

WENANTY OLSZTA

BADANIA NAD WPŁYWEM ZWIERCIADŁA WODY GRUNTOWEJ
I TRANSPIRACJI NA UKŁAD WILGOTNOŚCI
W PROFILU GLEBY TORFOWO-MURSZOWEJ
METODĄ MODELOWANIA SYMULACYJNEGO

Pracownia Fizyki Gleb Meliorowanych IMUZ w Lublinie

WSTĘP

Źródłem zasilania roślin w wodę są opady oraz podsiąki z poziomu zwierciadła wody gruntowej przez nie nasyconą strefę profilu glebowego. Zjawisko podsiąku oraz pobór wilgoci przez rośliny są uzależnione poza właściwościami gleby przede wszystkim od głębokości wody gruntowej, rozmieszczenia korzeni oraz wielkość parowania i transpiracji.

Przedmiotem badań była symulacja jednowymiarowego ruchu wody w strefie nie nasyconej przy ustalonym poziomie wody gruntowej oraz stałej transpiracji. Wyniki badań uzyskane z symulacji obejmują: dynamikę i układ wilgotności w profilu gleby w zależności od głębokości lustra wody gruntowej, transpiracji i czasu oraz zależność między optymalnym poziomem lustra wody gruntowej a transpiracją.

PRZEGLĄD LITERATURY

Dostępność wody glebowej dla roślin. W warunkach klimatycznych naszego kraju wilgotność gleby jest jednym z podstawowych elementów determinujących wzrost, rozwój i plonowanie roślin. Rozważając problem dostępności wody glebowej zwraca się uwagę na ilości wody i siłę wiążącą ją w glebie (ssanie). Pobór wody przez rośliny będzie tym trudniejszy, im wyższe będzie ssanie wody glebowej. Eksperymentalne obserwacje wskazują, że przy ssaniu około 15 at (pF 4,2) woda nie jest dostępna dla roślin, jest to tzw. dolna granica dostępności. Górną granicę, powyżej której gleba jest nadmiernie wilgotna, określa się w oparciu o zawartość powietrza w glebie, która dla roślin łąkowych powinna wynosić 6-10% objętości gleby (pF 1,7). Ilość

wody związanej przez glebę między pF 4,2 i pF 1,7 oraz wartościami pośrednimi (pF 2, pF 2,5, pF 3,0) można wyznaczyć z krzywych pF [2, 8].

Optymalny poziom wody gruntowej. Określenie optymalnego poziomu wody gruntowej jest trudne. Ogólnie wyróżnia się dwa skrajne poziomy wody gruntowej: górny dopuszczalny, umożliwiający właściwe natlenienie warstwy korzeniowej, oraz dolny dopuszczalny, wywołujący krytyczny stan wilgotności gleby (pF 2,7–3,0). Dość trudno jest określić optymalny poziom wody, uzależniony od rodzaju gleby i pokrywy roślinnej. Czynniki determinującymi położenie optymalnego zwierciadła wody gruntowej są: aeracja, wymagania wodne roślin, charakterystyka wodna gleby, przewodnictwo, ewapotranspiracja, warunki klimatyczne, rozmieszczenie korzeni oraz gatunek i odmiana rośliny [1]. Niewielkie obniżenie zwierciadła wody gruntowej może wywołać znaczny spadek podsiąku, co w efekcie prowadzi do wysychania warstw gleby.

W pracy podjęto próbę określenia optymalnego poziomu wody gruntowej, którego przekroczenie może wywołać przesuszenie górnej warstwy profilu.

Ruch wody w strefie nie nasyconej. Przepływ wody w glebie nie nasyconej q opisywany jest równaniem:

$$q = -k(\Theta) \frac{\partial H}{\partial z} \quad (1)$$

gdzie:

Θ — wilgotność gleby ($\text{cm}^3 \text{H}_2\text{O}$ na cm^3 gleby),

$k(\Theta)$ — przewodnictwo kapilarne ($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$),

$\frac{\partial H}{\partial z}$ — gradient potencjału wilgotności.

Po wprowadzeniu równania ciągłości przepływu z uwzględnieniem pobierania wody przez korzenie S :

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = - \frac{\partial q}{\partial z} - S \quad (2)$$

otrzymamy równanie:

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(\Theta) \frac{\partial H}{\partial z} \right] - S \quad (3)$$

Jest to równanie różniczkowe drugiego rzędu typu parabolicznego, umożliwiające obliczenie wartości funkcji $\Theta(z, t)$, tj. wilgotności Θ w czasie t w punkcie oddalonym o z od początku układu.

