

Odnawialność zasobów wilgoci glebowej w zlewni Łasicy (Kampinoski Park Narodowy)

URSZULA SOMOROWSKA

Zakład Hydrologii Instytutu Geografii Fizycznej, Uniwersytet Warszawski,
ul. Krakowskie Przedmieście 26/28, 00-927 Warszawa, usomorow@uw.edu.pl

Zarys treści: Celem pracy jest rozpoznanie prawidłowości rządzących odnową glebowych zasobów wody w nizinnej zlewni Łasicy, położonej na obszarze Kampinoskiego Parku Narodowego. Analizowano zmienność opadu, ewapotranspiracji, temperatury powierzchni gruntu i zapasu wilgoci glebowej w wieloletnim okresie 1980–2007, na podstawie danych gridowych pozyskanych z systemu GLDAS (Global Land Data Assimilation System). Wykazano występowanie coraz niższych zasobów wilgoci glebowej, czego prawdopodobną przyczyną jest spadek zasilania zlewni opadem, a także wzrost parowania. Wskaźnik odnawialności, jako iloraz zmian zasobów rencyjnych i wielkości opadu w tym samym okresie, wykazywał nieznaczny trend malejącą, nieistotny statystycznie.

Słowa kluczowe: dane GLDAS, glebowe zapasy wody, odnawialność, zmiany wieloletnie, Kampinoski Park Narodowy

Key words: GLDAS data, soil water storage, renewability, long-term changes, Kampinos National Park

Wstęp

Rozpoznanie uwilgotnienia gleb, od którego zależy dostępność wody dla roślin, jest istotnym elementem działań na obszarach chronionych. Działania te obejmują m.in. ocenę środowiska wodnego oraz jego monitoring, przyczyniając się do utrzymania właściwego ustroju wodnego. Szczególnie istotne jest zabezpieczenie potrzeb wodnych siedlisk chronionych, co uzależnione jest od dynamiki wilgoci glebowej występującej w strefie aeracji. Tradycyjnie, w ocenie uwilgotnienia gleb znajdują zastosowanie dane pozyskiwane technikami pomiarowymi *in situ*. Są to punktowe dane podstawowe, których źródłem są kosztowne i pracochłonne badania naziemne. Są one istotnym reperem w analizie danych przestrzennych (gridowych) pochodzących z reanaliz klimatycznych, z symulacji modeli oraz pozyskiwanych metodami teledetekcyjnymi. Coraz większa rozdzielczość czasowa i przestrzenna danych gridowych udostępnianych w globalnych bazach danych sprawia, że w badaniach hydrologicznych dane nowego typu są wykorzystywane coraz powszechniej. Ze względu na regularny krok czasowy, a także dostępność w czasie zbliżonym do rzeczywistego, mogą one stanowić podstawę badań dynamiki obszarowego uwilgotnienia gleb oraz oceny stopnia odnawialności zasobów wodnych. Kluczowymi parametrami hydrologicznymi gleby, udostępnianymi coraz

częściej w globalnych bazach danych przestrzennych, są wilgotność i zapas wody w glebie. W niniejszej pracy dokonano analizy odnawialności zasobów wilgoci glebowej w nizinnej zlewni Łasicy, położonej na obszarze Kampinoskiego Parku Narodowego (KPN). Obszar KPN wchodzi w skład sieci Natura 2000, obejmującej Specjalne Obszary Ochrony Siedlisk (SOOS). Z tego względu dostępność wody w wierzchnich warstwach gleby czyni badania nad uwilgotnieniem na tym obszarze szczególnie istotnymi. Hipotezą badawczą było stwierdzenie, że w analizowanej zlewni zaznacza się zmniejszanie zasobów wilgoci glebowej. Badano zatem zmiany glebowych zapasów wody oraz stopień ich odnawialności, w powiązaniu z zasilaniem zlewni opadem atmosferycznym, a także ewapotranspiracją i temperaturą powierzchni gruntu.

