

## PROPOZYCJA KLASYFIKACJI STANU ZACHOWANIA SIEDLISK HYDROGENICZNYCH NA PODSTAWIE WSKAŹNIKÓW HYDROGEOCHEMICZNYCH

### PROPOSAL FOR A CLASSIFICATION OF HYDROGENOUS HABITATS STABILITY STATEMENT BASED ON HYDROGEOCHEMICAL INDICATORS

KRZYSZTOF JÓZWIAK<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule przedstawiono wyniki badań składu chemicznego wód podziemnych 59 siedlisk hydrogenicznych występujących w Polsce w 2016 r. W ramach pracy zebrano i przestudiowano dostępne informacje z zakresu ochrony środowiska i hydrogeologii (mapy MHP, PPW-WH, PPW-WJ, dokumentacje zasobowe, GZWP, baza danych Antropopresja). Dane te pozwoliły na wstępną ocenę rodzaju i zasięgu wpływów antropogenicznych na badane ekosystemy zależne od wód podziemnych. Spośród 59 punktów, biorąc pod uwagę rodzaj potencjalnego zagrożenia siedliska, 31 z nich zakwalifikowano jako podlegające zagrożeniom antropogenicznym, pozostałe 28 – jako podlegające wyłącznie czynnikom geogenicznym. Jako wskaźnik wpływów antropogenicznych, poza statystycznym opracowaniem wyników modelu specyjacyjnego, zastosowano „wskaźnik uranowy” i „wskaźnik chlorkowy”. Te dwa elementy, uzupełniając się nawzajem, dają wiarygodne wyniki oceny klasy zachowania ekosystemu. Spośród ocenianych siedlisk, aż 61% zakwalifikowano do siedlisk przekształconych antropogenicznie.

**Słowa kluczowe:** chemizm wód podziemnych, siedlisko hydrogeniczne, modelowanie specyjacyjne, wskaźniki hydrogeochemiczne.

**Abstract.** The paper presents research results of groundwater chemical composition of 59 hydrogenous habitats in Poland in 2016. The work the available information on environmental protection and hydrogeology was collected and studied (*Hydrogeological Maps of Poland on the scale of 1:50,000 – Main Useful Aquifer*, *Hydrogeological Maps of Poland on the scale of 1:50,000: First Aquifer – Extent and Hydrodynamics*, *Hydrogeological Maps of Poland on the scale of 1:50,000: First Aquifer – Groundwater Vulnerability and Water Quality*, hydrogeological documentation defining safe yield and Major Groundwater Basins (MGB), anthropopressure database). This data allowed an initial assessment of the type and range of anthropogenic impact on the examined groundwater-dependent ecosystems. Considering the type of potential hazard at 59 points, 31 were classified as subjected to anthropogenic hazards, while the remaining 28 points are subjected to geogenic factors. As an indicator of anthropogenic impact, in addition to the statistical development of the results of the speciation model, the so-called “uranium indicator” and “chloride indicator” were used. These two complementary elements provide credible results of the ecosystem class assessment. Among the assessed habitats (probably degraded), as many as 61% were classified into anthropogenically transformed habitats based on spatiational differentiation.

**Key words:** groundwater chemistry, hydrogenous habitat, speciation modeling, hydrogeochemical indicator.

### WSTĘP

Ochrona ekosystemów wodnych oraz lądowych od wód zależnych, ze względu na ich ogromne znaczenie przyrodnicze oraz dużą wrażliwość na zmiany warunków wodnych, jest jednym z najważniejszych zagadnień Polityki Wodnej Państwa 2030 (PWP 2030), Ramowej Dyrektywy Wodnej

(Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r.), Dyrektywy Siedliskowej (Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory) (Okruszko, 1991; Matuszkiewicz, 2001; Ilnicki, 2002; Kosturkiewicz i in., 2002; Borysiak, 2004; Sokołowski, Czerepko, 2005; TECHMEX, 2009a, b; Łachacz, 2010;

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; e-mail: krzysztof.jozwiak@pgi.gov.pl.

Mróz, 2010, 2012a, b, 2015; Czerepko, 2011). Zachowanie właściwego stanu ochrony ekosystemów wodnych oraz lądowych zależnych od wody wymaga określenia ryzyka nieosiągnięcia założonych celów ochronnych z przyczyn istotnych przekształceń antropogenicznych warunków wodnych.

Pojęcie „właściwy stan ochrony siedlisk przyrodniczych” wprowadzono Dyrektywą Siedliskową. Za właściwy uznaje się stan, w którym:

- naturalny zasięg siedliska jest stały lub się powiększa;
- siedlisko zachowuje specyficzną strukturę i funkcje konieczne do jego trwania w dłuższej perspektywie czasowej i można przypuszczać, że zachowa je w dającej się przewidzieć przyszłości;
- stan ochrony gatunków typowych dla siedliska również jest właściwy.

