

## PAROWANIE TERENOWE ŁĄK TRZYKOŚNYCH NA GLEBIE TORFOWO-MURSZOWEJ

*Wacław Roguski, Konrad Gabrych*

Terenowy Oddział Badawczy IMUZ, Bydgoszcz

### WSTĘP

Instytut Melioracji i Użytków Zielonych prowadzi od wielu lat badania nad ustaleniem potrzeb wodnych użytków zielonych. Zagadnienie to ma duże znaczenie przy planowaniu gospodarki wodnej w kraju i projektowaniu urządzeń wodno-melioracyjnych.

Dotychczasowe zalecenia i normy opierają się na nielicznych pracach polskich — S. Baca [2, 3] i J. Ostromeckiego [15, 16] — przeprowadzonych w Sarnach na Polesiu, w Puławach i w Bydgoszczy. Krótki okres tych badań nie pozwolił jednak na szczegółowe poznanie zjawiska parowania terenowego i jego zależności od czynników klimatycznych, biologicznych i glebowo-wodnych. J. Ostromecki, w wyniku badań nad zależnością parowania od plonów, poziomów wody gruntowej i sumy niedosytów wilgotności powietrza dla kilku gleb, ustalił współczynniki hygrometryczne parowania, które były stosowane przez biura projektów wodnych melioracji do obliczenia potrzeb wodnych roślin.

W ostatnich latach podjęto pracę nad ulepszaniem metod obliczania parowania. K. Matul na podstawie badań zagranicznych i własnych prowadzonych w IGW, opracował metodę obliczenia parowania potencjalnego użytków zielonych na podstawie bilansu radiacyjno-cieplnego i sumy temperatur [11, 12, 13]. Parowanie potencjalne obliczone wzorem K. Matula (dla 38 miejscowości w Polsce w okresie 1948-1965 r.) waha się od 491,5 mm w Koszalinie do 549 mm w Zamościu; zróżnicowanie na terenie Polski jest więc bardzo niewielkie. Parowanie potencjalne różni się także nieznacznie w poszczególnych latach, np. w Zamościu waha się od 481 mm w 1965 r. do 576 mm w 1953 r. Trudno jest w chwili obecnej ocenić wiarygodność tych obliczeń nie dysponując pomiarami bezpośrednimi.

Nowsze prace zagraniczne wykazują, że parowanie terenowe łąk wynosi od 0,4 do 1,3 parowania potencjalnego, obliczonego wg wzorów służby meteorologicznej Stanów Zjednoczonych [6, 14]. Wielkość parowania

jest bowiem funkcją parowania potencjalnego, wilgotności gleby i opadów oraz rośliny. Parowanie potencjalne jest traktowane jako wskaźnik klimatyczny do obliczania parowania rzeczywistego. Do podobnych wniosków doszedł Bac junior [4]. Proponuje on opracowanie współczynników empirycznych dla poszczególnych roślin w różnych warunkach glebowych i pomiar parowania wody z pow. 200 cm<sup>2</sup> pod daszkiem, jako wskaźników parowania potencjalnego [4].

Z analizy powyższej wynika, że w warunkach Polski należy zbadać zależność parowania użytków zielonych od czynników klimatycznych, od wysokości plonów i uwilgotnienia gleby.

Badania takie zostały rozpoczęte na kilku stacjach terenowych w 1972 r. Od 1973 r. będzie czynnych 12 takich stacji rozmieszczonych w różnych rejonach kraju i różnych siedliskach łąkowych. Niezależnie od tego kontynuowane są pomiary parowania terenowego użytków zielonych w dużych lizymetrach w Bydgoszczy.

W niniejszej pracy podano pięcioletnie wyniki (1967-1971) tego doświadczenia i wstępną analizę zależności parowania od plonów i niedosytów wilgotności powietrza oraz od plonów i temperatur powietrza w warunkach różnego uwilgotnienia gleby.

#### METODYKA BADAŃ

Lizymetry w Bydgoszczy napełniono monolitami pobranymi w stanie nie naruszonym w cylindrach blaszanych o powierzchni 0,665 m<sup>2</sup> i głębokości 1,30 m. Cylindry te, po uszczelnieniu dna, umieszczono w smołowanych zbiornikach betonowych. Poziomy wody gruntowej były zmienne i regulowane (przelewy są umieszczone w piwnicy). Pomiary poziomów wody i ilości dołanej wody wykonywano codziennie. Odciek mierzono 1 raz na 10 dni oraz po większych opadach. Opady mierzono na stacji meteorologicznej IMUZ (100 m od lizymetrów) oraz w deszczomierzu przyziemnym o przekroju 0,785 m<sup>2</sup>, umieszczonym razem z lizymetrami. Zmiany uwilgotnienia gleby mierzono tensjometrami w dwóch powtórzeniach, na głębokości 5-10, 15-20, 25-30, 35-40, 55-60 cm.

Nawożenie w 12 lizymetrach wynosiło 230 kg NPK na 1 ha (50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 kg K<sub>2</sub>O i 60 kg N), a w pozostałych 12-420 kg NPK (100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 200 kg K<sub>2</sub>O i 120 kg N).

#### Uwilgotnienie gleby

odwodnienie	poziom w. gr. w cm
słabe	30—60
intensywne	40—110
intensywne + nawodnienie powierzchniowe	
w okresie letnim	40—110
intensywne + podsiąk	40—110

Z każdego obiektu 3 lizymetry były nawożone dawką pojedynczą i 3 — dawką podwójną. Glebę torfowo-murszową, silnie zmurszałą, wytworzoną z torfu turzycowego (Mt IIIb) obsiano mieszanką traw wiosną 1966 r. w ilości 39,5 kg nasion na 1 ha (mieszanka z przewagą kostrzewy łąkowej). Po uzyskaniu zadarnienia, od wiosny 1967 r., rozpoczęto pomiary parowania.

