

RENATA GRAF¹, IRENEUSZ KAJEWSKI²

¹Institut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

²Institut Inżynierii Środowiska
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

KSZTAŁTOWANIE SIĘ ELEMENTÓW BILANSU WODNEGO W ZLEWNI MOGILNICY NA PODSTAWIE BADAŃ SYMULACYJNYCH*

FORMING OF THE WATER BALANCE ELEMENTS IN THE MOGILNICA
CATCHMENT ON THE BASIS OF SIMULATING INVESTIGATIONS

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych elementów bilansu wodnego w zlewni Mogilnicy przeprowadzonych z wykorzystaniem modelu WetSpass. Badana zlewnia zlokalizowana jest w środkowej części Niziny Wielkopolskiej, która stanowi region o najniższych opadach i odpływie w Polsce. Dla trzech wariantów czasowych: rok, półrocze zimowe i letnie (1961-2000) uzyskano przestrzenne zróżnicowanie zasilania infiltracyjnego wód podziemnych, spływu powierzchniowego oraz ewapotranspiracji rzeczywistej, które odwzorowano na modelach rastrowych o wymiarze komórki $xy = 0,0625 \text{ km}^2$. Model WetSpass, bazując na technikach GIS, wykorzystuje zależności empiryczne zachodzące między atmosferą, ośrodkiem glebowym i roślinnością w zakresie wymiany wody i energii. Dane wejściowe do modelu opracowano w formie map rastrowych obszarowego rozkładu: elementów meteorologicznych (opadów atmosferycznych, temperatury powietrza, prędkości wiatru i ewapotranspiracji potencjalnej), głębokości zwierciadła wód podziemnych, nachylenia powierzchni terenu, typów gleb i użytkowania terenu. W zlewni Mogilnicy wieloletni średni roczny opad atmosferyczny, wynoszący 538 mm, jest rozchodowany na: zasilanie infiltracyjne wód podziemnych (84 mm, 15%), spływ powierzchniowy (31 mm, 6%) i ewapotranspirację rzeczywistą (425 mm, 79%). Informacje o przestrzennym zróżnicowaniu elementów bilansu wodnego są niezbędne dla zrównoważonego zarządzania i ochrony wód podziemnych.

Słowa kluczowe: bilans wodny, zlewnia, modelowanie, GIS

*Praca finansowana ze środków na naukę w latach 2009-2012 jako projekt badawczy nr N N306 01 2837 Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Wstęp

Cechy środowiskowe zlewni znajdują odzwierciedlenie w relacjach, jakie zachodzą między atmosferą, środowiskiem glebowym i środowiskiem roślinnym w zakresie formowania bilansu wodnego. Powierzchnia czynna zlewni wykazuje różną aktywność hydrologiczną w zakresie rozrządu wód opadowych, warunkując zasilanie infiltracyjne wód podziemnych, spływ powierzchniowy i ewapotranspirację rzeczywistą.

W ocenie składowych bilansu wodnego zlewni zastosowanie znajdują modele identyfikacyjne i symulacyjne, opracowane w różnych skalach przestrzennych z wykorzystaniem technik Systemów Informacji Geograficznej (BATELAAN i DE SMEDT 2001, 2007, KAJEWSKI 2004, 2008, OZGA-ZIELIŃSKA 2005), które umożliwiają symulację parametrów bilansowych w stopniu wystarczającym do prowadzenia analiz oraz tworzenia map ich obszarowego rozkładu na poziomie lokalnego i regionalnego zróżnicowania danych i ich agregacji (SOPHOCLEOUS 1992, 2005, JACKSON 2002). Założenia te spełnia model WetSpass (Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere under quasi-Steady State), który, wykorzystując szereg zależności empirycznych zachodzących między: atmosferą, ośrodkiem glebowym i roślinnością w zakresie wymiany wody i energii, oblicza średnie roczne i średnie sezonowe wartości infiltracji efektywnej wód podziemnych, spływu powierzchniowego i ewapotranspiracji (BATELAAN i DE SMEDT 2001). WetSpass uwzględnia przestrzenną zmienność charakterystyk systemu zlewni oraz elementów bilansu wodnego w ujęciu rastrowym z wykorzystaniem GIS, a jego struktura umożliwia aktualizację danych, prowadzenie scenariuszy zmian obiegu wody oraz kompilację danych z innymi modelami, np. filtracji wód podziemnych.

