

CHEMIZM WÓD PODZIEMNYCH POZIOMU WIELKOPOLSKIEJ DOLINY KOPALNEJ W REJONIE MIĘDZY OBRA A WARTĄ

Krzysztof Dragon

Instytut Geologii, Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

1 WPROWADZENIE

W ostatnich latach obserwuje się stałą tendencję pogarszania się jakości wód podziemnych. Tendencja ta dotyczy również głębokich struktur wodonośnych, izolowanych od powierzchni terenu utworami słabo przepuszczalnymi. Do struktur takich należą doliny kopalne, stanowiące na terenie Nizżu Polskiego bardzo atrakcyjne źródła wody.

W pracy podjęto problem identyfikacji wpływu zanieczyszczeń antropogenicznych na kształtowanie chemizmu wód wielkopolskiej doliny kopalnej – jednej z najważniejszych struktur wodonośnych środkowej Wielkopolski. Podjęty problem wymagał również rozpoznania naturalnych (geogenicznych) czynników kształtujących chemizm wód. Na tym tle można było rozważać problem antropopresji.

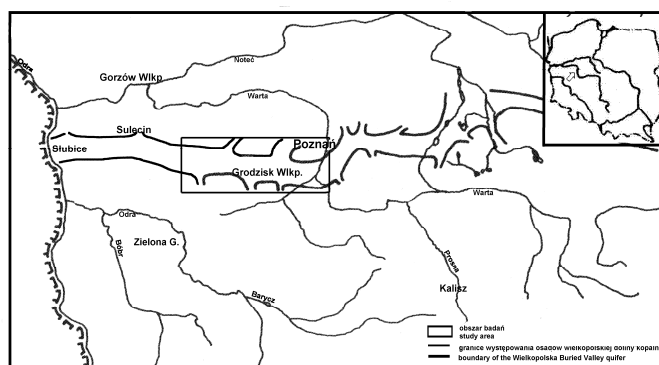
Do tego celu wykorzystano przede wszystkim metody statystyczne: analizę korelacji, analizę regresji oraz analizę czynnikową. Do obliczeń wykorzystano pakiet *STATISTICA* [13].

2 OBIEKT BADAŃ

Do badań wytypowano poziom wodonośny wielkopolskiej doliny kopalnej (wdk). Struktura ta należy do największych zbiorników wodonośnych środkowej Wielkopolski.

Wytypowany do badań fragment wdk (rys. 1) o powierzchni ok. 1000 km² charakteryzuje się różnicowaniem naturalnych warunków ochrony przed zanieczyszczeniem, intensywną eksploatacją oraz różnicowaniem naturalnych czynników kształtujących chemizm wód podziemnych,

związanych przede wszystkim ze zmiennością litologii i warunków krążenia wód.

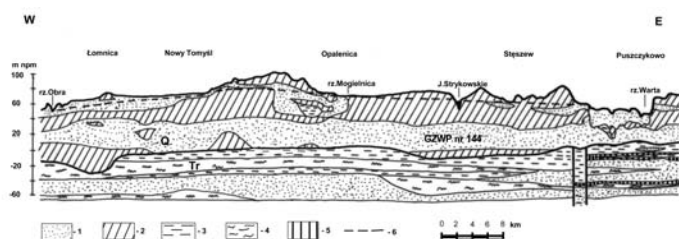


Rys. 1. Lokalizacja obszaru badań.

Osady wodonośne wdk mają miąższość od kilkunastu do prawie 50 m, i są to w przewadze piaski, pospółki i żwiry. W spągu osady te izolowane są serią trzeciorzędowych ilów od niżej zalegających osadów wodonośnych piętra trzeciorzędowego. Nadkład wdk stanowią słabo przepuszczalne gliny zwałowe, stanowiące naturalną ochronę dla przenikania zanieczyszczeń z powierzchni terenu. W rejonach wysoczyznowych miąższość tych glin przekracza 50 m. Znacznie mniejsza jest miąższość słabo przepuszczalnego nadkładu (poniżej 20 m) w rejonach występowania międzyglinowych poziomów wodonośnych oraz w rejonach rynien glacialnych. W rejonie doliny Warty brak jest słabo przepuszczalnego nadkładu.