Dane i metody badań

W pracy wykorzystano przestrzenne dane z globalnej bazy GLDAS (Global Land Data Assimilation System), udostępniane przez centrum GES DISC (Goddard Earth Sciences, Data and Information Sciences Center), które jest jednostką amerykańskiej Narodowej Agencji Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej NASA. Działa ono w ramach Centrum Lotów Kosmicznych imienia Roberta H. Goddarda (Goddard Space Flight Center, GSFC). System GLDAS został opracowany wspólnie przez naukowców GSFC NASA oraz NOAA NCEP (National Oceanic and Atmospheric Administration, National Centers for Environmental Prediction; Rodell i in. 2004). Zastosowano w nim systemy obserwacji naziemnych i satelitarnych, które dostarczają danych jako wejścia do modeli powierzchni Ziemi LSM (ang. Land Surface Model), modelujących zmienne stany powierzchni Ziemi. Dane wejścia do modeli LSM gromadzone są w systemie LIS (Land Information System), integrującym i przetwarzającym dane o wysokiej rozdzielczości (Kumar i in. 2006).

Tab. 1. Zestawienie wybranych zmiennych wyjścia systemu GLDAS w modelu Noah.

Tab. 1. Selected variables of the GLDAS system in the Noah model

Parametr Parameter	Nr i symbol parametru No. and symbol of parameter	Jednostka Unit
Opad ciekły Rainfall	132 Rainf	kg·m ⁻² ·s ⁻¹
Opad stały Snowfall	131 Snowf	kg·m ⁻² ·s ⁻¹
Ewapotranspiracja Evapotranspiration	057 Evap	kg·m ⁻² ·s ⁻¹
Wilgoć glebowa Soil moisture	086 Soilm	kg·m ⁻²
Temperatura powierzchni gruntu Temperature of soil surface	085 TSoil	°K

Aktualnie udostępniane są wyniki symulacji modeli Mosaic, Noah i Community Land Model (CLM), przy czym najwcześniej udostępniono parametry wyjścia z modelu Noah. W przyszłości w systemie GLDAS przewiduje się włączenie modelu VIC (Variable Infiltration Capacity) oraz modelu CLSM (Catchment Land Surface Model). W modelach Mosaic, Noah i CLM zaadaptowano schematy przepływu energii i wody SVATS (Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Schemes), w których stosowane są parametry szaty roślinnej. W systemie GLDAS zastosowano zbiór danych satelitarnych NOAA/AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), pozwalających ocenić użytkowanie powierzchni

ziemi (Hansen i in. 2000) oraz współczynnik powierzchni liści LAI (Leaf Area Index) w rozdzielczości przestrzennej 1 km (Gottschalk i in. 2002). Parametry glebowe pozyskano do systemu z globalnej bazy danych glebowych o rozdzielczości przestrzennej 5' szerokości i długości geograficznej (Reynolds i in. 2000). Informacja o pokrywie śnieżnej jest włączana z obserwacji z instrumentu MODIS satelity TERRA. Są to dane w rozdzielczości przestrzennej 0,05° (3') szerokości i długości geograficznej oraz rozdzielczości czasowej 1 dnia, dostarczane przez grupę MODIS działającą w ramach GSFC. W systemie GLDAS dane są skalowane do rozdzielczości operacyjnej poszczególnych modeli, wynoszącej 0,25° (15') szerokości i długości geograficznej oraz 1° szerokości i długości geograficznej. Unikatowość systemu GLDAS polega na dużej rozdzielczości danych udostępnianych w czasie zbliżonym do rzeczywistego.

W niniejszej pracy wykorzystano wartości zmiennych hydrologicznych, będące wyjściem z modelu Noah (Ek i in. 2003). Dane udostępniane są w formacie GRIB (GRIBdded Binary). Przetworzono je do formatu NetCDF (Network Common Data Form), wykorzystując program Xconv w wersji 1.91 (<http://badc.nerc.ac.uk/help/software/xconv/>). Następnie dane odczytano w programie MATLAB, za pomocą narzędzia NetCDF (<http://mexcdf.sourceforge.net/>). Wykorzystano wartości sum opadu ciekłego i stałego, ewapotranspiracji, temperatury powierzchni gruntu oraz zasobów wilgoci glebowej (Fang 2008). W tabeli 1 zestawiono pozyskane parametry modelu Noah, które posłużyły do obliczenia wartości miesięcznych. Wykorzystano średnie miesięczne wartości analizowanych zmiennych w latach 1980–2007. W niniejszej pracy, z globalnej bazy danych GLDAS, wyodrębniono dane w punkcie siatki gridowej o rozdzielczości 1° szerokości i długości geograficznej, w zasięgu którego pozostaje zlewnia Łasicy. Parametr wilgotności gleby (Soilm) reprezentuje zapas wody w glebie.

