



## **Zmiany stanów wód gruntowych w Puszczy Zielonka w okresie 1970–2009**

*Sylwester Grajewski, Antoni T. Miler,  
Anna Krysztofiak-Kaniewska  
Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań*

### **1. Wstęp**

Analizy dotyczące zmian stosunków wodnych na danym terenie, np. w ekosystemie, czy w siedlisku leśnym, wykonuje się zazwyczaj bazując na pomierzonych zmianach retencji gruntowej, obejmującej zarówno strefę aeracji, jak i strefę saturacji. Retencja gruntowa jest relatywnie duża w porównaniu do innych rodzajów retencji: intercepcji, retencji powierzchniowej (w zbiornikach i ciekach), śnieżnej, lodowej etc. Zmiany retencji (całkowitej) wynikają z bilansu wodnego, są różnicą pomiędzy sumą opadów a ewapotranspiracją oraz wskaźnikiem odpływu. Przykładowo w rolnictwie szczególne znaczenie ma tzw. retencja glebowa, utożsamiana z retencją gruntową strefy aeracji [14]. Jest powszechnie znane, że sposób użytkowania terenu, a w szczególności zalesienie ma znaczący wpływ na retencyjność jego gleb. Generalnie, właściwości fizyko-wodne gleb zależą od ich składu granulometrycznego (gatunku gleb). Niemniej są one w znacznym stopniu modyfikowane zawartością substancji organicznych, głębokością przemarzania, aktualnym stanem wilgotności. Te czynniki modyfikujące właściwości wodne gleb w siedliskach leśnych, kształtowane są pod wpływem rosnących tam właśnie lasów [25]. Miler [10] zauważył, iż stany płytkich wód gruntowych na terenach zalesionych są „opóźnione” w stosunku do stanów na terenach o innym użytkowaniu (szacunkowo co najmniej o ok. 1 tydzień). Wartość zapasu wody w glebie (wskaźnikowo w mm) wykazuje zmienność

krótkoterminową oraz długoterminową. Zmiany krótkoterminowe są reakcją na warunki pogodowe: przyrosty następują po opadach atmosferycznych, a ubytki są związane głównie ze zużyciem wody przez drzewostan na transpirację i parowanie z gleby [20, 21, 23]. Zmiany długoterminowe wiążą się z cechami biometrycznymi drzewostanu, zmieniającymi się w jego kolejnych fazach rozwojowych [22]. Tyszka i Stolarek [25] piszą, że od stopnia przekształceń opadu przez korony i pnie drzew oraz możliwości wchłaniania wody przez podłoże zależy wielkość zasilenia zasobów wód glebowych. Zakłócenia w tym procesie stwarza w miesiącach zimowych przemarzanie gleb i retencja śnieżna. W czerwcu i lipcu duży przychód opadów i ich gwałtowny przebieg sprzyjają odnawianiu się zasobów wody glebowej. W sierpniu i wrześniu niewielki stan zasobów uwarunkowany jest wielkością bieżących opadów. Maciaszek [9] pisze, iż gleby leśne, w porównaniu z glebami użytkowymi rolniczo, nawet przy podobnym składzie granulometrycznym, są biologicznie głębsze, wykazują większą porowatość, a zatem wykazują korzystniejsze właściwości hydrologiczne w zakresie przyjmowania, infiltracji i retencji wody opadowej. Według Pazdro i Kozerskiego [15] przeciętnie w Polsce w głąb profilu glebowego infiltruje ok. 18% opadów. W badaniach ilość wchłoniętego opadu przez gleby leśne przy opadach rocznych na poziomie 700 mm Lambor [8] odnotował, że drzewostany iglaste infiltrują ok. 80% opadów, a liściaste ok. 70%. Poprzez wpływ na prędkość wsiąkania opadu, gleba leśna o wiele skuteczniej, niż gleby użytkowane rolniczo, zapobiega niekorzystnemu procesowi spływu powierzchniowego. Odmienny jest także czas wsiąkania opadu. Przykładowo Kirwald [6] oszacował, że czas wsiąkania 100 mm opadów w drzewostanach kształtuje się od około 30 sekund do około 30 minut, natomiast na łąkach wynosi nawet do około 3 godzin. Kosturkiewicz [7] na podstawie badań prowadzonych w małych zlewniach leśnych stwierdził, że w zlewni o przewadze siedlisk świeżych wartość wskaźnika zdolności retencyjnych opadów o dużej wydajności występujących po okresie suszy była mniej więcej o 30% większa niż w podobnej zlewni o przewadze siedlisk wilgotnych. Dynamika wahań stanów wód gruntowych wykazuje większą zmienność dla terenów użytkowanych rolniczo niż dla terenów leśnych [13]. Miler [11] odnotował największe wahania stanów wód gruntowych na siedliskach olesowych (gdzie wody zalegały najbliższej powierzchni terenu). Badania Tyszki [24] wykazały wpływ nie tyle

wilgotności siedliska, ile jego żyzności, składu gatunkowego drzewostanów i ich wieku na wielkość zużycia wody. Zmiany długookresowe stanów wód gruntowych mogą być związane zarówno z niekorzystnymi zmianami klimatycznymi [2], jak i ze zmianami w użytkowaniu lasu, np. przebudową drzewostanów [19].

Pomiary zapasu wody w glebach w strefie aeracji wymagają, oprócz klasycznej metody grawimetrycznej (niestety „niszczącej profil glebowy”), specjalistycznego sprzętu (np. metoda TDR, metoda spowalniania neutronów ciężkich) i prowadzone są zazwyczaj na powierzchniach eksperymentalnych. Z tej przyczyny obliczenia zasobów wody w glebach wykonuje się w sposób uproszczony, aczkolwiek pragmatyczny, bazując jedynie na zapasie wody w strefie saturacji. Krótko mówiąc, pomiary ograniczają się do monitorowania stanów wód gruntowych. Ograniczenie badań zmian retencji gruntowej do badania zmian stanów wód gruntowych okazuje się w większości przypadków zasadne. Szczególnie dla wód gruntowych stosunkowo płytko zalegających. Przyrosty i ubytki retencji gruntowej strefy saturacji w siedliskach leśnych mogą stanowić dobrą podstawę oceny warunków meteorologicznych w poszczególnych latach (np. [3]). Istnieje generalnie ujemna korelacja pomiędzy zmiennością stanów wody gruntowej a głębokością jej zalegania. Natomiast charakter zmienności stanów wód gruntowych w danym siedlisku nie tyle zależy od samego siedliska, co od głębokości zalegania wody gruntowej [11, 12].

Celem niniejszej pracy jest wykazanie trendów zmian stanów wód gruntowych w Puszczy Zielonka w 40-letnim okresie (1970–2009) na przykładzie Leśnictwa Doświadczalnego Potasze.

## **2. Metodyka i zakres badań**

W listopadzie 1969 roku zainstalowano 11 studzienek – piezometrów (studzienki nr 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12 i 13 – numeracja oryginalna) do pomiarów stanów wód gruntowych w Leśnictwie Potasze [18]. Całodobowe pomiary limnigraficzne i cotygodniowe łątą metalową z dokładnością 0,1 cm prowadzone były w nich przez trzy pełne lata hydrologiczne 1970, 1971 i 1972.

W latach 2001–2002 na terenie Puszczy Zielonka zainstalowano kolejne 132 studzienki, 7 z nich (studzienki nr 3, 1up, 2up, 3up, 4up, 5up

i 6up) jest położonych na terenie Leśnictwa Potasze. Standardowe pomiary stanów wód gruntowych prowadzono w nich w latach 2001–2004.

W 2008 roku wznowiono pomiary w ww. studzienkach. Studzienki zainstalowane w latach 2001–2002 wymagały jedynie odmulenia, natomiast studzienki wykonane w 1969 roku uległy zniszczeniu, należało więc je ponownie zainstalować. Pierwotne ich położenie w terenie odtworzono na podstawie planów sytuacyjnych oraz rzędnych n.p.m. [18]. Znalezienie rzędnych wymagało geodezyjnych pomiarów niwelacyjnych w ciągach obustronnie nawiązanych o łącznej długości blisko 18 km.

Podział studzienek na: płytkie (średni roczny stan wody gruntowej w przedziale  $0 \div 100$  cm poniżej powierzchni terenu p.p.t.), średnie ( $101 \div 200$ ) i głębokie (od 201), przyjęto w sposób arbitralny, kierując się zakresem zmienności zaobserwowanych stanów wód gruntowych, odpowiednio dla siedlisk: olesowych, lasowych i borowych.

Współczynnik zmienności definiowano jako:

$$\delta = \frac{h_{g \max} - h_{g \min}}{h_{g \text{śr}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

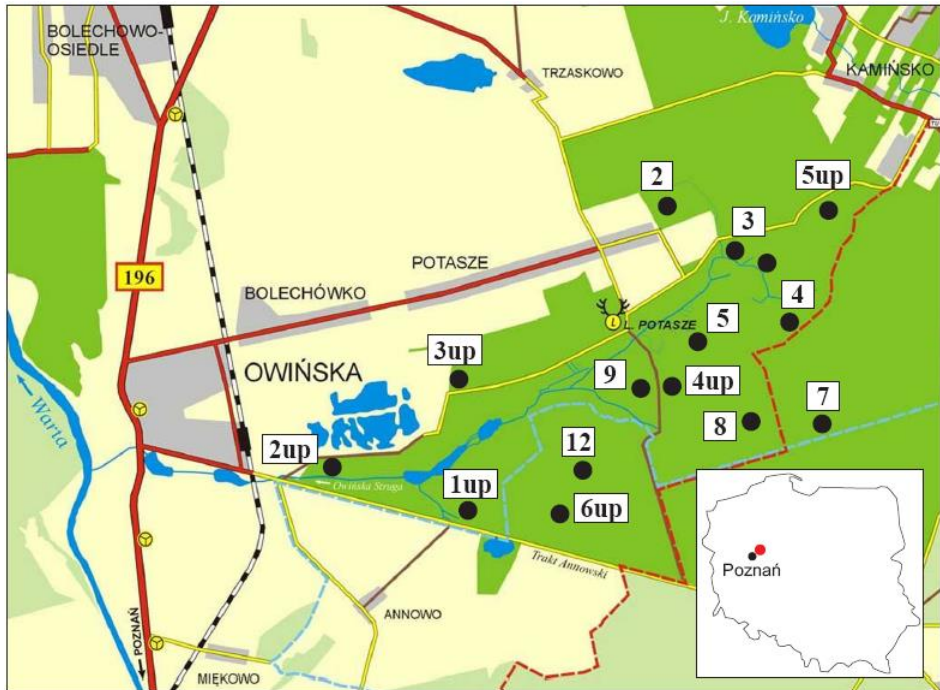
$h_{g \max}$ ,  $h_{g \min}$ ,  $h_{g \text{śr}}$  – to odpowiednio maksymalny, minimalny i średni stan wody gruntowej p.p.t.

Miesięczne i roczne sumy opadów atmosferycznych oraz średnie miesięczne i roczne temperatury powietrza obliczono w okresie 1986–2009 bezpośrednio na podstawie wyników pomiarów w stacji meteorologicznej Zielonka położonej w centralnej części Puszczy Zielonka [4, 26]. Natomiast dla okresu 1970–1985 na podstawie wyliczonych zależności regresyjnych pomiędzy pomierzonymi wartościami opadów atmosferycznych i temperatur powietrza dla stacji meteorologicznych Zielonka i IMGW Poznań-Ławica oddalonej około 24 km od stacji Zielonka (obserwacje meteorologiczne na stacji meteorologicznej Zielonka prowadzone są od 1986 roku).

Lata hydrologiczne oceniano wg propozycji Kaczorowskiej [5], tzn. lata z wartościami opadów atmosferycznych i temperatur powietrza nieodlegające od stosownych średnich z wielolecia o więcej niż  $\pm 10\%$  kwalifikowano, jako przeciętne.

### 3. Wyniki i dyskusja

Do analiz przeprowadzonych w ramach niniejszego opracowania wybrano tylko te studnie, które zlokalizowane były na terenach zalesionych nieprzerwanie od 1969 roku. Ich lokalizację w Leśnictwie Doświadczalnym Potasze ilustruje rysunek 1, a podstawowe informacje siedliskowe i drzewostanowe zebrano w tabeli 1.



**Rys. 1.** Położenie Leśnictwa Doświadczalnego Potasze na tle granic Polski i Poznania oraz lokalizacja powierzchni badawczych

**Fig. 1.** Localization of Experimental Forest District Potasze vs. borders of Poland and Poznan and location of investigative areas

W okresie 1970–2009 występowało 10 lat suchych, 18 przeciętnych oraz 12 lat mokrych biorąc pod uwagę sumy roczne opadów atmosferycznych w latach hydrologicznych. Natomiast, biorąc pod uwagę średnie roczne temperatury powietrza, to 4 lata z tego okresu można zaliczyć do zimnych, 27 do przeciętnych, a 9 do ciepłych.

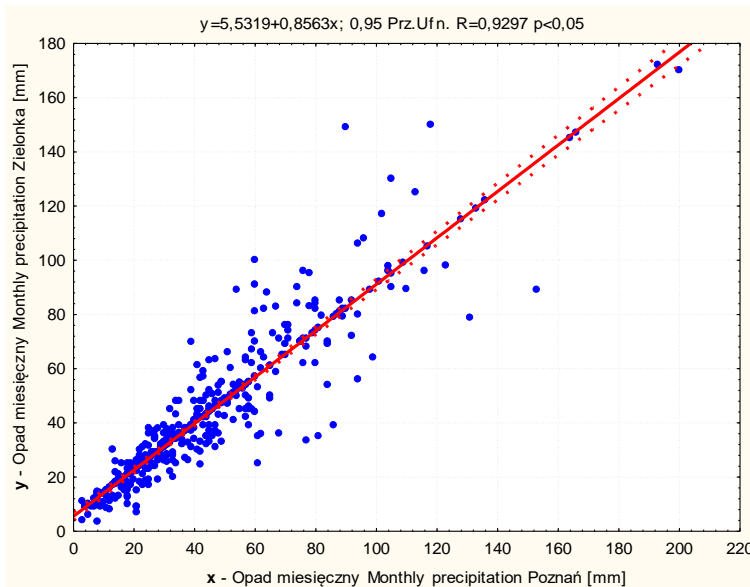
**Tabela 1.** Podstawowe charakterystyki siedliskowe i drzewostanowe dla powierzchni badawczych**Table 1.** Basic characteristics of habitats and stands for investigative areas

Nr studni	Adres leśny	Pow. [ha]	Dane wg Planu... 1965					Dane wg Planu... 2004				
			Skład gat.	TSL	Wiek [lata]	Zd [-]	Gat. gleby	Skład gat.	TSL	Wiek [lata]	Zd [-]	Gat. gleby
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
12	69m	0,84	6OI3Js 1Brz	BMw	3	0,8	psg	8So2OI	LMśw	44	1,1	psg
13	74a	9,24	10So	BMśw	58	0,9	psg	8So2Db	LMśw	98	1,1	psg
14	74m	2,95	10Św	BMw	38	1,0	tn	10Św	LMśw	100	–	psg
15	76l	3,35	7OI3Św	OI	55	0,7	tn	8So1Brz1 Św	LMśw	68	1,0	psg
17	89i	6,30	10So	BMśw	48	0,7	psg	6So4Bk	LMśw	90	1,0	psg
18	81n	3,17	10So	BMśw	48	0,8	psg	10So	LMśw	88	1,0	pl
19	83k	2,44	10OI	OI	–	–	tn	10OI	OI	45	0,8	–
12	91c	0,93	10So	Bw	23	0,8	psg	7Brz3Św	LMw	21	0,7	psg
1up	86t	4,65	–	–	–	–	–	10So	Lśw	73	0,9	mu
2up	86k	5,16	–	–	–	–	–	8OI2Js	OIJ	80	0,8	tn
3up	78j	1,04	–	–	–	–	–	10Ak	LMśw	81	1,1	pl
4up	82d	1,52	–	–	–	–	–	10So	BMśw	75	1,1	psg
5up	73g	0,27	–	–	–	–	–	10OI	OI	58	0,8	tn
6up	92a	11,35	–	–	–	–	–	10So	LMśw	68	0,9	pl

**Oznaczenia:** Skład gat. – skład gatunkowy drzewostanu (OI – olsza, Js – jesion, Św – świerk, So – sosna, Brz – brzoza); TSL – typ siedliska leśnego (Bw – bór wilgotny, BMśw – bór mieszany świeży, BMw – bór mieszany wilgotny, LMśw – las mieszany świeży, LMw – las mieszany wilgotny, Lśw – las świeży, OI – ols typowy, OIJ – ols jesionowy); Wiek – wiek drzewostanu; Zd. – wskaźnik zadrzewienia drzewostanu; Gat. gleby – gatunek gleby (mu – mursz, pl – piasek luźny, psg – piasek słabo gliniasty, tn – torf niski)

Do dalszych analiz stanów wód gruntowych wybrano lata 1970, 2002 oraz 2009. W ocenie warunków meteorologicznych (opady atmosferyczne, temperatury powietrza) te trzy lata można traktować jako przeciętne (normalne).

Na rysunkach 2 i 3 oraz 4 i 5 przedstawiono zależności regresyjne pomiędzy odpowiednio miesięcznymi i rocznymi sumami opadów atmosferycznych i średnimi temperaturami powietrza na stacjach meteorologicznych w Poznaniu i Zielonce, pomierzonymi w okresie 1986–2009.



**Rys. 2.** Zależność pomiędzy opadem miesięcznym w Poznaniu i Zielonce  
**Fig. 2.** Relation between monthly precipitation in Poznań and Zielonka

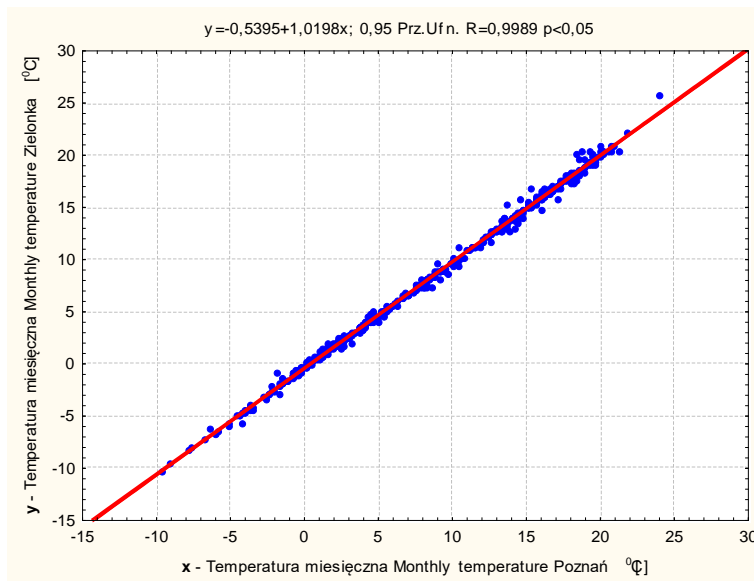
Uzyskane zależności regresyjne są istotne na zwyczajowo przyjmowanym poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . Obliczone współczynniki korelacji Pearsona są bardzo wysokie. Wskazuje to na zasadność uzupełnienia obserwacji meteorologicznych dla stacji Zielonka w okresie 1970–1985 na podstawie zależności regresyjnych ze stacją w Poznaniu.

Trend czasowy dla sum rocznych opadów atmosferycznych w Puszczy Zielonka (stacja meteorologiczna Zielonka) w okresie 1970–2009 nie jest istotny statystycznie dla  $\alpha=0,05$  (rys. 6).

Natomiast trend czasowy w badanym okresie dla średnich rocznych temperatur powietrza w Puszczy Zielonka jest istotny statystycznie (dla  $\alpha=0,05$ ) i wynosi około  $0,05^{\circ}\text{C}/\text{rok}$  (rys. 7).

Kierując się wskazaniem Raportu IPCC (2007) [1], który wskazuje na wyraźne przyspieszenie niekorzystnych zmian klimatycznych na świecie w ostatnich latach, policzono ww. trendy czasowe w ostatnich 10-ciu latach (2000–09).

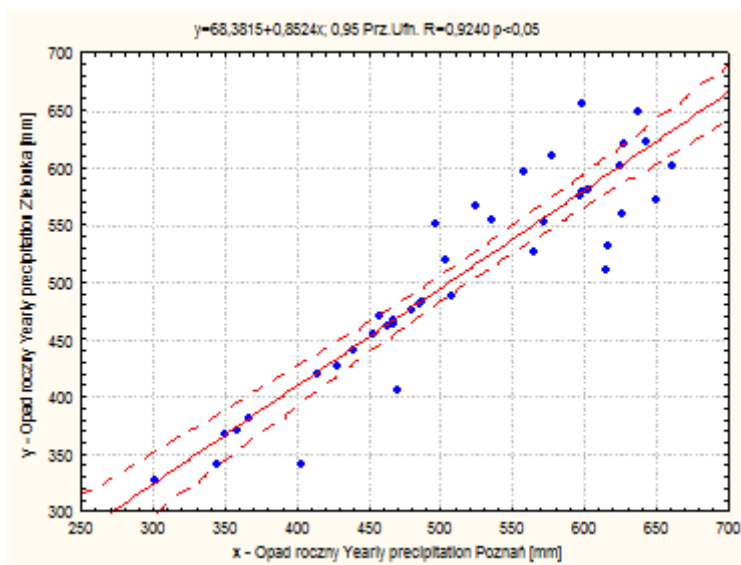
Otrzymano, iż trendy te odpowiednio dla sum rocznych opadów atmosferycznych oraz średnich rocznych temperatur powietrza w Puszczy Zielonka są następujące:  $-0,28\text{mm}/\text{rok}$  i  $+0,11^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ . Ze względu na małą liczebność serii (10 lat) trendy nie są istotne statystycznie na zwykajowo przyjmowanym poziomie istotności 0,05. Niemniej porównując te wartości z wcześniej wyliczonymi dla 40-lecia wyraźnie zaznacza się wskazana w Raporcie IPCC (2007) [1] tendencja wzrostu niekorzystnych zmian klimatycznych w Puszczy Zielonka.



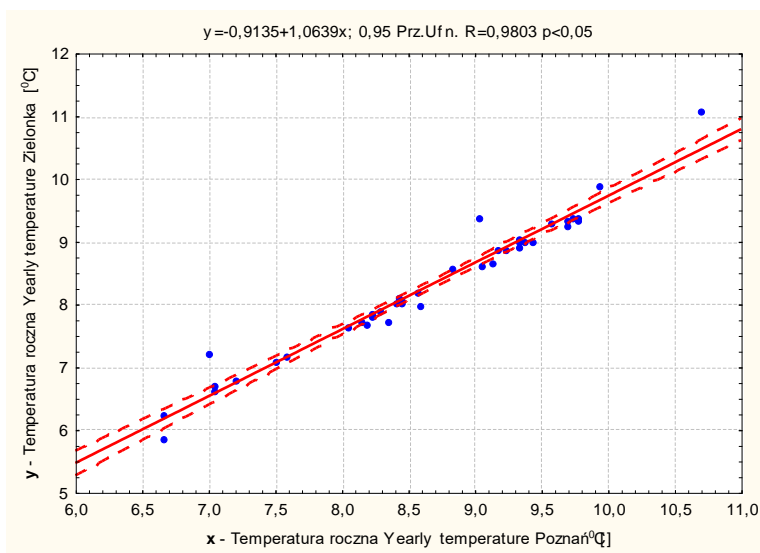
**Rys. 3.** Zależność między miesięczną temperaturą powietrza w Poznaniu i Zielonce

**Fig. 3.** Relation between monthly air temperature in Poznań and Zielonka

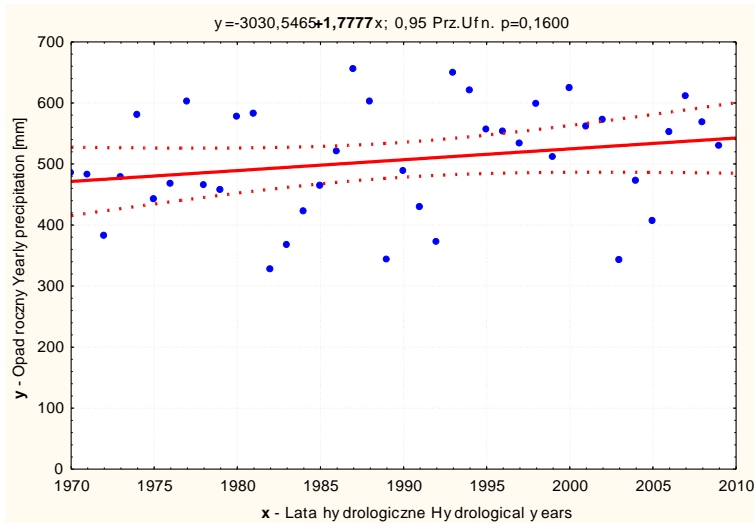




**Rys. 4.** Zależność pomiędzy opadem rocznym w Poznaniu i Zielonce  
**Fig. 4.** Relation between yearly precipitation in Poznań and Zielonka

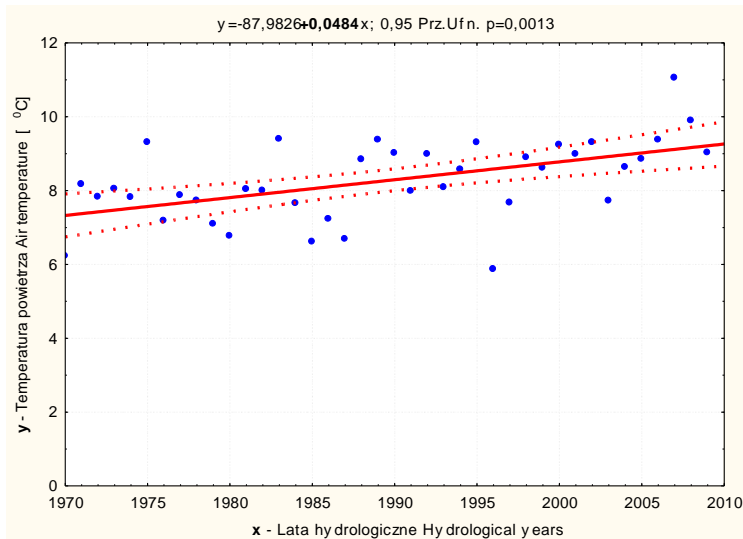


**Rys. 5.** Zależność pomiędzy roczną temperaturą powietrza w Poznaniu i Zielonce  
**Fig. 5.** Relation between yearly air temperature in Poznań and Zielonka



**Rys. 6.** Trend czasowy opadów atmosferycznych w Zielonce (+1,8 mm/rok)

**Fig. 6.** Time trend of precipitation in Zielonka (+1,8 mm/year)



**Rys. 7.** Trend czasowy temperatur powietrza w Zielonce (+0,05°C/rok)

**Fig. 7.** Time trend of air temperature in Zielonka (+0,05°C/year)

W tabeli 2 zestawiono syntetycznie średnie roczne stany wód gruntowych p.p.t. obliczone na podstawie prowadzonych pomiarów w latach 1970, 2002 i 2009 w studzienkach – piezometrach na terenie Leśnictwa Potasze.

Wyniki pomiarów stanów wód gruntowych dla studzienek nr 6, 10 i 13 odrzucono z dalszych analiz ze względu na niejednorodność wynikającą m.in. ze znacznej zmiany w użytkowaniu terenu.

Ze względu na stosunkowo małą liczebność (8, 7 i 14) dla serii pomiarowych kolejno w latach 1970, 2002 i 2009, dla niżej prezentowanych oraz analizowanych zależności nie oceniano istotności statystycznej, bowiem ta, jak wiadomo, jest bezpośrednio zależna od liczebności danych.

Uśredniona roczna wartość stanów wód gruntowych w Puszczy Zielonka (w Leśnictwie Potasze) w latach 1970, 2002 i 2009 wynosiła odpowiednio: 134, 170 i 188 cm p.p.t. Zatem w ciągu 40-tu lat odnotowano szacunkowo spadek wód gruntowych o około 50 cm (rys. 8, 9). Na podstawie studzienek, w których mierzono stany wód gruntowych w 1970 i 2009 roku, można podać następujące statystyki: średnie stany wód gruntowych odpowiednio 134 i 181 cm p.p.t., spadki zalegania wód gruntowych od 5 do 50% oraz średnia zmienność stanów wód gruntowych odpowiednio 188 i 140%.

Współczynniki zmienności stanów wód gruntowych dla poszczególnych studzienek w trzech latach badań zestawiono w tabeli 3. Współczynniki te są bardzo zróżnicowane, przyjmują wartości od 5,9 do 88,1. Niemniej wartości średnie tychże współczynników dla kolejnych lat 1970, 2002 i 2009 przyjmują malejące wartości, odpowiednio: 42,6 30,2 i 21,4.

Spadek zalegania wód gruntowych, w zależności od ich głębokości, nie wykazuje wyraźnych prawidłowości. Odpowiednio dla płytko, średnio i głęboko zalegających wód gruntowych spadki w badanym 40-leciu wynosiły: 13, 51 i 15 cm. Zatem największe spadki stanów wód gruntowych odnotowano na siedliskach lasowych, zdecydowanie mniejsze na siedliskach borowych i olesowych.



**Rys. 8.** Zmienność stanów wód gruntowych

**Fig. 8.** Variability of groundwater levels

**Tabela 2.** Średnie roczne stany wód gruntowych p.p.t. [cm] w 1970, 2002 i 2009 roku

**Table 2.** Yearly mean of groundwater levels below area surface (b.a.s.) [cm] in 1970, 2002 and 2009 year

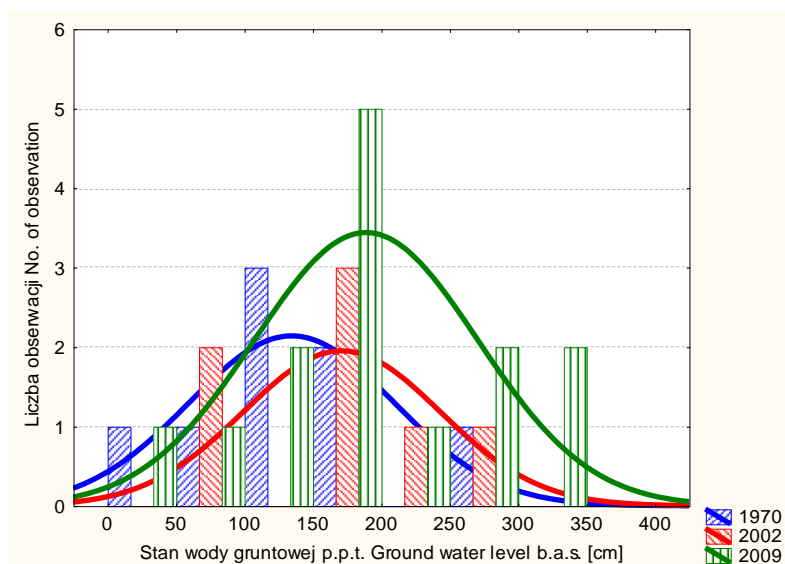
Lp.	Nr studzienki No. of well	Rok 1970 Year	Rok 2002 Year	Rok 2009 Year
1	2	288,1	b.d.	302,5
2	3	131,9	156,5	167,5
3	4	122,5	b.d.	189,7
4	5	36,9	b.d.	49,5
5	7	157,9	b.d.	256,7
6	8	109,7	b.d.	178,7
7	9	69,8	b.d.	116,0
8	12	154,6	b.d.	187,5
9	1up	b.d.	159,9	222,3
10	2up	b.d.	93,0	80,0
11	3up	b.d.	184,7	183,4
12	4up	b.d.	289,1	329,4
13	5up	b.d.	85,1	113,2
14	6up	b.d.	224,3	256,0

*b.d.* – brak danych lack of data

**Tabela 3.** Współczynniki zmienności stany wód gruntowych  
**Table 3.** Variability coefficient of groundwater levels

Lp.	Nr studzienki No. of well	Rok 1970 Year	Rok 2002 Year	Rok 2009 Year
1	2	25,7	b.d.	20,2
2	3	28,8	25,4	17,1
3	4	62,2	b.d.	29,0
4	5	35,0	b.d.	36,4
5	7	58,0	b.d.	17,1
6	8	31,1	b.d.	7,8
7	9	70,2	b.d.	30,6
8	12	29,6	b.d.	23,3
9	1up	b.d.	13,8	9,9
10	2up	b.d.	30,1	18,8
11	3up	b.d.	24,4	13,1
12	4up	b.d.	19,4	12,4
13	5up	b.d.	88,1	57,5
14	6up	b.d.	10,3	5,9

b.d. – brak danych lack of data



**Rys. 9.** Histogram stanów wód gruntowych  
**Fig. 9.** Histogram of groundwater levels

#### 4. Podsumowanie i wnioski

Wydłużenie obserwacji meteorologicznych na stacji Zielonka na okres 1970–1985, bazujące na obserwacjach na stacji meteorologicznej Poznań jest zasadne. Uzyskane zależności regresyjne i współczynniki korelacji dla sum opadów atmosferycznych oraz średnich temperatur powietrza, miesięcznych i rocznych, są istotne statystycznie na zwyczajowo przyjmowanym poziomie istotności  $\alpha=0,05$ . Zatem w konsekwencji uzyskano pełne dane dotyczące opadów atmosferycznych i temperatur powietrza dla badanego okresu 1970–2009 dla reprezentatywnej dla Puszczy Zielonka stacji meteorologicznej w Zielonce.

Trend czasowy dla sum rocznych opadów atmosferycznych w Puszczy Zielonka w okresie 1970–2009 nie jest istotny statystycznie. Natomiast trend czasowy w tym okresie dla średnich rocznych temperatur powietrza w Puszczy Zielonka jest istotny statystycznie i wynosi około  $0,05^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ . Natomiast trendy te dla ostatnich 10-ciu lat w badanym okresie wynoszą odpowiednio  $-0,28 \text{ mm}/\text{rok}$  oraz  $+0,11^{\circ}\text{C}/\text{rok}$ .

Przeciętnie stany wód gruntowych w Puszczy Zielonka (na podstawie badań w Leśnictwie Potasze) w całym 40-letnim okresie badań (1970–2009) spadły o około 50 cm, natomiast w ostatnich 7-miu latach spadły o 20 cm. Przy założeniu przeciętnej porowatości w warstwach wodonośnych na poziomie 34%, odpowiednio w tych okresach spadki retencji gruntowej wynosiły zatem około 160 mm i 60 mm. Zmienność stanów wód gruntowych uległa dwukrotnemu zmniejszeniu (współczynnik zmienności stanów wód gruntowych zmalał o połowę). Największe spadki stanów wód gruntowych odnotowano na siedliskach lasowych, zdecydowanie mniejsze na siedliskach borowych i olesowych.

Można zatem sformułować następujące wnioski:

1. Na terenie Puszczy Zielonka w ostatnim okresie, szczególnie w ostatnim dziesięcioleciu, wystąpiły niekorzystne trendy: wzrost temperatur powietrza oraz malenie sum opadów atmosferycznych. Może to stanowić potwierdzenie niekorzystnych zmian klimatycznych opisanych w Raporcie IPCC (2007) [1], w odniesieniu do badanego terenu.
2. Obniżenie stanów wód gruntowych w Puszczy Zielonka, szczególnie wyraźne w ostatnim dziesięcioleciu można również wiązać z nasilającymi się niekorzystnymi zmianami klimatycznymi. Nie jest to jednak jedyne wytłumaczenie. Drugim czynnikiem, który nie stanowił jed-

nakże przedmiotu niniejszej pracy, wpływającym niekorzystnie na stany wód gruntowych w Puszczy Zielonka i w jej otulinie jest tzw. antropopresja (budownictwo mieszkalne i rekreacyjne, zakłady produkcyjne i przetwórcze etc.).

## Literatura

1. **Climate Change.** Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007 ([www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)).
2. **Eckhardt K., Ulbrich U.:** *Potential impacts of climate change on groundwater recharge and streamflow in a central European low mountain range.* Journal of Hydrology, Vol. 284, 1–4: 244–252 (2003).
3. **Grajewski S.:** *Ocena zdolności retencyjnych siedlisk leśnych Parku Krajobrazowego Puszcza Zielonka.* Rozprawa doktorska wykonana w Katedrze Inżynierii Leśnej AR w Poznaniu (maszynopis). Poznań, 2004.
4. **Grodzki M., Zientarski J.:** *Wyniki obserwacji meteorologicznych w Zielonce w 1986 {1987, 1988, 1989, 1990, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001} roku.* Roczn. AR Pozn. 193 {207, 219, 231, 241, 255, 263, 273, 287, 297, 305, 311, 326, 345, 364, 371}, Leśn. 24 {26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 42}, str.: 23–54 {17–45, 3–32, 47–74, 43–74, 87–115, 81–97, 3–20, 19–36, 3–20, 25–42, 47–77, 27–57, 17–36, 3–33, 35–65}. 1988 {1989, 1991a, 1991b, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2002, 2004a, 2004b}.
5. **Kaczorowska Z.:** *Najsuchsze i najwilgotniejsze pory roku w Polsce w okresie 1900–1959.* Prz. Geof., 7/15, 3, 1962.
6. **Kirwald E.:** *Forstlicher Wasserhaushalt und Forschutz gegen. Wasserschäden,* 1950.
7. **Kosturkiewicz A.:** *Zmienność odpływów z małych zlewni o różnych stopniach lesistości.* Pr. Kom. Nauk Roln. Kom. Nauk Leśn. PTPN, 42, Poznań 1976.
8. **Lambor J.:** *Potencjalne możliwości stepowienia w Polsce.* Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, PWRiL, Zeszyt 7, Warszawa 1956.
9. **Maciaszek W.:** *Gleba jako naturalny retencyjny zbiornik wodny.* Materiały Międzynarodowej Konferencji „Las i woda”. Wyd. Politechniki Krakowskiej, 290–299, Kraków 1998.
10. **Miler A. T.:** *Zmienność stanów wierzchnich wód gruntowych na terenach zalesionych i poza nimi.* PTPN Wydział Nauk Leśnych. Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych. t. 84, 33–50, Poznań 1997.

11. **Miler A. T.:** *Zmienność stanów wód gruntowych w głównych siedliskach Puszczy Zielonka*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych z. 506, 293–301, Warszawa 2005.
12. **Miler A.T., Grajewski S., Okoński B.:** *Jakość i zmienność stanów wód gruntowych w różnych siedliskach Puszczy Zielonka*. PTPN, Wyd. Nauk Roln. i Leś., Prace Komisji Nauk Roln. i Komisji Nauk Leś. Tom 94, 69–82 (2003).
13. **Miler, A. T., Przybyła Cz.:** *Dynamika zmian stanów wód gruntowych pierwszego poziomu wodonośnego*. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. CCXCI, Melior. Inż. Środ. 17, str. 77 – str. 92, Poznań 1997.
14. **Mioduszewski W.:** *Mała retencja a ochrona zasobów wodnych*. Zeszyty Naukowe AR we Wrocławiu. Konferencje XI. Nr 289, Wrocław, 1996.
15. **Pazdro Z., Kozerski B.:** *Hydrogeologia ogólna*. Wyd. Geologiczne. Warszawa 1990.
16. **Plan** szczegółowego zagospodarowania lasów Nadleśnictwa Doświadczalnego Zielonka na okres 1.10.1963 – 30.09.1973r. (1965) Katedra Urządzenia Lasu UP w Poznaniu. Maszynopis.
17. **Plan** urządzenia lasu dla Nadleśnictwa Doświadczalnego Zielonka na okres 1.01.2004 – 31.12.2013r. (2004). Katedra Urządzenia Lasu UP w Poznaniu. Maszynopis.
18. **Rapacki L.:** *Badania zmienności poziomu wód gruntowych w środowisku leśnym na przykładzie Leśnictwa Doświadczalnego Potasze*. Maszynopis pracy doktorskiej. Biblioteka UP w Poznaniu, 1974.
19. **Smerdon, B.D., Redding T.E., Beckers J.:** *An overview of the effects of forest management on groundwater hydrology*. BC Journal of Ecosystems and Management 10(1): 22–44, 2009.
20. **Suliński J.:** *Zarys klimatu, rzeźby terenu i stosunki wodne w Puszczy Niepołomickiej*. Studia Ośrod. Dokum. Fizjogr. T. 9, Kraków 1981.
21. **Suliński J.:** *Badanie wymiany wody: atmosfera-drzewostan-grunt w wybranych drzewostanach sosnowych zachodniej części Kotliny Sandomierskiej*. Zesz. Nauk. Akad. Rol. w Krakowie, 232, Kraków, 1989.
22. **Suliński J., Jaworski A.:** *Bilans wodny lasu w praktyce leśnej*. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Las i Woda” (Redaktor: Osuch, Ciepiewski, Kowalik) Politechnika Krakowska, 32–47, Kraków, 1998.
23. **Suliński J., Kucza J.:** *The utilization of ground-soil water in selected pine tree stands in the Niepołomice Forest*. Acta Agraria et Silvestria, ser. Silv., Vol. XXVI, Kraków 1987.
24. **Tyszka J.:** *Rola i miejsce lasu w kształtowaniu stosunków wodnych w zlewni rzecznej*. Sylwan Nr 11. CXXXIX, 67–80, Poznań 1995.



25. **Tyszka J., Stolarek A.:** *Sezonowość kształtowania się zależności hydrologicznych w lasach.* (Redaktor: A. T. Miler) *Kształtowanie i ochrona środowiska leśnego.* Wyd. AR w Poznaniu, 250–260, Poznań 2003.
26. **Wyniki obserwacji meteorologicznych na stacji w Zielonce w roku 2002 {2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009}.** 2003 {2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010}. Maszynopis. Zakład Doświadczalno-Dydaktyczny Arboretum Leśne w Zielonce, Zielonka k. Poznania.

## Changes of Ground Water Levels in the Zielonka Forest in Period 1970–2009

### Abstract

The aim of this study is demonstrate trends of groundwater level changes in Zielonka Forest on the Experimental Forest District Potasze example. The study included a period of 40 years (1970–2009). Variability of groundwater conditions is basis of water relation ratings, or trends of changes on given area, particularly on forest area.

The Zielonka Forest is situated in the middle section of the Warta river catchment, in the central part of the Wielkopolska region, and its western border lies about 6 kilometres north-east of Poznan. The area is situated in the western part of the Wielkopolska-Mazovian climatic region. The natural landscape is of early glacial type of Pleistocene and Holocene formation. Postglacial drifts, deposits from the Poznan stage of the Würm glaciations, are the main parent materials of the soils in this area. The granulometric composition is formed by sands with a low clay content, overlying loose sands with admixture of gravel and slightly sandy clay. Scots pine (*Pinus silvestris* L.) is the dominant tree species but also oak (*Quercus robur* L., *Q. petraea* (Matt.) Liebl.), alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., *Alnus incana* (L.) Moench.), larch (*Larix sp.* Mill.) and rarely spruce (*Picea abies* (L.) Karst) occur there. The predominant forest site types are: fresh mixed coniferous forest, fresh coniferous forest, wet coniferous forest and alder swamp forest. The greatest yearly fluctuations in groundwater level were observed in alder/ash swamp forest site types, where groundwater level was the highest (in shallow groundwater).

Extended the meteorological observations on Zielonka station for 1970–1985, based on meteorological observation from Poznan station are reasonable. The resulting regression and correlation coefficients relation for precipitation sum, mean air temperature (monthly and annual) are statistically significant on customarily accepted levels of significance  $\alpha = 0.05$ . Consequently complete data of precipitation and air temperatures have been obtained for the study peri-

od 1970–2009 for the Zielonka Forest representative meteorological station in Zielonka village. Time trend for annual precipitation sum in Zielonka Forest in the period 1970–2009 is not statistically significant. However, time trend over that period of the average annual air temperature in the Zielonka Forest is statistically significant and amounts to about  $+0.05^{\circ}\text{C}/\text{year}$ . These trends for the last 10 years during the study period are respectively  $-0.28 \text{ mm}/\text{year}$  and  $+0.11^{\circ}\text{C}/\text{year}$ . These figures can be considered as a confirmation of the adverse climate changes described in the IPCC Report (2007), in relation to the studied area. For the analysis of groundwater conditions selected years 1970, 2002 and 2009. According to the meteorological conditions (precipitation, air temperature), these three years can be regarded as the average (normal).

Average groundwater levels in Zielonka Forest (based on Forest District Potasze analyses) throughout the 40-year study period (1970–2009) fell by about 50 cm, while in the last seven- years, fell by 20 cm. Assuming an average porosity of the aquifer layers to 34%, respectively in these periods decreases the ground retention were thus about 160 mm and 60 mm. Variability of groundwater levels has been reduced twice (variation coefficient of groundwater levels dropped by half). The largest groundwater decreases recorded on forest site types. Much lower on coniferous forest and alder/ash alder swamp forest site type. Groundwater lowering in Zielonka Forest can be associated with intensified adverse climate changes. But this is not the only explanation. The second factor, adversely effect on groundwater conditions in Zielonka Forest and its buffer zone, which was not the subject of this paper, is so-called anthropopressure. For example residential and recreational buildings, manufacture and process plant, etc.