksploatacyjnych. Widok od strony południowo-zachodniej

Nieregularnymi liniami oznaczono pierwotny strop i spąg pokładu soli, określone według danych pomiarowych z otworów eksploatacyjnych. W przypadku braku danych pomiarowych geometryzacji echosondą dla danej komory zaznaczono jedynie oś otworu. Komory nie są tu zaprezentowane w określonej skali, jednak stosunki ich wzajemnych wymiarów oraz odległości zostały zachowane, a położenie osi otworów określono na podstawie danych kopalnianych w geodezyjnym układzie odniesienia.

Analizując zaprezentowane wyżej rysunki można zauważyć, iż kształt wszystkich komór jest mocno nieregularny. Są one szersze w części spągowej i węższe w części stropowej (wyjątkiem jest tu komora E963, która została odwzorowana na podstawie promieni zastępczych na odpowiednich poziomach pomiarowych i ma kształt bryły obrotowej). Należy również zauważyć, że pomiary geometrii komór echosondą (zależnie od typu echosondy) nie są kompletne. Jest to efekt ograniczonych możliwości pomiarowych poszczególnych typów echosond wykorzystywanych do pomiarów. Geometria komór o numerach E920, E922, E960 oraz E961 jest niepełna; brakuje z pewnością części stropowej komór. Uwzględniając wyniki pomiarów komór sąsiednich można jedynie przypuszczać, iż pionowy ich zasięg będzie powyżej pierwotnego położenia stropu pokładu soli.

Poza wymienionymi wcześniej, niedokładnie pomierzonymi komorami, stropy pozostałych komór (E913, E917, E918, E919, E922, E962, E963) sięgają ponad pierwotny strop pokładu. Analizując szczegółowo rysunki 4 oraz 5 można zauważyć, że w górnej części tych komór, mniej więcej na poziomie położenia pierwotnego stropu pokładu, występuje wyraźne przewężenie ich przekroju poprzecznego we wszystkich praktycznie przypadkach. Zjawisko to dowodzi, że strop komór migruje w warstwy powyżej pokładu, a przewężenie jest miejscem występowania pierwotnego stropu komory.

Spąg wszystkich pomierzonych komór znajduje się wyraźnie ponad poziomem położenia spągu pokładu. Efekt ten może być wynikiem występowania przerostów piaskowca w pokładzie soli, które to warstwy podczas eksploatacji uległy tylko częściowej degradacji

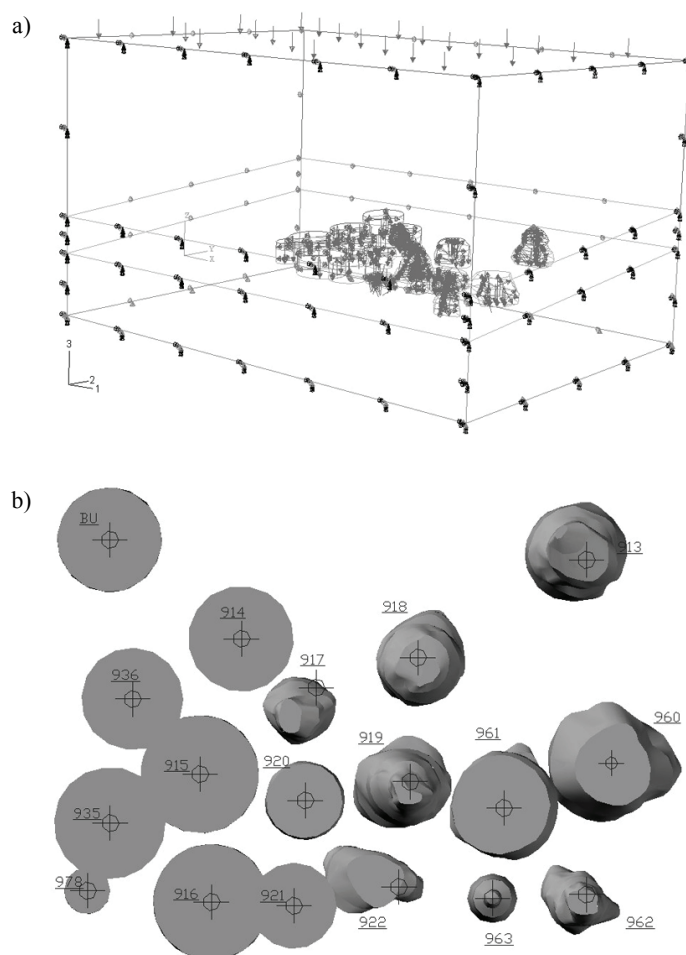
lub nie uległy zniszczeniu w ogóle. Analiza przestrzennej orientacji komór na rysunku 2 pozwala stwierdzić, iż komory o numerach E919, E960 oraz E961 są wyraźnie połączone. W przypadku komór 960 oraz 961 autorzy opracowania [2], po szczegółowych analizach wyników pomiaru, nie stwierdzają takiego połączenia i proponują rozsuniecie analizowanych komór na odległość ok. 6 m, tak aby się zaledwie stykały. W przypadku pozostałych komór nie stwierdzono jednoznacznie ich geometrycznego połączenia, choć wstępne próby symulacji podsadzania przeprowadzone w polu Pagory wykazały istnienie połączenia hydraulicznego (tab. 2). Wyniki badań echosondą nie wykluczają istnienia połączeń hydraulicznych; świadczą jedynie o tym, że komory nie przenikają się wzajemnie, a ewentualna wymiana solanki pomiędzy komorami może odbywać się siecią kanałów niewielkich rozmiarów, spękań czy szczelin, których uchwycenie za pomocą pomiarów echosondą nie jest możliwe.

