

SYSTEM OBLICZENIOWY POTRZEB I NIEDOBORÓW WODNYCH
ROŚLIN I WYNIKI JEGO ZASTOSOWANIA NA 17 STACJACH

Stanisława Sarnacka

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Warszawie

System

Niedobory wodne roślin rolniczych wyznacza się z ogólnie znanego równania bilansowego:

$$N = ET_a - P - ERU_p + ERU_k + H, \quad (1)$$

w którym N oznacza niedobory wodne w milimetrach za dany okres, ET_a - sumę ewapotranspiracji aktualnej, P - sumę opadów, ERU_p i ERU_k (oznacza także $WŁD_p$ i $WŁD_k$) - zapas wody łatwo dostępnej w glebie na początku i końcu okresu, dla którego wyznacza się N , H - odpływ.

Z wymienionych elementów bilansowych tylko P , okresową sumę opadów w milimetrach, otrzymuje się bezpośrednio z pomiarów na najbliższej badanemu punktowi stacji meteorologicznej. Do sumy tej nie wprowadza się współczynników korygujących opad, pomimo że nie jest to sprawa całkowicie bezsporna, gdyż na przykład według FAD [2] sumy te powinno się zmniejszać, a według poglądów wyrażanych w kraju - zwiększać; brak jest jednak wystarczającej liczby doświadczeń, które by jedno z tych dwu założeń uzasadniały.

Wyznaczenie pozostałych składników bilansowych wymaga poczynienia różnych, dalej omawianych, założeń przyjęcia wartości parametrów oraz wybrania właściwych metod obliczeniowych. Wzajemnie powiązany zbiór przyjęć, parametrów i metod obliczeniowych, umożliwiających obliczenie ET_p i ET_a , ERU_p , ERU_k , N i H , nazywany dalej systemem obliczeń niedoborów wodnych roślin, stanowi - wraz z przykładami wyników jego zastosowania - przedmiot tej pracy.

Pierwszymi w kolejności obliczeń elementami systemu służącymi do wyznaczania ewapotranspiracji aktualnej są: wzór Penmana w modyfikacji francuskiej do obliczenia ewapotranspiracji potencjalnej (ETp) oraz wartości współczynników przeliczeniowych kc (zwanymi także współczynnikami biologicznymi), służących do przekształcania ETp w ETa, to znaczy w ewapotranspirację aktualną według zależności:

$$ETa = kc \cdot ETp \quad (2)$$

Wzór Penmana w modyfikacji francuskiej, wartości parametrów kc oraz sposób ich obliczeń w okresie, gdy zależą one od ETp i opadu, szczegółowo omawiano w pracach [4, 6, 7, 9], a potrzebne tablice pomocnicze i schematy obliczeniowe podano w pracy [10]; informacje te nie będą tutaj powtarzane.

Dalszymi w kolejności parametrami systemu wprowadzanymi do obliczeń są początkowe i końcowe - w danym okresie - zapasy wody w glebie. Aby je wyznaczyć, trzeba by dysponować wynikami wieloletnich pomiarów wilgotności gleby i zmiennymi w czasie głębokościami zasięgu korzeni roślin lub - co uważa się za równoznaczne z głębokością tej warstwy, z której roślina pobiera wodę. Takimi danymi, gdy obliczamy potrzeby wodne dla planowania i projektowania nawodnień, nie dysponujemy i dysponować nie będziemy, szczególnie gdy chodzi o duże obszary. Konieczne jest zatem zastosowanie racjonalnie uzasadnionej metody oceny zapasów wody łatwo dostępnej dla roślin. W pracach [7, 11] przyjmowano ze stosunkowo dobrymi wynikami, że na początku okresów wegetacyjnych w marcu lub kwietniu (w zależności od roku) wilgotność gleby odpowiada połowej pojemności wodnej (PPW) oraz że wówczas wartości:

$$WOD = PPW - WTW \quad (3)$$

(gdzie: WOD-woda ogólnie dostępna, WTW-wilgotność trwałego wędnięcia roślin) można przyjmować dla naszych gleb według Ślusarczyka [13]. Dodatkowo zakładano, że woda łatwo dostępna będzie równa:

$$WŁD = 0,5 WOD \quad (4)$$

i że roślina czerpie wodę z warstwy o stałej miąższości. Założenia takie wystarczające do uzyskania pierwszej orientacji o wartościach WŁD uznano za zbyt mało dokładne, by włączyć je do przedstawionego systemu. Wprowadzono do niego zamiast określonej wartości WŁD wzór do jej obliczania zalecany przez FAO w 1977 roku [1]:

$$WLD = pk WOD d_i, \quad (5)$$

gdzie:

