

ZASTOSOWANIE MODELU SWAP DO PROGNOZOWANIA ELEMENTÓW BILANSU WODNEGO ZDRENOWANEJ GLEBY PYŁOWEJ

Daniel Szejba, Tomasz Brandyk

Katedra Kształtowania Środowiska,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Wstęp

Matematyczne modele komputerowe przepływu wody w systemie gleba – roślina – atmosfera, po ich uprzedniej weryfikacji w danych warunkach, mogą być wykorzystywane do określania kryteriów niezbędnych do prowadzenia racjonalnej gospodarki wodnej w glebach wykorzystywanych rolniczo. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki symulacji komputerowej przy zastosowaniu zweryfikowanego modelu SWAP [VAN DAM i in. 1997; SZEJBA 2001]. Symulację przeprowadzono dla okresu czterdziestu lat (1954–1993), wykorzystując dane meteorologiczne ze stacji Wageningen oraz parametry dla gleby pyłowej [WÖSTEN i in. 1994 za VAN DAMEM i in. 1997] oraz kukurydzę (*Zea mays* L.) jako roślinę uprawną. Celem tej symulacji było prognozowanie warunków wilgotnościowych w glebie pyłowej, w zależności od rozstawy drenowania i zróżnicowanych warunków meteorologicznych.

Materiał i metodyka badań

Symulację przeprowadzono dla gleby pyłowej, składającej się z trzech charakterystycznych warstw o następujących miąższościach: 0–30 cm, 30–110 cm oraz 110–600 cm. Właściwości hydrauliczne i retencyjne poszczególnych warstw profilu, opisano analitycznym modelem Mualema – van Genuchtena (1) i (2) [VAN GENUCHTEN 1980; WÖSTEN, VAN GENUCHTEN 1988]:

$$\Theta = \Theta_r + \frac{\Theta_s - \Theta_r}{\left(1 + |\alpha \cdot h|^n\right)^m} \quad (1)$$

$$K(h) = K_s \cdot \frac{\left\{ \left[1 + |\alpha \cdot h|^n\right]^m - |\alpha \cdot h|^{n-1} \right\}^2}{\left[1 + |\alpha \cdot h|^n\right]^{m \cdot (1+2)}} \quad (2)$$

gdzie:

- Θ – wilgotność aktualna ($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$),
- Θ_s – wilgotność przy stanie pełnego nasycenia ($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$),
- Θ_r – wilgotność resztkowa ($\text{cm} \cdot \text{cm}^{-3}$),
- h – ciśnienie ssące (cm),
- α – parametr kształtu krzywej retencyjności wodnej (cm),
- n, m – parametry empiryczne (–),
- $K(h)$ – przewodność wodna gleby przy stanie niepełnego nasycenia ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$),
- K_s – współczynnik filtracji ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$),
- l – parametr kształtu krzywej nienasyconej przewodności wodnej (–).

Natomiast wartości parametrów występujących w równaniach (1) i (2) przyjęto za WÖSTENEM i in. [1994] i zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1; Table 1

Właściwości hydrauliczne i retencyjne rozpatrywanego profilu glebowego
Hydraulic and retention properties of the considered soil profile

Warstwa Layer	Miąszość Thickness (cm)	Θ_r ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)	Θ_s ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)	K_s ($\text{cm} \cdot \text{d}^{-1}$)	α (cm^{-1})	l (–)	n (–)
loam*	0–30	0,00	0,40	14,07	0,0194	–0,802	1,250
loam*	30–110	0,00	0,47	9,08	0,0136	–0,803	1,342
silt*	110–600	0,01	0,41	3,70	0,0071	0,912	1,298

