

ZAWARTOŚĆ ZWIĄZKÓW AZOTU I FOSFORU W WODACH GRUNTOWYCH WYBRANYCH ZESPOŁÓW LEŚNYCH SŁOWIŃSKIEGO PARKU NARODOWEGO

AGNIESZKA PARZYCH

Zakład Chemii Środowiskowej, Instytut Biologii i Ochrony Środowiska
Akademia Pomorska, ul. Arciszewskiego 22, 76-200 Słupsk
Adres do korespondencji: parzycha1@op.pl

Słowa kluczowe: Ekosystemy leśne, wody gruntowe, zawartość azotu, zawartość fosforu.

Streszczenie: Badania wód gruntowych prowadzono w dwóch różnych ekosystemach leśnych Słowińskiego Parku Narodowego: *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* i *Empetro nigri-Pinetum* w latach 2002–2005. Stwierdzono różnice w położeniu lustra wód gruntowych oraz w koncentracji związków azotu i fosforu w badanych zespołach leśnych. W *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* lustro wód gruntowych występowało średnio na głębokości -73,3 cm, a w *Empetro nigri-Pinetum* -90,2 cm. Nie stwierdzono istotnego statystycznie wpływu opadów atmosferycznych na położenie lustra wód gruntowych. Obliczenia statystyczne (test U Manna-Whitneya) dla wód gruntowych badanych zespołów leśnych wykazały istotne statystycznie różnice w dynamice koncentracji azotu ogólnego (T-N), azotu organicznego (Norg.), azotanowego (N-NO₃), fosforu ogólnego (T-P), fosforu organicznego (Porg.) oraz poziomu wód gruntowych.

WSTĘP

Zanieczyszczenie wód gruntowych związkami azotu i fosforu jest problemem globalnym. Ich zawartość w wodach gruntowych jest wynikiem nie tylko działalności człowieka, ale także efektem naturalnych procesów zachodzących w glebach. Skład chemiczny wód gruntowych jest ściśle związany z wiekiem, rodzajem gleb oraz zagospodarowaniem [20, 30, 33]. Kształtuje się między innymi pod wpływem opadów atmosferycznych [14, 17, 21, 24], składu mineralnego podłoża [9], a także intensywności migracji związków azotu i fosforu w profilu glebowym [20]. Inny skład chemiczny mają wody gruntowe na stanowiskach wydmych, inny na obszarach torfowisk, jeszcze inny na terenach rolniczych [3, 5, 9, 15, 23, 26] czy leśnych [8, 11, 13, 21, 28]. Jakość wód uzależniona jest także od zachodzących w glebach naturalnych procesów rozkładu materii [16]. Wpływ warunków pogodowych, a w szczególności różnice wielkości opadów atmosferycznych powodują, że poziom wód gruntowych może wykazywać dużą zmienność. Najbardziej czułe na różnice warunków pogodowych są obszary z wysoko położonym lustrem wody gruntowej [21]. Częste i znaczne wahania poziomu wód gruntowych kształtują ich skład chemiczny [30].

Dynamika wód gruntowych Słowińskiego Parku Narodowego (SNP) uzależniona jest nie tylko od opadów atmosferycznych [13], ale również od stanu wody w przyległych jeziorach i w Bałtyku. Z kolei poziom wody w tych jeziorach zależy głównie od poziomu wody w morzu. W czasie sztormowych wiatrów wiejących z północnego zachodu i północy następuje spiętrzenie wód Bałtyku powodujących wlewy tych wód do jeziora, a jednocześnie nie ustaje dopływ wód rzecznych. To wszystko sprawia, że znacznie podnosi się poziom wód w jeziorach, przyczyniając się do wzrostu poziomu wód gruntowych i częstego zalewania niżej położonych części drzewostanów. Można stwierdzić, że czynnikiem wywołującym wzrost poziomu wód gruntowych w SNP jest stałe, powolne podnoszenie się poziomu Bałtyku [25] oraz zaniechanie czyszczenia i konserwacji sieci rowów melioracyjnych [22].

Celem pracy było (1) ustalenie, w jakim stopniu dynamika położenia lustra wód gruntowych wpływa na kształtowanie składu chemicznego wód gruntowych, (2) określenie wpływu czynników atmosferycznych na dynamikę związków azotu i fosforu oraz na kształtowanie się poziomu lustra wód gruntowych w wybranych ekosystemach leśnych. W tym celu w czteroletnim cyklu badań wykonywano systematyczne pomiary koncentracji związków azotu i fosforu w wodach gruntowych oraz mierzono położenie lustra wód gruntowych.

OBSZAR BADAŃ

Do badań wybrano dwa różne ekosystemy leśne leżące w środkowej części Mierzei Łebskiej, znajdujące się jednocześnie w południowo-zachodniej części Obwodu Ochronnego Smołdziński Las. Od zachodu graniczą z jeziorami Gardno i Dołgie Wielkie, od południa przez strefę torfowisk niskich przylegają do wysoczyzny morenowej otoczonej przez Kanał Gardno-Łebsko i Kanał Łupawa-Łebsko. Od wschodu natomiast otoczone są wodami jeziora Łebsko (Rys. 1).



Rys. 1. Plan sytuacyjny Słowińskiego Parku Narodowego – lokalizacja miejsc badawczych, I – powierzchnia I (*Vaccinio uliginosi*–*Betuletum pubescentis*, Vu-Bp) bór sosnowo-brzoźowy, II – powierzchnia II (*Empetro nigri*–*Pinetum*, En-P) – bór sosnowy

Stosunki hydrograficzne Słowińskiego Parku Narodowego są kształtowane przez specyficzną sieć drobnych cieków i kanałów melioracyjnych, rzeki Łebę, Łupawę, Pustynkę oraz jeziora połączone z Bałtykiem kanałami. W granicach administracyjnych SPN znajduje się 13 kanałów łącznej długości 58 km [12]. W Obwodzie Ochronnym Smołdziński Las, położonym w północnej części Niziny Gardnieńsko-Łebskiej, stosunki wodne regulują kanały: Gardno-Łebsko i Łupawa-Łebsko.

Pierwszą powierzchnię badawczą porasta luźny drzewostan sosnowo-brzozowy (*Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis*, *Vu-Bp*) wytworzony na glebach bielcowych właściwych zdeponowanych na kopalnej glebie torfowej: Ol, Ofh, AEes, Bhfe, C, Otni. Drugą powierzchnię badawczą porasta stary drzewostan sosnowy (*Empetro nigri-Pinetum*, *En-P*) pokrywający ubogie gleby bielcowe, właściwe: Ol, Ofh, AEes, Bhfe, C. Wybór powierzchni badawczych podyktowany był jednakowym wpływem warunków atmosferycznych, a także typem gleb i szatą roślinną.

METODY BADAŃ

W celu śledzenia poziomu wód gruntowych zainstalowano w centralnych częściach badanych powierzchni leśnych studzienki (rury PCV o średnicy 100 mm), w których co 5–7 tygodni w sezonach wegetacyjnych 2002–2005 mierzono poziom wód gruntowych i pobierano próbki wód gruntowych. Po przewiezieniu do laboratorium próbki sączono, a następnie poddawano analizie chemicznej. W próbkach wód gruntowych oznaczano azot ogólny (T-N), azot amonowy (N-NH₄), azot azotanowy (N-NO₃), fosfor ogólny (T-P), fosfor fosforanowy (PO₄) oraz pH (Tab. 1), [7]. Wszystkie analizy wykonano z trzykrotnym powtórzeniem.

Tabela 1. Metody analityczne oznaczania składników chemicznych w wodach gruntowych

Parametr		Metoda oznaczenia
Azot ogólny	T-N	m. Kiejdahl ¹
Azot amonowy	N-NH ₄	spektrofotometrycznie ² (z odczynnikiem Nesslera)
Azot azotanowy	N-NO ₃	spektrofotometrycznie ² (z salicylanem sodu)
Fosfor ogólny	T-P	spektrofotometrycznie ² (metoda molibdenianową, z kwasem askorbinowym jako reduktorem), po mineralizacji w mieszaninie H ₂ SO ₄ i H ₂ O ₂
Fosfor fosforanowy	P-PO ₄	spektrofotometrycznie ² (metoda molibdenianową, z kwasem askorbinowym jako reduktorem)
Odczyn	pH	potencjometrycznie ³

¹ aparat Parnasa-Wagnera, ² spektrofotometr Shimadzu (UV-1202 UV-VIS), ³ elektroda szklana: Eurosensor ESAgP-341W

WYNIKI I DYSKUSJA

Dynamika poziomu wód gruntowych

Na kształtowanie poziomu lustra wód gruntowych wpływają warunki pogodowe. Sumy opadów atmosferycznych w badanych latach były znacznie zróżnicowane. Największe ilości deszczu odnotowano w roku 2004 (848 mm), a najniższe w roku 2003 (552 mm), (Tab. 2).

Tabela 2. Parametry pogodowe i średni poziom wód gruntowych w latach 2002–2005

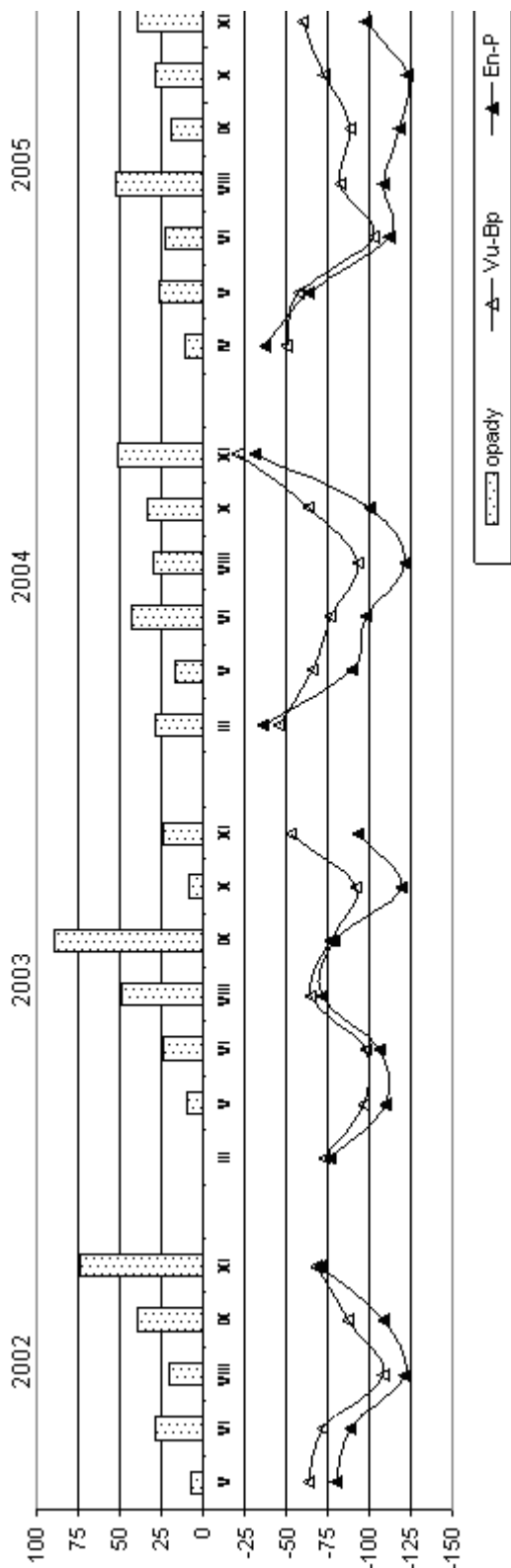
		2002	2003	2004	2005	Średnio
Opady deszczu ¹ [mm]		682	552	848	579	665
Temperatura powietrza ¹ [°C]		-	7,69	7,68	7,81	7,73
Wilgotność powietrza ¹ [%]		-	83,5	84,5	83,6	83,9
Średni poziom wód gruntowych ² [cm]	Vu-Bp	79,8(±18,0)	79,1(±17,2)	60,8(±24,9)	73,7(±18,7)	73,3(±20,1)
	En-P	93,8(±20,9)	93,6(±18,5)	79,3(±36,9)	94,3(±31,7)	90,2(±28,4)

Objaśnienia: (±) – odchylenie standardowe

Znacznie mniejsze zróżnicowanie wykazywały średnie roczne temperatury i wilgotności powietrza, które wynosiły w kolejnych latach badawczych średnio 7,73°C i 83,90%. Wahania poziomu wód gruntowych ulegały zmianom cyklicznym w ciągu roku. W obu badanych studzienkach rytm wahań był bardzo zbliżony [19]. Maksymalne położenia wód gruntowych występowały w okresach wiosennych i jesiennych (marzec, kwiecień i listopad), a minimalne latem (czerwiec, sierpień) (Rys. 2).

Podobne tendencje w położeniu lustra wód gruntowych stwierdzili Pierzgalski i in. [21] na terenie Białowieskiego Parku Narodowego oraz Kowalkowski i Józwiak w Świętokrzyskim Parku Narodowym [13]. Mimo zbliżonego rytmu wahań pojawiły się w badanych okresach pewne różnice w położeniach poziomów wód gruntowych. W *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* lustro wód gruntowych występowało średnio na głębokości -73,3 cm, a w *Empetro nigri-Pinetum* -90,2 cm (Tab. 2). Znacznie większe amplitudy wahań poziomu wód gruntowych były w *En-P*, średnio o 25%. Taki stan jest wynikiem mniejszej pojemności wodnej mineralnych poziomów genetycznych pozostających pod wpływem wód gruntowych. Obecność gleby kopalnej w *Vu-Bp* w obrębie wód gruntowych, mającej znaczną pojemność wodną, sprzyja zatrzymywaniu wody, a tym samym mniejszym amplitudom wahań lustra wód gruntowych. Według Uggli i Uggli [32] gleby organiczne (zwłaszcza torfowe) mają wysoką pojemność wodną, sięgającą nawet ponad 90% objętości. Średnie minimalne położenia lustra wód gruntowych utrzymywały się na poziomie -100,5 cm w przypadku *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* i były wyższe o 19% od średnich minimalnych w *Empetro nigri-Pinetum* (-120,0 cm). Średnie maksymalne położenia poziomu badanych wód gruntowych były niższe w borze sosnowym średnio o 12% i wynosiły -53,0 cm (Tab. 3). Wysoki średni poziom lustra wód gruntowych wskazuje na ich duży udział w kształtowaniu wilgotności gleb w obrębie badanych profili glebowych [17]. Niewielki wpływ na zmienność lustra wód gruntowych wywierały w badanych sezonach wegetacyjnych opady atmosferyczne.

W obu badanych ekosystemach leśnych stwierdzono nieistotne statystycznie zależności między ilością opadów atmosferycznych a poziomem wód gruntowych. Prawdopodobnie jest to wynik tego, iż w sezonie wegetacyjnym na skutek obniżenia lustra wód gruntowych roślinność runa leśnego korzysta wyłącznie z opadów atmosferycznych. Poza tym znaczna część opadów



Rys. 2. Wahania poziomu wód gruntowych i 14-dniowe sumy opadów atmosferycznych w latach 2002–2005

ulega ewaporacji. Nie bez znaczenia pozostaje również wzmożona aktywność drzew w okresie wegetacyjnym [21, 30], a także typ roślinności [31]. Według Johnsona i in. [11] na położenie lustra wód gruntowych w lasach duże znaczenie wywiera roślinność. Po częściowym usunięciu roślinności poziom wód gruntowych wzrasta. Według Alleya i in. [2] wahania zwierciadła wody gruntowej są wynikiem zmienności ich zasilania. Zmienność poziomu wód gruntowych na znacznym obszarze Parku wynika głównie ze zmiennego poziomu lustra wody w przyległych jeziorach i Bałtyku [25].

Związki azotu, fosforu i pH wód gruntowych

Wody gruntowe badanych ekosystemów leśnych wykazywały podobną dynamikę, ale różną zasobność związków azotu i fosforu. Znacznie większe ilości biogenów stwierdzono w wodach gruntowych *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis*, co wynika z obecności w profilu genetycznym zasobnej w biogeny gleby kopalnej (Tab. 4).

Wody gruntowe zalegające w obrębie organicznego poziomu genetycznego (Otni) wymywają duże ilości związków azotu i fosforu. Wody gruntowe lasu sosnowo-brzozowego zawierają średnio o 56% więcej azotu ogólnego (T-N) niż wody boru sosnowego, średnio 4,5 mg/dm³ (Tab. 5).

W znaczącej przewadze występują również jony azotanowe i fosfor ogólny, odpowiednio o 80% i 36% więcej niż w przypadku *Empetro nigri-Pinetum*. Średnia koncentracja azotanów w wodzie gruntowej wynosiła 0,78 mg/dm³ w *En-P* oraz 1,41 mg/dm³ w *Vu-Bp*. Jedynie azot amonowy i fosfor fosforanowy występują średnio w takich samych ilościach w wodach gruntowych badanych powierzchni.

Tabela 3. Charakterystyka poziomu wód gruntowych w latach 2002–2005

Zespół leśny	2002			2003			2004			2005			2002-2005	
	min.	max.	amp.	min.	max.	amp.	min.	max.	amp.	min.	max.	amp.	Śred. min.	Śred. max.
	[cm]													
<i>Vu-Bp</i>	-108	-64	44	-98	-53	45	-93	-21	72	-103	-51	52	100,5	47,3
<i>En-P</i>	-122	-71	51	-119	-72	47	-121	-31	90	-118	-38	80	120,0	53,0

Tabela 4. Charakterystyka właściwości gleb w *Vu-Bp* i *En-P*

Poziom genetyczny	<i>Vaccinio uliginosi–Betuletum pubescentis</i>					<i>Empetro nigri–Pinetum</i>			
	O (Ol+Ofh)	AEes	Bhfe	C	Otni	O (Ol+Ofh)	AEes	Bhfe	C
Głębokość [cm]	8-0	0-13	13-41	41-104	104-150	8-0	0-18	18-48	48-150
T-N [%]	1,06	0,06	0,02	0,03	2,85	1,07	0,03	0,02	0,01
T-P [%]	0,111	0,007	0,003	0,002	0,206	0,139	0,003	0,002	0,002

Średnia koncentracja N-NH₄ utrzymywała się na poziomie 1,33–1,37 mg/dm³, a P-PO₄ średnio 0,78–0,80 mg/dm³. Podobną zawartość fosforanów w wodach gruntowych (0,24–0,70 mg/dm³) stwierdzili Sapek i in. [29]. Niewielkie koncentracje mineralnych związków azotu i fosforu w wodach gruntowych SNP są najprawdopodobniej wynikiem intensywnego pobierania przez roślinność leśną.

Tabela 5. Charakterystyka zawartości związków azotu i fosforu oraz pH w wodach gruntowych w latach 2002–2005

	Średnia	Minimum	Maksimum	Mediana	CV [%]
T-N [mg/dm ³]	4,50(±1,09) ^a 2,89(±0,63) ^b	2,95 ^a 1,77 ^b	6,66 ^a 4,13 ^b	4,13 ^a 2,77 ^b	29,99 ^a 25,57 ^b
N-NH ₄ [mg/dm ³]	1,33(±0,54) ^a 1,37(±0,29) ^b	0,45 ^a 0,97 ^b	2,42 ^a 1,90 ^b	1,21 ^a 1,38 ^b	47,64 ^a 22,00 ^b
N-NO ₃ [mg/dm ³]	1,41(±0,83) ^a 0,78(±0,32) ^b	0,25 ^a 0,28 ^b	3,38 ^a 1,36 ^b	1,29 ^a 0,74 ^b	67,89 ^a 42,22 ^b
Norg. [mg/dm ³]	1,75(±1,05) ^a 0,74(±0,31) ^b	0,20 ^a 0,05 ^b	3,49 ^a 1,66 ^b	1,34 ^a 0,67 ^b	63,16 ^a 41,76 ^b
T-P [mg/dm ³]	2,11(±0,95) ^a 1,55(±0,48) ^b	0,87 ^a 0,82 ^b	4,01 ^a 2,71 ^b	1,78 ^a 1,40 ^b	44,75 ^a 30,76 ^b
P-PO ₄ [mg/dm ³]	0,80(±0,50) ^a 0,78(±0,55) ^b	0,17 ^a 0,23 ^b	2,44 ^a 2,12 ^b	0,74 ^a 0,52 ^b	62,99 ^a 71,72 ^b
Porg. [mg/dm ³]	1,24(±0,81) ^a 0,77(±0,33) ^b	0,44 ^a 0,12 ^b	3,53 ^a 1,23 ^b	1,05 ^a 0,83 ^b	65,29 ^a 44,49 ^b
pH	6,38(±0,34) ^a 6,43(±0,52) ^b	5,65 ^a 5,00 ^b	6,90 ^a 7,13 ^b	6,40 ^a 6,47 ^b	5,33 ^a 8,05 ^b

Objaśnienia: (±) – odchylenie standardowe, CV – współczynnik zmienności, a – wody gruntowe *Vu-Bp*, b – wody gruntowe *En-P*

Zmniejszone koncentracje azotanów i fosforanów w wodach gruntowych pod lasami zastały wykazane przez Sánchez-Pérez i in. [27, 28] oraz Groffamana i in. [6]. Znacznie większa dynamika związków azotu i fosforu w wodach gruntowych lasu sosnowo-brzozowego daje znacznie wyższe wartości odchylenia standardowego i współczynników zmienności (CV).

W przypadku związków azotu i fosforu zawartych w wodach gruntowych, wartości odchylenia standardowych utrzymują się w przedziale 1,09–0,81 (*Vu-Bp*) oraz 0,63–0,29 (*En-P*). Największą zmienność koncentracji w wodach gruntowych *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* wykazują jony azotanowe (67,9%), a w *Empetro nigri-Pinetum* jony fosforanowe (71,7%).

Duża zmienność koncentracji poszczególnych jonów w okresie 2002–2005 wywołuje zmiany pH (Tab. 5). Minimalnie większą średnią kwasowość wykazują wody gruntowe lasu sosnowo-brzozowego (*Vu-Bp*).

Koncentracja jonów amonowych, azotanowych i fosforanowych jest zróżnicowana w badanych wodach gruntowych. Z wzajemnych relacji pomiędzy jonami wynika, że w wodach *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* występuje przewaga jonów azotanowych nad amonowymi, stąd między innymi nieco większa ich kwasowość (Tab. 6).

Tabela 6. Relacje pomiędzy jonami rozpuszczalnymi i formami ogólnymi azotu i fosforu w wodach gruntowych w latach 2002–2005

Zespół leśny	$\frac{\text{N-NH}_4}{\text{N-NO}_3}$	$\frac{\text{N-NH}_4 + \text{N-NO}_3}{\text{P-PO}_4}$	$\frac{\text{T-N}}{\text{T-P}}$
Vu-Bp	0,94	3,41	2,13
En-P	1,75	2,76	1,80

Taki stan może wskazywać na większe zapotrzebowanie tamtejszej szaty roślinnej na jony amonowe. W wodach gruntowych pod terenami użytkowanymi (łąki) dominującą formą azotu jest najczęściej N-NH₄ [21]. Stężenie azotu amonowego i azotanowego w wodach gruntowych SNP jest kilkakrotnie niższe niż stwierdzili Jaszczyński i in. [10] w wodach gruntowych pod pastwiskami oraz kilkadziesiąt razy niższe, niż wykazali Chen i in. [3] w wodach pod terenami użytkowymi rolniczo. Ponadto rozpuszczalne związki azotu znacznie przewyższają ilościowo dostępne dla roślin jony fosforanowe. Stosunek azotu ogólnego (T-N) do fosforu ogólnego (T-P) w wodach gruntowych *Vu-Bp* jest większy o około 18% od stosunku w wodach gruntowych *En-P* i wynosi 2,13.

W celu zidentyfikowania czynników determinujących skład chemiczny wód gruntowych wykorzystano analizę czynnikową (PCA). Metodą głównych składowych wyodrębniono po trzy niezależne czynniki wyjaśniające ponad 66% wariancji ich składu chemicznego.

W *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* czynnik pierwszy (azotowo-fosforowy), wyjaśniający 31% zmienności, grupował biogeny charakteryzujące się bardzo wysokimi dodatnimi ładunkami czynnikowymi (Tab. 7).

Wzrostowi koncentracji azotu ogólnego towarzyszył wzrost koncentracji fosforu ogólnego i organicznego. Czynniki drugi (azotanowy), objaśniający 20%, grupował jony azotanowe oraz poziom lustra wód gruntowych o wysokich ujemnych ładunkach czynnikowych. Obniżający się poziom wód gruntowych powodował zmniejszenie koncentracji rozpuszczonych azotanów oraz w niewielkim stopniu przyczyniał się do wzrostu koncentracji jonów amonowych i fosforanowych. Ich wzrost wraz z obniżaniem się lustra wód gruntowych zaobserwowali również Sapek i in. [29], a także Szymczyk i in. [30].

Tabela 7. Wyniki analizy czynnikowej dla wód gruntowych z uwzględnieniem 7-dniowych sum opadów atmosferycznych, n = 25

Parametr	Vu-Bp			En - P		
	Cz. 1 azotowo- fosforowy	Cz. 2 azotanowy	Cz. 3 opadowy	Cz. 1 azotowy	Cz. 2 fosforowy (mineralny)	Cz. 3 fosforowy (organiczny)
T-N	0,94	0,14	0,25	0,95	0,11	0,17
N-NH ₄	0,31	0,36	0,36	0,80	0,01	-0,09
N-NO ₃	0,24	-0,81	0,10	0,49	0,29	0,29
Norg.	0,62	0,54	-0,03	0,68	-0,08	0,12
T-P	0,90	0,02	-0,41	0,12	0,96	-0,03
P-PO ₄	0,46	0,31	-0,17	0,26	0,80	0,46
Porg.	0,80	-0,13	-0,27	-0,19	0,05	-0,86
pH	0,27	0,66	0,23	0,13	-0,37	0,45
Poziom wód gruntowych	-0,25	-0,70	0,10	-0,50	-0,3	-0,03
N:P	-0,43	0,20	0,81	0,50	-0,74	0,35
Opady [mm]	-0,07	0,24	-0,86	-0,12	0,20	0,67
Wariancja wyjściowa	3,4	2,23	1,91	2,89	2,52	1,85
Udział wariancji wyjściowej	31	20	18	26	23	17
	69%			66%		

Spośród związków biogenych jedynie N-NO₃ w obrębie tego czynnika bierze udział w formowaniu składu chemicznego wód gruntowych *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis*. Czynniki trzeci (opadowy) wyjaśnia 18% zmienności. W jego skład wchodzi z wysokim ujemnym ładunkiem 7-dniowe sumy opadów oraz z wysokim dodatnim ładunkiem stosunek N:P. Oznacza to, że stosunek N:P jest większy przy niższych opadach atmosferycznych.

W *Empetro nigri-Pinetum* czynnik pierwszy (azotowy) wyjaśnia 26% zmienności i składa się z azotu ogólnego i amonowego o odpowiednio bardzo wysokim i wysokim dodatnim ładunku czynnikowym (Tab. 7). Wzrost stężenia azotu ogólnego był związany ze wzrostem koncentracji jonów amonowych. Czynniki drugi wyjaśnia 23% wariancji. W jego skład wchodzi fosfor ogólny i fosforanowy (mające odpowiednio bardzo wysokie i wysokie dodatnie ładunki czynnikowe) oraz stosunek N:P o wysokim ujemnym ładunku. Wartości powyższych ładunków wskazują, iż wzrost fosforu ogólnego w wodach gruntowych *Empetro nigri-Pinetum* przyczynia się do obniżenia stosunku N:P. Czynniki trzeci wyjaśnia 17% wariancji. W jego skład wchodzi koncentracja fosforu organicznego o wysokim ujemnym ładunku czynnikowym. Spośród związków biogenych jedynie Porg. w obrębie tego czynnika bierze udział w formowaniu składu chemicznego wód gruntowych *Empetro nigri-Pinetum*.

Analiza głównych składowych wyraźnie różnicuje wody gruntowe badanych ekosystemów leśnych. Poziom lustra wód gruntowych ma istotny wpływ na skład chemiczny wód gruntowych jedynie w *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis*. Zastosowanie analizy PCA do charakterystyki chemizmu wód gruntowych zaproponował i opisał Dragon [4], wyodrębniając główne czynniki kształtujące skład chemiczny.

W celu porównania dynamiki koncentracji związków azotu i fosforu oraz poziomu wód gruntowych *Vu-Bp* i *En-P* wykorzystano test U Manna-Whitneya (Tab. 8).

Tabela 8. Wyniki testu U Manna-Whitneya istotności zróżnicowania związków azotu, fosforu i pH w wodach gruntowych *Vu-Bp* i *En-P* w latach 2002-2005, n = 25

Parametr	Istotność różnic
T-N [mg/dm ³]	***
N-NH ₄ [mg/dm ³]	b.r.
N-NO ₃ [mg/dm ³]	**
Norg. [mg/dm ³]	***
T-P [mg/dm ³]	*
P-PO ₄ [mg/dm ³]	b.r.
Porg. [mg/dm ³]	*
pH	b.r.
Poziom wód gruntowych [cm]	**
N:P	b.r.

Objaśnienia: istotność różnic przy: *** p < 0,001, **p < 0,01, *p < 0,05, b.r. – brak istotnych różnic

Analizy statystyczne dla wód gruntowych *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* i *Empetro nigri-Pinetum* wykazały istotne statystycznie różnice w dynamice koncentracji azotu ogólnego (T-N), azotu organicznego (Norg.) i azotanowego (N-NO₃). Istotnie statystycznie różnice wykazywał ponadto fosfor ogólny (T-P), fosfor organiczny (Porg.) oraz poziom wód gruntowych (Tab. 8). Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic w dynamice jonów N-NH₄⁺, P-PO₄³⁻ oraz pH i stosunku N:P w wodach gruntowych obu zespołów leśnych.

PODSUMOWANIE

W *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis* lustro wód gruntowych występowało średnio na głębokości -73,3 cm, a w *Empetro nigri-Pinetum* -90,2 cm. Znacznie większe amplitudy wahań poziomu wód gruntowych występowały w *En-P*. Obecność gleby kopalnej w *Vu-Bp* sprzyja za trzymanywaniu wody, a tym samym mniejszym amplitudom wahań lustra wód gruntowych. Ponadto nie stwierdzono istotnego statystycznie wpływu opadów atmosferycznych na położenie lustra wód gruntowych.

Wody gruntowe badanych ekosystemów leśnych miały różną koncentrację związków azotu i fosforu. Znacznie większe ilości biogenów stwierdzono w wodach gruntowych lasu sosnowo-brzozowego (*Vu-Bp*) niż w wodach boru sosnowego (*En-P*). Wody gruntowe zalegające w obrębie organicznego poziomu genetycznego (Otni) wymywają znaczne ilości związków azotu i fosforu. Zawierają średnio o 56% więcej azotu ogólnego (T-N) i 26% więcej fosforu ogólnego (T-P) niż wody *Empetro nigri-Pinetum*.

Z analiz głównych składowych wynika, że poziom wód gruntowych ma istotny wpływ jedynie na skład chemiczny wód gruntowych *Vaccinio uliginosi-Betuletum pubescentis*. Obliczenia statystyczne dla wód gruntowych obu zespołów wykazały istotne statystycznie różnice w dynamice koncentracji azotu ogólnego (T-N), azotu organicznego (Norg.), azotanowego (N-NO₃), fosforu ogólnego (T-P), fosforu organicznego (Porg.) oraz poziomu wód gruntowych. Nie stwierdzono natomiast istotnych różnic w dynamice jonów NH₄⁺, PO₄³⁻ i odczynie wód gruntowych

LITERATURA

- [1] Alley W.M., R.W. Healy, J.W. Labaugh, T.E. Reilly: *Flow and storage in groundwater systems*, Science, **296**, 1985–1990 (2002).
- [2] Bliss C.M., N.B. Comerford: *Forest harvesting influence on water table dynamics in a Florida flatwoods landscape*, Soil Science Society Journal of America, **66**, 1344–1349 (2002).
- [3] Chen W.F., W.S. Lin, G.C. Chang, C.V. Chin: *Groundwater dissolved oxygen and nitrate concentrations in recharge of the Choshui Fan-delta*, Bulletin of the Central Geological Survey, **16**, 125–139 (2003).
- [4] Dragon K.: *Chemizm wód podziemnych poziomu wielkopolskiej doliny kopalnej w rejonie między Obrą a Wartą, Zastosowanie metod statystycznych w badaniach naukowych III*, StatSoft Polska 55–60, www.statsoft.pl/czytelnia.html (2008).
- [5] Durkowski T., L. Pieczyński: *Jakość wód gruntowych i powierzchniowych w bezpośredniej zlewni jeziora Miedwie – zbiornika wody pitnej*. W: Materiały konferencyjne nt. Woda - Środowisko – Obszary wiejskie. Wyd. IMUZ Falenty, 145–148 (2003).
- [6] Groffamn P.M., A.J. Gold, R.C. Simmons: *Nitrate dynamics in riparian forests: Microbial studies*, J. Environ. Qual., **21**, 666–671 (1992).
- [7] Hermanowicz W., J. Dojlido, W. Dożańska, B. Kosiorowski, J. Zerbe: *Fizyczno-chemiczne badania wody i ścieków*, Wyd. Arkady, Warszawa (1999).
- [8] Hotta N., N. Tanaka, S. Sawano, K. Kuraij, K. Shiraki, M. Suzuki: *Changes in groundwater level dynamics after low-impact forest harvesting in steep, small watersheds*, J. Hydrol. **385**, 120–131 (2010).
- [9] Igras J., T. Jadczyzyn: *Zawartość azotanów i fosforanów w płytkich wodach gruntowych w Polsce*, Prob. Inż. Rol., **2**, 91–101 (2008).
- [10] Jaszczynski J., S. Chrzanowski, A. Sapek: *Jakość wód gruntowych pod użytkami zielonymi różnie użytkowanymi*, Woda Środ. Obsz. Wiej., **6**, 2(18), 173–189 (2006).
- [11] Johnson A.C., R.T. Edwards., R. Erhardt: *Ground-water response to forest harvest: implications for hillslope stability*, J. Am. Water Res. Ass., **43**, 134–147 (2007).
- [12] Kluczyński B., A. Kreft: *Ilościowy oraz biologiczny stan starodrzewów sosnowych (Pinus sylvestris L.) w Słowińskim Parku Narodowym*, Parki Nar. Rez. Przyr., **22**, 2, 197–226 (2003).
- [13] Kowalkowski A., M. Józwiak: *Chemizm wód gruntowych i powierzchniowych w mikrozlewni, Świętokrzyski Park Narodowy: Przyroda, Gospodarka, Kultura*, Bodzentyn- Kraków, 415–426 (2000).
- [14] Macioszczyk A., D. Dobrzyński: *Hydrogeochemia*, wyd. PWN, Warszawa (2002).
- [15] McLay C.D.A., R. Dragten, G. Sparling, N. Selvarajah: *Predicting groundwater nitrate concentrations in a region of mixed agricultural land use: a comparison of three approaches*, Environ. Poll., **115**: 191–204 (2001).
- [16] Mazurek M., Z. Zwoliński: *Funkcjonowanie wybranych geosystemów Polski w świetle pomiarów monitoringowych w roku hydrologicznym 1999* (2000).
- [17] Muñoz-Carpena R., A. Ritter, Y.C. Li: *Dynamic factor analysis of groundwater quality trends in an agricultural area adjacent to Everglades National Park*, Journal of Contaminant Hydrology, **80**, 49–70 (2005).

- [18] Parzych A.: *Dynamika koncentracji związków azotu i fosforu w dwóch odmiennych ekosystemach leśnych Słowińskiego Parku Narodowego*, Akademia Pomorska (mscr.), Słupsk (2008).
- [19] Parzych A., J. Trojanowski: *Biogenic substances versus the level of ground waters in chosen woodland ecosystems of Słowiński National Park*, Ann. Pol. Chem. Soc., 423–426 (2007).
- [20] Pazdro O Z.: *Hydrologia ogólna*, wyd. geologiczne, Warszawa (1983).
- [21] Pierzgałski E., A. Boczoń, J. Tyszka: *Zmienność opadów i położenia wód gruntowych w Białowieskim Parku Narodowym*, Kosmos, **51**, 4 (251), 415–425 (2002).
- [22] Plan Ochrony Słowińskiego Parku Narodowego. *Operat Ochrony Ekosystemów Leśnych na lata 2002-2021, t. VIII, opis ogólny, t. 9/1, opis taksacyjny lasu – Obręb Łądowny Oddziały I-63*, Jeleniogórskie Biuro Planowania i Projektowania (2003).
- [23] Rauba M.: *Zawartość związków azotu i fosforu w wodach gruntowych zlewni użytkowanej rolniczo na przykładzie zlewni rzeki Śliny*, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, **40**, 505–512 (2009).
- [24] Ritter A., R. Muñoz-Carpena, D.D. Bosch, B. Schaffer, T.L. Potter: *Agricultural land use and hydrology affect variability of shallow groundwater nitrate concentration in South Florida*, Hydrological Processes, **21**, 2464–2473 (2007).
- [25] Rotnicki K., W. Borzyszkowska: *Przyspieszony wzrost poziomu morza i jego składowe na polskim wybrzeżu Bałtyku w latach 1951-1990*. W: *Ewolucja geosystemów nadmorskich południowego Bałtyku*, red. R.K. Borówka, Z. Młynarczyk, A. Wojciechowski, Wyd. Nauk. Bogucki, Poznań-Szczecin, 141–160 (1999).
- [26] Rozemeijer J.C., H.P. Broers, F.C. Van Geer, M.F.P. Bierkens: *Weather-induced temporal variations in nitrate concentrations in shallow groundwater*, J. Hydrol., **378**:119–127 (2009).
- [27] Sánchez-Pérez J.M., M. Trémolières, R. Carbiener: *Une station naturelle d'épuration des phosphates et des nitrates apportés par les eaux débordement du Rhin: la forêt alluviale à frêne et orme*, C.R. Acad. Sci. Paris **112**, 395–402 (1991).
- [28] Sánchez-Pérez J.M., M. Trémolieres: *Groundwater nutrient levels in the Rhine forest ecosystems depending on the hydrological regime and the soil texture*, Glob. Ecol. Biogeographical Lett., **6**, 211–217 (1997).
- [29] Sapek A., B. Sapek, S. Chrzanowski, P. Nadany, M. Urbaniak: *Wymywanie fosforanów z odwodnionych gleb torfowych po ich denaturalizacji – w świetle projektu „Prowater”*, Rocz. Glebozn., **40**, 3, 173–183 (2004).
- [30] Szymczyk S., J. Pawluczuk, A. Stepień: *Seasonal variability of mineral nitrogen in groundwater of hydrogenic soils*, J. Elemental., **15**(4): 713–723 (2010).
- [31] Takatert N., J.M. Sánchez-Pérez, M. Trémolieres: *Spatial and temporal variations of nutrient level of groundwater under alluvial flooded forest: effect of hydrology, vegetation and substrate*, Hydrol Process, **13**: 1511–1526 (1999).
- [32] Uggla H., Z. Uggla: *Gleboznawstwo leśne*, PWRiL, Warszawa (1979).
- [33] Zawadzki S.: *Gleboznawstwo*, PWRiL, Warszawa (1999).