

Andrzej REINHARD

Automatyczne sterowanie wilgotnością gleby za pomocą piętrzenia wody zastawkami

Abstract

Automatic control of soil moisture using the gates damming up the water. The example of use of mathematical model to description of working the set controlling soil moisture with regulated gates is presented in the paper. In this model the groundwater movement is described by Richards equation, which was solved the finite differences method. Application of this model allowed to make the analysis of working the device to control the gates.

Key words: control, soil moisture, mathematical model.

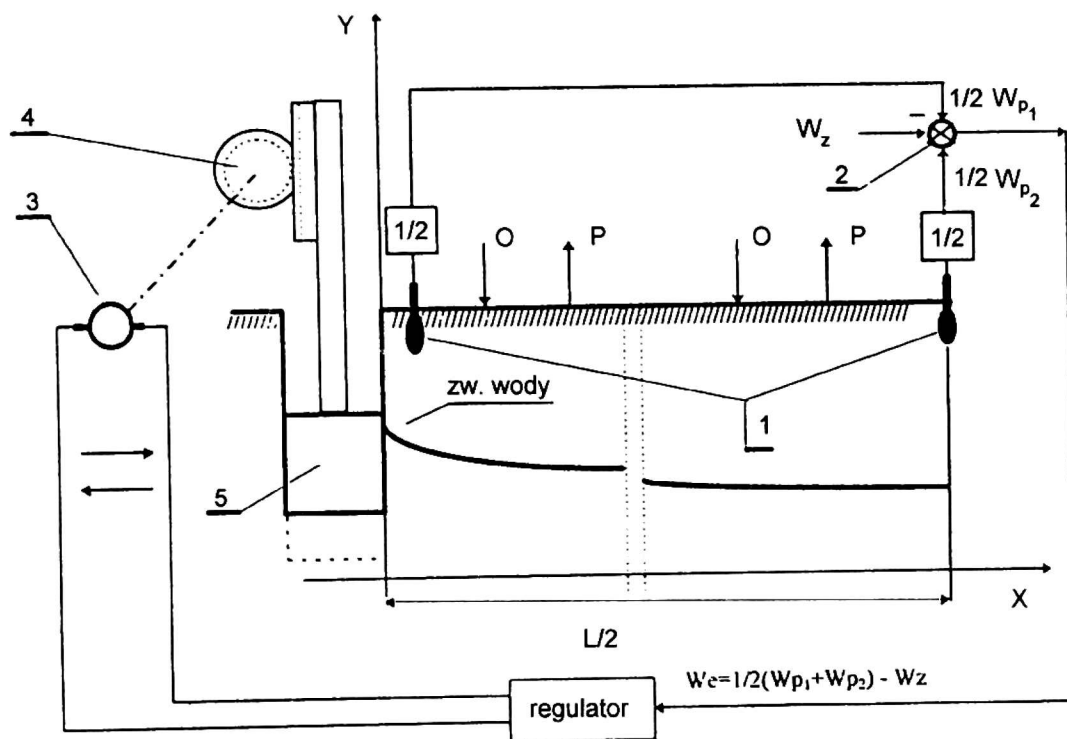
Wstęp

Racjonalne sterowanie zasobami wodnymi możliwe jest przez wykorzystanie urządzeń melioracyjnych służących do utrzymywania właściwych stosunków powietrzno-wilgotnościowych dla danej uprawy (Brandyk 1990). Zabieg taki można przeprowadzić stosując automatyzację urządzeń melioracyjnych. W niniejszej pracy przedstawiono sterowanie wilgotnością gleby za pomocą regulowanych zastawek. Pomiar ciśnienia ssącego gleby, które przeliczane są następnie na wilgotność gleby, wykorzystując krzywą pF , dokonywane są w środku łąny i w pobliżu rowu na określonej głębokości. Sygnał $W_a = 1/2(W_{p_1} + W_{p_2})$ pochodzący

od czujników pomiarowych 1 (rys. 1) porównywany jest w węźle sumacyjnym 2 z wartością sygnału zadanego W_z , która określa (zadaje) wilgotność, jaka powinna być utrzymywana na tej głębokości. W przypadku stwierdzenia zbyt dużej ilości wody, w mierzonych punktach zostaje uruchomiony silnik elektryczny 3, powodując obniżanie zastawki 5 oraz obniżenie poziomu wody w rowie i odwrotnie, gdy ilość wody w badanych punktach jest niewystarczająca (Węgrzyn 1986).

