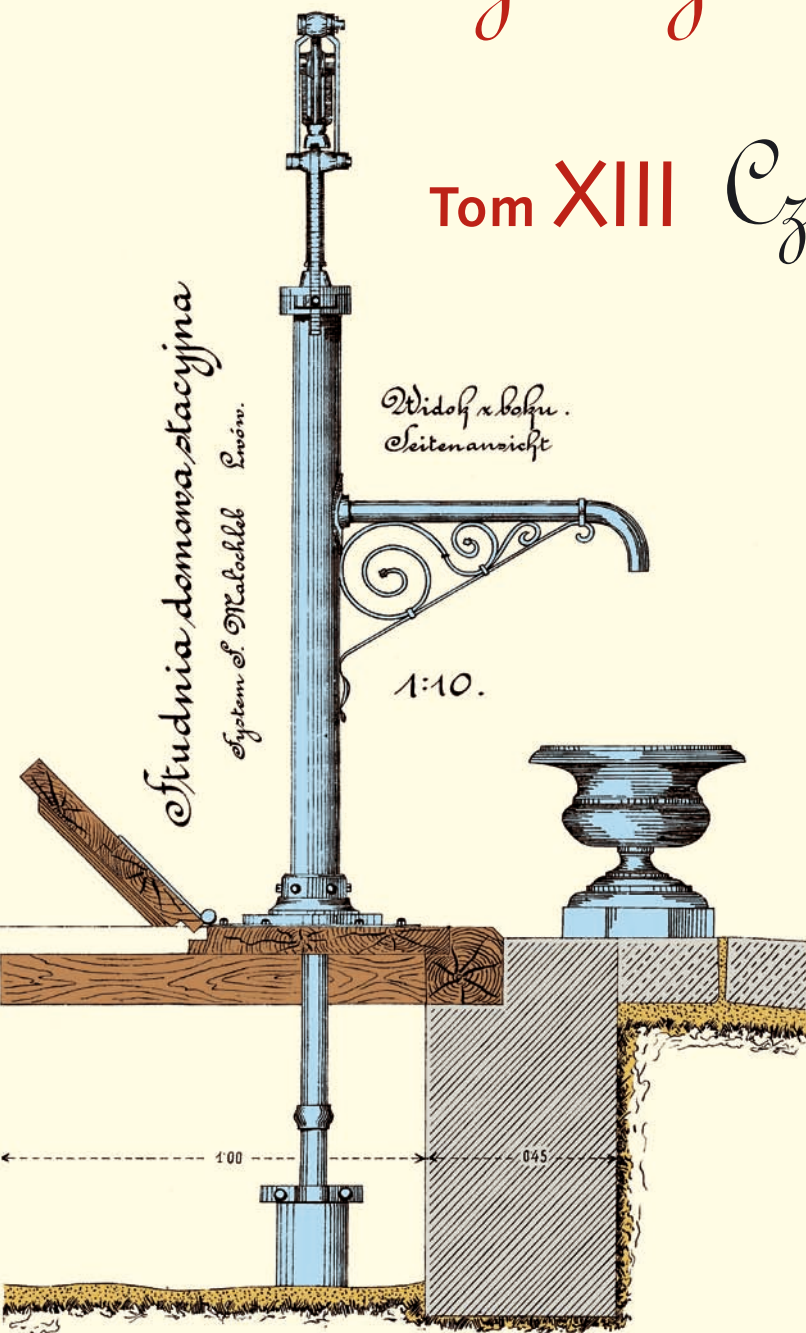


Współczesne problemy hydrogeologii

Tom XIII Część 3.



Copyright © Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH, Kraków 2007



Wydanie publikacji zostało sfinansowane przez
Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Recenzenci:

Jadwiga Szczepańska
Wojciech Ciężkowski
Józef Górski
Andrzej Kowalczyk
Ewa Krogulec
Grzegorz Malina
Jerzy Małecki
Marek Marciniak
Jacek Motyka
Marek Nawalany
Jan Przybyłek
Andrzej Rózkowski
Andrzej Sadurski
Andrzej Szczepański
Stanisław Staško
Stanisław Witczak
Andrzej Zuber

Redakcja: Andrzej Szczepański, Ewa Kmiecik, Anna Żurek

Teksty artykułów w częściach 2. i 3. zostały wydrukowane z wersji elektronicznej dostarczonej przez Autorów, metodą bezpośredniej reprodukcji (*camera ready*)

Projekt okładki i stron tytułowych: Andrzej Tomaszewski

Na okładce: fragment projektu studni miejskiej we Lwowie z 1906 roku
— ze zbiorów prof. **Antoniego S. Kleczkowskiego** (1922–2006)

Korekta: Zespół

Skład komputerowy systemem $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$: pre $\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ t, www.pretext.com.pl

