

UWARUNKOWANIA HYDROGEOLOGICZNE WYDOBYCIA KOPALIN W KOPALNIACH ODKRYWKOWYCH WĘGLA BRUNATNEGO

HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF MINERAL RESOURCES EXTRACTION IN OPEN PIT MINES

Jacek Szczepiński - „Poltegor-Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

Właściwe rozpoznanie warunków hydrogeologicznych złoża oraz wszystkich czynników wpływających na wielkość dopływu wód do systemu odwodnienia kopalni jest niezbędne dla oceny przyszłego funkcjonowania kopalni odkrywkowych. Warunki wodne złóż eksploatowanych metodą odkrywkową są zdeterminowane siecią hydrograficzną, zasilaniem wód podziemnych z opadów atmosferycznych oraz zawodnieniem górotworu, rozumianym jako stosunki hydrogeologiczne w jego obrębie. W ocenie natężenia dopływu do kopalni odkrywkowych największe znaczenie mają układ hydrostrukturalny oraz warunki zasilania wód podziemnych. W warunkach działalności wydobywczej uruchamiają się dodatkowe zasoby wód podziemnych pochodzące ze wzrostu infiltracji efektywnej w obszarze obniżonego zwierciadła wody oraz z zasilania sztucznego związanego z funkcjonowaniem kompleksu energetyczno-górniczego.

Słowa kluczowe: kopalnie odkrywkowe, wody kopalniane, zasoby wodne

The proper identification of the hydrogeological conditions of the deposit and all the factors influencing the mine water inflow is crucial for assessing the future mining activities in a open-pit mine. The water conditions of a deposit are determined by the hydrology, the groundwater recharge from precipitation and hydrogeological conditions. In view of the intensity of the mine water inflow to the open-pit, the hydrostructural system and the conditions for ground water supply are most important. Nevertheless, in extraction activities, additional groundwater resources may be activated from the increase of effective infiltration in the area of the lowered water table, and the artificial supply associated with the operation of the power and mining complex.

Keywords: open pits mines, groundwater

WSTĘP

Hydrogeologia górnicza stanowi jeden z kluczowych obszarów badań związanych z eksploatacją surowców mineralnych, a wody podziemne odgrywają ważną rolę w większości polskich kopalni eksploatujących złoża metodą odkrywkową. Problematyka wodna, zarówno w aspekcie ilościowym, jak i jakościowym, decyduje niekiedy o celowości i możliwości uruchomienia kopalni, a w późniejszym okresie o jej funkcjonowaniu. W ocenie kosztów wydobycia surowców mają znaczenie zarówno natężenie dopływu wód i związana z tym technologia odwadniania, jak i wpływ odwadniania na środowisko. Określone są one dla wszystkich etapów funkcjonowania kopalni, tj. rozpoznania i udostępniania złoża, eksploatacji złoża oraz jego rekultywacji i zagospodarowania wodnego [14].

Właściwe rozpoznanie warunków hydrogeologicznych

złoża oraz wszystkich innych czynników jest niezbędne dla oceny zawodnienia kopalni odkrywkowych, które według Słownika Hydrogeologicznego oznacza natężenie sumarycznego naturalnego dopływu wody do kopalni [4]. Jest ono rezultatem współdziałania czynników przyrodniczych oraz górnictwo-technologicznych [15].

Do czynników przyrodniczych, niezależnych od człowieka należą:

- środowisko fizyczno-geograficzne, w tym: klimat, ukształtowanie powierzchni terenu, stosunki wodne na powierzchni i sposób zagospodarowania terenu,
- czynniki geologiczno-złożowe, takie jak budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne.

Do czynników górnictwo-technologicznych, zależnych w pewnym stopniu od człowieka, zalicza się:

- sposób eksploatacji złoża (podziemny, odkrywkowy),
- metodę odwadniania złoża (studniami, gómiczą, otwartą),
- postępek i głębokość eksploatacji.

WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE ZŁOŻA I JEGO OTOCZENIA

Warunki wodne złóż eksploatowanych metodą odkrywkową są zdeterminowane siecią hydrograficzną na powierzchni terenu, zasilaniem wód podziemnych z opadów atmosferycznych oraz zawodnieniem górotworu rozumianym jako stosunki hydrogeologiczne w jego obrębie. W ocenie natężenia dopływu do kopalni odkrywkowych ma znaczenie układ hydrostrukturalny oraz warunki zasilania wód podziemnych. Ogólnie stwierdza się, że jeśli w górotworze występują horyzonty wodonośne o słabym zasilaniu, to dopływy z nich są stosunkowo niewielkie, niekiedy względnie duże tylko w początkowym okresie działania kopalni. Jeżeli kontakty z wodami powierzchniowymi są dobrze rozwinięte lub brak jest osłony przed infiltrującymi w górotwór wodami opadowymi, wówczas dopływy bywają trwale duże [1].

Identyfikacja systemów wodonośnych

W celu rozpoznania warunków hydrogeologicznych złoża oraz jego otoczenia konieczna jest identyfikacja systemów wodonośnych, które podlegają oddziaływaniu wymuszeń związanych z odwadnianiem złoża. Identyfikacja systemów wodonośnych w rejonie złoża obejmuje określenie [3]:

- struktur hydrogeologicznych związanych z występowaniem złoża oraz z obszarem potencjalnego wpływu odwadniania, w tym charakteru warstw skalnych, sposobu ich zalegania i rozprzestrzenienia,
- przestrzennego układu strumieni wód podziemnych oraz parametrów hydrogeologicznych utworów skalnych,
- składu chemicznego i właściwości fizyczno-chemicznych wód podziemnych oraz rozkładu temperatur,
- powierzchni brzegowych konturujących system wodonośny w przestrzeni, określających relacje pomiędzy wodami występującymi w systemie i w jego otoczeniu.

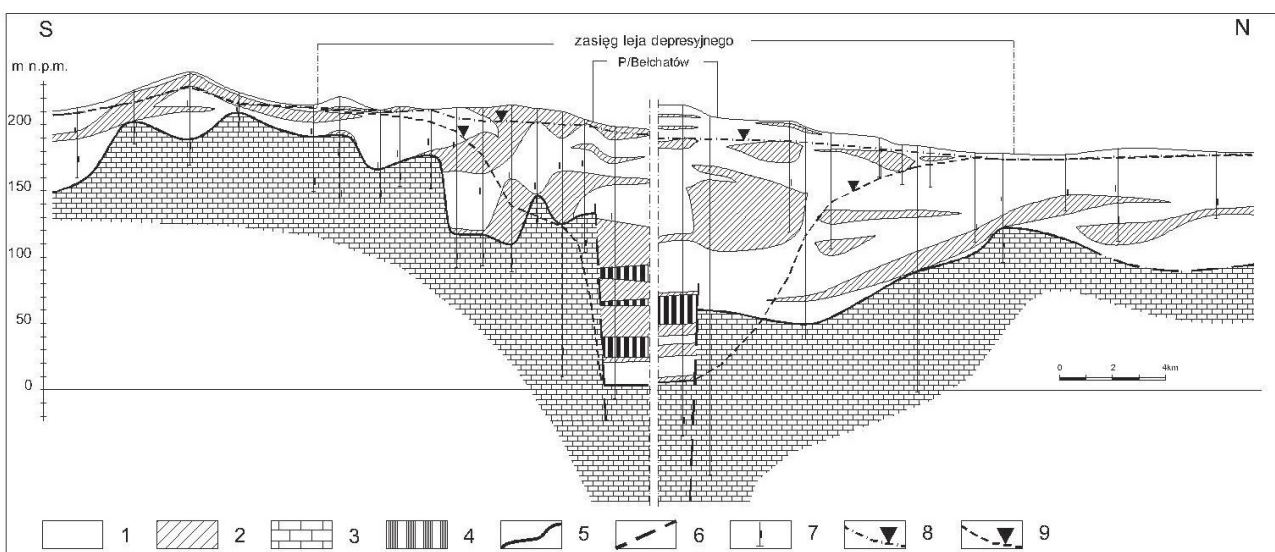
Z punktu widzenia systemów wodonośnych zasadnicze znaczenie w odwodnieniu mają:

- kompleks wodonośny w nadkładzie złoża, najczęściej czwartorzędowo-neogeński, o warunkach swobodno-naporowych i płytkim systemie krążenia wód podziemnych,
- kompleks wodonośny podłożowy, o warunkach naporowych, w którym główną rolę odgrywają często szczelinowe utwory skał podłoża uczestniczące w regionalnym systemie krążenia wód (rys. 1).

Są one zazwyczaj rozdzielone miększym i ciągłym pakietem utworów słabo przepuszczalnych, co w praktyce przekłada się na odrębność zasilania, przepływu i drenażu wód. W przypadku dobrze rozwiniętych kontaktów hydraulicznych pomiędzy kompleksami wodonośnymi może występować jeden wspólny poziom wodonośny (rys. 1). Wyczerpujące informacje dotyczące struktur hydrogeologicznych związanych z występowaniem złóż, obszarem potencjalnego wpływu ich odwadniania, charakterem warstw skalnych, ich zaleganiem i rozprzestrzenieniem oraz zawodnieniem przedstawione zostały w opracowaniu pod redakcją Z. Wilka [15].

Warunki przepływu wód podziemnych

Poziomy wodonośny w kompleksie nadkładowym są zasilane głównie z infiltracji opadów atmosferycznych oraz przez wody powierzchniowe. Poziomy wodonośny w kompleksie podłożowym są zasilane na drodze przesiąkania wód przez warstwy półprzepuszczalne z sąsiednich poziomów wodonośnych, bezpośrednich kontaktów hydraulicznych z poziomami wyżej ległymi oraz z infiltracji efektywnej w obszarze wychodni utworów podłożowych. Drenaż wód podziemnych odbywa się przez system odwadniania kopalni, ujęcia wód podziemnych oraz wody powierzchniowe biorące udział w regionalnym systemie krążenia wód.



Rys. 1. Przekrój hydrogeologiczny S-N przez lej depresyjny kopalni węgla brunatnego „Belchatów” [13]. Objaśnienia: 1 – utwory porowate, przepuszczalne, 2 – utwory nieprzepuszczalne i półprzepuszczalne, 3 – utwory szczelinowo – krasowe, 4 – węgiel brunatny, 5 – granica między utworami kenozoicznymi i mezozoicznymi, 6 – uskoki, 7 – piezometry i otwory badawcze, 8 – pierwotne zwierciadło wód podziemnych, 9 – obniżone zwierciadło wody – stan na 2004 r.

Fig. 1. Hydrogeological cross section through the „Belchatów” lignite mine cone of depression. Legend: 1 – porous, permeable formations, 2 - impermeable and slightly permeable formations, 3 – fissured- karstic formations, 4 – lignite, 5 – boundary between Quaternary and Mesozoic formations, 6 – faults, 7 – piezometers and observation wells, 8 – premining water level, 9 – ground water level in mining conditions (2004).

W warunkach wymuszeń związanych z głębokim obniżeniem pierwotnego zwierciadła wody możliwe jest uruchomienie nowych dróg przepływu i kontaktów hydraulicznych, mogących obejmować również sąsiednie systemy krążenia wód podziemnych. Na przykład konieczność obniżenia zwierciadła wody w utworach kredowo-jurajskich wymaga najczęściej budowy studni niedogłębionych. Ujmują one wówczas przeważnie górny fragment wodonośca szczelinowo-krasowego i mogą być dodatkowo zasilane wodami pochodzącymi z głębszego systemu krążenia, w warunkach przepływu pionowego przez szczeliny, kawerny i strefy nieciągłości [10]. Zazwyczaj skład chemiczny i temperatura tych wód różni się znacząco w stosunku do wód ujmowanych z górnej części wodonośca.

