

## Wpływ projektowanego odwodnienia kopalni wapienia „Celiny” (woj. świętokrzyskie) na stan ilościowy wód podziemnych

Kamila Buszta<sup>1</sup>, Tadeusz Szklarczyk<sup>1</sup>, Grzegorz Malina<sup>1</sup>

**The impact of designed drainage of the open pit limestone mine “Celiny” (Świętokrzyskie voivodeship) on the quantitative status of the groundwater systems.** Prz. Geol., 65: 938–945.

*Abstract.* The influence and amounts of groundwater inflow to the open pit limestone mine “Celiny” (Kielce region, southern Poland) were determined in this paper. Based on the collected data, a quantitative assessment of the groundwater bodies (GWB) Nos. 101 and 115 was conducted, and the range of the depression cone and the impact on water intakes operating in the vicinity of the mine were determined. The collected field and archival data were used to build a conceptual model, based on which a numerical model of the groundwater circulation system was developed using Visual MODFLOW software. The numerical model maps the five-layer groundwater circulation system in conjunction with surface watercourses. The external boundary of the 130 km<sup>2</sup> model area (divided into square grids of 50 m) was based mainly on watercourses and locally on watersheds. Computer simulations (15 in total) were carried out for three hydrodynamic conditions related to the multi-year (1951–2015) precipitation: average, dry and wet, for three ordinates of the open pit drainage: 241.5, 230.5 and 219.5 m a.s.l. and a diverse exploitation status of the existing groundwater intakes, and taking into account the open pits operating in the research area. The results show that the designed drainage of the open pit mine will not have a significant impact on the quantitative status of the adjacent GWBs.

**Keywords:** open pit mine drainage, numerical modelling, quantitative status of groundwater bodies

Odwadnianie wyrobisk górniczych wywiera wpływ na warunki krążenia wód podziemnych, stąd też zgodnie z przepisami prawa (Dz.U. z 2001 r. Nr 115, poz. 1229 z późn. zm.; Dz.U. z 2011 r. Nr 163, poz. 981 z późn. zm.; Dz.U. z 2016 r., poz. 2033) wymagane jest wykonanie opracowania określającego warunki hydrogeologiczne oraz przewidywane oddziaływanie na środowisko gruntowo-wodne projektowanego odwodnienia. Biorąc pod uwagę zrównoważone gospodarowanie wodami, szczególnie istotna jest analiza stanu ilościowego wód podziemnych, którą przeprowadza się w odniesieniu do jednolitych części wód podziemnych (JCWPd; Nowicki i in., 2009).

Celem pracy było określenie wpływu odwodnienia trzech projektowanych poziomów wydobywczych odkrywkowego wyrobiska kopalni wapienia „Celiny”: 242,0; 231,0 i 220,0 m n.p.m, na stan ilościowy występujących w sąsiedztwie wyrobiska JCWPd, z uwzględnieniem wpływu projektowanego odwodnienia na ciekę powierzchniową. Zadanie realizowano metodą modelowania numerycznego programem Visual MODFLOW (Nilson, Thomas, 1998–2010) dla trzech wariantów hydrodynamicznych: stanu średniego, suchego i mokrego z wielolecia 1951–2015.

### OBSZAR BADAŃ, MATERIAŁY I METODY – MODEL KONCEPCYJNY

Badaniami modelowymi objęto obszar o powierzchni 129,55 km<sup>2</sup>, leżący w województwie świętokrzyskim w granicach powiatów: kieleckiego i buskiego, w przeważającej części na terenie gminy Chmielnik. Kopalnia „Celiny” znajduje się w środkowej części gminy, w miejscowości Celiny, w granicach terenu górniczego o pow. 1 435 237 m<sup>2</sup> i obszaru górniczego o pow. 631 387 m<sup>2</sup>, a jej wyrobisko obejmuje 434 483 m<sup>2</sup>. Według nowego podziału

na JCWPd analizowany obszar występuje w dwóch jednostkach: nr 101 i 115 (Nowicki i in., 2009), a granica pomiędzy nimi przebiega w poprzek terenu, zgodnie z działem wodnym II rzędu. JCWPd 101 zajmuje 47,6% (61,67 km<sup>2</sup>), a JCWPd 115 – 52,4% (67,88 km<sup>2</sup>) powierzchni badanego obszaru. Granice zewnętrzne modelu postawiono na rzekach oraz lokalnie na działach wód podziemnych (ryc. 1).

Do budowy i identyfikacji modelu numerycznego przyjęto schemat warunków hydrogeologicznych otrzymany na podstawie kartowania hydrogeologicznego z początku września 2015 r. oraz danych archiwalnych. Na analizowanym obszarze występuje siedem nieciągłych pięter wodonośnych (ryc. 2), które odwzorowano w modelu w formie układu pięciowarstwowego. Zasadniczymi i eksploatowanymi poziomami wodonośnymi są szczelinowo-porowy poziom utworów neogeńskich oraz szczelinowy poziom jury górnej. Wszystkie większe rzeki mają bezpośredni lub pośredni kontakt hydrauliczny z warstwami wodonośnymi odwzorowanymi w modelu. W warunkach naturalnych ciek te pełnią funkcje drenujące, a tylko lokalnie zasilające. Lokalną bazę drenażową tworzą rzeki: Morawka i Dopływ z Ługów oraz Wschodnia, natomiast regionalną – Nida. Rozdzielają je działy wód powierzchniowych II (Nida i Czarna Staszowska) i III rzędu. Zasilanie warstw wodonośnych odbywa się głównie na ich wychodniach, przez bezpośrednią infiltrację opadów atmosferycznych, pośrednio przez okna hydrogeologiczne i przesiąkanie przez utwory słabo-przepuszczalne oraz lokalnie z rzek.

Zauważalna jest znaczna zmienność współczynnika filtracji gruntów występujących na obszarze badań. W otworach studziennych ujmujących wody podziemne z pięter wodonośnych: czwartorzędowego, neogeńskiego, jurajskiego, triasowego i dewońskiego (ryc. 3), wartość współczynnika zmienia się od  $1 \times 10^{-6}$  do  $5 \times 10^{-4}$  m/s.

<sup>1</sup> AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza im. S. Staszica w Krakowie, Wydział Geologii Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; buszta@agh.edu.pl, tszklarc@agh.edu.pl, gmalina@agh.edu.pl.