Poziom wody gruntowej regulowano na podstawie obserwacji terenowych, przyjmując zasadę, że na wiosnę woda może zalegać 0,3 lub 0,4 m od powierzchni, a w okresie letnim powoli się obniża. Szybkość obniżania zależała od intensywności parowania i opadów. W końcu maja i na początku czerwca poziomy wody ustalano na głębokości 0,6 m przy słabym odwodnieniu i 1,1 m przy intensywnym odwodnieniu. Po dużych opadach letnich korygowano poziomy wód w lizymetrach, zgodnie z obserwacjami terenowymi. Na ogół od sprzętu I pokosu do jesieni, wody gruntowe układały się na 0,6 lub 1,1 m od powierzchni. Nawodnienia stosowano w zależności od potrzeb 2-4 razy w roku. Przy nawodnieniu powierzchniowym stosowano jednorazowo 60 mm wody. Dawkę wody przy podsiąku obliczano z różnicy wody dolanej, potrzebnej do podniesienia poziomu wody gruntowej do 20-30 cm od powierzchni i ilości wody w odciekach, po obniżeniu do stanu wyjściowego. Teren obok lizymetrów był obsiany mieszanką traw. Glebę znajdującą się na piwnicy obsiano również trawami.

Po obliczeniu plonów i zużycia wody przeprowadzono analizę zmienności i wyznaczono przedziały ufności, stosując  $t$  przy prawdopodobieństwie 0,95. Po uzyskaniu wyników pięcioletnich obliczono zależność parowania terenowego łąk w okresie jednego pokosu od wysokości plonów i niedosytów wilgotności powietrza, względnie temperatur dla poszczególnych obiektów uwilgotnienia.

#### OMÓWIENIE WYNIKÓW

Warunki klimatyczne w analizowanych latach 1967-1971 były bardzo zróżnicowane tak pod względem ilości opadów, jak również temperatur i niedosytów wilgotności powietrza. Lata 1967 i 1970 były wilgotne i chłodne, a rok 1969 bardzo suchy i ciepły. W latach 1968 i 1971 wystąpiły okresowe susze. Sumaryczne zużycie wody od początku wegetacji do sprzętu III pokosu i plony na tle opadów, sum temperatur powietrza, sum niedosytów wilgotności powietrza i parowania potencjalnego zestawiono w tabeli 1.

Uzyskane wyniki wykazują, że parowanie terenowe łąk zależy od uwilgotnienia gleby i od wysokości plonów. Najwyższe plony i zużycie wody było na łące o poziomie wody gruntowej 0,3-0,6 m przy intensywnym nawożeniu. Przy plonach siana 145 q/ha parowanie w warunkach Bydgoszczy wyniosło 720 mm. Natomiast przy nowożeniu niższym uzys-

Tabela 1

## Plony i parowanie z łąk na glebach torfowo-murszowych w Bydgoszczy

Badany element	1967	1968	1969	1970	1971	Średnio za 5 lat
$P$ — suma opadów, mm	444,0	292,8	262,6	361,4	330,3	338,2
$\Sigma t$ — suma temperatur powietrza, °C	2783,3	2808,9	2864,9	2627,4	2744,4	2756,7
$\Sigma d$ — suma niedosytów wilgotności powietrza, mb	999,2	1152,3	1176,8	870,0	1231,9	1086,0
$V$ — prędkość wiatru na wysokości 17 m, m/sek	1,2	1,7	1,6	1,9	2,2	1,7
$n$ — liczba dni	184	192	194	180	180	186
$Ep$ — parowanie potencjalne, wg Matula = 0,41, mm $\sqrt{\frac{R}{L} \cdot \Sigma t}$ , mm	555,2	607,7	568,4	551,4	551,1	566,8
wg Antala = $0,9 \cdot d^{0,7} \left( 1 + \frac{1}{273} \cdot t \right) n$ , mm	570,8	673,0	698,7	472,2	660,1	615,0
Plony siana w q/ha z łąki:						
slabo odwodnionej (w gr. 0,3-0,6 m), przy nawożeniu NPK w kg/ha:						
230	124,6	118,7	104,7	97,7	101,2	109,4
420	148,2	142,5	138,1	147,6	148,0	144,9
intensywnie odwodnionej (w gr. 0,4-1,1 m), przy nawożeniu NPK w kg/ha:						
230	114,4	95,2	79,4	80,9	85,7	91,1
420	137,9	119,9	109,9	111,8	117,2	118,9
intensywnie odwodnionej + nawodnienie powierzchniowe, przy nawożeniu NPK w kg/ha:						
230	125,1	107,0	98,6	99,9	107,5	107,6
420	165,0	136,6	136,5	145,6	136,2	144,0

Badany element	1967	1968	1969	1970	1971	Średnio za 5 lat
intensywnie odwodnionej + podsiąk, przy nawożeniu NPK w kg/ha:						
230	121,3	117,4	99,4	99,4	109,6	109,4
420	167,0	129,0	134,4	145,8	131,9	141,9
Parowanie terenowe w mm z łąki:						
słabo odwodnionej (w gr. 0,3-0,6 m), przy nawożeniu NPK w kg/ha:						
230	627,9	710,4	572,3	579,5	625,3	623,1
420	684,4	760,3	676,0	724,1	753,6	719,7
intensywnie odwodnionej (w gr. 0,4-1,1 m), przy nawożeniu NPK w kg/ha:						
230	631,2	549,5	480,1	430,9	469,7	512,3
420	697,2	572,2	541,3	506,0	512,7	565,9
intensywnie odwodnionej + nawodnienie powierzchniowe, przy nawożeniu NPK w kg/ha:						
230	642,9	594,8	509,7	535,5	580,0	572,6
420	764,0	654,4	625,3	562,8	601,3	641,8
intensywnie odwodnionej + podsiąk, przy nawożeniu NPK w kg/ha:						
230	640,0	605,1	511,3	517,7	552,7	565,4
420	739,8	658,6	665,3	608,8	614,5	657,4

kano plony 109 q/ha, a parowanie wyniosło 623 mm. Parowanie łąki przy wysokich plonach było zawsze wyższe od parowania potencjalnego, obliczonego wzorem Matula [11-13], a zbliżone do parowania potencjalnego, obliczonego wg wzoru Antala [1], z wyjątkiem 1970 r.

