

## World Karst Aquifer Map (WOKAM) i obecność Polski

### World Karst Aquifer Map (WOKAM) and the presence of Poland

Jacek Rózkowski<sup>1</sup>, Dorota Grabala<sup>1</sup>, Adam Polonius<sup>2</sup>

**Streszczenie:** W latach 2012-2016 realizowano Projekt IAH i jej Komisji Hydrogeologii Krasu – World Karst Aquifer Map (WOKAM). Projekt WOKAM koncentrował się na zasobach wód podziemnych w krasowych poziomach wodonośnych, zwłaszcza w skałach węglanowych. WOKAM przedstawia również, w postaci tabelarycznej, selektywne zestawienie ważnych obiektów krasowych jako źródeł zaopatrzenia w wodę oraz jaskiń. W efekcie WOKAM pozwala na globalne ujęcie ilościowe systemów krasowych. Na Mapie znalazły się trzy hydrologiczne obiekty krasowe z obszaru Polski: Błękitne Źródła na Wyżynie Częstochowskiej, jaskinia Wielka Śnieżna i ujęcie wód termalnych Zakopane Bańska PGP-1 w Tatrach (B69, B70 i B71).

**Abstract:** In 2012-2016, the IAH and its Commission on Karst Hydrogeology the World Karst Aquifer Map Project (WOKAM), were implemented. WOKAM focuses on groundwater resources in karst aquifers, especially in carbonate rocks. WOKAM also presents in a tabular form a selective combination of important karst objects as sources of water supply and caves. As a result WOKAM allows a global quantification of karst systems. On the Map there are 3 hydrological karst objects from Poland: Błękitne Źródła in Częstochowa Upland, Wielka Śnieżna Cave system and geothermal groundwater intake Zakopane Bańska PGP-1 in Tatra Mountains (B69, B70 and B71).

**Słowa kluczowe:** World Karst Aquifer Map, kras, Polska

**Key words:** World Karst Aquifer Map, karst, Poland

### WSTĘP

Projekt WOKAM, realizowany w latach 2012-2016, był projektem Międzynarodowego Stowarzyszenia Hydrogeologów (IAH) i Komisji Hydrogeologii Krasu, wspieranym finansowo przez IAH i UNESCO, w ramach programu WHYMAP (współpraca zespołu WHYMAP w Instytucie Geonauk i Zasobów Naturalnych (BGR, Niemcy)). Projekt był koordynowany i przetwarzany w Instytucie Technologii w Karlsruhe (KIT) (Stevanović i in. 2016; Chen i in. 2017; Chen, Goldscheider (red.) 2017). W obszarze Europy południowo-wschodniej był koordynowany przez Z. Stevanovic. Bazę danych WO-

KAM dla obszarów krasowych Polski przygotował Zespół Katedry Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach, we współpracy z A. Poloniussem.

### WORLD KARST AQUIFER MAP (WOKAM) – KONCEPCJA, METODYKA, ZAKRES

#### Koncepcja Mapy

Celem realizacji Światowej Mapy Zbiorników Krasowych – World Karst Aquifer Map (WOKAM) – jest upowszechnienie informacji odnośnie do cennych, ale wrażliwych na zanieczyszczenie źródeł zaopatrzenia w wodę słodką, jakimi są krasowe zbiorniki wód podziemnych, co może być użyteczne w rozwiązywaniu problemu globalnego zarządzania zasobami wodnymi. WOKAM została zrealizowana w ramach ogólnoświato-

<sup>1</sup> – Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, ul. Będzińska 60, 41–200 Sosnowiec;

jacek.rozkowski@gmail.com, dorota.grabala@us.edu.pl

<sup>2</sup> – P.P.H.U. „GEOBUD“ Sp. z o.o., ul. Sikorskiego 34, 40-282 Katowice; polonius@tlen.pl

wego programu Hydrogeological Mapping and Assessment Program (WHYMAP). Mapą bazową dla opracowania WOKAM była cyfrowa globalna mapa litologiczna (GLiM) Hartmanna i Moosdorfa (2012). W ramach realizacji projektu WOKAM wykorzystano informacje zamieszczone na regionalnych mapach geologicznych i hydrogeologicznych, w literaturze tematycznej, konsultowano się z ekspertami regionalnymi. Wiarygodność WOKAM jest zmienna w poszczególnych częściach globu z powodu bardzo zróżnicowanej jakości informacji bądź jej braku, a także dostępności regionalnych ekspertów (Chen, Goldscheider (red.) 2017).