Wielu autorów podało sposób numerycznego rozwiązania tego równania przy wykorzystaniu maszyny liczącej [3].

System korzeniowy oraz pobór wody przez roś-

liny. W cyklu rozwojowym rośliny ważną funkcję odgrywa wzrost oraz aktywność korzeni. Prawie cała ilość wody pobierana z gleby przez korzenie jest następnie oddawana przez rośliny do atmosfery drogą transpiracji. Przez roślinę woda przepływa stosunkowo swobodnie, utrudnienie występuje głównie na powierzchni korzeni oraz na powierzchni liści.

Zjawisko dopływu wody do korzeni jest jeszcze mało poznane [6], a badania ograniczone. Molz [4] wprowadzić propozycję podziału systemu korzeniowego na strefę „efektywną” i „aktywną”, zależnie od poboru wilgoci w okresie wegetacji. Kowalik i Zaradny [3] analizując dopływ wody do korzeni przyjmują zrównoważony bilans wodny roślin, czyli:

$$Ea = \int_0^t \int_0^L S(z, t) dz dt \quad (4)$$

gdzie:

Ea — transpiracja (w cm),

$S(z, t)$ — jednostkowy pobór wody z gleby przez rośliny (w $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3} \text{s}^{-1}$) jako funkcje głębokości w profilu glebowym z oraz czasu t ,

L — głębokość rizosfery (w cm).

Dla celów praktycznych można przyjąć, że rozpatruje się stały przydział czasu, na przykład 1 dobę, i wtedy wartość S uśrednia się dla tego okresu; wówczas mamy:

$$Ea = \Delta t \cdot \int_0^L S(z) dz \quad (5)$$

gdzie:

Ea — to średnia wartość transpiracji aktualnej dla okresu Δt .

Model Molza określa wartość S jako funkcję głębokości z , czasu t oraz ilości i rozmieszczenia korzeni aktywnych. Przyjęto to w modelu jako wskaźnik do obliczeń ilości wody Ea , która może być przyjęta przez system korzeniowy.

SCHEMAT MODELU

W systemie nawodnień podsiąkowych ważne jest określenie optymalnego poziomu wody gruntowej, który uzupełniałby ubytki wilgoci z profilu na parowanie.

Obliczenia przepływu pionowego w strefie nie nasyconej wykonano dla sześciu zróżnicowanych poziomów wody gruntowej oraz przy różnej wielkości transpiracji — bez udziału opadów. Wielkość parowania z powierzchni gleby równa się zeru. Dane do symulacji obejmują: transpirację, krzywe pF, przewodnictwo kapilarne, gęstość korzeni, początkowy układ wilgotności profilu, porowatość gleby, głębokość zwierciadła

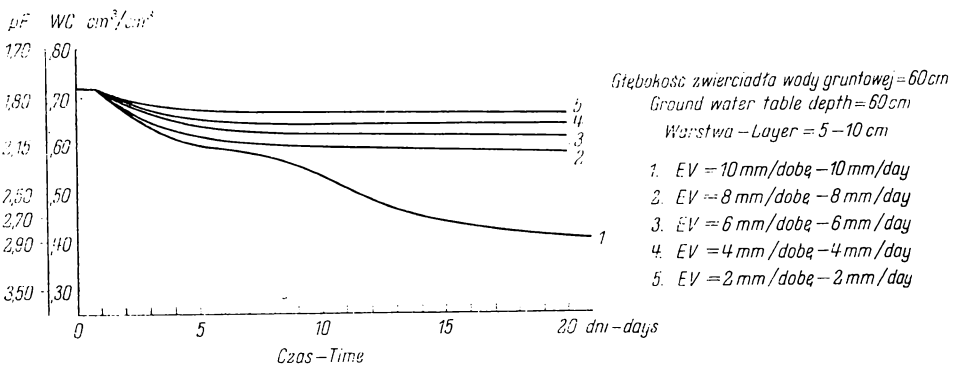
wody gruntowej oraz układ warstw w profilu. Wyniki obliczeń uzyskane z modelu obejmują: dynamikę wilgotności na głębokości 5–10 cm dla zróżnicowanych wartości transpiracji i wody gruntowej, układ wilgotności w profilu w zależności od głębokości lustra wody i transpiracji oraz zależności funkcyjne optymalnego poziomu lustra wody od wielkości rozchodów na transpirację. Symulację kontynuowano aż do momentu ustalenia się w glebie warunków równowagi (20 dni).