loam* – utwór glebowy zawierający od 7 do 27% frakcji o średnicy ziaren $< 0,002$ mm, od 28 do 50% frakcji o średnicy ziaren $0,05$ – $0,002$ mm oraz mniej niż 52% frakcji o średnicy ziaren $2,0$ – $0,05$ mm [GLOSSARY OF SOIL SCIENCE TERMS 1997]. Według PN-R-04033 utwór taki można sklasyfikować jako pył, pył piaszczysty lub glinę pylastą [MOCEK i in. 2000]; soil material that contains 7 to 27% clay, 28–50% silt, and $< 52\%$ sand [GLOSSARY OF SOIL SCIENCE TERMS 1997]. According to PN-R-04033 that material can be classified as loam, sandy loam or clay loam [MOCEK et al. 2000];

silt* – utwór glebowy zawierający powyżej 80% frakcji o średnicy ziaren $0,05$ – $0,002$ mm oraz mniej niż 12% frakcji o średnicy ziaren $< 0,002$ mm [GLOSSARY OF SOIL SCIENCE TERMS 1997]. Według PN-R-04033 jest to pył [MOCEK i in. 2000]; soil material that contains 80% or more silt and $< 12\%$ clay [GLOSSARY OF SOIL SCIENCE TERMS 1997]. According to PN-R-04033 that material can be classified as silt [MOCEK et al. 2000]

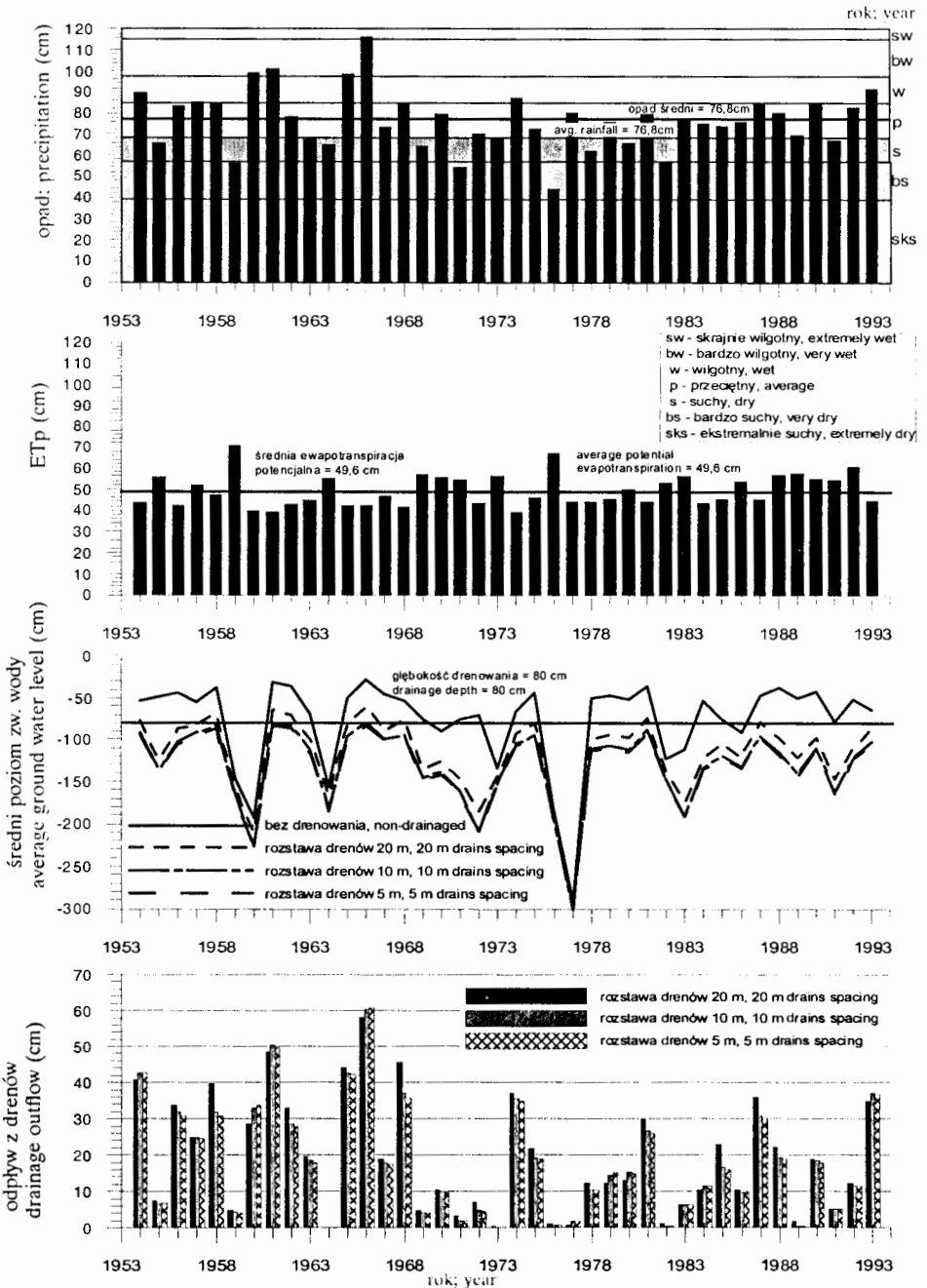
Górny warunek brzegowy określony został jako przepływ przez powierzchnię gleby, stanowiący różnicę pomiędzy ewaporacją, a opadem atmosferycznym. Założono, że spływ powierzchniowy rozpoczyna się, gdy wysokość warstewki wody gromadzącej się na powierzchni gleby przekroczy $0,3$ cm. W obliczeniach numerycznych na dolnym ograniczeniu profilu glebowego zastosowano warunek brzegowy III-go rodzaju. Warunek ten był możliwy do zastosowania, ponieważ w rozpatrywanej glebie pyłowej istnieje zależność pomiędzy przepływem wody w strefie nienasyconej, a przepływem wód gruntowych. Poza wymianą wody pomiędzy profilem glebowym i warstwami leżącymi poniżej, w obliczeniach uwzględniono również odpływ wody drenami, zainstalowanymi na głębokości 80 cm pod powierzchnią terenu. W obliczeniach komputerowych zastosowano trzy warianty rozstawy drenowania: 5 , 10 , 20 m oraz dla porównania wariant bez drenowania. Do modelowania odpływu wody z drenów wykorzystano zależność liniową pomiędzy odpływem wody z drenów, a średnim położeniem zwierciadła wody gruntowej. Warunek początkowy sformułowano jako rozkład ciśnień ssących w profilu glebowym,