### **Metodyka**

WOKAM koncentruje się na zasobach wód podziemnych w krasowych poziomach wodonośnych, zwłaszcza w skałach węglanowych. Ewaporaty stanowią również ważne krasowe systemy wodonośne, ale wysokie stężenia siarczanów w wodzie ograniczają jej bezpośrednie wykorzystanie jako wody pitnej. Przyjęto założenie, że skały, które zawierają co najmniej 75% rozpuszczalnych minerałów, są zazwyczaj skrasowiałe. Aktualny stopień skrasowania może się znacznie różnić w zależności od różnych czynników geologicznych, hydrologicznych i klimatycznych. Założono, że w większości przypadków wychodnie skał węglanowych są przynajmniej częściowo skrasowiałe, a chemiczne rozpuszczanie górotworu prowadzi do wykształcenia typowego krasowego poziomu wodonośnego z szybkim przepływem wód podziemnych i transportem zanieczyszczeń, nawet w przypadku braku udokumentowania dużych jaskiń oraz cech geomorfologicznych typowych dla obszarów krasowych.

### **Wydzielenie jednostek, objaśnienia**

Jednostki odzwierciedlające kartograficznie „skały węglanowe” i „skały ewaporatowi” reprezentują potencjalne krasowe zbiorniki wodonośne. Ich aktualny stopień krasowienia i właściwości hydrauliczne nie mogą być ustalone jednoznacznie w skali globalnej. Założono, że najbardziej wyeksponowane skały węglanowe i ewaporatowe reprezentują krasowe poziomy wodonośne. Wapienie i dolomity to najbardziej rozpowszechnione skrasowiałe skały węglanowe. Kreda jest drobnoziarnistą biogeniczną skałą węglanową, w której rozwój krasu jest mniej dynamiczny niż w klasycznym krasie wapiennym.

Jednakże w wielu regionach (Wielka Brytania, Francja, Polska i inne) kredowe poziomy wodonośne są ważnymi źródłami zaopatrzenia w wodę słodką. Podobną rolę w niektórych regionach świata odgrywają metamorficzne skały węglanowe, w tym marmury, tworzące ważne krasowe poziomy wodonośne (Etiopia, Republika Południowej Afryki i inne).

Obszary występowania skał węglanowych i ewaporatów podzielono na kategorie, z wydzieleniem występowania ciągłego i nieciągłego (dla skał węglanowych kolor ciemnoniebieski i jasnoniebieski). Podstawą kategoryzacji był udział omawianego rodzaju skał w danym obszarze. Obszary, w których udział skał węglanowych lub ewaporatów przekracza 65% powierzchni, zostały odwzorowane jako „ciągłe”, natomiast obszary, w których udział tych skał mieści się w granicach od 15 do 65% powierzchni, zostały przedstawione jako „nieciągłe”. Obszary, w których udział poszczególnych rodzajów skał jest większy niż 15% powierzchni, zostały odwzorowane jako „skały mieszane węglanowe i ewaporatowi”. Strefy, w których odsłonięte skały krasowiejące „zapadają” pod formacje skał niekrasowiejących, zaznaczono na Mapie czerwonymi trójkątami wskazującymi kierunek niewidocznych skał krasowiejących. Mogą one stanowić głębokie subartezyjskie lub artezyjskie poziomy wodonośne ze słodkimi lub termalnymi wodami podziemnymi.

Wersja cyfrowa WOKAM, a także mapa krasowych poziomów wodonośnych Europy (Chen i in. 2017) przedstawiają dodatkowo inne jednostki reprezentujące niekrasowiejące formacje. Ze względu na przejrzystość wydrukowana mapa świata skupia się na skałach podatnych na krasowienie (Chen, Goldscheider (red.) 2017).