Na łące intensywnie odwodnionej w okresie letnim poziom wody był na głębokości 1,1 m, co utrudniało podsiąk kapilarny do warstwy darniowej. W okresach letnich susz wilgotność gleby znacznie obniżała się, co powodowało zahamowanie przyrostu masy i zmniejszenie zużycia wody na parowanie. Przy plonach siana 91 q/ha parowanie wyniosło 512 mm, co stanowi 90%  $E_p$  obliczonego wg Matula i 83%  $E_p$  wg Antala. Przy wyższych plonach — 119 q/ha parowanie wyniosło 566 mm i było równe parowaniu potencjalnemu  $E_p$  wg Matula. Wyluczając rok 1967, w którym plony były bardzo wysokie (137 q/ha) należy stwierdzić, że parowanie terenowe z tej łąki, przy średnich plonach 114 q/ha, wyniosło średnio 533 mm (1968-1971), co stanowi 94%  $E_p$  wg Matula (przy niewielkich wahaniach od 92 do 95%). Oznacza to, że w warunkach siedlisk okresowo suchych, parowanie potencjalne obliczone i parowanie rzeczywiste łąk są zbliżone.

Nawodnienia zastosowane w doświadczeniu spowodowały wzrost plonów do poziomu łąki słabiej odwodnionej. Parowanie było znacznie niższe niż na łące o stałym wyższym uwilgotnieniu, lecz wyższe niż na łące intensywnie odwodnionej bez nawodnień. Przy plonach 109 q/ha, parowanie terenowe było równe parowaniu potencjalnemu wg Matula, a przy plonie 144 q/ha wyższe o 13%.

Bardzo oszczędną gospodarke wodną prowadzą również łąki nawadniane powierzchniowo lub podsiąkowo w okresach letnich susz. Plon wzrasta o 32%, a parowanie o 13%. Natomiast łąki o dużym uwilgotnieniu mogą dać wysokie plony, lecz zużycie wody na parowanie jest nadmierne. Dochodzi ono do 700 mm przy dużych niedosytach wilgotności powietrza, co jednak spotyka się rzadko, gdyż trwałe użytki zielone położone są najczęściej w dolinach w dużych kompleksach, gdzie wilgotności powietrza są wyższe niż na gruntach ornych [7-9]. Z tych też względów należy znaleźć zależność parowania łąk od lokalnych warunków klimatycznych. Wskaźnik klimatyczny powinien być prosty, łatwy do obliczenia i dostępny dla szerokiego grona specjalistów z zakresu melioracji wodnych.

Badania najnowsze wykazują, że bardzo dobrym wskaźnikiem może być parowanie potencjalne, obliczone z danych klimatycznych rejonu [6, 14]. Odnosi się ono jednak do dużego obszaru obsianego jedną rośliną. W wypadku zróżnicowanego reliefu terenu i różnorodnych roślin, przy obliczaniu parowania należy uwzględnić dodatkowo masę roślinną, biorącą udział w transpiracji i uwilgotnienie gleby. Według najnowszych badań amerykańskich [14] parowanie terenowe na stacji Coshocton dla łąki typu kostrzewy trzcinowej w pełni rozwoju wynosi:

$$ET_l = 0,312 \cdot LE \cdot SM^{0,25},$$

gdzie:

$ET_l$  — parowanie terenowe z lizymetrów,

$LE$  — parowanie (lake evaporation) obliczone wg dziennych temperatur powietrza, temperatur punktu rosy, prędkości wiatru i radiacji słonecznej,

$SM$  — wilgotność gleby w mm w warstwie 1 m.

Parowanie rzeczywiste łąki trwałej wynosi od 92 do 113% parowania obliczonego, a dla łąki nowo zasianej od 85 do 125%. Z danych tych wynika, że obecnie parowanie potencjalne obliczone różnymi metodami lub pomierzone w zbiorniku wodnym, może być uważane za wskaźnik parowania terenowego. Do jego obliczenia potrzebne są dane dotyczące sezonowych wskaźników szaty roślinnej i wilgotności gleby [4]. Wskaźnikami takimi dotychczas nie dysponujemy i dlatego musimy posługiwać się innymi, uproszczonymi metodami.

Wielu badaczy uważa, że bardzo dobrym wskaźnikiem klimatycznym jest niedosyt wilgotności powietrza [4, 5, 15, 16, 18, 21, 22]. Stwierdzono bowiem, że parowanie wody jest wprost proporcjonalne do niedosytów wilgotności powietrza. Na tej podstawie Schmuck [21] opracował zagadnienie parowania wody z małych zbiorników wodnych, ustalając proste zależności. Podobne zależności znalazł Tymrakiewicz w okolicach Wrocławia [22]. Demiańczuk znalazł zależność parowania od różnicy prężności pary nasyconej przy temperaturze wody i aktualnej prężności pary wodnej na wysokości 2 m [5]. Podobne zależności znalazł Richter w Niemczech [18]. Również Roguski stwierdził, że parowanie ze zbiornika wodnego w Bydgoszczy (o pow. 3 000 cm<sup>2</sup>) i w Grabowie w dolinie Wisły było wprost proporcjonalne do niedosytu wilgotności powietrza w okresach dekadowych.