Analizowano zmienność wieloletnią i sezonową opadu, parowania, temperatury powierzchni gruntu i zapasu wilgoci glebowej. Określono tendencje zmian analizowanych wielkości w latach 1980–2007, stosując równanie regresji liniowej. Zbadano kierunek, wielkość i istotność zmian przy założeniu, że zmienne posiadają rozkład normalny. Hipotezę zerową o braku zmian odrzucano, gdy przyjęty poziom istotności $\alpha = 0,05$ był większy od krytycznego poziomu istotności p . Przyjmowano wówczas hipotezę alternatywną o wystąpieniu istotnych zmian (Kasina i in. 2007). Jeśli natomiast $\alpha < p$, wówczas przyjmowano, że obserwowane zmiany nie są istotne statystycznie. Obliczono wskaźnik odnawialności zasobów wilgoci glebowej, jako iloraz zmian zasobów retencyjnych (zapasu wody) i wielkości opadu w tym samym okresie (Somorowski 1998). Wskaźnik odnawialności rocznej k_R obliczono według wzoru:

$$k_R = \Delta Z_R / P_R$$

gdzie:

ΔZ_R – różnica między średnim zapasem wilgoci glebowej w danym roku a średnim zapasem w roku uprzednim,

P_R – suma opadu rocznego w danym roku.

Ponadto analizowano również miesięczny wskaźnik odnawialności k_m w latach 1980–1989 oraz w latach 2000–2007. Został on obliczony według wzoru:

$$k_m = \Delta Z_m / P_m$$

gdzie:

ΔZ_m – różnica między średnim zapasem wilgoci glebowej w danym miesiącu a średnim zapasem w miesiącu uprzednim,

P_m – miesięczna suma opadu.

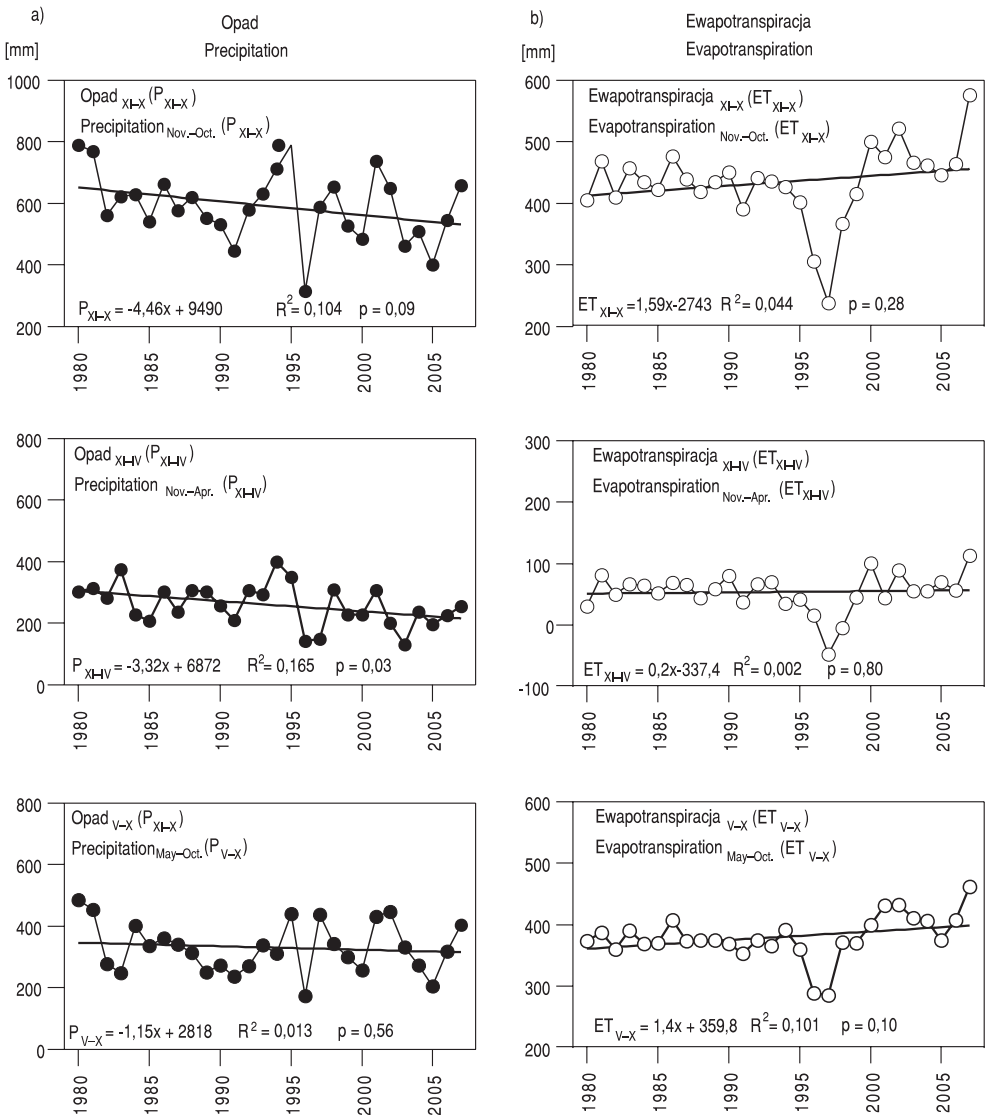
Dotadnie wartości wskaźnika charakteryzują wzrost retencji, natomiast ujemne wartości – ubytki.