Obszarem zasilania wdk jest rejon Wału Lwówecko-Rakoniewickiego, skąd formują się strumienie wód podziemnych na zachód

w kierunku doliny Obry i na wschód w kierunku doliny Warty.



Rys. 2. Przekrój hydrogeologiczny. 1 – piaski i żwiry, 2 – gliny zwalowe, 3 – ropy, 4 – mułki, 5 – węgle brunatne 6 – poziom ciśnienia piezometrycznego wód wielkopolskiej doliny kopalnej Q – czwartorzęd, Tr – trzeciorzęd.

3 METODYKA BADAŃ

Do wstępnej identyfikacji procesów hydrogeochemicznych kształtujących chemizm wód wdk wykorzystano metodę analizy czynnikowej. W pierwszej kolejności dane wyjściowe (zmiennie) poddano standaryzacji wg kryteriów podanych przez Davisa [3]. Punktem wyjściowym analizy jest wyodrębnienie z macierzy korelacji nowych grup zmiennych, które są kombinacją liniową zmiennych pierwotnych. W tym celu zastosowano analizę składowych głównych. Pierwszy otrzymany czynnik tłumaczy największą część wariancji, każdy następny coraz mniejszą. Ładunek czynnikowy wskazuje w jakim stopniu czynniki opisują zmienną (np. stężenie jonu). Jeżeli ładunki czynnikowe przyjmują wysokie wartości (bliskie 1 lub -1), oznacza to silny związek korelacyjny zmiennej pierwotnej z opisującym ją czynnikiem.

W celu uzyskania przejrzystego układu ładunków dane poddano rotacji *varimax*, w wyniku czego otrzymano wysokie wartości czynnikowe (bliskie 1 lub -1), dla jednych zmiennych (skorelowanych w czynniku), przy wartościach bliskich 0 dla pozostałych zmiennych. Dla wydzielonych czynników w całkowitej zmienności analizowanego zbioru obliczono procentowy ich udział. Dla określenia liczby czynników zastosowano kryterium Kaisera. Dzięki temu do interpretacji przyjęto tylko te czynniki, które w największej części opisują zmienność analizowanego zbioru (o wartościach własnych >1) i dają się sensownie interpretować [4]. O tym, w jakim stopniu wydzielone czynniki opisują zmienność badanej cechy, mówi tzw. zmienność

wspólna V , która jest równa sumie kwadratów ładunków czynnikowych.

Dla tak przeliczonych danych wyjściowych obliczono wartości czynnikowe. Jak wykazano [2], wartości czynnikowe (w poszczególnych opróbowanych punktach) są ściśle zależne od intensywności procesu opisywanego przez czynnik. Wartości czynnikowe przedstawiono na wykresach rozrzutu oraz na mapach. Obszary o najwyższych wartościach czynnikowych (>1) są odbiciem intensywności oddziaływania procesu opisywanego przez czynnik, wartości ekstremalnie niskie (<-1) odzwierciedlają obszary, gdzie dany proces charakteryzuje się słabym oddziaływaniem, natomiast wartości bliskie 0 odzwierciedlają średnią intensywność oddziaływania procesu.

Wynik analizy czynnikowej jest najbardziej czytelny, gdy liczba czynników jest mała, zmienność wspólna V wysoka (jak najbliższa 1), a otrzymane czynniki dają się czytelnie interpretować przyrodniczym procesem [6]. Dla przykładu – zestaw parametrów fizyczno-chemicznych wód skorelowanych w czynniku da się wyjaśnić za pomocą procesu (antropogenicznego lub geogenicznego), który mógł doprowadzić do obserwowanej zmienności.