## MODEL NUMERYCZNY

Obszar badań modelowych zdyskretyzowano siatką kwadratową o boku 50 m (275 wierszy i 277 kolumn). Obejmował on 51 820 aktywnych bloków i 5 warstw. Każdą z warstw symulowano tą samą liczbą bloków aktywnych. W budowie modelu założono warunki brzegowe I, II i III rodzaju.

Warunek brzegowy I rodzaju, symulujący regionalny odpływ wód podziemnych z modelowanego obszaru, założono na granicach zewnętrznych modelu (N, W i S) w formie granic odsuniętych od modelu (GHB), stawiając go w warstwie nr 5 na rzekach: Czarna Nida (na N granicy modelowanego obszaru), Nida (na W i S granicy modelowanego terenu).

Warunkiem brzegowym II rodzaju symulowano zasilenie z infiltracji opadów atmosferycznych do pierwszej, zawadnionej warstwy wodonośnej, czynne ujęcia wód podziemnych oraz na granicach zewnętrznych modelowanego obszaru – działy wód podziemnych.

Warunek brzegowy III rodzaju postawiono w blokach symulujących stawy rybne i ciekły powierzchniowe, zarówno wewnątrz obszaru, jak i na jego granicach zewnętrznych oraz źródło (ryc. 1).

Model numeryczny poddano kalibracji w odniesieniu do położenia piezometrycznego zwierciadła wody w 36 punktach reperowych (otwory hydrogeologiczne i studnie kopane), zmierzonego podczas kartowania hydrogeologicznego wykonanego w dniach 7–11.09.2015 r. Wyniki kalibracji modelu, przeprowadzonej metodą kolejnych

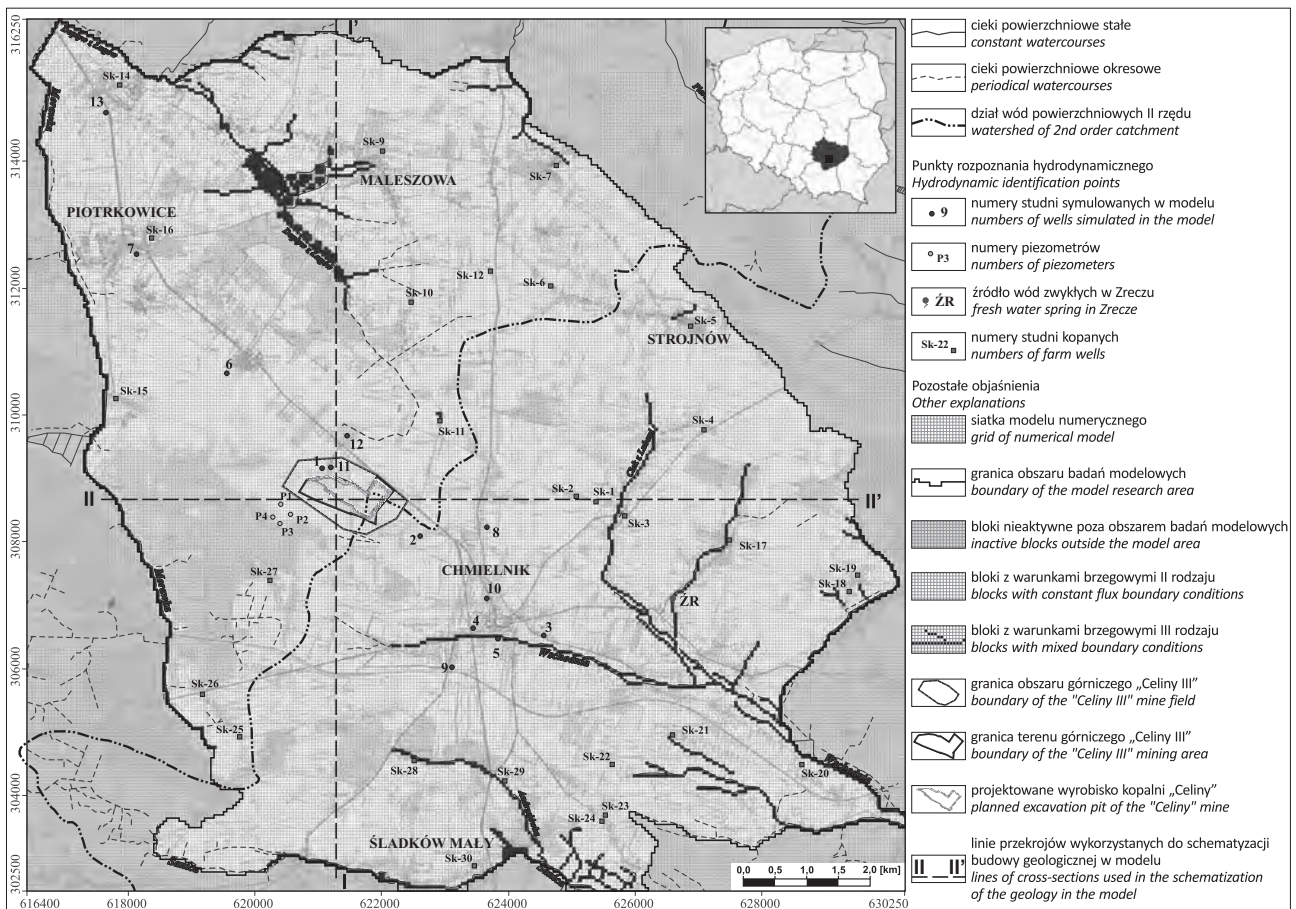
przybliżeń, wskazują na dobre dopasowanie wartości obliczonych do obserwowanych ( $r = 0,998$ ).