WLD - woda łatwo dostępna w warstwie gleby o grubości d_i ,

d_i - długość korzeni w centymetrach po czasie „i” przyjmowano w sposób podany dalej,

WOD - woda ogólnie dostępna w warstwie danej gleby o grubości 1 centymetra według Ślusarczyka [13]; (gdy WOD_s podane jest u Ślusarczyka dla grubości warstwy gleby na przykład 25 cm, to we wzorze (5) należy przyjąć $WLD = \frac{WOD_s}{25}$),

p - współczynnik w częściach jedności służący do wyznaczania WLD ze wzoru (5) w warunkach, gdy $3 \text{ mm/dobę} < ET_p < 8 \text{ mm/dobę}$. Wartości p przyjmuje się według FAO:

$p = 0,5$ dla buraków cukrowych,

$p = 0,55$ dla pszenicy

$p = 0,9$ dla pszenicy w fazie dojrzewania,

$p = 0,25$ dla ziemniaków;

k - współczynnik poprawkowy wynoszący według FAO:

$k = 1,3$, gdy $ET_p \leq 3 \text{ mm/dobę}$,

$k = 0,7$, gdy $ET_p \leq 8 \text{ mm/dobę}$,

$k = 1,0$, gdy $3 \text{ mm/dobę} < ET_p < 8 \text{ mm/dobę}$.

Informacje o długości korzeni są podobne w opracowaniu FAO 1977, lecz tylko dla okresu pełnego rozwoju rośliny, bez wskazania, jak się one kształtują w krótkich okresach rozwojowych (dekada, miesiąc).

W tej sytuacji do systemu wyznaczania niedoborów wodnych włączono głębokości korzeni podane dla poszczególnych dekad w danych miesiącach przez Roguskiego w 1982 roku [3] i zestawione w tabeli 1.

W systemie przyjmowano za odpływ w danym okresie dodatnią różnicę między opadem a sumą ewapotranspiracji aktualnej oraz dopełnieniem aktualnego zapasu wody w glebie do WOD .

Weryfikacja systemu

Przydatność systemu do obliczeń niedoborów wodnych oraz wiarygodność wyników sprawdzono, porównując wyznaczone przy jego zastosowaniu wartości sum miesięcznych ewapotranspiracji aktualnej w warunkach dostatecznego (ETA_1) i niedostatecznego zaopatrzenia w wodę (ETA_2) z wartościami, także sum miesięcznych, polowego

T a b e l a 1

Głębokość korzeni w metrach na glebach średnich o dobrej strukturze

Miesiąc	Dekada	Pszenica ozima	Jęczmień jary + wsiewka koniczyny	Buraki cukrowe	Rzepak ozimy	Ziemniaki
IV	1	0,30	0,10	--	0,30	--
	2	0,30	0,10	--	0,30	--
	3	0,40	0,20	0,10	0,40	--
V	1	0,50	0,30	0,20	0,50	0,20
	2	0,60	0,40	0,30	0,60	0,20
	3	0,70	0,50	0,40	0,70	0,20
VI	1	0,80	0,60	0,50	0,80	0,30
	2	0,90	0,70	0,60	0,90	0,40
	3	1,00	0,80	0,70	1,10	0,50
VII	1	1,10	0,90	0,80	1,10	0,60
	2	1,20	0,90	0,90	1,20	0,70
	3	1,20	0,90	1,00	1,20	0,70
VIII	1	1,20	0,30	1,10	1,20	0,70
	2	--	0,30	1,00	--	0,70
	3	--	0,40	1,00	0,10	0,70
IX	1	--	0,50	1,00	0,10	0,70
	2	--	0,60	1,00	0,20	0,70
	3	0,10	0,60	1,00	0,30	0,70
X	1	0,10	0,60	1,00	0,30	--
	2	0,20	0,60	1,00	0,30	--
	3	0,30	0,60	--	0,30	--