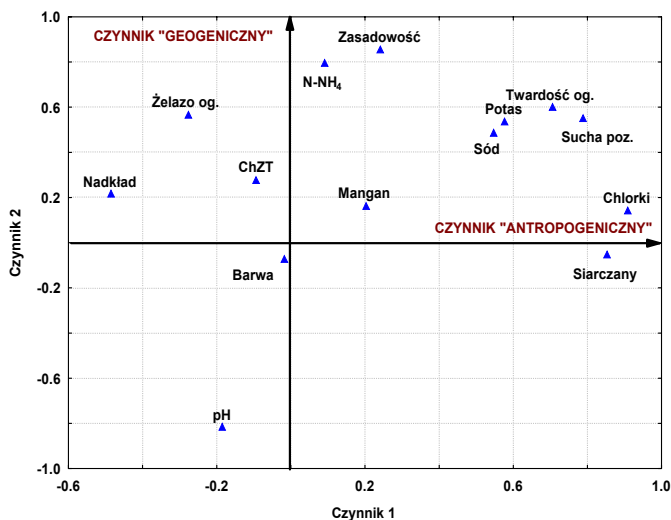
Wstępnym etapem analizy statystycznej było testowanie normalności rozkładu, do czego wykorzystano przede wszystkim metody graficzne [12, 14]. Większość analizowanych parametrów charakteryzowała się rozkładem odbiegającym od normalnego. Jednym z kryteriów wyboru analizy składowych głównych był fakt, iż metoda ta nie bazuje na założeniu rozkładu normalnego [1, 15]. Z tego samego powodu analizę korelacji wykorzystano w opracowaniu w powiązaniu z formą graficzną [11].

Efektywne zastosowanie analizy czynnikowej wymaga wiedzy na temat możliwych procesów mogących oddziaływać na analizowany zbiór danych [9]. Na tej podstawie przypisuje się wyróżnionym czynnikom ich interpretację genetyczną. Tak więc w przypadku analizy chemizmu wód podziemnych musimy dysponować kompleksowym rozpoznaniem analizowanego zbiornika wodonośnego. Dlatego wskazane jest, by metodę tę stosować w powiązaniu z metodami tradycyjnymi [2, 8, 10]. W pełni zadowalające wyniki uzyskać można, dysponując w miarę jednorodnymi materiałami hydrochemicznymi, co wymaga przeprowadzenia ich rzetelnej weryfikacji przed przystąpieniem do analizy.

Do analizy wykorzystano wyniki jednoczesnego opróbowania hydrochemicznego, wykonanego w 2000 r. Ogółem wykorzystano 61 analiz fizyczno-chemicznych wód pobranych z eksploatowanych studni. Do analizy włączono następujące parametry składu chemicznego wód: barwa, odczyn, utlenialność, przewodnictwo, twardość og., zasadowość og., sucha pozostałość, chlorki, siarczany, azot amonowy, żelazo og., mangan, wapń, magnez, sód, potas.

4 WYNIKI BADAŃ

Za pomocą analizy czynnikowej wyróżniono 4 czynniki, charakteryzujące 2 grupy procesów hydrogeochemicznych: antropogeniczne oraz geogeniczne. Największe znaczenie mają 2 pierwsze czynniki (rys. 3).