## WARIANTY OBLICZENIOWE

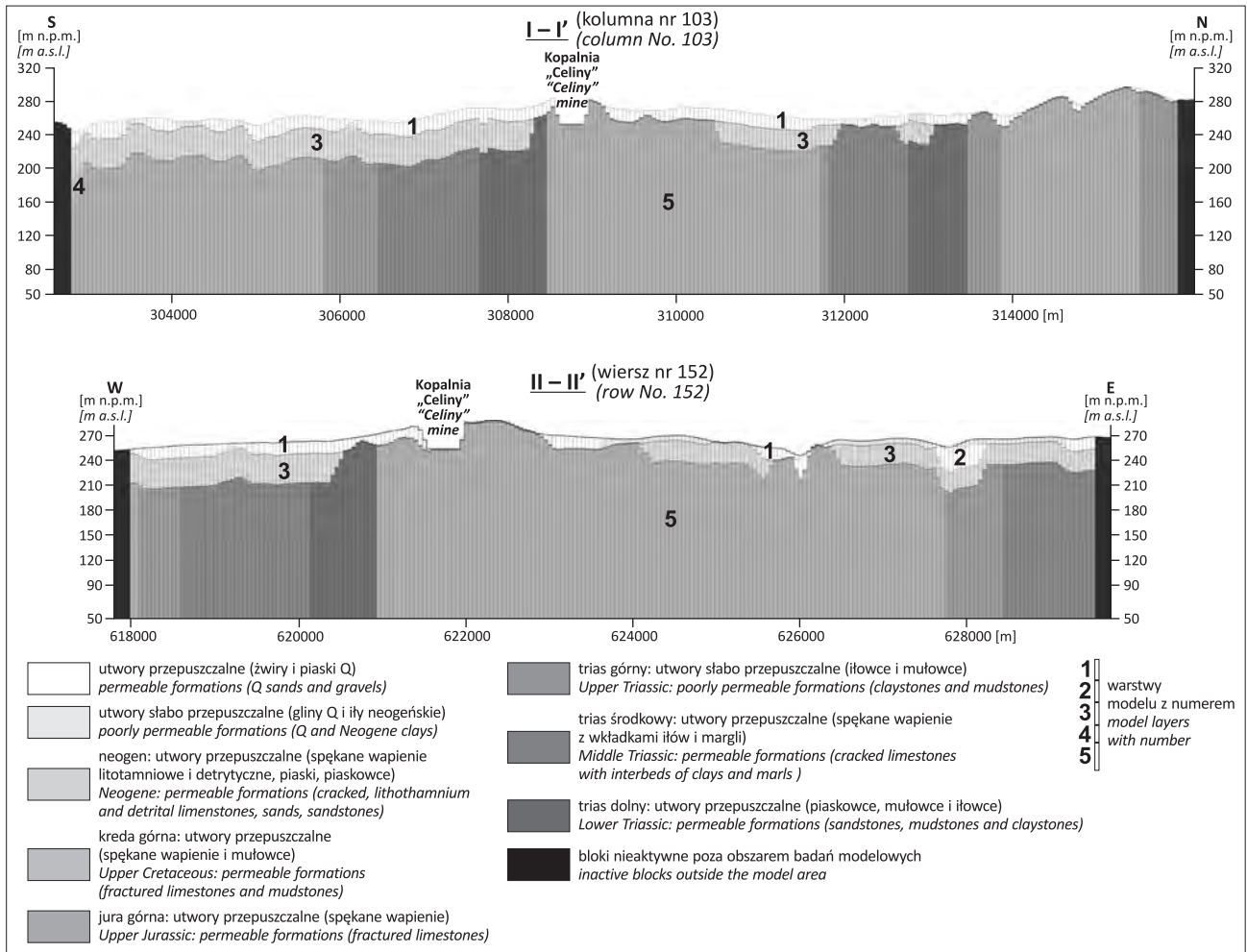
Obliczenia symulacyjne wykonano zgodnie z metodą zalecaną przez Dąbrowskiego i in. (2011) na zweryfikowanym modelu matematycznym (stan na wrzesień 2015 r.). Umożliwiły one rozwiązanie złożonego problemu kształtowania się stosunków wodnych, w tym określenie warunków krążenia i wymiany wody wraz z ich ilościową charakterystyką. Zasadnicze obliczenia prognostyczne w modelu numerycznym zostały ograniczone do trzech podstawowych stanów hydrodynamicznych, zależnych od wielkości opadów atmosferycznych w latach 1951–2015:

- wariant 1 – stan średni niski–suchy (opady  $P = 529$  mm/r),
- wariant 2 – stan średni ( $P = 627$  mm/r)
- oraz wariant 3 – stan średni wysoki–mokry ( $P = 741$  mm/r).

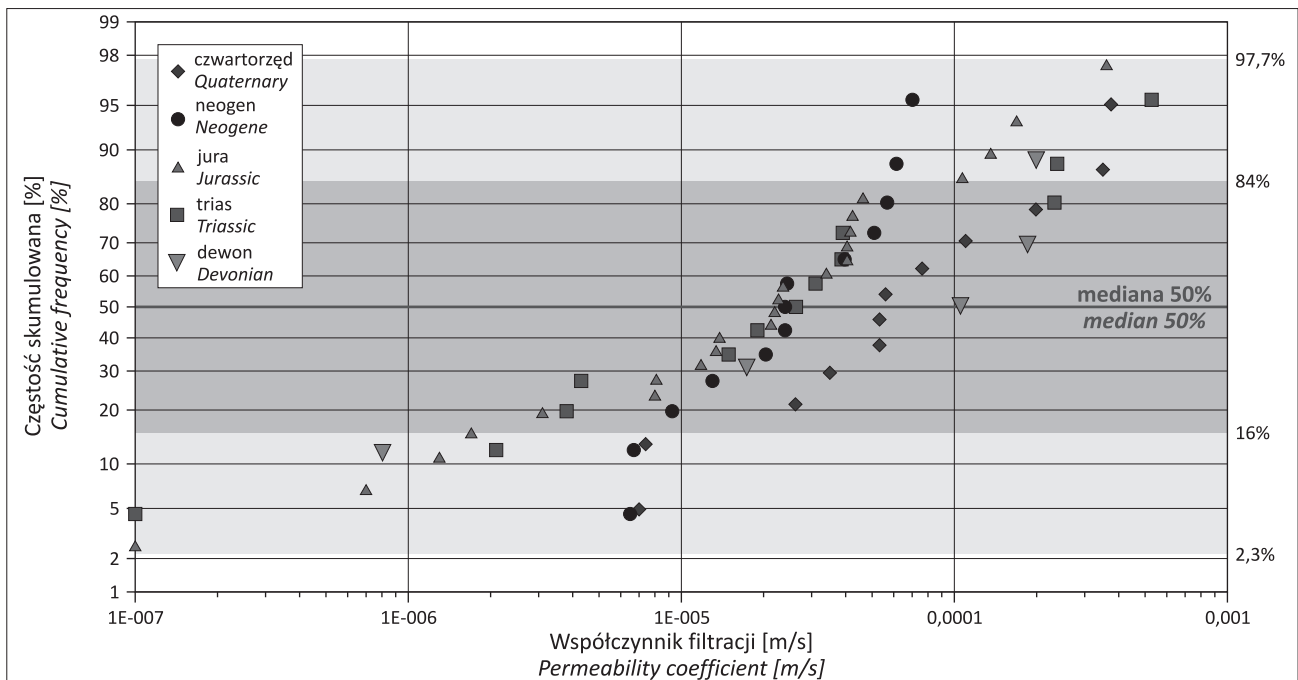
Dla tych wariantów prognostycznych wykonano po 5 symulacji odtwarzających różne stany poboru wód podziemnych. Symulacje odwadniania kopalni prowadzono ze stałą depresją (0,5 m poniżej spągu wyrobiska). Łącznie wykonano ich 15. Najgłębiej położona rzędna odwodnienia wyrobiska górniczego wynosi 219,5 m n.p.m., a naturalne zwierciadło wód podziemnych w rejonie kopalni leży na rzędnej 251,4 m n.p.m. (ryc. 5), zatem maksymalna depresja w obszarze odkrywki wyniesie 31,9 m.



