

Anna ORŁOWSKA, Agnieszka WAGNER

Katedra Kształtowania Środowiska SGGW
Department of Environmental Engineering WAU

Algorytm sterowania nawodnieniami wodami o różnej zawartości azotu

Algorithm of irrigation management for various nitrogen concentrations in water

Słowa kluczowe: sterowanie nawodnieniami, wody gorszej jakości, bilans azotu

Key words: irrigation control, low quality water, nitrogen balance

Wprowadzenie

Ograniczone zasoby wód powodują konieczność wykorzystywania do nawodnień wód o gorszej jakości, przez które rozumie się wody zasolone i oczyszczone ścieki (Chodak i in. 1995, Angelakis i Bontoux 2001). Nawadnianie wodami gorszej jakości, zawierającymi podwyższone stężenia związków azotu, fosforu i potasu, oprócz poprawy bilansu wodnego gleby, ma również wpływ na bilans pokarmowy. Można dzięki temu ograniczyć zużycie nawozów w rolnictwie oraz zmniejszyć ładunek biogenów odprowadzanych do wód powierzchniowych i gruntowych (Pescod 1992, Vazquez-Montiel 1996, Angelakis i Bontoux 2001). Pozwala to

na zatrzymanie i przywrócenie tych związków do obiegu w przyrodzie.

Nie należy dopuszczać do nadmiernego nagromadzenia się substancji pokarmowych w glebie, gdyż są to związki łatwo ulegające wymywaniu i stanowiłyby zagrożenie dla wód gruntowych, co niesie ryzyko spożywania wody z dużą ilością azotanów, i powierzchniowych, co prowadzi, wraz z fosforanami, do eutrofizacji zbiorników. Znaczne nagromadzenie się związków azotu i potasu powoduje również obniżenie jakości plonów. Dlatego też wielu autorów zwraca uwagę, że przy wykorzystaniu wód gorszej jakości należy uwzględnić potrzeby pokarmowe roślin (Kutera 1990, Vazquez-Montiel 1996, Krzywy i Iżewska 2004).

Celem prac było opracowanie algorytmu sterowania nawodnieniami wodami o różnej zawartości azotu. Algorytm, którego podstawą jest bilans wodno-azotowy, uwzględnia zarówno potrzeby wodne, jak i azotowe roślin.

Teoretyczne podstawy algorytmu

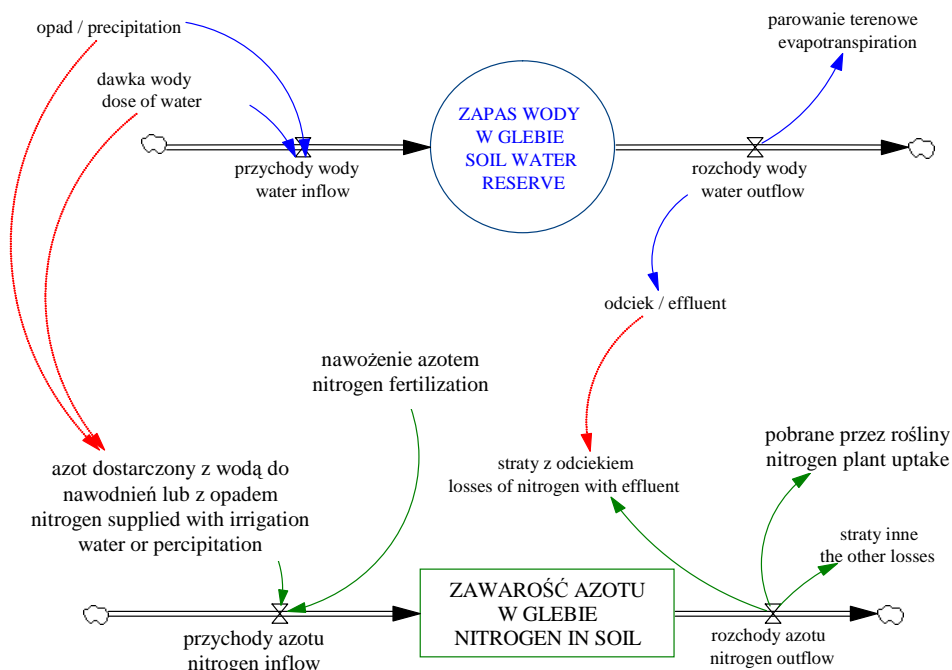
Sterowanie nawadnianiem ma na celu zapewnienie optymalnego uwilgotnienia gleby i zaopatrzenie roślin w wodę w każdej fazie rozwoju. Efektywność nawadniania oraz uzyskanie wysokich i dobrych jakościowo plonów zapewniają (Pescod 1992):

