

ZASTOSOWANIE ANALIZY CZYNNIKOWEJ W CELU IDENTYFIKACJI PROCESÓW Kształtujących chemizm pŁytkich wÓd podziemnych na obszarach uŻytkowanych rolniczo

FACTOR ANALYSIS APPLICATION TO IDENTIFICATION OF PROCESSES FORMING SHALLOW GROUNDWATER CHEMISTRY IN THE AGRICULTURAL AREAS

SEBASTIAN ZABŁOCKI¹

Abstrakt. W artykule zaprezentowano wyniki analizy czynnikowej, której celem była identyfikacja procesów kształtujących chemizm wód przypowierzchniowego poziomu wodonośnego. Analizę wykonano w dwóch wariantach, w których uwzględniono trzy grupy danych reprezentujących: chemizm wód, warunki hydrogeologiczne i formy użytkowania terenu. W każdym z wariantów otrzymano pięć czynników, które zidentyfikowano jako hydrogeochemiczne procesy kształtujące chemizm wód podziemnych, a w każdym wystąpiła zależność przynajmniej jednego związku chemicznego z warunkami hydrogeologicznymi lub zagospodarowaniem terenu. W obu wariantach wystąpiły te same trzy czynniki oznaczone jako F1, F2 i F5. Najintensywniejszy czynnik (F1) zinterpretowano jako wymywanie azotanów z profilu glebowego. Proces ten jest bardziej dominujący niż czynnik F2, identyfikowany jako kształtowanie chemizmu wód podziemnych przez chemizm wód opadowych. Czynniki F5 zinterpretowano jako migracja zanieczyszczeń bytowo-gospodarczych z obszarów zabudowy wiejskiej do wód podziemnych.

Słowa kluczowe: analiza czynnikowa, chemizm wód, zagospodarowanie przestrzenne, obszar rolniczy, przypowierzchniowy poziom wodonośny.

Abstract. The article presents the results of a factor analysis which was used for identification of processes forming groundwater chemistry in a shallow aquifer. The analysis was done in two variants and three groups of data were taken into account: groundwater chemistry, hydrogeological conditions and a type of land use. In each variant five factors were identified as hydrogeochemical processes. In each factor dependence of at least one from chemical components with hydrogeological conditions or type of land use has occurred, which allowed for interpretation of the factor as a hydrogeochemical process. The same three factors were extracted in both variants (F1, F2, F5). The most intensive factor (F1) was identified as nitrate leaching from soils on arable fields and grasslands. It was stronger than factor identified as forming groundwater chemistry by precipitation water (F2). Factor (F5) was interpreted as migration of domestic pollutions to groundwater from village areas.

Key words: factor analysis, groundwater chemistry, spatial development, agricultural area, shallow aquifer.

¹ Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Instytut Hydrogeologii i Geologii Inżynierskiej, Al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; e-mail: s.zablocki@uw.edu.pl

WSTĘP

Analiza czynnikowa jest złożoną metodą statystyczną, która od lat 70. ubiegłego wieku jest stosowana również w hydrogeologii. Służy ona do uzyskiwania informacji o zależnościach zachodzących w systemie hydrogeologicznym, które grupowane są w czynniki. Korelacja poszczególnych zmiennych w czynniku umożliwia identyfikację procesów hydrogeochemicznych kształtujących chemizm wód podziemnych (Macioszczyk, 1975; Ruiz i in., 1990; Liszkowska, 1995; Voudouris i in., 1997; Dragon, 2002; Stępień, 2004). Zaletą tej metody jest możliwość określenia relacji pomiędzy zmiennymi w dużym zbiorze danych. Badacze

określają analizę czynnikową jako najbardziej obiektywną formę opisu relacji przestrzennych między zmiennymi charakteryzującymi dany system (Joreskog i in., 1976; Liszkowska, 1995; Dragon, 2002; Yammani i in., 2008).

W niniejszej pracy analizę czynnikową zastosowano w celu identyfikacji procesów kształtujących chemizm wód podziemnych przypowierzchniowego poziomu wodonośnego, ich hierarchizacji, a w szczególności w celu zdefiniowania procesów, które powodują przestrzenne zróżnicowanie stężeń mineralnych związków azotu, uzyskane w wyniku modelowania geostatystycznego.