zużycia wody, uzyskanymi z pomiarów wilgotności gleby na kilku stanowiskach w rejonie Bełchatowa (poza zasięgiem leja depresji). Do sprawdzenia wykorzystano wyniki pomiarów wilgotności gleby określonej w odstępach dwutygodniowych w okresach wegetacyjnych w latach 1980-1983, z pominięciem miesięcy, w których obliczenia wykazywały wystąpienie odpływu.

Porównanie wyników uzyskanych z pomiarów i obliczeń przedstawionych na rysunku 1 wykazało dużą ich zgodność.

Wyniki

Dysponując zweryfikowanym systemem oraz danymi meteorologicznymi z niżej wymienionych stacji wyznaczono dla dekad okresów wegetacyjnych piętnastolecia (1966-1980) niedobory wodne pszenicy, buraków cukrowych i ziemniaków w dwóch regionach:

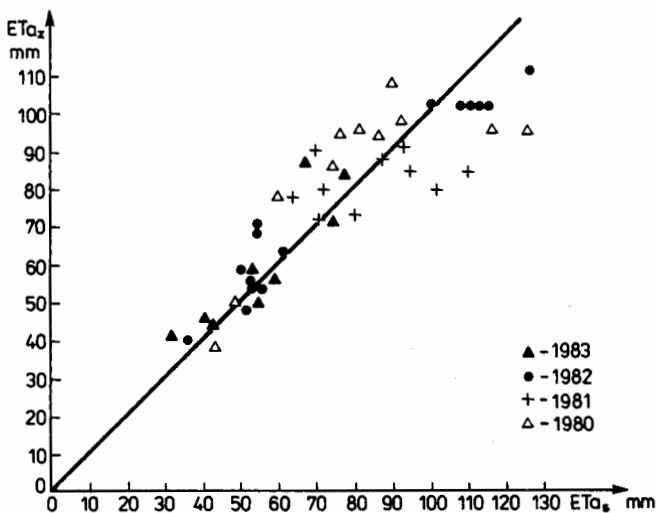
W pierwszym środkowo-zachodnim, ograniczonym na obwodzie stacjami: Gorzów Wielkopolski, Bydgoszcz, Skierniewice, Łódź, Kalisz, Leszno i ze stacjami Poznań, Kórnik i Wielichowo wewnątrz regionu położonego w przybliżeniu między równoleżnikami $51^{\circ}5'$ i 53° oraz południkami 15° i $19^{\circ}5'$,

T a b e l a 2

Sumy niedoborów wodnych roślin za całe okresy wegetacyjne w mm

Roślina	Sumy średnie z okresu 1966-1980 w regionie		Maksymalne i średnie z sum o prawdopodobieństwie 70% w regionie		Sumy maksymalne z okresu 1966-1980 w regionie	
	I	II	I	II	I	II
Burak cukrowy	86	40	* $\frac{153}{111}$	$\frac{121}{45}$	240	156
Pszenica	94	47	$\frac{157}{115}$	$\frac{111}{57}$	231	175
Ziemniak	165	107	$\frac{231}{191}$	$\frac{70}{130}$	326	242

*W liczniku maksima, w mianowniku średnie wartości prawdopodobne.



Rys. 1. Porównanie wartości ET_{a2} (obliczone) z ET_{a5} (pomierzonym) według Penmana. Lata 1980-1983

W drugim południowo-wschodnim, ograniczonym na obwodzie stacjami: Łódź, Puławy, Włodawa, Werbkowice, Ożańsk, Rzeszów, Tarnów i Kraków ze stacjami Skroniów i Świerklanie wewnątrz regionu położonego w przybliżeniu między równoleżnikami 50° i $51^{\circ}5'$ oraz południkami $19^{\circ}5'$ do $24^{\circ}5'$.