- zastosowanie właściwego systemu nawadniającego,
- dostarczenie odpowiedniej ilości wody o odpowiedniej jakości we właściwym czasie,
- optymalne zaopatrzenie roślin w substancje nawozowe,
- kontrola zasolenia gleby,
- system drenarski do odprowadzenia nadmiaru wody.

Metoda bilansowa sterowania nawodnieniami jest znana i stosowana w praktyce (Vazquez-Montiel 1996).

Jednak dotychczas obejmuje ona jedynie sterowanie czynnikiem wodnym, bez uwzględnienia czynnika pokarmowego.

W metodzie bilansowej decyzję o nawadnianiu podejmuje się na podstawie dobowych bilansów przychodów i rozchodów wody z warstwy gleby o kontrolowanym uwilgotnieniu. Przychodami są: opad efektywny oraz dawki polewowe, po stronie rozchodów jest ewapotranspiracja. Według Drupki (1976), bilansowanie powinno zacząć się 2 tygodnie przed rozpoczęciem optymalnego okresu nawadniania danej uprawy, rozpoczynając od szacowanego lub pomierzonego zapasu wody, następnie odejmuje się wskaźniki dobowego zużycia wody lub dodaje opady znaczące. Nawadnianie powinno nastąpić, kiedy zapas wody łatwo dostępnej zbliża się do zera.



RYSUNEK 1. Schemat algorytmu bilansu wodno-azotowego
 FIGURE 1. Scheme of water-nitrogen balance algorithm

Bilans azotowy uwzględnia po stronie przychodów: dawkę substancji pokarmowych wprowadzonych do gleby z nawozami, opadem lub wodą do nawodnień; natomiast po stronie rozchodów: azot pobierany przez rośliny oraz straty przez wymywanie, denitryfikację i ulatnianie się amoniaku (Mazur 1991).

Schematycznie bilans wodny i azotowy oraz związki między nimi przedstawiono na rysunku 1. Algorytm wodno-azotowy sterowania nawodnieniami jest opracowany w programie Vensim, udostępnionym przez Ventana Systems, Inc. Program Vensim pozwala na kompleksowe zgromadzenie wielu parametrów, elementów środowiskowych oraz zależności między nimi i przedstawienie ich w funkcji czasu. Elementy oraz zależności je łączące opisane są w formie diagramów zależności. Dane wejściowe do algorytmu, pochodzące z pomiarów lub danych literaturowych, są następujące:

- początkowy zapas wody w glebie,
- ewapotranspiracja w poszczególnych fazach rozwoju,
- wielkość dawki polewowej,
- częstotliwość nawadniania,
- stężenie związków NPK w wodzie do nawodnień,
- zawartość początkowa składników pokarmowych w glebie,
- zapotrzebowanie roślin na składniki pokarmowe w poszczególnych fazach rozwoju.

Na podstawie symulacji otrzymuje się jako dane wyjściowe:

- zapasy wody w glebie w czasie okresu wegetacyjnego i po jego zakończeniu,
- zawartość składników pokarmowych w czasie trwania okresu wegetacyjnego oraz po jego zakończeniu.

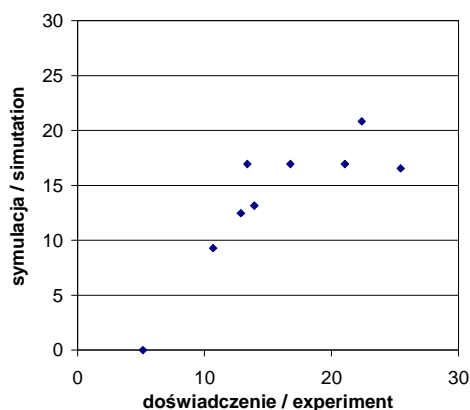
Sprawdzenie algorytmu

Funkcjonowanie algorytmu sprawdzono przez porównanie wyników symulacji z rezultatami doświadczeń przeprowadzonych w Katedrze Kształtowania Środowiska SGGW. Analizy przeprowadzono oddzielnie dla części bilansu azotowego i wodnego algorytmu. Jako miary dopasowania policzono współczynnik korelacji i determinacji.