LOKALIZACJA I CHARAKTERYSTYKA OBSZARU BADAŃ

Obszar badań o powierzchni 76,84 km² jest usytuowany na wschodnim Mazowszu, w obrębie staroglacjalnych regionów fizyczno-geograficznych: Wysoczyzny Kałuszyńskiej i Równiny Wołomińskiej (Kondracki, 2002). Badania terenowe prowadzono w górnej części zlewni rzeki Osownicy, stanowiącej lewy dopływ Liwca (fig. 1). Obszar cechuje rolnicze wykorzystanie gruntów. W strukturze przeważają użytki gruntowe o znacznym rozdrobieniu oraz równomiernie rozłożone obszary zabudowy wiejskiej. Na podstawie badań własnych w latach 2007–2012 rozpoznano warunki hydrogeologiczne i hydrogeochemiczne przypowierzchniowego poziomu wodonośnego (Zabłocki, 2012), który zbudowany

jest z piasków i żwirów oraz przemytych i zwietrzałych glin zwałowych zlodowacenia warty. Wody podziemne w przypowierzchniowym poziomie wodonośnym zazwyczaj są proste, dwu- lub trójjonowe, typu HCO₃-Ca, HCO₃-Ca-Mg, HCO₃-SO₄-Ca o mineralizacji ogólnej od 64,16 do 818,76 mg/L. Na obszarze wysoczyzny średnia mineralizacja ogólna wód podziemnych wynosi 287,55 mg/L, na terenie równiny jest niższa – 164,63 mg/L. Mineralne związki azotu (NH₄⁺, NO₂⁻, NO₃⁻) cechują się wyższymi średnimi stężeniami na obszarze wysoczyzny – odpowiednio 0,74; 0,23; 24,48 mg/L – niż na obszarze równinym (0,40; 0,13; 15,14 mg/L).

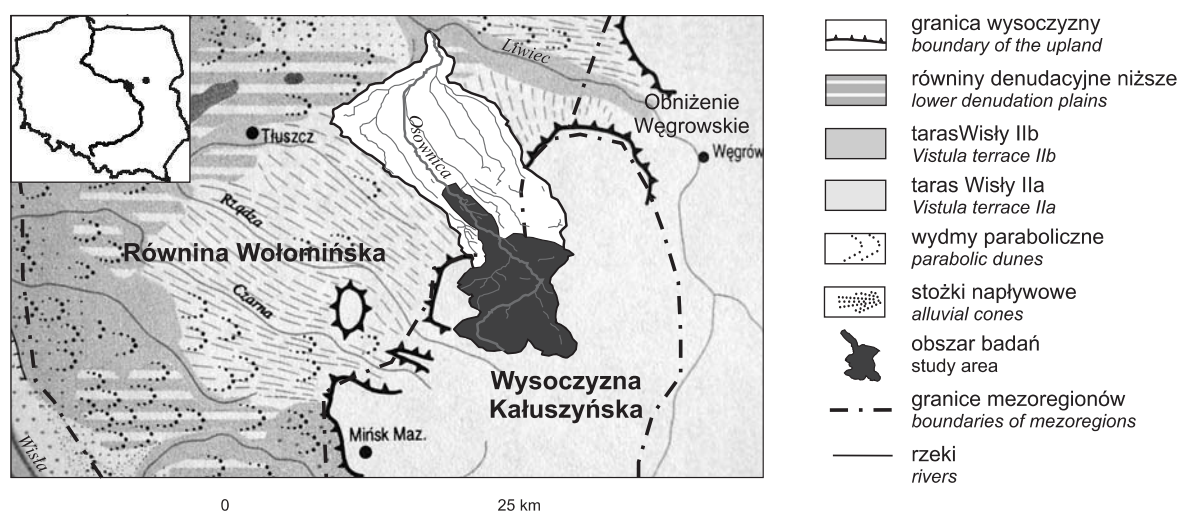


Fig. 1. Lokalizacja terenu badań na tle szkicu geomorfologicznego (Kondracki, 2002, zmienione)

Location of the study area on the background of geomorphologic scheme (Kondracki, 2002, modified)

ZAKRES DANYCH WEJŚCIOWYCH

Analizę czynnikową zastosowano dwuwariantowo. Wariant A obejmował punkty, w których wykonano 85 analiz wód podziemnych, które zawierały terenowe pomiary cech fizykochemicznych wód i oznaczenia mineralnych form azotu oraz laboratoryjne oznaczenia makroskładników (tab. 1). W wariantie B uwzględniono wyniki 289 wskaźnikowych analiz wód podziemnych, które zawierały terenowe pomiary cech fizyko-chemicznych wód, oznaczenia siarczanów oraz mineralnych form azotu (tab. 1).

