

Charakterystyka głównych geotypów obszarowych ocen podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia

Przemysław Bukowski¹, Ewa Krogulec², Andrzej Haładus³

The characteristics of main area geotypes for the evaluation of groundwater vulnerability to pollution. Prz. Geol., 68: 226–232; doi: 10.7306./2020.9

A b s t r a c t. The article presents a proposal of the classification of hydrogeological and environmental conditions in relation to different intensities of the impact of factors affecting groundwater threat in assessments of groundwater vulnerability to pollution. Due to the complexity and high degree of transformation of the natural environment, including aquatic, types of areas subjected to ordinary and strong anthropopressure, the so-called Area Geotypes (GO), are distinguished and discussed. The main factors characterizing the impact of mining activity on the water environment (typical and specific) are discussed, and the mine's characteristics are highlighted, emphasizing its role and importance as an influator constituting a large, multifactorial source threatening the groundwater environment. The role of the mine as an influator is presented against the background of the mine's "life cycle" (development phases) along with an indication of the desirability of carrying out assessments of groundwater vulnerability to pollution and groundwater threat assessments. The need to develop legal regulations regarding the preparation of vulnerability assessments is indicated.

Keywords: groundwater vulnerability to pollution, hydrogeology, underground mining, hydrogeological documenting

Ochrona wód podziemnych, szczególnie w obszarach zurbanizowanych i uprzemysłowionych, wymaga zastosowania odpowiednich metod ilościowej oceny ich zagrożenia. Powszechnie stosowaną metodą określenia stopnia zagrożenia wód podziemnych jest ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia (PWP). Jest ona ilościową i jakościową ewaluacją ryzyka zagrożenia wód podziemnych, a wizualizacja wyników rozkładu wartości podatności stanowi podstawę określenia zagrożenia wód oraz wytypowania obszarów o największym stopniu potencjalnego ryzyka zmian stosunków wodnych.

Podatność wód podziemnych na zanieczyszczenia jest określana w odniesieniu do obszarów, w których ognisko zanieczyszczenia wód występuje na powierzchni terenu i zagraża wodom przypowierzchniowego poziomu wodonośnego. Jest badana od wielu lat praktycznie w każdym kraju na świecie (*vide* Krogulec, 2004). Jednak dotychczas sporadycznie odnoszono się do najtrudniejszych zagadnień oceny podatności w obszarach miejskich i zindustrializowanych, rolnych oraz poddanych znaczącym czynnikiem oddziaływania lokalnego i regionalnego, np. w związku ze składowaniem odpadów różnego typu, z wpływem górnictwa odkrywkowego, otworowego lub podziemnego. Pierwsze próby scharakteryzowania w Polsce obszarów górniczych z uwagi na podejmowanie ocen PWP przedstawiono w 2006 r. w odniesieniu do obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) (Bukowski i in., 2006). Kolejne propozycje dla stosowania uproszczonego sposobu oceny z uwagi na czynniki górnicze wskazali Góra i Szczepański (Góra, Szczepański, 2009; Góra, 2011). Próbę wskazania propozycji i koncepcji dla zgeneralizowania klasyfikacji obszarów z uwagi na podejmowanie ocen PWP na terenach górniczych podjęto w odniesieniu do obszaru GZW (Haładus i in., 2013) i górnictwa odkrywkowego (Niedbalska

i in., 2016, 2017; Niedbalska, 2017), taktując kopalnię, jako *influator* zanieczyszczeń. Wówczas zaproponowano podział obszarów poddawanych ocenie podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia na *geotypy podatności*. Geotypy podatności, wg autorów tego pojęcia (Haładus i in., 2013), z góry narzucają specyfikę i sposób procedowania w ocenie PWP na obszarach poddanych różnym czynnikiem decydującym, np. o zmianie warunków hydrogeologicznych.

Z uwagi na potrzebę jednoznacznego identyfikowania tego pojęcia z naukami o Ziemi, termin *geotyp* autorzy ostatecznie proponują zastąpić terminem *Geotyp obszarowy (GO) oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia*, związanymi z obszarami o braku wpływu lub obszarami poddawanymi oddziaływaniu kopalni, w zależności od fazy działalności górniczej.

Celem artykułu jest uporządkowanie podejścia do ocen PWP z uwagi na złożoność i intensywność wpływów działalności górniczej na wody podziemne, ich rodzaj i zakres oraz konsekwencje wystąpienia oddziaływania. A co za tym idzie także wskazanie kierunku preselekcji obszarów poddawanych ocenom PWP w doborze metod oceny oraz uporządkowanie terminologii w zależności od cech obszaru ocenianego.

PODATNOŚĆ WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIA Z UWZGLĘDNIENIEM OBSZARÓW DZIAŁALNOŚCI GÓRNICZEJ

Podatność jako cechę środowiska wodnego można rozpatrywać przy uwzględnieniu powiązań, jakie zachodzą między systemem wód podziemnych a obiektem stanowiącym zagrożenie dla wód podziemnych. Czynniki i obiekty, które wpływają na zagrożenie wód podziemnych można

¹ Główny Instytut Górnictwa, plac Gwarków 1, 40-166 Katowice; pbukowski@gig.eu

² Wydział Geologii, Uniwersytet Warszawski, ul. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; Ewa.Krogulec@uw.edu.pl

³ Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; aha@agh.edu.pl

określić jako czynniki *stresowe*, a ich ilościowy wpływ na wody podziemne wymaga kwantyfikacji lub ewaluacji, stosując odpowiednią metodę oceny PWP.

Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia, będąca elementem dokumentowania hydrogeologicznego oraz narzędziem w planowaniu przestrzennym oraz przewidywaniu skutków zanieczyszczenia warstwy wodonośnej, jest wykonywana z zastosowaniem wielu metod i procedur. Ich przegląd został przedstawiony w wielu publikacjach, m.in. przez Krogulec (2004, 2018) lub w *Metodyce i objaśnieniach do Mapy wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie w skali 1 : 500 000* (Duda i in., 2011). Metodyka oceny podatności uwzględnia elementy, parametry i dane, które charakteryzują warunki hydrogeologiczne oraz możliwość wystąpienia ryzyka zagrożenia wód podziemnych. W ocenach podatności naturalnej wód podziemnych na zanieczyszczenia powszechnie stosowane są metody rangowe, uwzględniające różnorodne cechy i parametry, którym w zależności od znaczenia przypisuje się odpowiednią rangę. Do metod rangowych należy procedura GPSRi (Holman, 1985), powszechnie stosowany DRASTIC – metoda zalecana przez amerykańską organizację EPA (Aller i in., 1987), GOD (Foster, 1987), DIVERSITY – metoda rekomendowana do oceny podatności szczelinowo-krasowych zbiorników wód podziemnych (Ray, O'dell, 1993), EPIK (Doerfliger i in., 1999) czy D-CITY – przeznaczona dla obszarów zurbanizowanych (Trzeciak, 2019). W metodach tych, stosowanych w regionalnych ocenach podatności, są uwzględniane cechy odnoszące się do warunków hydrogeologicznych i środowiskowych. Stanowią one o zdolności ochrony warstwy wodonośnej przed ryzykiem zanieczyszczeniem wód podziemnych oraz przed czynnikami ryzyka, do których intensyfikacji może się przyczynić działalność górnictwa. W obszarze działalności górniczej czynniki oddziaływania na środowisko, specyficzne i charakterystyczne dla określonej fazy rozwoju, stanowią rodzaj stresora, który należy uwzględnić w ocenie podatności. Na terenach górniczych GZW przedstawiono koncepcję klasyfikacji czynnika ryzyka, traktując kopalnię jako tzw. influator wpływów i zanieczyszczeń o szerokim pojęciu (Haładus i in., 2013). Kolejnym etapem badań jest analiza poszczególnych cech charakterystycznych i skutków prowadzenia działalności górniczej lub likwidacji kopalń w każdej z faz istnienia kopalni, czyli przypisanie szczególnej roli w ocenie PWP określonym cechom i czynnikom wpływu. Zatem cechy odnoszące się do charakterystyki warunków hydrogeologicznych i środowiskowych w obszarach, poza działalnością górniczą i w zasięgu wpływów tej działalności, można określić jako wyróżniki wcześniej dla *genotypów podatności* (Haładus i in., 2013), a obecnie dla proponowanego terminu i podziału obszarów poddawanych ocenie PWP na *geotypy obszarowe*. Termin ten z góry wskazuje na specyfikę i sposób procedowania w ocenie podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w tzw. typowych obszarach nie poddanych oddziaływaniu górnictwa i w obszarach poddanych zróżnicowanym jego wpływom.

KOPALNIA JAKO INFLUATOR ZANIECZYSZCZEŃ W OCENIE PODATNOŚCI WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIA

Kopalnia podziemna stanowi ognisko zanieczyszczeń (influator) dla wód podziemnych, potencjalnie powodujące zróżnicowany zasięg, charakter i złożoność możliwych oddziaływań zarówno w przestrzeni, jak i w czasie. W przypadku kopalni podziemnej jej oddziaływanie na warunki hydrogeologiczne pochodzi zarówno z powierzchni terenu, użytkowanego w różny sposób i poddawanego zróżnicowanym wpływom i deformacjom, jak i z samych wyrobisk kopalni czy zrobów poeksploatacyjnych. Głównymi czynnikami charakteryzującymi wpływ działalności kopalni na środowisko wodne są m.in.:

- odwadnianie i zrzut wód dołowych (drenaż górotworu i zmiany w obrębie strefy saturacji i aeracji, rozwój leja depresji, zmiany kierunków przepływu wody, zubożenie zasobów wody, zmiany jakości wód, zakłócenia w natężeniu przepływu i jakości wody w ciekach na powierzchni, procesy erozyjno-sedymentacyjne itp.);

- deformacje ciągłe i nieciągłe w górotworze i na powierzchni (destrukcja górotworu prowadząca do intensyfikacji drenażu i łączenia poziomów wodonośnych, ułatwienie infiltracji wód i migracji zanieczyszczeń, naruszenie warstw izolacyjnych po powierzchni terenu, ugięcie warstw i zmiany warunków przepływu, kierunków przepływu i gromadzenia się wód, zmiany położenia zwierciadła wody, zagęszczanie i rozluźnianie utworów warstw wodonośnych, zjawiska zapadliskowe itp.);

- drenaż górotworu (osuszenie warstw, wzmocnienie skał, obniżenie właściwości deformacyjnych, wzrost skłonności do tąpnięć i wstrząsów górotworu, co wpływa na zagęszczanie się utworów luźnych i zrobów poeksploatacyjnych, niszczenie wyrobisk i zmiany przepływu oraz gromadzenia się wód, destrukcja górotworu, stateczność wyrobisk, zjawiska zapadliskowe, wzrost zagrożeń metanowego i pyłowego oraz odwodnienie jako czynnik wzrostu zagrożenia pożarowego i zanieczyszczenia wód produktami wietrzenia mineralnego i produktami spalania w polach pożarowych itp.);

- procesy technologiczne (wprowadzanie mieszanin wodno-mineralnych, solanek i deponowanie mułów w wyrobiskach górniczych kopalni, jak również intensyfikacja odwadniania lub nawadniania górotworu w procesach prewencji przeciwwązrożeń itp.);

- zatapianie (oddziaływanie ilościowe i jakościowe zbiornika w kopalni na skały górotworu i wody otoczenia, ograniczanie retencji gruntowej, generowanie ruchów górotworu, reaktywacji zrobów i dalszych deformacji górotworu i zapadlisk, generowanie zagrożeń wodnych, wstrząsów o małej energii, zmian kierunków przepływu wody w warstwach otoczenia, zmianę właściwości górotworu itp.).