$$\text{Bydgoszcz 1971 r., } E_w = 0,382 + 0,375 \cdot d, r = 0,885$$

gdzie:

$E_w$  — parowanie wody w mm/dobę,

$d$  — średni dzienny niedosyt wilgotności powietrza.

$$\text{Grabowo 1971 r., } E_w = 0,27 + 0,357 \cdot d, r = 0,863.$$

Dla Bydgoszczy znaleziono również zależność krzywoliniową:

$$E_w = 0,52 \cdot d^{0,92}, R = 0,8735.$$

Wskaźnik korelacji  $R$  jest nieco mniejszy od współczynnika korelacji prostoliniowej  $r$ . W związku z powyższym, przy obliczaniu parowania wody można posługiwać się prostą zależnością parowania od niedosytów wilgotności powietrza, a dla dłuższych okresów stosować sumy niedosytów. Natomiast zależność parowania wody od temperatury powietrza w okresach dekadowych jest znacznie mniejsza, gdyż w Bydgoszczy współczynnik korelacji wyniósł 0,736, a więc był znacznie niższy niż przy niedosytach wilgotności powietrza.

Przy obliczaniu parowania wody jako prostej zależności od niedosytów wilgotności, niektórzy autorzy stosują dodatkowo jeszcze prędkość wiatru [4]. W omawianych badaniach rozpatrywano okresy odrostu jednego pokosu, tj. około 60 dni, a w tak dużych okresach zmienności prędkości wiatrów są nieznaczne, dlatego dla uproszczenia obliczeń w opracowaniu niniejszym czynnik ten pominięto.

Do obliczania zależności parowania dziennego łąk od niedosytów wilgotności powietrza i plonów przyjęto następujący wzór:

$$\frac{Et}{n} = a \cdot d^z (1 + b \cdot q^s),$$

gdzie:

- $Et$  — parowanie terenowe w mm w okresie jednego pokosu,
- $a, b$  — współczynniki empiryczne,
- $q$  — plon siana w q/ha,
- $d$  — średni dzienny niedosyt wilgotności powietrza w mb,
- $z, s$  — wykładniki potęgi,
- $n$  — liczba dni w okresie.

Obliczenia wykonano metodą najmniejszych kwadratów. Zależność krzywoliniową sprowadzono do zależności prostoliniowej logarytmicznej.

Ustalony wzory na obliczanie parowania terenowego łąk w okresie jednego pokosu zestawiono w tabeli 2. Podobne obliczenia wykonano dla zależności od temperatur powietrza.

Wysokie wskaźniki korelacji 0,90 do 0,92 wskazują, że ponad 81% zmienności w parowaniu jest zależne od niedosytu i plonu. Wykładnik potęgi przy niedosytach wynosi 0,65 — na łące słabo odwodnionej i 0,53 — na łące intensywnie odwodnionej. Natomiast na łące nawadnianej zmniejsza się zależność od niedosytu wilgotności powietrza, a wzrasta zależność od plonu, szczególnie przy nawodnieniu podsiąkowym.

Zależności parowania od temperatur są również duże, lecz wskaźniki korelacji są na ogół niższe, z wyjątkiem łąki wilgotnej. Dowodzi to, że dla okresów dłuższych, dwumiesięcznych można stosować z zadowalającym wynikiem temperatury powietrza, jeśli brak pomiarów niedosytów.

Na podstawie wyżej omówionej analizy można stwierdzić, że istnieje ścisła zależność parowania terenowego od czynników klimatycznych, od plonu i wilgotności gleby. Zależności te są krzywoliniowe, paraboliczne (rys. 1, rys. 2). Nie można więc stosować sumy niedosytów do obliczania parowania i średnich współczynników hygrometrycznych, jak to ma miejsce przy parowaniu wody.

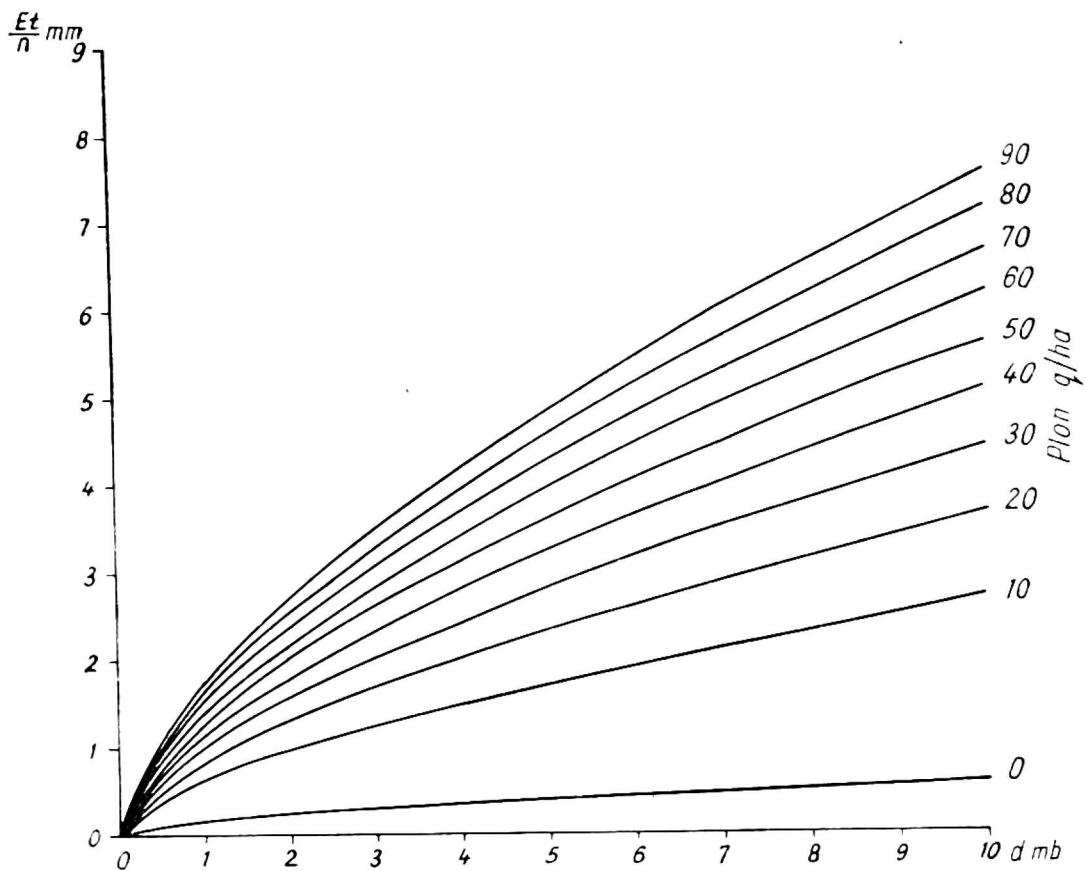
Na koniec analizy wykonano obliczenia ustalonymi wzorami dla łąk w dolinie dolnej Wisły w Wielkiej Nieszawce i w Rozgartach (tab.3) dla lat 1958-1961 (tab. 4). Dla Wielkiej Nieszawki zastosowano wzór 2, a dla Rozgart wzór 1 z tabeli 2. Okazało się, że wzory te dały znacznie mniejsze rozbieżności niż współczynniki hygrometryczne Ostromeckiego. Nie