Właściwa identyfikacja występowania uprzywilejowanych dróg przepływu, zjawisk krasowych oraz roli uskoków, umożliwi trafne oszacowanie natężenia dopływu do systemu odwadniania oraz efektywne ujęcie wód studniami odwodnieniowymi, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia kosztów odwodnienia. W przypadku występowania uprzywilejowanych dróg przepływu, należy oczekiwać większego natężenia dopływu do kopalń oraz większego zasięgu leja depresji. Z kolei naturalne bariery hydrauliczne, na przykład uskoki wypełnione materiałem nieprzepuszczalnym lub utwory skalne o znacznie gorszej przepuszczalności od sąsiednich, przyczyniają się do zmniejszenia dopływu oraz ograniczenia niekorzystnego wpływu odwadniania na środowisko.

Parametry hydrogeologiczne utworów skalnych

Parametrem hydrogeologicznym decydującym o natężeniu dopływu wód do kopalni i zasięgu leja depresji jest wodoprzewodność poziomów wodonośnych, zdeterminowana wielkością porów albo szczelin i ich gęstością. Należy podkreślić, że w warunkach systemu wodonośnego poddanego intensywnemu drenażowi górnictwu, rośnie znaczenie właściwego określenia anizotropowości utworów skalnych oraz współczynnika filtracji pionowej w warstwach wodonośnych oraz półprzepuszczalnych. Ma to szczególne znaczenie w warunkach, gdy dla udostępnienia i eksploatacji złoża konieczne jest obniżenie zwierciadła wody w warstwach naporowych. Wówczas przesiąkanie wód z warstw nadległych i warstw podległych może stanowić istotny element zasilania. O wielkości dopływu wód do systemu odwadniania decydują również współczynnik odsączalności grawitacyjnej oraz współczynnik odsączalności sprężystej.

ZASILANIE WARSTW WODONOŚNYCH W WARUNKACH NATURALNYCH

Głównymi źródłami zasilania kształtującymi dopływ wód do warstw wodonośnych są:

- zasilanie warstw wodonośnych z opadów atmosferycznych,
- zasilanie warstw wodonośnych z wód powierzchniowych,
- przesiąkanie wód przez utwory półprzepuszczalne z warstw nadległych lub podległych,
- zasilanie horyzontalne oraz pionowe z sąsiednich systemów wodonośnych.

Infiltracja opadów atmosferycznych do warstw wodonośnych

O wielkości zasilania warstw wodonośnych z opadów atmosferycznych decydują wysokość i natężenie opadów atmosferycznych oraz wskaźnik infiltracji efektywnej, czyli stosunek ilości infiltrującej wody docierającej do strefy saturacji do wysokości średnich rocznych opadów atmosferycznych na określonym obszarze. Poza uwarunkowaniami klimatycznymi największe znaczenie dla zasilania wód podziemnych mają: przepuszczalność nadkładu, morfologia terenu, pokrycie szatą roślinną, głębokość do zwierciadła wody oraz działalność człowieka [6,12]. Do elementów obniżających infiltrację efektywną należą: spływ powierzchniowy, parowanie z powierzchni terenu i strefy aeracji oraz ewapotranspiracja.

Na wielkość infiltracji wód opadowych do strefy saturacji wpływa budowa geologiczna warstwy przypowierzchniowej i przepuszczalność utworów geologicznych zalegających w strefie aeracji. W warunkach naturalnych wartość wskaźnika infiltracji szacowana w zależności od utworów powierzchniowych wynosi od kilku procent przy występowaniu na powierzchni ilów lub tłustych glin do 30% dla żwirów i piasków fluwioglacjalnych; w Polsce średnio waha się w granicach od 16 do 25% [8].