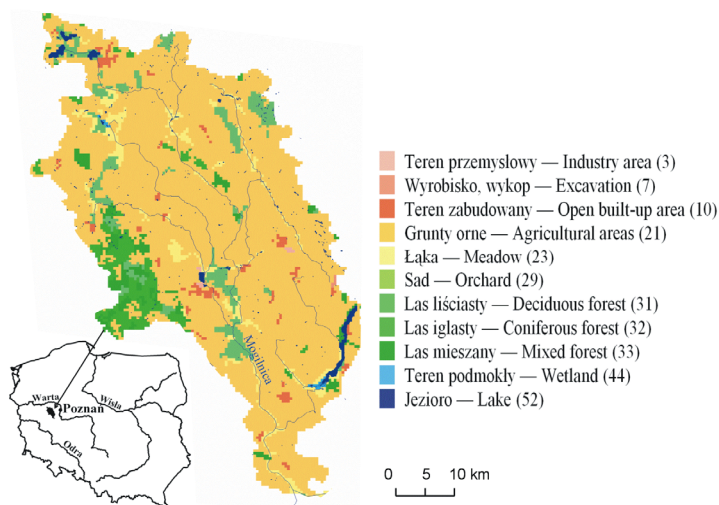
Głównym celem pracy była analiza elementów bilansu wodnego w zlewni nizinnej z wykorzystaniem modelu WetSpass. Przedstawiono założenia i wyniki estymacji średnich rocznych i średnich sezonowych (1961-2000) wartości infiltracji efektywnej wód podziemnych, spływu powierzchniowego i ewapotranspiracji rzeczywistej uzyskanych przy zadanych parametrach meteorologicznych i charakterystykach fizjograficznych zlewni Mogilnicy, zlokalizowanej w środkowej części Niziny Wielkopolskiej.

Material i metody

Do badań bilansu wodnego wytypowano zlewnię Mogilnicy (dopływ Kanału Mościńskiego) o powierzchni 734,37 km², zlokalizowaną w granicach Wysoczyzny Poznańskiej, w której litologii dominują twory o słabej przepuszczalności, użytkowane głównie przez grunty orne. Badana zlewnia wchodzi w skład dorzecza Warty i znajduje się w całości w granicach regionu klimatycznego Środkowowielkopolskiego (WOŚ 1994). Płytkie wody podziemne tworzą głównie poziom międzyglinowy górny (DĄBROWSKI 1990) w strefie wysoczyzny morenowej gliniastej oraz poziom doliny w utworach piaszczysto-żwirowych (ŻURAWSKI 1968). Zasilanie wód odbywa się przez infiltrację efektywną opadów atmosferycznych, które należą tu do najniższych w Polsce (500-550 mm).

Zgodnie z założeniami modelu WetSpass, którego szczegółowy opis przedstawili BATELAAN i DE SMEDT (2001), dokonano delimitacji obszaru badań, przyjmując do

obliczeń bilansowych skalę 1 : 25 000, w której wymiar komórki rastrowej $xy = 0,0625 \text{ km}^2$. Cyfrową bazę zmiennych diagnostycznych opracowano na podstawie Systemu Informacji Geograficznej z wykorzystaniem numerycznego modelu terenu oraz baz danych tematycznych: hydrograficznej, hydrogeologicznej, geologiczno-glebowej oraz bazy pokrycia i użytkowania terenu CORINE Land Cover 2000, które uzupełniono danymi meteorologicznymi IMGW-PIB. Bazę danych wejściowych do badań symulacyjnych bilansu wodnego przygotowano w postaci modeli (map) rastrowych typów użytkowania terenu (rys. 1) i gleb (rys. 2) oraz spadków powierzchni terenu i głębokości zwierciadła wód podziemnych. Ponadto do obliczeń (rok i dwa półrocza) wprowadzono uśrednioną obszarowo dla okresu 1961-2000 sumę opadów atmosferycznych oraz wartości temperatury powietrza, prędkości wiatru i ewapotranspiracji potencjalnej (tab. 1). Model WetSpass w symulacji składowych bilansu wodnego wykorzystuje ponadto własne schematy aplikacyjne uwzględniane w ocenie zależności empirycznych między badanymi elementami.