Fizyczny schemat modelu SMUCEW oraz opis numeryczny wraz z charakterystyką parametrów glebowych i schematem blokowym programu na maszynie licząca podano w innej pracy [5]. W niniejszej zamieszczono wyniki niektórych rozwiązań uzyskanych z obliczeń numerycznych. Badania przeprowadzono dla gleby torfowo-murszowej Mt II, występującej na obiekcie doświadczalnym IMUZ w Sosnowicy.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Symulacja dynamiki wilgotności gleby w zależności od transpiracji. Gdy analizuje się dostępność wody glebowej, to na ogół wyróżniamy dwie wielkości: połowę pojemność wodną (pF 2,0) oraz wilgotność odpowiadającą wodzie trudno dostępnej (pF 2,9). Połowa pojemność wodna przyjmowana jako górna granica zatrzymywania łatwo dostępnej wody dla roślin, punkt zaś odpowiadający pF 2,9 — jako granica dolna.

Celem tej pracy było ustalenie takiego poziomu wody gruntowej, który mógłby zabezpieczyć możliwość utrzymywania się w warstwie korzeniowej wilgotności w granicach połowej pojemności wodnej. W tym



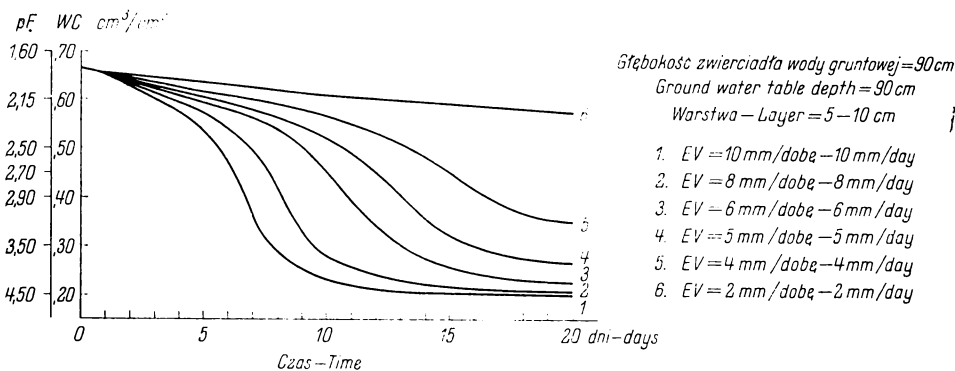
Rys. 1. Dynamika wilgotności (WC) w warstwie 5–10 cm w zależności od transpiracji (EV) przy ustalonym poziomie wody gruntowej na głębokości 60 cm w czasie 20 dni symulacji

Simulated dynamic water content (WC) in peat soil (5–10 cm depth) as a function of evapotranspiration (EV), with no rainfall, and constant water table depth (60 cm)

celu wykorzystując model SMUCEW uzyskano przebieg dynamiki wilgotności w strefie nie nasyconej dla określonych poziomów wody gruntowej przy zróżnicowanej wartości transpiracji.

W obliczeniach przyjęto poziom wody gruntowej na głębokościach: 40, 60, 70, 80, 90 i 100 cm, oraz wielkość transpiracji: 2, 4, 5, 6, 8 i 10 mm/dobę.

Na rys. 1 pokazano dynamikę wilgotności gleby na głębokości 5–10 cm jako funkcji transpiracji przy głębokości lustra wody 60 cm. Symulację rozpoczęto przy wilgotności profilu odpowiadającej połowej pojemności wodnej, określonej według Zawadzkiego i Olszty [9]. Jak widać dla $EV=2$ mm/dobę wilgotność gleby na głębokości 5–10 cm osiągnęła stan równowagi po około 7 dniach symulacji, dla $EV=4$ mm/dobę — po 9 dniach, zaś dla $EV=6$ mm/dobę — po 10 dniach. Dla transpiracji równej 8 mm/dobę gleba osiągnęła stan równowagi po około 20 dniach, zaś dla $EV=10$ mm/dobę w górnej 5–10-centymetrowej warstwie profilu nie ustalił się stan równowagi w czasie symulacji, osiągając w 20 dniu wilgotności $0,40 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ (pF 2,9), co odpowiada wodzie trudno dostępnej. Podobne obliczenia wykonano dla pozostałych stanów wody gruntowej. Rysunek 2 przedstawia dynamikę wilgotności gleby na głębokości 5–10 cm dla lustra wody na głębokości 90 cm.