Ukształtowanie powierzchni terenu wpływa zarówno na natężenie dopływu wód tak powierzchniowych jak i podziemnych do kopalni odkrywkowej. W przypadku występowania powierzchni nachylonych infiltracja efektywna odgrywa rolę znacznie mniejszą aniżeli w warunkach obszaru płaskiego, ze względu na dominującą rolę spływu powierzchniowego. Zadanie odwodnienia odkrywki spoczywa wówczas przede wszystkim na systemie odwodnienia powierzchniowego. W przypadku, gdy w rejonie złoża powierzchnia jest płaska lub obniżona w stosunku do otoczenia, a przypowierzchniowy horyzont wodonośny jest odsłonięty i związany hydraulicznie z horyzontami niżejleżącymi wówczas górotwór jest znacznie silniej zawodniony, a odwodnienie górotworu wymaga środków odwodnienia podziemnego.

Typ i zagęszczenie roślinności pokrywającej powierzchnię terenu decydują o wielkości ewapotranspiracji. Jest ona zmienna w ciągu roku i zależy od pór roku i okresu wegetacyjnego roślin. Charakter roślinności i rodzaju gruntów wpływa również na zasięg podnoszenia kapilarnego, które waha się od około 3 m w gruntach piaszczystych do około 6 m w gruntach pylistych [11]. Generalnie, w klimacie umiarkowanym większe zasilanie efektywne obserwuje się w obszarach, na których zwierciadło wód podziemnych zalega poniżej strefy ewapotranspiracji. Na podstawie doświadczeń stwierdzono, że przy miąższościach strefy aeracji większej niż 3-4 m zanikają procesy parowania z gruntu, a przy przekroczeniu 8-15 m również straty wód gruntowych na transpirację [9].

Zasilanie warstw wodonośnych z wód powierzchniowych

Kopalnie odkrywkowe, szczególnie w umiarkowanych warunkach klimatycznych, zlokalizowane są najczęściej w sąsiedztwie cieków powierzchniowych oraz naturalnych lub sztucznych zbiorników wodnych. W warunkach naturalnych wody powierzchniowe mogą infiltrować lub drenować wody podziemne. Rodzaj i wielkość oddziaływania między wodami

powierzchniowymi i warstwą wodonośną zmienia się w zależności od różnicy wysokości ciśnień oraz wodoprzewodności utworów dna koryta rzecznego lub misy jeziornej. Znaczący wzrost zasilania warstw wodonośnych z cieków może nastąpić w czasie wysokich stanów wód powierzchniowych, szczególnie zaś w okresach wezbraniowych i powodzi związanych z wystąpieniem wód poza koryto rzeczne.

WPLYW DZIAŁALNOŚCI GÓRNICZEJ NA ZAWODNIENIE GÓROTWORU

W warunkach hydrogeologicznych przekształconych intensywnym drenażem górnictwa odkrywkowego zasadniczy wpływ na zawodnienie kopalń mają warunki zasilania warstw wodonośnych. Zazwyczaj, w obszarze leja depresji zasilanie z poszczególnych źródeł jest większe aniżeli w warunkach naturalnych. W efekcie powstają dodatkowe, wzbudzone głębokim drenażem górniczym zasoby wód podziemnych. Ponadto, w zależności od warunków hydrogeologicznych i czasu odwadniania, na natężenie dopływu do kopalń ma wpływ zasilanie pochodzące ze zgromadzonych w górotworze zasobów wód statycznych i sprężystych [2].

Wody powierzchniowe

W obszarze obniżonego zwierciadła wód podziemnych wszystkie naturalne i sztuczne wody powierzchniowe stają się elementem zasilania wód podziemnych. Wymuszona infiltracja wód powierzchniowych do warstw wodonośnych przyczynia się do zwiększenia zasobów wód podziemnych i wzrostu natężenia dopływu do kopalni [10]. W rejonie stałego oddziaływania obniżonego zwierciadła wód podziemnych przewodność warstwy dennej koryta rzeczego może również zmniejszać się wskutek osadzania zawieszin znajdujących się w wodzie powierzchniowej w porach utworów dennych. Proces ten nazywany samokolmatacją dna został szczegółowo opisany w opracowaniach dotyczących wymuszonej infiltracji wód powierzchniowych do warstwy wodonośnej [5].

