

MICHAŁ KOZŁOWSKI, JOLANTA KOMISAREK, KATARZYNA WIATROWSKA

Katedra Gleboznawstwa i Rekultywacji
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

BILANS WODNY GLEB UKŁADÓW KATENALNYCH POJEZIERZA POZNAŃSKIEGO W SEZONIE WEGETACYJNYM

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań bilansu wodnego toposekwencji gleb płowych i czarnych ziem. Badania terenowe przeprowadzono w północno-wschodniej i północnej części Pojezierza Poznańskiego. Wyniki badań wskazują, że analizowane gleby płowe zlokalizowane na kulminacjach stoków charakteryzują się podobnymi wartościami bilansu wodnego, mimo że należą do dwóch toposekwencji (tworząc jedną jednostkę hydropedologiczną). Czarne ziemie podnóży stoków również tworzą pojedynczą jednostkę hydropedologiczną.

Słowa kluczowe: bilans wodny gleb, katena, gleby płowe, czarne ziemie

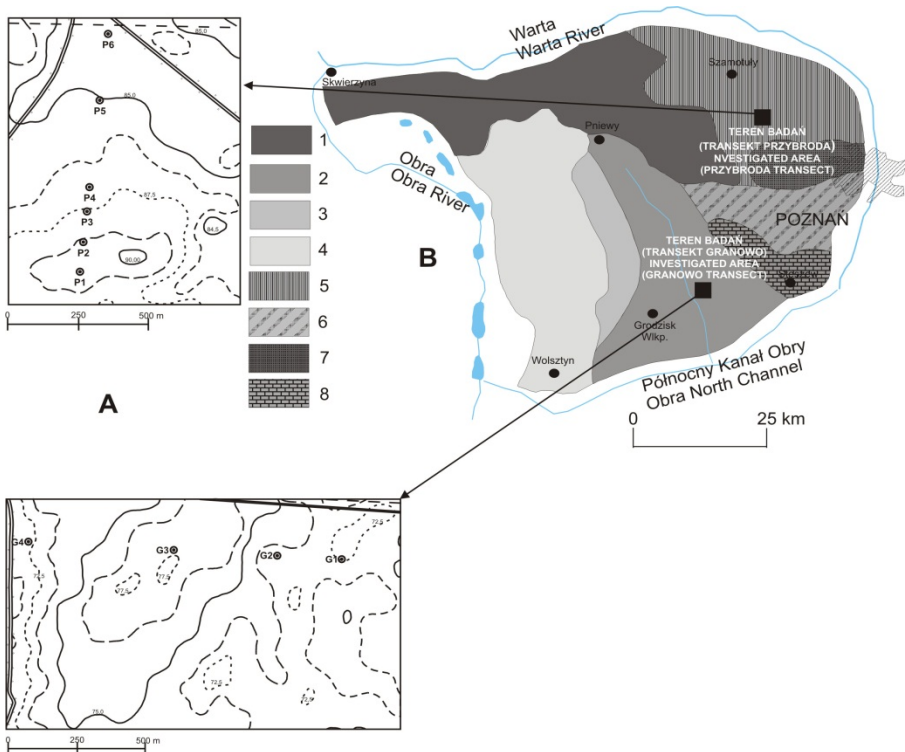
Wstęp

Młodogłacjalny krajobraz intensywnego rolnictwa Pojezierza Poznańskiego charakteryzuje się występowaniem powtarzających się sekwencji gleb (MARCINEK i WIŚLAŃSKA 1984, MARCINEK i IN. 1990, 1994 a, 1994 b, 1998, MARCINEK i KOMISAREK 1991, 2000, SZAFRAŃSKI 1993, SPYCHAŁSKI 1998, KOMISAREK 2000), nazywanych układami katenalnymi (MILNE 1936, GŁAZOWSKA 1981, HALL 1983, MARCINEK i KOMISAREK 1991). Czynnikiem wiążącym genezę i ewolucję gleb układu katenalnego jest reżim wodny gleb, rozumiany jako całokształt okresowych zmian stanów ich uwilgotnienia wraz ze zdolnościami retencyjnymi, dynamiką przepływu wody w profilu glebowym oraz wahaniami zwierciadła wód gruntowych (BOUMA 1983, YAALON 1983, SOIL... 1993). Reżim ten jest wyrażony ilościowo przez bilans wodny gleb, który łączy zmiany stanów retencji wodnej gleb w określonych przedziałach czasowych z ilością wody, która dociera w postaci opadów oraz odcieka grawitacyjnie i zostaje zużyta na ewapotranspirację (YAALON 1983).

Celem niniejszej pracy było scharakteryzowanie oraz porównanie bilansu wodnego gleb w sezonie wegetacyjnym w wybranych układach katalenalnych Pojezierza Poznańskiego. W pracy przedstawiono zależności między położeniem gleb w reliefie a wartościami parametrów bilansu wodnego tych gleb.

Material i metody

Badania przeprowadzono w układach katalenalnych na dwóch obiektach (rys. 1 A i B). Pierwszy obszar badań (transekt Przybroda) zlokalizowany został na terenie Rolniczo-Sadowniczego Gospodarstwa Doświadczalnego Przybroda, w północno-wschodniej części Pojezierza Poznańskiego w obrębie Równiny Szamotulskiej. Obszar ten oddalony jest o około 25 km od Poznania w kierunku północno-zachodnim (rys. 1 A i B).



