

PROGNOZOWANIE DYNAMIKI WILGOTNOŚCI GLEBY ORAZ PLONÓW SIANA
METODĄ MODELOWANIA MATEMATYCZNEGO

Wenanty Olszta

Pracownia Fizyki Gleb Meliorowanych, Oddział IMUZ w Lublinie

WSTĘP

Czynnikiem decydującym o dynamice wilgotności gleby, oprócz opadów i transpiracji, jest intensywność podsiąku kapilarnego [1,7].

Gospodarowanie wodą w glebie sprowadza się najczęściej do dwustronnego regulowania wilgoci (odwodnienia, nawodnienia) w zależności od potrzeb roślin. Zarządzanie i sterowanie gospodarką wodną w systemach melioracyjnych, szczególnie dla wielkich obszarów, powinno polegać na szybkim uzyskiwaniu parametrów do optymalizacji i zarządzania produkcją. Istotne korzyści może tu wnieść zastosowanie metody modelowania matematycznego. Posługiwanie się tą metodą może mieć duże znaczenie praktyczne, szczególnie w odniesieniu do systemu gleba-roślina-atmosfera, gdzie zmienność i różnorodność zjawisk zachodzących podczas wzrostu roślin stwarza poważne kłopoty w kontrolowaniu przebiegu tych zjawisk.

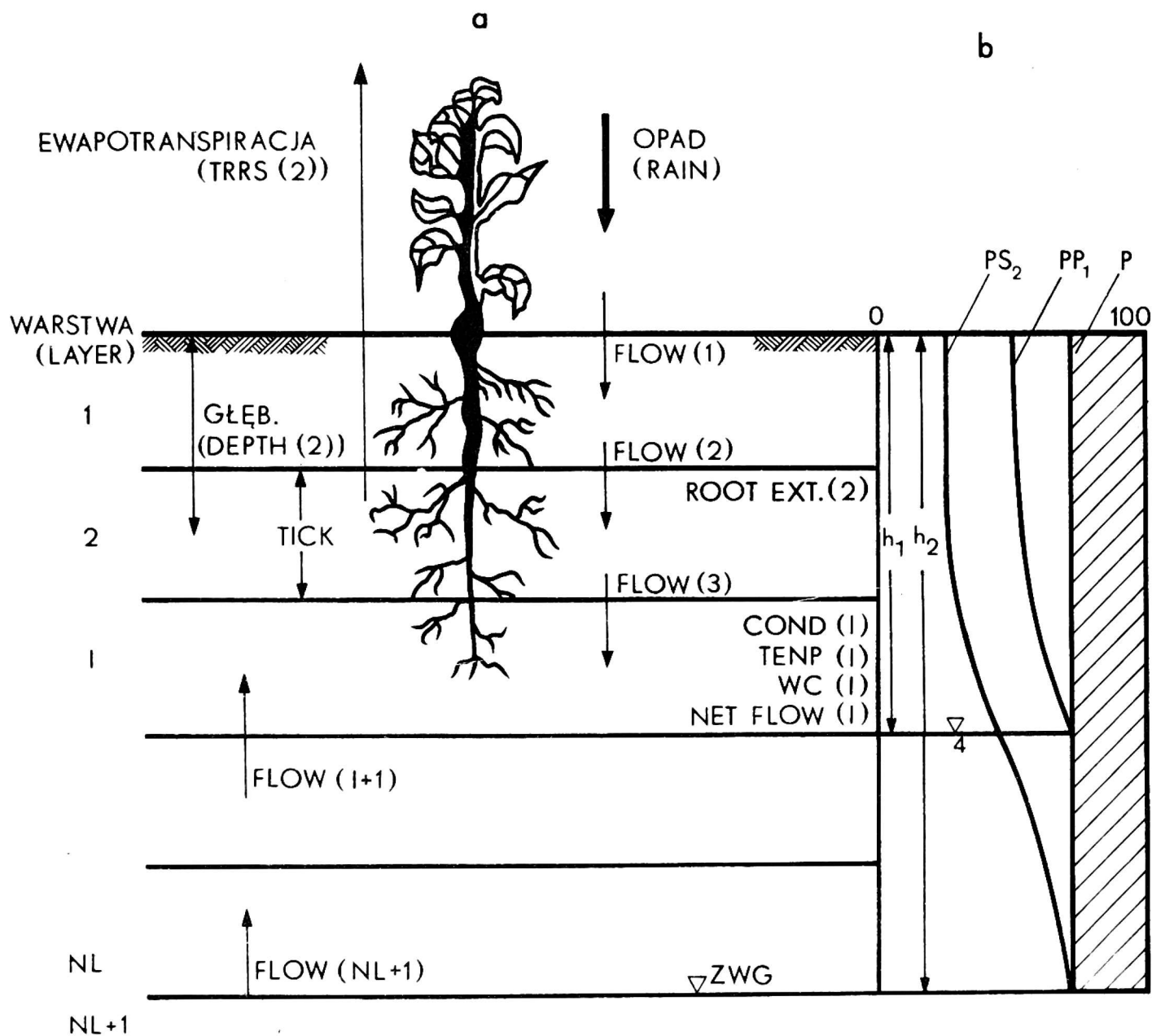
Przedmiotem pracy jest symulacja wpływu dynamiki wilgotności gleby, wzrostu roślinności łąkowej i reakcji zmian uwilgotnienia na przyrosty plonu siana - wykorzystując model UGWTPN [6].