Druk: ROMA-POL, www.romapol.pl

ISBN-13 978-83-88927-16-4

**Monika Stach, Ewa Kmiecik,
Jadwiga Szczepańska, Stanisław Witczak**

**Ocena stanu chemicznego wód podziemnych
zlewni Koprzywianki w oparciu o dane
hydrogeochemiczne zagregowane metodą
deterministyczną i probabilistyczną**

**Estimation of Groundwater Chemical Status in
the Koprzywianka Basin on the Base of Deterministic
and Probabilistic Methods of Chemical Indices
Data Aggregation**

Słowa kluczowe ocena stanu chemicznego, agregacja danych, metoda deterministyczna, metoda probabilistyczna

Key words estimation of chemical status, data aggregation, deterministic method, probabilistic method

Abstract Groundwater chemical status is estimated through comparison of chemical indices mean values with threshold values for good chemical status (RDW, 2000; RMŚ, 2004; DWP, 2006). In Poland threshold values between good and bad chemical status are groundwater quality standards for class III according to RMŚ (2004). Using different methods for groundwater chemical status estimation: deterministic or probabilistic, we get different results, especially when mean values are near of the threshold values. In this article estimation of groundwater chemical status in the Neogene aquifer of the Koprzywianka basin was taken for: Kjeldahl nitrate, ammonium, nitrates, nitrites and phosphates.

Wstęp

Ocenę stanu chemicznego wód podziemnych prowadzi się według kryteriów podanych w Ramowej Dyrektywie Wodnej (RDW, 2000) oraz Dyrektywie w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu (DWP, 2006).

Obie Dyrektywy wyróżniają dwa stany chemiczne wód podziemnych: dobry i słaby, a podstawę do ich wydzielenia stanowią wartości graniczne (progowe) dla poszczególnych składników chemicznych. W DWP podano wartości progowe tylko dla dwóch składników chemicznych wód: azotanów (50 mg/dm^3) i składników czynnych pestycydów ($0,1 \mu\text{g/dm}^3$). Ponadto zamieszczono minimalny wykaz substancji i jonów, w odniesieniu do których państwa członkowskie mają rozważyć ustalenie wartości progowych.

Polska klasyfikacja zamieszczona w Rozporządzeniu Ministra Środowiska (RMŚ, 2004 — w przygotowaniu są dwa rozporządzenia mające je zastąpić) oparta jest na 36 wskaźnikach fizyko-chemicznych (dla których wartości graniczne wyznaczono w sposób ekspercki) zawiera dodatkowy podział stanów dobrego i słabego na klasy:

- stan dobry obejmuje klasy I, II, III;
- stan słaby: klasy IV i V.

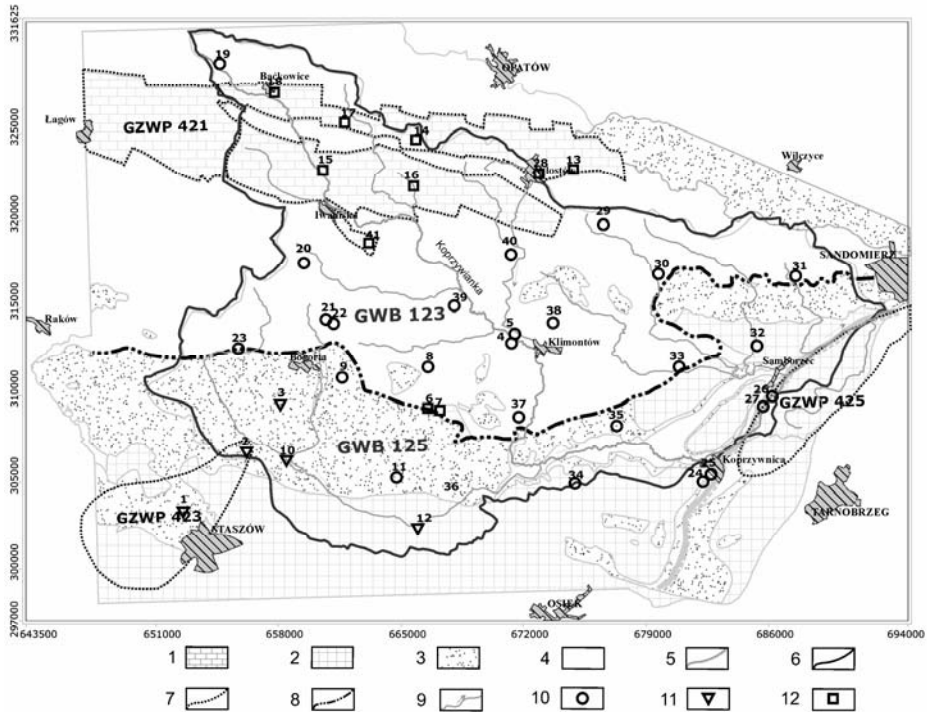
Ocenę stanu chemicznego wód podziemnych w zlewni Koprzywianki przeprowadzono w oparciu o badania wykonane w sieci monitoringowej wód podziemnych w 2005 roku. Zakres oznaczeń wskaźników chemicznych w próbkach wody podziemnej pobranych z tej sieci obejmował wskaźniki wymienione w RMŚ (2004) i DWP (2006).