W zależności od różnych faz w rozwoju zakładu górniczego (kopalni = influatora) zmienia się rodzaj, zakres, intensywność, czas występowania i warunki występowania czynników wpływu w obrębie górotworu objętego zasięgiem oddziaływania górniczego. Zasadniczo w *cyklu życia* kopalni (jako influatora) można wyróżnić kilka wyraźnie różniących się okresów istnienia. Oddziaływanie influ-

atora w okresie ich trwania można także w różny sposób przedstawiać i klasyfikować z uwagi na czynniki hydrogeologiczne, geomechaniczne i górnicze zagrożenia naturalne (Bukowski i in., 2006, 2019; Mutke, Bukowski, 2011; Bukowski, Bukowska, 2012; RFCS Methenergy Plus, 2019). Dlatego autorzy artykułu także podjęli próbę przedstawienia ogólnej charakterystyki i klasyfikacji zagrożenia dla wód podziemnych o znaczeniu gospodarczym, na różnych etapach istnienia – (dla różnych faz istnienia) kopalni jako influatora. Wskazując główne czynniki takiej oceny (Bukowski, Bukowska, 2012; Bukowski i in., 2019) oraz czerpiąc z wcześniej prowadzonych badań (Wilk, 2003), przyjęto trzy fazy główne istnienia kopalni, w tym: fazę A – wczesną, fazę B – dojrzałą, oraz fazę C – schyłkową (likwidacyjną i polikwidacyjną).

W ramach każdej z wymienionych faz, choć trudno pomiędzy nimi zarysować ostre granice, można jednak wydzielić charakterystyczne stadia rozwojowe (Bukowski i in., 2019), co w odniesieniu do PWP starano się przedstawić na rycinie 1 i w tabeli 1. Zasadniczym założeniem było przyjęcie wielokierunkowości oraz interdyscyplinarności oceny uwarunkowań naturalnych i technicznych prowadzących do wymuszenia zmiany w podejściu do oceny zagrożenia dla wód podziemnych.

GEOTYPY OBSZAROWE OCENY PODATNOŚCI WÓD PODZIEMNYCH NA ZANIECZYSZCZENIA

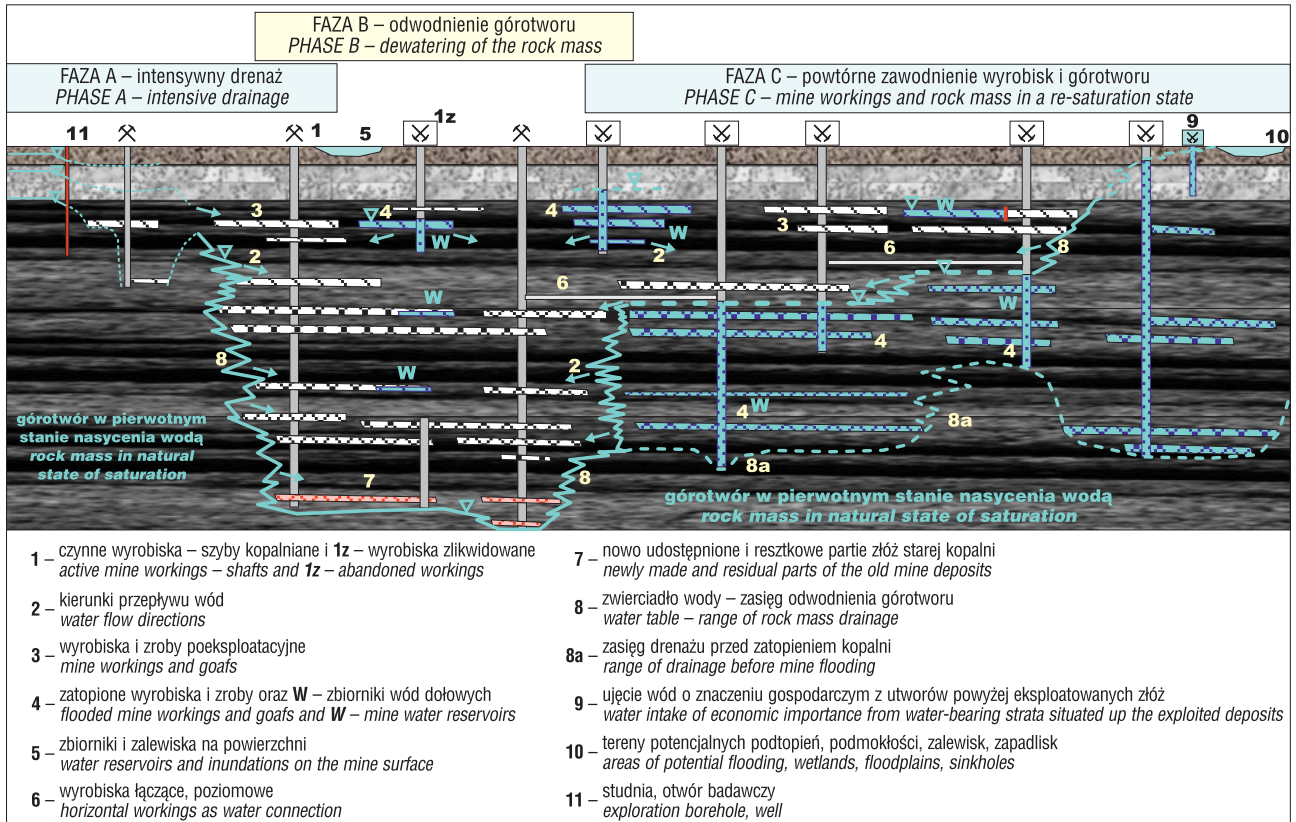
Klasyfikacja warunków hydrogeologicznych i środowiskowych na obszarach prowadzonej działalności górniczej,

w nawiązaniu do oddziaływania influatora, jakim jest kopalnia w określonej fazie lub stadium rozwoju, pozwala na wybór metodyki oceny PWP. Ze względu na cel klasyfikacji, delimitacje wspomnianych warunków nazwano *geotypem obszarowym* (poprzednio nazwanych *geotypami*; Haładus i in., 2013) podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia.

Zaproponowano trzy geotypy obszarowe (ryc. 2) podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w zależności od fazy i stadium rozwoju kopalni i etapu rozpoznania złoża.