Wyniki bilansu azotowego zostały porównane z wynikami doświadczenia wazonowego przeprowadzonego w latach 2003 i 2004 (Orłowska 2003). Kolony, w których posadzono sałatę, były nawadniane oczyszczonymi ściekami z wiejskiej oczyszczalni ścieków w Głoskowie pod Piasecznem w dawce 3 i 5 mm. Ścieki te charakteryzowały się podwyższoną zawartością związków biogenych. W algorytmie bilans azotu policzono w sposób podstawowy: po stronie przychodu uwzględniono ładunek azotu (azot azotanowy i amonowy) dostarczony z wodą do nawodnień, po stronie rozchodów wymagania pokarmowe rośliny (sałata) na azot (55 kg N/ha – Kacperska i in. 2002).

Doświadczenie było przeprowadzone w warunkach bez opadu i bez odcieku. Wyniki doświadczenia i symulacji porównano dla 3 powtórzeń w 3 cyklach wegetacyjnych. Współczynnik korelacji dla bilansu azotowego wyniósł $R = 0,84$, współczynnik determinacji $R^2 = 0,70$. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki doświadczenia oraz symulacji przeprowadzonej dla części azotowej algorytmu.

Bilans wodny zweryfikowano na podstawie badań wazonowych przeprowadzonych w latach 1999–2000



RYSUNEK 2. Porównanie wyników doświadczenia i symulacji – azot [N mg/dm³ gleby]
 FIGURE 2. Comparison of experiment and simulation results – nitrogen [N mg/ dm³ of soil]

(Wagner 2001). Eksperyment został przeprowadzony w warunkach laboratoryjnych na kolumnie glebowej o nienaruszonej strukturze. Kolumna glebowa była wyposażona w TDR (Time Domain Reflectometer) – urządzenie do monitoringu wilgotności gleby, ustawione

na wadze w celu kontroli ubytku wody. Do algorytmu wprowadzono wartości ewapotranspiracji i odcieku oraz dawki polewowej z doświadczenia. Zapas wody w glebie wyznaczono na podstawie następującej zależności:

$$\Delta Z = I - ETR - q$$

gdzie:

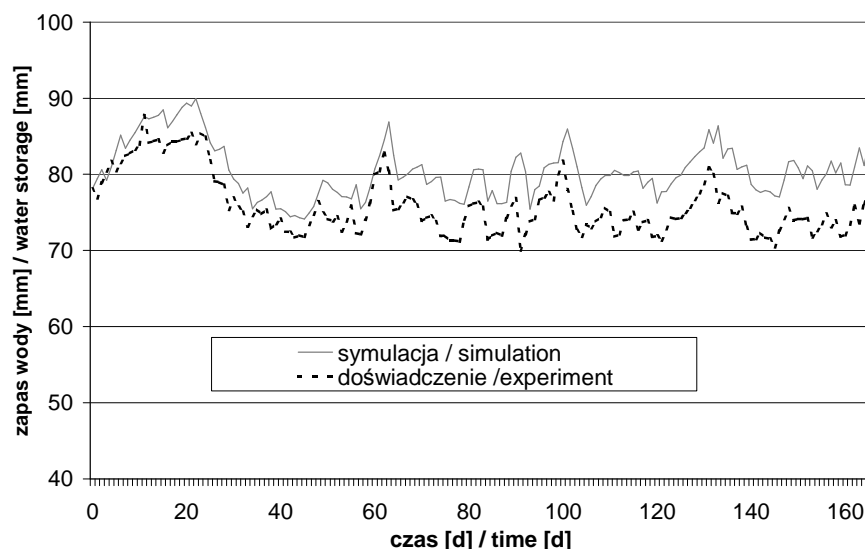
ΔZ – zmiana zapasów wody [mm],

I – dawka wody [mm],

ETR – ewapotranspiracja [mm],

q – odciek wody.

