

**MOŻLIWOŚCI OKREŚLANIA EWAPOTRANSPIRACJI  
POTENCJALNEJ ZA POMOCA EWAPOROMETRÓW CLASS  
A pan I PISCHE`A**

**Estimation of potential evapotranspiration by means of Class A pan  
and Pische's evaporimeters**

Waldemar Treder, Paweł Konopacki  
Instytut Sadownictwa i Kwiaciarstwa, Skierniewice

ABSTRACT

Credible estimation of water needs of plants will enable optimal assessment of irrigation doses and thus economical usage of limited water supplies. The experiment was carried out in order to find out the correlation between potential evapotranspiration worked out by Penman's formula and measurements of water evaporation taken with Class A pan and Pische's evaporimeters. Statistical analyses showed a close correlation between the evapotranspiration based on the formula and the measurements taken with the instruments under evaluation. On the basis of the data obtained a nomograph for ETo estimation using the evaporation measurements has been worked out. These correlations can be helpful in estimating water needs of plants based on simple and cheap measurements taken directly in the orchard.

**Key words:** Pische's evaporimeter, potential evapotranspiration, evaporimeter Class A pan

WSTĘP

Podstawowym czynnikiem decydującym o potrzebie nawadniania są warunki klimatyczne. Aby efektywnie nawadniać rośliny uprawne należy wprowadzić do powszechnego stosowania prostą metodę wyznaczania ich potrzeb wodnych. W praktyce potrzebę nawadniania wyznaczają trzy kryteria: roślinne, glebowe i klimatyczne. Kryterium roślinne polega na podjęciu decyzji o nawadnianiu na podstawie pomiarów parametrów świadczących o aktualnym stanie uwodnienia roślin, np.: temperatury liści (Jones i in. 1996), ich potencjału wodnego (Valancogne i in. 1996), oporności szparkowej liści (Gucci i in. 1993; Treder i in. 1996) oraz dobowej zmiany średnicy owoców i młodych pędów (Carles 1984; Michelakis 1996; Klamkowski i Treder 2002). Kryterium glebowe nawadniania roślin określa

się na podstawie pomiarów wilgotności gleby wskazujących na jej aktualny stan uwodnienia (Kielak 1978; Kotzè i in. 1988; Mualem 1990). Kryterium klimatyczne oparte jest na założeniach, że zużycie wody przez rośliny determinowane jest głównie przebiegiem pogody i fazą rozwojową roślin.

Podstawowymi czynnikami wpływającymi na wielkość ewapotranspiracji, a przez to wyznaczającymi zapotrzebowanie roślin na wodę są: temperatura powietrza, prędkość wiatru, nasłonecznienie i niedosyt wilgotności powietrza. Dlatego też na całym świecie jako główne kryterium prognozowania nawodnień przyjmowane są dane meteorologiczne, na podstawie których obliczana jest ewapotranspiracja potencjalna (Doorenbos i Pruitt 1977; Karmeli i in. 1985; Mahrer i in. 1990; Torrecillas i in. 1993; Allen i in. 1996). Pojęcie ewapotranspiracji potencjalnej (ET<sub>o</sub>) wprowadził Thornthwaite (Sarnacka 1978), definiując ją jako granicę do której dąży ewapotranspiracja na polu pokrytym bujną roślinnością, nie napotykającą trudności w poborze wody z gleby. Doorenbos i Pruitt (1977) podają definicję ewapotranspiracji potencjalnej jako parowanie z dużego, zielonego, całkowicie zacieniającego powierzchnię gleby łąnu trawy (wys. 8-15 cm), nie napotykającej trudności w pobieraniu wody. Tak przedstawiona definicja pozwala nie tylko obliczać ET<sub>o</sub> na podstawie parametrów fizycznych, ale pozwala także mierzyć ją w lizymetrach (Castel 1996).