### **Dodatkowe informacje tabelaryczne na temat krasowych poziomów wodonośnych**

WOKAM przedstawia również w postaci tabelarycznej selektywne zestawienie ważnych obiektów krasowych jako źródeł zaopatrzenia w wodę oraz jaskiń. Obejmują one: źródła krasowe wód zimnych, źródła termalne, źródła podwodne, studnie i inne obiekty eksploatujące wody krasowe. Wyboru dokonywano głównie na podstawie ich wydajności w warunkach niskiego przepływu. Uwzględniono również znaczenie regionalne. Na przykład źródło w suchym regionie, które jest wykorzystywane do zaopatrzenia w wodę, ma większe znaczenie regionalne niż

nieeksploatowane źródło w regionie wilgotnym. Nie ujęto na Mapie znanych historycznie dużych źródeł krasowych, które wyschły wskutek przeeksploatowania (np. słynne źródła Bahrajnu).

Wyboru jaskiń przedstawionych na Mapie dokonano jako połączenie dwóch kryteriów: ich wymiarów geometrycznych i znaczenia regionalnego. Duże znaczenie regionalne uzyskały jaskinie będące znaczącymi rezerwuarami wody słodkiej oraz jaskinie, które są najdłuższe lub najgłębsze w dużym regionie krasowym. Wybór jaskiń ze względu na przedstawione kryteria był subiektywny i odzwierciedlał regionalne różnice w dostępności danych. W regionach o dużej gęstości przestrzennej dużych źródeł i jaskiń krasowych dokonano selekcji.

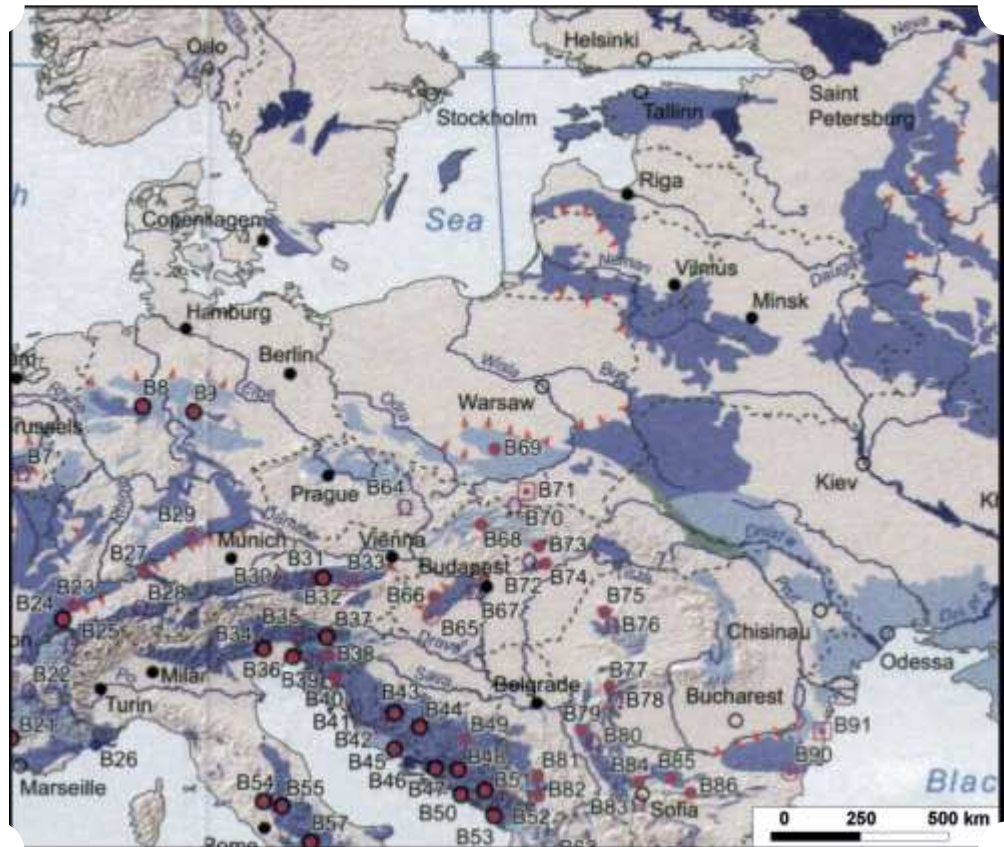
WOKAM pozwala na globalne ujęcie ilościowe systemów krasowych. Zadaniem Mapy jest dostarczenie informacji odnośnie do zasobów wód podziemnych w obszarach krasowych w kontekście globalnych problemów wodnych. Mapa może być użyteczna do rozwiązywania problemów badawczych związanych z krasem w skali globalnej, m.in. związanych ze zmianami klima-