Weryfikacja empiryczna obliczeń numerycznych przeprowadzona dla gleby torfowo-murszowej występującej w obiekcie doświadczalnym IMUZ w Sosnowicy wykazała dużą zgodność wyników modelowych z danymi z pomiarów polowych.

Wydaje się więc, że model UGWTPN może być wykorzystany w praktyce do kontrolowania bądź prognozowania gospodarki wodnej w nienasyconym profilu gleby.

SCHEMAT I ZAKRES MODELU

Model UGWTPN symuluje dynamikę uwilgotnienia gleby, wzrost traw oraz prognozowanie nawodnień w okresie wegetacji. Fizyczny schemat modelu przedstawiono na rysunku 1, zaś opis numeryczny wraz z charakterystyką parametrów glebowych i schematem blokowym programu na maszynie liczącej podano w pracy [6].



Rys. 1. Schemat fizyczny modelu UGWTPN

W niniejszej pracy zamieszczono wyniki niektórych rozwiązań uzyskanych z obliczeń numerycznych tj.:

- wielkość transpiracji dobowej,
- dynamikę zwierciadła wody gruntowej,
- dynamikę ciśnienia ssącego wody w profilu glebowym,
- przyrosty dobowe suchej masy siana.

Dane niezbędne do symulacji obejmują: opad dobowy, dobowe temperatury powietrza, promieniowanie słoneczne, krzywe pF, zależ-

ność przewodnictwa od ciśnienia ssącego gleby, porowatości gleby, zależność fotosyntezy netto, krytyczne wilgotności gleby ograniczające wzrost roślin oraz maksymalną głębokość poziomu wody gruntowej, jaka może wystąpić na badanym obszarze.

Ruch wody w strefie nienasyconej

Przepływ wody w glebie nienasyconej (v) opisywany jest równaniem:

$$v = -K(\theta) \frac{\partial S_n}{\partial Z} \quad (1)$$

gdzie: θ - wilgotność gleby,

K - przewodnictwo hydrauliczne,

$\frac{\partial S_m}{\partial z}$ - gradient potencjału wilgoci.

Po wprowadzeniu równania ciągłości przepływu z uwzględnieniem konsumpcji wody przez korzenie (q) otrzymamy równanie:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\theta) \frac{\partial S_m}{\partial z} \right] - q(\theta). \quad (2)$$

Równanie to z odpowiednimi warunkami granicznymi umożliwia obliczenie wartości funkcji $\theta(z, t)$ tj. wilgotności θ w czasie t w punkcie oddalonym o z od początku układu (powierzchni gleby). Dla rozwiązania tego równania są niezbędne następujące parametry funkcyjne uzyskiwane eksperymentalnie: $S_n(\theta)$, $K(\theta)$ oraz $q(\theta)$. Tak więc wartość funkcji $\theta(z, t)$ zależy od następujących czynników: $\theta = f(z, t, S_m, K, q)$.

System korzeniowy oraz pobór wody przez rośliny

W cyklu rozwojowym rośliny ważną funkcję spełnia wzrost oraz aktywność korzeni. Wind [11] podaje, że główna masa korzeni traw zalega w górnej 20 cm warstwie profilu gleby. Podobne wyniki uzyskał autor [5] badając rozmieszczenie i gęstość korzeni roślinności trawiastej w profilu gleby torfowo-murszowej.

Przyjmując zrównoważony bilans wodny rośliny [3], czyli że dopływ wody z gleby do korzeni roślin jest równy odpływowi z liści (transpiracja) otrzymamy:

$$E_a = \Delta t \int_0^{H_k} q(\theta) dz \quad (3)$$

gdzie: $q(\theta)$ - jednostkowy pobór wody z gleby przez rośliny jako funkcja wilgotności θ na głębokości z w czasie Δt ,

H_k - głębokość ryzosfery,

E_a - średnia transpiracja aktualna dla okresu Δt .

Funkcja $q(\theta)$ jest więc potrzebna do obliczenia wartości $\theta(z, t)$ oraz parowania terenowego E_a .

Ewapotranspiracja

Ewapotranspiracja jest sumą strat na parowanie z powierzchni gleby (ewaporacja) oraz parowanie z powierzchni liści roślin (transpiracja). Bezpośrednie pomiary tych strat mogą być wykonywane przy użyciu lizymetrów ważonych. Z uwagi na uciążliwość tych pomiarów dąży się do opracowania metody, wyznaczania wartości ewapotranspiracji opartej na pomiarze danych meteorologicznych, jak promieniowanie słoneczne, temperatura, wilgotność powietrza, prędkość wiatru itp.

Z licznej literatury na ten temat [2, 8, 9] wynika, że najczęściej stosowana jest koncepcja Penmana-Schofieldda oparta na pomiarze bilansu cieplno-termicznego, opisana szczegółowo przez Kowalika [4].