Wyniki

W przebiegu wieloletniej zmienności opadu zaznaczała się tendencja spadkowa, która wynosiła średnio $4,3 \text{ mm}\cdot\text{rok}^{-1}$, z czego spadek $3,2 \text{ mm}$ przypadł na półrocze zimowe oraz $1,1 \text{ mm}$ – na półrocze letnie (ryc. 1a). Jednocześnie w tym samym okresie wystąpiła tendencja wzrostu ewapotranspiracji wynosząca $1,54 \text{ mm}\cdot\text{rok}^{-1}$, z czego przyrost $0,19 \text{ mm}$ miał miejsce w półroczu zimowym, a pozostałe $1,35 \text{ mm}$ – w półroczu letnim (ryc. 1b). Zwiększające się wartości ewapotranspiracji wystąpiły w warunkach zwiększającej się temperatury powierzchni gruntu (ryc. 2a). Średni roczny wzrost temperatury o $0,24^\circ\text{C}$ na 10 lat, wynikał ze wzrostu temperatury w półroczu zimowym o $0,065^\circ\text{C}$ oraz o $0,175^\circ\text{C}$ w półroczu letnim. Obserwowane tendencje nie były jednak zawsze istotne statystycznie. Istotną statystycznie tendencję malejącą wykazywał opad tylko w półroczu zimowym. Tendencje wzrostowe ewapotranspiracji i temperatury powierzchni gruntu nie były istotne statystycznie na poziomie $= 0,05$.