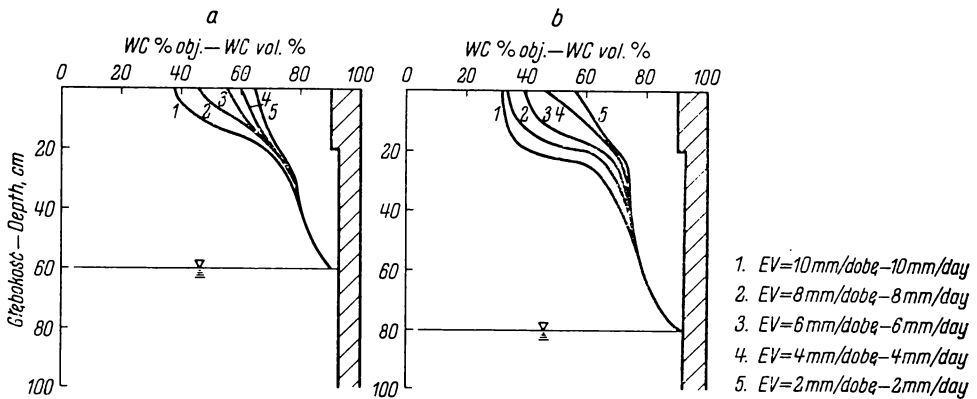


Rys. 2. Dynamika wilgotności (WC) w warstwie 5–10 cm w zależności od transpiracji (EV) przy ustalonym poziomie wody gruntowej na głębokości 90 cm w czasie 20 dni symulacji

Simulated dynamic water content (WC) in peat soil (5–10 cm) as a function of evapotranspiration (EV) with no rainfall and constant water table depth (90 cm)

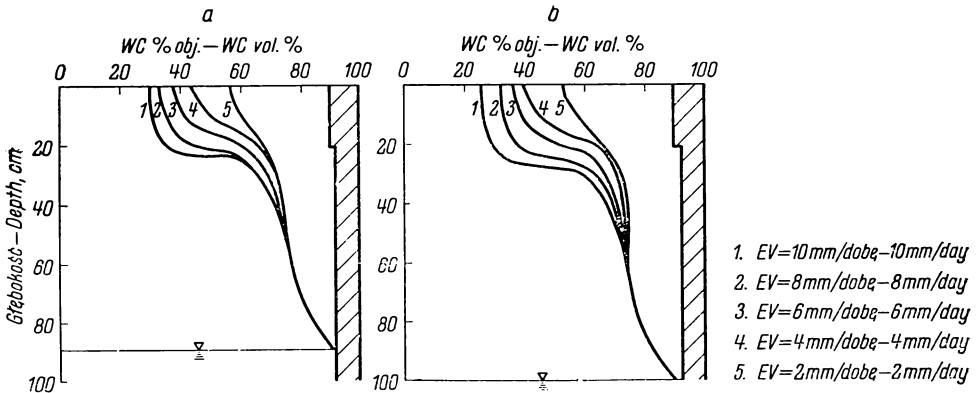
Układ wilgotności w profilu w 20 dniu symulacji przy głębokości wody gruntowej 60, 80, 90 i 100 cm podano na rys. 3 i 4. Jak widać, rozkład wilgotności w profilu przy ustalonym poziomie wody gruntowej jest wyraźnie uzależniony od wielkości transpiracji.