Opis matematyczny układu sterowania wilgotnością gleby

Obiektem regulacji jest gleba, która powinna na określonej głębokości (zależnej od rodzaju uprawy) utrzymywać zadaną wilgotność. Założono, że na wilgotność gleby w prezentowanym przykładzie decydujący wpływ ma poziom wody w rowie, opady atmosferyczne, ewapotranspiracja aktualna i przesiąki w głąb profilu glebowego. W przykładzie tym tylko poprzez zmianę poziomu wody w rowie można w sposób niezależny od warunków atmosferycznych, glebowych i ewentualnych przesiąków wpływać na wilgotność gleby i dlatego wielkość tę



RYSUNEK 1. Sterowanie wilgotnością gleby za pomocą regulowanych zastawek: 1 – tensjometry, 2 – węzeł sumacyjny, 3 – silnik elektryczny, 4 – przekładnia mechaniczna, 5 – zastawka, O – opady atmosferyczne, P – ewapotranspiracja aktualna, Wp_1 , Wp_2 – sygnały z czujników tensjometrycznych, Wz – zadana wielkość sygnału (wilgotność gleby)

wybrano jako sygnał wejściowy (regulujący).

Analizę pracy opisanego urządzenia do sterowania wilgotnością gleby przeprowadzono wykorzystując równanie Richardsa, dla którego poziom wody w rowie, opady atmosferyczne, przesiąki i ewapotranspiracja aktualna są warunkami brzegowymi.

Równanie to można zapisać następująco (Richards 1931):

$$C_c(\Psi) \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left[K(\Psi) \frac{\partial H}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[K(\Psi) \frac{\partial H}{\partial x} \right] \quad (1)$$

gdzie:

K – przewodność hydrauliczna ($m \cdot s^{-1}$),

Ψ – potencjał macierzysty ($m \cdot H_2O$),

H – potencjał całkowity ($m \cdot H_2O$),

$$H = \Psi + y \quad (m \cdot H_2O),$$

y – potencjał grawitacyjny ($m \cdot H_2O$),

t – czas (d),

$$C_c = \frac{d\Theta}{d\Psi} \text{ – różniczkowa pojemność wodna (m}^{-1}\text{),}$$

$$C_c = 0 \text{ dla } \Psi \leq 0$$

Θ – zawartość wody w glebie ($m^3 \cdot m^{-3}$).

Dla wyznaczenia rozkładu ciśnień ssących i wilgotności w badanym przekroju glebowym wykorzystano metodę różnic skończonych dyskretyzując przestrzeń wspomnianego obszaru (rys. 2).

Różnicowa postać równania Richardsa dla punktu $H_{i,j}$ ma postać (rys. 2):

$$C_c^k \left(H_{i,j}^{k+1} \right) = \frac{2}{\Delta x_j + \Delta x_{j+1}} \cdot K_{i,j+1/2}^k \frac{H_{i,j+1}^{k+1} + H_{i,j}^{k+1}}{\Delta x_{j+1}} - \frac{2}{\Delta x_j + \Delta x_{j+1}}$$

$$\begin{aligned}
 & \cdot K_{i,j-1/2}^k \frac{H_{i,j}^{k+1} - H_{i,j-1}^{k+1}}{\Delta x_j} + \frac{2}{\Delta y_i + \Delta y_{i+1}} \cdot \\
 & \cdot K_{i+1/2}^k \frac{H_{i+1,j}^{k+1} + H_{i,j}^{k+1}}{\Delta y_{i+1}} - \frac{2}{\Delta y_i + \Delta y_{i+1}} \cdot \\
 & \cdot K_{i-1/2,j}^k \frac{H_{i,j}^{k+1} + H_{i-1,j}^{k+1}}{\Delta y_i} \quad (2)
 \end{aligned}$$