W przypadku, gdzie brak jest pełnych danych meteorologicznych ET<sub>o</sub> szacuje się na podstawie wartości ewaporacji mierzonej z powierzchni wody (Chapman i in. 1977). Na podstawie pomiarów ewaporacji z powierzchni wody lub wyznaczonej za pomocą różnych ewaporometrów szacowane są potrzeby wodne roślin, co pozwala na obliczenie dawek polewowych i racjonalne nawadnianie (Karmeli i in. 1985; Rengnist 1987; Phene i in. 1991).

Celem badań było określenie zależności pomiędzy ewapotranspiracją potencjalną wyznaczoną za pomocą modelu matematycznego Penman'a (Doorenbos i Pruitt 1977) a pomiarami parowania wody prowadzonymi za pomocą ewaporometrów Class A pan i Piche'a.

## MATERIAŁ I METODY

W Sadzie Pomologicznym ISK przeprowadzono w latach 1995-1997 za pomocą automatycznej stacji meteorologicznej METOS (Pessl, Austria) następujące pomiary meteorologiczne: temperatura powietrza, wilgotność powietrza, nasłonecznienie, prędkość wiatru, ilość opadów. Codziennie wykonywano także pomiary ewaporacji za pomocą ewaporometrów Class A pan i Piche'a. Ewapotranspirację potencjalną wyznaczono dwoma metodami:

a/ wg modelu Penman'a za pomocą programu komputerowego "MET-9"

$$ET_o = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} R_n + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} 0,26 \left( 1 + \frac{u}{100} \right) (e_a - e_d) \quad [ \text{mm dzień}^{-1} ]$$

gdzie:  $\Delta$  - nachylenie krzywej ciśnienia nasyconej pary wodnej [mbarEC<sup>-1</sup>],

$\gamma$  - stała psychrometryczna = 0,66 mbar EC<sup>-1</sup>,

$R_n$  - promieniowanie (radiacja) netto [mm dzień<sup>-1</sup>] obliczone jako suma wartości pomiarowych [W m<sup>-2</sup>], zbieranych co 12 minut podzielona przez współczynnik przeliczeniowy wynoszący 3431:

$$R_n = \sum_1^{120} ( \text{wart. pomiarowe} [ \text{W m}^{-2} ] ) \frac{1}{3431} \quad [ \text{mm dzień}^{-1} ]$$

$u$  - prędkość wiatru na wysokości 2 m [km dzień<sup>-1</sup>],

$e_a$  - średnie ciśnienie pary wodnej [mbar],

$e_d$  - ciśnienie pary wodnej w punkcie rosy [mbar],

Z uwagi na dużą zgodność z pomiarami lizymetrycznymi i uwzględnienie w formule obliczeniowej wszystkich meteorologicznych parametrów wpływających na ewapotranspirację (temperatura, prędkość wiatru, niedosyt wilgotności i nasłonecznienie), metodę tę w zaleceniach FAO-24 przyjęto jako wzorcową (Doorenbos i Pruitt 1977).

b/ według pomiarów parowania wody z ewaporometru Class A pan.

$$ET_o\text{-pan} = e * E_{\text{pan}} \quad [ \text{mm dzień}^{-1} ]$$

gdzie:  $e$  - współczynnik ewaporometryczny (tab. 1),

$E_{\text{pan}}$  - ewaporacja z wolnej powierzchni wody (mm) (odczyt z ewaporometru Class A pan zsumowany z ilością opadów za ten sam okres).

