

Numeryczny model odwadniania wyrobisk górniczych w rejonach zagrożonych dopływem wód zmineralizowanych z głębszych poziomów wodonośnych, na przykładzie KWB Bełchatów

Władysław Czabaj*, Wojciech Siciński*

Prognozowanie, zachodzących pod wpływem odwadniania górotworu, zmian hydrodynamicznych i hydrogeochemicznych, jest ważnym czynnikiem mającym na celu minimalizację ujemnego wpływu działalności górniczej na środowisko naturalne.

Ryzyko pompowania przez studnie odwadniające kopalni wód zmineralizowanych jest zjawiskiem negatywnym. Prowadzenie prac odwodnieniowych pod kontrolą „modelową” pozwala na prognozowanie wymaganej względami techniczno-eksploatacyjnymi depresji w studniach odwodnieniowych, przy jednoczesnym ograniczeniu do minimum zagrożenia dopływu wód silnie zmineralizowanych do systemu odwadniania.

Warunki początkowe

Antyklina Łękińska jest położona w południowej części odkrywki Bełchatów, między wkopem udostępniającym (obecnie zwałowisko wewnętrzne) a miejscowością Kleszczów. Na obu skrzydłach badanej struktury (ryc. 1) mającej jądro piaskowcowe (lias, dogger), występują wapienie kimerydu i oxfordu (Mrozek, 1975; Ciuk, 1980; Kuszneruk, 1984) drenowane liniowymi barierami studni głębinowych: zewnętrzną S oraz dwoma wewnętrznymi G i G-1 (ryc. 2). Pierwsze studnie, na interesującym nas terenie, były wykonywane z powierzchni terenu w styczniu 1980 r. Na przełomie lat 1984–1985 studnie barier G i G-1 znalazły się w strefie eksploatacji odkrywkowej. Większość została wycofana, a zamiast nich wykonano nowe, o głębokości 210–300 m. Lokalizowano je na półkach stałych odkrywki: +156 m npm i +125 m npm w miejscach, gdzie istniały przesłanki do ujęcia dużych przelotów w piaskowcach. Bariery te na wysokości antykliny tracą charakter liniowych. Ostatnie studnie w tym rejonie wykonano na początku 1988 r. Odwodnienie tego rejonu w obrębie odkrywki, do średniego poziomu +5,0 m npm zostało zrealizowane do 1990 r., w związku z powyższym rozważany problem ma charakter metodyczny.

Na wykonanym modelu matematycznym odwzorowano system drenażowy z rejonu antykliny Łękińska. Jako stan wyjściowy do modelowania przyjęto poziom odwodnienia z grudnia 1984 r. Związane jest to z czasową zmiennością chemizmu wód podziemnych na tym terenie. Datę tę można przyjąć umownie jako granicę czasową, po której w wodach podziemnych zaczynają się pojawiać podwyższone stężenia jonów Cl⁻ (Siciński, 1994). Wody o podwyższonej mineralizacji, stężeniu tego jonu, występujące w wyżej wymienionym rejonie, w chwili obecnej nie stanowią zagrożenia dla wód powierzchniowych środowiska, gdyż w praktyce rozcieńczane są wielokrotnie większą ilością wód słodkich. Bezwzględny najniższy poziom ujmowania wód (w latach 1982–1988) osiągnął rzędną 100 m npm. Studnie bariery S początkowo projektowane jako płytkie (100 m głębokości),

od kwietnia 1982 r. osiągają głębokości w granicach 250 m. Średni poziom zwierciadła dynamicznego w studniach, w obrębie badanej struktury, zmieniał się w czasie, przy równoległym spadku ogólnej wydajności bariery.

Indywidualne wydatki studni bariery S wahały się w granicach 0,03–4,0 m³/min i zmniejszały się, tak że w grudniu 1988 r. maksymalny wydatek pojedynczej studni w barierze wynosił ok. 3,0 m³/min. Bezpośrednie odwadnianie antykliny Łękińska rozpoczęło z chwilą uruchomienia studni zafiltrowanych w piaskowcach jury dolnej i środkowej (01. 1980 r.). Wcześniej rejon ten odwadniano pośrednio, studniami zlokalizowanymi na wschodnim skrzydle antykliny. Znaczna część czwartorzędu została odwodniona: na obszarze złoża węgla, rejonu bariery zewnętrznej S oraz części obszaru z rejonu barier G i G-1. Drenaż piaskowców tej struktury rozpoczęto pod koniec 1982 r. Największe obniżenie zwierciadła wód mezozoicznych osiągnięto w rejonie studni 42S i 43S, rzędna +6,1 m npm. Na obszarze antykliny, na północ od bariery S, występują różnice ciśnienia hydrostatycznych między czwartorzędem a mezozoikiem i piaskami podwęglowymi, co świadczy o ograniczonym kontakcie wspomnianych utworów.