## METODY BADAŃ

Do badań wytypowano 59 obiektów (ekosystemy wodne zależne od wód podziemnych), które wg danych z punktów sieci monitoringu krajowego (baza MONBADA) mogły być

narazone na oddziaływania antropogeniczne. Wśród badanych siedlisk były torfowiska – 23 obiekty, namuliska – 12 obiektów, podmokliska – 14 obiektów i mułowiska – 10 obiektów. W okresie kwiecień–sierpień 2016 r. określono warunki hydrogeologiczne na obszarach chronionych oraz antropogeniczne zmiany chemizmu wód podziemnych, mogące niekorzystnie oddziaływać na ekosystemy lądowe, szczególnie zależne od wód podziemnych.

W wyniku przeprowadzonej terenowej identyfikacji antropopresji wraz z oceną oddziaływania chemicznego wszystkie wytypowane punkty zaaprobowano do dalszej analizy, w tym poboru próbek wody do analiz fizykochemicznych (fig. 1).

Badania terenowe obejmowały pomiar głębokości występowania zwierciadła wody podziemnej oraz pobranie próbki wody i jej wstępne analizy zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami (Witczak i in., 2013). Bezpośrednio w terenie mierzono: temperaturę wody, odczyn pH oraz przewodność elektrolityczną właściwą (PEW). Filtrowane i zakwaszane były tylko próbki przeznaczone do oznaczeń kationów i DOC. Badania składu chemicznego miały miejsce w Centralnym Laboratorium Chemicznym Państwowego Instytutu Geologicznego – PIB.