Charakterystyka hydrogeologiczna

Zlewnia rzeki Koprzywianki o powierzchni $713,2 \text{ km}^2$ zlokalizowana jest na pograniczu dwóch odmiennych regionów hydrogeologicznych. Według podziału zastosowanego w Atlasie hydrogeologicznym Polski (Paczyński, 1995) są to odpowiednio: Subregion Świętokrzyski X₁ należący do Regionu Małopolskiego X oraz Region Przedkarpacki XIII. Według regionalizacji Kleczkowskiego (Dowgiałło i in., 2002) zlewnia znajduje się na pograniczu paleozoicznej części Masywu Świętokrzyskiego oraz czwartorzędowego pasma przedkarpackiego.

W aktualnym podziale na jednolite części wód podziemnych GWB (Herbich i in., 2005; Sadurski, 2005) zlewnia Koprzywianki usytuowana jest na pograniczu dwóch GWB: 123 i 125 (rys. 1). Na obszarze zlewni znajdują się cztery piętra wodonośne: neogeńskie (czwartorzędowe), paleogeńskie (trzeciorzędowe), dewońskie i staropaleozoiczne.

Neogeńskie (czwartorzędowe) piętro wodonośne jest regularnie wykształcone w dolinie Wisły, gdzie występuje ciągła piaszczysto-żwirowa warstwa wodonośna o miąższości kilkunastu metrów. Zwierciadło wody występujące na głębokości ok. 2 m p.p.t. ma charakter swobodny (Prażak i in., 1981; Witczak i in., 1996, 2003). Zasilanie odbywa się z infiltracji opadów atmosferycznych oraz częściowo z Wisły przy jej wysokich stanach. Na tym obszarze znajduje się główny zbiornik wód podziemnych GZWP 425 Rzeszów–Stalowa-Wola–Dębica. W centralnej i północnej części omawianej zlewni wykształcenie piętra jest mniej regularne i słabiej wodonośne. Utwory neogenu, pokrywające utwory starsze, tworzą samodzielny (w dolinach kopalnych i współczesnych rzek) bądź wspólny ze zwietrzeliną podłoża poziom wodonośny.



Rysunek 1. Mapa geologiczna zlewni rzeki Koprzywianki wraz z lokalizacją punktów monitoringowych (Mapa geologiczna Polski 1:200 000; Kleczkowski, 1990). Objasnienia:

1 — utwory węglanowe dewońskiego poziomu wodonośnego; 2 — paleogeński (trzeciorzędowe) iły krakowieckie; 3 — utwory paleogeńskiego (trzeciorzędowego), piaszczysto-wapiennego poziomu wodonośnego; 4 — tzw. „niewodonośne” utwory kambru, ordowiku i syluru; 5 — granica neogeńskiego (czwartorzędowego), piaszczystego poziomu wodonośnego; 6 — granica zlewni; 7 — granica głównych zbiorników wód podziemnych; 8 — granica jednolitych części wód podziemnych; 9 — rzeki; punkty monitoringowe: 10 — czwartorzędowego, 11 — trzeciorzędowego, 12 — dewońskiego poziomu wodonośnego

Figure 1. Geological Map of the Koprzywianka river basin with the monitoring points localization (Geological Map of Poland 1:200 000, Kleczkowski, 1990)

Paleogeńskie (trzeciorzędowe) piętro wodonośne obejmuje południową część zlewni. Tworzą je wapień litotaminowe i detrytyczne zapadające ku południowemu-wschodowi pod nieprzepuszczalne iły krakowieckie. W obszarze odkrytym jest to warstwa o swobodnym zwierciadle wody zalegającym na głębokości od kilku do 20 m p.p.t. W tym rejonie występuje fragment szczelinowo-porowego GZWP 423 Staszów. Jednostka ta jest zasilana pionowo z infiltracji opadów na wychodniach i z przesiąkania wód z czwartorzędem. Odpływ wód następuje do rzek, a we wschodniej części tego piętra do Wisły i do leja depresyjnego kopalń siarki Piaseczno i Machów. Ku wschodowi miąższość tego piętra zmniejsza się, a skład litologiczny zmienia się facjalnie na piaszczysty i piaszczysto-żwirowy.

Dewońskie piętro wodonośne tworzą szczelinowo-krasowe i krasowe utwory węglanowe dewonu środkowego i górnego (wapienie, dolomity i margle). Zasilanie odbywa się bezpośrednio na wychodniach lub poprzez kilku do kilkunastu metrową pokrywę utworów czwartorzędowych. Zwierciadło swobodne występuje płytko w strefach dolin rzecznych albo na głębokości 20-30 m na wododziałach. Oprócz zasilania infiltracyjnego ważną rolę może tu odgrywać zasilanie boczne ze spływu podziemnego i częściowo powierzchniowego z sąsiednich obszarów utworów staropaleozoicznych o niskiej przepuszczalności. Wodonośne utwory tego piętra zostały zaliczone do GZWP 421.