Znaczne zróżnicowanie wilgotności występuje w warstwie korzeniowej 0–20 cm i mniejsze dla głębszych warstw profilu. Różnice te są większe dla poziomu wody na głębokości 90 i 100 cm (rys. 4). Przy wy-



Rys. 3. Układ wilgotności (WC) w profilu w 20 dniu symulacji przy zróżnicowanych rozchodach na transpirację (EV) dla ustalonego lustra wody na głębokości a — 60 cm, b — 80 cm

Simulation of water content (WC) distribution after 20 days in a profile of peat soils as a function of evapotranspiration, with no rainfall, for a constant groundwater table depth
a — 60 cm, b — 80 cm

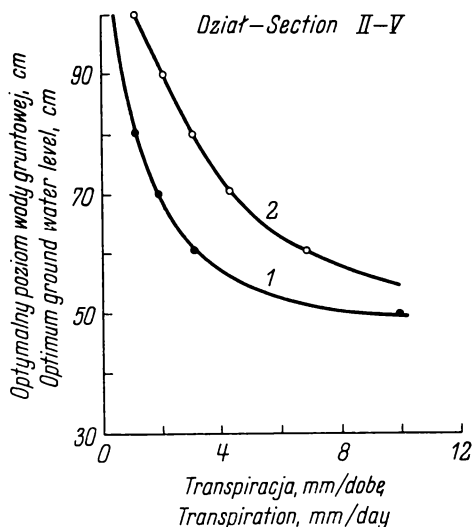


Rys. 4. Układ wilgotności (WC) w profilu w 20 dniu symulacji przy zróżnicowanych rozchodach na transpirację (EV) dla ustalonego lustra wody na głębokości a — 90 cm, b — 100 cm

Simulation of water content (WC) distribution after 20 days in a profile of peat soil as a function of evapotranspiration with no rainfall, for a constant groundwater table depth
a — 90 cm, b — 100 cm

sokim zaleganiu wód gruntowych (do 100 cm) układ wilgotności w profilu zależy więc bardzo wyraźnie od wielkości ewapotranspiracji oraz od położenia zwierciadła wody. Wyniki tych badań posłużyły do określenia tzw. optymalnego poziomu wody gruntowej.

Optymalny poziom wody gruntowej. Podstawą do określenia optymalnego poziomu wody gruntowej było założenie, że wilgotność w 5-10-centymetrowej warstwie odpowiadać powinna w przy-



Rys. 5. Zależność między optymalnym położeniem wody gruntowej a transpiracją (EV). Wilgotność w warstwie 5–10 cm odpowiada
1 — pF 2, 2 — pF 2,15

Simulated relation between optimum water table depth and evapotranspiration (EV) rate for water content in the 5–10 cm layer corresponding with
1 — pF 2, 2 — pF 2,15

bliżeniu połowej pojemności. W rozważanym przypadku przyjęto dwie wilgotności warstwy korzeniowej: połową pojemność wodną (pF 2) oraz wilgotność odpowiadającą pF 2,15. Uzyskaną z symulacji zależność między optymalnym poziomem wody gruntowej a transpiracją przedstawiono na rys. 5.

Jeżeli wielkość parowania dobowego wynosi np. 4 mm, to optymalna głębokość lustra wody, zapewniająca warstwie 5–10 cm wilgotność odpowiadającą pF 2 (dla badanej gleby), wynosi 55 cm, dla utrzymania zaś w warstwie korzeniowej wilgotności odpowiadającej pF 2,15 poziom lustra wody powinien być na głębokości około 70 cm. Należy jednak dodać, że tzw. optymalny poziom wody gruntowej z punktu widzenia połowej pojemności wodnej może być niekorzystny z punktu widzenia natlenienia gleby oraz jej nośności względem maszyn i zwierząt.

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań wyjaśniają, jak należy interpretować rozkład wilgotności gleby jako funkcji głębokości wody. Operowanie zwierciadłem wody gruntowej jako wskaźnikiem stanu wilgotności gleby w okresie suszy jest bardzo ogólne i można go wiązać tylko z tak zwa-

nym „optymalnym” położeniem zwierciadła wody gruntowej, przy którym rozchody na parowanie uzupełniane są w całości przez efektywny podsiąk kapilarny (rys. 5). Przekroczenie tzw. optymalnego poziomu lustra wody powoduje spadek podsiąku, gleba więc stopniowo wysycha w czasie (zależnie od wielkości transpiracji), począwszy od połowej pojemności (pF 2,0), przez wilgotność odpowiadającą dolnej granicy wody dostępne (pF 2,9), aż do całkowitego wysuszenia gleby (pF 4,2) (rys. 2).