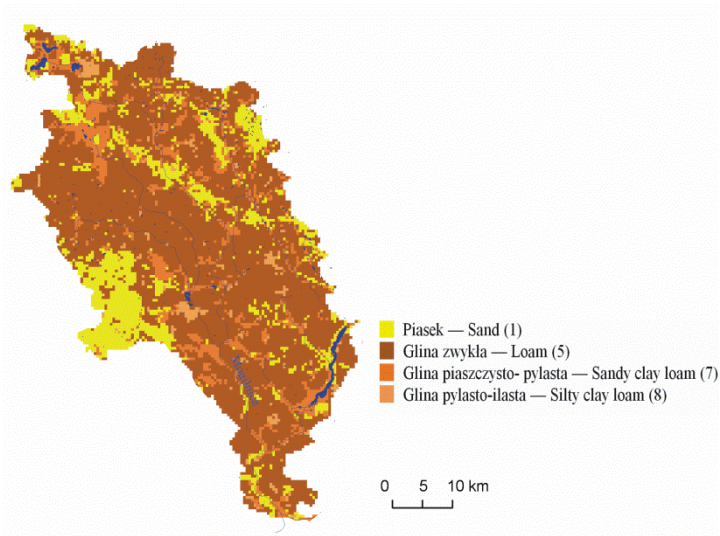


Rys. 1. Lokalizacja i użytkowanie terenu zlewni Mogilnicy (klasyfikacja według WetSpass)

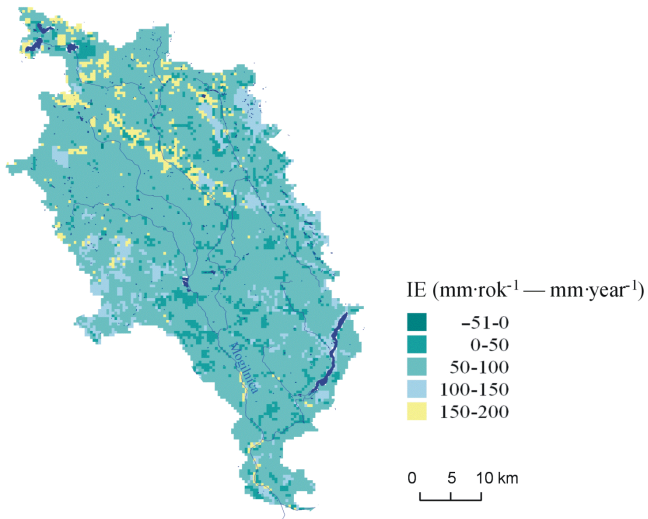
Fig. 1. Location and land use of the Mogilnica catchment (classification consistent with WetSpass)

W wyniku symulacji przeprowadzonych w trzech wariantach: rok, półrocze zimowe i półrocze letnie opracowano dla zlewni Mogilnicy modele rastrowe przestrzennego zróżnicowania zasilania infiltracyjnego wód podziemnych – IE (rys. 3), spływu powierzchniowego – Hp (rys. 4) oraz ewapotranspiracji rzeczywistej – ET (rys. 5).

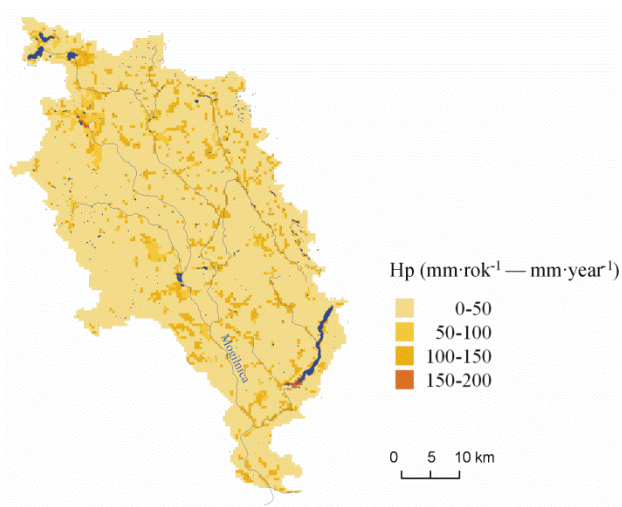
Zinterpretowano przestrzenny rozkład cech fizycznych zlewni i składowych bilansu wodnego, dokonując analizy ich zmienności obszarowej z wykorzystaniem miar dyspersji. Integracja danych przestrzennych GIS z modelem WetSpass stanowiła podstawę oceny uwarunkowań procesu zasilania i strat wody w badanej zlewni.