Ryc. 1. Mapa dokumentacyjna obszaru badań modelowych  
Fig. 1. Documentation map of the model research area



Ryc. 2. Schematyzacja uproszczonej budowy geologicznej w modelu. Przekroje I-I' i II-II'  
Fig. 2. Schematization of the simplified geological structure on the model. Cross-sections I-I' and II-II'



Ryc. 3. Zmienność współczynnika filtracji na wykresie prawdopodobieństwa dla otworów studziennych ujmujących wody podziemne na obszarze arkuszy MHP 1 : 50 000: Chmielnik, Pińczów, Morawica i Daleszyce. Źródło: Bank HYDRO

Fig. 3. Variability of the permeability coefficient on the probability graph for the abstraction wells in the area of the MHP 1 : 50 000 map sheets: Chmielnik, Pińczów, Morawica and Daleszyce. Source: Bank HYDRO

Tak przeprowadzone symulacje umożliwiły ocenę wpływu odwodnienia wyrobiska górniczego na środowisko gruntowo-wodne w zależności od warunków meteorologicznych, z uwzględnieniem ryzyka suszy lub powodzi podczas odwadniania odkrywki.

## WYNIKI BADAŃ I ICH DYSKUSJA

Ocenę stanu ilościowego wód podziemnych przedstawiono w formie modułów bilansów wodnych dla JCWPd 101 i 115 (tab. 1 i 2) oraz zasięgów oddziaływania ujęć

**Tab. 1.** Moduły bilansów wód podziemnych fragmentu JCWPd 101 dla wszystkich wariantów symulacyjnych  
**Table 1.** Modules of groundwater balance for GWB No. 101 for all simulation variants

Warianty symulacyjne <i>Simulation variants</i>	Stan odtworzony w modelu <i>Status mapped on the model</i>	Infiltracja efektywna opadów <i>Recharging infiltration</i>	Rzeki i źródła <i>Rivers and springs</i>		Drenaż przez kopalnię „Celiny” <i>Drainage by the “Celiny” mine</i>	Wymiana wód <i>Water exchange</i>		Odpływ boczny do „GHB” <i>Side drain to “GHB”</i>	Eksploatacja ujęć wód podziemnych <i>Water intake from wells</i>
			Zasilanie <i>Recharge</i>	Drenaż <i>Drainage</i>		Dopływ do JCWPd 101 <i>Inflow to GWB No. 101</i>	Odpływ do JCWPd 115 <i>Outflow to GWB No. 115</i>		
			[dm <sup>3</sup> /(skm <sup>2</sup> )]	[dm <sup>3</sup> /(skm <sup>2</sup> )]		[dm <sup>3</sup> /(skm <sup>2</sup> )]	[dm <sup>3</sup> /(skm <sup>2</sup> )]		
Stan na wrzesień 2015 r. <i>Status for September 2015</i>	naturalny <i>natural</i>	2,94	0,55	2,79	0,00	0,27	0,46	0,51	0,00
	eksploatacyjny <i>operational</i>	2,94	0,55	2,77	0,00	0,27	0,46	0,51	0,02
Wariant 1 średni niski opad z wieloletnia 1951–2015 <i>Variant 1 average low multi-year precipitation 1951–2015</i>	1a) naturalny <i>natural</i>	2,79	0,57	2,67	0,00	0,26	0,45	0,50	0,00
	1b) eksploatacyjny <i>operational</i>	2,79	0,60	2,59	0,00	0,25	0,45	0,50	0,09
	1c) eksploatacyjny <i>operational</i>	2,79	0,60	2,50	0,12	0,24	0,42	0,50	0,09
	1d) eksploatacyjny <i>operational</i>	2,79	0,61	2,50	0,14	0,22	0,39	0,50	0,09
	1e) eksploatacyjny <i>operational</i>	2,79	0,62	2,46	0,20	0,21	0,37	0,50	0,09
Wariant 2 średni opad z wieloletnia 1951–2015 <i>Variant 2 average multi-year precipitation 1951–2015</i>	2a) naturalny <i>natural</i>	3,31	0,68	3,28	0,00	0,31	0,49	0,53	0,00
	2b) eksploatacyjny <i>operational</i>	3,31	0,71	3,20	0,00	0,30	0,50	0,53	0,09
	2c) eksploatacyjny <i>operational</i>	3,31	0,76	3,12	0,15	0,28	0,47	0,53	0,09
	2d) eksploatacyjny <i>operational</i>	3,31	0,76	3,12	0,16	0,27	0,44	0,53	0,09
	2e) eksploatacyjny <i>operational</i>	3,31	0,78	3,10	0,22	0,27	0,42	0,53	0,09
Wariant 3 średni wysoki opad z wieloletnia 1951–2015 <i>Variant 3 average high multi-year precipitation 1951–2015</i>	3a) naturalny <i>natural</i>	3,91	0,53	3,74	0,00	0,39	0,55	0,54	0,00
	3b) eksploatacyjny <i>operational</i>	3,91	0,54	3,64	0,00	0,38	0,56	0,54	0,09
	3c) eksploatacyjny <i>operational</i>	3,91	0,56	3,50	0,18	0,35	0,52	0,54	0,09
	3d) eksploatacyjny <i>operational</i>	3,91	0,56	3,50	0,18	0,33	0,49	0,54	0,09
	3e) eksploatacyjny <i>operational</i>	3,91	0,57	3,47	0,23	0,33	0,47	0,54	0,09