TABELA 2
Zestawienie połączeń hydraulicznych komór w polu Pagory

Numer komory	Rok zakończenia eksploatacji	Łącznie wydobyte [tony]	Połączenia z innymi otworami w czasie eksploatacji
E-913	1992	10.981	Brak
E-918	1996	10.986	Brak
E-917	1996	6.455	Brak
E-936	1984	12.510	935, 934, 940, 914
E-916	1984	20.687	914, 915, 935, 936, 978
E-962	1994	12.566	963, 922
E-922	1995	11.785	962, 963, prawdopodobnie 919
E-919	1995	15.558	920, 961, 960, prawdopodobnie 922
E-914	1985	17.368	915, 936
E-920	1996	11.260	919, 960, 961
E-921	1995	11.176	Brak
E-915	1982	21.501	914, 916, 936
E-935	1983	11.900	940, 936, 978
E-960	1993	14.551	961, 919, 920
E-961	1991	9.115	920, 919, 960
E-963	1995	9.777	922, 962

4. Analiza wyężenia filarów solnych w oparciu o obliczenia numeryczne

Budując model numeryczny części pola Pagory, w znacznej mierze oparto się na wynikach przestrzennego odwzorowania zaprezentowanego wcześniej. Geometria komór, co do których brak było danych geometryzacji echosonda, odtworzona została przy założeniu, że miały one kształt walca ze współczynnikiem kształtu 0,6, o zastępczej średnicy wyliczonej na podstawie objętości wyeksploatowanej solanki. Analizie poddano wycinek górotworu o kształcie prostopadłościanu i wymiarach $350 \times 250 \times 200$ m, wewnątrz którego odwzorowano komory poeksploatacyjne (rys. 5).