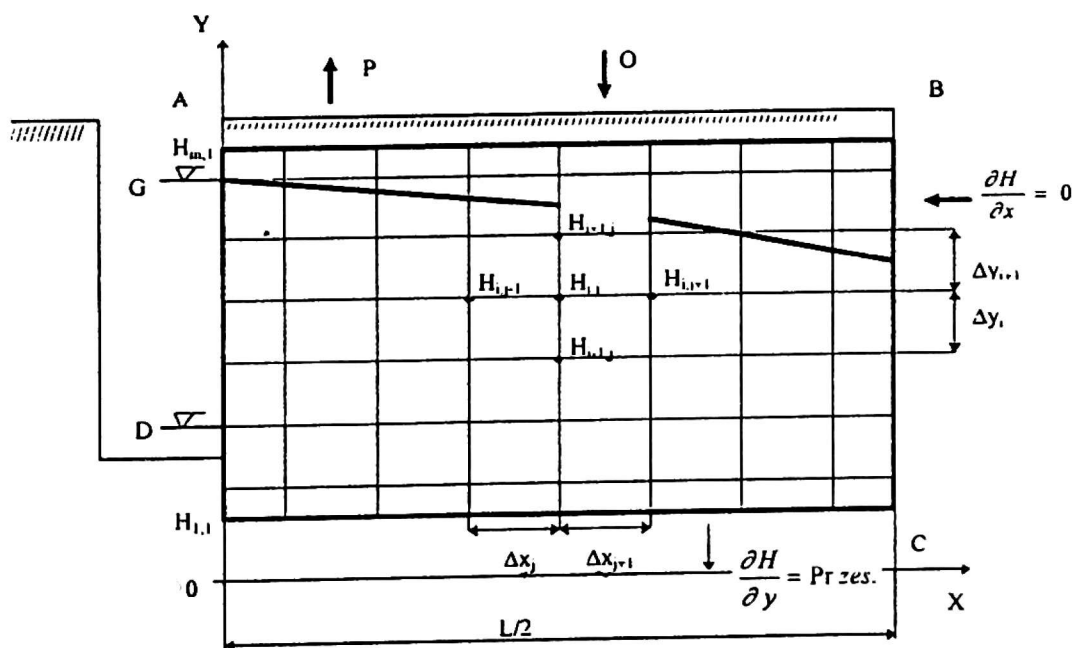
gdzie:

$$K_{i,j\pm 1/2} = \sqrt{K_{i,j} K_{i,j\pm 1}}$$

$$K_{i\pm 1/2,j} = \sqrt{K_{i,j} K_{i\pm 1,j}}$$

Wypisując równania, obowiązujące we wszystkich punktach węzłowych siatki dyskretyzującej badany obszar, oraz uwzględniając warunki brzegowe utworzono układ równań, w którym niewiadomymi są wartości funkcji $H_{i,j}$. Warunkami brzegowymi (rys. 2) wzdłuż prostej OA są wartości funkcji w punktach od $H_{1,1}$ do $H_{1,m}$ odpowiadające poziomowi wody

w rowie (warunek Dirichleta), wzdłuż prostych: BC założono zerowy przepływ poziomy, OC zerowy przepływ pionowy (Przes.= 0) są to warunki Neumana, natomiast wzdłuż prostej AB warunkami brzegowymi są opady atmosferyczne i ewapotranspiracja aktualna, które również reprezentują warunek Neumana. Po rozwiązaniu układu równań otrzymano wartości funkcji $H_{i,j}$ dla wszystkich punktów węzłowych siatki, a dla punktów leżących w wierzchniej warstwie gleby określono dodatkowo jej wilgotność. Aktualna wilgotność gleby $W_a = 1/2 \cdot (W_{p1} + W_{p2})$ porównana zostaje następnie z wilgotnością zadaną W_z , a wielkość będąca wynikiem porównania $W_e = W_a - W_z$ zostaje wprowadzona na wejście regulatora. Sygnał wyjściowy z regulatora zostaje podany na silnik elektryczny 3, który poprzez przekładnię mechaniczną 4 powoduje podniesienie względnie opuszczenie zastawki 5 (rys. 1) w zależności od znaku sygnału W_e .