Parowanie E jest związane z ewapotranspiracyjną stratą ciepła Q_E :

$$E = Q_E/L = \frac{S}{S + 0.49} [R_{net} + H(T_a - T_d)] \quad (4)$$

gdzie: L - ciepło parowania równe $59 \text{ cal cm}^{-2} \text{ mm}^{-1} \cdot \text{H}_2\text{O}$,

T_d - temperatury punktu rosy,

T_a - temperatura powietrza,

R_{net} - radiacja netto z pomiarów lub z obliczeń uwzględniających zachmurzenie ($\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \text{ doba}^{-1}$),

H - współczynnik szybkości wiatru,

S - nachylenie krzywej ciśnienia nasyconej pary wodnej jako funkcja temperatury ($\text{mm} \cdot \text{Hg} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$).

Wynika stąd, że łatwo dostępne dane meteorologiczne, jak temperatura i wilgotność powietrza, wiatr i zachmurzenie są wystarczające do obliczenia parowania tzw. penmanowskiego.

Teoria Penmana nie uwzględnia w obliczeniach możliwości ograniczonego dopływu wody z gleby do rośliny. Obliczona więc we wzorze (4) wartość E nazywana jest ewapotranspiracją potencjalną.

Van Wijk i de Vries [10] proponują obliczać ewapotranspirację rzeczywistą roślin E_{re} według wzoru:

$$E_{re} = A \cdot E$$

gdzie: E - parowanie z mokrej powierzchni mającej właściwości roślin,

A - współczynnik redukcji zależy od rodzaju rośliny i wilgotności w strefie korzeniowej.

W niniejszej pracy wartość współczynnika A przyjęto jako stosunek wilgotności (WC) aktualnej w danym momencie w warstwie korzeniowej do wilgotności odpowiadającej połowej pojemności wodnej (FC) tej warstwy:

$$A = \frac{WC}{FC} \quad (6)$$

jeśli $WC \geq FC$ to $A = 1$, zaś dla $WC < FC$ usp. $A < 1$, zatem transpiracja rzeczywista będzie równa potencjalnej jeśli wilgotność gleby (WC) będzie równa lub większa od połowej pojemności wodnej (FC).

Dostępność wody glebowej dla roślin. Siła z jaką jest woda wiązana przez glebę, czyli ciśnienie ssące gleby S_m jest punktem wyjścia przy określaniu dostępności wody dla roślin. Relacja między ciśnieniem ssącym S_m a zawartością wody w glebie θ jest określona jako charakterystyka retencyjna gleby, nazywana powszechnie krzywą pF , czyli zależnością $S_m(\theta)$. Wskaźnik $pF = \log S_m$, gdzie S_m wyraża się w milibarach lub w cm słupa H_2O . Woda znajdująca się w glebie pomiędzy pF 1,7 i pF 4,2 teoretycznie może być zmagazynowana i wykorzystana przez rośliny jako tzw. potencjalna retencja użyteczna (PRU), obliczona w oparciu o funkcję $pF(\theta)$:

$$PRU = W_p \cdot \Delta x \quad (7)$$

gdzie: W_p - objętość wody dostępnej dla roślin w przedziale pF 1,7 - 4,2,

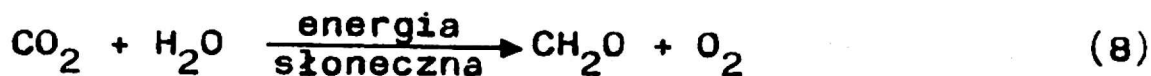
x - zasięg rizosfery.

Ze względu na konieczność zapewnienia właściwego zaopatrywania roślin w wodę łatwo dostępną, dąży się do wyznaczenia opty-

malnej zawartości wilgoci w glebie. Najczęściej przyjmuje się, że optymalna wilgotność zawiera się między połową pojemnością wodną (pF 2.0) a tzw. wilgotnością początku hamowania wzrostu roślin przyjmowaną w granicach pF 2,5-3,0. Należy tu podkreślić, że dopuszczalne uwilgotnienie graniczne oraz ilość wody dostępnej nie mogą być dla określonej gleby wielkościami stałymi, lecz będą związane z dynamiką rozchodów wody na transpirację i z położeniem rozpatrywanej warstwy w stosunku do zasięgu korzeni. Ustalenie granic dostępności wody glebowej nie jest więc łatwe, składa się na to wiele czynników jak gatunek roślin, jej wiek, głębokość ukorzenia oraz fizyczne cechy gleby [1].

Granice dostępności wody glebowej publikowane przez różnych autorów nie pokrywają się, a liczne badania w tym zakresie prowadzi się celem uściślenia tych granic.

P r o g n o z o w a n i e w z r o s t u r o ś l i n. Plon roślin przyjmuje się jako ilościową produkcję biomasy roślin w wyniku procesów fotosyntezy [4]. W procesie tym dwutlenek węgla wchłaniany do wnętrza liści przekształcony jest w węglowodany według następującej reakcji:

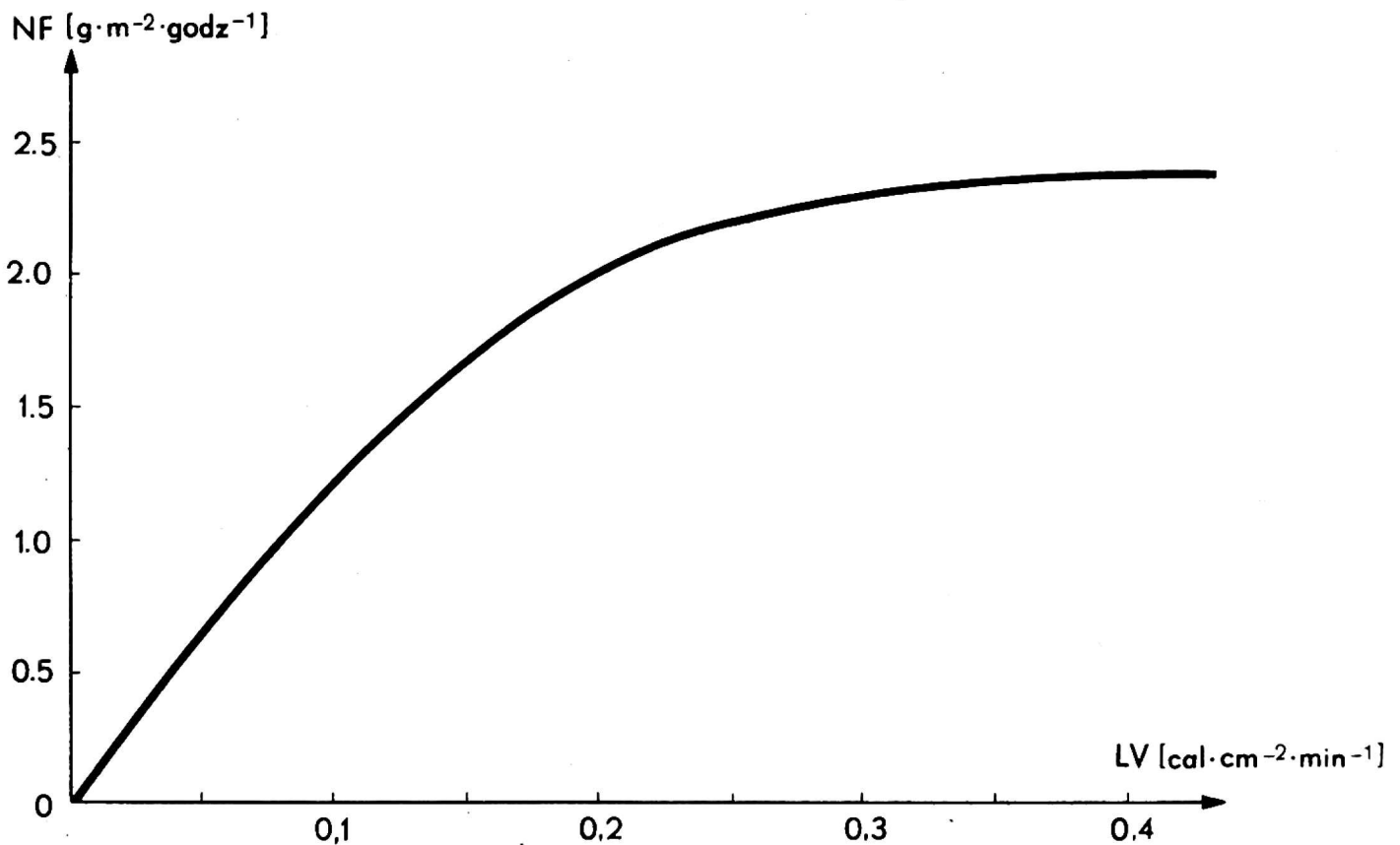


Stosownie do tego wyrażenia, jeżeli zapewniony jest odpowiedni dopływ CO_2 do komórek miękiszu liści oraz H_2O z gleby, to podstawowym czynnikiem decydującym o produkcji biomasy staje się promieniowanie słoneczne (radiacja), które jest główną składową bilansu energetycznego zarówno fotosyntezy, jak i transpiracji. Na rysunku 2 podano zależność między wydatkiem fotosyntezy (NF) a promieniowaniem widzialnym (LV) dla roślinności łąkowej według Saugur i Ripley [6].

Prowadząc na stacji meteorologicznej pomiar całkowitej radiacji ze słońca H_{sh} wielkość aktualnej średniej wartości radiacji widzialnej równa się: $H_a = 0,5 H_{sh}$.

Produkt fotosyntezy P_{pot} podczas wzrostu roślin jest zużywany częściowo (około 40%) na utlenienie węglowodanów, stąd fotosynteza netto będzie: $P_{net} = 0,60 P_{pot}$.

Z badań polowych, zarówno krajowych jak i zagranicznych wynika, że wśród całego kompleksu elementów kształtujących środowisko rozwoju roślin, szczególnie wyraźnie zaznacza swoje oddziaływanie temperatura powietrza oraz woda glebowa.



Rys. 2. Relacje między wydatkiem fotosyntezy (NF) a promieniowaniem widzialnym (LV) dla roślinności łąkowej (wg Saugur i Ripley) [6]

Jeśli przyjmiemy P_{net} - jako fotosynteza netto nie ograniczona zbyt niską lub wysoką temperaturą a P_T - fotosynteza netto ograniczona temperaturą, to można napisać:

$$P_{net} \geq P_T$$

oraz $a = P_T/P_{net}$

gdzie $0 \leq a \leq 1$

Podawane wartości współczynnika a dla traw są następujące:

$T, ^\circ C$	0	2	5	10	15	20	30
a	0.0	0.0	0.50	0.80	0.95	1.0	0.95

Podobnie jeśli plon ograniczony czynnikiem wodnym jest równy P_w to:

$$P_{net} \geq P_w$$

Wartość współczynnika redukcji plonu (C) przyjęto jako:

$$\frac{P_{akt}}{P_{pot}} \approx \frac{E_a}{E_o} \approx \frac{WC}{FC}$$

W przypadku, gdy wilgotność aktualna jest równa lub większa od polowej pojemności wodnej współczynnik $C = 1$, zaś gdy wilgotność gleby powoduje całkowite zatrzymanie wzrostu (WC odpowiada $pF\ 4,2$) współczynnik C równy jest 0. Zatem:

$$P_{akt} = C \cdot P_{net}$$

Utrzymanie więc produkcji roślinnej na odpowiednim poziomie wymaga właściwego zaopatrzenia roślin w wodę.