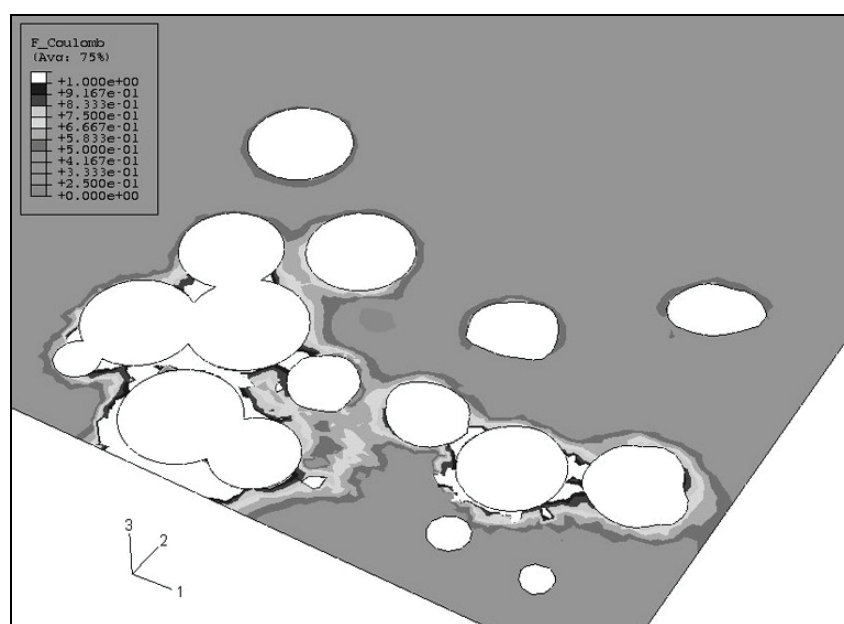
Rys. 5. Model obliczeniowy wraz z warunkami brzegowymi (a) oraz układ komór przyjęty do obliczeń (b)

W celu uwzględnienia w obliczeniach wcześniejszej eksploatacji prowadzonej w tym rejonie założono istnienie pionowych płaszczyzn symetrii modelu po południowej i wschodniej stronie analizowanego pola, oddalonych o 3 m od krawędzi najdalej wysuniętych komór w tych kierunkach.

Obciążenie modelu stanowiły: ciężar własny modelowanych skał, naprężenia pionowe pochodzące od skał wyżej leżących $\sigma_z = 3,335$ MPa oraz ciśnienie wewnątrz komór o wartości $\sigma = 2,4$ MPa, wynikające z wysokości słupa solanki, sięgającej średnio 50 m poniżej powierzchni terenu.

Zasadniczym celem przeprowadzonych obliczeń było określenie wyężenia filarów międzykomorowych pola eksploatacyjnego (do tego celu wykorzystano warunek wytrzymałościowy Coulomba-Mohra) i analiza możliwości powstania ewentualnych połączeń hydraulicznych komór.

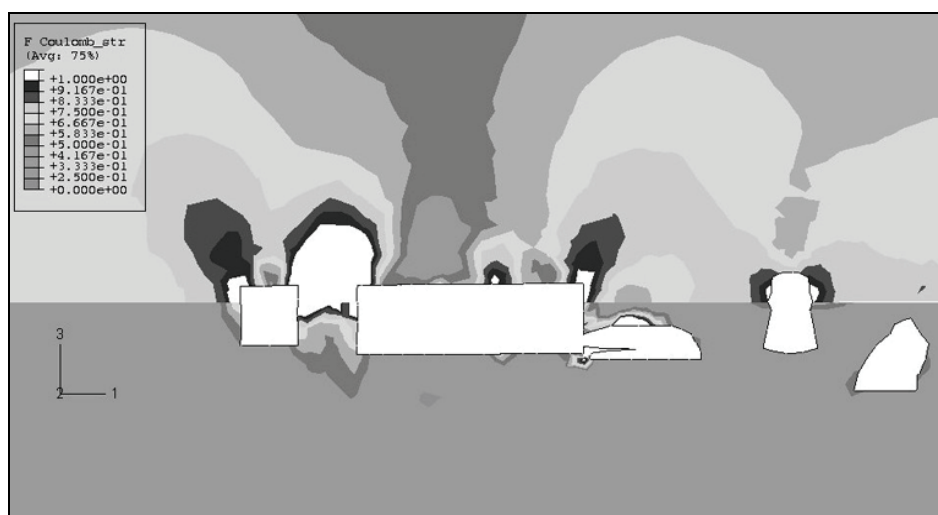
Na rysunku 6 zaprezentowano przykładową mapę wyężenia filarów w wybranym, poziomym przekroju pola eksploatacyjnego. Obszar o przekroczonym wyężeniu w przekroju zaznaczony jest na biało. Wyężenie zostało przekroczone w filarach pomiędzy komorami 936, 935, 978, 914, 915, 916, 920, 921 oraz pomiędzy komorami 919, 961, 960.