Geotyp I (ryc. 2) charakteryzuje fazę A rozwoju kopalni. Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia jest przeprowadzana w nawiązaniu do naturalnych warunków hydrogeologicznych. Praktycznie można w tym czasie uznać, że nie ma oddziaływania górnictwa podziemnego. Geotyp I charakteryzuje obszary nie poddane deformacjom i wpływom górnictwa podziemnego lub w początkowym stadium ich ujawniania się.

Geotyp II (ryc. 2) dotyczy oceny PWP związanej z budową, rozbudową i funkcjonowaniem kopalni (od końca fazy A po końcową działalność górnictwem w fazie B – wg ryc. 1). W okresie budowy kopalni i jej rozwoju następują typowe wpływy prowadzonej działalności o zróżnicowanej intensywności spowodowane działalnością górnictwem. Czynniki stresujące powodują, że dla stadium rozbudowy działalności górnictwem zaczynają one być widoczne w końcowej części fazy A rozwoju kopalni i pogłębiania oraz poszerzania pierwotnie lokalnego i płytkiego leja depresji. Są to przede wszystkim przekształcenia powierzchni

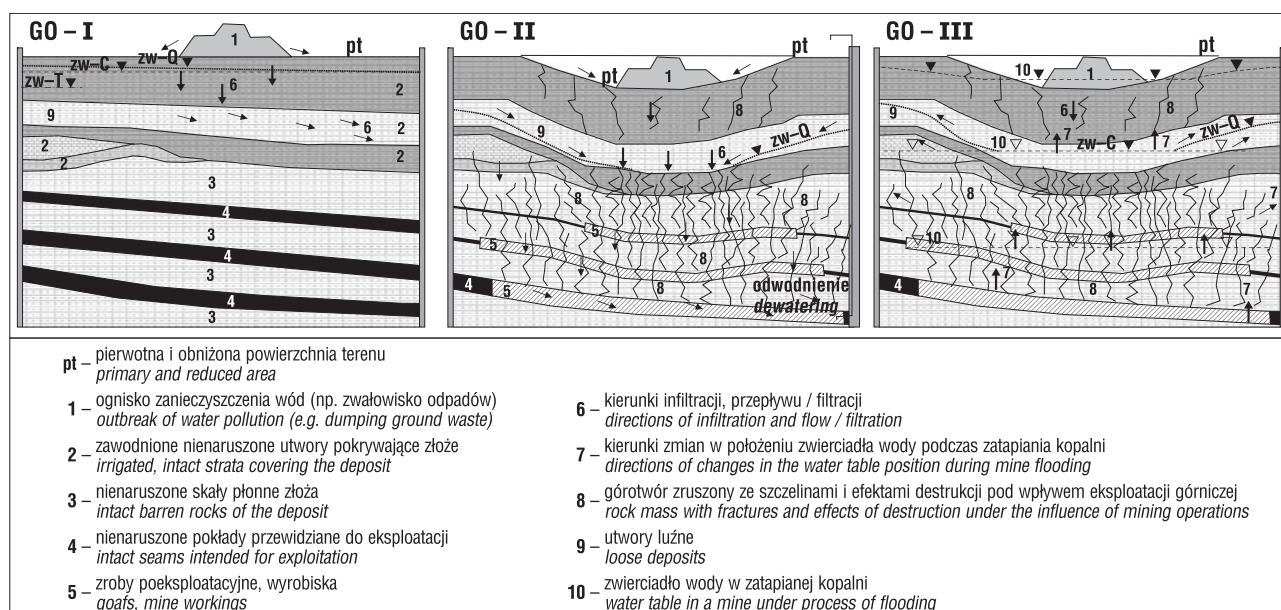


Ryc. 1. Fazy rozwoju działalności górniczej kopalni i jej wpływ na środowisko wód podziemnych w cyklu życia kopalni podziemnej (Bukowski, Bukowska, 2012, zmodyfikowany)

Fig. 1. Phases of mining activity development and its effects on the groundwater environment in the underground mine life cycle (Bukowski, Bukowska, 2012, modified)

Tab. 1. Możliwość oceny PWP w różnych fazach w cyklu życia kopalni (influatora PWP) – w nawiązaniu do treści Raportu projektu Methenergy Plus (2019) i Bukowskiego i in. (2019)**Table 1.** Possibility of assessing PWP at various stages in the mine life cycle (PWP influencer) – with reference to the content of the Methenergy Plus project report (2019) and Bukowski et al. (2019)

