

Czynniki kształtujące jakość płytkich wód podziemnych na Pogórzu Wiśnickim

Ewelina Jelonkiewicz¹, Łukasz Paweł Jelonkiewicz¹, Anna Wolanin¹

Factors affecting the shallow groundwater quality in the Wiśnickie Foothills. *Prz. Geol.*, 63: 786–790.

Abstract. The aim of this study was to investigate the chemical composition of groundwater and the factors affecting it in the Stara Rzeką catchment located in the marginal zone of the Carpathian Mountains in the Wiśnickie Foothills. Nineteen samples of water were collected from wells and their pH and electrolytic conductivity were measured. The chemical composition of the samples, including 14 ions was determined by ion chromatography. Principal component analysis (PCA) allowed to isolate the factors affecting the quality of groundwater. Geological structure and anthropogenic pressure proved to be the determining factors. The cluster analysis was also used in this study and it allowed to group the analyzed waters in terms of their mutual similarity. Additionally, the chemical composition of water samples was determined with regard to their suitability for human consumption.

Keywords: wells, water chemistry, geology, pollution, multivariate statistical methods

Skład chemiczny wód podziemnych jest kształtowany przez wiele powiązanych ze sobą elementów. Do naturalnych czynników wpływających na jakość wód podziemnych można zaliczyć m.in.: opady atmosferyczne (Rutkoviene i in., 2005), rodzaj podłoża skalnego i skał budujących zbiornik wód podziemnych, ich podatność na wietrzenie oraz czas w jakim woda przebywa w skale macierzystej (Hem, 1985; Wanty i in., 2009). Jednak coraz większą rolę w kształtowaniu chemizmu wód podziemnych odgrywa działalność człowieka, która przejawia się przez dostawę ścieków bytowo-gospodarczych, nawożenie gruntów rolnych, zmianę struktury użytkowania ziemi.

Ze względu na równoczesny wpływ wielu uwarunkowań hydrologicznych, biogeochemicznych i antropogenicznych interpretacja relacji pomiędzy parametrami jakości wody a tymi czynnikami jest trudna. Wielowymiarowe analizy statystyczne, m.in.: analizę składowych głównych (PCA) i analizę skupień (CA), wykorzystuje się w celu określenia relacji pomiędzy parametrami jakości wody i procesami naturalnymi oraz antropogenicznymi zachodzącymi w zbiorniku wód podziemnych (Güler i in., 2002; Woocay & Walton, 2008). Wykonane badania wskazują, że techniki wielowymiarowej analizy danych są przydatne do oceny jakości wód podziemnych (Michalik, 2008), pozwalają określać kształtujące je procesy (Güler & Thyne, 2004) oraz identyfikują problemy dotyczące jakości wody i wskazują źródła zanieczyszczenia (Siwek & Chełmicki, 2004; Lalitha i in., 2012).

Wody podziemne są ważnymi zasobami wodnymi na Pogórzu Wiśnickim. Często stanowią główne źródło wody pitnej, a w wielu przypadkach nie jest ona oczyszczana przed użyciem. Wskutek intensyfikacji zagospodarowania terenu i zanieczyszczeń pochodzących z działalności rolniczej, które dostają się do wód gruntowych, powodując pogorszenie jakości zasobów wody pitnej na tym obszarze, zwiększa się presja na jakość wód podziemnych (Słowik, 2003; Żelazny, 2005).

Celem opracowania jest określenie czynników kształtujących skład chemiczny płytkich wód podziemnych i ich jakości w typowej zlewni położonej we fliszowych Karpatach Zewnętrznych na obszarze użytkowanym rolniczo. Ze

względu na systematycznie zmniejszającą się liczbę użytkowanych studni gospodarskich na badanym terenie jest to być może ostatnia szansa na przeprowadzenie takich pomiarów.

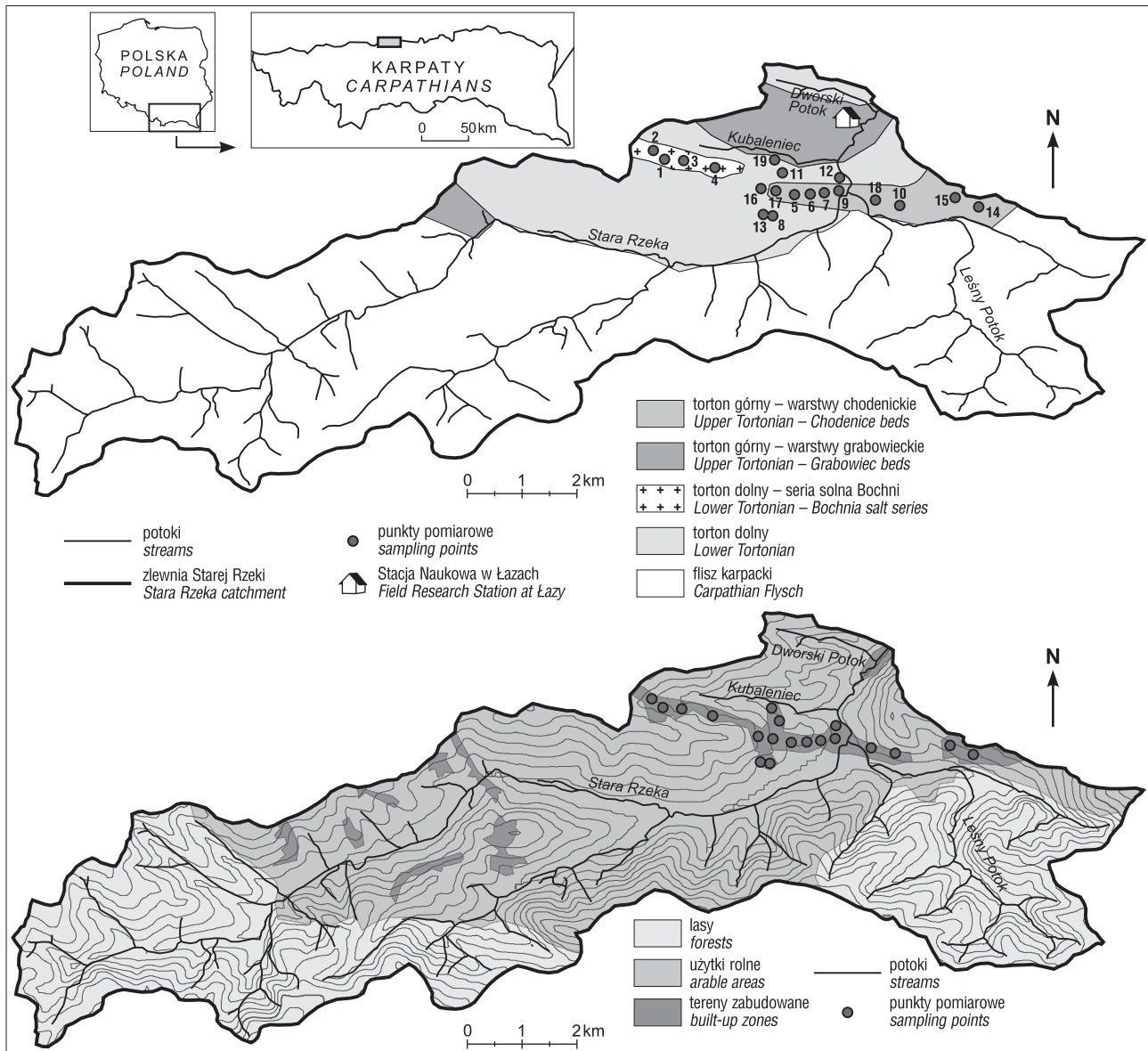
OBSZAR BADAŃ

Badany obszar jest położony w północnej części Pogórza Wiśnickiego (German, 1992) w zlewni Starej Rzeki (ryc. 1). Charakteryzuje się skomplikowaną budową geologiczną. Na tym terenie Pogórze Karpackie ma wyraźnie dwustopniowy charakter (Kaszowski & Święchowicz, 1995). Stopień górny jest zbudowany z odpornego fliszu karpackiego złożonego z piaskowców, łupków i ilów. Niższy stopień budują mniej odporne skały fliszowe oraz leżące powyżej utwory miocenu – piaskowce i iły tortonu oraz osady z poziomem solnym (Olewicz, 1968; 1973; Siwek, 2012).

Cały obszar jest pokryty grubą warstwą pyłowych utworów lessopodobnych, których miąższość dochodzi nawet do kilkunastu metrów (Kaszowski & Święchowicz, 1995). Stanowią one obok zwietrzelin fliszu skałę macierzystą gleb. Na Pogórzu Karpackim występuje niewielkie zróżnicowanie pokrywy glebowej. Gleby płowe i płowe opadowo-glejowe stanowią około 80% powierzchni (Ski-ba, 1992). Średnia roczna temperatura powietrza wynosi 8,2–8,3°C, a roczna suma opadów ok. 665 mm. Czas zalegania pokrywy śnieżnej wynosi średnio 70 dni w roku (Obrębska-Starkel, 1988). Zlewnia Starej Rzeki o powierzchni 22,22 km² cechuje się dużym udziałem lasów (41,9%) w całkowitej powierzchni użytków. Łąki i pastwiska zajmują 14,9% powierzchni zlewni, a grunty orne – 36,2% (Święchowicz & Michno, 2005).

Obecnie sieć wodociągowa pokrywa 100% zabudowy, niemniej jednak w części gospodarstw studnie są nadal wykorzystywane do celów gospodarczych i jako drugie alternatywne źródło wody pitnej. Liczba użytkowanych studni systematycznie się zmniejsza i obecnie jest ich jedynie jedna trzecia w porównaniu z rokiem 2003 (Słowik, 2003). Budowa sieci kanalizacyjnej nie jest niestety ukończona na całym badanym obszarze. Ścieki są gromadzone w przydomowych szambach – nie zawsze szczelnych i systematycznie opróżnianych, są także wylewane bezpośred-

¹ Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków; ewelina.jelonkiewicz@uj.edu.pl, lukasz.jelonkiewicz@uj.edu.pl, anna.wolanin@uj.edu.pl.



Ryc. 1. Położenie, użytkowanie terenu oraz budowa geologiczna obszaru badań
Fig. 1. Location, land use and geology of study area

nio na grunty rolne, do rowów melioracyjnych oraz w lasach (Pietrzak, 2005). Potencjalnym zagrożeniem dla wód gruntowych są także gnojowniki i stopy obornika przy prywatnych gospodarstwach rolnych.

MATERIAŁY I METODY

Badania terenowe prowadzono w czasie niżówki zimowej w lutym 2013 r. i obejmowały pobór próbek wody z 19 aktualnie użytkowanych studni. Na miejscu badań mierzono pH i przewodnictwo elektrolityczne właściwe wody, a także głębokość studni oraz głębokość występowania zwierciadła wody podziemnej.

Badania analizy składu chemicznego wody wykonano metodą chromatografii jonowej (Dionex ICS 2000), oznaczając jednocześnie 14 jonów (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Li^+ , NH_4^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , Br^- , F^-). Mineralizację wody obliczono jako sumę oznaczonych jonów, a twardość ogólną wody – jako sumę Ca^{2+} i Mg^{2+} wyrażoną w mval/dm^3 .

W celu zidentyfikowania czynników kształtujących jakość wód podziemnych zastosowano analizę składowych głównych (PCA). Czynniki wybrano na podstawie kryterium Kaisera (wartość własna >1) oraz gdy wartość wyjaśnionej wariancji była większa od 10%. Wykorzystano również analizę skupień (CA), najczęściej stosowaną technikę w klasyfikacjach danych hydrogeochemicznych (Davis, 1986; Schot & van der Wal, 1992), żeby wody podziemne połączyć w grupy o najbardziej podobnych cechach. Za miarę podobieństwa przyjęto odległość euklidesową, a jako metodę grupowania – aglomeracyjną metodę Warda.

WYNIKI BADAŃ

Średni odczyn wód podziemnych wynosił ~ 7 pH i wahał się od 6,35 do 7,66 (tab. 1), natomiast średnie przewodnictwo elektrolityczne wody wynosiło ok. 920 $\mu\text{S/cm}$. Pod względem odczynu wody te można zaklasyfikować od słabo kwaśnych do słabo zasadowych, ze względu na mineralizację – słodkie, akrotapegi i mineralne, natomiast

Tab. 1. Fizyczne i chemiczne właściwości wód podziemnych
Table 1. Physical and chemical parameters of groundwaters

Cecha Parameter	pH	EC	Twardość Hardness	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NK ⁴⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	F ⁻
Jednostka Unit		μS/cm	mval/dm ³	mg/dm ³												
Min	6,35	350	3,07	255	45,94	6,87	9,07	0,44	0,005	85,14	47,7	8,58	3,26	0,003	0,01	0,001
Q _{25%}	6,91	642	4,76	505	71,80	10,63	21,14	1,35	0,03	190,7	71,91	32,05	16,55	0	0,01	0,15
Mediana Median	7,04	851	6,58	672	101,22	14,37	28,27	2,92	0,06	225,62	102,18	50,1	25,87	0	0,12	0,2
Średnia Mean	7,06	919	6,78	693	107,93	16,98	46,89	28,5	0,09	261,94	102,34	89,72	37,73	0,17	0,31	0,2
Q _{75%}	7,28	1124	7,68	877	115,49	22,21	72,23	26,75	0,09	330,54	124,15	93,61	50,11	0	0,37	0,26
Max	7,66	1795	14,68	1267	228,82	39,60	157,22	156,17	0,56	606,25	197,93	402,35	130,35	3,09	1,99	0,33

Tab. 2. Ładunki parametrów fizycznych i chemicznych dla wód gruntowych. Ładunki ≥0,70 są pogrubione, a poniżej 0,40 nie pokazano
Table 2. Factor loadings physical and chemical parameters of groundwaters. Loadings ≥0.70 are bold, loadings less than 0.40 are excluded

Cecha Parameter	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NK ⁴⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	F ⁻	EC	TDS	pH	Wyjaśniona wariancja [%] Accounted variance [%]
Czynniki Factors	1	0,71	0,80	0,84	0,49	0,50	0,55	0,64	0,80	0,67		0,98	0,96		40,39
	2	0,61	0,46		-0,79	-0,50					-0,83	-0,63			19,03
	3						-0,63					-0,48		-0,84	14,94

pod względem twardości – od średnio do bardzo twardej (Pazdro & Kozerski, 1990).

W składzie chemicznym wód podziemnych najwyższe stężenia miały jony Ca²⁺ i HCO₃⁻, nieco niższe – jony Na⁺, SO₄²⁻ i Cl⁻. W badanych wodach największym zróżnicowaniem stężenia wśród kationów charakteryzował się K⁺, a wśród anionów – Cl⁻. W wodach podziemnych kolejność głównych kationów pod względem wartości stężenia była przeważnie następująca: Ca²⁺>Na⁺>Mg²⁺>K⁺, a wśród głównych anionów: HCO₃⁻>SO₄²⁻>Cl⁻. Spośród związków biogennych w największych stężeniach występowały NO₃⁻, w niższych – NH₄³⁻ i PO₄³⁻. Stężenia NO₂⁻ były przeważnie poniżej poziomu detekcji, tak jak i mikroelementy Li⁺ i Br⁻. Spośród mikroelementów w wodach podziemnych występował F⁻. Wysokie wartości stężenia K⁺, NO₃⁻ oraz obecność w wodach także NH₄⁺ i PO₄³⁻ wskazywać może na zanieczyszczenie wód w tym regionie, ponieważ związki te są przeważnie pochodzenia antropogenicznego (Singh i in., 2005).

Za pomocą analizy składowych głównych (PCA) na podstawie przewodności, mineralizacji i odczynu wody oraz stężenia jonów w badanych wodach podziemnych, wyznaczono trzy główne czynniki (tab. 2). Wyjaśniają one w sumie 74,37% wariancji. Czynniki pierwszy – wyjaśnia 40,4% wariancji, drugi – ok. 19%, a trzeci – ok. 15%.

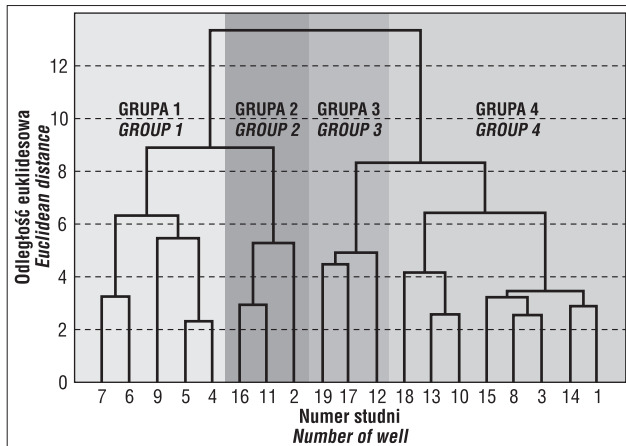
Czynnik 1 jest silnie skorelowany z TDS, EC i jonami głównymi (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ i Cl⁻). Można go wyjaśnić wpływem rodzaju podłoża skalnego i osadów, w których krążą wody. Caissie i in. (1996) potwierdzają, że występująca silna dodatnia korelacja pomiędzy jonami głównymi (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, HCO₃⁻) wskazuje, że pochodzą one z wietrzenia skał. Czynniki 2 jest skorelowany z K⁺, PO₄³⁻, NH₄⁺, F⁻, Ca²⁺ i Mg²⁺, przy czym cztery pierwsze jony mają ładunki czynnikiowe ujemne, a Ca²⁺ i Mg²⁺ – dodatnie. Występowanie w tym czynniku potasu i związków bio-

gennych może świadczyć o wpływie antropopresji na chemizm wód podziemnych. Wysokie stężenia potasu mogą być również spowodowane budową geologiczną obszaru. W wodach jednostki bocheńskiej dolnej obserwowano wcześniej stężenia potasu nawet 10-krotnie wyższe niż na pozostałych obszarach zlewni Starej Rzeki (Żelazny, 2005). W obrębie tej jednostki występują pokłady halitu od średniowiecza wydobywanego w kopalniach soli w Wieliczce i Bochni. Jony Ca²⁺ i Mg²⁺ prawdopodobnie pochodzą z osadów lessopodobnych i gleb występujących w tym regionie. Czynniki ten wskazuje na ochronną rolę pokryw lessopodobnych i gleb na przenikanie zanieczyszczeń antropogenicznych do wód gruntowych. Podobną zależność stwierdzili Ellis i Dottridge (1998). Wykazali, że im wyższa miąższość tych utworów tym niższe było stężenie NO₃⁻ w wodach gruntowych. Czynniki 3 jest ujemnie skorelowany z odczynem wody i HCO₃⁻ oraz dodatnio – z jonami NO₃⁻, zaznacza się w nim wpływ topnienia pokrywy śnieżnej i wymywania jonów H⁺ i NO₃⁻ ze śniegu oraz gleby do wód gruntowych. W czasie poboru próbek wody występowała dodatnia temperatura powietrza i rozpoczął się odpływ wód z topnienia śniegu oraz przesiąkanie wody do gruntu. A jak wykazali Johannessen i Henriksen (1978), w początkowej fazie topnienia jest uwalnianie do 80% zawartych w śniegu jonów, przy czym w pierwszej kolejności właśnie jonów H⁺ i NO₃⁻. Czyli topnieniejczy śnieg mógł łatwo przetransportować zanieczyszczenia do głębszych warstw gleby, a także do płytkich wód gruntowych. W okresie pozawegetacyjnym azotany w niewielkim stopniu są wykorzystywane przez rośliny, za to łatwo ługowane i transportowane do wód podziemnych (Ongley, 1996; Hanson & Abraham 2009).

Za pomocą analizy skupień badane wody podziemne zostały połączone w cztery grupy (ryc. 2).

Tab. 3. Średnie wartości parametrów fizycznych i chemicznych wód podziemnych dla poszczególnych grup wyznaczonych przez analizę skupień (EC – przewodność elektrolityczna właściwa, TDS – mineralizacja)

Grupa Group	pH	EC	TDS	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	PO ₄ ³⁻	F ⁻
		μS/cm													
1	6,95	1239,4	916,5	101,2	18,6	82,7	85,4	0,18	334,2	107,5	149,4	35,5	0,62	0,87	0,26
2	6,79	1238,3	836,1	150,0	28,0	62,8	1,7	0,06	172,1	154,7	182,9	83,8	0,003	0,01	0,10
3	7,08	435,0	341,9	64,7	9,4	13,1	1,6	0,08	162,0	50,3	21,3	19,2	0,003	0,05	0,14
4	7,23	779,5	630,8	112,6	14,7	31,2	13,1	0,04	287,9	99,0	43,1	28,8	0,003	0,18	0,22

**Ryc. 2.** Dendrogram wód podziemnych wydzielony analizą skupień Warda**Fig. 2.** Dendrogram based on Ward's cluster analysis of groundwaters

Próbki wody ze studni tworzące grupę 1 cechują się najwyższą, spośród wszystkich grup, mineralizacją i przewodnością. Mają także najwyższe stężenia: K⁺, NH₄⁺, NO₂⁻, PO₄³⁻. Grupa 2 łączy wody także o wysokiej mineralizacji i najwyższych spośród wszystkich grup wartościach stężenia: Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻, Cl⁻. W tej grupie wody podziemne charakteryzują się bardzo wysokimi wartościami stężenia NO₃⁻, jednak pozostałe związki biogenne mają bardzo niskie stężenia. Grupy 1 i 2 łączą wody występujące w obrębie serii solnej Bochni i warstw chodenickich, dlatego mają tak wysokie wartości mineralizacji oraz stężenia Cl⁻, Na⁺, SO₄²⁻. Warstwy te zawierają gips, halit, anhydryt, które są bogate właśnie w te składniki mineralne (Hem, 1985). Wysokie stężenia K⁺ oraz związków azotu i fosforu wskazują na możliwość zanieczyszczania wód grupy 1 ściekami gospodarczymi. Wody w grupie 3 cechują się najwyższym pH, najniższą mineralizacją, przewodnością oraz najniższymi stężeniami większości jonów głównych i związków biogenych. Natomiast w grupie 4 wody charakteryzują się pośrednimi wartościami cech fizycznych i chemicznych w porównaniu do pozostałych grup (tab. 3).

WNIOSKI

Pod względem cech fizyczno-chemicznych wody podziemne tego regionu są typowe dla strefy hipergenicnej klimatu umiarkowanego, gdzie przeważnie wodorowęglany dominują wśród anionów, a wapń – wśród kationów. Zaznacza się także wyraźnie wpływ budowy geologicznej na chemizm wód podziemnych. Dotyczy to przede wszystkim występowania w podłożu halitu i gipsów, co skutkuje wysokimi stężeniami Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ w części wód.

Badane wody są zanieczyszczone, co przejawia się obecnością w nich związków biogenych. Zanieczyszczenie wynika przede wszystkim z działalności człowieka i związane jest z dostawą do wód ścieków bytowo-gospodarczych oraz nawożeniem organiczno-mineralnym gruntów rolnych.

Wykorzystane metody statystyczne są pomocne do oceny jakości i procesów kształtujących chemizm wód podziemnych. Zarówno PCA jak i CA potwierdziły, że ważny wpływ na chemizm wód podziemnych ma rodzaj i skład chemiczny skał oraz gospodarcza działalność człowieka.

LITERATURA

- CAISSIE D., POLLOCK T.L. & CUNJAK R.A. 1996 – Variation in stream water chemistry and hydrograph separation in a small drainage basin. *J. Hydrol.*, 178: 137–157.
- DAVIS J.C. 1986 – Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley & Sons Inc., New York.
- ELLIS J. & DOTTRIDGE J. 1998 – Nitrate contamination of shallow groundwater in the Carpathian Foothills (southern Poland), [W:] Chelmiński W. (red.), The Carpathian Foothills marginal zone. Man and Environment. Geographical Papers, IG JU, 103: 147–157.
- GERMAN K. 1992 – Typy środowiska przyrodniczego w zachodniej części Pogórza Karpackiego. Rozprawy Habilitacyjne, UJ, 246.
- GÜLER C. & THYNE G.D. 2004 – Hydrologic and geologic factors controlling surface and groundwater chemistry in Indian Wells-Owens Valley area. southern California, USA. *J. Hydrol.*, 285: 177–198.
- GÜLER C., THYNE G.D., McCRAY J.E. & TURNER A.K. 2002 – Evaluation of graphical and multivariate statistical methods for classification of water chemistry data. *Hydrogeol. J.*, 10: 455–474.
- HANSON C. & ABRAHAM P. 2009 – Depth and spatial variation in groundwater chemistry – Central Canterbury Plains. Technical Report, Investigations and Monitoring Group, Environment Canterbury, Christchurch, s. 74.
- HEM J.D. 1985 – Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. U.S. Geological Survey, Alexandria, s. 263.
- JOHANNESSEN M. & HENRIKSEN A. 1978 – Chemistry of snow meltwater: changes in concentration during melting. *Water Resources Research*, 14 (4): 615–619.
- KASZOWSKI L. & ŚWIECHOWICZ J. 1995 – Budowa geologiczna progów Pogórza karpackiego między Rabą a Uszwicą. [W:] Kaszowski L. (red.), Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego Progu Karpat między Rabą a Uszwicą. Inst. Geogr. UJ, Kraków: 23–25.
- LALITHA A., LAKSHUMANN C., SUVEDHA M., SUGANYAM. & UDAYAGANESAN P. 2012 – The evaluation of ground water pollution in alluvial and crystalline aquifer by Principal Component Analysis. *Inter. J. Geomat. Geosci.*, 3 (1): 285–298.
- MICHALIK A. 2008 – The use of chemical and luster analysis for studying spring water quality in Świętokrzyski National Park. *Pol. J. Environ. Stud.*, 17 (3): 357–362.
- OLEWICZ Z.R. 1968 – Stratygrafia warstw jednostki bocheńskiej i brzegu jednostki śląskiej między Wieliczką a Bochnią oraz pierwotne ich położenie w basenach sedimentacyjnych Karpat lub Przedgórze. Pr. Inst. Naft., Wyd. Śląsk., Katowice.
- OLEWICZ Z.R. 1973 – Tektonika jednostki bocheńskiej i brzegu jednostki śląskiej między Rabą a Uszwicą. *Acta Geol. Pol.*, 23 (4): 701–761.
- ONGLEY E.D. 1996 – Control of water pollution from agriculture, FAO Irrigation and Drainage Paper, FAO, Rome, s. 55.

- OBRĘBSKA-STARKEL B. 1988 – Klimat. [W:] Warszniaka J. (red.), Województwo tarnowskie – monografia. PAN, Kraków.
- PAZDRO Z. & KOZERSKI B. 1990 – Hydrogeologia ogólna. Wyd. Geol., Warszawa.
- PIETRZAK M. 2005 – Gospodarka wodno-ściekowa na obszarze zlewni podgórskiej położonej na Pogórzu Wiśnickim. [W:] Żelazny M. (red.), Dynamika związków biogennych w wodach opadowych powierzchniowych i podziemnych w zlewniach o różnym użytkowaniu na Pogórzu Wiśnickim. IGiGP UJ, Kraków.
- RUTKOVIENE V., KUSTA A. & CESONIENE L. 2005 – Environmental impact on nitrate levels in the water of shallow wells. *Pol. J. Environ. Stud.*, 14 (5): 631–637.
- SCHOT P.P. & van der WAL J. 1992 – Human impact on regional groundwater composition through intervention in natural flow patterns and changes in land use. *J. Hydrol.*, 134: 297–313.
- SINGH K.P., MALIK A., SINGH V., MOHAN D. & SINHA S. 2005 – Chemometric analysis of groundwater data of alluvial aquifer of Gangetic plain, North India. *Analytica Chimica Acta*, 550: 82–91.
- SIWEK J. & CHEŁMICKI W. 2004 – Geology and land-use related pattern of spring water quality. Case study from the catchments of the Małopolska Upland (S. Poland). *Geol. Acta*, 2 (2): 167–174.
- SIWEK J.P. 2012 – Zmienność składu chemicznego wód w małych zlewniach na progu Pogórza Karpackiego. IGiGP UJ, Kraków.
- SKIBA S. 1992 – Gleby zlewni Starej Rzeki na Pogórzu Wielickim. *Zeszyty Naukowe UJ, Pr. Geogr.*, s. 88.
- SŁOWIK A. 2003 – Chemizm wód podziemnych w rejonie garbu Brzeźnicy na Pogórzu Wiśnickim. praca magisterska, Zakład Hydrologii IGiGP UJ, Kraków.
- ŚWIĘCHOWICZ J. & MICHNO A. 2005 – Obszar Badań. [W:] Żelazny M. (red.), Dynamika związków biogennych w wodach opadowych, powierzchniowych i podziemnych w zlewniach o różnym użytkowaniu na Pogórzu Wiśnickim. IGiGP UJ, Kraków.
- WANTY R.B., GOLDBERGER M.B., MORRISON J.M. & LEE L. 2009 – Regional variations in water quality and relationships to soil and bedrock weathering in the southern Sacramento Valley. California, USA. *Applied Geochemistry*, 24: 1512–1523.
- WOOCAY A. & WALTON J. 2008 – Multivariate analyses of water chemistry: surface and ground water interactions. *Ground Water*, 46 (3): 437–449.
- ŻELAZNY M. (red.) 2005 – Dynamika związków biogennych w wodach opadowych, powierzchniowych i podziemnych w zlewniach o różnym użytkowaniu na Pogórzu Wiśnickim. IGiGP UJ, Kraków.