Tabela 2

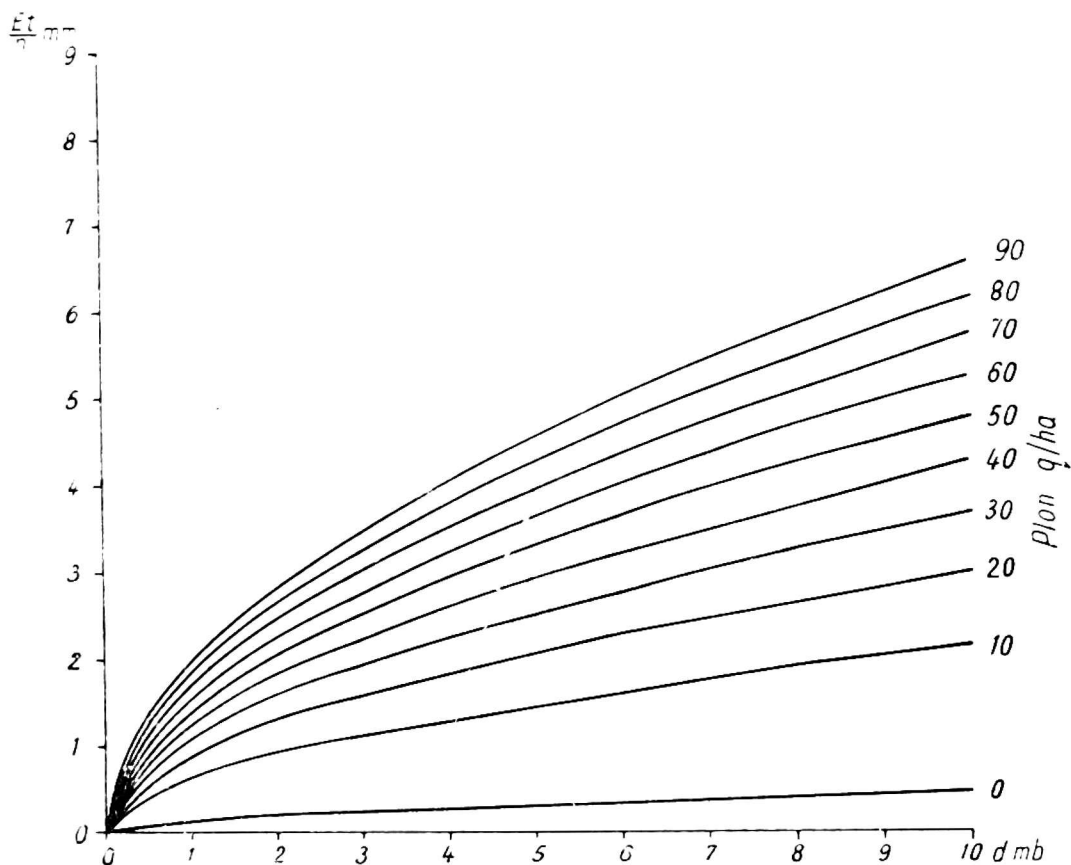
Wzory na parowanie terenowe łąk (mm/dobę) ustalone dla gleby torfowo-murszowej w Bydgoszczy

Charakterystyka uwilgotnienia	W zależności od średniego niedosytu wilgotności powietrza $d$ i plonu jednego pokosu $q$	Wskaźnik korelacji lokalnej $R$	Błąd standardowy odchylenia od regresji $s$	W zależności od średniej temperatury powietrza $t$ i plonów jednego pokosu $q$	Wskaźnik relacji wielokrotnej $R$	Błąd standardowy odchylenia od regresji $s$
Odwodnienie słabe; w. gr. 30-60 cm	$\frac{Et}{n} = 0,13 \cdot d^{0,65} (1 + 1,04 \cdot q^{0,54})$	0,92	0,080	$\frac{Et}{n} = 0,04 \cdot t^{0,77} (1 + q^{0,63})$	0,94	0,071
Odwodnienie intensywne; w. gr. 40-110 cm	$\frac{Et}{n} = 0,13 \cdot d^{0,53} (1 + 0,99 \cdot q^{0,58})$	0,90	0,073	$\frac{Et}{n} = 0,44 \cdot t^{0,67} (1 + 0,96 \cdot q^{0,67})$	0,88	0,081
Odwodnienie intensywne; w. gr. 40-110 cm + zalew	$\frac{Et}{n} = 0,15 \cdot d^{0,42} (1 + 0,73 \cdot q^{0,68})$	0,92	0,069	$\frac{Et}{n} = 0,11 \cdot t^{0,26} (1 + 1,11 \cdot q^{0,69})$	0,89	0,079
Odwodnienie intensywne; w. gr. 40-110 cm + podsiąk	$\frac{Et}{n} = 0,14 \cdot d^{0,30} (1 + 1,26 \cdot q^{0,62})$	0,92	0,073	$\frac{Et}{n} = 0,40 \cdot t^{0,36} (1 + 0,105 \cdot q^{0,81})$	0,88	0,086