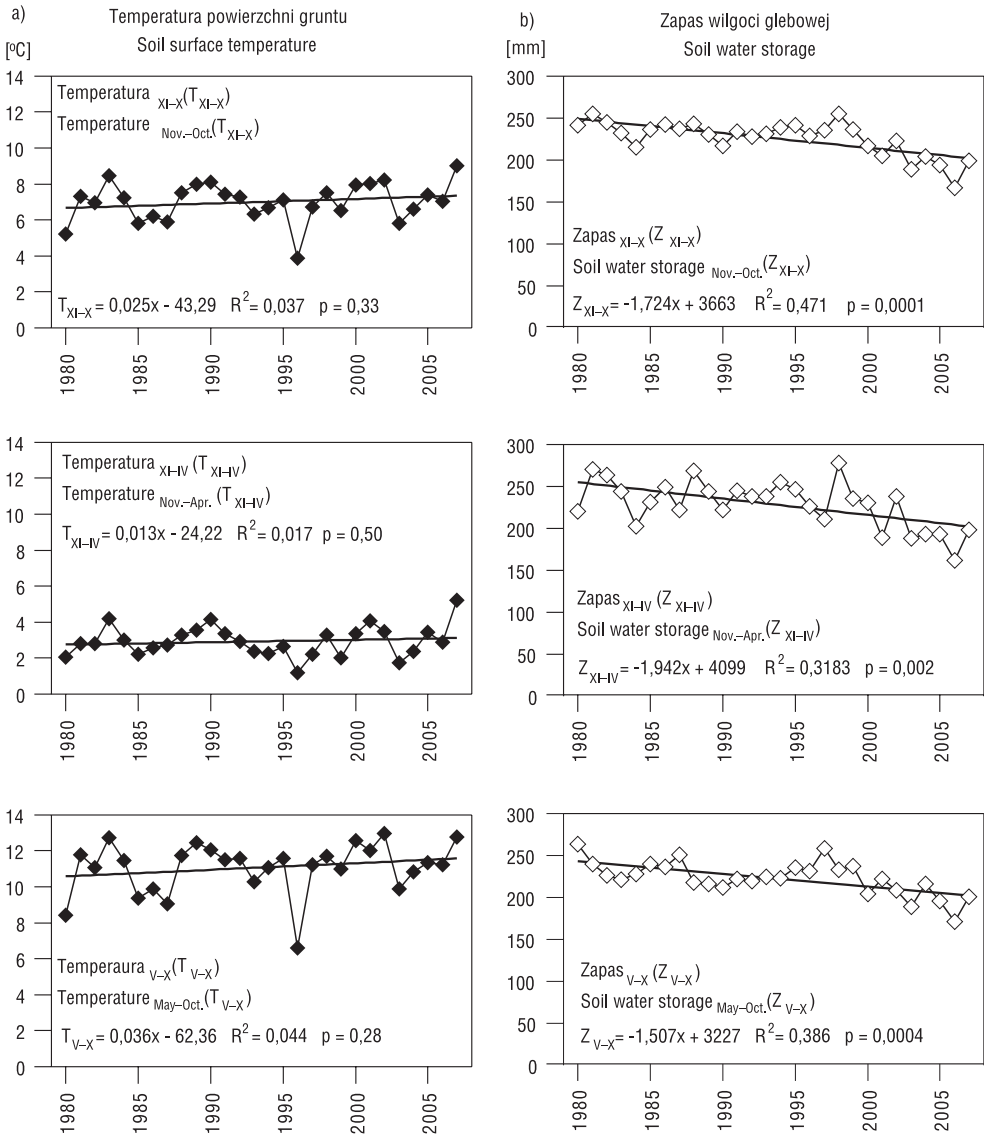
Wypadkową zmniejszającego się zasilania opadem atmosferycznym oraz zwiększającej się ewapotranspiracji, w warunkach podwyższającej się temperatury powierzchni gruntu, były zmniejszające się zapasy wilgoci glebowej (ryc. 2b). W tym przypadku wystąpiły istotne statystycznie zmiany. W powierzchniowej warstwie gruntu o miąższości 1 m wyniosły one średnio $-1,66 \text{ mm}\cdot\text{rok}^{-1}$, na co składały się ubytki wody w półroczu zimowym w wysokości $-0,935 \text{ mm}$ oraz $-0,725 \text{ mm}$ w półroczu letnim. Odnowa zapasów wilgoci glebowej występowała na ogół w miesiącach od listopada do kwietnia oraz późną jesienią, lecz w przypadku lat suchych trwała dużo krócej (ryc. 3a). Przykładem znacznie krótszego okresu odnowy (uzupełniania) zapasów wilgoci glebowej był rok 2007, w którym okres ubytków wilgoci rozpoczął się miesiąc wcześniej (ryc. 3b). Wypadkową procesów hydrologicznych był zmienny stan zapasów wilgoci glebowej, który w wybranych latach kształtował się znacznie poniżej wartości przeciętnych, m.in. jako wynik wyższych wartości ewapotranspiracji (ryc. 4).

Analizując odnawialność roczną zasobów wilgoci glebowej, zaobserwowano słabą nieistotną statystycznie tendencję spadkową w wieloleciu 1980–2007 (ryc. 5a). Jednocześnie zauważalne były zmiany terminu odnawialności wilgoci glebowej (ryc. 5b).