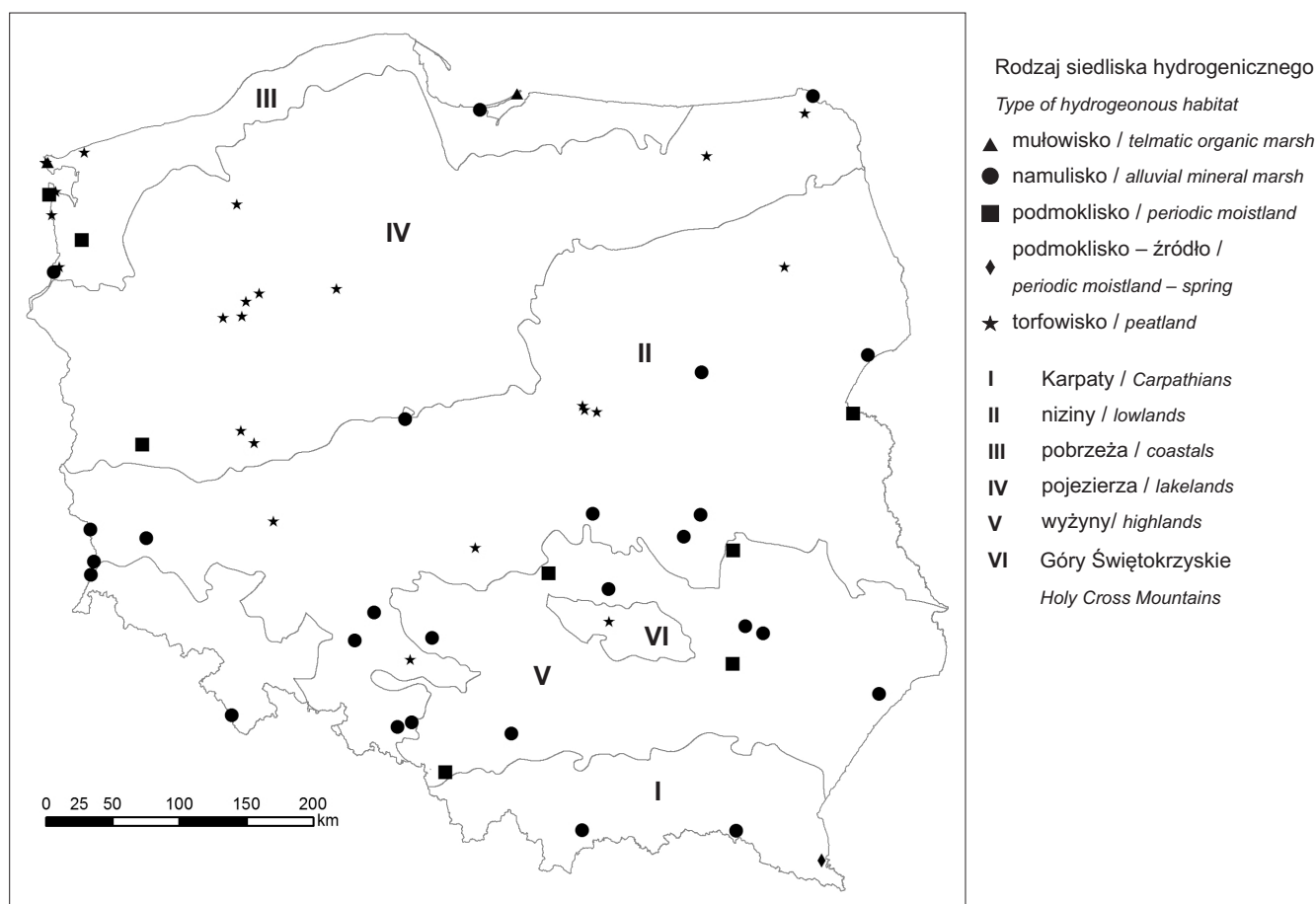


Fig. 1. Opróbowane ekosystemy zależne od wód podziemnych w 2016 r. (K. Józwiak, T. Solovey)

Groundwater dependent ecosystems (GDI) tested in 2016 (K. Józwiak, T. Solovey)

Zakres badań analitycznych obejmował 42 składniki wód podziemnych. Wskaźniki podstawowe – zasadowość ogólna,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Al}$ . Wskaźniki dodatkowe – OWO,  $\text{F}$ ,  $\text{B}$ ,  $\text{Sb}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Ba}$ ,  $\text{Be}$ ,  $\text{Br}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Sn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Li}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Co}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{Se}$ ,  $\text{Ag}$ ,  $\text{Ta}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{U}$ ,  $\text{W}$ ,  $\text{CN}$ , fenole lotne.

W celu określenia występowania specjacji w poszczególnych obiektach badawczych zastosowano modelowanie specjacyjno-rozpuszczalnościowe. Rozkład specjacji obliczono za pomocą programu PHREEQC ze zmodyfikowaną bazą wateq4f.

W wykonanych modelach hydrogeochemicznych oznaczono, w zakresie odnotowanych stężeń substancji, ich formy specjacyjne w badanych środowiskach oraz określono zdolność oddziaływania wód podziemnych na ośrodek skalny.

Jako miarę zdolności wód do rozpuszczania skał przyjęto wskaźnik nasycenia wód względem faz mineralnych tworzących szkielet skalny (SI). W pracy przyjęto standardowe pojęcie granic wskaźnika nasycenia. Założono, że granice stanu równowagi ( $\text{SI} = 0$ ) wynoszą  $\pm 5\% \log k$  danej reakcji. Wartości dodatnie większe od wartości  $+5\% \log k$  świadczą o potencjalnych możliwościach do wytrącania (ewentualnie neutralnym zachowaniu minerału względem wód podziemnych). Wartości ujemne, mniejsze od  $-5\% \log k$  świadczą o warunkach, w których może zachodzić potencjalne rozpuszczanie minerału.

### WYNIKI BADAŃ – KLASYFIKACJA STANU ZACHOWANIA BADANYCH SIEDLISK

Spośród 59 punktów, biorąc pod uwagę rodzaj potencjalnego zagrożenia siedliska, na podstawie materiałów kartograficznych (MHP, PPW i in.; Mikołajków, Sadurski, 2017),

31 zakwalifikowano jako podlegające zagrożeniom antropogenicznym, pozostałe 28 – jako podlegające wyłącznie czynnikom geogenicznym (jest to założenie upraszczające – warunki naturalne są w tym przypadku modyfikowane przez zanieczyszczenia przenoszone drogą atmosferyczną).

Do oceny wzięto pod uwagę parametry fizykochemiczne wód podziemnych, które w wodach w obrębie badanego siedliska były wyraźnie wyższe (o ponad rząd wielkości) w stosunku do wartości tego samego parametru badanego w punkcie sieci monitoringu chemicznego (baza danych monitoringu wód podziemnych PIG-PIB).

Spośród zbadanych punktów, 23 zakwalifikowano jako punkty o znaczącym zróżnicowaniu specjacji powyższych wskaźników nieorganicznych. Jako „znaczące zróżnicowanie” przyjęto występowanie powyżej trzech specjacji danego pierwiastka. Przy czym przeważający udział ma zazwyczaj jedna forma (najczęściej ponad 50%). Zmiany wywołane antropopresją w takich rejonach (przy braku zmian stężeń analitycznych) wywołują zaburzenia w rozkładzie poszczególnych form. Zaburzenia te są obserwowane w dwu formach: [1] ilość specjacji pozostaje mniej więcej stała, zmianie ulegają tylko proporcje między nimi; [2] zmianie ulegają nie tylko proporcje między dominującymi specjacjami, ale również wzrasta ilość specjacji (Jóźwiak, 2013).