Rys. 6. Mapy wyężenia górotworu w obrębie komór w złożu soli — przekrój poziomy. 263 [m] ppt. Komory zaczynając od lewej strony pola — BU, 936, 935, 978, 914, 915, 916, 920, 921, 918, 919, 961, 963, 913, 960, 962

Na rysunku 7 mapę wyężenia w przekroju pionowym. W analizowanym przekroju w stropie wyężenie zostało przekroczone głównie w narożach komór. W związku z tym, że

strop komór zlokalizowany jest w warstwach stropu, istnieje duże prawdopodobieństwo, że komory 935 oraz 916 posiadają w stropie połączenie hydrauliczne. W spągu komór nie stwierdzono obszarów o przekroczonym wyężeniu.



Rys. 7. Mapa wyężenia górotworu w obrębie komór w złożu soli oraz w stropie i spągu. Komory zaczynając od lewej strony pola — 635, 916, 921, 922, 963, 962

5. Wnioski

Analiza map wyężenia (rys. 6 i 7) pozwala zauważyć, że poza zniszczeniem samych filarów międzykomorowych przyczyną połączeń hydraulicznych komór może być również zniszczenie stropu komór na skutek ścinania. Właśnie taki charakter zniszczenia, ze względu na ciśnienie solanki wewnątrz komór, dominuje w półce stropowej bezpośrednio nad komorami.

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń i analizy wszystkich map wyężenia [1] (w artykule zamieszczono jedynie wybrane wyniki) można stwierdzić, iż istnieje duże prawdopodobieństwo, że komory 960, 961, 919, 920, 915, 935, 963 oraz 916, 921, 922 jak również komory 914 i 917, będą miały połączenia hydrauliczne. Jedynie w przypadku odosobnionych komór o numerach 962, 913, 918 oraz BU można zakładać, że takie połączenia nie mają miejsca. W porównaniu z obserwacjami kopalnianymi zestawionymi w tabeli 2 obliczenia wykazują sytuację bardziej niekorzystną niż ta, która wynika z obserwacji (ze względu na geometrię komór, dla których nie posiadano wyników badania echosondą), jednak w dużej mierze wyniki te są zbieżne. Należy również zaznaczyć, że przekroczenie wyężenia górotworu w obrębie komór nie musi być wcale równoznaczne z wystąpieniem połączenia hydraulicznego pomiędzy nimi i może jedynie wskazywać na możliwość takiego połączenia.

Odrębnym, bardzo istotnym zagadnieniem związanym z likwidacją pola eksploatacyjnego Pagory jest analiza stateczności półki stropowej i zachowanie powierzchni terenu pod kątem możliwości wystąpienia deformacji nieciągłych. Ze względu na złożoność problemu i konieczność wykorzystania innego modelu matematycznego niż prezentowanego w tej pracy, zadanie to będzie tematem oddzielnego referatu.

LITERATURA

- [1] *Mazurek J. i in.*: Analiza stabilności górotworu w polu Pagory rejon Tomana na podstawie wierceń otworów podsadzkowych, rekonstrukcji otworów poeksploatacyjnych oraz pomiarów echosondą. Praca zbiorowa pod kierunkiem dr inż. J. Mazurka. Maszynopis. Biblioteka Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki AGH. Kraków 2007 (praca nie publikowana)
- [2] *Rałowicz B. i in.*: Wyniki geometryzacji echosondą. Kopalnia Otworowa „Barycz”, Komory rejonu Tomana — serie pomiarowe (02) do (10). Praca zbiorowa pod kierunkiem B. Rałowicza. Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Górnictwa Surowców Chemicznych w Krakowie. Zakład Geofizyki Górniczej. Kraków 1997–2007 (praca nie publikowana)
- [3] *Tajduś A. i in.*: Projekt likwidacji Kopalni Otworowej „Barycz”. Praca zbiorowa pod kierunkiem prof. A. Tajduś. Maszynopis. Biblioteka Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki AGH. Kraków 1999 (praca nie publikowana)