Staropaleozoiczne piętro wodonośne to obszar występowania utworów kambru, ordowiku, syluru i dewonu dolnego. Obszar ten traktowany jest jako bezwodny tj. pozbawiony użytkowych poziomów wodonośnych. Jednak mimo ograniczonej przewodności odpływowi podziemnemu z tego obszaru przypisuje się ważną rolę w zasilaniu cieków oraz w bocznym zasilaniu zasobniejszych pięter wodonośnych (Prażak i in., 2001).

Sieć monitoringowa wód podziemnych czwartorzędowego poziomu wodonośnego w zlewni Koprzywianki

Sieć monitoringowa wód podziemnych zlewni Koprzywianki obejmuje 41 punktów (studni wierconych i kopanych) ujmujących wody poziomów neogeńskiego, paleogeńskiego i dewońskiego. Ich lokalizacja została przedstawiona na rysunku 1, a przyporządkowanie do poszczególnych pięter wodonośnych zestawione jest w tabeli 1.

Tabela 1. Struktura sieci monitoringowej wód podziemnych zlewni Koprzywianki
Table 1. The structure of groundwater monitoring network in the Koprzywianka river basin

Lp.	Poziom wodonośny	Liczba punktów	Numery punktów (lokalizacja patrz rys. 1)
1	Q	25	4, 5, 8, 9, 11, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40
2	Tr	6	1, 2, 3, 10, 12, 36
3	D	10	6, 7, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 28, 41
Razem			41

Szczegółowej analizie poddano wyniki uzyskane dla neogeńskiego poziomu wodonośnego. Jest to pierwszy użytkowy poziom wodonośny, przez co jest najbardziej narażony na działanie czynników antropogenicznych.

Sieć monitoringowa wód podziemnych poziomu neogeńskiego zlewni Koprzywianki obejmuje 25 punktów (studni wierconych i kopanych).

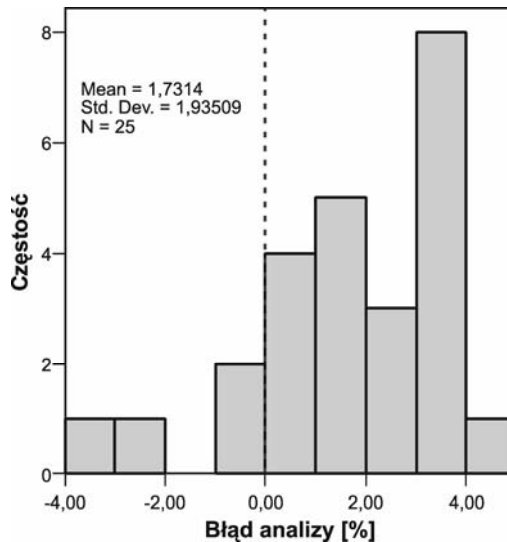
Sieć ta została jednokrotnie opróbowana w maju 2005 r. Proces opróbowania przebiegał zgodnie z wytycznymi PIOŚ (1995). W terenie oznaczono wskaźniki nietrwale: pH, przewodność elektrolityczna właściwa, mętność, barwę i temperaturę. Analizy chemiczne wykonały laboratoria chemiczne Zakładu Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej (42 wskaźniki: twardość ogólna, twardość węglanowa, twardość niewęglanowa, krzemionka, sól, potas, lit, beryl,

wapń, magnez, bar, stront, żelazo, mangan, srebro, cynk, miedź, nikiel, kobalt, ołów, rtęć, kadm, selen, antymon, glin, chrom, molibden, wanad, cyrkon, arsen, tal, wolfram, chlor, brom, jod, siarczany, wodorowęglany, azotany, azotyny, fluor, fosforany, borany) i WIOŚ Kraków (6 wskaźników: ogólny węgiel organiczny, azot Kjeldahla, BZT₅, ChZT-Cr, ChZT-Mn, amoniak).

Weryfikację poprawności wykonanych analiz chemicznych przeprowadzono w oparciu o wartości względne błędów bilansów jonowych, obliczone ze wzoru:

$$B = \frac{\sum rK - \sum rA}{\sum rK + \sum rA} * 100\%$$

Na rysunku 2 przedstawiono histogram rozkładu tych błędów. Średni błąd względny analiz prowadzonych w ramach monitoringu wód podziemnych poziomu czwartorzędowego zlewni Koprzywianki wynosi 1.7%. We wszystkich przypadkach błąd ten kształtuje się na akceptowalnym poziomie, tzn. nie przekracza 5% (PN-89/C-04638/02).