odpowiadający równowadze ze zwierciadłem wody gruntowej, położonym na głębokości 80 cm. Parametry niezbędne do opisu poboru wody przez korzenie kukurydzy (*Zea mays*) takie jak: głębokość strefy korzeniowej, wartość powierzchni zbiorowej liści oraz wysokość roślin jako funkcja fazy rozwojowej rośliny, przyjęto za ROSZAKIEM [1997]. Krytyczne wartości ciśnień ssących, które określają wartość parametru redukcyjnego występującego w równaniu jednostkowego poboru wody przez korzenie roślin [FEDDES i in. 1978] przyjęto za VAN DAMEM i in. [1997]. Analiza rocznych sum opadów atmosferycznych dla stacji Wageningen przeprowadzona dla wielolecia 1954–1993 umożliwiła określenie ich wartości średniej, która wyniosła 768 mm. Następnie posługując się klasyfikacją [KACZOROWSKA 1962] wyznaczono przedziały wielkości opadów dla roku: przeciętnego, suchego, bardzo suchego, skrajnie suchego, wilgotnego, bardzo wilgotnego lub skrajnie wilgotnego. Jako kryterium wystąpienia nadmiernego uwilgotnienia, uwilgotnienia optymalnego oraz niedoboru uwilgotnienia przyjęto wartość ciśnienia ssącego gleby na głębokości 30 cm, ponieważ w warstwie do 30 cm znajduje się około 64% masy korzeniowej kukurydzy (*Zea mays*) [RHOADS, BENNET 1990]. Przyjęto, że nadmierne uwilgotnienie w rozpatrywanym profilu glebowym występowało, gdy wartość ciśnienia ssącego przyjmowała wartości wyższe od -15 cm. Natomiast uwilgotnienie optymalne w profilu występowało, gdy wartości ciśnienia ssącego zawierały się w przedziale od -15 do -325 cm. Przyjęcie takiego przedziału granicznych ciśnień ssących wynika z danych przedstawionych w literaturze przez WESSELINGA [1991] za VAN DAMEM i in. [1997], którzy stwierdzają, że poniżej wartości ciśnienia ssącego wynoszącej -15 cm rozpoczyna się pobór wody, natomiast poniżej wartości -325 cm kończą się optymalne warunki poboru wody przez korzenie i rozpoczyna się niedobór uwilgotnienia. Scharakteryzowane parametry i dane wykorzystano do symulacji komputerowej zmian uwilgotnienia gleby pyłowej w okresie wielolecia (1954–1993), wykorzystując do tego celu model SWAP [VAN DAM i in. 1997].