Rys. 1. Lokalizacja terenu badań. A – mapa topograficzna, B – mapa Pojezierza Poznańskiego (KONDRACKI 2001, zmodyfikowana): 1 – Pojezierze Międzychódzko-Pniewskie, 2 – Równina Opalenicka, 3 – Wał Lwówecko-Rakoniewicki, 4 – Równina Nowotomska, 5 – Równina Szamotulska, 6 – Równina Poznańska, 7 – Wzgórza Owińsko-Kierskie, 8 – Pojezierze Stęszewskie
 Fig. 1. Location of investigated area. A – topographic map of investigated catenas, B – map of Poznań Lakeland: 1 – Międzychód-Pniewy Lakeland, 2 – Opalenica Plain, 3 – Lwówek-Rakoniewice Rampart, 4 – Nowy Tomyśl Plain, 5 – Szamotuły Plain, 6 – Poznań Plain, 7 – Owińska-Kiekrz Hills, 8 – Stęszew Lakeland

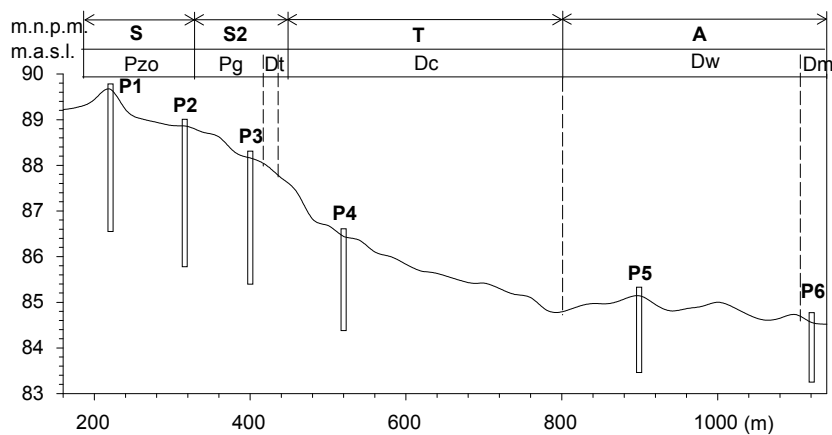
Drugi teren badań (transekt Granowo) położony jest na terenie gminy Granowo, na gruntach ornym indywidualnego gospodarstwa rolnego w południowo-środkowej części Pojezierza Poznańskiego, w obrębie Równiny Opalenickiej. Powierzchnia ta oddalona jest od Poznania o około 38 km w kierunku południowo-zachodnim (rys. 1 A i B).

Pod względem geomorfologicznym badane tereny zostały zlokalizowane w obrębie wysoczyzny dennomorenowej zlodowacenia Bałtyckiego. Materiałami macierzystymi gleb na badanych obszarach są węglanowe gliny zwałowe, które w wyniku działalności wód roztopowych lądolodu i wód inglacjalnych uległy silnemu spiaszczeniu i odpwianieniu w warstwach wierzchnich.

W wyznaczonych transektach zlokalizowane zostały pedony reprezentatywne, stanowiące punkty stacjonarnych pomiarów dynamiki uwilgotnienia gleb i zwierciadła wód gruntowych (rys. 1 A, B). Pedony te wytypowano i uzbrojono na potrzeby realizacji projektów badawczych 5 0759 91 01, 5 PO6B 082 10 oraz 2 P04G 009 29.

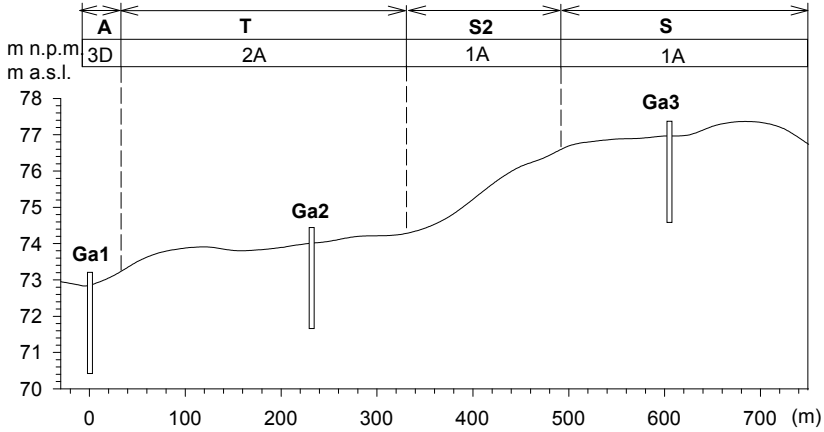
W każdym punkcie stacjonarnych pomiarów prowadzono pomiary dynamiki uwilgotnienia gleb w strefie korzenienia roślin, wykonywane w odstępach jedno- i/lub dwutygodniowych przy zastosowaniu sond profilowych typu FDR i TDR. Z taką samą częstotliwością wykonywane były pomiary głębokości zwierciadła wód gruntowych.

W sezonie wegetacyjnym 2006 r. badaniami hydropedologicznymi objęto dziewięć reprezentatywnych pedonów (rys. 2 A, B); P1, P2, P3, P4, P6, Ga1, Ga2 i Ga3. W niniejszej pracy zaprezentowano wyniki badań bilansu wodnego gleb płowych wyniesień dennomorenowych (P1 i Ga3) i czarnych ziem obniżen terenowych (P6 i Ga1). Dla gleb



Rys. 2 A. Schemat rozmieszczenia stacjonarnych punktów badawczych w transekcje Przybroda (MARCINEK i IN. 1994 a, zmodyfikowany): S – kulminacja stoku, S2 – stok swobodny, T – stok usypiskowy, A – podnóże, Pzo – gleby płowe zaciekowe opadowo-glejowe, Pg – gleby płowe gruntowo-glejowe, Dt – czarne ziemie z poziomem argillic, Dc – czarne ziemie zbrunatniałe, Dw – czarne ziemie właściwe, Dm – czarne ziemie murszaste

Fig. 2 A. Diagram of distribution of stationary measurement spots in Przybroda transect (MARCINEK et AL. 1994, modified): S – summit, S2 – shoulder, T – pediment, A – footslope, Pzo – Aquic Glossudalfs, Pg – Oxyaquic Hapludalfs, Dt – Typic Endoaquolls with cambic horizon, Dc – Typic Endoaquolls (moderately well drained), Dw – Typic Endoaquolls (somewhat poorly drained), Dm – Cumulic Endoaquolls



Rys. 2 B. Schemat rozmieszczenia stacjonarnych punktów badawczych w transekcje Granowo: S – kulminacja stoku, S2 – stok swobodny, T – stok usypiskowy, A – podnóże, 1A – gleby płowe zaciekowe opadowo-glejowe, 2A – gleby płowe zaciekowe gruntowo-glejowe, 3D – czarne ziemie glejowe

Fig. 2 B. Diagram of distribution of stationary measurement spots in Granowo transect: S – summit, S2 – shoulder, T – pediment, A – footslope, 1A – Aquic Glossudalfs, 2A – Oxyaquic Glossudalfs, 3D – Typic Endoaquolls

transektu Przybroda okres bilansowy trwał od 3.04.2006 do 26.10.2006, natomiast dla pedonów transektu Granowo od 10.04.2006 do 25.10.2006.