Fazy rozwoju kopalni – cechy główne <i>Mine development phases – main features</i>	Wpływ kopalni jako IPW w ocenie podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia i na stan zagrożenia wód podziemnych <i>The impact of the mine as an IPW in assessing the groundwater vulnerability to pollution and the risk state of groundwater</i>	Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia <i>The assessment of groundwater vulnerability to pollution</i>
<p>Faza A – wczesna: pomijalna do dużej, ingerencja w stan górotworu – dynamiczny rozwój zmian. Warunki pierwotne poddane silnej presji i zauważalnie zmienione w końcowym stadium</p>	<p>– stan górotworu – głównie pierwotny, nienaruszony; właściwości skał i górotworu oraz warstw wodonośnych niezmiennione; zagrożenia są związane ze słabym rozpoznaniem górotworu i wynikają z wykonywania prac wiertniczych dla lepszego udokumentowania złoża; w okresie przejściowym od fazy A do B, stan górotworu w sposób narastający, modyfikowany występowaniem i wpływem robót udostępniającymi, a w okresie końcowym wpływem eksploatacji górniczej do stanu naruszonego o znaczącym stopniu destrukcji;</p> <p>– <u>warunki hydrogeologiczne</u> – quasi-naturalne, brak wpływu ze strony kopalni lub niewielki, lokalny i okresowy wpływ robót rozpoznawczych; rozszerzający się w czasie drenaż kolejnych poziomów wodonośnych, lokalna i rozszerzająca się w miarę rozwoju leja depresji zmiana kierunków przepływu wody i zmiana ciśnień hydrostatycznych w warstwach wodonośnych; wzrost dopływu do wyrobisk z zasobów statycznych narastający w czasie, do pojawienia się dodatkowego dopływu wody z zasobów dynamicznych; następuje rozwój lokalnych lejów depresji z tendencją do ich łączenia w lej regionalny;</p> <p>– I poziom wodonośny – początkowo poddawany przeważającemu wpływowi różnych czynników, by w końcowym okresie fazy A uwidocznił się intensywny widoczny wzrost roli czynników charakterystycznych dla działalności górniczej</p>	<p>– początkowo możliwe do zastosowania standardowe metody oceny PWP,</p> <p>– w okresie końca fazy A – ocena PWP najczęściej odbiegająca od definicji podatności, konieczność uwzględnienia w ocenie podatności kopalni jako influatora</p>
<p>Faza B – dojrzała: eksploatacja górnicza rozwinięta, przechodząca do resztkowej, a następnie do eksploatacji końcowej i warunków przeobrażonych. Warunki silnie dynamicznie przeobrażane</p>	<p>– stan górotworu – poddawany intensywnym przeobrażeniom, silnie naruszony w związku z rozprzestrzenianiem się wyrobisk kopalni; właściwości skał i górotworu ulegają maksymalnym zmianom wynikającym z intensywnego rozwoju i nakładania się destrukcji górotworu występującej na różnych poziomach kopalni; właściwości skał ulegają silnym zmianom, stan zruszenia górotworu w końcowym okresie fazy zostaje ustalony, jako silnie naruszony z zanikającymi wpływami eksploatacji górniczej;</p> <p>– <u>warunki hydrogeologiczne</u> – poddane intensywnym zmianom, aż do całkowitego zdrenowania warstw wodonośnych w obrębie leja depresji;</p> <p>– rozszerzający się drenaż kolejnych poziomów wodonośnych;</p> <p>– istotny rozwój do ustalonych na maksymalnym poziomie zmian kierunków przepływu wody i ciśnień hydrostatycznych w poszczególnych badanych, lub udostępnianych warstwach wodonośnych;</p> <p>– intensywny wzrost dopływu wody do wyrobisk z zasobów statycznych (z ich zanikiem w końcu fazy) i zwiększający się do maksymalnych, udział dopływów z zasobów dynamicznych;</p> <p>– połączenie lokalnych lejów depresji w ramach leja regionalnego o maksymalnym zasięgu;</p> <p>– narastające skutki deformacji wywołanych eksploatacją górniczą na powierzchni, rozwój do największego, drenażu lub nadmiernego zawodnienia warstw nadkładu złoża i powierzchni;</p> <p>– maksymalne przekształcenie powierzchni terenu i sieci hydrograficznej;</p> <p>– I poziom wodonośny – poddawany intensywnemu, widocznemu wpływowi czynników specyficznych dla działalności górnictwa</p>	<p>– z postępem eksploatacji niemożliwe do zastosowania standardowe metody oceny, konieczne uwzględnienie czynników zmieniających wynik oceny,</p> <p>– ocena z końca fazy B warunkowo (poza obszarami końcowej eksploatacji górniczej), może być podstawą prognozowania PWP dla okresu fazy C – dojrzałej</p>
<p>Faza C) schyłkowa: przygotowanie do likwidacji, likwidacja i okres po zatopieniu kopalni. Warunki silnie przeobrażone. Brak ingerencji lub bardzo mała ingerencja bieżących robót górniczych, lecz o możliwych znaczących skutkach, aż po warunki skrajnie przeobrażone. Możliwość lub konieczność przywrócenia działań po zatopieniu kopalni</p>	<p>– stan górotworu – ustalony, bardzo silnie naruszony i przeobrażony z zanikającymi wpływami eksploatacji górniczej; zmienione właściwości skał modyfikowane i determinowane występowaniem trzech stref zawodnienia (Bukowski, 2010), silnie zależne od zmian warunków geomechanicznych, prowadzących do zmian właściwości hydrogeologicznych w zrobach i górotworze: powtórne nasycanie i wyraźne osłabienie skał wodą oraz zwiększenie ich odkształcalności po powtórnym nasyceniu wodą w procesie zatapiania kopalni, (Bukowski i in., 2019); stan saturacji po zatopieniu kopalni;</p> <p>– <u>warunki hydrogeologiczne</u> – ustalone, przeobrażone w ramach ukształtowanego leja depresji ze zmianą stanu zawodnienia wyrobisk i górotworu po zakończeniu drenażu wzajemnie połączonych poziomów wodonośnych;</p> <p>– natężenia dopływu, kierunki przepływu wody i ciśnienia hydrostatyczne w wodonoścu, na początkowym etapie likwidacji kopalni ustalone;</p> <p>– istotnie zmieniane w rejonach ograniczenia lub likwidacji odwadniania wyrobisk górniczych oraz znacząco zmienione kierunki przepływu wody i ciśnienia wody w wyrobiskach górniczych;</p> <p>– ustalony dopływ wody o tendencji malejącej;</p> <p>– początkowo ustalony zasięg drenażu (lokalnego lub regionalnego leja depresji) o tendencji malejącej w miarę zatapiania kopalni, wzrost powtórnego zawodnienia wyrobisk górniczych i górotworu;</p> <p>– po zatopieniu kopalni największy wpływ zbiornika na warstwy w otoczeniu kopalni, powrót do quasi statycznych warunków hydrodynamicznych;</p> <p>– ustanie pompowania lub ograniczenie pompowania do obszarów lokalnych;</p> <p>– ustalone silne przekształcenie powierzchni terenu i sieci hydrograficznej może wymagać naprawy stanu;</p> <p>– I poziom wodonośny – poddawany intensywnemu wpływowi czynników specyficznych dla likwidacji górnictwa (Bukowski i in., 2006)</p>	<p>– wykonanie oceny wymaga uwzględnienia czynników powodujących zmianę wyniku oceny w związku z prognozą przebiegu zatapiania kopalni,</p> <p>– ocena może być podstawą prognozowania podatności dla okresu polikwidacyjnego fazy C,</p> <p>– dla obszarów w zasięgu wypełnionego powtórną wodą leja depresji ocena wymaga uwzględnienia czynników wynikających z wpływów i przeobrażeń w granicach deformacji</p>