Dodatkowe objaśnienia zamieszczono pod tab. 2  
*Additional explanations are provided below tab. 2*

**Tab. 2.** Moduły bilansów wód podziemnych fragmentu JCWPd 115 dla wszystkich wariantów symulacyjnych  
**Table 2.** Modules of groundwater balance for GWB No. 115 for all simulation variants

Warianty symulacyjne <i>Simulation variants</i>	Stan odtworzony w modelu <i>Status mapped on the model</i>	Infiltracja efektywna opadów <i>Effective infiltration from precipitation</i>	Rzeki i źródła <i>Rivers and springs</i>		Drenaż przez kopalnię „CELINY” <i>Drainage by the “Celiny” mine</i>	Wymiana wód <i>Water exchange</i>		Odpływ boczny do „GHB” <i>Side drain to “GHB”</i>	Eksploatacja ujęć wód podziemnych <i>Water intake from wells</i>
			Zasilanie <i>Recharge</i>	Drenaż <i>Drainage</i>		Dopływ do JCWPd 115 <i>Inflow to GWB No. 115</i>	Odpływ do JCWPd 101 <i>Outflow to GWB No. 101</i>		
			[dm <sup>3</sup> /(skm <sup>2</sup> )]	[dm <sup>3</sup> /(skm <sup>2</sup> )]		[dm <sup>3</sup> /(skm <sup>2</sup> )]	[dm <sup>3</sup> /(skm <sup>2</sup> )]		
Stan na wrzesień 2015 r. <i>Status for September 2015</i>	naturalny <i>natural</i>	2,47	0,25	2,86	0,00	0,42	0,25	0,02	0,00
	eksploatacyjny <i>operational</i>	2,47	0,25	2,86	0,00	0,42	0,25	0,02	0,00
Wariant 1 średni niski opad z wielolecia 1951–2015 <i>Variant 1 average low multi-year precipitation 1951–2015</i>	1a) naturalny <i>natural</i>	2,34	0,26	2,75	0,00	0,41	0,24	0,02	0,00
	1b) eksploatacyjny <i>operational</i>	2,34	0,30	2,58	0,00	0,41	0,23	0,02	0,22
	1c) eksploatacyjny <i>operational</i>	2,34	0,31	2,57	0,00	0,38	0,22	0,02	0,22
	1d) eksploatacyjny <i>operational</i>	2,34	0,31	2,55	0,01	0,35	0,20	0,02	0,22
	1e) eksploatacyjny <i>operational</i>	2,34	0,32	2,54	0,02	0,34	0,19	0,02	0,22
Wariant 2 średni opad z wielolecia 1951–2015 <i>Variant 2 average multi-year precipitation 1951–2015</i>	2a) naturalny <i>natural</i>	2,78	0,36	3,27	0,00	0,45	0,28	0,02	0,00
	2b) eksploatacyjny <i>operational</i>	2,78	0,38	3,10	0,00	0,45	0,28	0,02	0,22
	2c) eksploatacyjny <i>operational</i>	2,78	0,39	3,09	0,00	0,42	0,26	0,02	0,22
	2d) eksploatacyjny <i>operational</i>	2,78	0,40	3,07	0,01	0,40	0,25	0,02	0,22
	2e) eksploatacyjny <i>operational</i>	2,78	0,39	3,05	0,03	0,38	0,24	0,02	0,22
Wariant 3 średni wysoki opad z wielolecia 1951–2015 <i>Variant 3 average high multi-year precipitation 1951–2015</i>	3a) naturalny <i>natural</i>	3,28	0,64	4,04	0,00	0,50	0,35	0,02	0,00
	3b) eksploatacyjny <i>operational</i>	3,28	0,66	3,86	0,00	0,51	0,34	0,02	0,22
	3c) eksploatacyjny <i>operational</i>	3,28	0,66	3,85	0,00	0,47	0,32	0,02	0,22
	3d) eksploatacyjny <i>operational</i>	3,28	0,70	3,86	0,02	0,44	0,30	0,02	0,22
	3e) eksploatacyjny <i>operational</i>	3,28	0,70	3,84	0,03	0,43	0,30	0,02	0,22

Kolorem szarym zaznaczono dopływ wód podziemnych do modelowanego obszaru.

Grey colour indicates groundwater inflow to model area.

Objaśnienia / Explanations:

a) naturalny – bez poboru wód podziemnych / *natural* – without water intake abstraction,