Do obliczeń bilansu wodnego gleb w metrowej strefie korzenienia się roślin zastosowano symulacyjny model SWAP (VAN DAM i IN. 1997). Model ten zweryfikowano przez zastosowanie miar statystycznych zaproponowanych przez WILLMOTTA (1981) oraz LOAGUE'A i GREEN'A (1991), porównując pomierzone wartości stanów retencji wody glebowej z wielkościami uzyskanymi w wyniku symulacji. Weryfikację przeprowadzono, stosując błąd średni (AE), indeks zgodności modelu (d) i błąd średni kwadratowy (RMSE):

$$AE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (1)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O}_i + O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (2)$$

$$RMSE = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right)^{1/2}}{\bar{O}_i} \quad (3)$$

gdzie:

- P_i – wartość oszacowana,
- O_i – wartość pomierzona,
- \bar{O}_i – średnia wartość pomierzona,
- n – liczba par obserwacji.

W modelu SWAP (Soil Water Atmosphere Plant) (VAN DAM i IN. 1997, 1998) do obliczeń strumienia przepływu wody w ośrodku glebowym zastosowane jest równanie Richardsa, z członem źródłowym określającym pobór wody przez rośliny (S), rozwiązywane numeryczną dyskretyzacyjną metodą różnic skończonych:

$$C_i^j (h_i^{j+1} - h_i^j) = \frac{\Delta t^j}{\Delta z_i} \left[K_{i-1/2}^j \left(\frac{h_{i-1}^{j+1} - h_i^{j+1}}{\Delta z_u} \right) + K_{i-1/2}^j \right] - \\ - \frac{\Delta t^j}{\Delta z_i} \left[K_{i+1/2}^j \left(\frac{h_i^{j+1} - h_{i+1/2}^{j+1}}{\Delta z_l} \right) + K_{i+1/2}^j \right] - \Delta t^j S_i^j$$

gdzie:

- i – przedział odległości (w przypadku ruchu pionowego przedział głębokości),
- j – przedział czasu,
- C – zmiana uwilgotnienia gleby (różniczkowa pojemność wodna),
- K – przewodność hydrauliczna strefy nienasyconej,
- h – siła ssąca gleby,
- S – człon określający pobór wody przez korzenie roślin,
- t – czas,
- z – głębokość.

Po określeniu warunków brzegowych i początkowych oraz wprowadzeniu parametrów wejściowych w wyniku symulacji otrzymano rozkłady uwilgotnienia oraz natężenia przepływu wody na górnej i dolnej strefie obliczeniowej. Parametrami wejściowymi do obliczeń ruchu wody w glebie modelem SWAP były dane agrometeorologiczne, parametry pokrywy roślinnej, głębokość korzenienia się roślin, parametry gleby oraz dane określające opis warunków brzegowych górnych i dolnych. Początkowy warunek ustalony został jako rozkład uwilgotnienia gleby w strefie obliczeniowej, który otrzymano z bezpośrednich pomiarów. Górny warunek brzegowy określony został przez warunki agrometeorologiczne, natomiast dolny warunek przyjęto jako wartości potencjału macierzystego na dolnej granicy obliczeniowej uzyskane z rzeczywistych pomiarów.

Dane meteorologiczne pochodziły ze stacji meteorologicznych zlokalizowanych na terenie badań. Radiacje na powierzchnię poziomą ziemi obliczono na podstawie metody podanej przez KĘDZIOREŃ (1995). Wartości wielkości określających pokrywę roślinną wyznaczono, wykorzystując podane w literaturze równania określające zależności tych współczynników od rozwoju pokrywy roślinnej (FEDDES i IN. 1988, VAN DAM i IN. 1997) oraz z bezpośrednich pomiarów.

Krzywe wodnej retencyjności gleb (krzywe pF) w zakresie ciśnień do 1 bara oznaczono metodą komór ciśnieniowych Richardsa (KLUTE 1986), natomiast w zakresie niskich potencjałów metodą prężności pary wodnej nad roztworem kwasu siarkowego

(KLUTE 1986, RAWLINS i CAMPBELL 1986). Krzywe te przedstawiono w postaci równania VAN GENUCHTENA (1980), a wartości parametrów tego równania wyznaczono przy zastosowaniu programu RETC (VAN GENUCHTEN i IN. 1991). Ponadto oznaczono współczynnik filtracji metodą stałego spadku hydraulicznego wody (KLUTE i DIRKSEN 1986).

W celu ustalenia związku między wartościami parametrów bilansu wodnego oraz zalegania zwierciadła wód gruntowych analizowanych gleb zastosowano analizę skupień (CA) oraz składowych głównych (PCA) po standaryzacji danych, wykorzystując pakiet Statistica 8 (StatSoft).