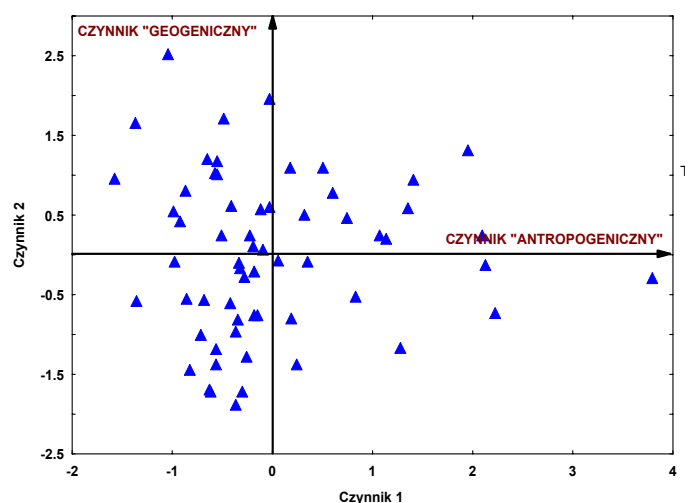
Rys. 3. Wykres ładunków czynnikowych.

Czynnik 1 charakteryzuje się najwyższymi ładunkami czynnikowymi chlorków i siarczanów, przy wysokich ładunkach twardości og. i suchej pozostałości, i niskich ładunkach czynnikowych pozostałych parametrów. Dość wysoki, ujemny ładunek ma jednocześnie miąższość słabo przepuszczalnego nadkładu. Wskazuje to, że stężenia wymienionych parametrów są wyższe w rejonach o małej miąższości słabo przepuszczalnego nadkładu i odwrotnie.

W czynniku 2 najwyższymi ładunkami czynnikowymi charakteryzują się: azot amonowy, zasadowość oraz odczyn wód (ze znakiem ujemnym). Wysokie ładunki czynnikowe mają też: twardość ogólna, sucha pozostałość, żelazo

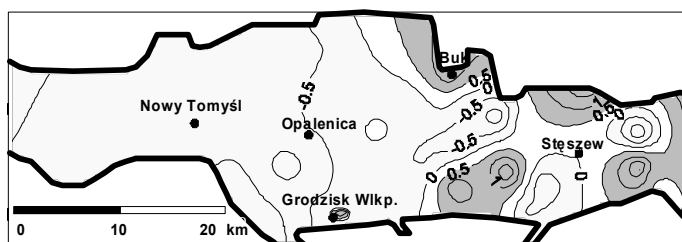
i potas. Są to parametry odzwierciedlające naturalne procesy kształtujące chemizm wód. Czynniki te opisuje procesy rozkładu substancji organicznej w środowisku anaerobowym i wpływ produktów tego rozkładu na rozpuszczanie składników środowiska geologicznego. Wysokie ładunki czynnikowe twardości wód (tzn. związków wapnia i magnezu), zasadowości i suchej pozostałości są odzwierciedleniem mineralizacji wodorowęglanowo-wapniowej, charakterystycznej dla wód wdk. Wysoka ujemna wartość ładunku czynnikowego odczynu (pH) wskazuje na duży wpływ warunków równowagi kwasowo-zasadowej w kształtowaniu chemizmu wód [7].

Rys. 4 przedstawia wykres wartości czynnikowych 2 pierwszych czynników. Punkty o wartościach czynnikowych >1 dla czynnika 1 charakteryzują się znacznym przekształceniem chemizmu wód, odzwierciedlającym się podwyższonymi stężeniami (w stosunku do naturalnego tła hydrochemicznego) wskaźników zanieczyszczeń wód: chlorków i siarczanów, a także twardości og. i suchej pozostałości. Punkty o ekstremalnie wysokich wartościach czynnikowych (>2) charakteryzują się stężeniami chlorków >80 mg/l, siarczanów >130 mg/l. Wzrastające wartości czynnikowe tego czynnika wskazują kierunek antropogenicznych przemian chemizmu wód. Wielkość wartości czynnikowych czynnika 1 można zatem traktować jako wskaźnik antropogenicznego zanieczyszczenia wód. Wielkość tego parametru może też być pomocna przy wydzieleniu zbioru wód antropogenicznie zanieczyszczonych.



Rys. 4. Wartości czynnikowe charakteryzujące wody wielkopolskiej doliny kopalnej.