Danymi wejściowymi do analizy czynnikowej były trzy grupy informacji o systemie hydrogeologicznym. Pierwszą grupę stanowiły analizy chemiczne wód podziemnych z lat 2007–2012, drugą grupę – charakterystyki systemu wodonośnego, wyrażone rozpoznaniem wielkościami parametrów hydrogeologicznych oraz indeksami podatności określonymi dwiema metodami (DRASTIC i MRT), a trzecią grupę – informacje dotyczące zagospodarowania przestrzennego terenu opracowane na podstawie badań własnych. Atrybuty tekstowe opisujące środowisko zastąpiono wartościami liczbowymi w systemie rangowym.

W analizie czynnikowej wykorzystano wyniki hydrodynamicznego modelu przepływu (Zabłocki, 2012). Wydzielo-

no fragment pola prędkości filtracji od punktu wejścia cząsteczki wody do systemu wodonośnego do punktu, do którego dotarła trajektoria (opróbowany punkt monitoringowy) i zdefiniowano jako obszar spływu wód. Określono na nim średnie wartości parametrów hydrogeologicznych oraz powierzchnię poszczególnych typów użytków gruntowych.

Procedura przygotowania danych polegała na znormalizowaniu rozkładów skośnych oraz standaryzacji danych. Utworzona macierz korelacji pozwoliła na wykluczenie zmiennych, które były silnie skorelowane, przez co powodowały spadek jakości uzyskiwanych wyników. Ostatecznie do analizy włączono 19 zmiennych w wariantie A (tab. 2) i 15 zmiennych w wariantie B (tab. 3).

W celu wyodrębnienia czynników zastosowano metodę składowych głównych (Joreskog i in., 1976; Davis, 1987). Najważniejsze czynniki wyodrębniono przez zastosowanie kryterium osypiska oraz rotację metodą varimax znormalizowaną (Voudouris i in., 1997). Istotnie statystycznie wartości ładunków czynnikowych wyniosły $>|0,445|$, jednak przy identyfikacji procesu sugerowano się również ładunkami czynnikowymi w zakresie wartości $|0,2-0,445|$.

Tabela 1

Zakres stężeń związków chemicznych i cech fizyko-chemicznych w wodach podziemnych
Range of concentrations of chemical components and physico-chemical properties in groundwater

Związek chemiczny	Wariant A (n = 85)				Wariant B (n = 289)			
	minimum	maksimum	średnia	odchylenie standardowe	minimum	maksimum	średnia	odchylenie standardowe
Ca ²⁺	8,10	193,18	62,40	38,95				
Mg ²⁺	0,83	29,21	7,84	5,79				
Na ⁺	0,99	23,45	7,36	4,55				
K ⁺	0,84	29,08	4,27	4,75				
NH ₄ ⁺	0,01	3,79	0,48	0,67	0,01	12,36	0,46	0,97
HCO ₃ ⁻	6,05	510,43	174,69	135,18				
Cl ⁻	4,18	153,71	16,83	18,58				
SO ₄ ²⁻	2,00	120,00	41,50	22,85	1,00	120,00	38,11	24,75
NO ₃ ⁻	0,44	72,60	15,87	13,83	0,44	99,61	15,10	13,33
NO ₂ ⁻	0,003	0,992	0,087	0,168	0,003	6,680	0,119	0,441
Mineralizacja ogólna	64,16	818,76	331,220	179,80				
PEW	0,046	0,848	0,384	0,179	0,033	1,043	0,331	0,185
pH	5,13	8,10	7,01	0,44	4,80	8,80	6,69	0,71

WYNIKI ANALIZY I INTERPRETACJA CZYNNIKÓW

Przeprowadzona analiza czynnikowa pozwoliła wydzielić pięć czynników odpowiedzialnych w 62% (wariant A) i w 67% (wariant B) za kształtowanie się chemizmu wód podziemnych na obszarze badań. W każdym czynniku wystąpiła zależność przynajmniej jednego związku chemicznego od parametru charakteryzującego cechę systemu wodonośnego lub cechę zagospodarowania przestrzennego terenu, umożliwiając tym samym nadanie sensu hydrochemicznego wyodrębnionemu czynnikowi (Stępień, 2004; Dragon, 2002). Zależność ta została wyrażona ładunkiem czynnikowym, będącym równoważnym liczbowo współczynniki korelacji. Ustalono, że trzy czynniki otrzymane w wariacie A (F1, F2, F5) są tożsame z czynnikami określonymi w wariacie B analizy czynnikowej. Czynniki F3 nie wystąpił w wariacie B, natomiast czynnik F4 został rozdzielony na dwa czynniki (F4a, F4b) w wariacie B.