Schemat modelu numerycznego

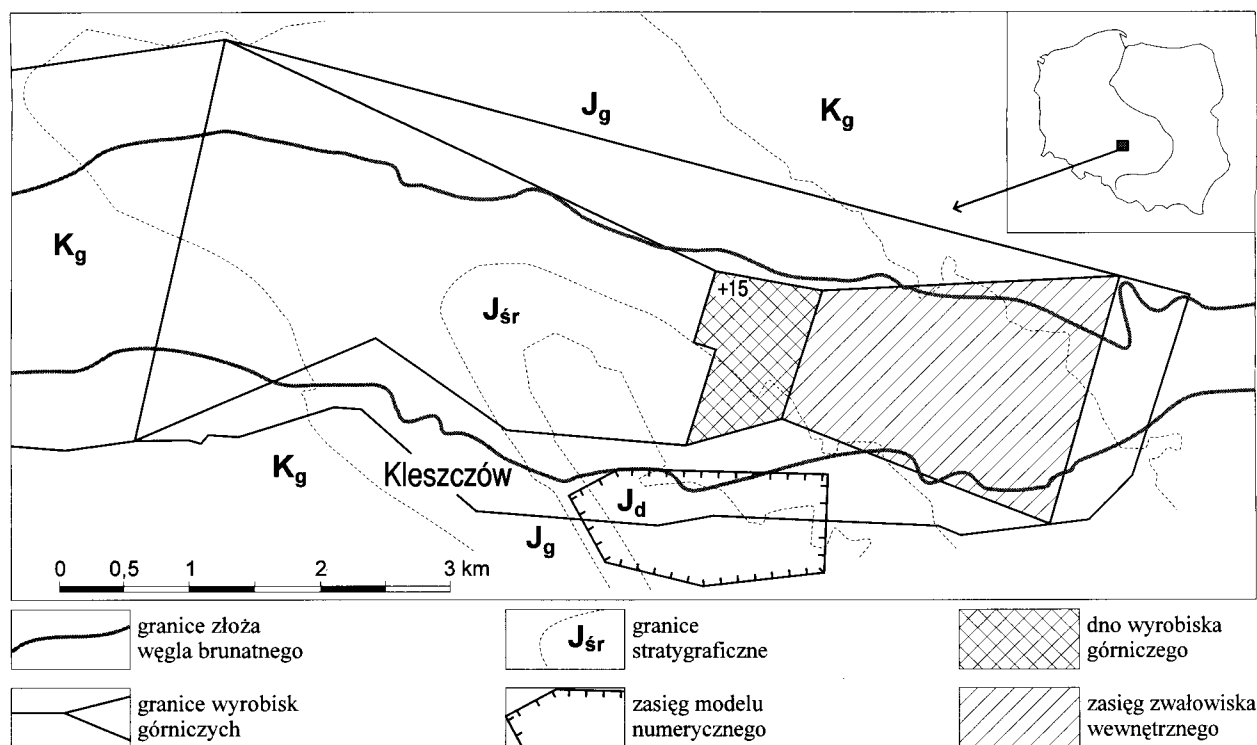
Model numeryczny antykliny Łękińska stanowi wycinek ogólnego dwupoziomowego modelu złoża Bełchatów utworzonego na potrzeby obliczeń leja depresji kopalni (Czabaj, 1989). Schemat obliczeniowy opiera się na rozwiązaniu Hantusha, tj. filtracji poziomej w dwóch płaskich poziomach wodonośnych, połączonych ze sobą pionowym — stałym w czasie — przesączaniem. Filtracja zachodzi na obszarze ograniczonym warunkiem stałego poziomu hydrostatycznego lub ciśnienia piezometrycznego, na konturze zewnętrznej. Zgodnie z metodą elementów skończonych (MES) badany obszar został podzielony na trójkąty (416 szt.). Wierzchołki trójkątów (węzłów) zastępują naturalną, ciągłą przestrzeń filtracji. Model antykliny jest dowiezany do modelu ogólnego (Czabaj, 1989) czterdziestoma węzłami brzegowymi. Są to węzły wspólne dla obu modeli.