Przestrzenny rozkład wartości czynnikowych czynnika 1 przedstawia mapa (rys. 5). Najwyższe wartości czynnikowe czynnika 1 występują w tych rejonach, gdzie zaobserwowano największy wzrost stężeń parametrów grupujących się w czynniku 1 w trakcie eksploatacji. Czynniki ten odzwierciedla zatem przemiany chemizmu związane z wpływem antropopresji. Obszary o najwyższych wartościach czynnikowych charakteryzują się najsilniejszymi przekształceniami chemizmu w wyniku antropopresji.



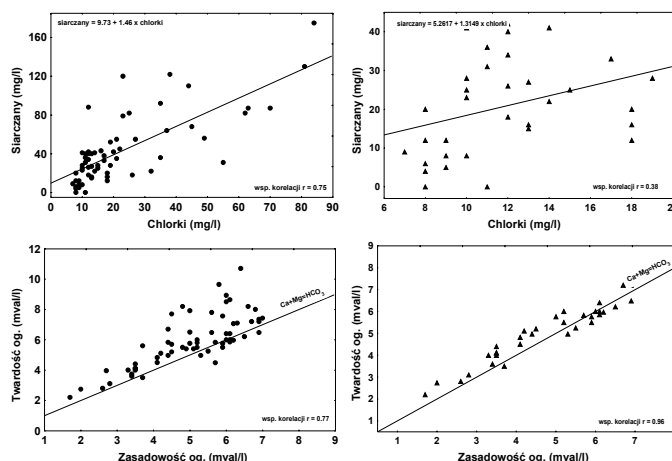
Rys. 5. Rozkład wartości czynnikowych czynnika 1. Zaciemniono obszar występowania wartości czynnikowych $>0,5$.

Wpływy antropogeniczne obserwuje się zarówno na terenach miejskich, jak i na terenach zabudowy wiejskiej. Najbardziej wyraźne wpływy antropopresji obserwuje się we wschodniej części obszaru badań. Są to rejony najsilniej zurbanizowane, gdzie jednocześnie występuje najmniejsza (<25 m) miąższość słabo przepuszczalnego nadkładu. W obszarze zasilania, w rejonach występowania podrzędnych poziomów wodonośnych w nadkładzie, gdzie miąższość utworów słabo przepuszczalnych również nie przekracza 25 m, wpływu oddziaływania zanieczyszczeń nie obserwuje się. Jest to związane ze sposobem zagospodarowania terenu. W obszarze zasilania przeważają bowiem tereny leśne.

Wartości czynnikowe czynnika 1 posłużyły do wydzielenia zbioru analiz fizyczno-chemicznych charakteryzujących wody o chemizmie przekształconym w wyniku antropopresji oraz wody o chemizmie „naturalnym”. Wydzielono zbiór o wartościach tego parametru poniżej 0, charakteryzujący wody o „naturalnym” składzie chemicznym. Pozostała część zbioru charakteryzuje natomiast wody zanieczyszczone. Następnie, wykorzystując analizę korelacji oraz analizę regresji, zbiór charakteryzujący wody naturalne porównano z wynikami dla całej analizowanej populacji.

Cechą charakterystyczną analizy dla całego zbioru danych jest silna korelacja chlorków

i siarczanów (rys. 6). Obydwa parametry biorą też duży udział w kształtowaniu ogólnej mineralizacji wód. Podobne zależności wykazują stężenia sodu, korelując wyraźnie z suchą pozostałością (rys. 7, lewa kolumna wykresów) i chlorkami (dane nieprezentowane, $r=0,7$, $\alpha=0,05$). Analiza całego zbioru danych wykazuje też silną korelację wapnia, magnezu i zasadowości z suchą pozostałością.



Rys. 6. Wykresy rozrzutu wybranych parametrów hydrochemicznych wód wielkopolskiej doliny kopalnej (cała populacja – wykres lewy ($n=61$); wody „naturalne” $n=33$) – wykres prawy).