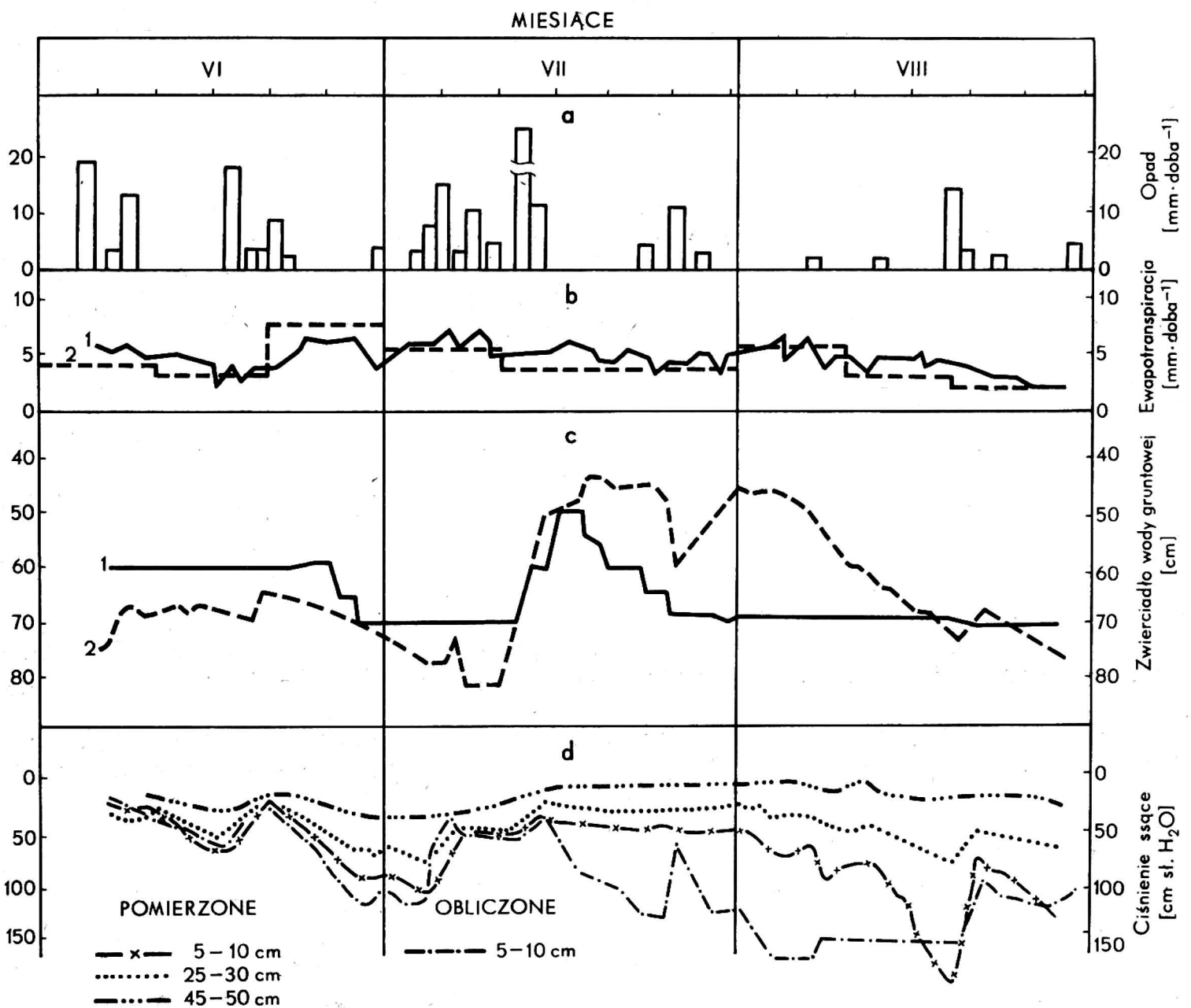
OMÓWIENIE WYNIKÓW

Empiryczna weryfikacja danych z obliczeń numerycznych dotyczy głównie dynamiki ciśnienia ssącego gleby, wahań zwierciadła wody gruntowej, ewapotranspiracji i przyrostów masy siana dla naturalnych warunków klimatycznych jakie badano w 1973 r. w obiekcie doświadczalnym IMUZ w Sosnowicy.