W pionie przestrzeń filtracji zastąpiono dwoma poziomami. Pierwszy poziom w warunkach rzeczywistych stanowią sypanie utwory nadkładowe na obszarze złoża oraz utwory kenozoiczne na terenach położonych na południe od złoża. Drugi poziom, to utwory mezozoiczne na całym

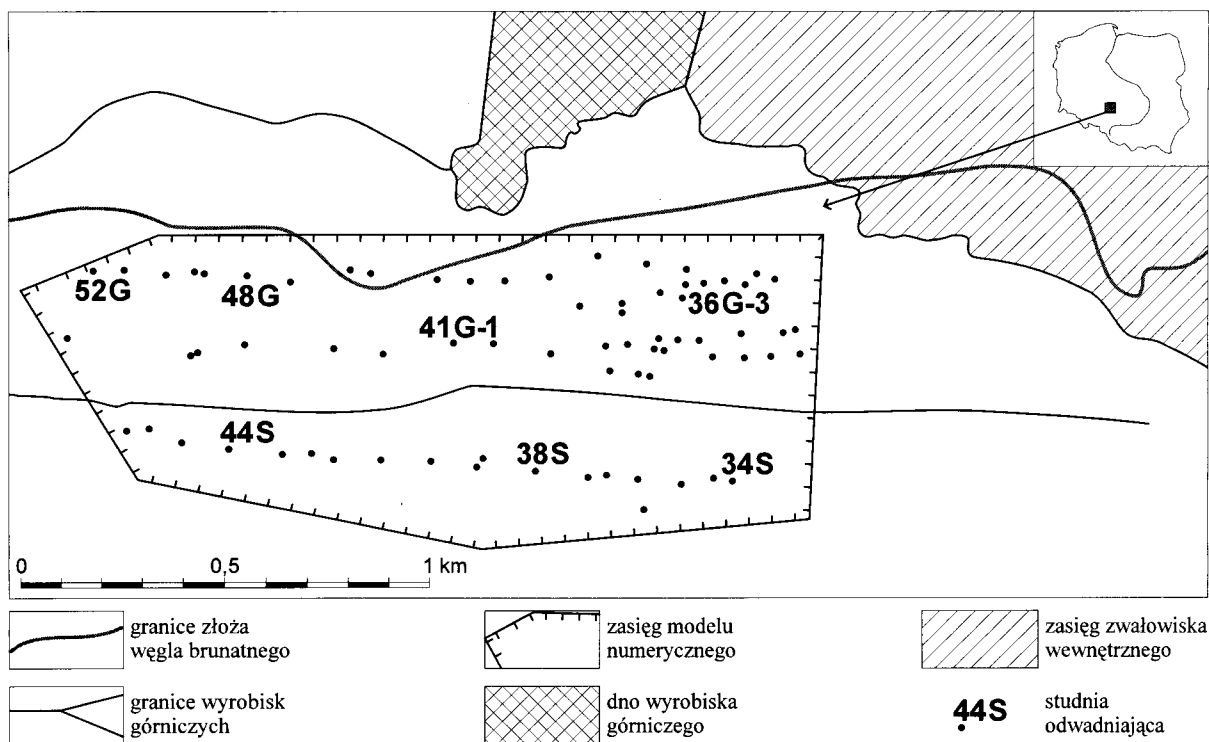
Tab. 1. Średni poziom zwierciadła dynamicznego oraz średnia wydajność w studniach w okresie 03.1985–12.1988 r.

Data	Zwierciadło wody, m	Średnia wydajność m ³ /min
03.1985	+36,0	30
12.1985	+17,6	24
12.1986	+17,8	16
12.1987	+4,8	11
12.1988	+6,6	11

*IGO Poltegor-Institut, ul. Parkowa 25,
51-615 Wrocław



Ryc. 1. Schematyczna mapa geologiczna rejonu KWB Bełchatów



Ryc. 2. Schematyczna mapa rejonu badań modelowych

obszarze objętym modelem, trzeciorzędowe piaski podwęgłowe na obszarze złoża oraz sypkie utwory trzeciorzędowe (w przypadkach, gdy budowa geologiczna wskazywała ich bliższy kontakt hydrauliczny z mezozoikiem niż czwartorzędem).