tycznymi, z różnorodnością biologiczną, cyklami geochemicznymi, urbanizacją i rolnictwem (Chen, Goldscheider (red.) 2017).

### OBECNOŚĆ POLSKI NA WOKAM

Wyjściową bazę danych WOKAM dla obszarów krasowych Polski przedstawiono w pozycji (Rózkowski i in. 2015). Końcowe kryteria wyboru obiektów krasowych do lokalizacji na mapie przedstawiały się następująco: źródła stałe – wydajność minimalna 500 L/s; ujęcia wód termalnych z wydajnością >200 L/s i temperaturą >10°C powyżej średniej temperatury powietrza); ujęcia studzienne, z wydajnością >500 L/s. Za główne kryterium na końcowym etapie selekcji źródeł i studni uznano minimalną roczną wydajność (QLF), z wydzieleniem 2 klas:  $QLF \geq 2000$  L/s i  $QLF < 2000$  L/s, z uwzględnieniem ich znaczenia regionalnego, co umożliwiła włączenie do bazy danych także obiektów hydrogeologicznych o mniejszych wydajnościach. Kryteria wyboru jaskiń preferowały systemy jaskiniowe o długości >100 km, głębokości >1000 m, związane z głównym wywierzyiskiem, z których wypływające ciekły są wykorzystywane do celów za-

**Ryc. 1.** Polska na World Karst Aquifer Map (na podstawie (Chen, Goldscheider (red.) 2017))  
**Fig. 1.** Poland on the World Karst Aquifer Map (according to (Chen, Goldscheider (red.) 2017))



**Tabela 1.** Baza danych ujęć studziennych wód szczelinowo – krasowych o wydajnościach >200 L/s i źródeł krasowych trwałych o największych wydajnościach QLS, Projekt World Karst Aquifer Mapping**Table 1.** Well fields in karst with the discharge >200 L/s database and permanent karst springs with the biggest discharge QLS database, World Karst Aquifer Mapping Project (WOKAM)