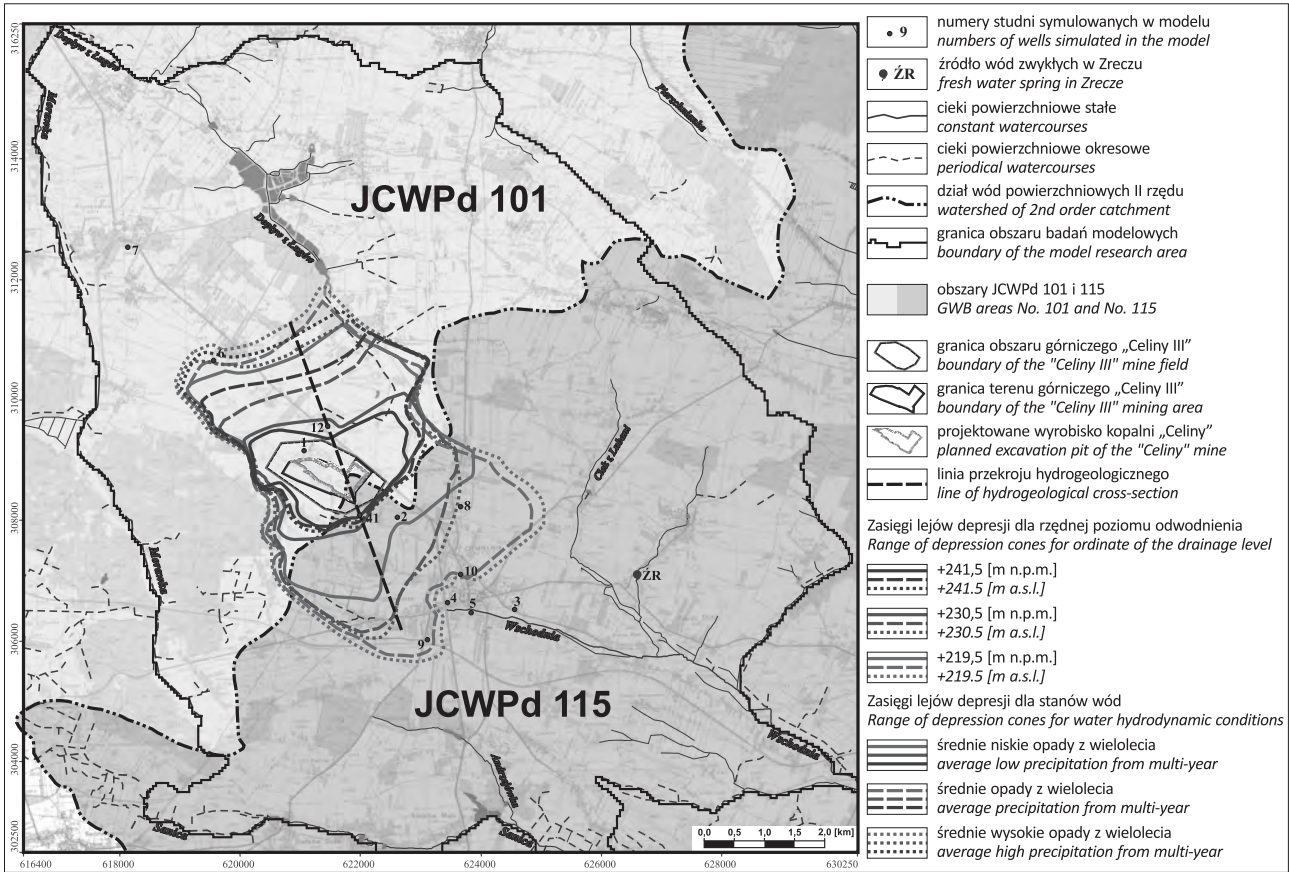
b) eksploatacyjny – pobór wód podziemnych w wysokości pozwoleń wodnoprawnych / *operational* – water intake in the amount within the permit required by the Water Law;

c) eksploatacyjny – rzędna odwodnienia wyrobiska „Celiny” wynosić będzie 241,5 m n.p.m. i pobór wód podziemnych w wysokości pozwoleń wodnoprawnych / *operational* – for the ordinate of the open pit

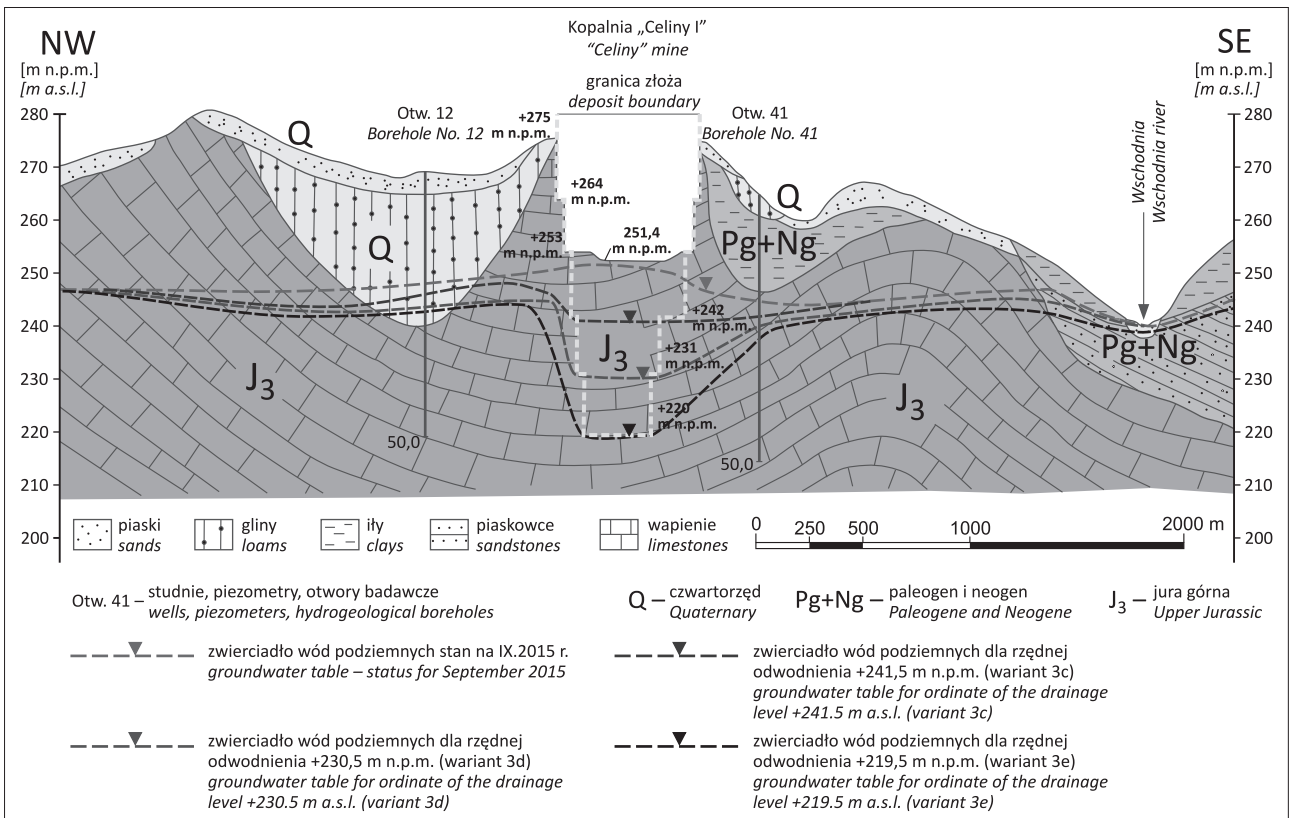
„Celiny” drainage: 241.5 m a.s.l. + water intake in the amount within the permit required by the Water Law,

d) eksploatacyjny – rzędna odwodnienia wyrobiska „Celiny” będzie wynosić 230,5 m n.p.m. i pobór wód podziemnych w wysokości pozwoleń wodnoprawnych / *operational* – for the ordinate of the open pit „Celiny” drainage: 230.5 m a.s.l. + water intake in the amount within the permit required by the Water Law,

e) eksploatacyjny – rzędna odwodnienia wyrobiska „Celiny” wynosić będzie 219,5 m n.p.m. i pobór wód podziemnych w wysokości pozwoleń wodnoprawnych / *operational* – for the ordinate of the open pit „Celiny” drainage: 219.5 m a.s.l. + water intake in the amount within the permit required by the Water Law.