Pierwszą od spągu warstwą jest zawsze mezozoik ze spągami założonym w modelu na rzędnych od -50 do -100 m npm. Są to wartości związane z głębokością studni, które najczęściej są dogłębiane do niewodonośnych mułowców i ilowców.

Wszystkie parametry hydrogeologiczne charakteryzujące poziomy wodonosne zakodowane są w klasach (Czabaj, 1989). Jedna klasa obejmuje takie parametry jak: współczynnik filtracji poziomej i pionowej, odsączalność grawitacyjna, sprężystość objętościową. W modelu dla powyższych parametrów przyjęto następujące wartości:

Pierwszy poziom wodonosny:

— współczynnik filtracji poziomej $k_H = 1 \div 22$ m/d,

— współczynnik filtracji pionowej $k_v = 10$ x mniejszy od poziomej,

— odsączalność grawitacyjna $\mu = 0,14$

— współczynnik sprężystości objętościowej $\beta_1 = 0,001$; $\beta_2 = 0,0001$.

Zasilanie z powierzchni terenu jest zróżnicowane, w przedziale 0–40% wielkości średniego rocznego opadu atmosferycznego (max 0,000765 m³/d/m²).

Drugi poziom wodonośny (odwzorowano 4 warstwy wodonośne o zróżnicowanych parametrach):

piaski podwęglowe:

współczynnik filtracji poziomej $k_H = 1 \div 2$ m/d,

współczynnik filtracji pionowej $k_v = 10$ x mniejszy od poziomej,

odsączalność grawitacyjna $\mu = 0,02 \div 0,10$,

współczynnik sprężystości objętościowej $\beta_1 = 0,0001$; $\beta_2 = 0,00001$

utwory piaskowcowo-mułowcowe jury dolnej i środkowej:

— współczynnik filtracji poziomej $k_H = 0,1 \div 1$ m/d

— współczynnik filtracji pionowej $k_v = 10$ x mniejszy od poziomej

— odsączalność grawitacyjna $\mu = 0,10 \div 0,14$

— sprężystość objętościowa $\beta_1 = 0,0001$; $\beta_2 = 0,00001$

— **utwory trzeciorzędowe na mezozoiku** (parametry jak dla piasków podwęglowych);

utwory oxfordu:

— współczynnik filtracji poziomej $k_H = 1 \div 15$ m/d,

— pozostałe parametry jak dla mezozoiku.

Założono, że drugi poziom wodonośny nie ma zasilania z infiltracji opadów ani od spągu. Podane wartości poszczególnych parametrów hydrogeologicznych otrzymano w wyniku wielokrotnego tarowania na modelu ogólnym złoża Bełchatów (Czabaj, 1989). W warunkach naturalnych poziomy wodonośne mogą kontaktować się między sobą bezpośrednio przez okna hydrauliczne lub pośrednio przez półprzepuszczalne utwory niewodonośne. W przypadku kontaktu bezpośredniego o wielkości pionowego przepływu decydują m.in.: współczynnik filtracji pionowej oraz powierzchnia kontaktu. Przesączanie drogą kontaktu pośredniego jest uzależnione od rodzaju i charakterystyki warstwy rozdzielającej. Jako warstwy słabo przepuszczalne przyjęto wszystkie utwory niewodonośne (łącznie z węglem), o miąższości poniżej 20 m. Ilość wód przesączających się jest obliczana na bazie ilorazu współczynnika filtracji pionowej i miąższości warstwy izloluującej (k_v/m_p), który zróżnicowano w czterech grupach:

— dla warstw o miąższości $m_p \leq 5$ m 0,002 l/d

— dla warstw o miąższości $6 \text{ m} < m_p < 10$ m 0,0013 l/d

— dla warstw o miąższości $11 \text{ m} < m_p < 10$ m 0,00067 l/d

— dla warstw o miąższości $16 \text{ m} < m_p < 20$ m 0,00005 l/d

Na obszarze antykliny na północ od bariery S występują różnice ciśnień hydrostatycznych między czwartorzędem a mezozoikiem i piaskami podwęglowymi, co świadczy o ograniczonym kontakcie obu modelowanych poziomów wodonośnych.

Tarowanie modelu numerycznego

Podstawą do tarowania modelu numerycznego antykliny były efekty jej odwodnienia z grudnia 1985 r. W tym okresie w interesującym nas rejonie pracowało 31 studni. Indywidualnie z zadanym dynamicznym poziomem wody odwzorowano 21 studni (studnie o podwyższonej zawartości chlorków). Pozostałe studnie odwzorowano w sposób

zastępczy jako ujęcia grupowe (po 2 studnie w węźle modelowym).