Wyniki i dyskusja

Charakterystyka bilansu wodnego gleb układów katenalnych powinna być oparta przede wszystkim na rozpoznaniu przestrzennej zmienności pokrywy glebowej. Następnie charakterystyka zdolności retencyjnych pedonów reprezentatywnych, stanowiących punkty stacjonarnych pomiarów tej przestrzennej struktury, na tle ich położenia w reliefie i przy danym charakterze materiałów macierzystych, umożliwi porównanie wartości parametrów bilansu wodnego gleb. W przeciwnym razie nie można byłoby przetransponować uzyskanych wyników badań na inne obszary Nizy Polskiego bez ryzyka popełnienia dużych błędów, niejednokrotnie przekraczających możliwości praktycznego ich wykorzystania. Stąd też na rycinach 2 A i B przedstawiono schematyczne zróżnicowanie gleb w analizowanych katenach, natomiast w tabeli 1 podstawowe właściwości fizyczne i fizykowodne pedonów reprezentatywnych. Zmienność gleb w katenie Przybroda szczegółowo opisano w pracach MARCINKA i IN. (1998) oraz KOMISAREK (2000), natomiast gleb kateny Granowo przez KOZŁOWSKIEGO (2007).

Tabela 1. Wybrane właściwości analizowanych gleb
Table 1. Chosen properties of investigated soils

Poziom glebowy Soil horizon	Głębokość Depth (cm)	Procentowa zawartość frakcji o średnicy Φ Percentage of soil separates at diameter Φ (mm)			Grupa granulometryczna Soil texture		C.org	θ_c	θ_{ppw}	θ_{wtw}	α	n
		2,00-0,05	0,05-0,002	< 0,002	PN-R-04033	USDA 1975						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
P1 – Gleba płowa zaciekowa opadowo-glejowa – Aquic Glossudalfs												
Ap	0-28	76	18	6	PGś	LS	0,80	0,361	0,218	0,046	0,04690	1,31767
E1et	28-41	74	20	6	GśP	SL	0,45	0,335	0,220	0,071	0,05760	1,22822
E2etg	41-50	72	21	7	GśP	SL	0,29	0,325	0,198	0,047	0,05116	1,29827

Tabela 1 – cd. / Table 1 – cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
E/B	50-60	65	23	12	GsP	fSL	0,28	0,34	0,253	0,096	0,03980	1,19445
B1tg	60-72	60	23	17	GL	SL	0,30	0,336	0,263	0,094	0,02191	1,23110
B2tg	72-99	60	21	19	GL	fSL	0,23	0,334	0,288	0,110	0,01198	1,23028
B3tg	99-108	62	20	18	GL	fSL	0,17	0,312	0,241	0,099	0,02755	1,20699
C1cag	108-130	65	20	15	GsP	fSL	0,08	0,304	0,227	0,100	0,02936	1,22014
C2cag	130-150	64	25	11	GL	fSL	0,05	–	–	–	–	–
P6 – Czarna ziemia mur szasta – Cumulic Endoaquolls												
Apm	0-30	55	36	9	GL	vfSL	5,50	0,441	0,318	0,111	0,03822	0,2171
A2m	30-53	40	47	13	PLP	L	3,39	0,476	0,329	0,109	0,04519	0,2179
A3	53-68	52	38	10	G	vfSL	1,34	–	–	–	–	–
2Gca	68-84	30	50	20	GPL	L	0,34	0,368	0,298	0,107	0,02123	1,2211
3G2ca	84-95	12	52	36	IPL	SCL	0,06	–	–	–	–	–
3G3ca	95-120	7	55	38	IPL	SCL	–	0,398	0,318	0,118	0,02128	1,2115
Ga1 – Czarna ziemia glejowa – Typic Endoaquolls												
Ap	0-24	73	24	3	PGd	SL	3,54	0,449	0,340	0,099	0,02276	1,25933
A2	24-36	64	33	3	PGd	SL	3,10	0,462	0,353	0,080	0,01748	1,31501
A3	36-42	72	26	2	PGd	SL	4,43	0,439	0,311	0,074	0,02583	1,29845
A4	42-51	82	15	3	PGd	LS	2,20	0,437	0,262	0,068	0,04652	1,31431
AC	51-60	71	18	11	GdP	SL	0,24	0,329	0,211	0,059	0,04485	1,27724
2G1	60-78	67	19	14	GdP	SL	0,08	0,309	0,217	0,083	0,04310	1,22224
2G2	78-120	66	20	14	GdP	SL	0,38	0,292	0,211	0,069	0,03081	1,24804
Ga3 – Gleba płowa zaciekowa opadowo-glejowa – Aquic Glossudalfs												
Ap	0-25	77	15	8	PGś	LS	0,86	0,368	0,207	0,046	0,04687	1,35279
E1etg	25-34	76	16	8	PGd	LS	0,21	0,326	0,185	0,038	0,04454	1,35687
E/B	34-46	67	20	13	GdP	SL	0,20	0,321	0,209	0,051	0,03900	1,28919
B/E	46-55	64	17	19	GL	SL	0,41	0,323	0,218	0,077	0,04816	1,23418
B1tg	55-88	62	15	23	GL	SL	0,34	0,317	0,246	0,114	0,04301	1,15808
B2tg	88-107	60	17	23	GL	SL	0,42	0,303	0,223	0,081	0,03802	1,20736