Niektóre wyniki przeprowadzonych obliczeń zestawione w tabeli 2 zawierają interesujące dane.

Jednym z ważniejszych wyników są niskie wartości sum niedoborów buraków cukrowych i pszenicy, wynoszące średnio rocznie około $1000 \text{ m}^3/\text{ha}$ (860 i $940 \text{ m}^3/\text{ha}$) w regionie I oraz do $500 \text{ m}^3/\text{ha}$ (400 i $470 \text{ m}^3/\text{ha}$) w regionie II.

Maksymalne sumy niedoborów, o prawdopodobieństwie 70%, są wyższe i wynoszą ponad $1500 \text{ m}^3/\text{ha}$ w regionie I i ponad $1200 \text{ m}^3/\text{ha}$ w regionie II.

Sumy niedoborów wodnych ziemniaków są prawie dwukrotnie większe niż buraków cukrowych i pszenicy: średnie roczne z wielolecia w regionie I i II wynoszą odpowiednio $1650 \text{ m}^3/\text{ha}$ oraz $1100 \text{ m}^3/\text{ha}$, a maksymalne prawdopodobne (70%) 2300 i $1700 \text{ m}^3/\text{ha}$. Znacznie większe niedobory wodne ziemniaków spowodowane są małym, gdyż tylko 25%, wykorzystaniem przez nie wody łatwo dostępnej, krótkim systemem korzeniowym oraz słabszymi glebami przeznaczonymi pod ich uprawę.

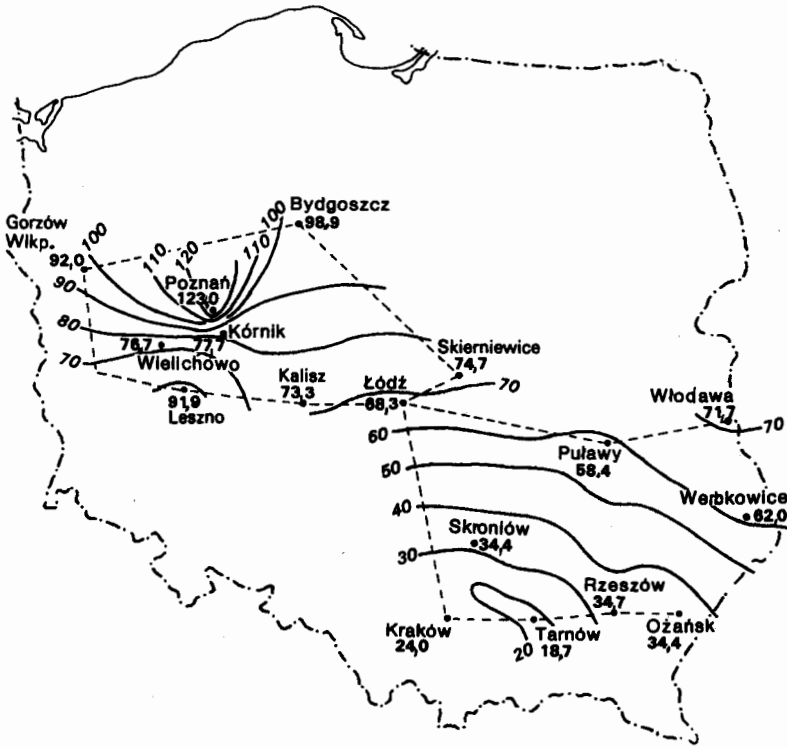
Należy podkreślić, że omawiane wartości są niedoborami uśrednionymi z 15 lat i 18 stacji, czyli z 270 przypadków.

Analiza niedoborów przeprowadzona na poszczególnych stacjach i w poszczególnych latach (miesiące, dekady) wykazała, że wartości te w zależności od wysokości opadów, a w szczególności od ich rozkładu w okresie wegetacyjnym kształtują się różnie, dając nieraz wyższe niedobory wodne buraków cukrowych w porównaniu z pozostałymi roślinami.