Wyniki obliczeń numerycznych i z pomiarów polowych dla działu V przedstawiono na rysunku 3 dla okresu 5 VI-30 VIII 1973 z godziny 7⁰⁰ w następującej kolejności: a - opad, b - ewapotranspiracja, c - głębokość wody gruntowej i d - ciśnienie ssące wody glebowej. Wyniki obliczeń ewapotranspiracji dla działu V, gdzie wahania wody gruntowej układały się na głębokości średnio około 70 cm poniżej terenu, są nieco wyższe od pomierzonych z wyjątkiem okresu 20-30 VI. Dynamikę wahań wody gruntowej prognozowaną i z pomiarów zestawiono na rysunku 3c. W okresie od 5 do 25 VI obliczone stany wody były około 10 cm wyższe od pomierzonych, natomiast w okresie 15 VII - 15 VIII rzeczywista głębokość wody gruntowej była większa od obliczonej.

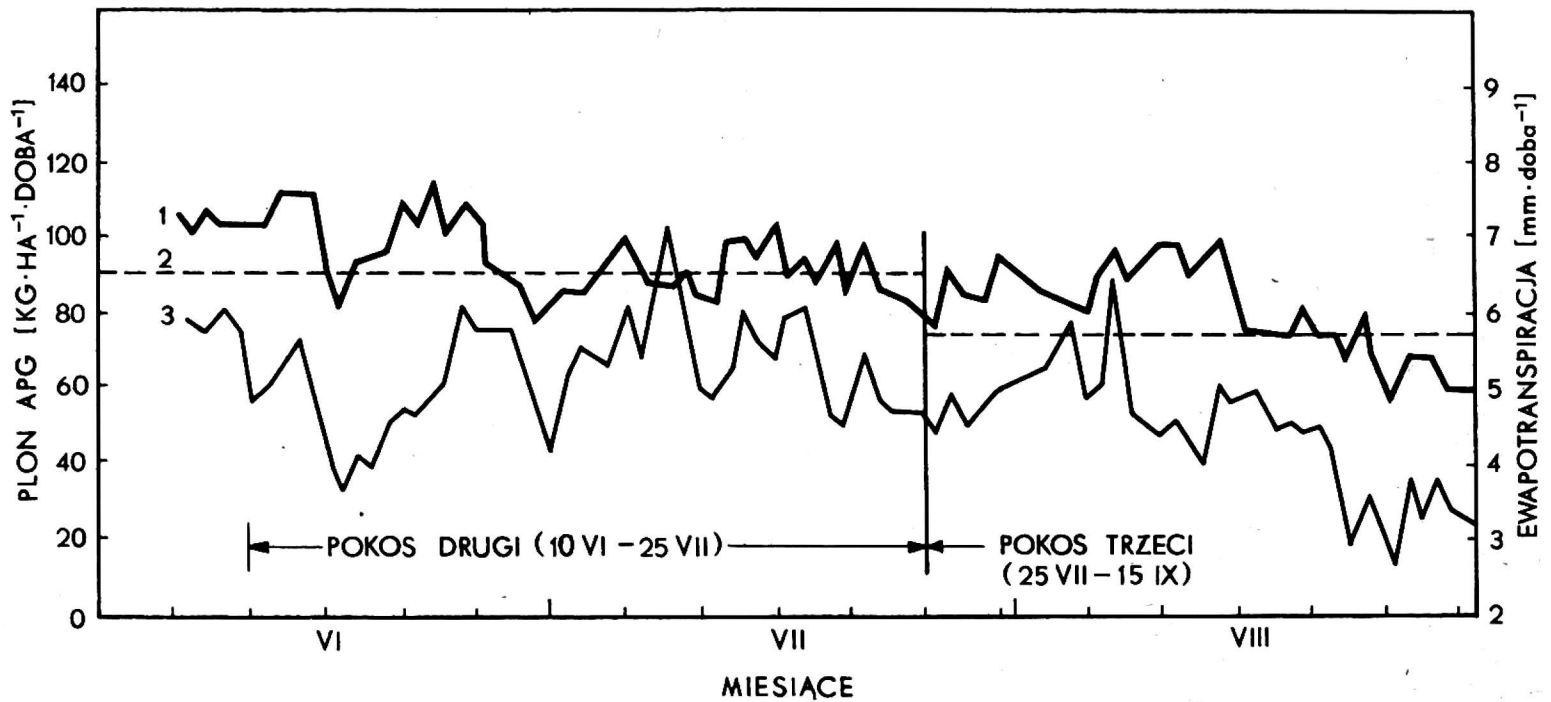
Dział V jest intensywnie zdrenowany, zatem w okresie 5-20 VI mogło skutecznie działać drenowanie, czego nie uwzględniono w modelu, natomiast różnice wahań wody gruntowej jakie występowały w okresie 15 VII - 15 VIII można uzasadnić zasilaniem działu wodą z rowów i rzeki, gdzie stan wody po intensywnych opadach znacznie się podniósł. Należy podkreślić, że dopływ wody do działu z rowów i rzeki nie był badany, nie uwzględniono go również w modelu.