Ryc. 2. Geotypy obszarowe jako pierwszy etap selekcji w ocenie PWP i ocenie ryzyka dla zagrożenia wód podziemnych: Geotyp I (GO-I) – obszary poza wpływem górnictwa; Geotyp II (GO-II) – obszary pod wpływem działalności górniczej; Geotyp III (GO-III) – obszary pod wpływem likwidacji i zatapiania kopalń (wg Haładusa i in., 2013 ze zmianami)

Fig. 2. Area Geotypes as the first stage of selection in PWP assessment and risk assessment for groundwater threat: Geotype I (GO-I) – areas outside the influence of mining; Geotype II (GO-II) – areas under the influence of mining activity; Geotype III (GO-III) – areas affected by mine abandoning and flooding activities (acc. to Haładus et al., 2013 as amended)

terenu, zmiany zagospodarowania terenu i oddziaływanie na obiekty położone na powierzchni terenu kopalni. W fazie B (dojrzałej) w ocenach PWP należy uwzględnić wiele czynników zmiennych, zależnych od eksploatacji górniczej o różnej genezie, intensywności występowania i skutkach dla warunków wodnych, wymagających podjęcia analiz o charakterze multidyscyplinarnym. Wykonanie ocen podatności w fazie B działalności kopalni jest trudne do realizacji, a z uwagi na znaczną dynamikę rozwoju wpływów nie ma cech trwałych.

Geotyp III (ryc. 2) dotyczy podatności wód podziemnych z uwzględnieniem oddziaływań zachodzących w kopalni po jej likwidacji. Likwidacja wyrobisk górniczych i całej kopalni odbywa się najczęściej poprzez samozatopienie jej wyrobisk górniczych wodami pochodzącymi z dopływu naturalnego rzadziej dopływem dodatkowym. Prowadzi to do zmiany warunków wodnych w górotworze i na powierzchni terenu. W wyniku zatopienia kopalni następuje podniesienie zwierciadła wód podziemnych i re-saturacja górotworu, zanieczyszczenie wód podziemnych i powierzchniowych, naruszenie ciągłości warstw, dochodzi do zmian w zawadnieniu warstw przypowierzchniowych i na powierzchni terenu (mogą powstawać zalewiska, podtopienia terenu i mokradła) oraz warunków zasilania w wodę górotworu i migracji zanieczyszczeń. W wyniku nasycenia górotworu wodą następują zmiany właściwości geomechanicznych i hydrogeologicznych skał serii złożowej i w utworach nadkładu złoża. Możliwe jest pogarszanie się jakości wód stagnujących w wyrobiskach górniczych i ich stanu bakteriologicznego. Ważne znaczenie ma ocena PWP na etapie likwidacji i po likwidacji kopalni. Wykonanie ocen podatności, zwłaszcza dla okresu po zatopieniu kopalni i ustaleniu się warunków quasi-równowagi hydrodynamicznej, również będzie miało istotne znaczenie dla ocenianego obszaru w okresie wieloletnia. Wykonana w tym czasie ocena podatności oraz zagrożenia wód podziem-

nych pozwoli na ocenę ryzyka ewentualnych przedsięwzięć na powierzchni terenu, planowanych na bazie byłej kopalni i w obrębie zbiornika wodnego utworzonego w jej wyrobiskach górniczych, w zasięgu leja depresji.

PODATNOŚĆ WÓD PODZIEMNYCH JAKO ELEMENT DOKUMENTOWANIA HYDROGEOLOGICZNEGO W WARUNKACH DZIAŁALNOŚCI GÓRNICZEJ W POLSCE

Dokumentowanie warunków hydrogeologicznych w Polsce jest regulowane przepisami *Prawa geologicznego i górniczego* (Ustawa, 2011), a zakres i sposób sporządzania dokumentacji hydrogeologicznych dla czynnych i zlikwidowanych zakładów górniczych jest określony w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dn. 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej (Rozporządzenie, 2016). Sposób udokumentowania warunków hydrogeologicznych w przypadku obiektów górniczych (kopalń podziemnych i odkrywkowych) regulują § 9 i 17 tego rozporządzenia. W § 9 (dla kopalń czynnych, w tym podziemnych) nie jest wymagane sporządzanie ocen PWP, pomimo że oceny te są ściśle związane z kształtowaniem się warunków hydrogeologicznych.

Kopalń czynnych może i powinna dotyczyć ocena podatności wykonywana we wczesnej fazie działalności, najlepiej w początkowym etapie fazy A, potwierdzają to informacje z charakterystyką kopalni przedstawione w tabeli 1. To wówczas jest sens wykonania takiej oceny, jako oceny stanu początkowego i porównawczego, przed wejściem z eksploatacją górniczą. Dotyczy to zarówno oceny stanu warunków hydrogeologicznych, jak i prognozy tego stanu na przyszłe lata eksploatacji górniczej. Ocena taka może być pomocna w określaniu zakresu i ustalaniu odpowiedzialności za szkody typu hydrogeologicznego

wywołane ruchem zakładu górniczego, co może być korzystne zarówno dla przyszłych poszkodowanych, jak i dla nowo budowanego zakładu górniczego. Zdaniem autorów takie wymagania można zamieścić w odniesieniu do treści opiniowanej przez Komisję Dokumentacji Hydrogeologicznych (KDH) i zatwierdzonej przez ministra klimatu dokumentacji hydrogeologicznej zakładów starających się o koncesję na rozpoznanie i eksploatację złóż dotychczas nieeksploatowanych. O takie rozwiązanie autorzy postulowali już w latach ubiegłych (Haładus i in., 2013).

Innym przypadkiem są kopalnie w stanie likwidacji i po likwidacji. Ten typ dokumentacji hydrogeologicznej (Rozporządzenie, 2016, § 17) jest zatwierdzany bez opinii przez marszałka województwa. W wymaganiach dla sporządzania także tej dokumentacji nie zawarto żadnych zaleceń dotyczących wykonywania ocen PWP. W przypadku dokumentacji do celów likwidacji kopalni ocena taka mogłaby być sporządzana wraz z dokumentacją hydrogeologiczną (np. jako odrębny załącznik dokumentacji) na początku likwidacji kopalni, co jak wskazano we wcześniejszym rozdziale, nie byłoby jednak korzystne z uwagi na dopiero przewidywane daleko idące zmiany, które mogą wystąpić w związku z zatopieniem likwidowanej kopalni.