Infiltracja efektywna

Badania przeprowadzone w 12. centrach górniczych w Polsce wskazują, że w wyniku obniżenia zwierciadła wód

podziemnych pojawiają się dodatkowe zasoby wód podziemnych tzw. zasoby wzbudzone, które stanowią część zasobów odnawialnych [11]. Powstają one w obszarze leja depresji wskutek zaniku ewapotranspiracji z wód podziemnych, a także kosztem zmniejszenia spływu powierzchniowego i parowania z powierzchni terenu i strefy aeracji. Infiltracja efektywna wyznaczona w zlewniach odkrywek kopalni węgla brunatnego „Konin” i „Adamów” wzrosła pod wpływem obniżenia się zwierciadła wód podziemnych ponad dwukrotnie, a w przypadku kopalni węgla brunatnego „Bełchatów” 1,5 razy osiągając 42% wielkości opadów atmosferycznych (tab. 1).

Zagospodarowanie terenu

Na zawodnienie górotworu na obszarze objętym eksploatacją złoża i jego odwadnianiem wpływa wielokierunkowo działalność górniczo-energetyczna. Powstanie wielkoprzestrzennego wyrobiska odkrywkowego i zwałowisk nadkładu oraz istnienie potężnych emitorów ciepła i pary wodnej z pobliskich elektrowni może prowadzić do podwyższenia temperatury powietrza, zmniejszenia wahań temperatury i wilgotności powietrza, wzrostu bezpośredniego promieniowania słonecznego, wzrostu sumy opadów atmosferycznych i zmniejszenia średniej prędkości wiatru. W konsekwencji modyfikacji lokalnych warunków klimatycznych, następują zmiany zasilania wód podziemnych.

Sposób zagospodarowania terenu, w tym jego zabudowa oraz powstanie zwałowisk prowadzi do wzrostu spływu powierzchniowego po przekształconych powierzchniach i zmniejszenia naturalnej infiltracji efektywnej wód opadowych. Z drugiej strony, straty wody z sieci wodociągowej oraz rozproszone zrzuty ścieków i przecieki z sieci kanalizacyjnej stanowią dodatkowe źródło zasilania warstw wodonośnych [7]. Do elementów sztucznego zasilania należy zaliczyć również wody technologiczne, zasilające górotwór podczas wiercenia otworów geologicznych, szczególnie w warunkach szczelinowo-krasowych.

Na obszarach zwałowisk nadkładu zmienia się naturalna charakterystyka gruntu, w tym skład mineralogiczny utworów przypowierzchniowych, co wpływa najczęściej na obniżenie infiltracji efektywnej. Składowiska przemysłowe w zależności od ich konstrukcji oraz sposobu deponowania odpadów mogą być elementem dodatkowego zasilania wód podziemnych lub ograniczać, a nawet uniemożliwiać infiltrację wód do warstw wodonośnych, w warunkach sztucznie uszczelnionego podłoża [13].

Tab 1. Infiltracja efektywna z opadów atmosferycznych w okręgach górnictwa węgla brunatnego [11]

Tab 1. Recharging infiltration from precipitation in lignite mining regions

Okręg górniczy węgla brunatnego	Odkrywki	Moduł infiltracji l/s/km ²	Opad roczny %	Zmiana infiltracji opadu %
„Turów”	Turów II	6,5	32,0	32
„Konin”	Pątnów, Józwin, Kazimierz	4,08	29,7	270
„Adamów”	Adamów, Bogdałów, Koźmin	5,69	33,6	200
„Adamów”	Władysławów	5,41	32,0	188
„Bełchatów”	Bełchatów	7,44	42,0	152