Wyniki i dyskusja

Obliczone wartości ewapotranspiracji potencjalnej, średniego położenia zwierciadła wody gruntowej oraz odpływu z drenów na tle opadów atmosferycznych w wieloleciu 1954–1993 zostały przedstawione na rysunku 1. Średnia wartość ewapotranspiracji potencjalnej dla rozpatrywanego wielolecia wyniosła 496 mm. Najwyższe wartości ewapotranspiracji wystąpiły w latach 1959 i 1976, sklasyfikowanych jako bardzo suche i wyniosły odpowiednio 710 i 673 mm. Lata 1960, 1961 (bardzo wilgotne) i 1974 (wilgotny) charakteryzowały się najniższymi wartościami ewapotranspiracji, która wyniosła odpowiednio: 396, 392 i 390 mm. Wartości średniego położenia zwierciadła wody gruntowej dla gleby nie drenowanej są generalnie o kilkadziesiąt centymetrów wyższe niż w wariantach z drenami. Jednak w roku 1977 wartości położenia zwierciadła wody gruntowej we wszystkich wariantach są ze sobą zbieżne i wynoszą około 300 cm, co jest następstwem wystąpienia bardzo suchego roku 1976. Wartości sumarycznych odpływów z drenów kształtują się w przedziale od 0 cm w 1964 roku do około 60 cm w 1966 roku.

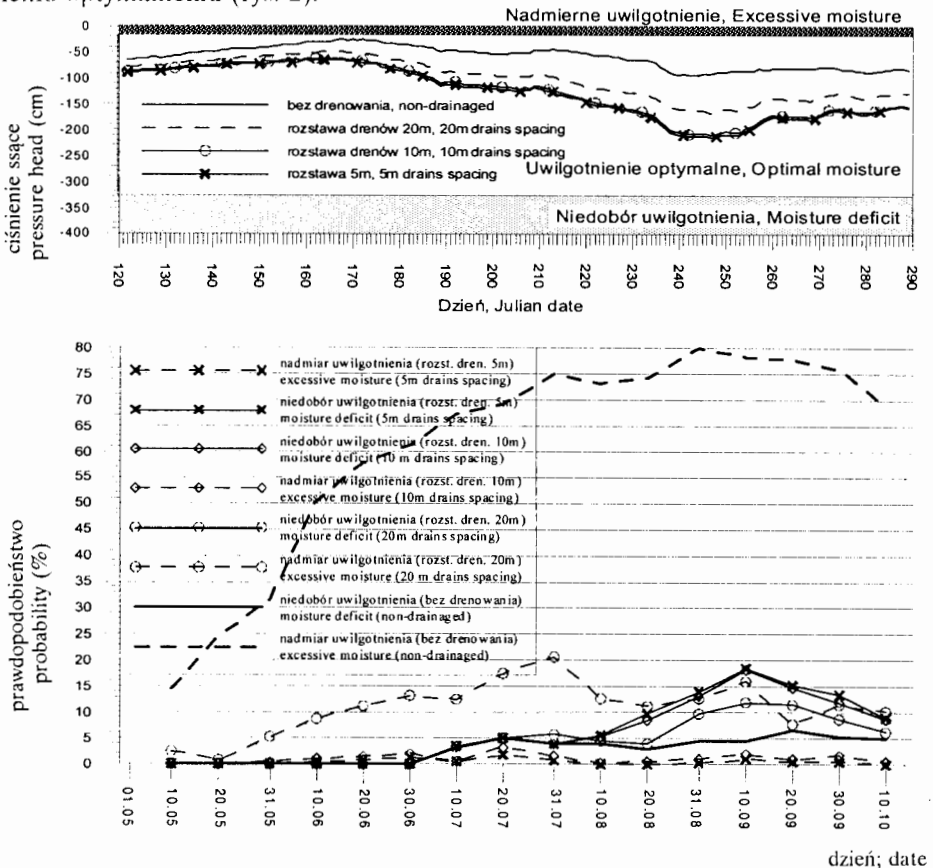
Odpływy drenarskie o wielkości rzędu 1–7 cm rocznie zaobserwowano w następujących latach: 1955, 1959, 1969, 1971, 1973, 1976, 1977, 1982, 1983, 1989 i 1991. Wymienione lata należały głównie do lat bardzo suchych i suchych, ale również wystąpiły lata sklasyfikowane jako przeciętne [SZEJBA 2002].