Lp. No.	Nazwa Name	Lokalizacja / Location				Wydajność / Discharge				Średnia temperatura wody [°C] Mean water temperature [°C]	Średnia lokalna temperatura roczna powietrza [°C] / Local average annual air temperature [°C]	Skład chemiczny wody Water chemistry (średnie wartości) (mean values)		Litologia zbiornika krasowego Lithology of karst aquifer	Uwagi Comments
		Region Region	Współrzędne (PUWG 1992) Coordinate (PUWG 1992)			Min Minimal	Przepływ niski QLS Low flow QLS	Średnia Mean	Max Maximal			Substancje rozpuszczone [mg/l] Total dissolved solids [mg/L]	Przewodność elektryczna [µs/cm] Electric conductivity [µs/cm]		
			X	Y	Wysokość [m n.p.m.] Altitude [m a.s.l.]										
<b>UJĘCIA STUDZIENNE / WELL FIELDS</b>															
1	Kalety / Miasteczko Śląskie - Bibiela	Wyżyna Śląsko- Krakowska	294473 - 298525	496661 - 498515	279-288	-	-	292 (2011.)	926 <sup>1</sup>	10,4	8,0	240-425	461	dolomity	T <sub>2,1</sub>
2	Gliwice Labędy	Wyżyna Śląsko- Krakowska	271727 - 276619	466724 - 478149	213-252	-	-	346 (2011.)	417 <sup>1,2</sup>		8,0	394-879	572-1290	wapienie	T <sub>2,1</sub>
3	Kielce - Białogon	Wyżyna Kielecka	333149 - 334365	608675 - 611170	243-255	-	-	263 (2011.)	289 <sup>1</sup>	10,5	7,4	341-420	522		D <sub>2,1</sub> (w+d)
4	Zakopane – Bańska PGP-1	Centralne Karpaty Zachodnie	170661	573880	672	-	-		154 <sup>1</sup>	86,0	4,0	2690		kompleks litologiczny	Pg-T (w+d)
<b>ŹRÓDŁA / SPRINGS</b>															
1	Wywierzysko Łodowe	Tatry	154543	563145	974	79	328	755	10480	4,5	4,0	119	200	kompleks litologiczny	T <sub>2</sub> (w+d)
2	Wywierzysko Goryczkowa	Tatry	154544	570743	1190	143	310	799	40068	5,0	4,0	59	100	wapienie	T <sub>2</sub>
3	Wywierzysko Olezyjskie	Tatry	155997	572868	1070	126	309	991	36356	4,5	4,0	78	100	dolomity	T
4	Błękitne Źródła	Wyżyna Krakowsko- Częstochowska	322060	533882	246	400	440	514	556	8,5	8,0	342	356	wapienie	grupa źródeł; J <sub>1</sub>

<sup>1</sup> maksymalna wydajność według zatwierdzonych zasobów eksploatacyjnych; <sup>2</sup> maksymalna wydajność według pozwolenia wodnoprawnego; w-wapienie, d-dolomity  
<sup>1</sup> – maximal yield according to the approved exploitable resources; <sup>2</sup> – maximal yield according to the water exploitation permission; w- limestones, d – dolostones

Tabela 2. Inwentaryzacja największych jaskiń w Polsce  
Table 2. Inventory of the largest caves in Poland

<b>Cave name:</b>	<b>Wielka Śnieżna Cave (cave system - Wielka Litworowa Cave; Nad Kotlinami Cave; Jasny Awen Cave; Śnieżna Cave; Wilcza Cave)</b>	<b>Wysoka - za Siedmioma Progami Cave (cave system – Wysoka Cave, Za Siedmioma Progami Cave, Pośrednia Cave)</b>
<b>Country:</b>	Poland	Poland
<b>Geomorphic region:</b>	Central Western Carpathians	Central Western Carpathians
<b>Sub-region</b>	Tatra Mountains	Tatra Mountains
<b>Locality</b>	Małolęczniak Massif	Cracow Gorge
<b>Coordinates:</b>	λ: 19°55'22", 956 E φ: 49°14'23", 794 N the geometric center of cave system z=1906.2m a.s.l. – Wielka Litworowa Cave z=1875.4m a.s.l. – Nad Kotlinami Cave z=1852.1m a.s.l. – Jasny Awen C. z=1700.7 m a.s.l. – Śnieżna C. z=1672.4m a.s.l. – Wilcza C.	λ: 19°53'06", 580 E φ: 49°14'01", 540 N z= 1487m & 1499m a.s.l.
<b>Way of determined coordinates</b>	from <a href="http://jaskinie.pgi.gov.pl">http://jaskinie.pgi.gov.pl</a>	from <a href="http://jaskinie.pgi.gov.pl">http://jaskinie.pgi.gov.pl</a>
<b>Coordinate system</b>	WGS84	WGS84
<b>Surveyed length (total km)</b>	23.723	11.66
<b>Surveyed vertical range (m)</b>	824	435
<b>Stratigraphic system (age)</b>	Cenozoic, Quaternary	Cenozoic, Miocene-Pliocene
<b>Stratigraphic unit</b>	Middle Triassic, Middle Jurassic (Bajocian, Bathonian), Jurassic/Cretaceous (Malm-Neocomian), Cretaceous (Urgonian)	Malm – Neocomian, Urgonian
<b>Lithology</b>	Limestone, dolostone & shale	Limestone
<b>Structural setting</b>	Numerous vertical shafts connected with short horizontal corridors	Axis SW-NE, NW-SE
<b>Hydrology</b>	With temporary and permanent streams	temporary streams
<b>Speleogenesis</b>	Alpine karst, proglacial cave (acc. to Głazek, Rudnicki, Szykiewicz)	vaucluse type of water system circulation
<b>Significance</b>	Longest and deepest cave in Poland; Tatra National Park	Tatra National Park
<b>Scientific citations</b>	Głazek J., Rudnicki J., Szykiewicz A. 1977. Proglacial Caves – a Special Genetic Type of Cave in Glaciated Area. Proceedings 7-th International Congress of Speleology, Sheffield, pp.215-217 Kardaś R., M. 2009. Wielka Śnieżna Cave (in Polish). <a href="http://jaskinie.pgi.gov.pl">http://jaskinie.pgi.gov.pl</a>	Napierała M. 2011. Wysoka Cave (in Polish). <a href="http://jaskinie.pgi.gov.pl">http://jaskinie.pgi.gov.pl</a>
<b>Criteria</b>	representative of the region, large size	representative of the region, large size
<b>Reported by</b>	Adam Polonius email: <a href="mailto:polonius@o2.pl">polonius@o2.pl</a> Jacek Rózkowski email: <a href="mailto:jacek.rozkowski@gmail.com">jacek.rozkowski@gmail.com</a>	Adam Polonius email: <a href="mailto:polonius@o2.pl">polonius@o2.pl</a> Jacek Rózkowski email: <a href="mailto:jacek.rozkowski@gmail.com">jacek.rozkowski@gmail.com</a>