Rys. 1. Zależność parowania terenowego  $\frac{Et}{n}$  od niedosytów wilgotności powietrza  $d$  i plonów siana  $q$  na glebie torfowo-murszowej, słabo odwodnionej (w. gr. 30-60 cm)

$$\frac{Et}{n} = 0,13 \cdot d^{0,65} (1 + 1,04 \cdot q^{0,54})$$



Rys. 2. Zależność parowania terenowego  $\frac{Et}{n}$  od niedosytów wilgotności powietrza  $d$  i plonów siana  $q$  na glebie torfowo-murszowej intensywnie odwodnionej (w. gr. 40-100 cm)

$$\frac{Et}{n} = 0,13 \cdot d^{0,53} (1 + 0,99 \cdot q^{0,58})$$

Porównanie parowania terenowego łąk obliczonego różnymi metodami i pomierzonego w młych lizymetrach w Wielkiej Nieszawce, pow. Toruń

Okres	Pokos	Plon q/ha	$E_1$ pomierzone mm	$E_2$ wg Matula mm	$E_2 - E_1$ mm	$E_3$ wg Ostro- męckiego mm	$E_3 - E_1$ mm	$E_4$ wg Rogu- skiego mm	$E_4 - E_1$ mm
1959 r.									
31.III-30.V	I	47,2	141,2	155,6	4,4	153,6	12,4	149,2	8,0
30.V-31.VIII	II	43,4	267,8	276,1	8,3	420,0	152,2	303,2	35,4
31.III-31.VIII	I + II	90,6	409,0	431,7	12,7	573,6	164,6	452,4	43,4
1960 r.									
1.IV-31.V	I	40,1	127,7	151,8	24,1	146,4	18,7	133,3	5,6
31.V-1.IX	II	69,9	341,7	266,7	-75,0	342,7	1,0	302,6	-39,1
1.IV-1.IX	I + II	110,0	469,4	418,5	-50,9	489,1	19,7	435,9	-33,5
1961 r.									
31.III-30.V	I	58,5	138,3	153,4	15,1	167,2	28,9	159,9	21,6
30.V-31.VIII	II	45,1	280,2	266,4	-13,8	298,0	17,8	246,0	-34,2
31.III-31.VIII	I + II	103,6	418,5	419,8	1,3	465,2	46,7	405,9	-12,6
Srednio	I	48,6	135,7	153,6	17,9	155,7	20,0	147,5	11,8
1959-1961	II	52,8	296,6	269,5	-27,1	353,6	57,0	283,9	-12,7
	I + II	101,4	432,3	423,1	-9,2	509,3	77,0	431,4	-0,9

$$E_2 = 0,41 \sqrt{\frac{R}{L} \cdot \Sigma t}; \quad E_3 = \frac{0,37 \cdot \Sigma d}{e^{0,2h}} \cdot \left( 1 + 0,07 \sqrt[3]{q^2} \right); \quad E_4 = 0,108 \cdot d^{0,53} (1 + q^{0,58}) \cdot n$$

Porównanie parowania terenowego obliczonego różnymi metodami i pomierzonego w małych lizymetrach w Rozgartach, pow. Toruń

Okres	Pokos	Plon q/ha	$E_1$	$E_2$ wg Matula	$E_2 - E_1$	$E_3$ wg Ostro- męckiego	$E_3 - E_1$	$E_4$ wg Rogu- skiego	$E_4 - E_1$
1958 r.									
14.V-2.VI	I	11,1	57,4			56,7	-0,7	35,8	-20,9
12.VI-1.IX	II	31,4	290,4			301,8	11,4	272,2	-18,8
14.V-1.IX	I + II	45,2	347,8			358,5	10,7	292,6	-39,1
1959 r.									
31.III-30.V	I	43,6	196,9	161,4	-35,5	181,5	-15,4	180,5	-16,4
30.V-31.VIII	II	24,4	276,4	288,7	12,3	399,9	123,5	313,7	37,3
31.III-31.VIII	I + II	68,0	473,3	450,1	-23,2	581,4	108,1	494,2	20,9
1960 r.									
1.IV-31.V	I	20,6	134,1	132,8	-1,3	139,3	5,2	123,1	-11,0
31.V-1.IX	II	40,3	235,6	251,7	16,1	307,4	71,8	290,8	55,2
1.IV-1.IX	I + II	60,9	369,7	384,5	14,8	446,7	77,0	413,9	44,2
1961 r.									
31.III-30.V	I	30,9	119,9	149,8	29,9	143,3	23,4	145,4	25,5
30.V-31.VIII	II	42,1	224,9	266,4	41,5	315,6	90,7	305,5	80,6
31.III-31.VIII	I + II	73,0	344,8	416,2	70,4	458,9	114,1	449,9	106,1
Średnio	I	31,7	150,3	148,0	-2,3	153,7	3,4	139,7	-10,6
1959-1961	II	35,6	245,6	268,9	23,3	341,0	95,4	303,3	57,7
	I + II	67,3	395,9	416,9	21,0	494,7	98,8	443,0	47,1

$$E_3 = \frac{0,437 \cdot \Sigma d}{e^{0,6t}} \left( 1 + 0,0594 \sqrt[3]{q^2} \right);$$

$$E_4 = 0,13 \cdot d^{0,65} (1 + q^{0,54})$$

było też dużych różnic w latach suchych w II pokosie. W Wielkiej Nieszawce współczynniki 0,132 należało zmniejszyć do 0,108, ze względu na okresową, zbyt małą wilgotność gleby mineralnej. W Rozgartach wzór 1 może być stosowany. Prawdopodobnie zależności w Rozgartach byłyby lepsze, gdyby zastosowano lokalne dane klimatyczne zamiast danych z Wielkiej Nieszawki.