Rys. 1. Sumaryczne roczne wysokości opadu atmosferycznego; obliczonej: ewapotranspiracji potencjalnej (ETp) i odpływu z drenów oraz średniego położenia zw. wody gruntowej w wieloletniu 1954–1993

Fig. 1. Total yearly values of precipitation and calculated potential evapotranspiration (ETp), drainage outflow and average groundwater table for the years from 1954 to 1993

Natomiast na rysunku 2 przedstawiono średnie z wielolecia wartości ciśnienia ssącego gleby na głębokości 30 cm dla poszczególnych wariantów oraz prawdopodobieństwo wystąpienia nadmiaru lub niedoboru uwilgotnienia w okresie wegetacyjnym. Średnie obliczone dla wielolecia 1954–1993, wartości ciśnień ssących na głębokości 30 cm dla wszystkich czterech rozpatrywanych wariantów, utrzymywały się w granicach wartości ciśnienia ssącego odpowiadającego uwilgotnieniu optymalnemu (rys. 2).



Rys. 2. Średnie z wielolecia wartości ciśnienia ssącego na głębokości 30 cm oraz prawdopodobieństwo wystąpienia nadmiaru lub niedoboru uwilgotnienia w okresie wegetacji.

Fig. 2. Average values of pressure head at the 30 cm depth and probability of excessive moisture and moisture deficit for vegetation period

Jednak w wariancie bez drenażowania obliczone wartości ciśnienia ssącego w miesiącu czerwcu utrzymywały się blisko granicy odpowiadającej stanowi nadmiernego uwilgotnienia. W wariantach z rozstawą drenów 5 i 10 m, dni w których wystąpiło nadmierne uwilgotnienie, występowały sporadycznie i dotyczyły głównie lat bardzo wilgotnych oraz roku skrajnie wilgotnego. W wariancie z rozstawą drenów 20 m zaobserwowano kilkunastodniowe okresy, w których wystąpiło nadmierne uwilgotnienie, które występowało szczególnie w latach bardzo wilgotnych,