Rys. 2. Typy gleb w zlewni Mogilnicy (obraz zgeneralizowany)
Fig. 2. Soil types in the Mogilnica catchment (presentment generalized)

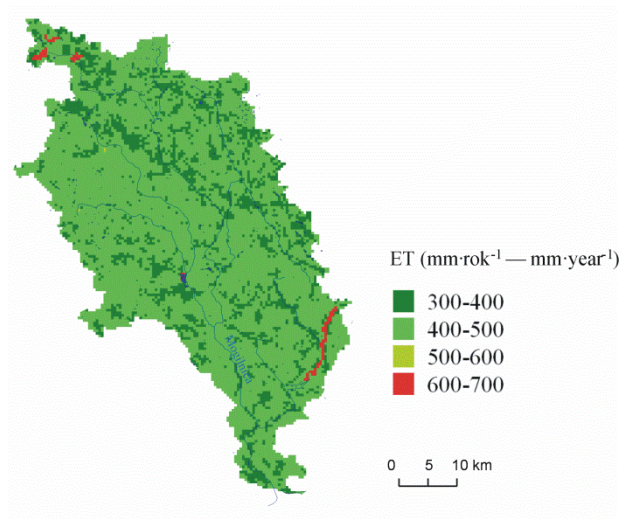


Rys. 3. Przestrzenny rozkład wielkości infiltracji efektywnej (IE)
Fig. 3. Spatial distribution of groundwater recharge (IE)



Rys. 4. Przestrzenny rozkład wielkości splywu powierzchniowego (Hp)

Fig. 4. Spatial distribution of surface runoff (Hp)



Rys. 5. Przestrzenny rozkład wielkości ewapotranspiracji rzeczywistej (ET)

Fig. 5. Spatial distribution of actual evapotranspiration (ET)

Tabela 1. Średnie z wielolecia (1961-2000) wartości elementów meteorologicznych dla zlewni Mogilnicy

Table 1. Mean seasonal (1961-2000) values of meteorological elements for the Mogilnica catchment

Opady Precipitation (mm)		Temperatura powietrza Air temperature (°C)		Prędkość wiatru Wind speed (m·s ⁻¹)		Ewapotranspiracja potencjalna Potential evapotranspiration (mm)	
XI-IV	V-X	XI-IV	V-X	XI-IV	V-X	XI-IV	V-X
212	326	4,36	12,21	3,08	2,58	75	550

Wyniki i dyskusja

Wyniki modelowania bilansu wodnego uzyskane w modelu WetSpass nawiązują do struktury rozkładu parametrów wejściowych. W zlewni Mogilnicy przewagę stanowią grunty orne (79%) przy nieznacznym udziale terenów zalesionych (14%) (rys. 1). Notuje się tu dominację gruntów o słabej przepuszczalności (67%) (rys. 2), co wynika z przewagi w strukturze zlewni wysoczyzny morenowej gliniastej (45%), a 63% jej powierzchni tworzą tereny ze spadkiem 0,5-2,5° oraz tereny płaskie charakteryzujące się nachyleniem do 0,5°. Grunty orne oraz lasy zasadniczo różnicuje przepuszczalność gruntów oraz głębokość do zwierciadła wód podziemnych, a w mniejszym stopniu spadek terenu, który jest wartością stałą przypisaną do charakteru rzeźby poszczególnych jednostek morfologicznych. Średni spadek terenu w zlewni wynosi 0,77° przy zakresie zmienności od 0,3° do około 6,3°. Zwierciadło wód podziemnych kształtuje się przeciętnie na głębokości około 1,58 m p.p.t. w półroczu zimowym i 2,13 m p.p.t. w półroczu letnim.

Opracowane w formie parametrów wejściowych do modelu WetSpass dane meteorologiczne (tab. 1) potwierdzają słaby potencjał zasilania regionu Niziny Wielkopolskiej (500-550 mm) oraz duże parowanie (450-550 mm).