Tabela 1

Wartości współczynnika  $e$  (Doorenbos i Pruitt 1977) – Values of the coefficient

Prędkość wiatru Wind velocity	Wilgotność względna powietrza RH (%) Relative humidity of air		
	< 40	40-70	> 70
< 2 m/s	0,65	0,75	0,85
2-5 m/s	0,60	0,70	0,75
5-8 m/s	0,55	0,60	0,65
> 8 m/s	0,45	0,55	0,6

## WYNIKI I ICH OMÓWIENIE

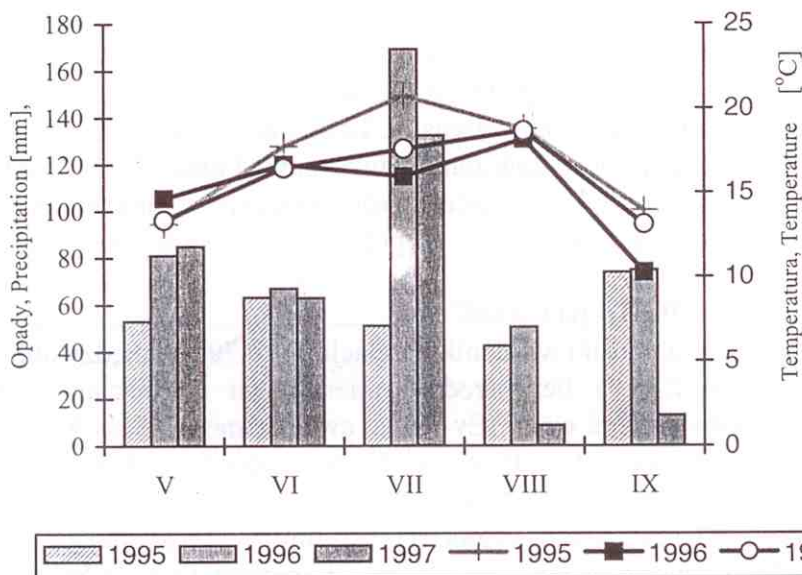
Zanotowano znaczne różnice w przebiegu temperatury powietrza i opadów w okresie od maja do października pomiędzy poszczególnymi latami (rys. 1). Średnie temperatury powietrza w okresie od maja do października dla lat 1995 i 1996 były stosunkowo wysokie i wynosiły odpowiednio 15,83 i 15,14°C (tab. 2), przewyższając średnią wieloletnią temperaturę za ten okres. Natomiast w tym samym okresie 1997 roku zanotowano niższe temperatury, przez co średnia jej wartość za okres od maja do października wyniosła zaledwie 14,24°C. Rok 1995 różnił się znacznie od dwu pozostałych lat ilością i przebiegiem opadów atmosferycznych. W okresie od maja do października 1996 roku spadło 442,2 mm deszczu (przy średniej wieloletniej 348 mm), natomiast w roku 1995 tylko 300,9 mm. Wyjątkowym był rok 1997, w którym aczkolwiek suma opadów od V do X wyniosła tylko 326,2 mm, to jednak nierównomierny rozkład był przyczyną ich nadmiaru w okresie od V do VII i niedoboru w okresie VIII - X.

Tabela 2

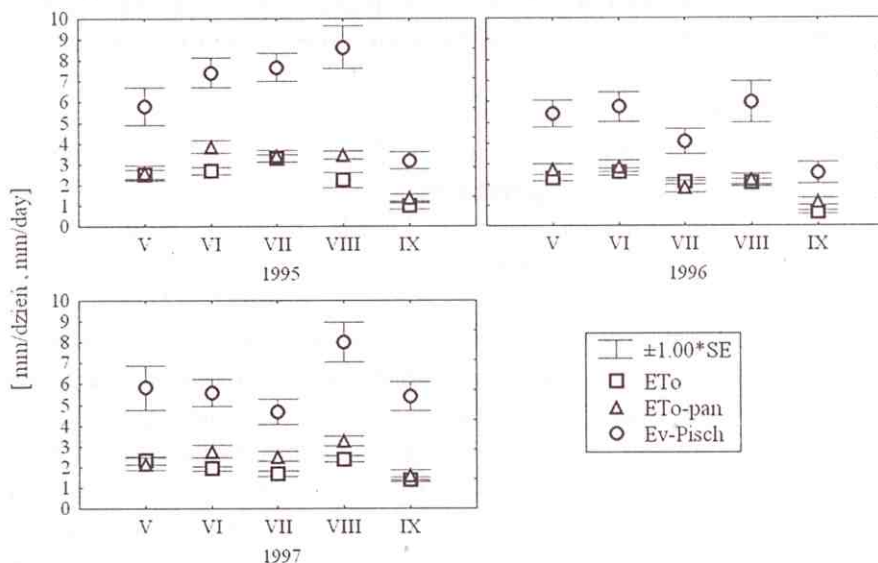
Średnie temperatury oraz sumy opadów w okresie V -X w latach 1995-1997 – Average temperatures and total precipitation in the period from May to October in the years 1995-1997