Na koniec należałoby podkreślić, że wzór 1 dotyczy łąk o wysokich plonach i dostatecznym uwilgotnieniu przez cały rok. Wobec tego może być on stosowany do obliczeń parowania terenowego maksymalnego. Natomiast wzór 2 dotyczy łąk na glebach torfowo-murszowych intensywnie odwodnionych bez nawodnień letnich. Do posługiwania się tymi wzorami trzeba mieć lokalne niedosyty wilgotności powietrza i ocenę możliwości produkcyjnych. Przy braku lokalnych danych klimatycznych można posługiwać się danymi spoza doliny i zastosować współczynnik zmniejszający, co wykazali w swych pracach Hohendorf [7, 8] i Jakubczak [9].

#### WNIOSKI

Na podstawie badań lizymetrycznych przeprowadzonych w Bydgoszczy w latach 1967-1971 na glebie torfowo-murszowej silnie zmurszałej Mt IIIb można wysunąć następujące wnioski:

1. Parowanie terenowe łąk jest zależne od przebiegu warunków klimatycznych, od wysokości plonu i od uwilgotnienia gleby.

2. Zależność parowania terenowego od niedosytów wilgotności powietrza, podobnie jak i od temperatur, jest paraboliczna i wobec tego nie można stosować sum niedosytów w analizowanym okresie, jak to ma miejsce przy obliczaniu parowania z powierzchni wodnej, gdyż uzyskuje się zawyżone wyniki w okresach suchych.

3. Do obliczenia parowania maksymalnego z łąki dostatecznie uwilgotnionej można posłużyć się wzorem:  $Et = 0,13 \cdot d^{0,65}(1 + 1,04 q^{0,54})$ .

4. Do obliczenia parowania terenowego w lecie z łąki okresowo przesycającej należy ustalić możliwości produkcyjne dla poszczególnych pokosów, a następnie można obliczyć parowanie wg następującego wzoru:  $Et = 0,13 \cdot d^{0,53}(1 + 0,99 q^{0,58})$ .

5. Obliczenia parowania terenowego wzorami 1 i 2 dają znacznie większą zgodność wyników z pomiarami niż dotychczas stosowane współczynniki hygrometryczne szczególnie w latach suchych.

6. W dalszych pracach badawczych i kameralnych należy uściślić zależność parowania terenowego łąk od czynników klimatycznych, głównie od parowania potencjalnego, wysokości plonów i uwilgotnienia gleby.

## LITERATURA

1. Antal E.: Meteorologiczne aspekty zagadnienia nawadniania. Pr. Komit. Gosp. Wod. t. 9: 1968 s. 347-361.
2. Bac S.: O transpiracji porostu łąkowego i parowaniu nieporośniętych gleb na podstawie badań w lizymetrach o rzeczywistych stanach wód gruntowych. Wiad. Służby hydrol. t. 1: 1949 z. 4.
3. Bac S.: Potrzeby wodne łąki w dolinie środkowej Wisły. Wiad. Służby hydrol. t. 7: 1959 z. 1.
4. Bac S. (jun.): Studia nad parowaniem z wolnej powierzchni wodnej, parowaniem terenowym i ewapotranspiracją potencjalną. Zesz. Nauk. WSR Wroc. nr 80, Melioracja, 1968 z. 13, Wrocław.
5. Demiańczuk P. P.: Zdolność potencjalna parowania w przedziale wpływu słońca. Wiad. Służby hydrol. t. 5: 1957 z. 4.
6. Harrold L. L., Dreibelbis F. R.: Evaluation of agricultural hydrology by Monolith Lysimeters 1944—1955. Techn. Bull. U.S. Dep. Agric. 1958 nr 1178.
7. Hohendorf E.: Niedosyty wilgotności powietrza niektórych dolin rzecznych polskiego pobraża Bałtyku. Wiad. IMUZ t. 9: 1970 z. 1 s. 29-48.
8. Hohendorf E.: Redukcja niedosytów wilgotności powietrza z wysoczyzny do doliny w rejonie Kanału Bydgoskiego i dolnej Wisły. Wiad. IMUZ t. 9: 1970 z. 1 s. 49-74.
9. Jakubczak Z.: Porównanie niedosytów wilgotności powietrza na wysoczyźnie i w dolinie Wisły w rejonie Puław. Wiad. IMUZ t. 9: 1970 z. 1 s. 75-86.
10. Konstantinow A. R.: Uproszczona metoda obliczania składowych bilansu cieplnego parowania rzeczywistego i potencjalnego. Pr. Komit. Gosp. Wod. t. 9: 1968 s. 315-329.
11. Matul K., Bac S., Baranowski S.: Określanie elementów bilansu cieplnego dla wyznaczania parowania terenowego. Pr. Komit. Gosp. Wod. t. 9: 1968 s. 383-437.
12. Matul K., Dworska M.: Badania wskaźników i norm zapotrzebowania i zużycia wody w rolnictwie. Synteza tematu 2.1.1.1. Warszawa, maszyn.
13. Matul K., Dworska M.: Rozkład wskaźników parowania potencjalnego i opadów w latach 1948-1962 jako podstawa do obliczeń niedoborów wodnych roślin. Pr. Komit. Gosp. Wod. t. 10: 1972.
14. Mustonen Seppo E., Mc Guinness J. L.: Estimating evapotranspiration in a humid region. Techn. Bull. U.S. Dep. Agric. 1968 nr 1389.
15. Olivier H.: Irrigation and climate. London 1961.
16. Ostromecki J.: Obliczanie surowych bilansów wodnych przy łącznym uwzględnieniu wskaźników parowania i retencji. Roczn. Nauk rol. Ser. F t. 71: 1956 z. 3.
17. Ostromecki J.: Potrzeby wodne łąk na namulonych torfach węglanowych. Roczn. Nauk rol. Ser. F t. 73: 1959 z. 3.
18. Richter D.: Ein Beitrag zur Bestimmung der Verdunstung von freien Wasserflächen dargestellt am Beispiel des Stechlinsees. Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR nr 88 t. 11: 1969.
19. Roguski W.: Parowanie terenowe użytków zielonych w dolinie dolnej Wisły w świetle pięcioletnich badań za pomocą małych lizymetrów polowych. Pr. Komit. Inż. Gosp. Wod. t. 7: 1965 cz. 1.
20. Roguski W.: Sprawozdanie z wyjazdu na Węgry w dniach 27.VII.1969 do 3.VIII. 1969 r. na temat metody badań w zakresie gospodarki wodnej gleby i roślin. Bydgoszcz 1969, maszyn.