Analiza bilansu wodnego przeprowadzona dla obszaru testowego objęła przychód wód w formie opadów atmosferycznych oraz ich straty związane z infiltracją efektywną, wielkością spływu powierzchniowego oraz ewapotranspiracji rzeczywistej, stanowiącej sumę parowania z gleby, transpiracji i intercepcji. Wyniki badań symulacyjnych opracowano dla warunków przeciętnych w roku oraz półroczach zimowym i letnim (1961-2000) w postaci 18 map rastrowych i zestawień tabelarycznych (tab. 2).

Średni roczny opad (P) w zlewni Mogilnicy wynosi 538 mm, przy wartościach skrajnych w granicach 530-550 mm i odchyleniu standardowym $\sigma = 4,0$ (tab. 2). W półroczu zimowym i półroczu letnim zakres zmienności sum opadów kształtuje się odpowiednio w granicach 208-223 mm ($\sigma = 4,0$) oraz 322-329 mm ($\sigma = 1,0$). Opady półrocza letniego stanowią 60% sumy opadów rocznych. Dla roku proporcje między składowymi strat bilansowych wykazują w zlewni Mogilnicy przewagę ewapotranspiracji rzeczywistej (ET = 79%) nad zasilaniem infiltracyjnym wód podziemnych (IE = 15%) i spływem powierzchniowym (Hp = 6%). W półroczu zimowym relacje między składowymi zmieniają się na korzyść infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych

Tabela 2. Średnie roczne i półroczne wartości składowych bilansu wodnego dla zlewni Mogilnicy – wyniki modelu WetSpass (mm)

Table 2. Mean year and half-year values of water balance components for the Mogilnica catchment – results of WetSpass model (mm)

Składowa bilansu wodnego Water balance component	Rok Year				Półrocze zimowe Winter half-year				Półrocze letnie Summer half-year			
	min.	maks. max.	średnia mean	SD	min.	maks. max.	średnia mean	SD	min.	maks. max.	średnia mean	SD
Opad Precipitation	532	550	538 (100%)	4	208	223	212 (100%)	4	322	329	326 (100%)	1
Infiltracja efektywna Groundwater recharge	-52	166	84 (15%)	27	0	159	131 (61%)	17	-178	21	-47	20
Spływ powierzchniowy Surface runoff	1	170	31 (6%)	32	0	148	8 (4%)	17	0	93	23 (7%)	19
Ewapotranspiracja rzeczywista Actual evapotranspiration	347	625	425 (79%)	29	62	92	74 (35%)	3	272	550	351 (108%)	28
Ewaporacja z gleby Soil evaporation	0	373	110	45	0	75	64	23	0	298	46	24
Intercepcja Interception	0	215	53	40	0	68	5	15	0	148	47	26
Transpiracja Transpiration	0	478	256	39	0	52	3	12	0	426	252	34

(IE = 61%) w drodze redukcji ewapotranspiracji rzeczywistej o ponad 50% w stosunku do sytuacji w ciągu roku (ET = 35%) i zmniejszenia spływu powierzchniowego (Hp = 4%) (tab. 2).

W półroczu letnim, przy opadzie zwiększonym mniej więcej o 50% w stosunku do półrocza zimowego, rejestruje się redukcję wielkości infiltracji efektywnej, czego wyrazem w zestawieniach bilansowych są jej ujemne wartości przeciętne odniesione do powierzchni obszaru testowego. Analiza wykazała zmienność natężenia średniej rocznej infiltracji efektywnej w zakresie od -52 mm do 166 mm przy wartości przeciętnej 84 mm ($\sigma = 27$) (rys. 3). W sezonie zimowym infiltracja efektywna w zlewni Mogilnicy zmienia się w zakresie od 0 do 159 mm przy średniej dla sezonu 131 mm ($\sigma = 17$). Wartość infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych w sezonie letnim osiąga wartości ujemne (tab. 2), co świadczy o przewadze procesu ewapotranspiracji w tym okresie oraz nieznacznym wpływie opadów letnich na zmiany położenia zwierciadła wód podziemnych lub braku takiego wpływu. W sezonie letnim ujemne wartości zasilania infiltracyjnego wód podziemnych identyfikowane są zwłaszcza w strefach obniżen dolin-

nych pełniących funkcje stref ich drenażu, co związane jest ze znaczną transpiracją roślin na terenach z płytkim występowaniem wód gruntowych (BATELAAN 2006).