Parametry Parameters	1995	1996	1997	Średnia wieloletnia Long-term average
Średnia temperatura (°C) Average temperature	15,87	15,14	14,24	14,53
Suma opadów (mm) Total of precipitation	300,9	444,2	326,2	348

Znaczne różnice w przebiegu czynników pogodowych pomiędzy poszczególnymi latami miały istotny wpływ na przebieg i wysokość ewapotranspiracji potencjalnej, wyznaczonej różnymi metodami (rys. 2). Wartości ETo-pan określone za pomocą ewaporometru Class A pan miały podobny przebieg do obliczonych według modelu Penmana (ETo). Korelacja (r) pomiędzy danymi wynosiła 0,76. Jednak ETo-pan dla VI, VII i IX w 1995 roku i VI, VII i VIII w 1997 roku osiągały wyższe wartości od ETo. Otrzymane wyniki wskazują, że ewapotranspiracja potencjalna wyznaczona na podstawie parowania z wolnej powierzchni wody osiąga wyższe wartości od obliczonej według modelu Penmana.



Rys. 1. Przebieg temperatur oraz opady w okresie od V do IX lat 1995-1997 – Temperature variations and precipitation in the period from May to October in the years 1995-1997



Rys. 2. Ewapotranspiracja potencjalna wyznaczona modelem Penmana (ET<sub>0</sub>) oraz ewaporometrem Class A pan (ET<sub>0</sub>-pan) i Pische'a (Ev-pisch) – Potential evapotranspiration estimated by Penman's formula (ET<sub>0</sub>) and with Class A pan (ET<sub>0</sub>-pan) and Pische's evaporimeters (Ev-Pisch)

Wartości ewaporacji (Ev-pisch) wyznaczone za pomocą ewaporometru Pische'a przedstawiono na rysunku 2. Były one skorelowane z wartościami ETo ( $r = 0,82$ ). Wskazuje to na przydatność ewaporometru Pische'a do wyznaczania potrzeb wodnych roślin. To bardzo proste urządzenie może być zatem pomocne przy wyznaczaniu dawek nawodnieniowych w sadach.

Dla celów praktyki wyznaczono równanie regresji liniowej pozwalające na oszacowanie ewapotranspiracji potencjalnej ETo na podstawie danych ETo-pan:

$$ETo = 0,59 ETo\text{-pan} + 0,66$$

Z uwagi na wysoki wskaźnik korelacji ( $r = 0,79$ ) pomiędzy obliczonymi wartościami ETo a bezpośrednio mierzonymi wartościami parowania z wolnej powierzchni wody (Ev-woda) ewaporometru Class A pan, wyznaczono następujące równanie regresji liniowej opisującej te zależności:

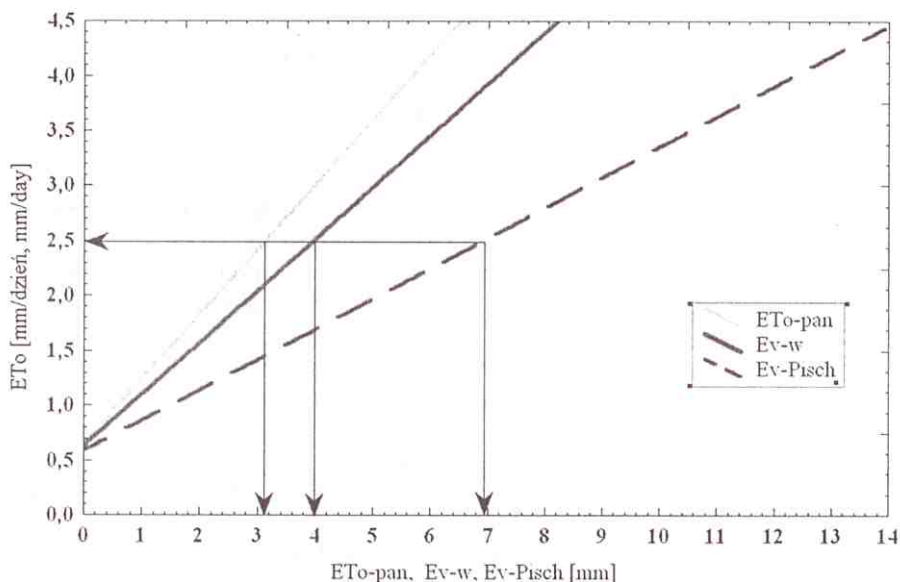
$$ETo = 0,46 Ev\text{-woda} + 0,66$$

Wyznaczono także równanie regresji liniowej, pozwalające na oszacowanie ETo na podstawie pomiarów ewaporometrem Pische'a, które przybrało postać formuły:

$$ETo = 0,28 Ev\text{-Pisch} + 0,59$$

Na podstawie otrzymanych wzorów regresji liniowej opracowano nomogram do wyznaczania ewapotranspiracji potencjalnej ETo za pomocą pomiarów parowania ewaporometrami Class A pan i Pische'a (rys. 3). Przykładowo ETo równe 2,5 mm odpowiada 3,12 mm ewapotranspiracji potencjalnej wyznaczonej ewaporometrem Class A pan, 4,0 mm parowania z wolnej powierzchni wody ewaporometru Class A pan i 6,82 mm parowania zmierzonego ewaporometrem Pische'a. Przedstawiony nomogram może służyć w praktyce do określania potrzeb wodnych roślin sadowniczych. Badania własne potwierdzają opinię Doorenbosa i Pruitta (1977) oraz Phene i innych (1991) o występowaniu ścisłych zależności pomiędzy parowaniem z wolnej powierzchni wody a ewapotranspiracją potencjalną. Wiarygodne oszacowanie potrzeb wodnych roślin może pozwolić na optymalizację obliczania dawek nawodnieniowych, a przez to na oszczędne gospodarowanie ograniczonymi zasobami wody. Opracowany nomogram do wyznaczania ETo na podstawie pomiarów parowania za pomocą prostych w swej budowie ewaporometrów Class A pan i Pische'a stwarza możliwości stosunkowo taniego szacowania potrzeb roślin. Według Klara i Valadao (1996) pomiar lub wyznaczanie metodami pośrednimi ewapotranspiracji potencjalnej jest

z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia najprostszą metodą określania dawek nawodnieniowych.



Rys. 3. Nomogram do wyznaczania ewapotranspiracji potencjalnej ( $ET_o$ ) na podstawie pomiarów ewaporometrami Class A pan i Pische'a (Ev-w – ewaporacja z wolnej powierzchni wody) – Nomograph for estimating potential evapotranspiration ( $ET_o$ ) on the basis of measurements taken with Class A pan and Pische's evaporimeters (Ev-w – evaporation from free water surface)

