

*Sławomir Kurpaska
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Akademia Rolnicza w Krakowie*

ZAPOTRZEBOWANIE NA WODĘ POMIDORÓW SZKLARNIOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM STEROWALNYCH CZYNNIKÓW OTACZAJĄCEGO KLIMATU

Streszczenie

W pracy analizowano wpływ zmiennych klimatu (promieniowanie słoneczne, wilgotność i temperatura powietrza wewnątrz szklarni) na zapotrzebowanie na wodę pomidorów szklarniowych. Badania przeprowadzono w szklarni produkcyjnej. Zapotrzebowanie na wodę określono poprzez pomiar transpiracji. W wyniku analizy znaleziono model regresji opisujący zmienność zapotrzebowania na wodę.

Słowa kluczowe: zapotrzebowanie na wodę, parametry klimatu, szklarnia, pomidory

Wstęp

Prowadzenie uprawy pod osłonami zmusza producentów do precyzyjnego określenia ilości wody (pożywki) dostarczanej przez system nawodnieniowy. Czynniki wpływającymi na wielkość transpiracji roślin są: promieniowanie słoneczne, stężenie dwutlenku węgla, temperatura oraz koncentracja pary wodnej w powietrzu wewnątrz obiektu [Stanghellini 1987]. Znalezienie ilościowych relacji między tymi parametrami, a ilością dostarczanej żywności ma ważne, zarówno poznawcze jak i aplikacyjne znaczenie. Wpływa bowiem na stworzeniu potencjalnie optymalnych warunków środowiskowych uprawianych roślinom, zaś poprzez precyzyjne określenie ilości wody (pożywki) ma wymierne efekty ekonomiczno-ekologiczne. Zagadnienie określenia transpiracji w zależności od parametrów klimatu wewnątrz obiektu było zakresem wielu badań, w których autorzy analizowali wpływ ograniczenia dostępu promieniowania słonecznego na intensywność transpiracji [Baillie i in. 2001], intensywności wentylacji na opór dyfuzji pary wodnej na styku: powietrze-powierzchnia liścia [Boulard i in. 2004]. Z kolei, Fatnassi i in. [2004],

bilansując strumienie ciepła i masy w wentylowanej szklarni, opracowali model do obliczania wpływu intensywności wentylacji na ilość magazynowanego ciepła w glebie oraz ciepła zużywanego na przemianę fazową pobieranej wody przez uprawiane rośliny. Dayan i in. [2004] w wyniku przeprowadzonej analizy stwierdzili, że opracowany i zweryfikowany przez nich model wentylacji w szklarni (który uwzględnia bilans ciepła i pary wodnej) można wykorzystać do sterowania parametrami klimatu w celu zapewnienia optymalnych warunków do przebiegu transpiracji roślin. Korner i Challa [2003] analizowali zagadnienie transpiracji roślin w szklarni w warunkach optymalnej wilgotności powietrza wewnątrz obiektu, stwierdzając w konkluzji że utrzymanie zalecanej wilgotności wpływa również na oszczędności ciepła. Boulard i Wang [2002] do analizowania intensywności transpiracji uprawianych w szklarni roślin wykorzystali procedurę CFD na podstawie której stwierdzili, że opracowany model transpiracji (w którym uwzględnili wymianę ciepła i masy w szklarni oraz promieniowanie słoneczne) prawidłowo opisuje transpirację. Medrano i in. [2005] analizując zapotrzebowanie wodne ogórków uprawianych w szklarni, doszli do konkluzji, że blisko dwukrotny wzrost natężenia promieniowania słonecznego prowadzi do ponad dwukrotnego wzrostu zapotrzebowania wodnego uprawianych roślin.

Z przedstawionej literatury wynika, że zagadnienie określania intensywności transpiracji roślin w szklarni było analizowane, jednakże dotyczyły wybranych roślin (sałata, chryzantemy). Stąd głównym celem pracy jest określenie intensywności transpiracji pomidorów szklarniowych w zależności od sterowalnych parametrów wewnętrznego klimatu. Zrealizowanie postawionego celu umożliwi racjonalne sterowanie ilością pożywki dostarczanej do uprawianych roślin.