Rysunek 2. Histogram rozkładu błędów bilansu jonowego analiz przeprowadzonych w sieci monitoringowej wód podziemnych neogeńskiego poziomu wodonośnego w zlewni Koprzywianki

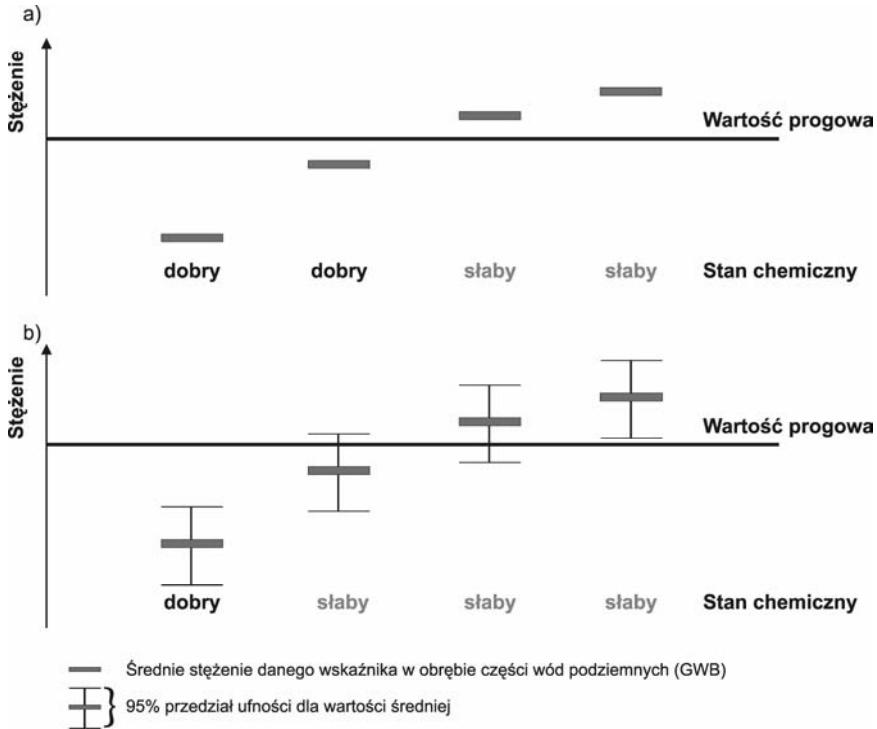
Figure 2. Histogram of distribution of ion balance error in the Neogene aquifer of the Koprzywianka river basin

Do szczegółowej analizy i oceny stanu chemicznego metodami deterministyczną i probabilistyczną wybrano związki azotu: azot Kjeldahla, amoniak, azotany i azotyny oraz fosforany, z uwagi na sposób zagospodarowania terenu w zlewni Koprzywianki. Zlewnia ta jest obszarem rolniczym i sadowniczym, silnie nawożonym. Użytki rolne stanowią 80% powierzchni gmin znajdujących się na omawianym obszarze. Dominują gleby (70% powierzchni rolnej) najwyższej przydatności kompleksów pszennych (kl I-IIIb;

Wojciechowski, 2005). W związku z tym, wymienione wyżej jony stanowiąc powinny charakterystyczne wskaźniki zanieczyszczeń wód podziemnych w tej zlewni, a w szczególności pierwszego użytkowego poziomu wodonośnego, który jest najbardziej narażony na działanie czynników antropogenicznych.

Ocena stanu chemicznego wód podziemnych w zlewni Koprzywianki

Przy ocenie stanu chemicznego danej części wód podziemnych (GWB), zgodnie z wytycznymi zawartymi w RDW (2000) i DWP (2006), stosuje się podejście deterministyczne (rys. 3a), polegające na agregacji danych uzyskanych z poszczególnych punktów monitoringowych za pomocą wartości średniej i odniesieniu tej wartości do wartości progowej. Podejście to nie uwzględnia jednak niepewności związanej z wynikami oznaczeń danego wskaźnika w poszczególnych punktach monitoringowych, jak i niepewności dotyczącej samej agregacji danych — przedziału ufności dla wartości średniej (rys. 3b).



Rysunek 3. Ocena stanu chemicznego wód podziemnych dla danych zagregowanych: a) podejście deterministyczne; b) podejście probabilistyczne

Figure 3. Estimation of groundwater chemical status for aggregated data on the base of deterministic (a) and probabilistic (b) methods

Przedział ufności to podstawowe narzędzie estymacji przedziałowej, określające zakres występowania (z określonym prawdopodobieństwem) wartości szacowanego parametru. Przedział ufności dla wartości średniej (przy założeniu, że dane pochodzą z rozkładu normalnego) wyraża się wzorem (Józwiak, Podgórski, 2006):

$$\bar{x} - \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}} < m < \bar{x} + \frac{t \cdot s}{\sqrt{n}}$$

gdzie: \bar{x} — obliczona wartość średnia; s — odchylenie standardowe; n — liczba oznaczeń; t — wartość z rozkładu t Studenta o $n - 1$ stopniach swobody (szczegóły dotyczące szacowania przedziału ufności dla wartości średniej można znaleźć np. w pracy Szczepańskiej i Kmieciak, 2005).