Dynamiczny poziom wody w studniach bariery S (ryc. 2), był zróżnicowany od -10 m npm do +73 m npm (średnio +17,6 m). W studniach barier G, G-1 (ryc. 2), zwierciadło dynamiczne kształtowało się na poziomie od +38 m npm do +80 m npm. Całkowita wydajność studni w tym rejonie wynosiła $Q = 36,2$ m³/min, z czego na barierę S przypada $O_s = 24,3$ m³/min; bariery G, G-1 $Q_G = 11,9$ m³/min. Przed rozpoczęciem obliczeń, w modelowanych studniach zadano dynamiczny poziom wody ze studni rzeczywistych, w studniach zastępczych poziom wody rejestrowany przez piezometrię, (na zewnątrz studni). W pierwszym kroku obliczeniowym uzyskano bardzo dobre przybliżenie wartości rzeczywistych: całkowity obliczeniowy wydatek barier wyniósł 33,1 m³/min, ok. 91,5% wydajności rzeczywistej. W tym obliczony dopływ do bariery S wyniósł 25,2 m³/min, ok. 104% dopływu rzeczywistego. Dla barier G i G-1 uzyskano gorszą zbieżność wyników, dopływ obliczeniowy stanowił ok. 166,4% dopływu rzeczywistego. Na podstawie powyższych wyników uznano, że model jest spójny i wystarczająco zbilansowany. Tarowanie polegało na doborze odpowiednich parametrów hydrogeologicznych, zakodowanych w klasach modelu, na kierunkach dopływu podziemnego do poszczególnych studni oraz wprowadzaniu dodatkowych oporów hydraulicznych na niektórych studniach.

Wyniki tarowania przedstawiono w tabeli (tab. 2). Dla kilku studni obliczone wydatki różnią się znacznie od rzeczywistych. Przyczyną może być m.in. niska jakość techniczna studni lub lokalizacja w szczególnie korzystnych warunkach hydrogeologicznych (np. w systemie szczelin doprowadzających wodę). Potwierdzenie tej hipotezy wymagałoby dalszych badań na uszczegółowionym modelu. W rejonie studni 43S występuje największe obniżenie poziomu wód mezozoicznych, równocześnie studnia ta ma minimalny wydatek 0,03 m³/min i największe stężenie chlorków ok. 615 mg/l (1986 r.). Prawdopodobnie pracuje ona w warunkach ograniczonego zasilania szperując zasoby statystyczne. W jej rejonie wprowadzono nową klasę parametrów hydrogeologicznych, m.in. $k_H = 0,01$ m/d; $\mu = 0,05$; $\beta_2 = 0,00001$ l/d. Są to skrajnie trudne warunki filtracyjne i bardzo mała pojemność wodna. Inne warunki wstępują w rejonie studni 38Sbis i 39S. Przy stosunkowo wysokim poziomie dynamicznym w

Tab. 2. Wydatki studni rzeczywistych i modelowych

Nr studni	Nr węzła w modelu	Wydatek studni rzeczywistej m ³ /min	Wydatek studni modelowej m ³ /min	Wytarowany wydatek studni modelowej
33S-2	209	1,0	1,38	0,98
34S-1	210	2,0	1,15	2,01
36Sbis	208	0,3	0,52	0,25
38Sbis	204	3,5	0,60	3,18
39S	202	4,0	1,24	3,92
40S	200	2,5	1,94	2,55
41S	198	0,8	2,06	0,75
42S	196	1,2	2,42	1,07
43S	194	0,03	4,33	0,07
44S	192	0,3	5,00	0,38
45S	187	1,5	1,66	1,62
46S	183	0,1	2,04	0,7
37G-3*	157	0,7	0,35	0,5
38g-2	155	0,8	0,27	0,43

studni 38Sbis (+30 m npm) osiąga ona bardzo dobrą wydajność 3,5 m³/min, utrzymując ją na tym poziomie przez kilka lat. Aby to uzyskać na modelu, zwiększono przepuszczalność na południe od niej do $k_H = 4$ m/d. Dla studni 39S zadawalającą wydajność uzyskano już dla wartości $k_H = 3$ m/d.