Z uwagi na duże znaczenie tego typu opracowania dla gospodarzy terenów pokopalnianych, powinno ono być wykonane jako odrębna dokumentacja hydrogeologiczna (polikwidacyjna?). Głównym celem jej opracowania byłoby dokonanie oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia już na etapie końcowego stadium zatapiania kopalni, lub po zatopieniu kopalni poddanej całkowitej likwidacji. Dokumentacja taka oprócz oceny istniejącego stanu warunków hydrogeologicznych i zagrożeń, zwłaszcza górniczych i powszechnych, np. zapadliskowych i podtopieniami powierzchni terenu (Ignacy, 2019b), powinna obejmować prognozę skutków zatopienia kopalni dla wód podziemnych i powierzchniowych. Prognoza taka powinna być sporządzana wraz z oceną potencjału gospodarczego terenów pokopalnianych (Ignacy, 2018, 2019a) oraz wód gromadzonych w kopalni i możliwości ich wykorzystania (np. geotermalnego, innego energetycznego, przemysłowego itp.). Taki zakres prac, uwzględniający zróżnicowane konsekwencje hydrologiczne, hydrogeologiczne, geomechaniczne i geotechniczne długoterminowego zatopienia kopalni, w przekonaniu autorów wymaga opracowania odrębnego typu dokumentacji hydrogeologicznej o profilu i wymaganiach przeznaczonych dla wyodrębnionego typu dokumentacji PWP dla zlikwidowanego zakładu górniczego. Dokumentacja taka mogłaby stanowić podstawę bezpiecznego planowania przestrzennego na terenie pogórnym i gospodarowania zbiornikiem wodnym lub podejmowania decyzji o ochronie powierzchni, np. poprzez ponowne podjęcie pompowania wód. Według autorów taka dokumentacja powinna być opiniowana przez KDH po rekomendacji właściwego lokalnego organu administracji geologicznej, a następnie zatwierdzana przez urząd marszałkowski lub/i ministra klimatu, lub środowiska.

Podobnie jak w latach ubiegłych, choć nadal nie ma jednoznacznych przepisów i wymagań dla sporządzenia dokumentacji hydrogeologicznej ustalającej warunki hydrogeologiczne i stan zagrożenia wód podziemnych przez ustalenie PWP, obecnie również dostrzega się potrzebę opracowywania takiego typu dokumentacji. Ponieważ

wskazanie do wykonania takiej dokumentacji wymagałoby obecnie przejścia żmudnej i długotrwałej ścieżki legislacyjnej, to w ramach istniejących zaleceń zawartych w § 17 Rozporządzenia Ministra Środowiska z dn. 18 listopada 2016 r. proponuje się przynajmniej doraźne skorzystanie z możliwości zalecania przedsiębiorcom górniczym (podmiotowi likwidowanemu, lub prowadzącemu, lub nadzorującemu likwidację kopalni), dodatkowych czynności dla przeprowadzenia oceny PWP. Ich wykonanie mogłoby być realizowane w sposób uproszczony, z wykorzystaniem istniejących sposobów oceny i wnioskowania (wg Bukowskiego i in., 2006; Góry, Szczepańskiego, 2009; Góry, 2011; Ignacego, 2018, 2019a, b).

PODSUMOWANIE

Wielokierunkowość i duży stopień przeobrażenia środowiska przyrodniczego na skutek działalności górniczej, złożoność zachodzących procesów i zjawisk oraz zmienność ich w czasie i przestrzeni wymaga nowych zasad i sposobu podejścia do sporządzania ocen PWP. Wpływ eksploatacji górniczej na warunki hydrogeologiczne w obrębie górotworu pochodzi zarówno z kopalni podziemnej, która stanowi ognisko zanieczyszczeń (influator PWP) o zróżnicowanym zasięgu, charakterze i złożoności możliwych oddziaływań, jak i z powierzchni terenu, przekształconej przez wpływ eksploatacji górniczej. Oddziaływanie zrobów i wyrobisk kopalni oraz negatywne skutki dla środowiska wodnego mogą się utrzymywać nawet kilkaset lat.

Prawidłowe wykonanie oceny PWP na terenach górniczych to złożony proces z uwagi na wielość, zróżnicowanie i zmienność czynników oddziaływujących na wody podziemne i powierzchniowe. Konieczne stało się więc rozróżnienie obszarów poddanych zwykłej lub typowej antropopresji (Geotyp Obszarowy I) od obszarów górniczych (Geotyp Obszarowy II) i pogórnich (Geotyp Obszarowy III). Oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenie powinny być wykonywane dla różnych etapów istnienia i likwidacji kopalni oraz obejmować wszystkie użytkowe poziomy wodonośne, przy wykorzystaniu możliwie najmniej skomplikowanych metod oceny, ale obecnie istniejących lub zmodyfikowanych dostosowanych do przekształconych przez działalność górnictwa warunków hydrogeologicznych. Konieczność ich wykonywania powinna być uregulowana stosownymi przepisami prawa.

Proponowany w pracy sposób podejścia do oceny PWP może zaowocować zastosowaniem wielu proekologicznych rozwiązań w kopalniach podziemnych. Powinno to prowadzić do ograniczenia negatywnych dla środowiska skutków działalności górniczej oraz zmniejszyć koszty ich naprawy na każdym etapie funkcjonowania kopalni i po jej likwidacji. Ponadto rezultaty wykonanych prac umożliwią m. in. ocenę wpływu zanieczyszczeń na zmiany ilości i jakości zasobów wód podziemnych, co stworzy właściwe podstawy do racjonalnej gospodarki wodnej na terenach objętych działalnością górnictwa.

Autorzy artykułu dziękują Recenzentom za wniesienie cennych i konstruktywnych uwag do treści artykułu i dyskusji nad oceną podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia.