Bardzo duże różnice występują między niedoborami w obu regionach. Średnie sumy wieloletnie i średnie z sum o prawdopodobieństwie 70% są w regionie I dla pszenicy i buraków cukrowych przeszło dwukrotnie, a dla ziemniaków przeszło półtora-krotnie większe niż w regionie II.

Średnie z wielolecia 1966-1980 sumy niedoborów wodnych roślin za okres wegetacyjny wykazują wyraźną tendencję wzrostu z południa na północ - widoczne to jest na rysunku 2 - izolinii tych sum dla buraków cukrowych oraz na rysunku 3 - dla ziemniaków. Z obu rysunków odczytać można, że gradienty tego wzrostu są większe dla ziemniaków niż dla buraków cukrowych; z innych nie załączonych wykresów wynika, że są one również większe niż dla pszenicy.

Ogólne tendencje wzrostu niedoborów wodnych nie wykluczają dużych lokalnych zaburzeń przebiegu ich zmienności, jak na przykład w rejonie Poznania i Kórnik; wynika stąd, że aby było można sporządzić mapy izolinii podobne do wskazanych na

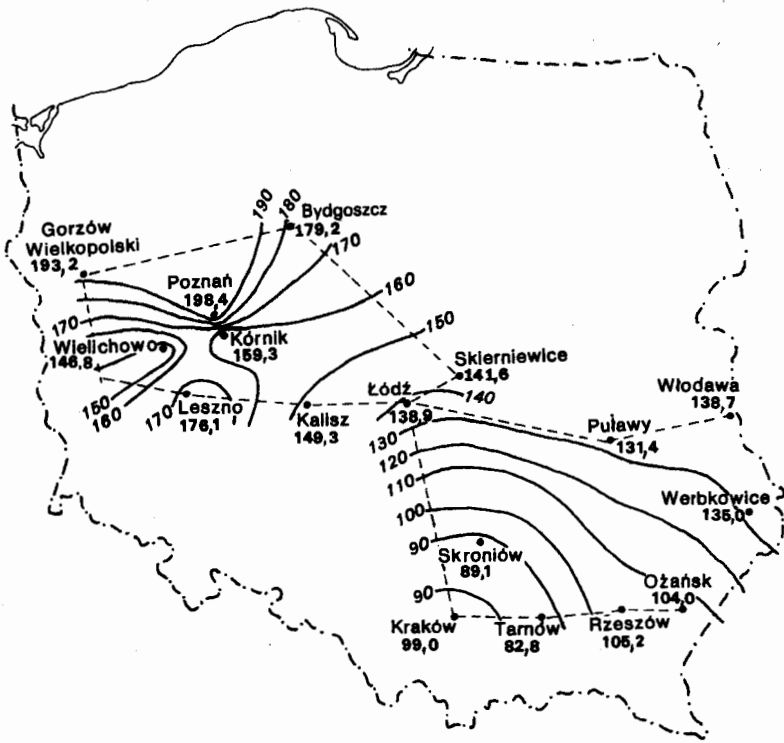


Rys. 2. Izolinie średnich z wielolecia 1966-1980 sum niedoborów wodnych buraków cukrowych za cały okres wegetacyjny, obliczonych wg Penmana

rysunkach 2 i 3, lecz przeznaczone do wykorzystywania w praktyce (do odczytywania z nich niedoborów wodnych w danym punkcie), trzeba by opierać się na wynikach pomiarów na znacznie większej niż w opracowaniu [17] liczbie stacji. Pokazane izolinie na rysunkach 2 i 3 nie są przeznaczone do tego celu - mają one jedynie wskazać na ogólne tendencje zmienności niedoborów wodnych.

Podsumowanie

Racjonalny system obliczeniowy złożony ze wzoru Penmana do wyznaczenia ewapotranspiracji potencjalnej (ETp), współczynników FAO do wyznaczania ewapotranspiracji aktualnej (ETa) i udziału wody łatwo dostępnej (WŁD) w wodzie ogólnie dostępnej (WOD) według Ślusarczyka [13] oraz długości korzeni badanych roślin według Roguskiego [3] umożliwia, jak udowodniono w wyniku przeprowadzonej weryfikacji, wyznaczenie wiarygodnych wartości niedoborów wodnych roślin uprawnych (N).