Przebieg obliczeń

Obliczenia miały na celu sprawdzenie wpływu bariery S na ciśnienie wód w poziomie podwęgłowym przy południowej granicy złoża. Obliczenia wykonano w dwóch wariantach:

1) w grudniu 1988 r. zadano w studniach rzeczywiste, dynamiczny poziom wody min. -20m npm; max. +46 m npm;

2) w grudniu 1988 r. zadano w studniach bariery S oraz 37G-3⁺ i 38G-2 teoretyczny poziom wody +36 m npm równy we wszystkich studniach, osiągnięty przed pojawieniem się wód zmineralizowanych, w pozostałych studniach był on taki jak w rzeczywistości, a więc niższy i niejednorodny.

W wariancie 1 obliczone ciśnienie wód podwęgłowych przy południowej granicy złoża węgla kształtowało się na poziomie od +61,1 m w węźle nr 61 do +79,9 m w węźle nr 60. W wariancie 2 podniosło się ono do wartości +63,1 m w węźle nr 61 oraz +81,7 m w węźle nr 60. Wzrost wyniósł więc ok. 2 m.

Jest to wartość niwielka i mogłaby być nadrobiona intensywniejszym drenażem w barierach G, G-1 lub drenażem pomocniczym, realizowanym z poziomów węglowych poniżej +115.

W rzeczywistości ciężar odwodnienia w antyklinie Łękińska przeniesiono z bariery S na bariery G, G-1 w latach dziewięćdziesiątych. W wariancie 1 wydajność studni pompujących wody o podwyższonej mineralizacji chlorkami wyniosła $Q = 10,6$ m³/min, z czego wody słodkie dopływające do studni z pierwszego poziomu wodonośnego stanowią 4% (0,4 m³/min). W wariancie 2 wydajność jurajskich studni zmalała do $Q = 8,4$ m³/min, przy niezmiennym dopływie z czwartorzędu 0,4 m³/min. Dopływ z poziomu mezozoicznego wynoszący 8,4 m³/min, stanowią wody o podwyższonej mineralizacji obserwowanej w grudniu 1984 r. Obliczenia wykazały, że możliwe jest podniesienie poziomu drenażu w studniach, pompujących wody o podwyższonej mineralizacji bez wyraźnych ujemnych skutków dla przebiegu odwadniania złoża Bełchatów.

Podsumowanie i wnioski

Model numeryczny antykliny Łękińska nadaje się dobrze do obliczeń hydrodynamicznych i prognozowania intensywności drenażu. Jednak wielowarstwowa budowa geologiczna jądra antykliny (przewarstwienia utworów niewodonośnych) utrudnia rozwiązywanie problemów szczegółowych np. wydajności pojedynczych studni.

Tarowanie parametrów modelu przy znanych (pomiarowych) wartościach: wydatków studni, depresji w studniach i między nimi w grudniu 1985 r. pozwoliło uzyskać wystarczające przybliżenie modelu do warunków rzeczywistych dla rozwiązywania problemu dopływu zmineralizowanych wód do studni bariery S.

Obliczenie trzyletniego wyprzedzenia do grudnia 1988 r., według założeń rzeczywistych i teoretycznych z okresu przed pojawieniem się podwyższonej mineralizacji chlorkami, wykazały że głęboki drenaż studniami bariery S w antyklinie Łękińska jest niecelowy. Optymalnym rozwiązaniem mógłby być drenaż bariery S ze stałych w czasie i równym we wszystkich studniach poziomem dynamicznym $H = +36$ m npm. Dalsze pogłębianie depresji w antyklinie mogłoby być realizowane studniami G i G-1 pompującymi wody o mniejszej mineralizacji niż bariera S lub drenażem pomocniczym z południowych półek odkrywki (poniżej poziomu +5,0 m npm).

L i t e r a t u r a

- CZABAJ W. 1989 — Projekt systemu informatycznego „Hydro”. Wielopoziomowy model hydrogeologiczny złoża Bełchatów. Arch. IGO Poltegor-Institut.
- CIUK E., 1980 — Przew. 52 Zjazdu Pol. Tow. Geol.: 38–55.
- KASZA L. (red.) 1987 — Analiza struktur mezozoicznych w zakresie ich wpływu na krążenie wód węgłowej cyrkulacji. Pr. Nauk. Bad. UW Wr, Nr arch. 8711.
- KUSZNERUK J., 1984 — Tech. Poszuk. Geol., 2: 32–34.
- SICIŃSKI W., 1994 — Analiza jakości wód z systemem odwodnienia zrzucanych do rzeki Widawki. Część II Hydrogeologiczna. Arch. IGO Poltegor-Institut.