**Ryc. 4.** Mapa zasięgu oddziaływania projektowanego odwodnienia kopalni „Celiny” na tle JCWPd 101 i 115 dla wszystkich rzędnych poziomów wydobywczych oraz stanów wód  
**Fig. 4.** Map of the range of influence of the “Celiny” mine drainage in relation to the GWBs for all ordinates of the mining and water levels



**Ryc. 5.** Przekrój hydrogeologiczny przez rejon złoża „Celiny I”  
**Fig. 5.** Hydrogeological cross-sections through the “Celiny I” deposit area

**Tab. 3.** Powierzchnie lejów depresji powstałych w wyniku eksploatacji ujęć wód podziemnych i odwodnienia wyrobiska górniczego „Celiny”  
**Table 3.** Depression cone areas formed due to the exploitation of groundwater intakes and drainage of the “Celiny” open pit mine

Warianty symulacyjne <i>Simulation variants</i>	Stan odtworzony w modelu <i>Status mapped on the model</i>	Rzędna odwodnienia kopalni „Celiny” <i>Ordinate of the drainage level for the “Celiny” mine</i>	Eksploatacja ujęć wód podziemnych <i>Exploitation of groundwater intakes</i>	Drenaż przez kopalnię „Celiny” <i>Drainage by the “Celiny” mine</i>		Powierzchnia lejów depresji * <i>Depression cones area *</i>			
						Sumaryczny lej depresji (ujęcia + kopalnia) <i>Total depression cone (groundwater intakes + mine)</i>	Dla ujęć wód podziemnych <i>For groundwater intakes</i>	Dla Kopalni „Celiny” <i>For the “Celiny” mine</i>	Stosunek powierzchni wyrobiska do powierzchni leja depresji <i>Ratio between the excavation surface and the depression cone area</i>
		[m n.p.m.]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /d]	[m <sup>3</sup> /min]	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[%]
Wariant 1 średni niski opad z wielolecia 1951–2015 <i>Variant 1 average low multi-year precipitation</i>	1b) eksploatacyjny <i>operational</i>	–	1 754,5	0,0	0,0	18,189	18,189	0,0	–
	1c) eksploatacyjny <i>operational</i>	241,5	1 754,5	637,9	0,44	19,189	18,189	1,0	35,19
	1d) eksploatacyjny <i>operational</i>	230,5	1 754,5	813,1	0,56	22,3719	18,189	4,1829	7,57
	1e) eksploatacyjny <i>operational</i>	219,5	1 754,5	1 196,1	0,83	27,9329	18,189	9,7439	2,93
Wariant 2 średni opad z wielolecia 1951–2015 <i>Variant 2 average multi-year precipitation 1951–2015</i>	2b) eksploatacyjny <i>operational</i>	–	1 754,5	0,0	0,0	14,8597	14,8597	0,0	–
	2c) eksploatacyjny <i>operational</i>	241,5	1 754,5	812,1	0,56	23,0671	14,8597	8,2074	4,29
	2d) eksploatacyjny <i>operational</i>	230,5	1 754,5	949,8	0,66	23,6707	14,8597	8,811	3,59
	2e) eksploatacyjny <i>operational</i>	219,5	1 754,5	1 300,9	0,9	28,2561	14,8597	13,3964	2,13
Wariant 3 średni wysoki opad z wielolecia 1951–2015 <i>Variant 3 average high multi-year precipitation 1951–2015</i>	3b) eksploatacyjny <i>operational</i>	–	1 754,5	0,0	0,0	9,2561	9,2561	0,0	–
	3c) eksploatacyjny <i>operational</i>	241,5	1 754,5	976,1	0,68	22,7012	9,2561	13,4451	2,62
	3d) eksploatacyjny <i>operational</i>	230,5	1 754,5	1 054,5	0,73	25,4695	9,2561	16,2134	1,95
	3e) eksploatacyjny <i>operational</i>	219,5	1 754,5	1 406,1	0,98	27,8232	9,2561	18,5671	1,54

\* jako kryterium określania zasięgu leja depresji przyjęto obniżenie zwierciadła wód podziemnych większe lub równe 1,0 m (roczna amplituda wahań zwierciadła wód podziemnych na badanym terenie wynosi 1,0 m)

\* decrease of groundwater table greater than or equal to 1.0 m (the annual amplitude of groundwater fluctuations in the examined area is 1.0 m) is accepted as the criterion for determining the range of the depression cone

i odwodnienia kopalni (ryc. 4 i 5). Powierzchnie prognozowanych lejów depresji, utworzonych w wyniku eksploatacji ujęć wód podziemnych i projektowanego odwodnienia wyrobiska górniczego „Celiny”, dla wszystkich wariantów symulacyjnych zestawiono w tab. 3.

W warunkach naturalnych moduł infiltracji opadów atmosferycznych w obszarze JCWPd numer 101 wynosi 2,94 dm<sup>3</sup>/skm<sup>2</sup> (tab. 1), a w 115 – 2,47 dm<sup>3</sup>/skm<sup>2</sup> (tab. 2). W przypadku średnich niskich opadów (wariant 1) wartości te maleją, a rosną ze wzrostem wielkości opadów (wa-

rianty 2 i 3). Wzrost wielkości opadów i obniżenie rzędnej zwierciadła wód podziemnych w odwadnianej kopalni wywołują lokalnie wzrost zasilania i drenażu przez cieki powierzchniowe, przy czym drenaż jest kilka razy większy niż zasilanie (tab. 1 i 2).

W przypadku JCWPd 101 drenaż wód przez kopalnię występuje dla wszystkich rzędnych odwodnienia wyrobiska, osiągając coraz większe wartości ze wzrostem opadów. Wymiana wód podziemnych pomiędzy JCWPd 115 i 101 rośnie ze wzrostem opadów i spada wraz z obniżeniem

się zwierciadła wody na skutek odwodnienia wyrobiska. Dopływ wód do JCWPd 101 jest znacznie niższy niż odpływ do JCWPd 115.