Spływ powierzchniowy stanowi składową bilansu wodnego o najmniejszym procentowym udziale po stronie rozchodowej wód opadowych zarówno w skali rocznej, jak i półrocza zimowego i letniego (4-7%) (tab. 2). Zmienność wielkości spływu powierzchniowego w odniesieniu do pojedynczej komórki rastrowej jest zróżnicowana i wynosi w bilansie rocznym 0-170 mm ($\sigma = 33$), natomiast przeciętna wielkość spływu powierzchniowego dla zlewni Mogilnicy wynosi 31 mm (rys. 4).

Ewapotranspiracja rzeczywista jest interpretowana w modelu WetSpass jako suma ewaporacji z gleby, transpiracji roślin i intercepcji wód opadowych (rys. 5). Parowanie sumaryczne wykazuje zróżnicowanie wartości w poszczególnych okresach bilansowych, stanowiąc 80% strat wody w okresie rocznym (tab. 2). W półroczu letnim ewapotranspiracja obszarowa przewyższa sumę opadów atmosferycznych, a różnica $P - ET$ przyjmuje wartości ujemne (-25 mm). Wielkość ewapotranspiracji rzeczywistej w półroczu letnim przewyższa parowanie w półroczu zimowym nawet o 50%. Deficyty wodne na obszarze Niziny Wielkopolskiej mogą przekraczać w okresie rocznym 100 mm (KANIECKI 1982), co wynika z małych sum opadów i dużych wartości ewapotranspiracji potencjalnej. Mapa obszarowego rozkładu średniej rocznej ewapotranspiracji potencjalnej w Polsce (1998-2002), opracowana przez IUNG w Puławach, typuje obszar badań jako region o największych w Polsce wartościach ewapotranspiracji, które kształtują się powyżej 600-650 mm przy opadach 500-550 mm.

Udział poszczególnych składowych w ewapotranspiracji całkowitej: ewaporacji z gleby, transpiracji roślin i intercepcji jest zmienny w rocznym i półrocznych okresach bilansowych (tab. 2). W bilansie rocznym największy udział (50%) ma transpiracja roślin, co wiąże się z dominacją w zlewni Mogilnicy gruntów ornych, użytkowanych rolniczo. W sezonie zimowym wzrasta parowanie z gleby (80% całkowitej sumy parowania) kosztem redukcji intercepcji i transpiracji roślin. W półroczu letnim procentowy udział poszczególnych składowych ewapotranspiracji całkowitej jest podobny do sekwencji rocznej, z nieznaną dysproporcją między ewaporacją gleby i intercepcją, a dominującym procesem pozostaje transpiracja roślin. Według BATELAANA (2006) ewapotranspirację w ponad 55%, w stosunku rocznym, stanowi transpiracja, dominująca w strefach porośniętych roślinnością, natomiast mniejsze znaczenie przypisuje się parowaniu z odsłoniętej gleby, intercepcji i parowaniu z powierzchni o słabej przepuszczalności.

Do stref uprzywilejowanych w zasilaniu infiltracyjnym wód podziemnych zaliczono powierzchnie gruntów ornych oraz kompleksów leśnych na podłożu o dobrej przepuszczalności, względnie płaskich, o spadku do $0,5^\circ$, oraz z płytkim występowaniem wód podziemnych, do 2 m. Jako powierzchnie sprzyjające generowaniu spływu powierzchniowego przyjęto strefy gruntów ornych, o słabej przepuszczalności i spadku terenu powyżej 2° . Ewapotranspiracja jako proces dominujący została przypisana głównie do powierzchni zajętych przez łąki i pastwiska występujące w strefach dolin rzecznych i zagłębieniach bezodpływowych, co sprzyja gromadzeniu wody i ewapotranspiracji ze względu na dominację w podłożu gruntów organicznych o zmiennej przepuszczalności, bardzo małym spadku, do $0,5^\circ$ i płytkim występowaniu wód podziemnych, do 1-2 m.