W podejściu probabilistycznym (z oszacowaniem przedziału ufności dla wartości średniej) stwierdzenie dobrego stanu chemicznego możliwe jest wyłącznie w przypadku, gdy wartość średnia wraz z przedziałem ufności znajduje się poniżej wartości progowej.

Do oceny stanu chemicznego wód podziemnych poziomu neogeńskiego w zlewni Koprzywianki wybrano 5 wskaźników: $N_{Kjedlahla}$, NH_4 , NO_3 , NO_2 i PO_4 . W tabeli 2 zestawiono wartości średnie stężeń tych parametrów wraz z 95% przedziałami ufności dla średnich oraz zakresy aktualnego tła hydrogeochemicznego wyznaczonego w oparciu o percentyle (2.3–97.7% oraz 10–90%).

Tabela 2. Tło hydrogeochemiczne wybranych wskaźników chemicznych wód podziemnych neogeńskiego poziomu wodonośnego w zlewni Koprzywianki; N – liczba oznaczeń
Table 2. Hydrogeochemical background of groundwater chemical indices in the Neogene aquifer of the Koprzywianka river basin; N – number of samples

Wskaźnik [mg/L]	N	Średnia	95% przedział ufności dla średniej		Tło hydrogeochemiczne		Wartość progowa	
			Dolna granica	Górna granica	2.3%–97.7%	10%–90%	RMS, 2004	DWP, 2006
$N_{Kjedlahla}$	18	0.887	0.674	1.099	0.50–1.84	2		
					0.50–1.76			
NH_4	18	0.17	0.06	0.28	0.05– 0.73	0.65		
					0.05– 0.68			
NO_3	25	82.24	29.45	135.04	0.60– 650.00	50	50	
					6.00– 167.40			
NO_2	25	0.50	0.00	1.28	0.02– 9.50	0.1		
					0.02– 0.69			
PO_4	25	0.661	0.004	1.318	0.016– 7.234	1		
					0.039– 2.255			

Za wartości progowe do oceny stanu chemicznego wód podziemnych przyjęto wartości graniczne tych parametrów dla klasy III podane w Rozporządzeniu MŚ (2004). W ostatniej kolumnie tabeli zestawiono wartości progowe podane w DWP (2006).

Dla wszystkich parametrów, oprócz azotu Kjeldahla, górna granica aktualnego tła hydrogeochemicznego wyznaczona zarówno w oparciu o percentyle 2.3–97.7%, jak i 10–90% przekracza wartości progowe.

Średnie stężenie azotu Kjeldahla, amoniaku i fosforanów w wodach podziemnych neogeńskiego poziomu wodonośnego w zlewni Koprzywianki kształtuje się poniżej wartości progowych, a w przypadku azotanów i azotynów przekracza wartość progową z Rozporządzenia MŚ (2004).

Przeciętne stężenie azotanów jest o ponad 60% (64,5%) wyższe od wartości progowej. Przyczyną wysokich stężeń tego wskaźnika w zlewni Koprzywianki są zanieczyszczenia antropogeniczne (zlewnia jest obszarem rolniczym i sadowniczym, silnie nawożonym).

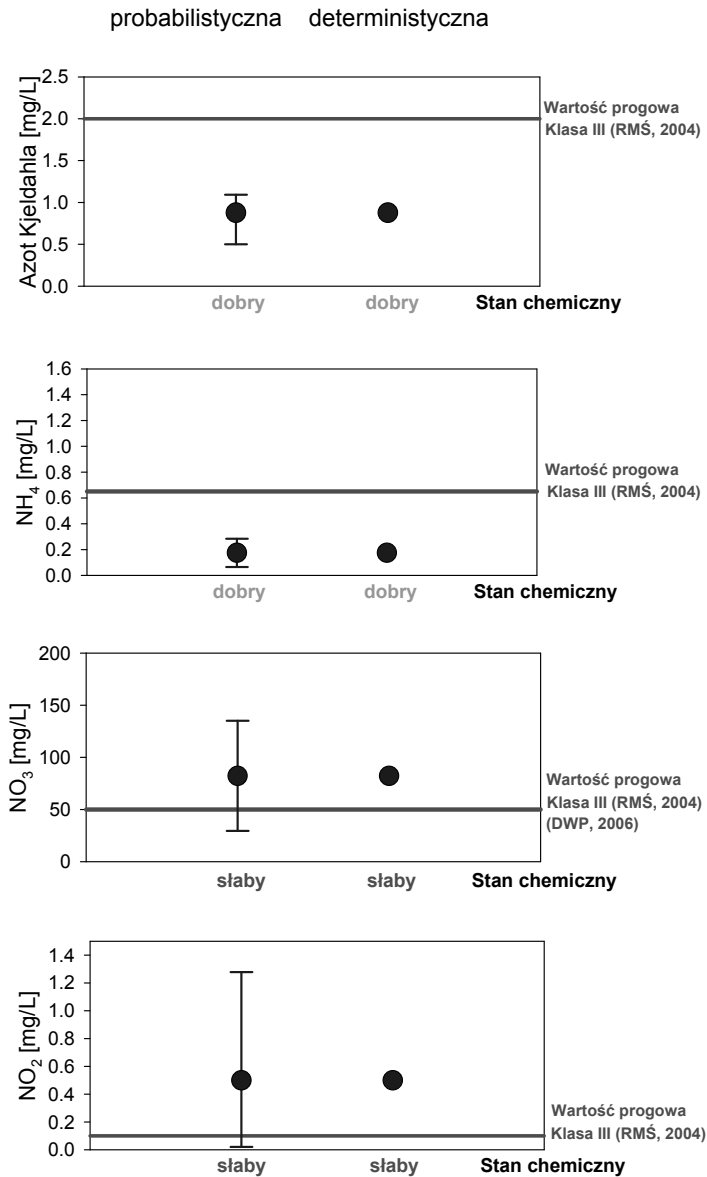
Na rysunku 4 przedstawiono w sposób graficzny ocenę stanu chemicznego wód podziemnych w oparciu o wskaźniki zagregowane metodą deterministyczną i probabilistyczną.