Spośród ww. 23 punktów, 4 zaliczają się do punktów o charakterze geogenicznym (pkt MONBADA o nr 12, 399, 793, 2502). Pozostałe punkty (pkt MONBADA o nr 154, 485, 496, 608, 764, 1375, 1399, 1425, 1457, 1481, 1505, 1514, 1527, 1590, 1592, 1751, 1753, 1828, 1894) są punktami w obszarach podlegających presji antropogenicznej.

W tabeli 1 w kolumnie 4 przedstawiono jako przykład tylko specjacje pierwiastków, których stężenia w wodach były znacząco wyższe niż w monitoringu chemicznym. Do wskaźników nieorganicznych zaliczono:  $\text{Al}$ ,  $\text{As}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{F}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{U}$ .

Tabela 1

#### Ocena stopnia funkcjonowania ekosystemu – wybrane przykłady Ecosystem functioning assessment – selected examples

Nr MONBADA	Rodzaj potencjalnego zagrożenia siedliska (G – geogeniczne, A – Antropogeniczne)	Parametr w środowisku który kwalifikował wody do IV lub V klasy	Specjacje – o zawartości ponad 1% całkowitej zawartości pierwiastka		Wskaźnik uranowy	Wskaźnik chlorkowy	Klasa funkcjonowania ekosystemu	
1	2	3	4		5	6	7	
12	G	As, $\text{NH}_4$ , $\text{HCO}_3$	As(3)+(5)	$\text{H}_3\text{AsO}_3$	98%	60%	348%	0
				$\text{H}_2\text{AsO}_3^-$	2%			
				$\text{HAsO}_4^{2-}$	67%			
				$\text{H}_2\text{AsO}_4^-$	33%			
			C(4)	$\text{HCO}_3^-$	88%			
				$\text{CO}_2$	8%			
				$\text{CaHCO}_3^+$	3%			
N(-3)	$\text{NH}_4^+$	99%						
	$\text{NH}_3$	1%						
399	G	Al	Al	$\text{Al}(\text{OH})_4^-$	83%	175%	9%	3
				$\text{Al}(\text{OH})_3$	9%			
				$\text{Al}(\text{OH})_3$	7%			

Tabela 1 cd.

1	2	3	4			5	6	7
1140	A	pH, TOC, NO <sub>3</sub> , K	K	K <sup>+</sup>	100%	50%	5%	4
			N(5)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	100%			
				NH <sub>3</sub>	1%			
				NH <sub>4</sub> SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	1%			
1592	A	pH, Al	Al	Al <sup>+3</sup>	35%	100%	42%	3
				AlOH <sup>+2</sup>	30%			
				Al(OH) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	21%			
				AlSO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	10%			
				AlF <sup>+2</sup>	4%			
1751	A	pH, NH <sub>4</sub> , Al, Fe, TOC, Mn	Al	Al(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	53%	78%	574%	0
				Al(OH) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	23%			
				AlF <sub>2</sub> <sup>+</sup>	9%			
				Al(OH) <sub>3</sub>	9%			
				AlF <sup>+2</sup>	3%			
				AlOH <sup>+2</sup>	1%			
				AlF <sub>3</sub>	1%			
			Fe(2)+(3)	Fe <sup>+2</sup>	89%			
				FeHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	10%			
				Fe(OH) <sub>2</sub> <sup>+</sup>	74%			
				Fe(OH) <sub>3</sub>	26%			
			Mn(2)+(3)	Mn <sup>+2</sup>	90%			
				MnHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	9%			
				MnCO <sub>3</sub>	1%			
				Mn <sup>+3</sup>	100%			
			N(-3)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	100%			
			Ni	H <sub>2</sub> AsO <sub>3</sub>	2%			
				HAsO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	70%			
				H <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	30%			
				NiCO <sub>3</sub>	93%			
Ni <sup>+2</sup>	5%							
NiHCO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	1%							
Ni(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>-2</sup>	1%							
2217	A	As	As(3)+(5)	H <sub>3</sub> AsO <sub>3</sub>	98%	226%	189%	1
				H <sub>2</sub> AsO <sub>3</sub>	2%			
				HAsO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	70%			
				H <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	30%			
				Al(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	29%			
				Al(OH) <sub>3</sub>	10%			
				AlOH <sup>+2</sup>	5%			
			AlF <sup>+2</sup>	3%				
			AlF <sub>2</sub> <sup>+</sup>	1%				
			As(3)+(5)	H <sub>3</sub> AsO <sub>3</sub>	1%			
				H <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	90%			
HAsO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	10%							