Wyniki obliczeń i pomiaru ciśnienia ssącego gleby można ocenić jako bardzo zbliżone, widoczne różnice wielkości S_m w okresie 15 VII-15 VIII wywołane były wpływem różnicy między prognozowanym i rzeczywistym stanem wody gruntowej. Wydaje się więc, że przedstawione na rysunku 3 dane wskazują na zadowalającą zgodność wyników modelowych z pomiarowymi. Wyniki obliczeń modelowych ewapotranspi-



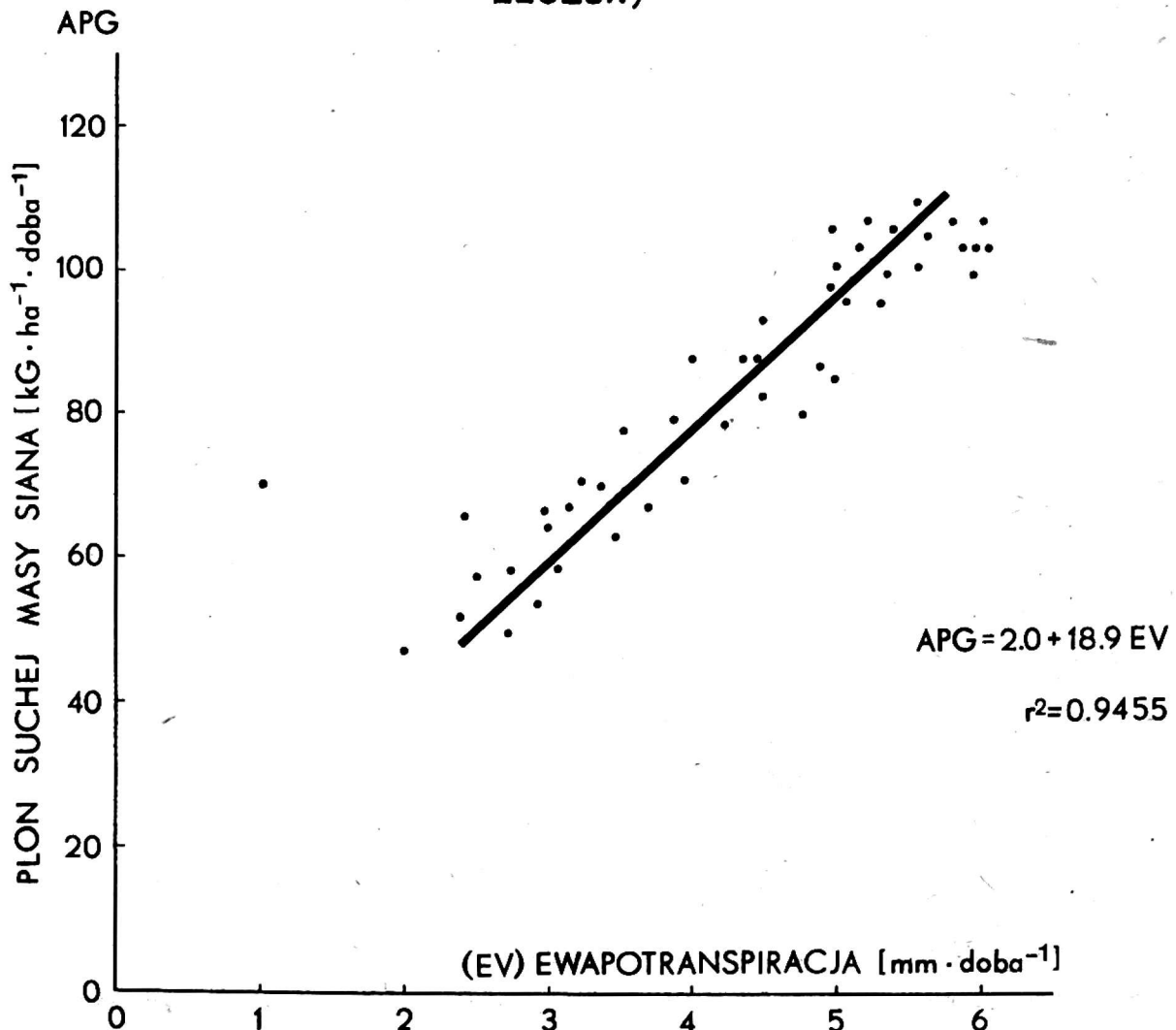
Rys. 3. Dynamika właściwości wodnych (1 - prognozowanych i 2 - pomierzonych) podczas wzrostu traw dla gleby Mt II w Sosnowicy - dział V.

racji oraz przyrostów dobowych suchej masy siana (linia ciągła) i danych uzyskanych z pomiarów polowych (linia przerywana) przedstawiono na rysunku 4. Przyrosty suchej masy siana pomierzone, określono jako średnią wartość dla pokosu drugiego - 90 kg/ha/dobę i pokosu trzeciego 72 kg/ha/dobę. Poletka te były nawożone azotem w wysokości 180 kg/ha. Wyniki obliczeń modelowych oraz średni przyrost plonu uzyskany z pomiarów wykazuje również zadowalającą zgodność. Prognozowanie więc wzrostu roślin ogranicza się do pomiaru kilku podstawowych czynników biorących udział w produkcji biomasy, jak nasłonecznienie, temperatura powietrza i wilgotność gleby. Potwierdziły się tu spostrzeżenia, że woda jest jednym z ważniejszych czynników ograniczających plon.



Rys. 4. Pomierzone i obliczone (z symulacji) wartości przyrostów suchej masy siana oraz ewapotranspiracji na dziale V w Sosnowicy (1973 r.)