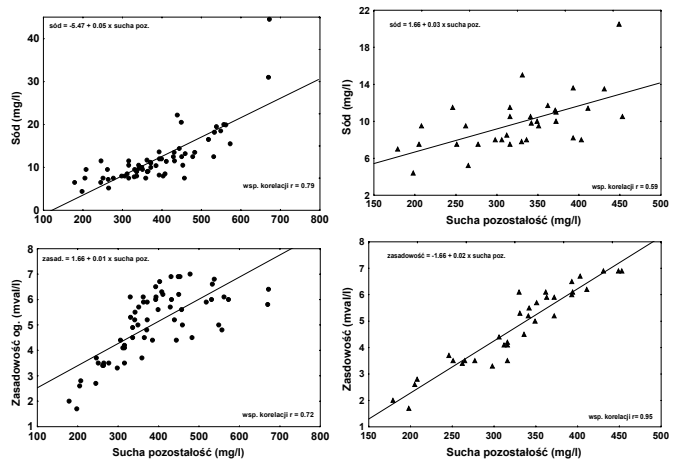
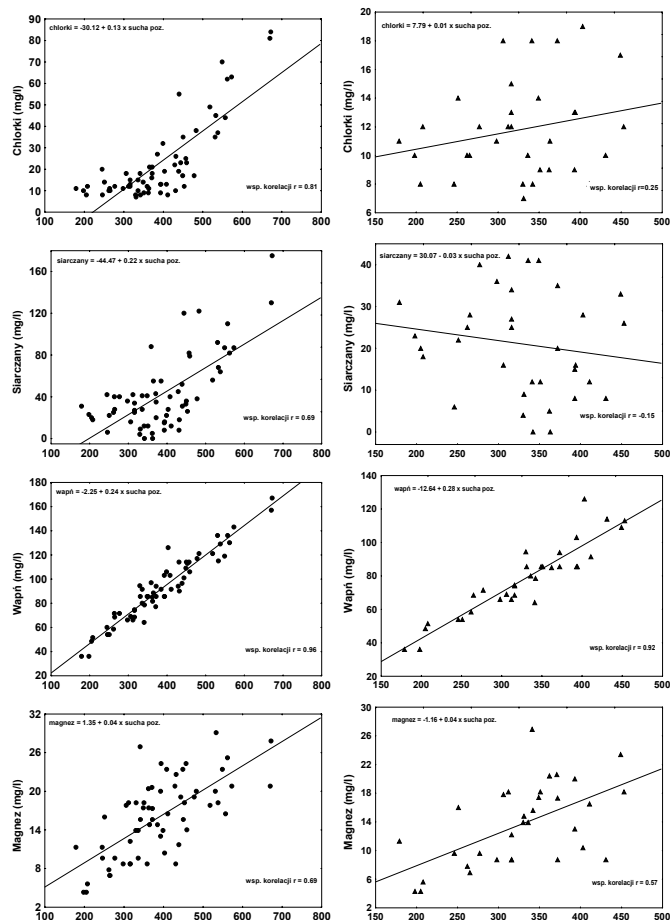
Wykres twardości og. i zasadowości (wyrażającej stężenie wodorowęglanów) obrazuje przewagę jonów Ca i Mg nad wodorowęglanami (rys. 6). Większość punktów grupuje się powyżej linii jednakowej twardości i zasadowości og. ($Ca+Mg=HCO_3$), co wskazuje na występowanie twardości niewęglanowej. Jest to szczególnie widoczne w wodach tych studni, w których stwierdzono najwyższe stężenia chlorków i siarczanów. Może to wynikać z występowania twardości siarczanowej, wywołanej zanieczyszczeniem antropogenicznym.