RYСУNEK 2. Siatka prostokątna na badanym obszarze: O – opady atmosferyczne, P – ewapotranspiracja aktualna

Analiza działania układu regulacji automatycznej

W prezentowanym przykładzie zwierciadło wody regulowane zastawką może osiągać dwa stany – górny i dolny (rys. 2). Stan górny zwierciadła wody utrzymywany jest w przypadku niedoboru wody w wierzchniej warstwie gleby, a stan dolny, gdy gleba jest zbyt wilgotna. Tak długo jak wielkość We jest dodatnia, zastawka znajduje się w położeniu dolnym D , natomiast gdy wartość We zmieni swój znak na ujemny, zastawka przyjmuje położenie górne G . Po dokonaniu pomiaru wilgotności gleby i stwierdzeniu zmiany znaku sygnału We , wprowadzone zostają nowe warunki brzegowe do równania (2), wynikające ze zmiany położenia zastawki i zwierciadła wody w rowie. Następnie ze wspomnianego układu równań dla nowych warunków brzegowych wyliczane są kolejne wartości funkcji $H_{i,j}$ we wszystkich punktach węzłowych siatki i wyliczona zostaje nowa wilgotność gleby, która ponownie zostaje porównana z wilgotnością zadaną Wz . Dalsze działania układu powtarza się wg opisanej powyżej procedury.

W celu stwierdzenia poprawności działania przedstawionego sposobu regulowania wilgotnością gleby, opracowano program w języku Turbo Pascal. W programie tym wykorzystano różnicową postać równania Richardsa (2), za pomocą której, wraz z opisanymi warunkami brzegowymi, przeprowadzono analizę działania układu regulacji. Analizę działania tego układu przeprowadzono dla profilu glebowego, który można uważać za jednorodny i dla którego krzywą prze-

wodności hydraulicznej można opisać wzorami (Keulen van, Wolf 1986):

$$\begin{aligned} K &= K_s && \text{dla } \Psi \geq \Psi_w \\ K &= K_s e^{\alpha(\Psi_w - |\Psi|)} && \text{dla } \Psi_{\text{char}} < \Psi < \Psi_w \\ K &= a|\Psi|^{-1,4} && \text{dla } \Psi \leq \Psi_{\text{char}} \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie:

- Ψ_w – ciśnienie wejścia dla powietrza ($\text{m} \cdot \text{H}_2\text{O}$),
- Ψ_{char} – charakterystyczna wielkość ciśnienia ($\text{m} \cdot \text{H}_2\text{O}$),
- K_s – współczynnik filtracji ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$),
- a, α – współczynniki liczbowe ($\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$ i m^{-1}),