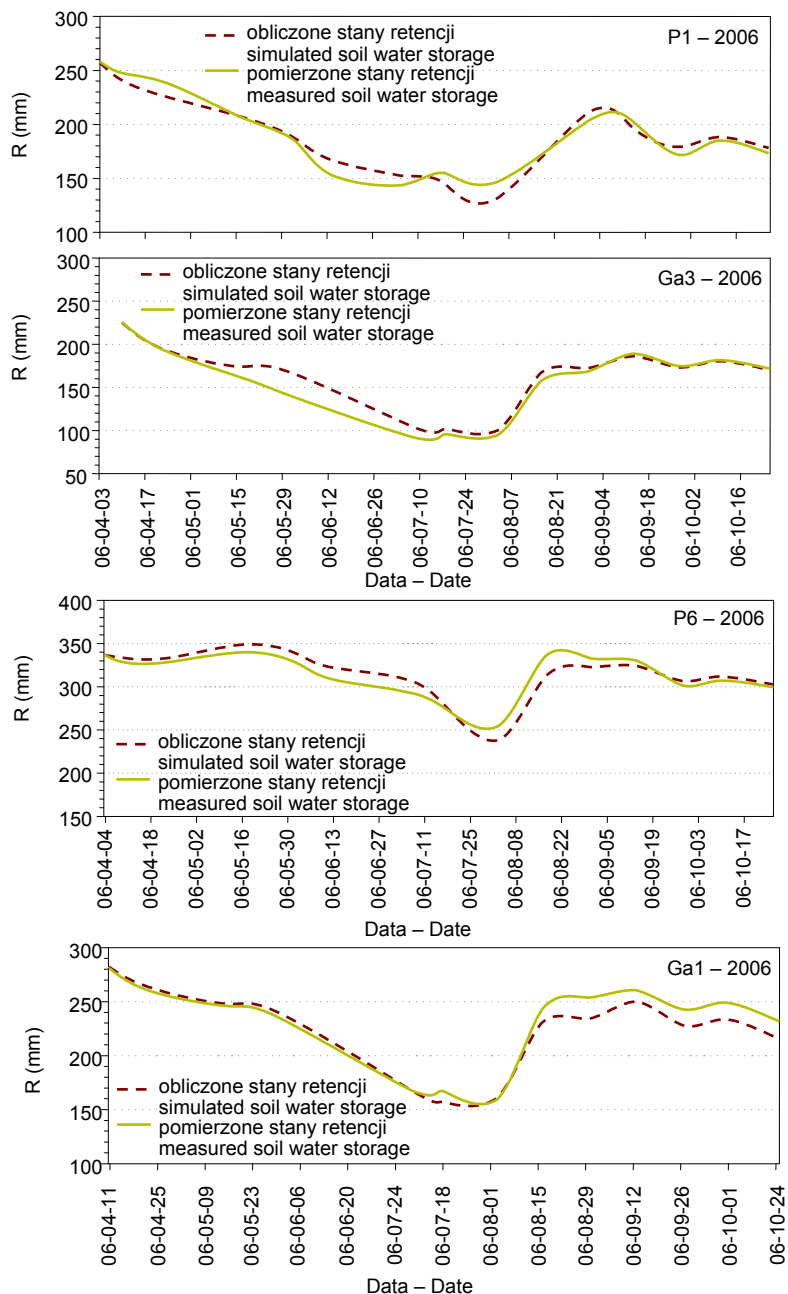
θ_c – pełna pojemność wodna, θ_{PPW} – połowa pojemność wodna, θ_{WTW} – wilgotność trwałego wędnięcia, α i n – parametry równania van Genuchtena.

θ_c – saturated moisture content, θ_{PPW} – field capacity, θ_{WTW} – permanent wilting point, α and n – parameters of van Genuchten equation.

Najwyższe położenia w analizowanych układach topohydrosekwencyjnych – wyniesienia dennomorenowe (S), zajmują gleby płowe (1A, Pzo) reprezentowane przez pedony P1, Ga3 (rys. 2 A i B), natomiast najniższe – czarne ziemie różnych podtypów (P6 i Ga1), co potwierdza wcześniejsze rozpoznania (MARCINEK i WIŚLAŃSKA 1984, MARCINEK i KOMISAREK 1991, MARCINEK i IN. 1994 b, 1998, KOMISAREK 1994, 2000) o występowaniu typowych katenalnych asocjacji gleb płowych i czarnych ziem na obszarze Niżu Polskiego.

Z przedstawionej na rys. 3 dynamiki stanów retencji wyraźnie wynika duża zbieżność między stanami retencji obliczonymi za pomocą modelu SWAP a pomierzonymi. Potwierdzają to wartości zastosowanych miar statystycznych zawarte w tabeli 2. Indeks zgodności (d) wyniósł 0,972 do 0,998, błąd średni kwadratowy (RMSE) od 0,042 do 0,061, natomiast średni błąd obliczonych stanów retencji (AE) wahał się w zakresie od –6,9 do 4,6 mm. Różnice między pomierzonymi stanami retencji a obliczonymi przy zastosowaniu symulacyjnego modelu SWAP nie były istotne statystycznie na poziomie $\alpha = 0,05$, a uzyskane wartości miar statystycznych wskazują na dużą zgodność stanów retencji obliczonych i pomierzonych. Wydaje się, że ta duża statystyczna zgodność wskazuje na możliwość stosowania modelu SWAP do prognozowania dynamiki wody glebowej w okresie wegetacyjnym. Małe wartości AE, charakteryzujące błąd oszacowania, są zbliżone do wyników badań KOMISAREK i KOZŁOWSKIEGO (2005, 2008), EITZINGERA i IN. (2002, 2004) oraz ELMALOGLOU²A i MALAOSA (2000), w których symulację dynamiki wody glebowej przeprowadzono przy zastosowaniu modeli SWAP oraz CERES.