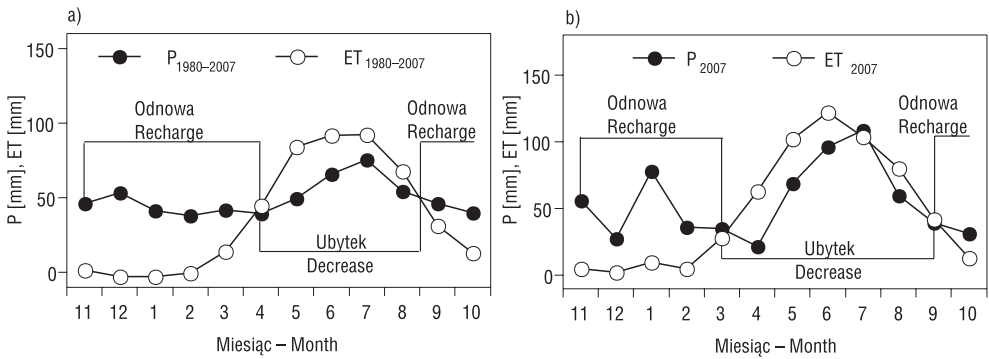
Ryc. 1. Wieloletnia zmienność opadu (a) i ewapotranspiracji (b) w wieloleciu 1980–2007

Fig. 1. Long-term variability of precipitation (a) and evapotranspiration (b) in the years 1980–2007



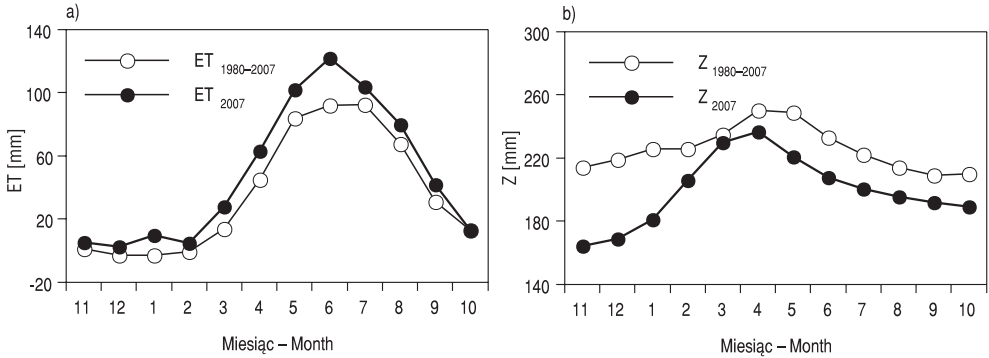
Ryc. 2. Wieloletnia zmienność temperatury powierzchni gruntu (a) i zapasu wilgoci glebowej (b) w wieloletniu 1980–2007

Fig. 2. Long-term variability of surface temperature of soil (a) and soil water storage (b) in the years 1980–2007



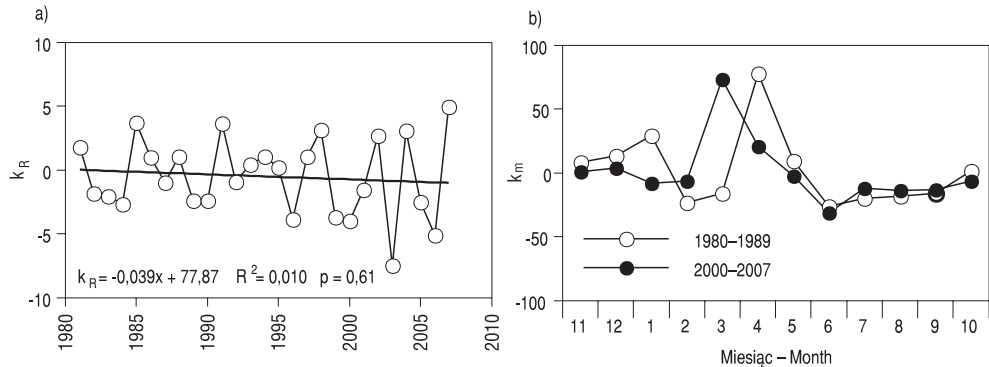
Ryc. 3. Okresy odnowy i ubytków wilgoci glebowej w wieloletniu 1980-2007 (a) oraz w roku 2007 (b) P – opad, ET – ewapotranspiracja