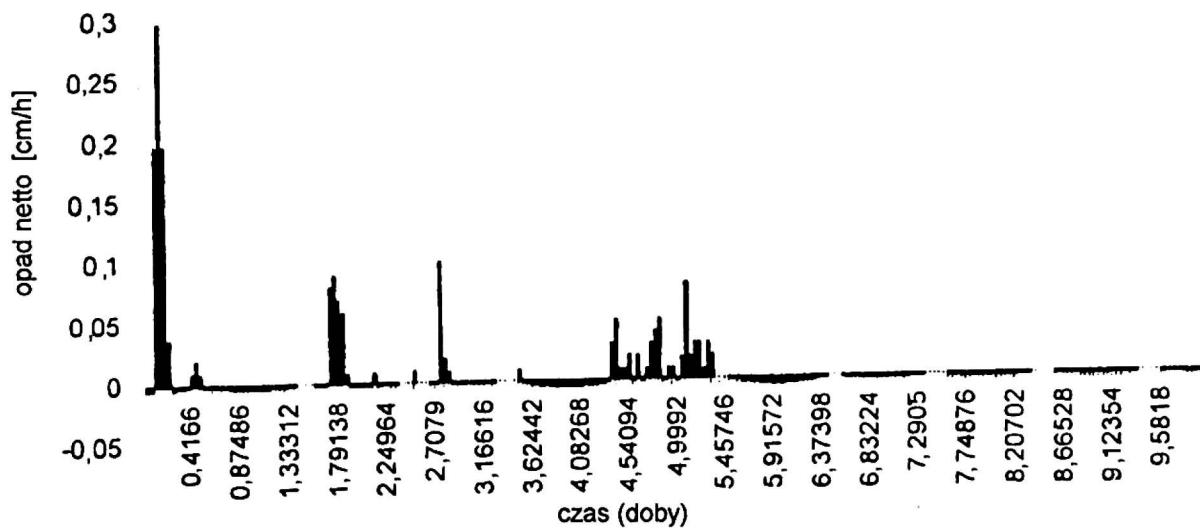
a krzywą pF wyraża zależność (Reinhard 1992):

$$\Theta = \Theta_s e^{-\gamma(\ln|\Psi|)^2} \quad (4)$$

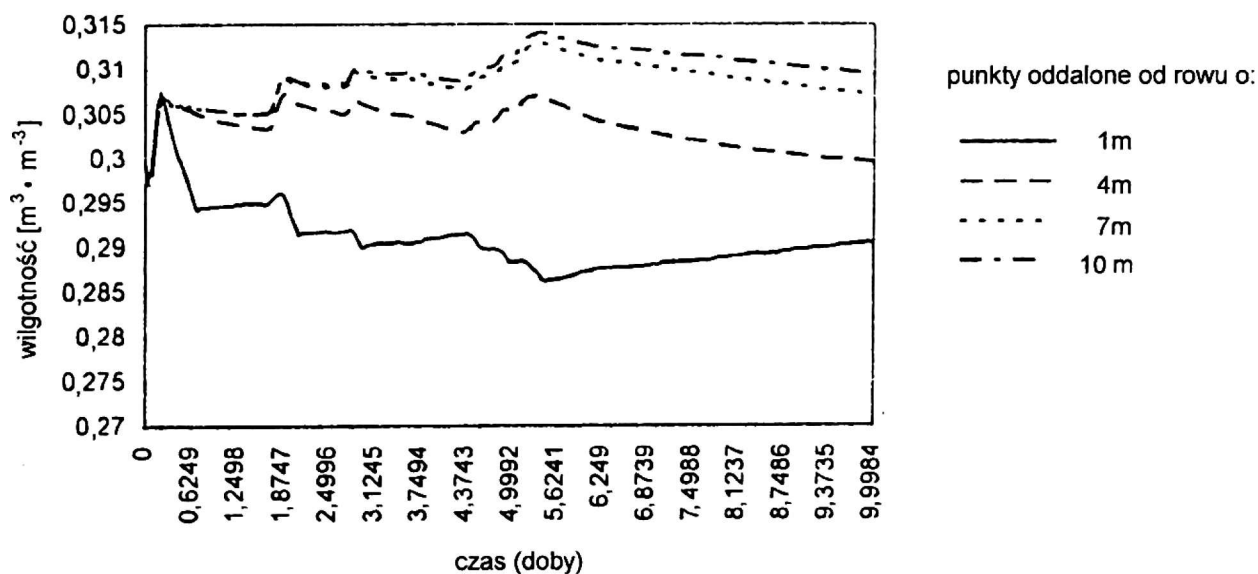
gdzie:

- γ – współczynnik liczbowy (m^2),
- Θ – zawartość wody w glebie ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$),
- Θ_s – zawartość wody odpowiadająca pełnemu nasyceniu gleby ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$).