W tabeli 3 przedstawiono wartości parametrów bilansów wodnych gleb obliczone przy zastosowaniu symulacyjnego modelu SWAP. Położone najwyżej w reliefie gleby płowe (P1, Ga3) charakteryzują się podobnym bilansem wodnym, co związane jest przede wszystkim z podobnym układem poziomów genetycznych i ich zbliżonymi właściwościami fizyko-wodnymi oraz zbliżonym rozrzędem wód opadowych. W okresie bilansowym 2006 roku ewapotranspiracja rzeczywista w glebach tych wynosiła 388 mm i 339 mm (kolejno P1 i Ga3). Gleby te charakteryzują się opadowo-retencyjnym reżimem wodnym, w którym zwierciadło wód gruntowych znajduje się poza oddziaływaniem na strefę korzenia się roślin. Dlatego też udział wód podsiąku kapilarnego w bilansie wodnym tych pedonów jest mniejszy niż w glebach zajmujących niższe położenie w reliefie. Dopływy kapilarne do 1 m strefy korzenia się roślin w glebach płowych kulminacji stoków wynosiły od 9 do 16 mm, podczas gdy w czarnych ziemiach podnóży stoków od 49 do 65 mm. Dopływów tych w glebach płowych wyniesień dennomorenowych, jak podają KOMISAREK i KOZŁOWSKI (2008), nie należy wiązać z typowym podsiąkiem kapilarnym, a raczej z dopływem wody z poziomów niżej zalegających w wyniku zwiększającego się gradientu hydraulicznego w sezonie wegetacyjnym. Położenie gleby na stoku nie tylko decyduje o ilości wody dopływającej z podsiąku kapilarnego do strefy korzenia się roślin, ale także o ilości wody odpływającej grawitacyjnie poza tę strefę. W pedonach położonych na wyniesieniach dennomorenowych odpływy te w okresie bilansowym wynosiły od 33 mm do 36 mm i realizowały się do drugiej dekady maja. W czarnych ziemiach podnóży stoków ilość wody odciekającej grawitacyjnie wynosiła od 41 mm do 44 mm. Odpływ wgłębny realizował się najdłużej w czarnej ziemi murszastej (P6) i jak wynika z przeprowadzonej symulacji dynamiki wody glebowej, trwał on do pierwszej dekady czerwca. Zagadnienie bilansu



Rys. 3. Porównanie między pomierzonymi i obliczonymi stanami retencji w 100 cm warstwie gleby dla analizowanych gleb płowych i czarnych ziem
 Fig. 3. Comparison of measured and simulated water storage in 100 cm soil layer for Alfisols and Mollisols

Tabela 2. Wartości parametrów statystycznych użytych do porównania pomierzonych i obliczonych stanów retencji wodnej gleby w 2006 roku

Table 2. Value of statistical parameters used in comparison for simulated and measured soil water storage in 2006

Parametr statystyczny Statistical parameter	P1	P6	Ga1	Ga3
AE	0,6	3,0	-6,9	4,6
d	0,984	0,972	0,978	0,998
RMSE	0,046	0,042	0,048	0,061

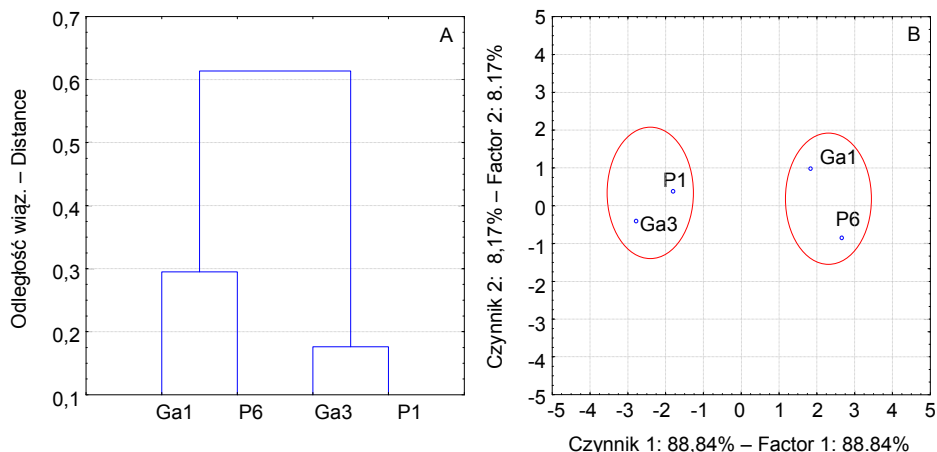
Tabela 3. Parametry obliczonego bilansu wodnego gleb w sezonie wegetacyjnym 2006

Table 3. Parameters of the soil water balance during growing season of 2006

Parametry bilansu wodnego gleb Parameters of the soil water balance	P1	P6	Ga1	Ga3
2006				
Rp – początkowy stan retencji (mm) Rp – initial soil water storage (mm)	257	339	286	226
ΔP – opad (mm) ΔP – precipitation (mm)	355	355	318	318
$+\Delta q$ – dopływ kapilarny (mm) $+\Delta q$ – capillary inflow (mm)	16	65	49	9
$-\Delta q$ – odpływ wgłębny (mm) $-\Delta q$ – bottom percolation (mm)	36	44	41	33
ΔI – intercepcja (mm) ΔI – interception (mm)	26	22	13	11
ΔETR – ewapotranspiracja rzeczywista (mm) ΔETR – real evapotranspiration (mm)	388	393	385	339
Rk – końcowy stan retencji (mm) Rk – final water storage (mm)	178	300	214	170

wodnego gleb uprawnych w warunkach Niziny Wielkopolskiej było przedmiotem badań SPYCHAŁSKIEGO (1998), w których obliczeniowa miąższość gleby wynosiła 2,5 m. Dlatego też trudno porównywać uzyskane w tej pracy wartości składowych bilansu wodnego gleb z cytowanymi wynikami badań.

O tym, że parametry bilansu wodnego gleb poszczególnych elementów stoków charakteryzują się podobnymi wartościami, świadczą wyniki przeprowadzonej analizy skupień i składowych głównych (rys. 4 A i B). Z analizy tej wynika, że pedony P1 i Ga3 tworzą jednorodną grupę hydropedologiczną. W przypadku czarnych ziem podnóża stoku (P6, Ga1) także można zaobserwować jednorodną grupę gleb, podobną pod względem hydropedologicznym, która charakteryzuje się gruntowo-retencyjnym reżimem wodnym. W skupieniu tym odległość euklidesowa jest większa niż w glebach płowych,



Rys. 4. Wyniki analiz skupień (A) i składowych głównych (B)
 Fig. 4. Results of hierarchical cluster (A) and principal component (B) analyses

co należy wiązać ze zróżnicowanymi zdolnościami retencyjnymi analizowanych czarnych ziem. Mimo że analizowane gleby należały do dwóch układów katenalnych, to jednak wyraźnie zostały zgrupowane w zespoły, podobne pod względem hydropedologicznym. Wskazuje to na możliwość ekstrapolacji uzyskanych wyników badań bilansu wodnego na takie same gleby lub analogiczne w obszarze Nizżu Polskiego. Jak podaje MARCINEK i KOMISAREK (2004), przetransponowanie wyników badań na określone powierzchnie powinno być jednak oparte na znajomości jej struktury pokrywy glebowej. W przeciwnym razie nie można odnieść wyników badań bez ryzyka popełnienia dużych błędów, niejednokrotnie uniemożliwiających praktyczne ich wykorzystanie.