PODSUMOWANIE

Problematyka wodna stanowi jeden z najważniejszych aspektów prowadzenia eksploatacji kopalni, a natężenie dopływu wód do wyrobisk eksploatacyjnych i związana z tym technologia odwadniania decydują w dużej mierze o wyniku finansowym związanym z pozyskiwaniem kopalni. Do wykonania wiarygodnych prognoz niezbędne jest rozpoznanie warunków wodnych złoża oraz identyfikacja wszystkich czynników

przyrodniczych i górniczo – technologicznych mających wpływ na zawodnienie kopalń. W warunkach hydrogeologicznych przekształconym intensywnym drenażem górnictwa odkrywkowego, natężenie dopływu do kopalń oraz oddziaływanie na środowisko wodne zależą głównie od warunków zasilania warstw wodonośnych oraz układu hydrostrukturalnego. Ich rozpoznanie jest niezbędne dla wiarygodnej identyfikacji systemów wodonośnych w obszarze potencjalnego oddziaływania odwadniania złoża.

Literatura

- [1] Bieniewski J. 1983: *Owadnianie kopalń*. Wrocław, Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej
- [2] Dąbrowski S., Przybyłek J. 1980: *Metodyka próbnych pompowań w dokumentowaniu zasobów wód podziemnych*. Wyd. Geol., Warszawa
- [3] Dąbrowski S., Kapuściński J., Nowicki K., Przybyłek J., Szczepański A., 2011: *Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych*. Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań
- [4] Dowgiałło J. i in. (red.) 2002: *Słownik hydrogeologiczny*. Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa
- [5] Górski J., Przybyłek J. 1991: *Procesy i zakres kolmatacji osadów w dnie Warty wzdłuż ujęcia brzegowego w Krajkowie*. [w:] Mat. Krajowej Konf. „Geologiczne aspekty ochrony środowiska”, Wyd. AGH Kraków, str. 217–224
- [6] Healy R. 2010: *Estimating Groundwater Recharge*. Cambridge University Press
- [7] Kowalczyk A. 2003: *Formowanie się zasobów wód podziemnych w utworach węglanowych triasu śląsko-krakowskiego w warunkach antropopresji*. Wyd. UŚ., Katowice
- [8] Pazdro Z., Kozerski B. 1990: *Hydrogeologia ogólna*. Wyd. Geologiczne, Warszawa
- [9] Pleczyński J. 1981: *Odnawialność zasobów wód podziemnych*. Wyd. Geol., Warszawa
- [10] Powers J.P., Corwin A.B., Schmall P.C., Kaeck W.E. 2007: *Construction Dewatering and Groundwater Control*. New Methods and Applications. John Wiley and Sons
- [11] Sawicki J. 2000: *Zmiany naturalnej infiltracji opadów do warstw wodonośnych pod wpływem głębokiego drenażu górniczego*. Ofic. Wydaw. Politechniki Wrocławskiej
- [12] Scanlon B.R., Cook P.G. 2002: *Preface Theme issue on groundwater recharge*. Hydrogeology Journal 10, 3–4
- [13] Szczepiński J. 2004: *Problemy budowy modelu matematycznego w obszarach górnictwa odkrywkowego*. [w:] Acta Universitatis Wratislaviensis, Modelowanie przepływu wód podziemnych, str. 239–252
- [14] Szczepiński J. 2013: *Modelowanie numeryczne przepływu wód podziemnych dla oceny wpływu kopalń odkrywkowych na środowisko w badaniach hydrogeologicznych*. Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, p. 200
- [15] Wilk Z., (red.) 2003: *Hydrogeologia polskich złóż kopalni i problemy wodne górnictwa*. t.1, Uczelniane Wydawnictwa Nauk-Dydakt, AGH Kraków



Uzdrowisko Szczawno Zdrój

z arch. Uzdrowiska