Stosując podejście deterministyczne — obliczenie wartości średniej dla danej serii wyników oznaczeń badanego wskaźnika w punktach monitoringowych i porównanie tej wartości z wartością graniczną — uzyskujemy następujące wyniki oceny stanu chemicznego w odniesieniu do wartości progowych określonych w Rozporządzeniu MŚ (2004) — rysunek 4:

- dla azotu Kjeldahla — stan chemiczny dobry;
- dla amoniaku — stan chemiczny dobry;
- dla azotanów — stan chemiczny słaby;
- dla azotynów — stan chemiczny słaby.

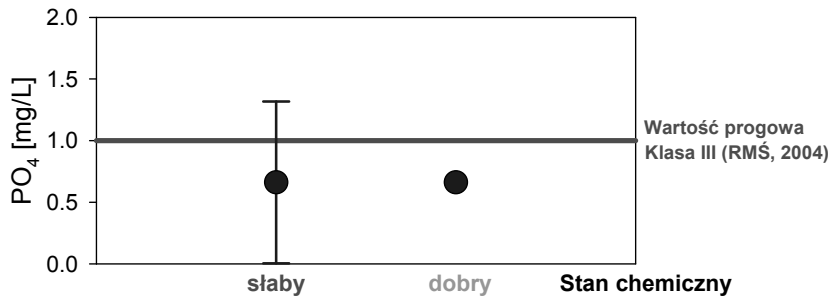
Jeżeli w ocenie stanu chemicznego uwzględnimy niepewność — do porównania z wartością progową z Rozporządzenia MŚ (2004) użyjemy przedziału ufności, uzyskujemy analogiczne wyniki. Zastosowanie podejścia probabilistycznego jest szczególnie istotne w przypadku, gdy wartość średnia analizowanego wskaźnika jest bliska wartości progowej. W takim przypadku wnioski dotyczące oceny stanu chemicznego będą różne w zależności od zastosowanej metodyki agregacji danych.

Przykład takiej sytuacji przedstawiony został na rysunku 5. Stosując podejście deterministyczne, stan chemiczny wód podziemnych poziomu neogeńskiego zlewni Koprzywianki w odniesieniu do fosforanów ocenimy jako dobry, natomiast po zastosowaniu podejścia probabilistycznego jako słaby.



Rysunek 4. Ocena stanu chemicznego wód podziemnych neogeńskiego poziomu wodonośnego w zlewni Koprzywianki dla: azotu Kjeldahla; amoniaku; azotanów i azotynów

Figure 4. Estimation of groundwater chemical status in the Neogene aquifer of the Koprzywianka river basin for: Kjeldahl nitrate; ammonium nitrate; nitrates and nitrites



Rysunek 5. Ocena stanu chemicznego wód podziemnych neogeńskiego poziomu wodonośnego w zlewni Koprzywianki dla: fosforanów

Figure 5. Estimation of groundwater chemical status in the Neogene aquifer of the Koprzywianka river basin for phosphates

Wnioski

Ocena stanu chemicznego wód podziemnych poziomu neogeńskiego w zlewni Koprzywianki wskazuje na celowość stosowania metody probabilistycznej przy agregacji danych. Metoda ta jest szczególnie zalecana, gdy wartości średnie zagregowanych danych monitoringowych dla poszczególnych wskaźników jakości wód są bliskie wartościom progowym tych wskaźników.