Wnioski

1. Badania potwierdziły występowanie na Nizżu Polskim katenalnych układów gleb płowych i czarnych ziem, których zróżnicowanie typologiczne jest wynikiem ich położenia w reliefie.

2. Wysoka zgodność obliczonych wartości stanów retencji wody glebowej przy zastosowaniu modelu SWAP z danymi pomiarowymi potwierdza jego przydatność do obliczeń bilansu wodnego gleb płowych oraz czarnych ziem.

3. Gleby płowe wyniesień dennomorewych charakteryzują się podobnym bilansem wodnym i tworzą jedną jednostkę hydropedologiczną o opadowo-retencyjnym reżimie wodnym, podobnie jak czarne ziemie podnóży stoków z reżimem gruntowo-retencyjnym.

4. Zbliżony bilans wodny gleb należących do jednostki hydropedologicznej wskazuje na możliwość ekstrapolacji uzyskanych wyników na takie same lub analogiczne gleby w obszarze Nizżu Polskiego.

Literatura

- BASCI Z., ZEMANKOVICS F., 1995. Validation: an objective or a tool? Results on a winter wheat simulation model application. *Ecol. Model.* 81: 251-263.
- BOUMA J., 1983. Hydrology and soil genesis of soil with aquic moisture regimes. W: *Pedogenesis and soil taxonomy. I. Concept and interaction.* Red. L.P. Wilding, N.E. Smeck, G.F. Hall. *Dev. Soil Sci.* 11 A: 253-281.
- VAN DAM J.C., VAN HUYGEN J., WESSELING J.G., FEDDES R.A., KABAT P., VAN WALSUM P.E.V., GROENENDIJK P., VAN DIEPEN C.A., 1997. Theory of SWAP version 2.0. Simulation of water flow, solute transport and plant growth in the Soil-Water-Atmosphere-Plant environment. Report 71, Subdep. Water Resources, Wageningen University, Technical document 45, Alterra Green World Research, Wageningen.
- DIEKKRÜGER B., ARNING M., 1995. Simulation of water fluxes using different methods for estimation soil parameters. *Ecol. Model.* 81: 83-97.
- EITZINGER J., MARINCOVIC D., HÖSCH J., 2002. Sensitivity of different evapotranspiration calculation methods in different crop-weather models. W: *Proceeding of the International Environmental Modeling and Software Society IEMSS. Integrated Assessment and Decision*, June 24-27. Lugano-Switzerland.
- EITZINGER J., TRNKA M., HÖSCH J., ZALUD Z., DUBROVSKY M., 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil condition. *Ecol. Model.* 171: 233-246.
- ELMALOGLU S., MALAMOS N., 2000. Simulation of soil moisture content of a prairie field with SWAP93. *Agric. Water Manage.* 43: 139-149.
- FEDDES R.A., GRAAF M., BOUMA J., VAN LOON C.D., 1988. Simulation of water use and production of potatoes as affected by soil compaction. *Potato Res.* 31: 225-239.
- VAN GENUCHTEN M.Th., 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898.
- VAN GENUCHTEN M.Th., LEIJ F.J., YATES S.R., 1991. The RETC code for quantifying the hydraulic function of unsaturated soil. *US. EPA/600/2-91/065.*
- GLAZOWSKA M.A., 1981. *Gleby kuli ziemskiej.* PWN, Warszawa.
- HALL G.F., 1983. *Pedology and geomorphology.* W: *Pedogenesis and soil taxonomy. I. Concept and interaction.* Red. L.P. Wilding, N.E. Smeck, G.F. Hall. *Dev. Soil Sci.* 11 A: 117-140.
- JARVIS N.J., 1995. Simulation of soil water dynamics and herbicide persistence in a silt loam soil using the MACRO model. *Ecol. Model.* 81: 97-109.
- KĘDZIORA A., 1995. *Podstawy agrometeorologii.* PWRiL, Poznań.
- KLUTE A., 1986. Water retention: laboratory methods. W: *Method of soil analysis. P. 1. Physical and mineralogical methods.* Red. R.A. Klute. *Agron. Monogr.* 9: 635-660.
- KLUTE A., DIRKSEN C., 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. W: *Methods of soil analysis. P. 1. Physical and mineralogical methods.* Red. A. Klute. *Agron. Monogr.* 9: 687-732.
- KOMISAREK J., 1994. Zmienność przestrzenna czarnych ziem i gleb płowych falistej moreny dennej Równiny Kościańskiej. *Rocz. AR Pozn.* 268, *Melior. Inż. Środ.* 15, cz. 2: 205-217.
- KOMISAREK J., 2000. Kształtowanie się właściwości gleb płowych i czarnych ziem oraz chemizmu wód gruntowych w katenie falistej moreny dennej Pojezierza Poznańskiego. *Rocz. AR Pozn. Rozpr. Nauk.* 307.
- KOMISAREK J., KOZŁOWSKI M., 2005. Zastosowanie symulacyjnego modelu SWAP do oceny bilansu wodnego gleby płowej zaciekowej falistej moreny dennej Pojezierza Poznańskiego. *Rocz. AR Pozn.* 365, *Melior. Inż. Środ.* 26: 223-231.
- KOMISAREK J., KOZŁOWSKI M., 2008. Zastosowanie modelu symulacyjnego SWAP do określenia uwilgotnienia gleb o opadowo-retencyjnym reżimie wodnym. *Rocz. Glebozn.* 59: 119-129.
- KONDRACKI J., 2001. *Geografia regionalna Polski.* Wyd. Nauk. PWN, Warszawa.