W obrębie JCWPd 115 drenaż wód przez kopalnię „Celiny” zachodzi dla rzędnych odwodnienia wyrobiska 230,5 m n.p.m. i 219,5 m n.p.m. z uwzględnieniem poboru wód podziemnych ujęciami w wysokości pozwoleń wodnoprawnych (wariant 1 i 2). Natomiast w wariantcie 3 drenaż występuje w przypadku wszystkich rzędnych odwodnienia i rośnie wraz ze wzrostem opadów. Wymiana wód podziemnych pomiędzy JCWPd 115 i 101 rośnie ze wzrostem opadów, przy czym dopływ wód do JCWPd 115 jest znacznie większy niż odpływ do JCWPd 101.

Na podstawie analizy wielkości najbardziej istotnych czynników gospodarowania wodami JCWPd 101 i 115, czyli zasilania i drenażu wód podziemnych przez cieki powierzchniowe oraz eksploatację wód podziemnych systemem odwodnieniowym kopalni „Celiny” i ujęciami wód podziemnych, można stwierdzić, że wraz z odwadnianiem coraz to głębszych poziomów eksploatacyjnych drenaż przez rzeki będzie malał, wzrośnie natomiast wymuszane zasilanie poziomów wodonośnych przez wodę z rzek (tab. 1 i 2).

Zasięg oddziaływania kopalni „Celiny” (tab. 3) na poziom wód podziemnych określono jako różnicę powierzchni sumarycznego leja depresji ujęć i kopalni oraz powierzchni lejów depresji wywołanych przez ujęcia wód podziemnych (warianty: 1b, 2b i 3b). Zasięg ten rośnie wraz z obniżaniem się rzędnej odwodnienia kopalni w przypadku każdego z przyjętych w modelowaniu wariantów (ryc. 4). Zauważalny jest także wzrost powierzchni leja depresji ze wzrostem wielkości opadów atmosferycznych (tab. 3). Jest to spowodowane malejącą powierzchnią leja depresji ujęć wód podziemnych (stały pobór) oraz wzrostem dopływu wód podziemnych do kopalni „Celiny” wraz ze wzrostem opadów atmosferycznych.

Zarówno na obszarze JCWPd 101, jak i JCWPd 115 największy zasięg oddziaływania obserwuje się oczywiście dla najniższej rzędnej odwodnienia kopalni (219,5 m n.p.m.) i to w każdym z przyjętych wariantów (ryc. 4 i 5). Przy czym na obszarze JCWPd 101 jest zauważalny wzrost zasięgu oddziaływania odwodnienia w stosunku do całkowitej powierzchni leja depresji, a w obrębie JCWPd 115 zasięg oddziaływania odwodnienia maleje w stosunku całkowitej powierzchni leja depresji.

W żadnym wariantcie symulacyjnym sumaryczny zasięg oddziaływania projektowanego odwodnienia kopalni i eksploatacji ujęć wód podziemnych nie obejmuje źródła w Zreczu – głównego ujęcia wód źródłanych w Chmielniku (ryc. 4).

Można także stwierdzić, że ze wzrostem wielkości opadów i obniżeniem rzędnej poziomu wydobywczego zasięg oddziaływania projektowanego odwodnienia wyrobiska

przemieszcza się w kierunku NW (JCWPd 101) oraz SE (JCWPd 115).

## PODSUMOWANIE

Wyniki wielowariantowych obliczeń przeprowadzonych w modelu numerycznym dowodzą, że projektowane odwadnianie wyrobiska kopalni „Celiny” nie wpłynie znacząco na stan ilościowy JCWPd 101 i 115 oraz na zależne ekosystemy wodne. Nie dojdzie również do znacznego obniżenia zwierciadła wód podziemnych oraz krótkotrwałych lub ciągłych zmian kierunku przepływu wód podziemnych w ograniczonym obszarze, które mogą powodować dopływ wód słonych lub innych wód o jakości zagrażającej zanieczyszczeniem wód podziemnych.

Prognozowane powierzchnie lejów depresji powstałych w wyniku projektowanego odwodnienia wyrobiska kopalni „Celiny” będą od ok. 7 (wariant 1e) do 13 (wariant 3e) razy większe od powierzchni obecnego terenu górniczego. W związku z powyższym właściciel kopalni powinien wystąpić do Marszałka Województwa Świętokrzyskiego o taką zmianę granic terenu górniczego, aby w jego obszarze znalazły się maksymalne zasięgi prognozowanych lejów depresji dla każdego z projektowanych poziomów wydobywczych.

Wykorzystanie modelowania numerycznego do określania zasięgów oddziaływania odwodnień górniczych i ich wpływu na stan ilościowy wód podziemnych, z uwzględnieniem rzek, pozwala osiągać bardziej wiarygodne wyniki w stosunku do często jeszcze stosowanych w praktyce hydrogeologicznej metod empirycznych.

Składam serdeczne podziękowania Recenzentom za cenne uwagi. Praca została zrealizowana w ramach grantu dziekańskiego – umowa nr 15.11.140.828 oraz badań statutowych katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie – umowa nr 11.11.140.797.

## LITERATURA

- CENTRALNY Bank Danych Hydrogeologicznych – Bank „HYDRO” – Mat. CBDH: <http://spdpsh.pgi.gov.pl/PSHv7/>.  
 DĄBROWSKI S., KAPUŚCIŃSKI J., NOWICKI K., PRZYBYŁEK J., SZCZEPAŃSKI A. 2011 – Metodyka modelowania matematycznego w badaniach i obliczeniach hydrogeologicznych. Poradnik metodyczny. Min. Środ.  
 NOWICKI Z., OLĘDZKA D. (red.) 2009 – Charakterystyka geologiczna i hydrogeologiczna zweryfikowanych JCWPd: <http://www.psh.gov.pl>.  
 NILSON G., THOMAS F. 1998–2010 – Visual MODFLOW for Windows v.3.1. Waterloo Hydrogeologic Software.  
 ROZPORZĄDZENIE Ministra Środowiska z dnia 18 listopada 2016 r. w sprawie dokumentacji hydrogeologicznej i dokumentacji geologiczno-inżynierskiej. Dz.U. z 2016 r. poz. 2033.  
 USTAWA z dnia 18 lipca 2001 r. – Prawo wodne. Dz.U. z 2001 r. Nr 115, poz. 1229 z późn. zm.  
 USTAWA z dnia 9 czerwca 2011 r. – Prawo geologiczne i górnicze. Dz.U. z 2011 r. Nr 163, poz. 981 z późn. zm.