Doświadczenia trwało 165 dni i dla tego okresu przeprowadzono symulacje. Obliczony współczynnik korelacji dla bilansu wodnego wyniósł $R = 0,82$. Porównanie zapasów wody glebowej w doświadczeniu i z symulacji przeprowadzonej za pomocą sporządzonego algorytmu przedstawia rysunek 3.



RYSUNEK 3. Porównanie wyników doświadczenia i symulacji – zapas wody glebowej
 FIGURE 3. Comparison of experiment and simulation results – soil water storage

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona weryfikacja pozwala stwierdzić, że skonstruowany algorytm bilansu wodno-azotowego może być wykorzystany do sterowania nawodnieniami.

Algorytm pozwala kontrolować zmiany zapasów wody oraz zawartości azotu w glebie w okresie wegetacyjnym oraz dobór właściwej technologii nawadniania czy ewentualnego dodatkowego nawożenia.

Opracowana metoda sterowania nawodnieniami może znaleźć zastosowanie dla różnych rodzajów gleb i jakości wód stosowanych do nawodnień, roślin o różnym zapotrzebowaniu na składniki pokarmowe, przede wszystkim azot, oraz uwzględnić wielkość i rozkład opadu atmosferycznego.

Proponowana metoda bilansu wodno-azotowego sterowania nawodnieniami, której zasadą są podstawowe równania bilansów wodnego i azotowego gleby, może zapełnić lukę, jaką jest brak podobnego narzędzia do sterowania nawodnieniami, i mieć zastosowanie w praktyce.

Literatura

- ANGELAKIS A.N., BONTOUX L. 2001: Wastewater reclamation and reuse in Eureau countries. *Water Policy* 3: 47–59.
- CHODAK T., SHEAFFER J.R., NALBERCZYŃSKI A. 1995: Poprawa bilansu wodnego poprzez rolnicze wykorzystanie ścieków oczyszczonych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 418: 101–109.
- DRUPKA S. 1976: Techniczna i rolnicza eksploatacja deszczowni. PWRiL, Warszawa.
- KACPERSKA I., OŚWICIMSKI W., PRZERADZKI D., STOJANOWSKA J. 2002:

Opracowanie zaleceń nawozowych w ogrodnictwie. Wydaw. SGGW, Warszawa.

- KRZYWY E., IŻEWSKA A. 2004: Gospodarka ściekami i osadem ściekowym. AR Szczecin.
- KUTERA J. 1990: Stan i technologie wykorzystania ścieków i gnojowicy w rolnictwie oraz spodziewane efekty w ochronie wód. PWRiL, Warszawa.
- MAZUR T. 1991: Azot w glebach uprawnych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- ORŁOWSKA A. 2003. Zmiany chemicznych właściwości gleby lekkiej pod wpływem nawadniania oczyszczonymi ściekami. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu* 355. *Melioracje i Inżynieria Środowiska*. 24: 157–164.
- PESCOD M.B. 1992: Wastewater treatment & use in agriculture. FAO Irrigation & Drainage paper 47. Rome.
- VAZQUEZ-MONTIEL O., HORAN N.J., MARA D.D. 1996: Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. *Wat. Sci. Tech.* 33, 10–11: 355–36.
- WAGNER A., JEZNACH J., PTACH W. 2003: Ocena funkcjonowania systemu nawodnień kropkowych w warunkach nawadniania oczyszczonymi ściekami. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska* XII, 2(27): 20–26.
- WAGNER A., SZATYŁOWICZ J., JEZNACH J. 2001: Water balance and nutriety reduction In soil irrigated by low quality water Rusing drip system. *Review Faculty of Engineering and Environmental Sciences Warsaw Agricultural University* 22: 429–430.

Summary

Algorithm of irrigation management for various nitrogen concentrations in water. Irrigation management with low quality water should take into account a water balance as well as nutrient balance. Paper presents an algorithm of irrigation management. This algorithm connects water and nitrogen balance. Water balance includes: precipitation, irrigation, evapotranspiration and effluent. Nitrogen balance consists of nitrogen from precipitation or irrigation water and fertilization as inflow; leaching and plant uptake as outflow.

Autor's adress:

Anna Orłowska
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
Katedra Kształtowania Środowiska
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa
Poland