21. Schmuck A.: Parowanie z wolnej powierzchni wodnej w Polsce. Spraw. Wroc. Tow. Nauk. nr 1953 dod.
22. Tymrakiewicz L.: Parowanie z wolnego zwierciadła wody na stacji Wrocław Pawłowice. Wiad. melior. 1972 nr 3.

*В. Рогуски, К. Габрых*

## ЭВАПОТРАНСПИРАЦИЯ ТРЕХКОСНЫХ ЛУГОВ НА ТОРФЯНО-МУРШЕВОЙ ПОЧВЕ

### Резюме

В труде представлены результаты пятилетних измерений эвапотранспирации лугов на торфяно-муршевой почве с сильной степенью обмуршения (Mt IIIb). Соответствующие опыты приводились в Быдгоще в 24 крупных лизиметрах (с площадью 0,665 м<sup>2</sup> и глубиной 1,30 м) в условиях:

- слабого осушения (гр. вода на глубине 30-60 см);
- интенсивного осушения (гр. вода на глубине 40-110 см);
- интенсивного осушения + поверхностного орошения (гр. вода на глубине 40-110);
- интенсивного осушения + подпочвенного орошения (гр. вода на глубине 40-110 см)

и дифференцированного удобрения, в частности:

- 230 кг NPK (50 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 кг K<sub>2</sub>O и 60 кг N);
- 420 кг NPK (100 кг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 200 кг K<sub>2</sub>O и 120 кг N).

Изменения увлажнения почв определяли с помощью тензиометров. Периодическое потребление воды исчисляли на основании осадков, количества притока и стока воды и изменения степени увлажнения почвенного профиля (таблица 1).

Затем усчисляли зависимость эвапотранспирации от дефицитов влажности воздуха или температуры и от величины урожаев (таблица 2).

На основании вышеуказанных опытов авторы рекомендуют исчислять эвапотранспирацию лугов по следующим формулам:

- 1) луг с достаточной степенью увлажнения:

$$Et = 0,13 \cdot d^{0,65} (1 + 1,04 q^{0,54})$$

- 2) луг с периодическим переосушением в летний период:

$$Et = 0,13 \cdot d^{0,53} (1 + 0,99 q^{0,59}),$$

где:

*Et* — эвапотранспирация,

*d* — средний суточный дефицит влажности воздуха на уровне 2 м над поверхностью,

*q* — урожай сена за один укос, ц/га.

*W. Roguski, K. Gabrych*

## EVAPOTRANSPIRATION OF THREE-CUT MEADOWS ON PEAT-MUCK SOILS

### Summary

In the present work the results of five-year evapotranspiration measurements of meadows on muck-peat soil with high mucking degree (Mt IIIb) carried out

in Bydgoszcz in 24 large lysimeters (with the area of 0.665 m<sup>2</sup> and the depth of 1.30 m) are presented.

The water consumption was determined in conditions of:

- weak drainage (ground water table 30-60 cm),
- intensive drainage (ground water table 40-110 cm),
- intensive drainage + surface irrigation (ground water table 40-110 cm),
- intensive drainage + subsoil irrigation (ground water table 40-110 cm)

and of differentiated fertilization, in particular:

- 230 kg NPK (50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 120 kg K<sub>2</sub>O and 60 kg N),
- 420 kg NPK (100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 200 kg K<sub>2</sub>O and 120 kg N).

The soil moistening degree changes were determined by means of tensiometers. The periodical water consumption was calculated on the basis of rainfalls, amount of in- and outflow of water and moisture dynamics in soil profile (Table 1).

Then the dependence of evapotranspiration of meadows on air moisture saturation deficits of temperatures and on yield magnitude (Table 2) was determined.

Basing on the above data, the authors recommend to calculate evapotranspiration of three-cut meadows at use of the following formulae:

- 1) for sufficiently moistened meadow: •

$$Et = 0,13 \cdot d^{0,65} (1 + 1,04 q^{0,54})$$

- 2) for periodically drying up meadow:

$$Et = 0,13 \cdot d^{0,53} (1 + 0,99 q^{0,58}).$$

where:

*Et* — evapotranspiration,

*d* — mean daily air moisture saturation deficit at the height of 2 m above surface,

*q* — hay yield from one cut, q/ha.