Wody o „naturalnym” składzie chemicznym charakteryzują się odmiennymi zależnościami korelacyjnymi w porównaniu z analizą dla całego zbioru danych (rys. 6 i 7). Zwraca uwagę wyraźny brak korelacji suchej pozostałości z chlorkami i siarczanami w zbiorze wód „naturalnych”. Wapń, magnez i zasadowość charakteryzują się podobnymi zależnościami w obydwu zbiorach. Cechą charakterystyczną wód o „naturalnym” składzie chemicznym jest brak korelacji chlorków i siarczanów (rys. 6). Porównanie twardości i zasadowości og. wskazuje na

równowagę stężeń wapnia i magnezu z wodorowęglanami.

Wody „naturalne” charakteryzuje zatem brak występowania twardości niewęglanowej, co jest charakterystyczne dla wód zanieczyszczonych (rys. 6).

Z porównania tego wyniku, że antropopresja spośród głównych składników wód odzwierciedla się głównie w stężeniach chlorków, siarczanów oraz sodu. Wskaźnikiem czułym na zanieczyszczenie antropogeniczne jest też twardość wód i sucha pozostałość. Stężenia pozostałych składników są kształtowane w wyniku oddziaływania naturalnych procesów hydrogeochemicznych. Wysokie współczynniki korelacji wapnia i magnezu oraz zasadowości og. z suchą pozostałością (w obydwu analizowanych zbiorach) są odzwierciedleniem istotnego wpływu tych składników na kształtowanie mineralizacji wód, przy czym analiza wykresów rozrzutu potwierdza wyższy udział wapnia w suchej pozostałości w porównaniu z magnezem (najczęstszym typem hydrochemicznym wód jest typ Ca-HCO_3).



Rys. 7. Wykresy rozrzutu suchej pozostałości oraz głównych składników wód wielkopolskiej doliny kopalnej (cała populacja (n=61) – wykres lewy; wody naturalne (n=33) – wykres prawy).

Spośród parametrów czułych na wpływy antropogeniczne najlepszym wskaźnikiem antropogenicznego zanieczyszczenia wód są chlorki oraz siarczany. W naturalnym środowisku ich stężenia są niskie, a wzrost stężeń można bezpośrednio wiązać z wpływem zanieczyszczeń [5]. Interpretacja pozostałych parametrów jest utrudniona ze względu na nakładanie się zmienności wynikającej z wpływów antropogenicznych oraz naturalnej zmienności hydrochemicznej. Obrazują to dość dobrze wyniki analizy czynnikowej (rys. 3). Twardość wód, sód oraz sucha pozostałość biorą udział zarówno w czynniku 1 (związanym z wpływami antropopresji), jak i w czynniku 2 (opisującym naturalne procesy hydrogeochemiczne).

5 PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawiono możliwości zastosowania metod statystycznych w regionalnych badaniach hydrogeochemicznych w celu identyfikacji procesów kształtujących chemizm wód podziemnych.

Za pomocą analizy czynnikowej wyróżniono czynniki opisujące główne procesy kształtujące chemizm wód. Największe znaczenie mają 2 czynniki: (1) Czynniki 1 („antropogeniczny”), który zaznacza się w postaci silnej korelacji takich parametrów, jak: chlorki i siarczany oraz w mniejszym stopniu twardość wód i sucha pozostałość. Czynniki ten należy wiązać z infiltracją zanieczyszczeń pochodzenia antropogenicznego; (2) Czynniki 2 („geogeniczny”), który opisuje silną korelację zasadowości, azotu

amonowego, żelaza, twardości i pH. Czynnikiem odzwierciedla naturalne procesy hydrogeochemiczne, związane głównie z rozkładem materii organicznej w środowisku anaerobowym i wpływ tego procesu na rozpuszczanie składników środowiska geologicznego.