w roku skrajnie wilgotnym, ale również w latach przeciętnych. W wariacie bez drenowania okresy z nadmiernym uwilgotnieniem nie wystąpiły jedynie w latach suchych i bardzo suchych. Biorąc pod uwagę warianty z drenowaniem, okresy niedoboru uwilgotnienia wystąpiły jedynie w latach bardzo suchych, częściowo w latach suchych oraz sporadycznie w latach przeciętnych, poprzedzonych latami suchymi. Również w wariacie bez drenowania wystąpiły okresy z niedoborem uwilgotnienia w latach bardzo suchych, suchych oraz w roku przeciętnym poprzedzonym rokiem suchym. Z przeprowadzonych obliczeń dla okresu wielolecia 1954–1993 stwierdzono, że prawdopodobieństwo wystąpienia nadmiernego uwilgotnienia w okresie wegetacji w przypadku rozstawy drenów 5 m nie przekracza 2%, a w przypadku rozstawy drenów 10 m nie przekracza 3,5%. Prawdopodobieństwo jest znacznie wyższe w przypadku rozstawy drenów 20 m, osiągając wartość 21%, a w wariacie bez drenowania jest bardzo wysokie i sięga 80%. Prawdopodobieństwo wystąpienia niedoboru uwilgotnienia w okresie wegetacji w przypadku rozstaw drenów 5 i 10 m nie przekracza 19%, a w przypadku rozstawy drenów 20 m nie przekracza 12%. Dla wariantu bez drenowania prawdopodobieństwo wystąpienia niedoboru uwilgotnienia osiąga wartość 6,5%. Analizując dane z wielolecia 1954–1993 wybrano następujące lata reprezentujące rok: 1976 – bardzo suchy, 1978 – suchy, 1983 – przeciętny, 1993 – wilgotny, 1961 – bardzo wilgotny oraz 1966 – skrajnie wilgotny. Procentowy udział splywu powierzchniowego w opadzie dla wszystkich charakterystycznych lat w wariacie bez drenowania był kilkakrotnie wyższy niż w wariantach z drenowaniem. Wyjątek stanowi tylko rok bardzo suchy (1976), w którym splyw powierzchniowy nie występuje w żadnym z wariantów. Wartości procentowego udziału splywu powierzchniowego w wariacie bez drenowania kształtują się od 41,8% w roku skrajnie wilgotnym do 5,4% w roku przeciętnym. W wariacie z rozstawą drenów 20 m procentowy udział splywu powierzchniowego mieści się w granicach od 0% w roku suchym do 12,7% w roku skrajnie wilgotnym. W przypadku rozstaw 5 i 10 m splyw powierzchniowy zaobserwowano jedynie w roku skrajnie wilgotnym. W roku skrajnie suchym, we wszystkich rozpatrywanych wariantach, ewapotranspiracja rzeczywista przekroczyła o około 20% wielkość opadu. W pozostałych latach charakterystycznych procentowy udział ewapotranspiracji rzeczywistej w opadzie kształtował się w granicach 15,3–64,5% w wariacie bez drenowania oraz w granicach 25,8–77,0% w wariantach z drenowaniem. Porównując poszczególne warianty w danym roku charakterystycznym stwierdzono, że w każdym przypadku ewapotranspiracja rzeczywista w wariacie bez drenowania była o co najmniej kilkanaście procent niższa niż ewapotranspiracja rzeczywista w wariantach z drenowaniem. Biorąc pod uwagę procentowy udział odpływu drenarskiego w opadzie atmosferycznym, nie zauważa się znaczących różnic pomiędzy poszczególnymi wariantami, w odpowiednich latach charakterystycznych. W roku bardzo suchym nie przekraczał on 3%. W roku suchym największy udział odpływu wystąpił w wariacie z rozstawą drenów 20 m i wynosił 20,2%, natomiast w dwóch pozostałych wariantach, tj. z rozstawą drenów 5 i 10 m wynosił około 17%. W roku przeciętnym we wszystkich trzech wariantach wyniósł nieco ponad 8%. W roku wilgotnym około czterdziestoprocentowy udział odpływu zaobserwowano w wariantach z rozstawą drenów 5 i 10 m, natomiast w wariacie z rozstawą drenów 20 m był on nieco niższy i wyniósł 38,1%. Podobna sytuacja wystąpiła w roku bardzo wilgotnym i skrajnie wilgotnym, czyli wariacie z rozstawą drenów 20 m udział odpływu był około 2% niższy niż w pozostałych wariantach. W obydwu wymienionych latach charakterystycznych we wszystkich wariantach udział odpływu drenar-