Zgodnie z RDW, ocena stanu wód to ciągły proces, który będzie powtarzany systematycznie. Wiarygodność decyzji dotyczącej przypisania danej GWB do dobrego lub słabego stanu zależy w dużej mierze od wiedzy na temat niepewności wyników pomiarów wykorzystanych do tej oceny. Jeśli niepewność wyników jest niedoszacowana, np. poprzez nieuwzględnienie w jej szacowaniu procesu opróbowania, mogą być podjęte błędne decyzje, skutkujące konsekwencjami finansowymi.

Literatura

- Dowgiało J., Kleczkowski A.S., Macioszczyk T., Rózkowski A. [red.], 2002: *Słownik hydrogeologiczny*. Dep. Geologii, Min. Środowiska, Państw. Inst. Geologiczny, Warszawa.
- DWP, 2006: *Dyrektywa 2006/118/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 12 grudnia 2006 r. w sprawie ochrony wód podziemnych przed zanieczyszczeniem i pogorszeniem ich stanu*. Dz. Urz. 372/19.
- Herbich P. i in., 2005: *Jednolite części wód podziemnych (hydrogeosomy) w Polsce*. [W:] Współczesne problemy hydrogeologii, tom XII, red. Sadurski A., Krawiec A., Toruń.
- Jurkiewicz H., Woiński J., 1979: *Mapa geologiczna Polski odkryta 1:200 000, ark. Mielec*. Wyd. Geologiczne, Warszawa.

- Kleczkowski A.S., [red.], 1990: *Mapa obszarów głównych zbiorników wód podziemnych (GZWP) wymagających szczególnej ochrony. CPBP 04.10. Ochrona i kształtowanie środowiska przyrodniczego*. Wyd. AGH, Kraków.
- Kowalewski Z., Mojski J. E. (red.), 1982: *Objaśnienia do odkrytej mapy geologicznej Polski 1:200 000, ark. Mielec*, Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Paczyński B. [red.], 1995: *Atlas hydrogeologiczny Polski 1:500 000*. Wyd. Państwowego Instytutu Geologicznego, Warszawa.
- PIOŚ 1995: Witczak S., Adamczyk A.F., *Katalog wybranych fizycznych i chemicznych wskaźników zanieczyszczeń wód podziemnych*. T. I i II. Wyd. PIOŚ, Warszawa.
- Prażak J., Tracz M., SIDL G., 1981: *Dokumentacja hydrogeologiczna zasobów wód podziemnych zachodniej części województwa tarnobrzeskiego wraz z ramowym projektem badań geol. do kategorii „C” rejonów perspektywicznych do budowy dużych ujęć wód podziemnych*. Komb. Geologiczny Południe ZPiDG, Oddz. Kielce (maszynopis).
- Prażak J., Witczak S., Żurek A., 2001: *Problemy związane z oceną zasobów dyspozycyjnych wód podziemnych w zlewniach rzek o przepływie limitowanym przez odpływ podziemny, Współczesne Problemy Hydrogeologii X t.1*, Wrocław.
- RDW, 2000: *Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2000/60/WE z dnia 23 października 2000 roku w sprawie ustanowienia ram działalności Wspólnoty w zakresie polityki wodnej*.
- RMŚ, 2004: *Rozporządzenie Ministra Środowiska z 11 lutego 2004 r. w sprawie określenia klasyfikacji dla prezentowania stanu wód powierzchniowych, wód podziemnych, sposobu prowadzenia monitoringu oraz sposobu interpretacji wyników i prezentacji stanu tych wód* (Dz.U. z 2004 r., nr 32, poz. 284).
- Romanek A., Złonkiewicz Z., 1988: *Mapa geologiczna Polski odkryta 1:200 000, ark. Sandomierz*, Wyd. Geologiczne, Warszawa.
- Sadurski A., 2005: *Transboundary groundwater bodies as a task of the polish state hydrogeologica survey*. Polish Geological Institute. Special Papers. Vol. 18, Warszawa.
- Szczańska J., Kmiecik E., 2005: *Ocena stanu chemicznego wód podziemnych w oparciu o wyniki badań monitoringowych*, Kraków Wyd. AGH.
- Polska Norma: PN-89/C-04638/02.
- Jóźwiak J., Podgórski J., 2006: *Statystyka od podstaw*. PWE, Warszawa.
- Witczak S. i in., 1996: *Bilans wód podziemnych zlewni Koprzywianki*, Mat. Arch. AGH, Kraków, wrzesień 1996.
- Witczak S., Duda R., Żurek A., Szklarczyk T., 2003: *Odwzorowanie warunków przepływu w różnych typach ośrodków hydrogeologicznych*. Współczesne Problemy Hydrogeologii XI, t. 1, Gdańsk.
- Wojciechowski A., 2005: *Program Ochrony Środowiska dla Ekologicznego Związku Gmin Dorzecza Koprzywianki*, Mat. Arch. Urzędu Gminy w Iwaniskach, marzec 2005.

Praca finansowana częściowo w ramach umowy AGH 18.25.140.211.