Na podstawie wartości czynnikowych określono obszary najbardziej intensywnego oddziaływania zidentyfikowanych procesów hydrogeochemicznych opisywanych przez czynniki. Na podstawie wartości czynnikowych (czynnika „antropogenicznego”) wydzielono tereny o najsilniejszych przekształceniach antropogenicznych chemizmu wód. Tereny te pokrywają się z obszarami występowania chlorków (odzwierciedlających wpływy antropogeniczne już na niskim poziomie antropopresji) w stężeniach podwyższonych w stosunku do naturalnego tła hydrochemicznego. Wskazano przydatność wartości czynnikowych dla określenia stopnia antropogenicznych przemian chemizmu wody. Na podstawie tego parametru wydzielono populację wód o naturalnym składzie chemicznym oraz wód zanieczyszczonych.

Na podstawie porównania podzbioru wód o naturalnym chemizmie z całym zbiorem poddanym analizie, wykorzystując analizę korelacji oraz analizę regresji, zidentyfikowano składniki wód najwyraźniej odzwierciedlające wpływy antropopresji. Są to przede wszystkim: chlorki, siarczany oraz sól. Wpływy antropogeniczne są też widoczne w przypadku twardości wód i suchej pozostałości.

Głównym osiągnięciem przeprowadzonych badań jest wykazanie przydatności metod statystycznych (szczególnie analizy czynnikowej) dla identyfikacji antropogenicznych zmian chemizmu wód, szczególnie w początkowych stadiach antropopresji (gdy poszczególne składniki badanych wód przekraczają w niewielkim stopniu poziom naturalnego tła hydrogeochemicznego).

BIBLIOGRAFIA

- 1) Brown C.E., 1998: Applied multivariate statistics in hydrology and related sciences.
- 2) Dalton M.G., Upchurch S.B., 1978: Interpretation of hydrochemical facies by factor analysis. *Ground Water* 16 (4): 228-233.
- 3) Davis J.C., 1973: Statistics and data analysis in geology. Wiley. New York.
- 4) Dąbkowski J., 2000: O problemie redukcji wymiarów. Polskie Tow. Inż. Roln., Kraków.
- 5) Dragon K., 2003: Chemizm wód podziemnych wielkopolskiej doliny kopalnej w obszarze między Obrą a Wartą. Praca doktorska. Arch. ZHiOW IG UAM w Poznaniu.
- 6) Drever J.I., 1997: The geochemistry of natural waters. Surface and groundwater environments. Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- 7) Górski J., 1989: Główne problemy chemizmu wód podziemnych utworów kenozoiku środkowej Wielkopolski. *Zeszyty Nauk. AGH:45 Kraków*.
- 8) Guler C., Thyne G.D., McCray J.E., 2002: Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeology Journal* 10: 455-474.
- 9) Lawrence A.R., Upchurch S.B., 1983: Identification of recharge areas using geochemical factor analysis. *Ground Water* 20 (6): 680-687.
- 10) Melloul A., Collin M., 1992: The principal components statistical method as a complementary approach to geochemical methods in water quality factor identification; application to the Coastal Plain aquifer of Israel. *J. Hydrology* 140: 49-73.
- 11) Reimann C., Filzmoser P., 1999: Normal and lognormal data distribution in geochemistry: death of a myth. *Consequences of geochemical and environmental data. Environmental Geology* 39 (9): 1001-1014.
- 12) Rigg H.C., 1989b: Some statistical tools in hydrology. *Hydrologic analysis and interpretation. Techniques of water-resources investigations of the USGS. USGS Publications. Denver, USA*.
- 13) StatSoft, Inc. 2001: *STATISTICA* (data analysis software system), Version 6. www.statsoft.com.
- 14) StatSoft, Inc., 1997: *STATISTICA PL* dla Windows (Podręcznik użytkownika, Tom I-III). Polish Edition by StatSoft, Kraków.
- 15) Stetzenbach K.J., Hodge V.F., Guo C., Farnham I.M., Johannesson K.H., 2001: Geochemical and statistical evidence of deep carbonate groundwater within overlying volcanic rock aquifers/aquifers of southern Nevada, USA.