skiego zawarty był w przedziale od 47,9 do 52,1%. W wariancie bez drenowania obliczenia dla roku bardzo suchego, suchego oraz przeciętnego wykazały znaczny udział odpływu gruntowego, który nawet przewyższał od kilku do kilkudziesięciu procent udział odpływu drenarskiego. W roku wilgotnym, bardzo wilgotnym oraz skrajnie wilgotnym, udział odpływu gruntowego był odpowiednio od kilkunastu do kilkudziesięciu procent wyższy niż odpływ drenarski w wariantach z drenami.

Wnioski

Na podstawie uzyskanych wyników symulacji bilansu wodnego przy zastosowaniu modelu SWAP w okresie wielolecia 1954–1993 można stwierdzić, że niskie wartości odpływów drenarskich wystąpiły w latach określanych jako bardzo suche, suche i przeciętne. W latach tych znaczna ilość wody pochodzącej z opadów została zmagazynowana w glebie, a średnia wielkość odpływu z drenów, w zależności od ich rozstawy stanowiła od 18 do 28% sumy opadów atmosferycznych. Wielkość spływu powierzchniowego zawierała się w przedziale od 0,3 do około 3% sumy opadów, a w przypadku gleby nie drenowanej udział średniego spływu powierzchniowego stanowił około 23% sumy opadów.

W rozpatrywanym okresie (1954–1993) dla wszystkich rozstaw drenowania (5, 10 i 20 m), średnie wartości ciśnień ssących w glebie pyłowej na głębokości 30 cm utrzymywały się w przedziale uwilgotnienia optymalnego dla uprawianej rośliny, którą była kukurydza. W glebie nie drenowanej przez znaczną część okresu wegetacyjnego ciśnienia ssące utrzymywały się w pobliżu granicy nadmiernego uwilgotnienia. Prawdopodobieństwo wystąpienia nadmiernego uwilgotnienia w przypadku gleby drenowanej dla wszystkich rozstaw nie przekraczało 21%, podczas gdy w glebie nie drenowanej wynosiło blisko 80%.

Literatura

- FEDES R.A., KOWALIK P.J, ZARADNY H. 1978. *Simulation of field water use and crop yield*. Simulation Monographs. Pudoc. Wageningen: 189.
- GLOSSARY OF SOIL SCIENCE TERMS 1997. Soil Science Society of America: 101–102.
- KACZOROWSKA Z. 1962. *Opady w Polsce w przekroju wieloletnim*. Wydawn. Geolog. Prace Geograficzne 33: 72.
- MOCEK A., DRZYMAŁA S., MASZNER P. 2000. *Geneza, analiza i klasyfikacja gleb*. Wydawn. AR w Poznaniu: 127–129.
- RHOADS F.M., BENNET J.M. 1990. *Corn. Irrigation of Agricultural Crops*. Agronomy 30: 569–571.
- ROSZAK W. 1997. *Ogólna uprawa roli i roślin*. Mat. pomocnicze do ćwiczeń. Wydawn. Nauk. PWN: 245.
- SZEJBA D. 2001. *Wykorzystanie modelu SWAP do oceny elementów bilansu wodnego drenowanej gleby pyłowej*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 477: 177–186.
- SZEJBA D. 2002. *Wpływ drenowania na elementy bilansu wodnego gleby pyłowej*. Praca doktorska. Katedra Kształtowania Środowiska SGGW w Warszawie: 86–89.
- WÖSTEN J.H.M., VAN GENUCHTEN M.TH. 1988. *Using Texture and Other Soil Properties to Predict the Unsaturated Soil Hydraulic Functions*. Soil Science Society of America J. 52: 29–30.

WÖSTEN J.H.M., VEERMAN G.H., STOLTE J. 1994. *Water retention and hydraulic conductivity functions of top- and subsoils in The Netherlands: The Staring series*. Technical Document 18, Winand Staring Centre, Wageningen, The Netherlands: 66.