Analiza wykazała, iż elementem w największym stopniu różnicującym rozkład obszarowy składowych bilansu wodnego w badanej zlewni jest sposób użytkowania terenu

(rys. 1). Sytuacja ta dotyczy zwłaszcza sezonu letniego, w którym na skutek ujemnych wartości klimatycznego bilansu wodnego wielkość infiltracji efektywnie zasilającej wody gruntowe ulega redukcji do minimum lub nie ma jej wcale, co skutkuje zmniejszeniem zasobności poziomów wodonośnych oraz małymi wartościami modułów ich odnawialności, w granicach $1-1,8 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (DĄBROWSKI 1990, GRAF 1999). Konsekwentnie zmniejszeniu ulegają wielkości przepływów w cieku oraz odpływu jednostkowego, który dla zlewni Mogilnicy w profilu Konojad wynosi $2,81 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ (1961-2000) i należy do najmniejszych w kraju. Średni roczny odpływ podziemny bazowy w badanym profilu $\text{SNQ} = 47 \text{ mm}$ (1961-2000). Jeśli przyjmie się za całkowity odpływ podziemny sumę odpływu podziemnego bazowego (47 mm) i odpływu powierzchniowego (30 mm) (WRZESIŃSKI 1999), to jego wartość wyniesie 77 mm i będzie zbliżona do wielkości infiltracji efektywnej uzyskanej w modelu WetSpass ($\text{IE} = 84 \text{ mm}$).

Analiza rozkładu przestrzennego wielkości rocznej infiltracji efektywnej opadów określonej dla zlewni Mogilnicy w formie wskaźnikowej wykazała, że dominują w niej (około 70%) powierzchnie z wartością infiltracji efektywnej poniżej 50 mm w skali roku, a największe wartości wynoszą ponad 150 mm przy wskaźniku infiltracji przyjętym na poziomie 0,2-0,3 (GAWRON 2006). WRZESIŃSKI (1999) dla zlewni Mogilnicy określił wielkość infiltracji w utwory powierzchniowe, rozumianą jako wartość przeciętnej sumy opadów skorygowanych, która może infiltrować w ciągu roku przez utwory strefy aeracji, na 86 mm. Wyniki te wskazują na duże podobieństwo średnich rocznych wielkości zasilania infiltracyjnego płytkich wód podziemnych w badanej zlewni.

Wnioski

1. Parametry wejściowe do modelu WetSpass potwierdzają niski opad w zlewni Mogilnicy (500-550 mm) oraz duże parowanie (450-550 mm), co wpływa na niekorzystną strukturę bilansu wodnego.

2. Dla roku proporcje między składowymi strony rozchodowej bilansu wodnego w zlewni Mogilnicy wykazują przewagę ewapotranspiracji rzeczywistej ($\text{ET} = 79\%$) nad infiltracją efektywną ($\text{IE} = 15\%$) i sływem powierzchniowym ($\text{Hp} = 6\%$).

3. W półroczu zimowym relacje między składowymi zmieniają się na korzyść infiltracji efektywnej opadów atmosferycznych ($\text{IE} = 61\%$), natomiast latem rejestruje się jej redukcję, co jest związane z dużą transpiracją roślin na terenach z płytkim występowaniem wód gruntowych.

4. Elementem w największym stopniu różnicującym rozkład obszarowy składowych bilansu wodnego w badanej zlewni jest sposób użytkowanie terenu, a następnie cechy ośrodka glebowego, natomiast mały wpływ ma spadek powierzchni terenu.

5. Wyniki modelowania składowych bilansu wodnego w skali regionalnej i lokalnej z wykorzystaniem modelu WetSpass, po odpowiedniej weryfikacji, mogą znaleźć zastosowanie w badaniach stanu i przemian struktury powierzchni czynnej zlewni oraz jako istotny element systemu zarządzania zasobami wodnymi i ich ochrony.