Czynnik F1 jest odpowiedzialny za 17% zmienności populacji w wariacie A i w 22% w wariacie B. Występuje w nim silna korelacja jonu NO_3^- , występowania gruntów ornych, użytków zielonych (tab. 2), co wskazuje na silną zależ-

ność pomiędzy sposobem zagospodarowania terenu a stężeniem azotanów w wodach podziemnych. Czynniki te powinny być zatem utożsamiane z **procesami wymywania azotanów** z profilu glebowego do wód podziemnych. Ujemna korelacja z obszarami lasów i zadrzewień wskazuje, że czynnik ten nie występuje na obszarach, w których obieg azotu nie ma związku z działalnością rolniczą człowieka. Potwierdzają to otrzymane wartości czynnikowe, szczególnie dla studni drenarskich, w których proces wymywania jest największy (wartości czynnikowe >1) i dla niektórych źródeł. Na podstawie otrzymanych wartości czynnikowych czynnika F1 w poszczególnych punktach monitoringu, jest możliwe oszacowanie wartości wskaźnika wymycia azotu z profilu glebowego do wód podziemnych oraz określenie jego przestrzennej zmienności.

Czynnik F2 kształtuje 15% zmienności populacji w wariacie A. W jego obrębie stwierdzono silną ujemną korelację stężenia jonów Ca^{2+} i Mg^{2+} oraz HCO_3^- , dodatnią korelację z wielkością zasilania, głębokością położenia zwierciadła wód podziemnych i typem gleb. W wariacie B przewod-

Tabela 2

Wariant A. Ładunki czynnikowe dla zmiennych w obrębie wyróżnionych czynników

The A Variant. Factor loadings for variables within extracted factors

Grupa zmiennych	Zmienna	Czynnik F1	Czynnik F2	Czynnik F3	Czynnik F4	Czynnik F5
Chemiczna	Ca^{2+} i Mg^{2+}		-0,95			
	Na^+ i K^+		-0,33			0,60
	NH_4^+		0,29		0,56	
	HCO_3^-		-0,94			
	Cl^-			0,24		0,52
	SO_4^{2-}			0,42		0,46
	NO_3^-	0,71				
	NO_2^-	0,25				0,65
Hydrogeologiczna	indeks IPZ (DRASTIC)			0,84		
	typ gleb	0,43	0,35			-0,25
	współczynnik filtracji			0,57	-0,51	
	litologia strefy aeracji			0,52		-0,35
	głębokość do zwierciadła		0,44	0,25	0,65	
	zasilanie infiltracyjne	0,42	0,45	0,34	0,26	
Zagospodarowania przestrzennego	grunty orne	0,86				
	łąki i pastwiska	0,80				
	użytki rolne porośnięte, nieużytki		-0,41	-0,36	0,48	0,35
	zabudowa wiejska					0,77
	lasy i zadrzewienia	-0,88			-0,20	
% zmienności wariacji		17,00	15,00	11,00	10,00	10,00

Puste pola oznaczają brak korelacji (ładunek czynnikowy $<0,20$)
Blanks indicate no correlation (factor score $<0,20$)