Jako **wskaźnik stopnia funkcjonowania badanych ekosystemów** przyjęto wzajemny stosunek zawartości uranu w wodach podziemnych i wodach badanego siedliska wg formuły („wskaźnik uranowy”):

$$\text{wskaźnik uranowy} = \frac{\text{stężenie uranu w punkcie MONBADA}}{\text{stężenie uranu w badanym siedlisku}}$$

Uran przyjęto jako pierwiastek występujący w ilościach śladowych, występujący rzadko w zanieczyszczeniach antropogenicznych (poza nawozami fosforowymi) i podlegający stosunkowo niewielkiej sorpcji. Jest równocześnie stosunkowo łatwo oznaczalny, przy niskiej granicy oznaczalności i wysokiej precyzji oznaczeń.

Należy do pierwiastków słabo migrujących w wodach w warunkach redukcyjnych, gdzie występuje jako czterododatni. Lepsze warunki do migracji uranu stanowią warunki utleniające, gdzie występuje na szóstym stopniu utlenienia. W typowych, obojętnych lub słabo alkalicznych wodach naturalnych strefy aktywnej wymiany uran występuje w formie kationów UO<sub>2</sub><sup>+2</sup> i UO<sub>2</sub>OH<sup>+</sup>, tworzy także często kompleksowe jony z węglanami. Naturalne tło hydrogeochemiczne zawiera się w zakresie 0,003–3,000 µg/dm<sup>3</sup>. Źródłem podwyższonych stężeń uranu w wodach podziemnych mogą być: naturalne stężenie w rejonie złóż uranowych oraz zanieczyszczenia antropogeniczne, związane z rejonami wydobywania i przeróbki złóż uranu, w strefach odpływu ścieków z elektrowni jądrowych, ale także fabryk produkujących na-

wozy fosforowe i w rejonie elektrowni spalających węgiel lub ropę naftową (Witczak i in., 2013). Z ww. obiektów w Polsce występują pojedyncze obiekty – fabryki produkujące nawozy fosforowe i elektrownie spalające węgiel lub ropę naftową. W związku z tym przyjęto, że uran w antropogenicznym obiegu pierwiastków będzie wiarygodnym wskaźnikiem na skalę Polski.

Wobec powyższego, założono, że w czynnym, aktywnie funkcjonującym ekosystemie, przy znaczącej wartości kompleksu sorpcyjnego gruntów (w których dominuje materia organiczna) stężenia uranu w wodach siedliska na skutek sorpcji będą niższe niż w wodach podziemnych dopływających do siedliska. Utrzymując także założenie, że siedlisko jest w pełni zależne od wód podziemnych, stosunek uranu w wodach podziemnych do wód w siedlisku  $>1$  daje pewność, że w obrębie siedliska część uranu dopływająca z wodami podziemnymi jest sorbowana, co zmniejsza jego stężenia w wodach siedliska. Z kolei stosunek  $<1$  wskazuje na wzbogacenie wód w siedlisku w uran. W badanych ekosystemach jest to najprawdopodobniej związane z etapem mineralizacji substancji organicznej i uwalnianiem zasorbowanego uranu do wód. Oczywiście zakłada się, że w różnych typach ekosystemów (torfowiska, namuliska, podmokliska i mułowiska) zawartość uranu jest różna. Jednak badano stosunek względny uranu w wodach podziemnych i wodach siedliska, co niejako zawiera w sobie lokalne uwarunkowania środowiskowe zawartości uranu w poszczególnych obiektach.

Drugim wskaźnikiem był stosunek stężeń chlorków w wodach podziemnych w punkcie MONBADA do ich zawartości w wodach badanego siedliska („wskaźnik chlorkowy”). Ze względu na geochemiczny obieg chloru w przyrodzie, zbliżone wartości w obydwu środowiskach świadczą o wymianie wód i fakcie zależności ekosystemu od wód podziemnych. Przy znacząco niższych stężeniach jonów chlorkowych w wodach badanego siedliska należy założyć, że występuje pewna rozdzielność i najprawdopodobniej w zasilaniu ekosystemu dominują wody opadowe o niskich stężeniach tego jonu (nie można wykluczyć innych zależności np. znacznego zanieczyszczenia wód podziemnych jodem chlorkowym). Znacząco wyższe stężenia jonów chlorko-

wych w wodach badanego siedliska mogą być spowodowane czynnikami antropogenicznymi, parowaniem wód z obrębu siedliska (przekraczającym zasilanie wodami opadowymi) lub parowaniem połączonym z utratą połączenia ze zwierciadłem wód podziemnych (np. na skutek niżówki hydrogeologicznej), aerozolami morskimi lub ascenzją. Jednak badany stosunek względny stężenia jonów chlorkowych w wodach podziemnych i wodach siedliska, zawiera w sobie lokalne uwarunkowania środowiskowe zawartości tego związku w poszczególnych ekosystemach.