opatrzenia w wodę i przez ekosystemy, o wyjątkowym znaczeniu regionalnym.

W końcowym etapie kwalifikacyjnym potencjalnymi obiektami do lokalizacji na WOKAM były na obszarze Polski: cztery źródła (Lodowe, Goryczkowe, Olczyńskie w Tatrach, Błękitne Źródła na Wyżynie Częstochowskiej), trzy ujęcia studzienne (Kalety – Miasteczko Śląskie – Bibiela, Gliwice Łabędy, Kielce Białogon), jedno ujęcie wód termalnych Zakopane Bańska PGP-1, dwie jaskinie (system Wielkiej Śnieżnej i system Wysokiej za Siedmioma Progami) (tab. 1, 2). Na WOKAM znalazły się ostatecznie trzy hydrologiczne obiekty krasowe z obszaru Polski: Błękitne Źródła, jaskinia Wielka Śnieżna

i ujęcie wód termalnych Zakopane Bańska PGP-1, sygnowane na Mapie odpowiednio B69, B70 i B71 (ryc. 1).

## BIBLIOGRAFIA

- Chen Z. i in., 2017 – The World Karst Aquifer Mapping project: Concept, mapping procedure and map of Europe. *Hydrogeology Journal*, May 2017, vol. 25, issue 3, s. 771-785.
- Chen Z., Goldscheider N. (red.), 2017 – The World Karst Aquifer Map 1:40 000 000. BGR, IAH, KIT, UNESCO. Berlin, Reading, Karlsruhe, Paris.
- Hartmann J., Moosdorf N., 2012 – The new global lithological map database GLiM: A representation

of rock properties at the Earth surface. *Geochemistry Geophysics Geosystems*. AN AGU Journal, Dec. 2012, vol. 13, issue 12.

Różkowski J., Grabala D., Polonius A., 2015 – Polska w projekcie World Karst Aquifer Mapping Project (WOKAM). *Przeł. Geol.*, t. 63, nr 10/2, MŚ. PIG-PIB, Warszawa, s. 1042-1046.

Stevanović Z., Goldscheider N., Chen Z., The WOKAM

Team, 2016 – WOKAM – The World Karst Aquifer Mapping Project, Examples from South East Europe, Near and Middle East and Eastern Africa, [w:] Z. Stevanovic, N. Kresic, N. Kukuric (red.), *Karst without Boundaries*. IAH Selected Papers on Hydrogeology, vol. 23. Boca Raton, Florida: CRC Press, s. 39-51.