VAN DAM J.C., 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*. Technical Document 45 DLO Winand Staring Centre, Wageningen: 19–37, 152.

VAN GENUCHTEN M.T.H. 1980. *A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils*. Soil Sci. Soc. Am. J. 44: 892–898.

Słowa kluczowe: opad atmosferyczny, uwilgotnienie, ciśnienie ssące, rozstawa drenów, odpływ z drenów, ewapotranspiracja, model SWAP, prognozowanie

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki symulacji komputerowej przy zastosowaniu modelu SWAP. Do celów obliczeniowych przyjęto, że powierzchnia terenu pokryta jest kukurydzą (*Zea mays* L.), a rozpatrywaną glebą jest gleba pyłowa. Symulację przeprowadzono dla okresu czterdziestu lat (1954–1993). Celem tej symulacji było prognozowanie warunków wilgotnościowych w glebie pyłowej, w zależności od rozstawy drenowania i zróżnicowanych warunków meteorologicznych. Na podstawie średniego rocznego opadu wyznaczono przedziały wielkości opadów, według których dany rok sklasyfikowano jako rok: przeciętny, suchy, bardzo suchy, skrajnie suchy, wilgotny, bardzo wilgotny lub skrajnie wilgotny. Jako kryterium wystąpienia nadmiernego uwilgotnienia, uwilgotnienia optymalnego oraz niedoboru uwilgotnienia przyjęto graniczne wartości ciśnienia ssącego gleby na głębokości 30 cm. Na podstawie wyników symulacji bilansu wodnego modelem SWAP w okresie wielolecia stwierdzono, że niskie wartości odpływów drenarskich wystąpiły w latach określanych jako bardzo suche, suche i przeciętne, ponieważ znaczna ilość wody pochodzącej z opadów została zmagazynowana w glebie. Średnie obliczone dla wielolecia 1954–1993 wartości ciśnień ssących na głębokości 30 cm dla wszystkich czterech rozpatrywanych wariantów, utrzymywały się w granicach wartości ciśnienia ssącego odpowiadającego uwilgotnieniu optymalnemu. Prawdopodobieństwo wystąpienia nadmiernego uwilgotnienia w przypadku gleby drenowanej dla wszystkich rozstaw nie przekraczało 21%, podczas gdy w glebie nie drenowanej wynosiło blisko 80%.

APPLICATION OF THE SWAP MODEL TO PREDICTION OF WATER BALANCE ELEMENTS IN DRAINED SILT-LOAM SOIL

Daniel Szejba, Tomasz Brandyk

Department of Environmental Improvement,
Warsaw Agriculture University, Warszawa

Key words: precipitation, soil moisture, pressure head, drains spacing, drainage outflow, evapotranspiration, SWAP model, prediction

Summary

The paper presents the results of computer simulation using SWAP model. It was assumed that the considered plant was corn (*Zea mays* L.) and the considered soil was silt-loam soil. The simulation was performed for the period of forty years period (1954–1993). The aim of this simulation was the prediction of silt-loam soil water content conditions, depended on drainage spacing and diversified meteorological conditions. Average annual precipitation value was used as a base for the classification of the considered particular year into: average, dry, very dry, extremely dry, wet, very wet and extremely wet. Pressure head values at 30 cm depth below the soil surface were used as a criterion of moisture surplus, deficits and optimal contents. The results of soil water balance computer using SWAP model for period 1954–1993 showed that low values of drainage outflow were present in very dry, dry and average years because the significant amount of precipitation was stored in the soil. The average values of pressure head at 30 cm depth, for period 1954–1993, were in the range of optimal moisture conditions for all considered cases. Probability of moisture surplus appearance does not exceed 21% for all drain spaces, and about 80% for non-drainage case.

Dr inż. Daniel **Szejba**
Katedra Kształtowania Środowiska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 159
02-776 WARSZAWA
e-mail: szejba@alpha.sggw.waw.pl