Jako ocenę końcową przyjęto następujący schemat funkcjonalny (tab. 2). Do klasy 0 zaliczono 14 ekosystemów zależnych od wód. Klasa 1 – 7 zbiorowisk, klasa 2 – 1 punkt, klasa 3 – 6 obiektów, klasa 4 – 31 ekosystemów zależnych od wód, zakwalifikowanych głównie na podstawie stężeń uranu. Spośród siedlisk w klasie 4 (prawdopodobnie zdegradowanych), aż 61% z nich charakteryzowało się zaliczeniem ich na podstawie rozkładu specjacji do siedlisk przekształconych antropogenicznie.

## PODSUMOWANIE

W ramach pracy zebrano i przestudiowano dostępne informacje z zakresu ochrony środowiska (Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska – GDOŚ, Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska – RDOŚ, Parki Narodowe, Parki Krajobrazowe, Rezerваты, obszary Natura 2000) o lokalizacji, stanie zachowania oraz istniejących i potencjalnych zagrożeniach dla właściwego stanu ochrony siedlisk hydrogeniczych w wybranych punktach. Materiały kartograficzne (*Mapa hydrogeologiczna Polski* (MHP), *Mapa hydrogeologiczna Polski – pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika* (PPW-WH), *Mapa hydrogeologiczna Polski – pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód* (PPW-WJ) i inne opracowania (dokumentacje zasobowe, dokumentacje hydrogeologiczne, GZWP, baza danych Antropopresja) pozwoliły na wstępną ocenę rodzaju i zasięgu wpływów antropogenicznych na badane ekosystemy zależne od wód podziemnych.

**Tabela 2**

### Klasy funkcjonowania ekosystemu

Ecosystem functioning classifications

Klasa ekosystemu	Opis funkcjonowania ekosystemu	Stosunek stężenia uranu w wodach podziemnych do stężenia w wodach podziemnych siedliska	Stosunek stężenia chlorków w wodach podziemnych do stężenia w wodach siedliska
0	ekosystem funkcjonuje głównie jako ekosystem ombrogeniczny	nie określono	$> 300\%$
1	ekosystem w pełni funkcjonujący (naturalny)	$> 120\%$	$> 80\%$
2	ekosystem w stanie przejściowym, posiada ograniczony kontakt z wodami podziemnymi, dominuje zasilanie infiltracyjne	80–120%	$> 80\%$
3	ekosystem w stanie przejściowym, zależny od wód podziemnych z dominacją zasilania lateralnego lub zasilaniem mieszanym (silna zależność stanów wód podziemnych od wielkości opadów)	80–120%	$< 80\%$
4	siedlisko prawdopodobnie zdegradowane	$< 80\%$	$< 80\%$



W przeprowadzonej terenowej weryfikacji dokonano końcowej identyfikacji wpływów antropogenicznych na stan wód podziemnych w kontekście zagrożeń dla właściwego stanu ochrony siedlisk przyrodniczych zależnych od wód podziemnych na wybranych obszarach chronionych.

Spośród 59 punktów, biorąc pod uwagę rodzaj potencjalnego zagrożenia siedliska, 31 zakwalifikowano jako podlegające zagrożeniom antropogenicznym, pozostałe 28 – jako podlegające wyłącznie czynnikom geogenicznym. Na podstawie oznaczeń parametrów fizycznochemicznych pobranych próbek wód podziemnych podjęto próbę określenia udziału procesów geogenicznych i/lub antropogenicznych w składzie wód w badanych punktach na drodze modelowania hydrogeochemicznego.

Opierając się na statystycznej ocenie rozkładu specjacji w wodach podziemnych, stwierdzono, że w badanych systemach hydrogeologicznych, niezależnie od zmiany stężeń składników w wodach, wzajemny stosunek poszczególnych specjacji nie ulega większym zmianom. Zmiany pojawiają się w przypadku specjacji pierwiastka na skutek dominującego procesu hydrogeochemicznego, który będzie kształtował chemizm wód podziemnych.

W związku z takim założeniem zmiany procentowego udziału specjacji wskazują na zmiany w systemie hydrogeologicznym (mieszanie się wód lub wpływ antropopresji).