Przeprowadzone badania dotyczą ustalonych warunków przepływu. Brak jest jeszcze porównania danych obliczeniowych z doświadczalnymi. Przedstawiona praca ilustruje zjawisko ruchu wody w strefie profilu glebowego, może więc być pomocna w dalszych badaniach polowych i modelowych nad gospodarką wodną gleb.

LITERATURA

- [1] Feddes R. A.: Water, heat and crop growth. Wageningen 1971.
- [2] Kowalik P.: Zarys fizyki gruntów. Gdańsk 1973 [skrypt P.G.].
- [3] Kowalik P., Zaradny H.: Simulation model of the soil water dynamics for layered soil profile with fluctuating water table and water uptake by roots. J. of Hydrological Sciences, 5, 1978, 2.
- [4] Molz F. J.: Interaction of water uptake and root distribution. Amer. Soc. Agron. J. 63, 1971, 608-610.
- [5] Olszta W.: Symulation of dynamic soil moisture under conditions of constant evapotranspiration and constant water table depth. Zesz. probl. Post. Nauk rol. 1977, 197.
- [6] The soil — Root Interface Symposium, Oxford 1978 [streszczenie referatów — Biblioteka IMUZ Falenty].
- [7] Zaradny H., Kowalik P.: Rozwiązania równań pionowego przepływu wody w gruntach i glebach nie nasyconych. Arch. Hydrot. 18, 1971, 2, 3.
- [8] Zawadzki S.: Laboratoryjne oznaczanie zdolności retencyjnych utworów glebowych. Wiad. IMUZ, 11, 1970, 2.
- [9] Zawadzki S., Olszta W.: Określenie połowej pojemności wodnej w oparciu o krzywe pF (w druku).

В. ОЛШТА

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЛИЯНИЮ ЗЕРКАЛА ГРУНТОВЫХ ВОД И ТРАНСПИРАЦИИ НА СИСТЕМУ ВЛАЖНОСТИ В ПРОФИЛЕ ТОРФЯНО-МУРШЕВОЙ ПОЧВЫ ПО МЕТОДУ СИМУЛИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Лаборатория физики мелиорированных почв,
Институт мелиорации и зелёных угодий в Люблине

Резюме

Источником влаги для растений являются атмосферные осадки, а также капиллярный подъем с горизонта зеркала грунтовой воды сквозь ненасыщен-

ную зону почвенного профиля. Капиллярный подъем и потребление влаги растениями зависит, кроме свойств почвы, прежде всего от глубины грунтовых вод, густоты и распределения корней и от величины испарения и транспирации.

Предметом испытаний являлась симуляция одномерного движения влаги в ненасыщенной зоне при заложенном (данном) горизонте грунтовой воды и при неизменной транспирации.

В результате исследований, полученных при симуляции, охватывали: динамику и режим влажности в почвенном профиле в зависимости от глубины зеркала грунтовой воды, транспирации и длительности симуляции, а также функциональную зависимость оптимального горизонта зеркала воды от величины расхода на транспирацию.

Статья поясняет на примере теоретические аспекты движения воды в ненасыщенной зоне почвенного профиля и может быть полезна при ведении дальнейших полевых исследований, служащих моделью в области водного режима почв.

W. OLSZTA

INVESTIGATIONS CONCERNING THE EFFECT OF THE GROUND
WATER TABLE AND TRANSPIRATION ON THE MOISTURE
DISTRIBUTION IN THE PROFILE OF PEAT-MUCK SOILS
BY THE SIMULATION MODELLING METHOD

Laboratory of Physics of Reclaimed Soils,
Institute for Land Reclamation and Grassland Farming,
Branch Division in Lublin

Summary

The moisture supply of the crop is provided by precipitation, soil moisture storage and upward flow of water from the water table through unsaturated porous media. The flow of water in unsaturated soil and uptake of moisture by the root system is determined by the texture and structure of the soil, water table depth, root density and evapotranspiration.

The objective of these investigations was the simulation of one-dimensional water movement in unsaturated zone under conditions of constant evapotranspiration and constant water table depth.

The results of this simulation are: dynamic and distribution of water content in the soil profile as a function of groundwater level, evapotranspiration and time, and "optimal" water table as a function of evapotranspiration. The simulation was run 21 days until "steady state" conditions were reached.

Theoretical aspects of unsaturated flow of water through the soil are discussed in this work, which can be made use of in the continuation of field and simulation investigations of the water economy of soils.