ność elektrolityczna właściwa jest wskaźnikiem odnoszącym się do mineralizacji ogólnej korelującej się ze stężeniami wymienionych jonów. Procesem identyfikowanym jako ten czynnik jest **kształtowanie chemizmu wód podziemnych przez opady atmosferyczne**. W strefach zasilania powstaje wielojonowy typ hydrochemiczny wód podziemnych, przy niskim stężeniu jonów Ca^{2+} , Mg^{2+} i HCO_3^- w stosunku do innych składników, a zbliżonych do stężeń w opadzie. Kształtowanie chemizmu wód podziemnych przez opady ma mniejsze znaczenie wraz z wydłużeniem czasu przebywania wody w ośrodku skalnym. Wzrost mineralizacji ogólnej następuje na skutek wzrostu stężeń jonów Ca^{2+} i HCO_3^- głównie ze względu na rozpuszczanie CO_2 glebowego (Appelo, Postma, 1999; Macioszczyk, Dobrzyński, 2002; Stepień, 2004). Gleby organiczne w dolinach stanowią zasobne źródło dwutlenku węgla co powoduje, że stężenia HCO_3^- są tam wysokie. Niskie wartości czynnikowe występują w źródłach, w których dominują typy hydrochemiczne $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ lub $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$. Punkty o wysokiej wartości czynnikowej są zlokalizowane na obszarach zasilania lub tranzytu, gdzie niska mineralizacja wynika z krótkiego czasu przebywania wody w warstwie wodonośnej.

Czynnik F3 reprezentuje 11% zmienności w wariancie A, a w wariancie B nie występuje w znaczący sposób. Korelację wykazują jony SO_4^{2-} oraz parametry charakteryzujące cechy systemu hydrogeologicznego, a w szczególności indeks podatności IPZ oraz współczynnik filtracji. Czynnik

ten wskazuje na **funkcjonowanie modelu adwekcyjnego przepływu zanieczyszczeń konserwatywnych**, za jakie uznawane są chlorki. W świetle wyników analizy czynnikowej za zanieczyszczenia, zachowujące się jak zanieczyszczenia konserwatywne, należy uznać również siarczany, gdyż ich stężenia warunkowane są cechami hydrogeologicznymi niezależnie od sposobu zagospodarowania terenu. Rola czynnika jest ograniczona przestrzennie.

Czynnik F4 kształtuje 10% zmienności populacji w wariancie A. Czynnik ten jest najtrudniejszy do interpretacji w zakresie identyfikacji procesów kształtujących chemizm wód podziemnych z uwagi na nietrwałość obu związków chemicznych azotu – NO_2^- i NH_4^+ . W obrębie czynnika F4 występuje podobna korelacja zmiennych opisujących **system hydrogeologiczny**, jak i zmiennych charakteryzujących **sposób zagospodarowania terenu**. Obecność azotynów i jonów amonowych może wynikać z procesu denitryfikacji azotanów do form zredukowanych pod wpływem mniejszego natlenienia głębszych partii wodonośca (Macioszczyk, Dobrzyński, 2002), zwiększonej ilości substancji organicznej pod użytkami rolnymi zarastanymi drzewami i krzewami oraz z samego poboru azotanów przez roślinność (Mastroioco i in., 2010). Wyniki analizy czynnikowej w wariancie B nie potwierdzają opisanych zależności (tab. 3). Czynnik 4 rozdzielono na czynnik 4a i 4b. Charakterystyka hydrogeochemiczna wód podziemnych, przeprowadzona na obszarze badań, wskazuje, że czynnik 4a należy interpretować

Tabela 3

Wariant B. Ładunki czynnikowe dla zmiennych w obrębie wyróżnionych czynników

The B Variant. Factor loadings for variables within extracted factors

Grupa zmiennych	Zmienna	Czynnik F1	Czynnik F2	Czynnik F4a	Czynnik F5	Czynnik F4
Chemiczna	PEW		0,64		0,47	0,24
	SO_4^{2-}				0,81	
	NH_4^+			-0,54		
	NO_3^-	0,45	0,26	0,20		0,44
	NO_2^-					0,87
Hydrogeologiczna	Typ gleb		-0,67			
	Współczynnik filtracji	-0,27	-0,72			
	Litologia strefy aeracji	-0,91				
	Głębokość do zwierciadła	0,27		0,77	-0,24	
	Zasilanie infiltracyjne	-0,27		0,75		
Zagospodarowania przestrzennego	Grunty orne	0,86			-0,29	
	Łąki i pastwiska	0,72			0,24	
	Użytki rolne porośnięte, nieużytki		0,75	0,27		
	Zabudowa wiejska	0,27		0,27	0,56	-0,24
	Lasy i zadrzewienia	-0,79	-0,48	-0,25		
% zmienności wariancji		22,00	15,00	12,00	10,00	8,00

Puste pola oznaczają brak korelacji (ładunek czynnikowy <0,20)
Blanks indicate no correlation (factor score <0.20)

jako procesy denitryfikacyjne zachodzące w dolinach pod wpływem zwiększonej zawartości substancji organicznej. Czynniki 4b ogranicza się do dodatniej korelacji jonów NO_2^- oraz jonów NO_3^- , wskazując jedynie, że proces utleniania (lub redukcji) tych związków nie jest związany z obszarami zabudowy wiejskiej.