W obszarach uznanych za naturalne zazwyczaj dominuje od jednej do trzech specjacji danego pierwiastka. Przy czym przeważający udział ma jedna forma (najczęściej ponad 50%).

W pierwszym, początkowym etapie przekształceń antropogenicznych, zmiany wywołane antropopresją nie powodują zauważalnej zmiany stężeń analitycznych. Natomiast zmiany te wywołują zaburzenia w rozkładzie poszczególnych specjacji. Zaburzenia te są obserwowane w dwu typach zmian:

- ilość specjacji pozostaje mniej więcej stała, zmianie ulegają tylko proporcje między nimi;
- zmianie ulegają nie tylko proporcje między dominującymi specjacjami, ale również wzrasta ilość specjacji.

Zaproponowane „wskaźnik uranowy” i „wskaźnik chlorokowy” na podstawie opisu stanu zachowania ekosystemu zależnego od wód podziemnych i rozpoznania oddziaływań, wydaje się, przy tak niewielkim próbkowaniu (59 obiektów) że dają stosunkowo wiarygodne wyniki oceny klasy zachowania ekosystemu.

## LITERATURA

- BAZA danych – ANTROPOPRESJA, wersja elektroniczna PIG-PIB (dostęp: 30.03.2019 r.).
- BAZA danych monitoringu wód podziemnych PIG-PIB, wersja elektroniczna PIG-PIB (dostęp: 30.03.2019 r.).
- BORYSIAK J., 2004 – Zalewane muliste brzegi rzek. *W:* (red. J. Herbich). Wody słodkie i torfowiska. Poradniki ochrony siedlisk i gatunków NATURA 2000 – podręcznik metodyczny. T. 2. Min. Środ., Warszawa.
- CZEREPEKO J., 2011 – Zmiany roślinności na siedliskach mokradeł leśnych północno-wschodniej Polski. *Pr. Inst. Bad. Leśn., Rozpr. i Monogr.*, **16**: 198–210.
- DUDA R., WITCZAK S., ŻUREK A., 2011 – Mapa wrażliwości wód podziemnych Polski na zanieczyszczenie 1:500 000. Wydaw. Min. Środ.
- DYREKTYWA Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 r.
- DYREKTYWA Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory.
- ILNICKI P., 2002 – Torfowiska i torf. Wydaw. Akad. Roln. im. A. Cieszkowskiego w Poznaniu.
- JÓŹWIAK K., 2013 – Zastosowanie modelowania geochemicznego do oceny stopnia murszenia gleb – na przykładzie Kampinoskiego Parku Narodowego. *W:* Konf.: Środowisko glebotwórcze i gleby dolin rzecznych. Ustka 10–12 czerwca 2013 r.
- KOSTURKIEWICZ A., CZOPOR S., KORYTOWSKI M., STASIK R., SZAFRAŃSKI C., 2002 – Stany wody gruntowej i siedliska w małej zmeliorowanej zlewni leśnej. *Rocz. Akad. Roln. w Poznaniu, Melior. Inż. Śród.*, **338**: 41–53.
- ŁACHACZ A., 2010 – Wskazania dla obszarów hydrogenicznych – wpływ prognozowanych zmian zasobów wodnych i bilansu wodnego na gatunki i ekosystemy najsilniej zależne od warunków hydrologicznych. Seminarium „Bioróżnorodność a zmiany klimatyczne – zagrożenia, szanse, kierunki działań”. Min. Środ., 25.11.2010.
- MAPA hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000, Warszawa, wersja elektroniczna PIG-PIB (dostęp: 30.03.2019 r.).
- MAPA hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000 – pierwszy poziom wodonośny – występowanie i hydrodynamika, Warszawa, wersja elektroniczna PIG-PIB (dostęp: 30.03.2019 r.).
- MAPA hydrogeologiczna Polski w skali 1:50 000 – pierwszy poziom wodonośny – wrażliwość na zanieczyszczenie i jakość wód, Warszawa, wersja elektroniczna PIG-PIB (dostęp: 30.03.2019 r.).
- MATUSZKIEWICZ J.M., 2001 – Zespoły leśne Polski. Wydaw. Nauk. PWN, Warszawa.
- MIKOŁAJKÓW J., SADURSKI A. (red. nauk.), 2017 – Informator Główne Zbiorniki Wód Podziemnych w Polsce. Wydaw. PIG-PIB.
- MRÓZ W. (red.), 2010 – Monitoring siedlisk przyrodniczych. Przewodnik metodyczny. Cz. I. GIOŚ, Warszawa.
- MRÓZ W. (red.), 2012a – Monitoring siedlisk przyrodniczych. Przewodnik metodyczny. Cz. II. GIOŚ, Warszawa.
- MRÓZ W. (red.), 2012b – Monitoring siedlisk przyrodniczych. Przewodnik metodyczny. Cz. III. GIOŚ, Warszawa.
- MRÓZ W. (red.), 2015 – Monitoring siedlisk przyrodniczych. Przewodnik metodyczny. Cz. IV. GIOŚ, Warszawa.
- PWP, 2030 – Projekt Polityki Wodnej Państwa do roku 2030 (z uwzględnieniem etapu 2016). Internet: <https://www.kzgw.gov.pl/index.php/pl/materialy-informacyjne/programy/projekt-polityki-wodnej-panstwa-do-roku-2030> (dostęp: 30.03.2019 r.).
- OKRUSZKO H., 1991 – Przeobrażanie się mokradeł pod wpływem odwodnienia. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.*, **372**: 251–269.
- PORADNIKI ochrony siedlisk i gatunków NATURA 2000 – podręcznik metodyczny. T. 1–5. Min. Środ., Warszawa.
- SOKOŁOWSKA A., W., CZEREPEKO J., 2005 – Zmiany roślinności na siedliskach hydrogenicznych. *Leśne Pr. Badaw.*, **3**: 77–85.
- TECHMEX S.A, IMUZ, 2009a – Ekosystemy lądowe pozostające w dynamicznych relacjach z wodami podziemnymi i powierzchniowymi dla obszarów dorzeczy w Polsce (z wyłączeniem regionu wodnego Warty). Cz. I. Arch. KZGW, Warszawa.