Fig. 3. Periods of soil moisture recharge and depletion in the years 1980-2007 (a) and in 2007 (b) P – precipitation, ET – evapotranspiration



Ryc. 4. Średnie miesięczne wartości ewapotranspiracji ET (a) i zapasu wilgoci glebowej Z (b) w wieloletniu 1980-2007 i w roku 2007

Fig. 4. Mean monthly values of evapotranspiration ET (a) and soil water storage Z (b) in the years 1980-2007 and in 2007



Ryc. 5. Zmienność wskaźnika odnawialności zasobów wilgoci glebowej: a) wskaźnik roczny k_R w wieloletniu 1980-2007, b) wskaźnik miesięczny k_m w latach 1980-1989 i 2000-2007

Fig. 5. Variability of the recharge index of soil moisture: a – annual index k_R in the years 1980-2007, b – monthly index k_m in the years 1980-1989 and 2000-2007

Maksimum odnowy, ocenione na podstawie miesięcznego wskaźnika odnawialności k_m , w latach 2000–2007 występowało wcześniej (w marcu) – w stosunku do terminu maksymalnej odnowy w latach 1980–1989 (ryc. 5b).

Podsumowanie

Uzyskane wyniki wskazują, że w ostatnim trzydziestoleciu następowało zmniejszanie się odnawialności zasobów wilgoci glebowej, przy jednoczesnym wzroście wartości ekstremalnych. Wyznaczona tendencja spadkowa nie jest jednak istotna statystycznie. Zakładając brak zmian porowatości gleby, przyczyn zmniejszających się zapasów wilgoci glebowej należy poszukiwać w zmianach dynamiki procesów hydrologicznych, w tym opadu i ewapotranspiracji. Zmniejszające się zasilanie zlewni opadem oraz wyższe wartości ewapotranspiracji powodowały występowanie coraz niższych zapasów wody w powierzchniowej warstwie gruntu. Ponadto, w ostatnich latach (2000–2007) termin maksymalnej odnawialności zasobów wilgoci glebowej występował wcześniej (marzec) niż w poprzednich dekadach (kwiecień).

Powyższe wyniki badań stanowią wstępne rozpoznanie dynamiki procesów hydrologicznych ocenianych na podstawie wyników symulacji modelu Noah, udostępnianych w systemie GLDAS. Zostały opracowane w miesięcznej rozdzielczości czasowej w okresie wieloletnim 1980–2007, stanowiąc punkt wyjścia dalszych analiz. Weryfikacji wymagają wartości opadu i ewapotranspiracji w latach 1996 i 1997, które znacznie różnią się od wartości średnich. Kolejnym etapem badań w ocenie ekstremalnych zdarzeń hydrologicznych w chronionej zlewni Łasicy będzie analiza dynamiki uwilgotnienia w krótszych niż miesięczne przedziałach czasu. Do tego celu zostaną wykorzystane dane udostępniane z krokiem czasowym trzygodzinnym, które powinny zostać przetworzone na wartości dobowe, co umożliwiłoby dokładniejsze niż dotychczas zbadanie czasu trwania ekstremalnych zdarzeń hydrologicznych, w tym czasu trwania niskich zapasów wilgoci glebowej.

Podziękowanie

Dane wykorzystane w niniejszej pracy zostały pozyskane w ramach działań NASA's Earth Science Division, a archiwizacji i udostępnienia dokonało centrum GES DISC (Goddard Earth Sciences, Data and Information Services Center).

Literatura

- Ek M.B., Mitchell K.E., Lin Y., Rogers E., Grunmann P., Koren V., Gayno G., Tarpley J.D., 2003, *Implementation of the upgraded Noah land-surface model in the NCEP operational mesoscale Eta model*, Journal of Geophysical Research, 108 (D22), 8851, doi: 10.1029/2002JD003296.
- Fang H., 2008, README document for Global Land Data Assimilation System (GLDAS) Products. GES DISC (Goddard Earth Sciences, Data and Information Services Center), NASA, http://disc.gsfc.nasa.gov/hydrology/hydro_get_data.shtml.