Literatura

- BATELAAN O., 2006. Phreatology. Characterizing groundwater recharge and discharge using remote sensing, GIS, ecology, hydrochemistry and groundwater modelling. Department of Hydrology and Hydraulic Engineering, Vrije Universiteit Brussel.
- BATELAAN O., DE SMEDT F., 2001. WetSpa: a flexible, GIS based, distributed recharge methodology for regional groundwater modelling. W: *Impact of human activity on groundwater dynamics*. Eds. H. Gehrels, N.E. Peters, E. Hoehn, K. Jensen, Ch. Leibundgut, J. Griffioen, B. Webb, W.-J. Zaadnoordijk. IAHS Publ. 269: 11-18.
- DĄBROWSKI S., 1990. Hydrogeologia i warunki ochrony wód podziemnych Wielkopolskiej Doliny Kopalnej. Wyd. SGGW-AR, Warszawa.
- GAWRON E., 2006. Podatność płytkich wód podziemnych na migrację zanieczyszczeń w zlewni Mogilnicy. Maszynopis. Archiwum Zakładu Hydrologii i Gospodarki Wodnej Instytutu Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego UAM, Poznań.
- GRAF R., 1999. Warunki zasilania i szczypania wód podziemnych pierwszego poziomu w wybranych zlewniach Niziny Wielkopolskiej. Pr. Kom. Geogr.-Geol. PTPN 24.
- JACSON T.J., 2002. Remote sensing of soil moisture: implications for groundwater recharge. *Hydrogeol. J.* 10, 1: 40-51.
- KAJEWSKI I., 2004. Ocena elementów bilansu wodnego zlewni przy zastosowaniu modelu WetSpa. *Acta Univ. Wratisl.* 2729, *Hydrogeol.*: 69-80.
- KAJEWSKI I., 2008. Ocena składników bilansu wodnego w skali regionalnej przy pomocy modelu WetSpa. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 528: 63-70.
- KANIECKI A., 1982. Pojemność retencyjna i zmienność zasobów wodnych małej zlewni nizinnej na przykładzie dorzecza Wrześnicy. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- OZGA-ZIELIŃSKA M., 2005. Hydrologia wczoraj, dziś i jutro. W: *Hydrologia, meteorologia i klimatologia – badania naukowe i prognozy w erze informatyzacji*. Red. M. Ozga-Zielińska, D. Milanówka. PTG, Warszawa: 14-24.
- SOPHOCLEOUS M.A., 1992. Groundwater recharge estimation and regionalization: the Great Bend Prairie of central Kansas and its recharge statistics. *J. Hydrol. (Amst.)* 137, 1-4: 113-140.
- SOPHOCLEOUS M.A., 2005. Groundwater recharge and sustainability in the High Plains aquifer in Kansas, USA. *Hydrogeol. J.* 13, 2: 351-365.
- WOŚ A., 1994. *Klimat Niziny Wielkopolskiej*. Wyd. Nauk. UAM, Poznań.
- WRZESIŃSKI D., 1999. Sezonowa struktura odpływu w dorzeczu Warty i jej przyrodnicze uwarunkowania. Pr. Kom. Geogr.-Geol. PTPN 25.
- ŻURAWSKI M., 1968. Próba wydzielenia stref pierwszego poziomu wód podziemnych na Nizinie Wielkopolskiej. Pr. Kom. Geogr.-Geol. PTPN 6.

FORMING OF THE WATER BALANCE ELEMENTS IN THE MOGILNICA CATCHMENT ON THE BASIS OF SIMULATING INVESTIGATIONS

Summary. In this study, a spatially distributed water balance model WetSpa was used to simulate long-term average annual and seasonal recharge of groundwater, surface runoff and actual evapotranspiration in the Mogilnica catchment, the Wielkopolska Lowland (western Poland). It is a region with the lowest precipitation and runoff in Poland. The simulated hydrological variables in the Mogilnica catchment are made on raster model ($xy = 0.0625 \text{ km}^2$). A GIS based, WetSpa is a model: Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere under quasi-Steady State. For water balance components estimations should be carried out concerning the meteorological

logical conditions (precipitation, air temperature, wind speed, potential evapotranspiration), groundwater level and distributed topography, soil texture and land-use. In the Mogilnica catchment the long-term temporal and spatial average annual precipitation of 538 mm was distributed as: recharge of groundwater of 84 mm (15%), surface runoff of 31 mm (6%) and actual evapotranspiration of 425 mm (79%). Sustainable groundwater management and protection requires knowledge of spatial variation in water balance elements.

Key words: water balance, catchment, modeling, GIS

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Renata Graf, Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Dziegiełowa 27, 61-680 Poznań, Poland, e-mail: rengraf@amu.edu.pl

Zaakceptowano do opublikowania – Accepted for publication:

9.10.2012

Do cytowania – For citation:

*Graf R., Kajewski I., 2013. Kształtowanie się elementów bilansu wodnego w zlewni Mogilnicy na podstawie badań symulacyjnych. *Nauka Przyr. Technol.* 7, 1, #1.*