Udział czynnika F5 to 10% zmienności. W wariancie A wysokie ładunki czynnikowe osiągają jony Na^+ i K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} oraz obszary zabudowy wiejskiej. W wariancie B zależność tę przedstawiono przez korelacje: SO_4^{2-} , PEW oraz

występowania obszarów zabudowy wiejskiej. Czynniki te należy identyfikować z antropogenicznym pochodzeniem jonów na skutek **migracji zanieczyszczeń bytowych i gospodarczych** wraz z infiltrującą wodą, powstałych na skutek nieuregulowanej gospodarki wodno-ściekowej (Macioszczyk, Dobrzyński, 2002). Wpływ czynnika F5 zaobserwowano także w wodzie podziemnej, w piezometrze zlokalizowanym przy nieczynnym od 2009 r. gminnym składowisku odpadów.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Analiza czynnikowa została przeprowadzona w dwóch wariantach. Umożliwiła wyodrębnienie czynników, które charakteryzują konkretne procesy hydrogeochemiczne kształtujące chemizm wód podziemnych na obszarze badań. W obu wariantach stwierdzono występowanie trzech czynników zidentyfikowanych jako: wymywanie azotanów do wód podziemnych z obszarów występowania gruntów ornych oraz użytków zielonych (czynnik F1), kształtowanie chemizmu wód podziemnych przez wody opadowe w strefach zasilania (czynnik F2) oraz migrację zanieczyszczeń bytowych i gospodarczych na terenach zabudowy wiejskiej (czynnik F5). Pozostałe czynniki wystąpiły tylko w jednym z wariantów.

Analiza umożliwiła hierarchizację wyodrębnionych czynników, w wyniku czego stwierdzono, że czynnik charakteryzujący wymywanie azotanów z wód podziemnych oddziałuje najsilniej na obszarze badań. Wymywanie zachodzi ze zróżnicowanym nasileniem, a najbardziej intensywne jest na obszarze wysoczyzny. Otrzymana zależność nie daje podstaw do ilościowej oceny wymywanego ładunku do wód podziemnych, ale wskazuje obszary, na których zachodzi to zjawisko oraz umożliwia oszacowanie na podstawie wartości czynnikowych wielkości i przestrzennej zmienności wskaźnika wymywania azotu z profilu glebowego.

Najważniejszym naturalnym procesem jest kształtowanie chemizmu przez infiltrujący opad atmosferyczny w strefach zasilania. Jego znaczenie maleje wraz z wydłużeniem

czasu przebywania wody w systemie w wyniku wzrostu znaczenia kontaktu z fazami gazowymi i stałymi strefy aeracji i saturacji.

Wpływ zabudowy wiejskiej na jakość wód podziemnych, dzięki selekcji punktów obserwacji chemizmu wód podziemnych przeprowadzonej na etapie wyboru punktów do opróbowania chemicznego, został zredukowany do 14% opróbowanych otworów obserwacyjnych (wariant A) oraz 18% (wariant B). W punktach tych stwierdzono wyższe stężenia makroskładników: Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , mineralnych form azotu oraz przewodności elektrolitycznej właściwej.

Dzięki analizie czynnikowej określono grupę punktów, w których wysokie stężenia związków azotu nie są efektem obszarowego zanieczyszczenia rolniczego, lecz wynikają z nieuregulowanej gospodarki wodno-ściekowej na terenach wsi, co potwierdziły wysokie wartości czynnikowe F5 i niskie wartości czynnikowe F1.

Analiza czynnikowa okazała się najmniej przydatnym narzędziem w zakresie zdefiniowania procesów warunkujących stężenia jonu amonowego i azotynowego w wodach podziemnych. Zastosowane dwa warianty analizy nie wskazały jednoznacznie ani cechy systemu hydrogeologicznego, ani sposobu zagospodarowania terenu, powodujących zależność stężeń tych form azotu. Czynniki F4a w wariancie B analizy potwierdził występowanie wyższych stężeń jonu NH_4^+ w środowiskach redukcyjnych, za jakie uważa się obszary dolinne.

LITERATURA

- APPELO C.A.J., POSTMA D., 1999 — Geochemistry, groundwater and pollution. A.A.Balkema, Rotterdam.
- DAVIS J.C., 1987 — Statistics and data analysis in geology (2nd ed.). John Wiley & Sons. New York.
- JORESKOG K.G., KLOVAN J.E., REYMENT R.A., 1976 — Geological factor analysis. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- DRAGON K., 2002 — Zastosowanie analizy czynnikowej w celu określenia antropogenicznych przemian jakości wód podziemnych. *Prz. Geol.*, **50**, 2: 127–131.
- KONDRACKI J., 2002 — Geografia regionalna Polski. Wyd. Nauk. PWN. Warszawa.
- LISZKOWSKA E., 1995 — Analiza czynnikowa jako obiektywna metoda określenia genezy składu chemicznego oraz źródeł zanieczyszczeń wód podziemnych. *Współcz. probl. hydrogeol.* **7**, 2: 329–335.
- MACIOSZCZYK A., 1975 — Zastosowanie analizy czynnikowej – sposób R – do interpretacji danych hydrochemicznych. *Biul. Geol. UW*, **20**.

- MACIOSZCZYK A., DOBRZYŃSKI D., 2002 — Hydrogeochemia strefy aktywnej wymiany wód podziemnych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.
- MASTROCICCO M., COLOMBANI N., CASTALDELLI G., SALEMI E., VINCENZI F., 2010 — The role of the unsaturated zone in determining nitrate leaching to groundwater. Materials from XXXVIII IAH Congress, AGH, Kraków, 385–390.
- RUIZ F., GOMIS V., BLASCO P., 1990 — Application of factor analysis to the hydrogeochemical study of a coastal aquifer. *J. Hydrol.*, **119**: 169–177.
- STĘPIEŃ M., 2004 — Procesy i warunki hydrogeochemiczne na terenie niecki krzeszowskiej i jej obrzeżenia (Sudety Środkowe). [pr. doktor.], Uniwersytet Warszawski, Warszawa.
- VOUDOURIS K.S., LAMBRAKIS N.J., PAPTAEOTHOROU G., DASKALAKI P., 1997 — An application of factor analysis for the study of the hydrogeological conditions in plio-pleistocene aquifers of NW Achaia (NW Peloponnesus, Greece). *Mathematical Geology*, **29**, 1: 43–59.
- YAMMANI S.R., REDDY T.V.K., REDDY M.R.K., 2008 — Identification of influencing factors for groundwater quality variation using multivariate analysis. *Environ. Geol.*, **55**: 9–16.
- ZABŁOCKI S., 2012 — Ocena wielkości zasilania przypowierzchniowego poziomu wodonośnego w zlewni Osownicy (dorzecze Liwca) na podstawie wyników badań modelowych. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **451**: 247–256.

SUMMARY

A factor analysis was applied to identify processes forming groundwater chemistry in a shallow aquifer. Two variants were created. In the A variant results of 85 chemistry analyses of groundwater were included and in the B variant results of 289 analyses. As an input data three groups of variables were prepared: chemical from groundwater chemistry analyses, hydrogeological from recognition of hydrogeological conditions and two vulnerability indexes (DRASTIC, MRT), as well as information concerning a type of land use. Finally 19 variables in the A variant (tab. 2) and 15 variables in the B variant (tab. 3) were included. The method of principal components was adopted to extract the most important factors (Joreskog *et al.*, 1976). The factors were extracted from scree plot analysis and rotated by varimax normalized method (Voudouris *et al.*, 1997).

The factor analysis allowed to extract five factors responsible in 62% (the A variant) and 67% (the B variant) for for-

ming groundwater chemistry in the research area. Dependence of at least one of chemical component with hydrogeological or type of land use variable was considered to give hydrogeochemical sense of extracted factor (Stępień 2004).

The most important factor (F1) forms 17% of population variance in the A variant and 22% in the B variant. High factor loadings of nitrate concentration, grassland and arable field occurring can be interpreted as nitrate leaching from soils to groundwater. Second, important factor (F2) was interpreted as groundwater chemistry forming by precipitation water, which affect strong negative correlation with Ca^{2+} , Mg^{2+} and HCO_3^- and positive correlation with recharge and groundwater depth. This process is less important the longer is time of groundwater residence. Other three processes has lower meaning and each forms 8–12% of population variation.