Do obliczeń przyjęto następujące dane $K_s = 0,265 \text{ md}^{-1}$, $\Psi_{\text{char}} = 2 \text{ m}$, $\Psi_w = 0,01 \text{ m}$, $\alpha = 3,98 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-1}$, $a = 0,164 \text{ m}^{2,4} \text{ d}^{-1}$, $\gamma = 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-2}$, $\Theta_s = 0,439 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$. Prezentowany przykład dotyczy rowów o rozstawie $L = 20 \text{ m}$ i głębokości $1,2 \text{ m}$, w których stan górny zwierciadła wody wynosi $G = 0,4 \text{ m}$, a stan dolny $D = 0,8 \text{ m}$ (wielkości te mierzone są od powierzchni terenu). Założono następnie, że wilgotność gleby na głębokości $0,3 \text{ m}$ w chwili początkowej wynosiła $\Theta = 0,30 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ i taka też wilgotność ma być utrzymywana na tej głębokości. Przyjęto, że opady atmosferyczne i ewapotranspiracja aktualna w rozpatrywanym przedziale czasu



RYSUNEK 3. Rozkład opadów netto



RYSUNEK 4. Rozkład wilgotności gleby w punktach oddalonych od rowu o 1,4,7 i 10 m na głębokości 0,3 m

były zmienne i wielkości te przedstawiono na rysunku 3. Rysunek 4 przedstawia rozkład w czasie uwilgotnienia gleby na głębokości 0,3 m w czterech punktach oddległych od rowu o 1,4,7 i 10 metrów. Z rysunku tego można odczytać, że pomimo działania zmiennych warunków atmosferycznych, wilgotność gleby wahała się od 0,286 do 0,314 $m^3 \cdot m^{-3}$, co jest wynikiem działania układu regulacji automatycznej.

Podsumowanie

1. W niniejszej pracy zaprezentowano przykład wykorzystania modelu matematycznego do opisu działania układu sterującego wilgotnością gleby za pomocą regulowanych zastawek. W modelu tym ruch wody gruntowej i glebowej opisany został za pomocą równania Richardsa, które rozwiązano stosując metodę różnic skończonych.

2. Zastosowanie modelu matematycznego, opisującego ruch wody w profilu glebowym, wywołany warunkami atmosferycznymi i regulowanym poziomem wody w rowach, pozwoliło na przeprowadzenie analizy działania urządzenia sterującego zastawkami.

3. Zastosowany układ regulacji automatycznej poziomu wody w rowach za pomocą zastawek umożliwia utrzymanie zadanej wilgotności w badanym profilu glebowym z dokładnością $\pm 1,4\%$ dla warunków atmosferycznych przedstawionych na rysunku 3.

4. Opisany model matematyczny umożliwia nie tylko symulację pracy regulowanych zastawek, ale i innych urządzeń melioracyjnych (np. deszczowni, przepompowni) dla dowolnych warunków atmosferycznych i różnych gleb.

Literatura

- BRANDYK T. 1990: *Podstawy regulowania uwilgotnienia gleb dolinowych*. Wydaw. SGGW-AR, Warszawa.
- KEULEN van H., WOLF J. 1986: *Modelling of agricultural production: weather, soils and crops*, Pudoc, Wageningen.
- REINHARD A. 1992: *Ruch wody glebowej i grunтовой w strefach saturacji i aeracji wywołany działaniem drenu w różnych warunkach atmosferycznych*, Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Rozprawa Habilitacyjna nr 103, Wrocław.
- RICHARDS L.A. 1931: *Capillary conduction of liquids through porous mediums*. Physics 1.
- WĘGRZYN S. 1986: *Podstawy automatyki*. PWN, Warszawa.

Adres autora

A. Reinhard
Instytut Melioracji i Kształtowania Środowiska
AR we Wrocławiu
50-363 Wrocław, pl. Grunwaldzki 24