TECHMEX S.A, IMUZ, 2009b – Ekosystemy lądowe pozostające w dynamicznych relacjach z wodami podziemnymi i powierzchniowymi dla obszarów dorzeczy w Polsce (z wyłączeniem regionu wodnego Warty). Cz. II. Arch. KZGW, Warszawa.

WITCZAK. S., KANIA J., KMIECIK E., 2013 – Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych i metod ich oznaczania. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.

## SUMMARY

The study included collection and analysis of available information on environmental protection, as well as cartographical materials about the location, condition, and existing and potential hazards for the proper protection condition of hydrogenous habitats at selected points (*Hydrogeological Maps of Poland on a scale of 1:50,000 – Main Useful Aquifer*, *Hydrogeological Maps of Poland on a scale of 1:50,000: First Aquifer – Extent and Hydrodynamics*, *Hydrogeological Maps of Poland on a scale of 1:50,000: First Aquifer – Groundwater Vulnerability and Water Quality*, hydrogeological documentation defining safe yield and Major Groundwater Basins (MGB)). This allowed an initial assessment of the type and range of anthropogenic impact on the examined groundwater-dependent ecosystems.

During the field jobs, anthropogenic impact on the groundwater condition was identified in terms of hazards for the proper protection of groundwater-dependent ecosystems in the selected protected areas.

Considering the type of potential hazard at 59 points, 31 were classified as subjected to anthropogenic hazards, while the remaining 28 points are subjected only to geogenic factors.

Based on determination of physicochemical parameters of the groundwater samples an attempt was made to evaluate the contribution of geogenic and/or anthropogenic processes to the water composition in the selected points through hydrogeochemical modelling.

On the basis of statistical assessment of speciation differentiation in groundwater it was found that, regardless of

the change in concentrations of elements in water, the contribution of the particular speciations, and their mutual relation, in the studied hydrogeological systems does not change significantly. Such changes occur in the case of speciation of an element that appears in groundwater as a result of the dominant hydrogeochemical process, which will shape the groundwater chemistry.

Therefore, the changes of the percentile contribution of speciation indicate the changes in the hydrogeological system (water mixing or anthropopressure influence).

In the area considered as natural, there are mainly 1–3 speciations of the particular element. However, one form of speciations predominates (mostly over 50%). The changes caused by anthropopressure (in absence of changes in analytical concentrations) trigger disturbances in the distribution of particular forms. These perturbations occur in two variants:

- the amount of the speciations remains quite stable, only the proportions between them change;
- not only the proportions between the dominant speciations change, but also the number of the speciations increases.

Fourteen water dependent ecosystems were classified into class 0. The 1<sup>st</sup> class is represented by 7 ecosystems, 2<sup>nd</sup> class – by 1 point, 3<sup>rd</sup> class – by 6, and the 4<sup>th</sup> class – by 31 ecosystems, based mostly on the uranium concentrations. Among the habitats included in the 4<sup>th</sup> class (probably degraded), as many as 61% were classified into anthropogenically transformed habitats based on speciations differentiation.