Kozłowski M., Komisarek J., Wiatrowska K., 2011. Bilans wodny gleb układów katalnych Pojezierza Poznańskiego w sezonie wegetacyjnym. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 5, #85.

- KOZŁOWSKI M., 2007. Reżim wodny gleb i chemizm wód gruntowych w układach katalnych Pojezierza Poznańskiego. *Maszyn. Katedra Gleboznawstwa i Rekultywacji UP, Poznań.*
- LOAGUE K., GREEN R.E., 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *J. Contamin. Hydrol.* 7: 51-73.
- MARCINEK J., KAŻMIEROWSKI C., KOMISAREK J., 1998. Rozmieszczenie gleb i zróżnicowanie ich właściwości w katenie falistej moreny dennej Pojezierza Poznańskiego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 460: 53-73.
- MARCINEK J., 1992. Parametryzacja środowiska glebowego w aspekcie gospodarki wodnej gleb. *Probl. Agrofiz.* 67: 20-52.
- MARCINEK J., KOMISAREK J., 1991. Rozmieszczenie materii organicznej w układach katalnych gleb Wielkopolski. *Rocz. AR Pozn.* 224, *Melior.* 5: 65-81.
- MARCINEK J., KOMISAREK J., 2000. Wpływ naturalnych warunków drenażu gleb na ich reżim wodny. *Rocz. AR Pozn.* 317, *Roln.* 56: 79-88.
- MARCINEK J., KOMISAREK J., 2004. Antropogeniczne przekształcenia gleb Pojezierza Poznańskiego na skutek intensywnego użytkowania rolniczego. *Wyd. AR, Poznań.*
- MARCINEK J., KOMISAREK J., KAŻMIEROWSKI C., 1994 a. Dynamika składników rozpuszczonych w wodach gruntowych uprawnych gleb pływych i czarnych ziem. *Rocz. AR Pozn.* 268, *Melior. Inż. Środ.* 15, cz. 1: 69-82.
- MARCINEK J., SPYCHALSKI M., KOMISAREK J., 1990. Obieg wody w mikrozewni rolniczej. W: *Obieg wody i bariery biogeochemiczne w krajobrazie rolniczym.* Red. L. Ryszkowski, J. Marcinek, A. Kędziora. *Wyd. UAM, Poznań:* 69-96.
- MARCINEK J., SPYCHALSKI M., KOMISAREK J., 1994 b. Dynamika wody glebowej w glebach autogenicznych i semihydrogenicznych w układzie toposekwencyjnym moreny dennej Pojezierza Poznańskiego. *Rocz. AR Pozn.* 268, *Melior. Inż. Środ.* 15, cz. 1: 131-145.
- MARCINEK J., WIŚLAŃSKA A., 1984. Asocjacje czarnych ziem i gleb pływych falistej moreny dennej Równiny Kościańskiej. *Rocz. AR Pozn.* 149, *Melior.* 5: 65-81.
- MILNE G., 1936. Normal erosion as a factor in soil profile development. *Nature* 138: 548-549.
- RAO N.H., 1998: Grouping water storage properties of Indian soils for soil water balance model application. *Agric. Water Manage.* 29: 201-213.
- RAWLINS S.L., CAMPBELL G.S., 1986. Water potential: Thermocouple methods. W: *Methods of soil analysis. P 1. Physical and mineralogical methods.* Red. A. Klute. *Agron. Monogr.* 9: 597-617.
- SOIL survey manual, 1993. *Soil Survey Staff. U.S. Dep. Agric. Handb.* 19. U.S. Govt. Print. Off. Washington, DC.
- SPYCHALSKI M., 1998. Gospodarka wodna wybranych gleb uprawnych Pojezierzy Poznańskiego i Leszczyńskiego. *Rocz. AR Pozn. Rozpr. Nauk.* 284.
- WEGEHENKEL M., 2000. Test of modeling system for simulating water balances and plant growth using various different complex approaches. *Ecol. Model.* 129: 39-64.
- WILLMOTT C.J., 1981. On the validation of models. *Phys. Geogr.* 2: 184-194.
- WU L., CHEN W., BAKER M., LAMB J.A., 1999. Evolution of the Root Zone Water Quality Model Using Field-Measured Data from a Sandy Soil. *Agron. J.* 91: 177-182.
- YAALON D.H., 1983. Climate, time and soil development. W: *Pedogenesis and soil taxonomy. I. Concept and interaction.* Red. L.P. Wilding, N.E. Smeck, G.F. Hall. *Dev. Soil Sci.* 11 A: 223-251.

SOIL WATER BALANCE IN TOPOSEQUENCE IN GROWING SEASON OF THE POZNAŃ LAKELAND

Summary. This paper presents the results of the soil water balances of the Alfisols and Mollisols located in soil toposequences. The field researches were carried out in the north eastern and southern parts of the Poznań Lakeland. The SWAP model was used to evaluate the soil water balance. The obtained results indicated that the Alfisols located in a summit are characterized by similar values of water balance despite the fact soils belong to two toposequences (forming one hydropedological unit). Also the Endoaquolls of footslope create separate hydropedological unit.

Key words: soil water balance, catena, Glossudalfs, Endoaquolls

Adres do korespondencji – Corresponding address:

Michał Kozłowski, Katedra Gleboznawstwa i Rekultywacji, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, ul. Piątkowska 94, 61-691 Poznań, Poland, e-mail: mkozl@up.poznan.pl

Zaakceptowano do druku – Accepted for print:
13.06.2011

Do cytowania – For citation:

*Kozłowski M., Komisarek J., Wiatrowska K., 2011. Bilans wodny gleb układów katenalnych Pojezierza Poznańskiego w sezonie wegetacyjnym. *Nauka Przyr. Technol.* 5, 5, #85.*