1 - przyrosty dobowe suchej masy siana (z obliczeń), 2 - średniobowowy przyrost masy siana (z pomiaru), 3 - ewapotranspiracja (z obliczeń)



Rys. 5. Relacje między plonem masy siana a zużyciem wody na ewapotranspirację dla obiektu doświadczalnego w Sosnowicy

Przedstawione na rysunku 5 uzyskane z badań modelowych [6] wyniki, wskazują że istnieje istotna relacja między transpiracją a produkcją suchej masy siana. Podobną relację dla warunków holenderskich podał Wit [12]

$$q = A \cdot E_{re}$$

gdzie: q - całkowity plon suchej masy siana (w kg/ha),
 E_{re} - całkowita transpiracja (w mm H_2O /dobę),
 A - współczynnik.

Wielkość współczynnika A uzyskana dla roślinności łąkowej w Sosnowicy wyniosła około 20 kg/ha/mm H_2O .

PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Uwilgotnienie profilu glebowego jest najważniejszym wskaźnikiem charakteryzującym stosunki wodne w glebie. Również plonowanie roślin dotychczas było jedynie rejestrowane w obserwacjach polowych.

1. Przedstawione w pracy wyniki badań wskazują na możliwość obliczania wartości funkcji $\theta(z,t)$ oraz przyrostów suchej masy roślinności łąkowej (APG) metodą modelowania matematycznego, w oparciu o warunki klimatyczne i fizyko-wodne właściwości gleb $K(\theta)$ i $S_m(\theta)$.

2. Empiryczna weryfikacja danych modelowych uzyskanych dla warunków o normalnym rozkładzie opadów wskazuje na praktyczną przydatność modelu UGWTPN przy ocenie złożonych procesów ruchu wody glebowej oraz wzrostu roślinności dla dowolnych warunków klimatycznych.

3. Model UGWTPN proponuje się więc wykorzystać w praktyce do prognozowania dynamiki uwilgotnienia oraz wzrostu traw w obiektach, gdzie wahania wody gruntowej są uzależnione od intensywności opadów i ewapotranspiracji.

LITERATURA

1. Feddes R. A.: Weter, heat and crop growth H. Veenman and Zonen N. V., Wageningen 1971.
2. Jensen M. E., Hise H. R.: Estimating evapotranspiration from solar radiation Proc. ASCE 89/IR4/: 15-41, 1963.
3. Kowalik P.: Zarys fizyki gruntów. Wyd. P.G., Gdańsk 1973.
4. Kowalik P.: Podstawy teoretyczne agrohydrologii Żuław. Acta Technica Gedenensia 11, Gdańsk 1973.

5. Olszta W.: Same effects of soil water conditions on the roots growth of grass in the peat much soil. The Soil-Root-Interface. Symp. in Oxford (manusc).
6. Olszta W. Model uwilgotnienia gleb, wzrostu traw oraz prognozowania nawodnień - „UGWTPN”. Sprawozdanie z tem. PR 7.01.05.03. Inst. Inżynierii Środowiska P.W., Warszawa, 1980.
7. Ostromecki J.: Roczn. Nauk. Rol. 72, F 2, 1969.
8. Penman H. L., Schofield R. K.: Some physical aspects of assimilation and transpiration. Proc. Symp., 5. Soc. Exp. Biol. 125-129, 1951.
9. Roguski W., Gabrych K.: Wiadomości IMUZ 12, 3, 1976.
10. Wijk W. R. van, De Vries D. A.: Neth. J. Agric. Sci. Z: 105-119, 1954.
11. Wind G. P.: ICW.Tech. Bull. 22, Wageningen. 1961.
12. Wit C. T. de: Versl. Landb. K. Onderz. 64.6. Pudoc, Wageningen 1958.

В. Ольшта

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ И УРОЖАЯ СЕНА
ПО МЕТОДУ СИМУЛИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Р е з ю м е

Предметом работы является модель UGWTPN симулирующая динамику влажности почвы и рост трав. Исходные данные для симуляции охватывают: осадки, солнечное излучение, температуру воздуха, кривую рF, зависимость капиллярной проводимости от потенциала влажности, густоту и распределение корней трав, фотосинтез нетто и порозность почвы. Эмпирическая проверка результатов полученных из модели была проведена для отдела с уровнем грунтовой воды на глубине 70 см. Результаты полученные из модельных исследований совпадают с данными из полевых измерений. Кажется, что модель UGWTPN может быть использована в натуральных условиях для прогнозирования урожая сена и динамики влажности в почвенном профиле, где колебание зеркала грунтовой воды происходит как результат транспирации и атмосферных осадков.

W. Olszta

PREDICTING OF THE SOIL MOISTURE DYNAMIC AND GRASS GROWTH BY THE
SIMULATION MODELLING METHOD

S u m m a r y

The objective of this paper is a simulation of dynamic soil moisture, dry matter production of grass and influence of soil moisture on plant growth use of model called "UGWTPN". Input for

the model includes: daily cumulative rainfall, daily maximum, mean and minimum temperature of air, daily solar radiation, soil moisture - tension relationship (pF), unsaturated hydraulic conductivity as a function of moisture tension, porosity and net photosynthesis.

The lack of agreement between the simulated and measured data is sometimes disappointing, but indicates more than anything else the areas in which our knowledge is lacking. Hence model "UGWTPN" can be used for predicting the soil moisture dynamic and grass growth, as well as the case when the groundwater table during the growing season does not fluctuate greatly, and when rise of groundwater table occurs as a result of rain, and drops as a result of evapotranspiration.