

BERNARD OKOŃSKI, ANTONI T. MILER

## Wieloletnia zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Puszczy Zielonka

Long-term variability of air temperature and precipitation in Puszcza Zielonka Forest

### ABSTRACT

Okoński B., Miler A.T. 2012. Wieloletnia zmienność temperatury powietrza i opadów atmosferycznych w Puszczy Zielonka. Sylwan 156 (6): 473-480.

Puszcza Zielonka Forest is located in the central part of the Warta river basin, in the middle of Wielkopolska region on a plateau covered by deep morain or zander sand and gravel (over 90%). Fresh habitats dominate (95%) and the groundwater level depth is below the range of tree roots reach over ca. 80% of the area. The paper discusses variability of precipitation and temperature in Puszcza Zielonka for the period 1848-2008 with the assessment of water availability for forest environment.

### KEY WORDS

Puszcza Zielonka Forest, variability, air temperature, precipitation

### ADDRESSES

Bernard Okoński – e-mail: okonski@up.poznan.pl

Antoni T. Miler – e-mail: amiler@up.poznan.pl

Katedra Inżynierii Leśnej; Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu; ul. Mazowiecka 41; 60-623 Poznań

### Wstęp

Procesy kształtujące dostępność wody dla ekosystemów leśnych położonych na siedliskach świeżych i suchych uzależnione są silnie od przebiegu warunków meteorologicznych, jeśli woda gruntowa zalega poza strefą oddziaływania korzeni. Drzewostany w takich przypadkach okresowo poddawane są stresowi środowiskowemu wynikającemu z wystąpienia okresów posusznych [Puchalski, Prusinkiewicz 1990]. W warunkach klimatu przejściowego Polski występuje duża niestabilność i zmienność stanów pogody wynikająca z różnego nasilenia wpływów oceanicznych i kontynentalnych w poszczególnych okresach roku, latach i wieleciach. Zmienność ta przekłada się na zróżnicowanie dobowych, kilkudniowych, rocznych i wieloletnich warunków termiczno-opadowych [Ewert 1973; Kożuchowski 2003; Niedźwiedz, Twardosz 2004]. Przychody wody zależą od przebiegu opadów. Z kolei rozchodowanie wody uzależnione jest m.in. od przebiegu temperatury powietrza, która jest głównym czynnikiem modulującym ewapotranspirację. Dobrą miarą do oceny dostępności wody dla ekosystemów, w tym susz klimatycznych, jest klimatyczny bilans wodny, tj. różnica między opadem i parowaniem terenowym [Leśny, Juszcak 2005; Durło 2007; Lorz i in. 2010]. Wykorzystanie klimatycznego bilansu wodnego do ogólnej oceny dostępności wody dla lasu w okresach przeszłych często ogranicza niedostateczny zakres monitorowanych parametrów meteorologicznych stanowiących dane do obliczenia ewapotranspiracji. Zbyt małe zagęszczenie punktów pomiarowych w ramach istniejących sieci standardowych pomiarów elementów klimatu pociąga za sobą dużą generalizację wyników i często uniemożliwia lub utrudnia objaśnianie procesów zachodzących na poziomie małych jednostek przestrzennych

i ekosystemów leśnych [Okoński, Miler 2006; Okoński i in. 2009]. Niemniej w przypadku wystąpienia podanych wyżej ograniczeń ogólna dostępność wody dla ekosystemów w okresach przeszłych jest często oceniana pośrednio na podstawie przebiegu warunków termiczno-opadowych [Farat i in. 1995; Chang 2006; Kostrzewski i in. 2006]. Celem pracy jest ocena zmienności opadów atmosferycznych i temperatury powietrza na terenie Puszczy Zielonka w ostatnich 161 latach.

## Materiał i metody

Puszcza Zielonka to obszar leśny o powierzchni około 15 tys. ha, położony w centralnej części dorzecza Warty, w środkowej Wielkopolsce, na młodoglacjalnej wysoczyźnie pokrytej przez piaski i żwiry sandrowe i dennomorenowe. W drzewostanach dominuje sosna 74% i dąb 16%. W Puszczy występują starodrzewie sosnowe, dębowe, bukowe, a także znajduje się jeden z najstarszych w Polsce drzewostanów modrzewiowych. Przeważają siedliska świeże (około 95% powierzchni), zaś na ponad 80% powierzchni woda gruntowa zalega poniżej strefy korzeni drzew.

Opady atmosferyczne i temperaturę powietrza za okres 1986-2008 przedstawiono na podstawie wyników obserwacji ze stacji meteorologicznej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, zlokalizowanej w centralnej części Puszczy, w miejscowości Zielonka. Wartości temperatury i opadów dla lat 1848-1985 obliczono na podstawie prostoliniowych związków regresyjnych. Do obliczeń tych wykorzystano pomiary miesięczne ze stacji w Zielonce i IMiGW w Poznaniu za okres 1986-2008. Niewielka zmienność typów pogody oraz warunków meteorologicznych wynikająca z małej odległości między oboma stacjami (24 km w linii prostej) została potwierdzona przez wysokie wartości współczynników korelacji liniowej, które dla średnich miesięcznych wartości temperatury wyniosły 0,9987, zaś dla opadów 0,8916.

Analizy przebiegu temperatury i opadów prowadzono dla lat hydrologicznych (XI-X), okresów zimowych (XI-IV) i letnich (V-X). W celu łatwiejszej interpretacji trendów i okresowości zastosowano „wygładzanie” pierwotnego szeregu pomiarowego z wykorzystaniem 11-letniej średniej ruchomej. Analizę trendów liniowych prowadzono w 5-letnich ruchomych oknach czasowych. Współzależności „temperatura-rok” oraz „opad-rok” oceniano na podstawie współczynników korelacji liniowej. Istotność trendów oceniano na podstawie wartości współczynników nachylenia odpowiednich prostych regresji. Do oceny okresowości zastosowano metody analizy harmonicznej szeregów czasowych bazujące na szeregu Fouriera, którym można opisywać funkcje w dużej mierze dowolne [Miler, Miler 2005]. Dla pełniejszej oceny zmienności temperatury i opadów prowadzono analizę trendów w ruchomym oknie czasowym dla okresów o dolnej granicy ustalonej na początku serii pomiarów (1848 rok) i zmiennej górnej granicy przedziału oraz analizę w oknie czasowym ze zmienną dolną granicą przedziału i górną granicą ustaloną na koniec serii pomiarowej (2008 rok) (ryc. 2). Ponadto przeprowadzono analizę przebiegu miar zmienności (odchylenie standardowe  $\sigma$ ) i koncentracji (kurtoza  $K$ ) dla 30-letnich, ruchomych szeregów czasowych temperatury i opadów (łącznie wyróżniono 132 takie okresy). Okresy 30-letnie przyjmowane są przez WMO (World Meteorological Organization) i IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) do określania normalnych warunków klimatycznych jako referencyjnych do oceny zmienności czasowej i przestrzennej klimatu. Dla wszystkich prowadzonych w pracy analiz statystycznych przyjęto poziom istotności  $\alpha=0,05$ .

## Wyniki

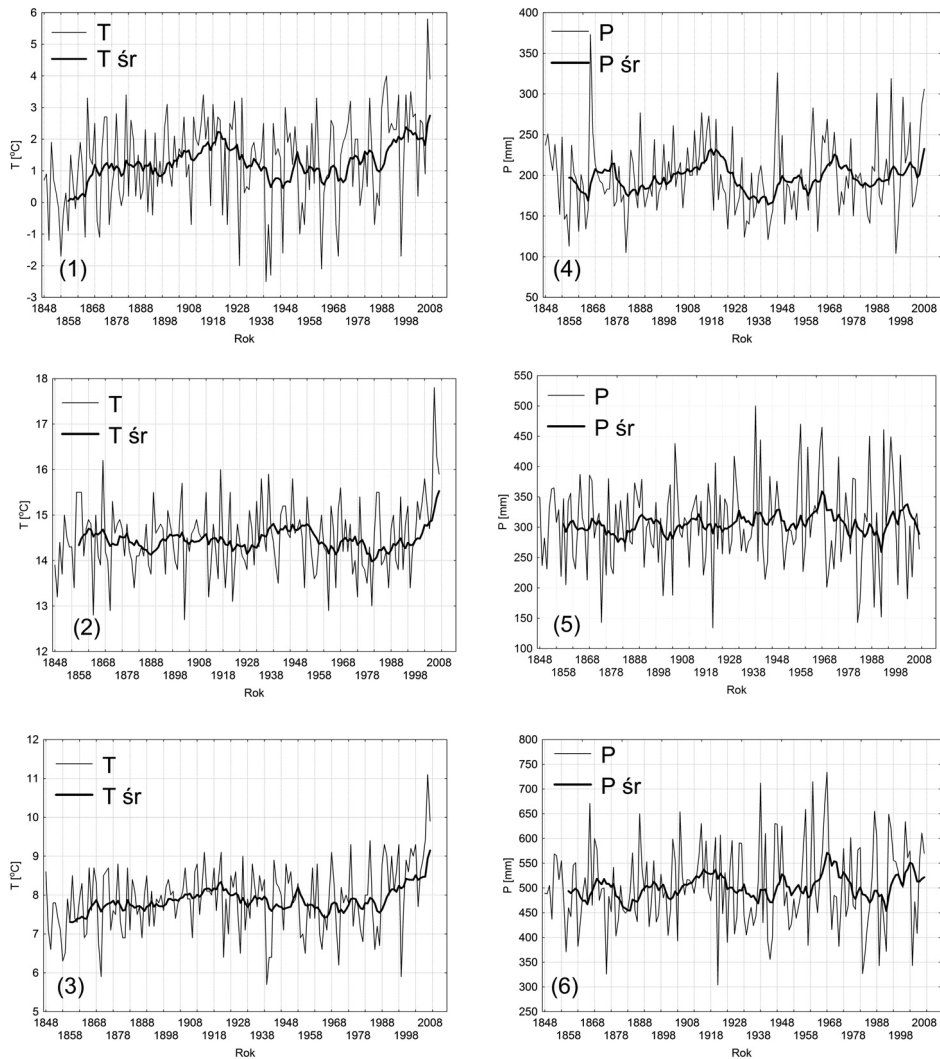
Przeciętna suma rocznych opadów atmosferycznych na obszarze Puszczy Zielonka wynosiła w wieloletniu 1848-2008 503 mm, zaś średnia roczna temperatura powietrza 7,9°C. Stwierdzono, że bardziej wyraziste zmiany kierunkowe wystąpiły w przypadku temperatury niż opadów.

Przebieg średnich ruchomych dla opadów był bardziej typowy dla zmian cyklicznych, z wyłączeniem okresu od około 6. do 10. dekady XX wieku. Wyróżnić można trzy okresy zmian kierunkowych dla temperatury półrocza zimowego, tj. okres wzrostu od początku serii pomiarowej do około 2. dekady XX wieku, okres spadku do około 5. dekady XX wieku, a następnie kolejny, współczesny okres wzrostu trwający do końca serii pomiarowej. W przypadku temperatury półrocza letniego odnotowano, że wzrost wystąpił od około 7. dekady XX wieku, zaś w okresie wcześniejszym wystąpiła zmienność mająca raczej charakter cykliczny. Zmienność temperatury w ciągu roku hydrologicznego wykazała duże podobieństwo do zmienności występującej w okresie zimowym (ryc. 1, 3, 4). Wyznaczone periodogramy dla rocznej sumy opadów atmosferycznych półrocza zimowego i letniego oraz roku hydrologicznego wskazują na następujące dominujące harmoniczne: 6,7-, 4,2- i 53,3-letnie; 3,3-, 7,0- i 2,8-letnie oraz 6,7-, 7,0- i 10,0-letnie. Analogicznie periodogramy dla średniej temperatury powietrza w tych okresach wskazują na okresowości: 2,3-, 7,6- i 3,1-letnie; 3,6-, 3,3- i 5,3-letnie oraz 7,6- 5,7- i 5,5-letnie. Największą zmienność 30-letniej średniej ruchomej temperatury powietrza odnotowano dla półrocza zimowego (ryc. 3).

## Dyskusja

Analiza zmian kierunkowych temperatury powietrza wykazała, że trendy wzrostowe wystąpiły w okresie od 1976 do 2008 roku i dotyczyły obu półroczy oraz roku hydrologicznego. W okresie 1848-1920 wystąpiły dla roku hydrologicznego oraz półrocza zimowego. Dodatkowo trendy temperatury powietrza wystąpiły dla półrocza zimowego i roku hydrologicznego w całym wieloleciu 1848-2008. Nie wykazano istotnych statystycznie trendów spadkowych temperatury powietrza dla żadnego z przedziałów czasowych. W przypadku półroczy letnich i lat hydrologicznych dość silne związki odnotowano dla ostatnich 3-4 dekad. Podobnie trendy wykazano w przypadku temperatury rocznej w Europie Centralnej i Zachodniej dla najdłuższych serii pomiarów od końca XVIII i początku XIX wieku, przy czym siła związków wzrasta również ku końcowi szeregów pomiarowych w ostatnich dziesięcioleciach [Jones, Mann 2004; Luterbacher i in. 2004]. Występowanie dodatnich trendów termicznych dla okresu zimowego, a ponadto brak zgodności zmian kierunkowych dla okresów letnich w przypadku najdłuższych serii pomiarów od XVIII wieku do XXI wieku dla Polski i Europy Centralnej stwierdzili Boryczka i Stopa-Boryczka [2007]. Z kolei silny wzrost temperatury zim w Polsce za ostatnie dziesięciolecia potwierdzają między innymi badania dotyczące zmienności przestrzennej temperatury dla danych za ostatnią dekadę XX wieku oraz drugie półwiecze XX wieku. W tym drugim przypadku wskazano również na zaznaczający się pod koniec XX wieku wzrost temperatury okresów letnich [Kozuchowski, Żmudzka 2001; Zawora 2005]. Dla opadów na obszarze Puszczy Zielonka nie znaleziono istotnych statystycznie zmian kierunkowych dla całego wielolecia 1848-2008, a jedynie zmiany cykliczne. Podobny rezultat uzyskali Boryczka i Stopa-Boryczka [2004] oraz Żmudzka [2009], analizując opady w Polsce oraz Pauling i in. [2005] dla obszaru Europy Środkowej w przypadku długich serii pomiarowych.

W przypadku temperatury i opadów w Puszczy Zielonka dominują cykle o okresach krótkich, nieprzekraczających 10 lat. Dominacja cykli o krótkich okresach dla temperatury w strefie klimatu umiarkowanego Europy (okresy 7,7-, 7,7-8,3- (zima), 2,2-, 2,5- oraz 3,6-letnie) potwierdzają liczne prace [Żmudzka 1995; Boryczka, Stopa-Boryczka 2004; Paluš, Novotná 2006; Nicolay i in. 2009]. W przypadku opadów cykle o krótkich okresach stwierdzili m.in. Brádzil [1985] (3-5 lat), Boryczka i Stopa-Boryczka [2004] (3-4,8 lat) oraz Paul i David [2006] (2, 2,2, 6-7 lat).

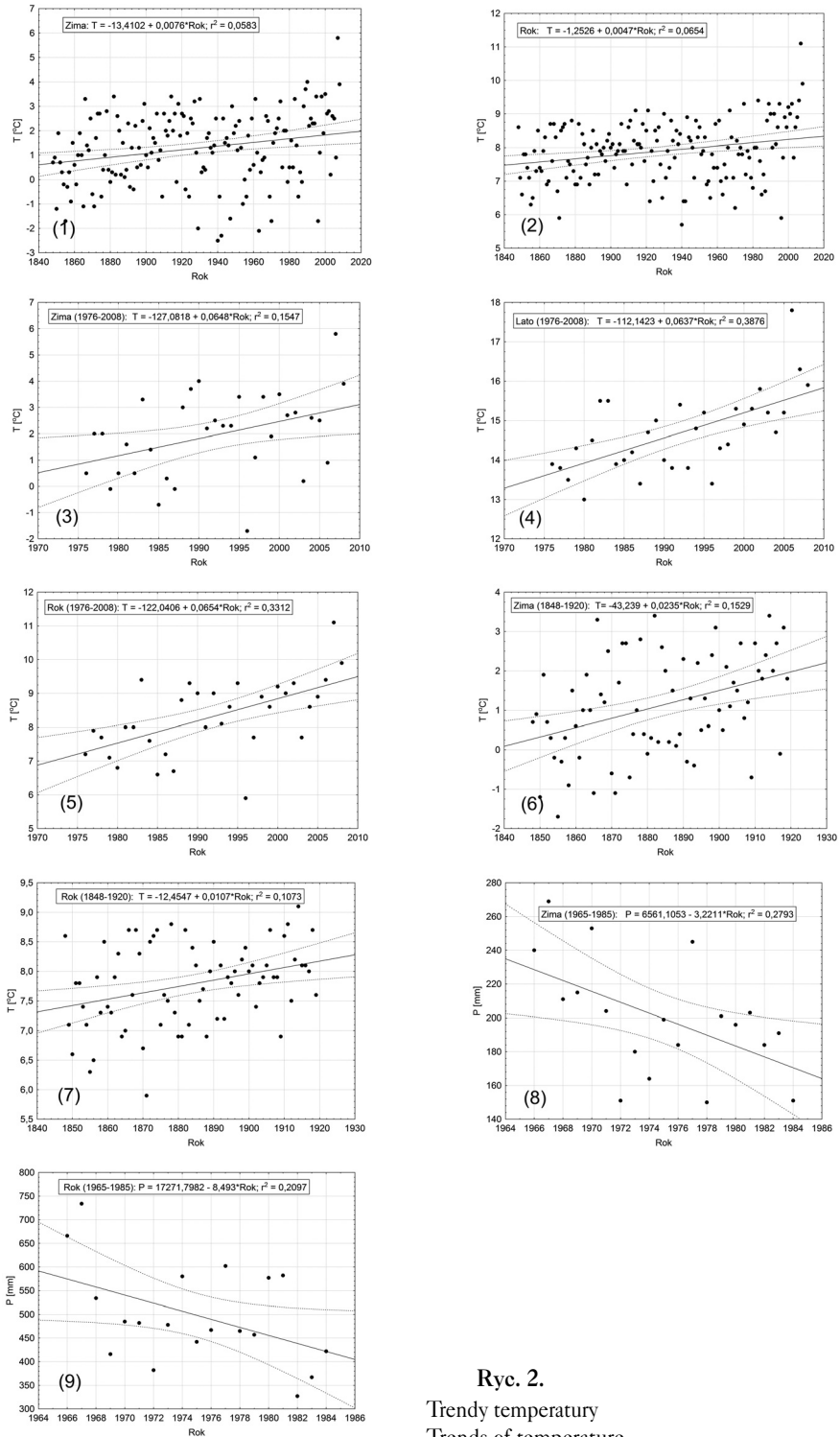


Ryc. 1.

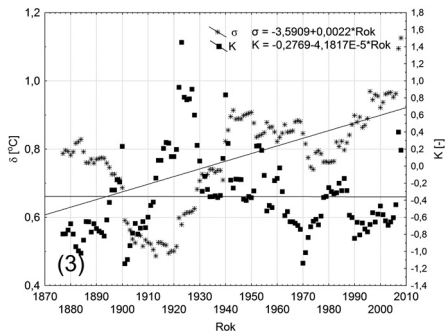
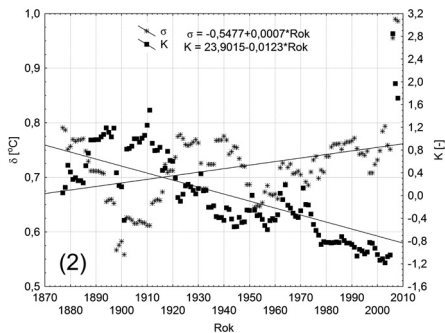
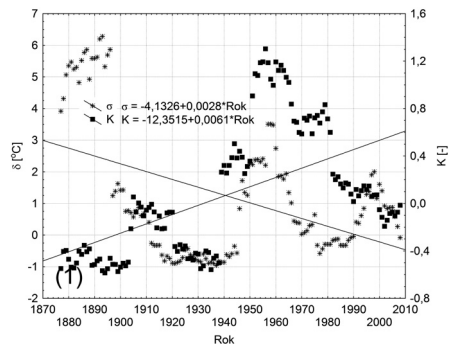
Wartości rzeczywiste oraz 11-letnie średnie ruchome temperatury powietrza ( $T$ ,  $T_{\text{śr}}$ ) oraz opadów atmosferycznych ( $P$ ,  $P_{\text{śr}}$ ) dla półrocza zimowego (1, 4), półrocza letniego (2, 5) i roku hydrologicznego (3, 6) w okresie 1848-2008

Mean annual and 11-year moving average values of temperature ( $T$ ,  $T_{\text{śr}}$ ) and precipitation ( $P$ ,  $P_{\text{śr}}$ ) for winter half-year (1, 4), summer half-year (2, 5) and hydrological year (3, 6) in the period of 1848-2008

Dla ruchomych okresów 30-letnich istotnie statystycznie, dodatkowo trendy odchylenia standardowego zidentyfikowano dla obu półroczy i roku hydrologicznego w przypadku temperatury. Dla opadów wystąpiły one w analogicznych okresach za wyjątkiem półrocza zimowego. Istotny statystycznie spadek koncentracji rozkładu ustalony na podstawie przebiegu kurtozy w ruchomych okresach 30-letnich wystąpi dla temperatury i opadów, przy czym dla temperatury półrocza zimowego i opadów półrocza letniego począwszy od lat 40. XX wieku. Wyniki powyższe wskazują na zwiększanie się zmienności i rozproszenia wartości temperatury i opadów. Jedynie w okresie zimowym można zauważyć spadek zmienności opadów (ryc. 3-4).



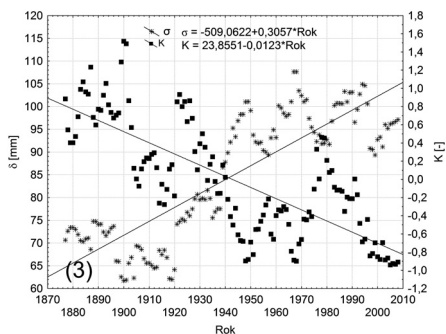
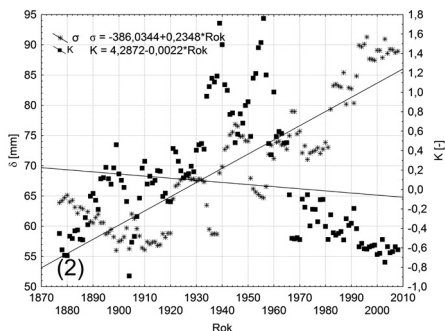
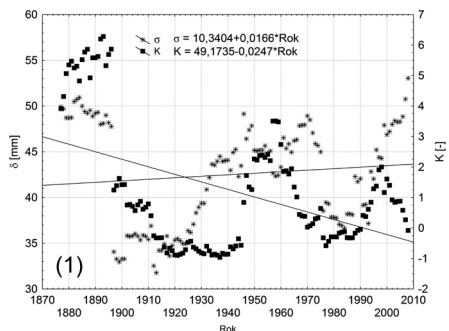
Ryc. 2.  
Trendy temperatury  
Trends of temperature



Ryc. 3.

Odchylenie standardowe ( $\sigma$ ) i kurtoza (K) 30-letniej średniej ruchomej temperatury powietrza dla półrocza zimowego (1), półrocza letniego (2) i roku hydrologicznego (3) w okresie 1848-2008

Standard deviation ( $\sigma$ ) and kurtosis (K) of 30-year moving average air temperature for winter half-year (1), summer half-year (2) and the hydrologic year (3) in the period of 1848-2008



Ryc. 4.

Odchylenie standardowe ( $\sigma$ ) i kurtoza (K) 30-letniej średniej ruchomej opadów atmosferycznych dla półrocza zimowego (1), półrocza letniego (2) i roku hydrologicznego (3) w okresie 1848-2008

Standard deviation ( $\sigma$ ) and kurtosis (K) of 30-year moving average precipitation for winter half-year (1), summer half-year (2) and the hydrologic year (3) in the period of 1848-2008

## Wnioski

- ✦ Zagrożenie niedoborami wody dla ekosystemów leśnych Puszczy Zielonka wzrastało od około połowy lat 70. XX wieku. W okresie tym wystąpił silny trend dodatni dla temperatury półrocznej letniego, co stymulowało parowanie terenowe. Niekorzystne ze względu na zaspokajanie potrzeb wodnych drzewostanów w Puszczy Zielonka mogły być też dodatnie trendy zmienności i ujemne trendy koncentracji temperatury i opadów półrocznej letniego w całym badanym wieloleciu. Stąd wzrastała intensywność i częstość temperatury i opadów ekstremalnych, tj. okresów z nadmiarem lub niedoborem wody.
- ✦ Odnotowano brak zmian kierunkowych dla opadów w dłuższych okresach w przypadku obu półrocznej. Jednak najsilniejsze cykle termiczne i opadowe zarówno dla półrocznej letniego, jak i zimowego, występowały na ogół w okresach nieprzekraczających 10 lat. Wskazuje to również na dużą zmienność dostępności wody dla drzewostanów Puszczy Zielonka w stosunkowo krótkich okresach. Może to wynikać z relacji między fazami cyklu termicznego i opadowego.
- ✦ W przypadku temperatury półrocznej zimowego oraz roku hydrologicznego wystąpił dodatni trend zmian. Dla opadów rocznych nie odnotowano zmian kierunkowych. Stąd można sądzić, że na obszarze Puszczy Zielonka rozchód wody na ewapotranspirację wzrastał w rozpatrywanym wieloleciu, zaś przychód wody mógł być niezmienny. Ponadto wzrost temperatury półrocznej zimowego nie sprzyjał alimentowaniu w wodę obszaru Puszczy i ograniczał znacznie retencji śnieżnej.

## Literatura

- Boryczka J., Stopa-Boryczka M. 2004. Cykliczne wahania temperatury i opadów w Polsce w XIX–XXI w. *Acta Agrophysica* 3 (1): 21–33.
- Boryczka J., Stopa-Boryczka M. 2007. Ochłodzenia i ocieplenia klimatu Europy w XVIII wieku i ich przyczyny. *Acta Agrophysica* 9 (3): 555–570.
- Brzdzil R., Samaj F., Valovic S. 1985. Variation of spatial annual precipitation sums in Central Europe in the period 1881–1980. *J. Climatol* 5: 617–631.
- Chang M. T. 2006. *Forest Hydrology. An Introduction to Water and Forests*. CRC Press. DOI:10.1029/2003RG000143.
- Durło G. 2007. Klimatyczny bilans wodny okresów wegetacyjnych na szkółce leśnej Wyrchzadeczka w Beskidzie Śląskim. *Sylwan* 151 (6): 53–61.
- Ewert A. 1973. Zagadnienie kontynentalizmu termicznego klimatu Polski i Europy na tle kontynentalizmu kuli ziemskiej. *Prace IG UW* 11. *Klimatologia* 6.
- Farat R., Kępińska-Kasprzak M., Magier P. 1995. Susze na obszarze Polski w latach 1981–1990. *Mater. Bad. Gospodarka Wod. Ochr. Wód*. 16.
- Jones P., Mann M. 2004. Climate over past millennia. *Reviews of Geophysics* 42. doi: 10.1029/2003RG000143.
- Kostrzewski A., Kruszyk R., Kolander R. 2006. Zintegrowany Monitoring Środowiska Przyrodniczego zasady organizacji, system pomiarowy, wybrane metody badań. Wyd. UAM. Poznań.
- Kożuchowski K. 2003. Cyrkulacyjne czynniki klimatu Polski. *Czas. Geogra.* 74 (2): 93–105.
- Kożuchowski K., Żmudzka E. 2001. Ocieplenie w Polsce: Skala i rozkład sezonowy zmian temperatury powietrza w drugiej połowie XX wieku. *Przegląd Geofizyczny* 1–2: 81–90.
- Leśny J., Juszcak R. 2005. Klimatyczny bilans wodny terenów rolniczych i leśnych. *Wod. Środ. Obsz. Wiejsk. IMUZ.* 5: 53–66.
- Lorz C., Fürst C., Galic Z., Matijasic D., Podrazky V., Potocic N., Simoncic P., Strauch M., Vacik H., Makeschin F. 2010. GIS-based probability assessment of natural hazards in forested landscapes of Central and South-Eastern Europe. *Environmental Management* 46 (6): 920–30.
- Luterbacher J., Dietrich D., Xoplaki E., Grosjean M., Wanner H. 2004. European seasonal and annual temperature variability, trends and extremes since 1500. *Science* 303: 1499–1503.
- Miler A. T., Miler M. 2005. Trendy i okresowości zmian temperatury oraz opadów dla Poznania w latach 1848–2000. *Zesz. Nauk. Wydz. Bud. i Inż. Źród. Pol. Koszał. Inż. Środ.* 22: 945–956.
- Nicolay S., Mabilbe G., Fettweis X., Erpicum M. 2009. 30 and 43 months period cycles found in air temperature time series using the Morlet wavelet method. *Clim. Dyn.* 33: 1117–1129.

- Niedźwiedz T., Twardosz R. 2004. Long-term precipitation variability for selected stations in Central Europe. *Geographia Polonica* 11: 73-100.
- Okoński B., Miler A. T. 2006. Klimatyczny bilans wodny terenów zalesionych Wielkopolski na przykładzie Puszczy Zielonka. *Acta Scientiarum Polonorum, ser. Formatio Circumiectus* 5 (2): 73-81.
- Okoński B., Miler A. T., Panfil M. 2009. Dynamics of Climate Elements and Land Drainage Impact on Hydrologic Conditions in Lakeland Blind Drainage Area. *Journal of Water and Land Development* 13A: 225-238.
- Paluś M., Novotná, D. 2006. Quasi-biennial oscillations extracted from monthly NAO index and temperature records are phase-synchronized. *Nonlin. Processes Geophys.* 13: 287-296.
- Paul P., David B. S. 2006. Analysis of the Historical precipitation sums of Sulina Station by Means of Power Spectra in Relation to Sibiu Station and NAO and SOI indexes. *Geographia Technica* 2: 99-104.
- Pauling, A., Steiner D., Luterbacher J., Casty C., Wanner H. 2005. Five hundred years of gridded high-resolution precipitation reconstructions over Europe and the connection to large-scale circulation. *Climate Dynamics* 26 (4): 387-405.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1990. *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa*. PWRiL, Warszawa.
- Zawora T. 2005. Temperatura powietrza w Polsce w latach 1991-2000 na tle okresu normalnego 1961-1990. *Acta Agrophysica* 6 (1): 281-287.
- Żmudzka E. 1995. Tendencje i cykle zmian temperatury powietrza w Polsce w latach 1951-1990. *Przegląd Geofizyczny* 40 (2): 129-139.
- Żmudzka E. 2009. Współczesne zmiany klimatu Polski. *Acta Agrophysica* 13 (2): 555-568.

## SUMMARY

### Long-term variability of air temperature and precipitation in Puszcza Zielonka Forest

Puszcza Zielonka Forest is located in the central part of the Warta river basin, in the middle of Wielkopolska region on a plateau covered by deep morain or zander sand and gravel layers (over 90% of the area). Fresh habitats dominate (ca 95% of the area) and the groundwater level depth is below the range of tree roots reach on more than 80% of the area. Thus, soil water storage and availability of water for forest vegetation is strongly dependant on current climate elements dynamics. The aim of research was to assess temperature and precipitation variability for the period 1848-2008. Positive trends of temperature occurred in Puszcza Zielonka Forest for the winter half-year and hydrological year. The strength of trends has apparently grown since 1970s. The trends identified for the aforementioned period occur for both the half-year periods and hydrological year. No precipitation trends were identified for studied meteorological data series. As far as periodicity is concerned, relatively short periods (less than 10 years) dominate. Positive trends of variability and data dispersion were identified, except for the winter half-year, for which no variability trends for precipitation and positive trend of data dispersion for temperature only since 1940s occurred. The increase of water deficit threat for forest vegetation has risen since 1970s. Furthermore increase of intensity and frequency of extreme rainfall and evaporation periods, increase of evaporation and decrease of snowpack role indicate deterioration of water availability to forest vegetation in Puszcza Zielonka.