- Gottschalk, J., Houser P., Zeng X., 2002, *Impact of remotely sensed leaf area index on a global land data assimilation system*, Preprints, 16th Conference on Hydrology, Orlando, FL, American Meteorological Society, 1.15, <http://ams.confex.com/ams/annual2002/techprogram>.
- Hansen M.C., DeFries R.S., Townshend J.R.G., Sohlberg R., 2000, *Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach*, International Journal of Remote Sensing, 21, 1331–1364.
- Kasina M., Pociask-Karteczka J., Nieczkarz Z., 2007, *Tendencje występowania wysokich przepływ w dorzeczu Dunajca w II połowie XX wieku*, Folia Geographica, ser. Gogr. Phys., 37–38, 5–35.
- Kumar S.V., Peters-Lidard C.D., Tian Y., Houser P.R., Geiger J., Olden S., Lighty L., Eastman J.L., Doty B., Dirmeyer P., Adams J., Mitchell K., Wood E.F., Sheffield J., 2006, *Land Information System - An Interoperable Framework for High Resolution Land Surface Modeling*, Environmental Modelling & Software, 21, 1402–1415.
- Reynolds C.A., Jackson T.J., Rawls W.J., 2000, *Estimating soil water-holding capacities by linking the Food and Agriculture Organization soil map of the world with global pedon databases and continuous pedotransfer functions*, Water Resources Research, 36, 3653–3662.
- Rodell M., Houser P.R., Jambor U., Gottschalk J., Mitchell K., Meng C.-J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M., Entin J.K., Walker J.P., Lohmann D., Toll D., 2004, *The Global Land Data Assimilation System*, Bulletin of the American Meteorological Society, 85 (3), 381–394.
- Somorowski C., 1998, *Rola retencji w obiegu wody w zlewni rzecznej* [w:] C. Somorowski (red.), *Wodno-bilansowe kryteria kształtowania siedlisk w krajobrazie rolniczym*, Wyd. SGGW, Warszawa, 92–102.

Urszula Somorowska

Renewability of soil water storage in the Łasica catchment (Kampinos National Park)

Summary

The purpose of this study was to evaluate soil water storage and its annual and monthly recharge. The research was conducted in the Łasica catchment located in the Mazovian Lowland, the Kampinos National Park. The selected hydrological variables, listed in Table 1, acquired from the GLDAS (Global Land Data Assimilation System) were used in the analysis (Rodell et al. 2004). The variability of precipitation, evapotranspiration, surface soil temperature and soil water storage was analyzed for the period from 1980 to 2007 (Fig. 1 and 2). The precipitation decrease was estimated as $4.3 \text{ mm} \cdot \text{year}^{-1}$. Simultaneously, an increase in evapotranspiration was observed at a level of $1.54 \text{ mm} \cdot \text{year}^{-1}$ and an increase in surface temperature of soil was estimated as 0.24°C in 10 years^{-1} . Resultant of such tendencies was decreasing soil water storage at a rate of $1.66 \text{ mm} \cdot \text{year}^{-1}$. Renewability of soil water storage was evaluated by the yearly index, which was calculated as the difference in water storage between the current and previous year divided by precipitation in the current year. This yearly index of renewability has shown the decreasing tendency, but the range of values has increased (Fig. 5a). This tendency is however not statistically significant. Simultaneously, the monthly index of renewability showed that in the years 2000–2007 the maximum of renewability was shifted from April to March indicating the earlier appearance of recharge and a longer period of soil water storage depletion (Fig. 5b). Further analysis should incorporate data of higher time resolution, which would enable more accurate determination of wet and dry period duration.

Acknowledgement

The data used in this study were acquired as part of the mission of NASA's Earth Science Division and archived and distributed by the Goddard Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center (DISC).

The research is supported by the Norwegian Financial Mechanism, the European Economic Area (EEA) grant No. PL0268: „Development of the method for reconstruction of primary hydrological conditions in the Kampinos National Park in order to restrain nature degradation and improvement of biodiversity status”.