Rys. 3. Izolinie średnich z wielolecia 1966-1980 sum niedoborów wodnych ziemniaków za cały okres wegetacyjny, obliczonych wg Penmana

Przeprowadzone przy wykorzystaniu tego systemu wyznaczenia niedoborów wodnych dla 17 stacji w dwu dużych regionach kraju wykazały występowanie licznych regularności ich zmienności; niektóre z nich omawiano w niniejszej pracy.

Literatura

1. Doorenbos J., Pruitt W. D.: Irrigation and drainage paper 24 FAO. Rzym 1977.
2. Doorenbos J., Kassan A. H.: Irrigation and drainage paper 33 FAO. Rzym 1979.
3. Roguski W.: IMUZ (maszynopis). Bydgoszcz 1982.
4. Sarnacka S., Brzeska J., Świerczyńska H.: Biblioteka IMGW (maszynopis). Warszawa 1977.
5. Sarnacka S., Sokołowski W.: Biblioteka IMGW (maszynopis) Warszawa 1981.
6. Sarnacka S., Podolski R., Wojciechowski W.: Biblioteka IMGW (maszynopis) Warszawa 1982.
7. Sarnacka S., Podolski R.: Biblioteka IMGW (maszynopis) Warszawa 1983.
8. Sarnacka S., Brzeska J., Świerczyńska H.: Wiadomości IMGW, t. V, 3-4. Warszawa 1979.

9. Sarnacka S.: Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. . 277, 219-225, 1983.
10. Sarnacka S., Brzeska J., Świerczyńska H.: Materiały Badawcze. Seria: Gospodarka Wodna i Ochrona Wód. IMGW, Warszawa 1983.
11. Sarnacka S., Podolski R.: Biblioteka IMGW (maszynopis) Warszawa 1984.
12. Sarnacka S., Podolski R.: Synteza. Warszawa 1984, Biblioteka IMGW (maszynopis).
13. Ślusarczyk E.: Biul. Inf. - Melioracje Rolne 3, 53 Warszawa 1979.

C. Сарнацка

СИСТЕМА РАСЧЕТА ПОТРЕБНОСТЕЙ И НЕДОСТАТКА ВОДЫ В КУЛЬТУРАХ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ НА 17 СТАНЦИЯХ

Резюме

Представлено проверенную систему расчета недостатка воды в культурах основанную на формуле Пенмана для определения потенциальной эвапотранспирации (ET_p), на биологических коэффициентах пересчета ее на действительную эвапотранспирацию (ET_a) по ФАО [1, 2], а также на величинах следующих параметров: длине исследуемых корней растений по Рогускому [3], запасам обще доступной воды (ОДВ) по Слусарчику [13], а также доли в ней легко доступной воды (ЛДВ) по ФАО [1, 2].

Указаны результаты проведенной проверки. Определены величины недостатка воды в культурах, применяя указанную систему в двух больших районах страны, расположенных между 50 и 53 градусом северной широты. Полученные результаты указывают на пространственную и временную регулярность изменчивости недостатка воды. Примерно указываются некоторые закономерности пространственной изменчивости.

S. Sarnacka

COMPUTATIONAL SYSTEM OF PLANT WATER NEEDS AND DEFICIENCIES AND ITS USE AT 17 OBSERVATIONAL STATIONS

Summary

In the paper were presented verified computational system of plant water deficit based on Penman's formula used for estimation of potential evapotranspiration (ET_p), on biological coefficients for its recalculating into effective evapotranspiration (ET_a) following FAO [1, 2] and on the set of parameters (values): length of roots of the investigated plants following Roguski [3], water supplies commonly accessible (WOD) following Ślusarczyk [13] and easy accessible water participation in them (WLD) following FAO [1, 2].

Products of verification were presented. Determined were values of plant water deficits with use of the presented system in two big regions of the country, situated between 50 and 53 degree of the northern latitude have brought results showing some regularities of the spatial and temporal variability of deficits. Examples were given concerning some regularities of spatial variability.