LITERATURA

- ALLER L., BENNETT T., LEHR J.H., PETTY R.J., HACKETT G. 1987 – DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeological settings. EPA Reports, 600/2-87-035, Washington, DC.
- BUKOWSKI P. 2010 – Prognozowanie zagrożenia wodnego związanego z zatapianiem wyrobisk górniczych kopalń węgla kamiennego. Pr. Nauk. GIG, Studia, Rozprawy, Monografie, 882.
- BUKOWSKI P., BROMEK T., AUGUSTYNIAK I. 2006 – Using the DRASTIC System to Assess the Vulnerability of Ground Water to Pollution in Mined Areas of the Upper Silesian Coal Basin. *Mine Water Environ.*, 25: 15–22.
- BUKOWSKI P., BUKOWSKA M. 2012 – Changes of some of mechanical properties of rock and rock mass in condition of mining exploitation and mine workings flooding. *J. Min. Geoengineer.*, 36 (1): 57–67.
- BUKOWSKI P., BUKOWSKA M., RAPANTOVA N., HEMZA P., NIEDBALSKA K. 2019 – Secondary Water Saturation of a Carboniferous Rock Mass In a Abandoned Mines as the Cause Behind the Canges In Geomechanical Conditions and State of Hazards In Active Mines of the Upper Silesian Coal Basin. IMWA Conference – Mine Water Technological and Ecological Challenges. July 15–19, Perm, Russia: 3–9.
- DOERFLIGER N., JEANNIN P.Y., ZWAHLEN F. 1999 – Water vulnerability assessment in karst environments: A new method of defining protection areas using a multi- attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environ. Geol.*, 39 (2): 165–176.
- DUDA R., WITCZAK S., ŻUREK A. 2011 – Metodyka i objaśnienia do Mapy wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie w skali 1 : 500 000. Kraków.
- FOSTER S. 1987 – Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. [W:] Duijvenboden W., Waegeningh H.G. (red.), *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants*. TNO Commission on Hydro Res. Proc. and Inform., Hague: 38: 69–86.
- GÓRA S. 2011 – Zasięg zruszenia górotworu jako element propozycji sposobu oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w związku z zatapianiem zlikwidowanej kopalni na przykładzie byłej KWK Grodziec. *Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnicztwie*, 4 (200): 16–22.
- GÓRA S., SZCZEPAŃSKI A. 2009 – Możliwość zastosowania wybranych metod oceny podatności na zmiany w środowisku gruntowo-wodnym w północno-wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, 436, *Współczesne Problemy Hydrogeologii*, 115–119.
- HAŁADUS A., BUKOWSKI P., KROGULEC E. 2013 – Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w obszarze GZW. *Prz. Gór.*, 1: 51–56.
- HOLMAN D. 1985 – Groundwater Potential Pollution Risk Assessment Index [W:] Zaporozec A. (red.), *Groundwater Protection Principles and Alternatives for Rock County, Wisconsin*. Wisconsin Geol. and Nat. History Survey Spec. Rep., 8, Madison.
- IGNACY D. 2018 – Zarządzanie zawodnieniami terenów górniczych w procesie planowania przestrzennego gmin górniczych. *Gosp. Wodna*, 11: 341–345.
- IGNACY D. 2019a – Zarządzanie zawodnieniami terenów górniczych w procesie napraw szkód górniczych; *Gosp. Wodna*, 4: 7–12.
- IGNACY D. 2019b – Relative elevations of the surface of artificially drained mine subsidence areas as significant aspects in formulating environmental policy. *J. Hydrolog.*, 575: 1087–1098; doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.091
- KROGULEC E. 2004 – Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia w dolinie rzecznej na podstawie przesłanek hydrodynamicznych. Wyd. UW.
- KROGULEC E. 2018 – Evaluating the risk of groundwater drought in groundwater-dependent ecosystems in the central part of the Vistula River Valley, Poland. *Ecohydrolog., Hydrobiol.*, 18: 82–91; https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2017.11.003
- METHENERGY PLUS Project Raports, Grant Agreement 754077. Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel. Summary report on the indicating the principles of the assessment of changes in the conditions for the collection and flow of methane and water in mining excavations – Deliverable D1.3. September 2019.
- MUTKE G., BUKOWSKI P. 2011 – Diagnosis of some hazards associated closing of mines in Upper Silesia Coal Basin. 11th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2011, Albena, Bulgaria. Conference Proceedings, 1: 429–436.
- NIEDBALSKA K. 2017 – Ocena podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia na obszarze podziemnego gromadzenia odpadów wydobywczych. [W:] Bukowski P. i in. (red.), *Hydrogeologia w praktyce – praktyka w hydrogeologii*. Wyd. GIG, Katowice: 219–229.
- NIEDBALSKA K., BUKOWSKI P., AUGUSTYNIAK I., KUBICA J., KURA K. 2016 – Assessment of groundwater vulnerability to pollution in the regions of sublevel mine waste dump using standard methods. 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, Albena, Bulgaria. Conference Proceedings, vol. 1. Sci. Techno. Geol., Explor. Min., 1: 699–706.
- NIEDBALSKA K., BUKOWSKI P., HAŁADUS A. 2017 – Groundwater vulnerability to pollution in areas of sublevel post-mining waste deposition. 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, Albena, Bulgaria. Conference Proceedings, vol. 17. Sci. Techno. Geol., Explor. Min., 12: 413–420.
- RAY J.A., O'DELL P.W. 1993 – DIVERSITY. A new method for evaluating sensitivity of groundwater to contamination. *Environ. Geol.*, 22: 345–352.
- ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej. Dz.U. z 2016 r. poz 2033.
- TRZECIAK J. 2019 – Metodyka oceny podatności wód podziemnych na zanieczyszczenia na terenach zurbanizowanych na przykładzie dzielnicy Bielany (Warszawa). Rozprawa doktorska (manuskrypt). Arch. WG UW.
- USTAWA z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. z 2011 r. nr 163 poz. 981, ze zmianami.
- WILK Z. (red.) 2003 – Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa. Część 1. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków.