



Czasowa zmienność zawartości wybranych składników rozpuszczonych w wodach gruntowych układu katenalnego na Pojezierzu Poznańskim

Michał Kozłowski, Jolanta Komisarek
Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań

1. Wstęp

Ilość składników rozpuszczonych w wodach gruntowych a tym samym ich jakość jest funkcją wielu naturalnych procesów i czynników, na które niejednokrotnie nakłada się działalność człowieka. Stąd też skład chemiczny wód gruntowych jest zmienną cechą, zarówno w czasie, jak i przestrzeni [7, 11, 13].

Z punktu widzenia optymalizacji produkcji roślinnej, ochrony i kształtowania zasobów wodnych i glebowych ocena przestrzennej i czasowej zmienności zawartości składników rozpuszczonych w wodach gruntowych ma szczególne znaczenie. W celu zrozumienia czasowego i przestrzennego zróżnicowania chemizmu wód gruntowych stosowano wiele technik badawczych [1-7, 11-14, 16, 17, 19, 23, 24, 26]. Jedne z nich korzystały z klasycznych czy wielowymiarowych analiz statystycznych [6, 14, 19, 23, 24], natomiast drugie – z metod geostatystycznych [1–3, 7, 8, 10, 11, 26]. Zwykle techniki geostatystyczne używane były do oceny przestrzennej zmienności właściwości gleb, natomiast mniej uwagi poświęcono na ich przydatność do określenia zmienności czasowej chemizmu wód gruntowych. Jedynie w nielicznych pracach [3, 9] zastosowano metody geostatystyczne do parametryzacji zmienności czasowej składników rozpuszczonych w wodach gruntowych.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań nad oceną czasowej zmienności chemizmu wód gruntowych w układzie katenalnym, który definiowany jest jako, sekwencja gleb wzdłuż stoku, powiązanych

ze sobą całokształtem procesów glebotwórczych i wietrzenia, a także translokacji produktów wietrzenia wraz z dynamiką wód powierzchniowych i podpowierzchniowych. Oceny tej dokonano na podstawie ilościowej kwantyfikacji zmienności czasowej zawartości składników rozpuszczonych w wodach gruntowych określonej przy pomocy metod geostatystycznych.

2. Materiał i metody

Badania przeprowadzono w mikrozewni rolniczej na terenie Rolniczo-Sadowniczego Gospodarstwa Doświadczalnego Przybroda (UP Poznań) położonego w północno-wschodniej części Pojezierza Poznańskiego w obrębie Równiny Szamotulskiej (rys. 1). Pod względem geomorfologicznym teren ten stanowi fragment falistej moreny dennej zlodowacenia bałtyckiego fazy poznańskiej.

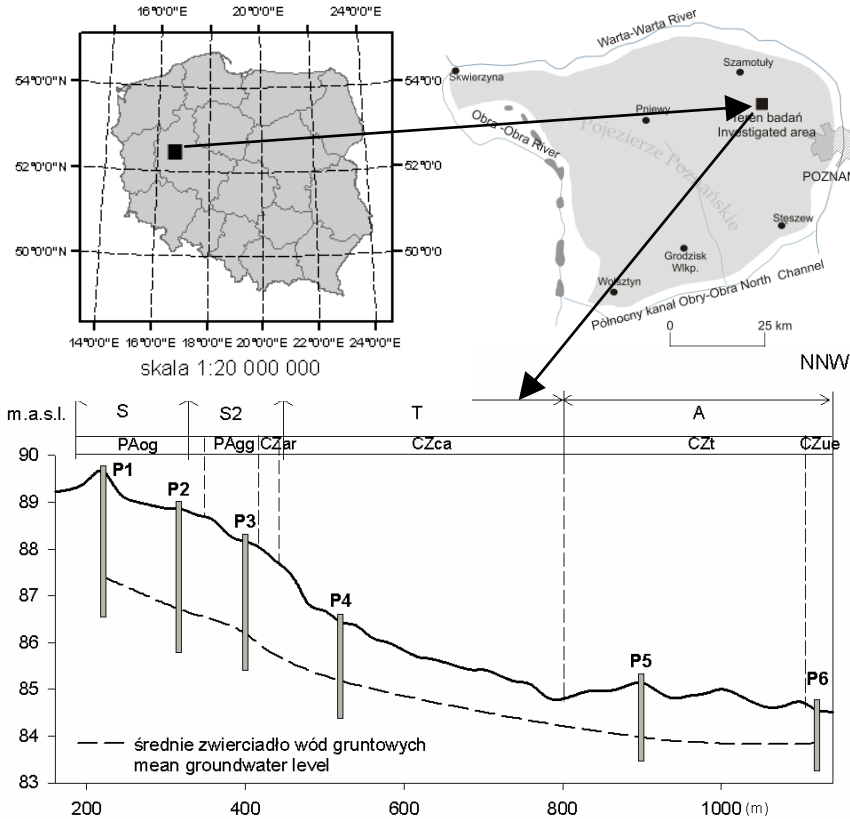
Czasową zmienność zawartości wybranych składników rozpuszczonych w wodach gruntowych przebadano w układzie katenalnym gleb płowoziemnych i czarnych ziem o kierunku SSW-NNE [15] (rys. 1). Próbkę wód gruntowych pobierano z 6 studzienek w latach 2004–2006 w odstępach dwu lub czterotygodniowych, po uprzednim pomiarze zwierciadła wód i usunięciu ze studzienek wód stagnujących [22]. Studzienki wykonano z rur PCV o średnicy 80 mm, które powierzchniowo zabezpieczono rurą osłonową PCV o średnicy 160 mm. Studzienki te zainstalowano w następujących podtypach gleb: P1, P2 – gleby płowe zaciekowe opadowo-glejowe, P3 – gleba płowa zaciekowa gruntowo-glejowa, P4 – czarna ziemia z poziomem cambic, P5 – czarna ziemia typowa, P6 – czarna ziemia murszasta (rys. 1).

W pobieranych wodach gruntowych oznaczano zawartości podstawowych kationów: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ i Na^+ metodą AAS, przewodność elektryczną właściwą (EC) – konduktometrycznie, odczyn (pH) – elektrometrycznie, zawartość jonów PO_4^{3-} – metodą kolorymetryczną [21], zawartość jonów HCO_3^- – metodą miareczkową oraz jonów SO_4^{2-} – metodą wagową [9].

Ocenę zmienności czasowej zawartości badanych składników określono przy zastosowaniu metod geostatystycznych, w których podstawową funkcją jest semiwariancja ($\gamma_{(k)}$) [25]:

$$\gamma_{(k)} = \frac{1}{2 \cdot n(k)} \cdot \sum_{i=1}^{n(k)} [z(x_i) - z(x_{i+k})]^2$$

gdzie: $n(k)$ – liczba par obserwacji, $z(x_i)$ – wartość analizowanego składnika w czasie x_i , $z(x_{i+k})$ – wartość analizowanego składnika w czasie x_{i+k} , k – przedział czasowy.



Rys. 1. Lokalizacja terenu badań i schemat rozmieszczenia stacjonarnych punktów pomiarowych w katenie: S – kulminacja stoku, S2 – stok swobodny, T – stok usypiskowy, A – podnóże, PAog – gleby płowe zaciekowe opadowo-glejowe, PAgg – gleby płowe zaciekowe gruntowo-glejowe, Czar – czarne ziemie z poziomem argic, CZca – czarne ziemie z poziomem cambic, CZt – czarne ziemie typowe, CZue – czarne ziemie murszaste

Fig.1. Location of investigated area and distribution of stationary measurement spots: S – summit, S2 – shoulder, T – pediment, A – footslope, PAog – Cutanic Stagnic Albeluvisols, PAgg – Cutanic Gleyic Albeluvisols (Eutric), Czar – Luvic Chernozem, CZca – Gleyic Calcic Chernozem, CZt – Mollic Calcic Gleysol (Eutric), CZue – Mollic Calcic Gleysol (Eutric, Drainic)

Zależności pomiędzy wartościami semiwariancji, a skorelowanymi przedziałami czasowymi (tygodnie) określono za pomocą programu Variovin 2.21 [20]. Strukturę zmienności czasowej chemizmu wód gruntowych opisano podwójnym modelem sferycznym, pozwalającym na wydzielenie w strukturze zmienności czasowej krótkookresowych ($0 < k < a_1$) i długookresowych zmian ($a_1 < k < a_2$):

$$\gamma_{(k)} = \left\{ \begin{array}{ll} C_0 & k = 0 \\ C_0 + C_1 \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot \frac{k}{a_1} - 0.5 \cdot \left(\frac{k}{a_1} \right)^3 \right) + C_2 \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot \frac{k}{a_2} - 0.5 \cdot \left(\frac{k}{a_2} \right)^3 \right) & 0 < k < a_1 \\ C_0 + C_1 + C_2 \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot \frac{k}{a_2} - 0.5 \cdot \left(\frac{k}{a_2} \right)^3 \right) & a_1 < k < a_2 \\ C_0 + C_1 + C_2 & a_2 < k \end{array} \right.$$

gdzie: C_0 – zmienność losowa, C_1 i a_1 – kolejno, zmienność systematyczna i zakres oddziaływania pierwszego członu modelu ($0 < k < a_1$), C_2 i a_2 – kolejno, zmienność systematyczna i zakres oddziaływania drugiego członu modelu ($a_1 < k < a_2$).

3. Wyniki badań

W okresie przeprowadzonych badań (2004–2006) przebieg wahań zwierciadła wód gruntowych (zwg) był podobny w analizowanych studzienkach, natomiast średnie zaleganie i amplituda wahań uzależniona były od położenia gleb w reliefie (tab. 1). W położonych najwyżej w reliefie glebach płowych zaciekowych zwg średnio zalegało na głębokości 330, 315 i 258 cm p.p.t, kolejno w studzienkach P1, P2 i P3. Wraz z obniżaniem się rzędnej terenu wody gruntowe zalegały płycej wykazując jednocześnie mniejszą amplitudę wahań. W czarnych ziemiach wody gruntowe zalegały średnio na głębokości 215 (P4), 134 (P5) i 118 (P6) cm p.p.t.

W tabeli 1 przedstawiono średnie wartości analizowanych składników na tle wartości minimalnej i maksymalnej.

Tabela 1. Wartości średnie zalegania zwierciadła wód gruntowych i stężeń analizowanych składników rozpuszczonych w wodach gruntowych

Table 1. The average values of the groundwater level and concentration of components dissolved in groundwater

Parametr		P1	P2	P3	P4	P5	P6
ZWG	cm p.p.t	<u>330</u> 219–396	<u>315</u> 238–406	<u>258</u> 138–340	<u>215</u> 105–287	<u>134</u> 47–197	<u>118</u> 34–165
EC	dS·m ⁻¹	<u>2,3</u> 1,27–3,07	<u>2,5</u> 1,48–3,19	<u>2,1</u> 1,14–2,92	<u>1,9</u> 0,97–2,53	<u>2,7</u> 0,754–3,5	<u>3,2</u> 2,04–4,16
Odczyn	pH	<u>7,4</u> 6,35–8,12	<u>7,4</u> 6,84–8,03	<u>7,5</u> 6,95–8,20	<u>7,5</u> 6,86–8,34	<u>7,7</u> 7,12–8,29	<u>7,4</u> 6,82–8,08
Ca ²⁺	mg·dm ⁻³	<u>89,5</u> 39,5–154,2	<u>118,5</u> 73,0–181,3	<u>111,2</u> 68,5–160,4	<u>93,7</u> 55,3–165,7	<u>52,7</u> 11,3–110,3	<u>84,7</u> 24,5–170,9
Mg ²⁺		<u>53,9</u> 39,4–79,7	<u>46,2</u> 29,2–62,8	<u>34,1</u> 10,1–45,9	<u>39,2</u> 13,78–57,5	<u>116,4</u> 13,5–170,2	<u>114,1</u> 87,8–194,4
K ⁺		<u>2,46</u> 1,60–4,45	<u>2,24</u> 1,35–3,15	<u>0,87</u> 0,25–1,95	<u>0,64</u> 0,02–1,70	<u>4,68</u> 0,45–8,25	<u>4,35</u> 2,43–6,55
Na ⁺		<u>22,7</u> 14,80–35,20	<u>28,3</u> 15,65–44,55	<u>15,3</u> 6,85–27,35	<u>17,0</u> 6,30–25,35	<u>73,2</u> 4,80–130,8	<u>52,4</u> 29,90–88,74
HCO ₃ ⁻		<u>539,9</u> 268,4–1000,4	<u>408,9</u> 225,7–786,9	<u>341,1</u> 97,6–640,5	<u>341,9</u> 176,9–489,2	<u>576,3</u> 208,0–957,7	<u>989,8</u> 494,4–1433,5
SO ₄ ²⁻		<u>177,3</u> 76,0–365,0	<u>213,5</u> 38,0–344,0	<u>140,2</u> 35,0–315,7	<u>180,9</u> 35,0–393,5	<u>310,9</u> 41,6–556,4	<u>242,6</u> 23,0–415,0
PO ₄ ³⁻		<u>0,14</u> 0,001–0,653	<u>0,20</u> 0,001–1,810	<u>0,11</u> 0,001–0,469	<u>0,11</u> 0,001–0,595	<u>0,16</u> 0,001–0,554	<u>0,17</u> 0,001–0,762

średnia

minimum–maksimum

W wodach gruntowych gleb płowych zaciekowych (P1–P3) średnie wartości przewodności elektrycznej właściwej wahały się od 2,4 do 2,1 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, natomiast w wodach czarnych ziem podnóża stoku (P5 i P6) wartości te były wyraźnie wyższe i wynosiły od 2,7 do 3,2 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Odczyn badanych wód gruntowych kształtował się od 7,4 (w P1) do 7,7 (w P5) pH. Średnia zawartość wapnia w analizowanych wodach wynosiła od 52,7 (w P5) do 118,5 (w P2) $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Poza jonami wapnia kationem występującym w dużych ilościach był magnez, którego zawartości w wodach były wyraźnie zróżnicowane pomiędzy analizowanymi studzienkami. Średnie stężenia Mg^{2+} w wodach czarnych ziem podnóża stoku (P5 i P6) były dwu- a nawet trzykrotnie większe (114,1 i 116,4 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) w porównaniu ze stężeniami tego pierwiastka w wodach gruntowych gleb położonych wyżej w reliefie, które wynosiły od 34,1 do 53,9 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ (od P1 do P4). W przypadku potasu także jego najwyższe średnie zawartości obserwowano w wodach studzienek P5 i P6, które kolejno wynosiły 4,68 i 4,35 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. W wodach gruntowych pozostałych gleb stężenia te kształtowały się od 0,87 (P3) do 2,46 (P1) $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Również ilości sodu w analizowanych wodach gruntowych charakteryzowały się dużymi dysproporcjami stężeń. Średnie ilości Na^+ w wodach studzienek P1, P2, P3 i P4 wynosiły odpowiednio: 22,7, 28,3, 15,3 i 17,0 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Wyraźnie wyższe zawartości Na^+ obserwowano w wodach gruntowych stanowisk P5 i P6 (kolejno 73,2 i 52,4 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) w porównaniu z zawartościami w pozostałych wodach (P1–P4), co związane jest ze składem chemicznym gleb [12].

W składzie chemicznym wód gruntowych spośród analizowanych anionów dominowały jony HCO_3^- , których średnie zawartości kształtowały się od 341,1 (P3) do 989,8 (P6) $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Również w dużych ilościach występował anion siarczanowy (SO_4^{2-}), którego średnie stężenia wnosyły 177,3, 213,5, 140,2 i 180,9 $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, kolejno dla P1, P2, P3 i P4. W wodach gruntowych czarnych ziem podnóża stoku zawartości SO_4^{2-} były wyższe i średnio wynosiły 310,9 (P5) i 242,6 (P6) $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$. Jony PO_4^{3-} nie wykazywały takiego wyraźnego zróżnicowania przestrzennego, jak stężenia SO_4^{2-} . Średnie zawartości PO_4^{3-} wynosiły od 0,11 (P3) do 0,20 (P2) $\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$.

W tabeli 2 przedstawiono parametry semiwariogramów czasowej zmienności (systematycznej i losowej) zawartości analizowanych składników rozpuszczonych w wodach gruntowych. Zmiany stężeń analizo-

wanych charakterystyk zachodziły stopniowo, wykazując przy tym dużą zmienność systematyczną i małą zmienność losową. Mały udział zmienności losowej wskazuje, że zmiany stężeń analizowanych składników były ze sobą czasowo skorelowane. W strukturze zmiennej przewidywalnej (systematycznej) widoczne były dwa okresy czasowego zróżnicowania zawartości składników rozpuszczonych. Pierwszy z nich dotyczy systematycznych zmian realizujących się w krótszych przedziałach czasowych, które mogły wynikać z dopływu do wód gruntowych związków rozpuszczonych wraz z perkolującymi wodami oraz z dopływami i odpływami poziomymi. Natomiast drugi, charakteryzuje zmiany dla dłuższych okresów, które mogły być związane z dynamiczną równowagą, jaka ustala się pomiędzy procesami wietrzenia i translokacji produktów wietrzenia, a także ich ługowania i precypitacji. Wraz z obniżaniem położenia gleb w reliefie wartość przewidywalna (zmienność systematyczna) zarówno w pierwszej (C_1), jak i w drugiej fazie cykliczności (C_2) skorelowana była w krótszych przedziałach czasowych.

Tabela 2. Wartości parametrów semiwariogramów

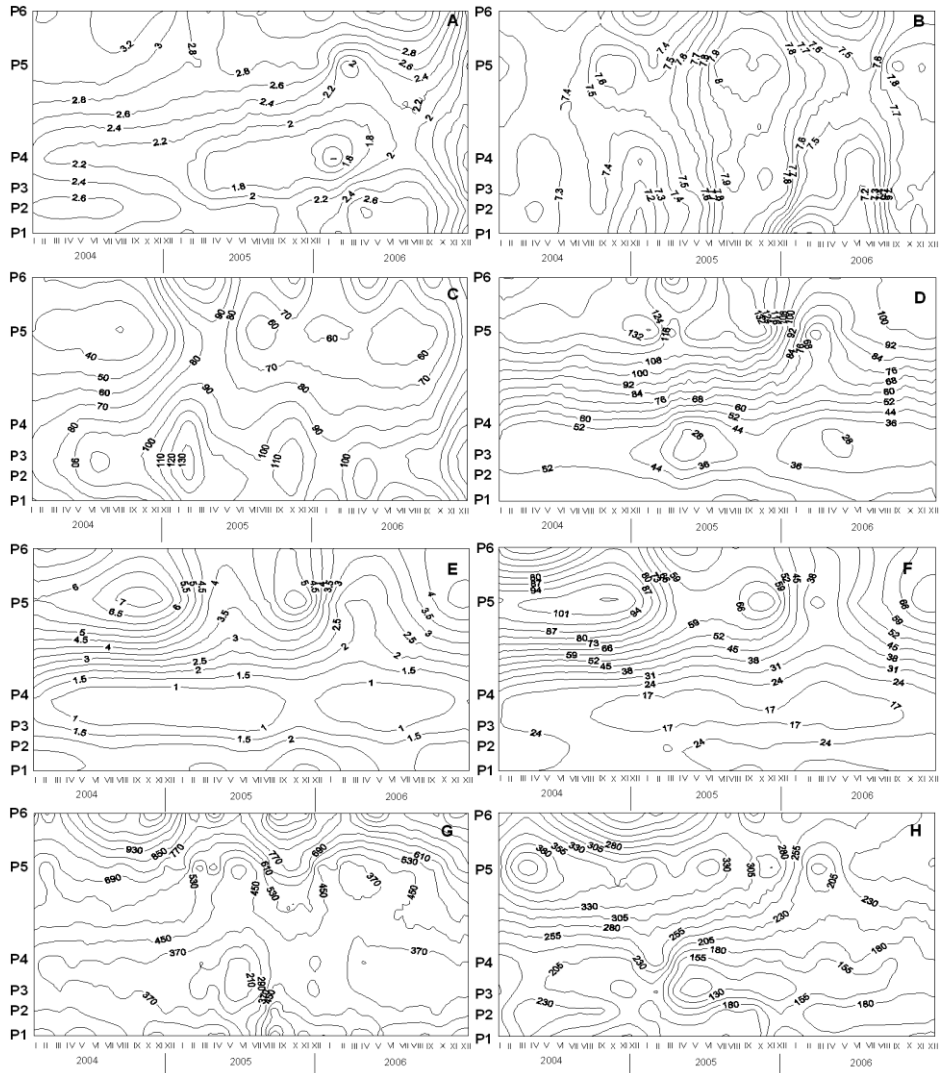
Table 2. Parameters of semivariograms

Wyszczególnienie Specification	Studzienka Well	Parametry semiwariogramów Parameters of semivariograms				
		C_0	C_1	C_2	a_1 [tygodnie weeks]	a_2 [tygodnie weeks]
Ca^{2+} [mg·dm ⁻³] ²	P1	200	320	320	19	45
	P2	200	250	200	20	40
	P3	130	170	180	13	40
	P4	231	220	200	12	40
	P5	150	250	200	12	38
	P6	290	300	750	8	30
Mg^{2+} [mg·dm ⁻³] ²	P1	9	12	38	17	50
	P2	13	15	35	18	50
	P3	3	29	50	15	42
	P4	5	45	61	9	37
	P5	22	200	880	8	36
	P6	90	100	240	8	36

Tabela 2. cd
Table. 2. cont.

Wyszczególnienie Specification	Studzienka Well	Parametry semiwariogramów Parameters of semivariograms				
		C ₀	C ₁	C ₂	a ₁ [tygodnie weeks]	a ₂ [tygodnie weeks]
K⁺ [mg·dm ⁻³] ²	P1	0,029	0,120	0,160	18	42
	P2	0,031	0,080	0,090	17	41
	P3	0,033	0,047	0,028	15	35
	P4	0,030	0,050	0,034	22	39
	P5	0,087	0,620	4,193	10	33
	P6	0,050	0,600	1,650	11	33
Na⁺ [mg·dm ⁻³] ²	P1	3,4	5	9	15	45
	P2	2	15	7	12	42
	P3	3,0	12,3	7,3	12	40
	P4	3,9	9,5	7,5	11	38
	P5	48	12	550	11	35
	P6	10	80	225	10	35
HCO₃⁻ [mg·dm ⁻³] ²	P1	4609	9571	5089	10	39
	P2	4080	2551	2773	11	38
	P3	3479	3951	4003	10	38
	P4	924	3486	2236	10	34
	P5	8061	6449	27057	9	31
	P6	6333	16820	32790	6	32
SO₄²⁻ [mg·dm ⁻³] ²	P1	230	1140	–	25	–
	P2	420	820	–	23	–
	P3	650	1250	–	23	–
	P4	420	1620	–	17	–
	P5	1180	2000	4000	17	43
	P6	700	800	2000	14	40
[pH]²	P1	0,01996	0,01517	0,16880	21	49
	P2	0,00715	0,00945	0,09100	22	42
	P3	0,01680	0,02413	0,06032	21	46
	P4	0,00461	0,01726	0,06555	13	28
	P5	0,00604	0,03143	0,04538	8	28
	P6	0,00053	0,01100	0,07650	8	26
EC [dS·m ⁻¹] ²	P1	0,07692	0,03922	0,11310	13	44
	P2	0,06240	0,02017	0,04163	13	42
	P3	0,07691	0,03061	0,11800	12	40
	P4	0,05638	0,04182	0,04849	11	35
	P5	0,12270	0,12280	0,15200	9	31
	P6	0,11310	0,11600	0,13050	9	30

Na podstawie przeprowadzonej analizy geostatystycznej można stwierdzić, że wartości przewodności elektrycznej właściwej analizowanych wód gruntowych skorelowane były w czasie od 9 (P6) do 13 (P1) tygodni w pierwszym okresie zmian, natomiast w drugim od 30 (P6) do 43 (P1) tygodni. W przypadku odczynu jego zmiany krótkookresowe skorelowane były w czasie od 8 (P6) do 20 (P1) tygodni a długookresowe od 26 (P6) do 49 (P1) tygodni. Zmienność systematyczna stężeń Ca^{2+} dla pierwszej struktury modelu semiwariogramu realizowała się od 8 (P6) do 19 (P1) tygodni, natomiast dla drugiej w czasie od 30 (P6) do 45 (P1). Również czasowa zmienność stężeń Mg^{2+} wykazywała związek z rozmieszczeniem gleb w układzie katenalnym. Systematyczne zmiany zawartości Mg^{2+} w glebach płowych zaciekowych opadowo-glejowych (P1 i P2) skorelowane były w czasie od 17 do 18 tygodni (zmiany krótkookresowe) i 50 tygodni (zmiany długookresowe), podczas gdy w czarnych ziemiach podnóża stoku (P5 i P5) zmiany te wynosiły 8 tygodni (zmiany krótkookresowe) i 36 tygodni (zmiany długookresowe). Stężenia potasu dla pierwszego okresu zmian skorelowane były od 10 (P5) do 18 (P1) tygodni, natomiast dla drugiego od 33 (P5 i P6) do 42 (P1) tygodni. Również czasowe zróżnicowanie zawartości sodu charakteryzowało się dwoma strukturami zmienności przewidywalnej. Pierwsza z nich realizowała się w czasie od 10 (P6) do 15 (P1) tygodni a druga od 35 (P6) do 45 (P1) tygodni. W przypadku analizowanych anionów także obserwowano wyraźne dwa okresy skorelowania ich stężeń. Jony HCO^- dla pierwszej struktury modelu skorelowane były w czasie od 6 tygodni w wodach gruntowych czarnej ziemi murszastej (P6) do 10 tygodni w wodach gleby płowej zaciekowej opadowo-glejowej (P1), natomiast dla drugiej struktury modelu od 31 (P5) do 39 (P1) tygodni. Krótkookresowa systematyczna zmienność czasowa zawartości jonów SO_4^{2-} w analizowanych wodach gruntowych skorelowana była w czasie 25 tygodni (P1), 23 tygodni (P2 i P3), 17 tygodni (P4 i P5) i 14 tygodni (P6). W wodach gleb od P1 do P4 nie obserwowano długookresowej zmienności, podczas gdy w pedonach podnóża stoku zmienność ta wystąpiła i skorelowana była w czasie 43 i 40 tygodni, kolejno P5 i P6.



Rys. 2. Izolinie czasowej i przestrzennej zmienności zawartości analizowanych składników: A – EC [$\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$], B – odczynu [pH], C – Ca^{2+} [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$], D – Mg^{2+} [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$], E – K^{+} [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$], F – Na^{+} [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$], G – HCO_3^{-} [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$], H – SO_4^{2-} [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]

Fig. 2. Isolines of seasonal and spatial variability of analyzed components concentration: A – EC [$\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$], B – pH, C – Ca^{2+} [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$], D – Mg^{2+} [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$], E – K^{+} [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$], F – Na^{+} [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$], G – HCO_3^{-} [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$], H – SO_4^{2-} [$\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$]

Na rysunku 2 przedstawiono izolinie czasowej zmienności zawartości analizowanych składników w układzie katenalnym. W latach 2004 i 2006 obserwowano wyższe wartości EC, aniżeli w roku 2005, przy czym wyraźnie większe wartości EC obserwowano w wodach czarnych ziem podnóża stoku (P5 i P6) w porównaniu z wodami pozostałych gleb (P1–P4). Odczyn badanych wód nie był istotnie zróżnicowany przestrzennie, natomiast przebieg izolinii wskazuje na dużą zależność czasową (rys. 2 B). Najniższe wartości odczynu zanotowano w miesiącach grudzień–styczeń, natomiast najwyższe w sierpniu–wrzesieniu 2005 roku i w wrzesieniu–listopadzie 2006 roku. W roku 2004 najwyższe stężenia Ca^{2+} były na przełomie czerwiec/lipiec, w 2005 roku w lutym (P1–P4) i marcu (P5–P6), natomiast w 2006 roku w styczniu i lutym (P5 i P6) oraz na przełomie kwiecień/maj (P1–P4). Wyraźnie mniejsze stężenia Ca^{2+} stwierdzono w wodach gruntowych pedonów położonych najniżej w reliefie (P5 i P6) w porównaniu do stężeń Ca^{2+} w wodach gleb położonych wyżej w układzie katenalnym (P1–P4). Wody gruntowe czarnych ziem podnóża (P5 i P6) stoku cechowały się dużymi zawartościami Mg^{2+} , które skorelowane były w krótszych przedziałach czasowych w porównaniu z wodami pozostałych pedonów (P1–P4). Najniższe stężenia Mg^{2+} obserwowano w miesiącach kwiecień i maj, natomiast najwyższe w październiku (2005) i grudniu (2004 i 2006). Podobnym przebiegiem izolinii charakteryzowały się stężenia K^{+} i Na^{+} (rys. 2 E i F), które były najwyższe w studzienkach zlokalizowanych najniżej w reliefie i jednocześnie były skorelowane w krótszym okresie czasowym. Również zawartości analizowanych anionów były wyższe w wodach gruntowych studzienek zlokalizowanych najniżej w katenie (P5 i P6) niż w wodach pozostałych studzienek (P1–P4) (rys. 2 G i H).

4. Dyskusja

Wyniki niniejszych badań potwierdzają [11, 13, 16, 17] zależności pomiędzy zróżnicowaniem zawartości składników rozpuszczonych w wodach gruntowych a układem topohydrosekwencyjnym gleb, które należy rozpatrywać na tle geochemii materiałów macierzystych gleb, reliefu oraz reżimu wodnego gleb. Przykładem są wody gruntowe czarnych ziem podnóża stoku (P5, P6), które charakteryzowały się wyższymi stężeniami większości badanych składników w porównaniu z wodami

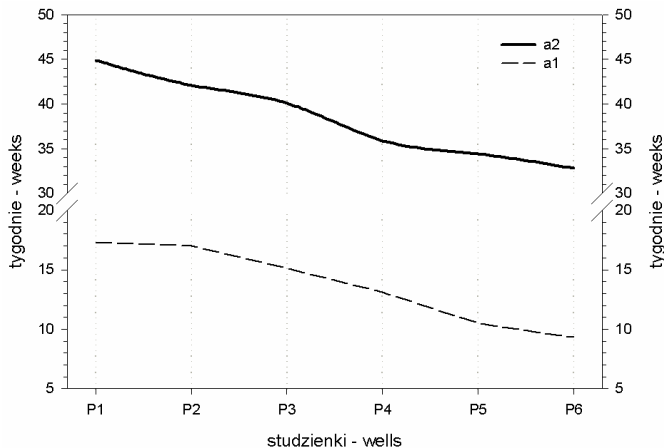
gleb wyższych partii kateny. Spośród kationów Ca^{2+} i Mg^{2+} , pierwszy jon dominował w wodach gruntowych studzienek P1–P4, natomiast drugi w wodach stanowisk P5 i P6. Związane to było z występowaniem w materiale macierzystym podnóża stoku węglanów magnezowo-wapniowych i węglanów magnezu [12, 13].

Przeprowadzone badania wykazały, że w chemizmie wód gruntowych układu katenalnego występują wyraźne dwa okresy systematycznej zmienności czasowej, które nie były obserwowane we wcześniejszych badaniach przeprowadzonych przez **Marcinka** i **in.** [16, 17], natomiast **Komisarek** i **Kozłowski** [11] wskazują na dwie struktury semiwariogramów zmienności czasowej zawartości kationów w wodach gruntowych.

Wydaje się, że z punktu widzenia ochrony i kształtowania zasobów wodnych i glebowych istotne znaczenie mają zmiany krótkookresowe, wynoszące od 6 tygodni dla stężenia wodorowęglanów w wodach gruntowych czarnej ziemi murszastej (P6) do 25 tygodni dla zawartości siarczanów w wodach gruntowych studzienki zlokalizowanej najwyżej w badanej katenie w glebie płowej zaciekowej opadowo-glejowej (P1). Średnio zmiany krótkookresowe stężeń składników rozpuszczonych w wodach gruntowych wynosiły od 9 do 17 tygodni (rys. 3), co może być związane z cyklicznym letnim przesychnaniem gleb i obniżaniem zwierciadła wód gruntowych oraz zimowo-wiosennym nawilżaniem i odbudową retencji oraz zwierciadła wód gruntowych. Zmiany długookresowe, wynosiły od 26 dla pH w wodach gleby P6 do 50 tygodni dla stężeń magnezu w stanowisku P1 i P2. Średnie zmiany stężeń analizowanych składników skorelowane w dłuższych przedziałach czasowych wynosiły od 33 tygodni (P6) do 45 tygodnie (P1) (rys. 3). Obserwowane systematyczne zmiany długookresowe mogą wynikać z równowagi dynamicznej, jaka ustala się pomiędzy procesami wietrzenia i translokacji produktów wietrzenia, a także ich ługowania i precypitacji w układzie katenalnym. Jak podają **Komisarek** [12] oraz **Kozłowski** i **Komisarek** [13] w wodach tych może dochodzić wytrącania kalcytu i dolomitu i ich rozpuszczania.

Z przeprowadzonej analizy geostatystycznej wynika, że wraz z obniżaniem się rzędnej terenu wartość przewidywalna (zmienność systematyczna) zarówno w pierwszej, jak i w drugiej fazie zmian skorelowana jest w coraz krótszych przedziałach czasowych. Zależność powyższą należy wiązać z krótszym czasem migracji wód opadowych do zwierciadła wód gruntowych przez zmniejszającą się miąższość strefy nienasyco-

nej wraz z obniżaniem rzędnej terenu [18]. Uzyskane wartości semiwariogramów z jednej strony wskazują, że pomiary chemizmu wód gruntowych można prowadzić w dłuższych przedziałach czasowych, natomiast z drugiej, interwały pomiarowe zależą od położenia studzienek w reliefie.



Rys. 3. Średnie wartości krótko- (a1) i długookresowej (a2) systematycznej zmienności stężeń analizowanych składników

Fig. 3. The average values of the short (a1) and long (a2) time range of systematic variability of analyzed components

5. Wnioski

Wyniki niniejszych badań nad czasową zmiennością zawartości wybranych składników rozpuszczonych w wodach gruntowych pozwalają na sformułowanie następujących wniosków i stwierdzeń:

1. Zróznicowanie zawartości składników rozpuszczonych w wodach gruntowych wykazuje istotny związek z układem katalnym czyli sekwencją gleb wzdłuż stoku oraz geochemią materiałów macierzystych gleb.
2. Czasowe zmiany stężenia badanych składników charakteryzują się dużą zmiennością systematyczną i małą losową. W zmiennej systematycznej widoczne są dwa okresy stopniowych zmian zawartości składników – zmienność krótko- i długookresowa.
3. Krótkookresowe stopniowe zmiany EC, pH oraz stężeń Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- w analizowanych wodach gruntowych

- skorelowane były przeważnie w czasie od 9 do 17 tygodni (zmienność krótkookresowa) oraz od 33 do 45 tygodni (zmienność długookresowa).
4. Wraz z obniżaniem rzędnej terenu wartość przewidywalna (zmienność systematyczna) stężeń składników rozpuszczonych w wodach gruntowych, wykazuje krótszy czas ich skorelowania. Czas ten, kolejno dla systematycznych zmian krótko- i długookresowych wynosił średnio 17 i 45 tygodni w wodach gruntowych kulminacji stoku, podczas gdy w wodach podnóża kateny 9 i 33 tygodnie.

Literatura

1. **Adhikary P.P., Chandrasekharan H., Chakraborty D., Kamble K.:** *Assessment of groundwater pollution in west Delhi, India using geostatistical approach.* Environmental Monitoring and Assessment 167, 599–615 (2010).
2. **Adhikary P.P., Dash C.J., Chandrasekharan H., Rajput T. B. S., Dubey S. K.:** *Evaluation of groundwater quality for irrigation and drinking using GIS and geostatistics in a peri-urban area of Delhi, India.* Arabian Journal of Geosciences 5, 1423–1434 (2012).
3. **Banaszuk P., Wysocka-Czubaszek A., Kondratiuk P.:** *Spatial and temporal patterns of groundwater chemistry in the river riparian zone.* Agriculture Ecosystems and Environment 107, 167–179 (2005).
4. **Bartoszewicz A.:** *Zmiany zawartości rozpuszczalnych w wodzie form niektórych składników mineralnych w glebie płowej pod kilkuletnim zadrzewieniem śródpolnych.* Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 478, 405–411 (2001).
5. **Benson V.S., Van Leeuwen J.A., Stryhn H., Somers G.H.:** *Temporal analysis of groundwater nitrate concentrations from wells in Prince Edward Island, Canada: application of a linear mixed effects model.* Hydrogeology Journal 15, 1009–1019 (2007).
6. **Chou C.J.:** *Assessing spatial, temporal, and analytical variation of groundwater chemistry in a large nuclear complex, USA.* Environmental Monitoring and Assessment 119, 571–598 (2006).
7. **D'Agostino V., Greene E. A., Passarella G., Vurro M.:** *Spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of coregionalization.* Environmental Geology 36 (3–4), 285–295 (1998).
8. **Grzebisz W., Cieśla L., Komisarek J., Potarzycki J.:** *Geochemical assessment of heavy metals pollution of urban soils.* Polish Journal of Environmental Studies 11 (5), 493–499 (2002).
9. **Hermanowicz W., Dojlido J., Dożańska W., Koziorowski B., Zerbe J.:** *Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków.* Wyd. Arkady. Warszawa, 1999.

10. **Jakubus M., Komisarek J., Walkowiak R., Mocek A., Czekala J., Moliński K.:** *Spatial distribution of cadmium, nickel and lead in soil humus horizon in the middle part of Wielkopolska region.* Fresenius Environmental Bulletin Volume 19 (4), 569–575 (2010).
11. **Komisarek J., Kozłowski M.:** *Czasowa zmienność zawartości kationów w wodach gruntowych gleb kateny falistej moreny dennej Pojezierza Poznańskiego.* Roczn. AR Pozn. 357, Melior. Inż. Środ. 25, 257–266 (2004).
12. **Komisarek J.:** *Kształtowanie się właściwości gleb pływych i czarnych ziem oraz chemizmu wód gruntowych w katenie falistej Pojezierza Poznańskiego.* Roczn. AR Pozn. Rozp. Nauk. 307, 2000
13. **Kozłowski M., Komisarek J.:** *Specjacja wybranych składników rozpuszczonych w wodach gruntowych układu katenalnego na Pojezierzu Poznańskim.* Rocznik Ochrona Środowiska (Annual Set the Environment Protection), 14, 607–622 (2012).
14. **Liu CW., Lin KH., Kuo YM.:** *Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease in Taiwan.* The Science of the Total Environment. 313, 77–89 (2003).
15. **Marcinek J., Kaźmierowski C., Komisarek J.:** *Rozmieszczenie gleb i zróżnicowanie ich właściwości w katenie falistej moreny dennej Pojezierza Poznańskiego.* Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 460, 53–73 (1998).
16. **Marcinek J., Komisarek J., Kaźmierowski C.:** *Czasowa i przestrzenna zmienność chemizmu wód gruntowych w układzie katenalnym gleb Wielkopolski.* Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 418, 149–156 (1995).
17. **Marcinek J., Komisarek J., Kaźmierowski C.:** *Dynamika składników rozpuszczonych w wodach gruntowych uprawnych gleb pływych i czarnych ziem.* Roczn. AR Pozn. 268, Melior. Inż. Środ. 15, cz. 1, 69–82 (1994).
18. **Marcinek J., Komisarek J.:** *Pojemność wymienna kationów i czas migracji składników rozpuszczonych w wodzie od powierzchni gleby do zwierciadła wód gruntowych.* Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN 69, 1990.
19. **Mitra B.K., Sasaki C., Enari K., Matsuyama N., Pongpattanasiri S.:** *Groundwater quality in sand dune area of northwest Honshu island in Japan.* Journal of Agronomy 6(1), 81–87 (2007).
20. **Pannatier Y.:** *VARIOWIN: Software for Spatial Data Analysis in 2D.* Springer Verlag, 91p, 1996.

21. PN-88-C04537/04. Woda i ścieki. Badania zawartości związków fosforu. Oznaczanie rozpuszczonych ortofosforanów kolorymetryczną metodą molibdenianową z kwasem askorbinowym jako reduktorem. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa.
22. PN-EN 25667-1. Jakość wody. Pobieranie próbek.. Wytyczne dotyczące opracowania programów pobierania próbek. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa, 2003.
23. **Shahbazi A., Esmaeili-Sari A.:** *Groundwater quality assessment in north of Iran: A case study of the Mazandaran Province*. World Applied Sciences Journal 5 (Special Issue for Environment), 92–97 (2009).
24. **Varsanyi I.:** *Temporal variability in groundwater chemistry in the Great Hungarian Plain during the period 1975–1989*. Hydrological Sciences Journal des Sciences Hydrologiques 37 (2), 119–128 (1992).
25. **Warrick A.W., Myers D.E., Nielsen D.R.:** *Geostatistical methods applied to soil science*. W: Method of soil analysis. P. 1. Physical and mineralogical methods. R. A. Klute, Agronomy Monograph 9. ASA-SSSA, Madison: 53–82 (1986).
26. **Yeh MS., Lin YP, Chang TK.:** *Designing an optimal multivariate geostatistical groundwater quality monitoring network using factorial kriging and genetic algorithms*. Environmental Geology 50, 101–121 (2006).

Temporal Variability of Selected Dissolved Components Content in Groundwater of the Catena System of Poznań Lakeland

Abstract

This paper presents results of temporal variability of groundwater chemical composition in catena of arable Albeluvisols and Gleysols/Chernozem. The purpose of this study was to assess temporal variability of dissolved components in groundwater with particular reference to soil toposequence. The researches were carried out in the cultivated catchment area of the Przybroda Experimental Station located in the north-central part of the Poznań Lakeland (west part of Poland) within the Szamotuly Plain. Every two or four weeks from 2004 to 2006 the groundwater samples from six stationary points (wells) were collected. In groundwater samples the Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , pH and EC were determined. Temporal variability of dissolved components in groundwater of catena was determined using the geostatistical analysis in which the semivariance is the basic function. Relations between values of semivariance and time correlation ranges were determined using the

Variovin and the Surfer programmes. The purpose of this study was to evaluate the temporal variability of concentrations of the selected components dissolved in groundwater using geostatistical methods.

The results of the researches indicate, that the quantity of dissolved components in groundwater was connected with a soil location in a relief and properties of soil parent materials. The groundwater of soil located higher in a catena were characterized by smaller concentrations of the analyzed components, compared with water of lowest elements of the slope.

The results show that temporal changes in the content of the analyzed components were characterized by large values of systematic variability and small values of random variability (nugget effect). Low nugget effects indicate that the temporal changes in concentration of the analyzed components were temporary correlated. Systematic variability was characterized by two temporary structures. The first concerns the systematic changes in shorter periods of time, which could be the result of groundwater inflow of compounds dissolved in percolating water and lateral inflow and outflow. The second was characterized by changes for longer periods, which can be related to the dynamic balance established between the weathering processes and translocation of weathering products, as well as their solubility and precipitation. Depending on a relief, the systematic variability has shown shorter temporal range for concentrations of analyzed dissolved components in groundwater (in both the first and in the second structure of semivariograms). This relationship should be associated with a shorter duration of migration of rainwater to groundwater table by decreasing the thickness of the unsaturated zone with decreasing soil position on the slope. Values of the time correlation range obtained in this study indicate that on the one hand it is possible to monitor the concentrations of the components dissolved in the groundwater in longer time intervals but on the other hand the temporal intervals depend on well location in a catena.