#### LITERATURA

- Allen R.G., Smith M., Pereira L. S., Pruitt W.O. 1996. Proposed revision to the FAO procedure for estimating crop water requirements. Proc. 2nd Int. Sym. on Irrigation of Hort. Crops. Acta Hort. **449** (1): 17-33.
- C a s t e l J. R. 1996. Evapotranspiration of a drip-irrigated clementine citrus tree in a weighing lysimeter. Proc. 2nd Int. Sym. on Irrigation of Hort. Crops. Acta Hort. **449** (1): 91-98.
- C a r l e s L. 1984. Pepista apr s une ann e d'exploitation. L'Arboriculture Fruitiere **396**: 29-31.
- Chapman K.R., Funk G.J., Crew P. 1977. Auto irrigator: An automatic irrigation system based on the Class A evaporation pan. Agricultural Engineering Australia **6**: 2-9.
- D o o r e n b o s J., Pruitt W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24.
- G u c c i R., M a s s a i R., P i c c o t i n o D. 1993. Gas exchange characteristics and water relations of kiwifruit vines during drought cycles. Acta Hort. **335**: 213-218.

- Jones H. G., Aikman D., McBurney T.A. 1996. Improvements to infra-red thermometry for irrigation scheduling in humid climates. Proc. 2nd Int. Sym. on Irrigation of Hort. Crops. Acta Hort. **449**(1): 259-265.
- Karmeli D., Peri G., Todes M. 1985. Irrigation systems: Design and operation. Oxford University Press. s. 164-174.
- Kielak Z. 1978. Ocena potrzeb wodnych roślin w oparciu o kryteria glebowe i roślinne. Pierwsze Krajowe Sympozjum na temat Nawadniania Kropelkowego. s. 20-21.
- Kotze W.A.G., Karsten J.H.M., Beukes O. 1988. The scheduling of irrigation. Farming in South Africa, Apples E. 5: 1-4.
- Klamkowski K., Tredner W. 2002. Influence of a rootstock on intensity of transpiration rate and dynamics of changes of an apple tree leader growing under different soil water regimes. J. Fruit Ornament. Plant Res. **10**: 27-35.
- Klar A.E., Valadao L.T. 1996. Reference evapotranspiration relationships among several methods for Botucatu-SP. Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering in Madrid. 2: 587-588.
- Mahrer Y., Naot O., Ritto G. 1990. Using an evapotranspiration method to schedule irrigation: A verification study. 5th International Conference on Irrigation. Proceeding. s. 109-119.
- Michalakakis N. 1996. Daily stem radius variations as indicators to optimize olive tree irrigation scheduling. Proc. 2nd Int. Sym. on Irrigation of Hort. Crops. Acta Hort. **1**: 297-304.
- Mualem Y. 1990. The use of tensiometer readout for irrigation - success and failure. Proc. 5th International Conference on Irrigation. s. 119-132.
- Phene C.J., DeTar W.R., Clark D.A. 1991. Real time irrigation scheduling with automated evaporation pans. Paper No. 91 2642.
- Rengnister R. 1987. Evapotranspiration calculations for young peach trees and growth responses to irrigation amount and frequency. Hort Science **22**(2): 221-223.
- Sarnacka S. 1978. Kilka uwag o metodach wyznaczania ewapotranspiracji potencjalnej i rzeczywistej. Pierwsze Krajowe Sympozjum na temat Nawadniania Kropelkowego. s. 17-19.
- Torrecillas A., Ruiz-Sanchez M.C., Domingo R., Hernandez-Borroto 1993. Regulated deficit irrigation on Tino lemon trees. Acta Hort. **33**: 205-212.
- Tredner W., Konopacki P., Mika A. 1996. Duration of water stress and its influence on the growth of nursery apple trees planted in containers under plastic tunnel conditions. Proc. 2nd Int. Sym. on Irrigation of Hort. Crops. Acta Hort. **449** (2): 541-544.
- Valancogne C., Ameglio T., Ferreira M. I., Cohen M., Archer P., Dayau S., Daudet F.A. 1996. Relations between relative transpiration and predawn leaf water potential in different fruit tree species. Proc. 2nd Int. Sym. on Irrigation of Hort. Crops. Acta Hort. **449** (2): 423-429.