Material i metoda

Badania przeprowadzono w szklarni w której, na powierzchni ok. 200 m² uprawiano pomidory szklarniowe. Podczas badań, co 2 minuty monitorowano parametry klimatu wewnątrz (temperatura, koncentracja pary wodnej oraz dwutlenku węgla w powietrzu), i na zewnątrz obiektu (natężenie promieniowania słonecznego) oraz masę roślin rosnących w lizymetrze. Transpirację roślin, po pominięciu błędów systematycznych i przypadkowych pomiaru, obliczono z następującego wzoru:

$$TR = \frac{dW}{dt} = \frac{W_{t_1} - W_{t_2}}{(t_1 - t_2)} \quad (1)$$

gdzie:

W – masa roślin [g],
 t_1, t_2 – czas odczytu [s].

Błędy pomiaru transpiracji (wyliczonej ze wzoru 1) obliczono metody różniczki zupełnej, dla najbardziej niekorzystnego przypadku, tj. takiego, kiedy błędy cząstkowe sumują się. Wartość błędu wyliczono ze wzoru:

$$\Delta TR = \left| \frac{1}{t_1 - t_2} \right| \cdot \Delta W_{t_1} + \left| \frac{1}{t_1 - t_2} \right| \cdot \Delta W_{t_2} + \left| \frac{W_{t_1} - W_{t_2}}{(t_1 - t_2)^2} \right| \cdot \Delta t_1 + \left| \frac{W_{t_1} - W_{t_2}}{(t_1 - t_2)^2} \right| \cdot \Delta t_2 \quad (2)$$

Wyniki pomiarów opracowano statystycznie na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

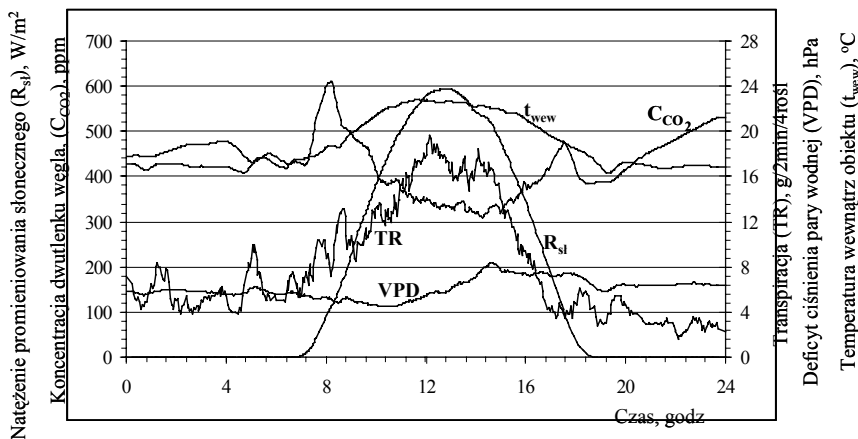
Więcej szczegółów o przeprowadzonym eksperymencie można znaleźć w pracy [Kurpaska 1996]. Wyliczenia parametrów fizycznych powietrza przeprowadzono zgodnie z podstawowymi zależnościami psychrometrycznymi. Zależność między niezbędną masą pożywki, a sterowalnymi parametrami mikroklimatu znaleziono estymacją nieliniową metodą quasi-Newtona przy zachowanym współczynniku zbieżności na poziomie równym 0,001. Wobec istniejących zakłóceń mikroklimatu wewnątrz szklarni wywołanych ruchem powietrza wywołanym transpiracją, konwekcyjnym ruchem powietrza od grzejników mierzone wielkości uśredniano z dziesięciu kolejnych pomiarów. Wartość transpiracji odniesiono do jednostkowej powierzchni liści uprawianych pomidorów.

Wyniki badań

Wartość względnego błędu oszacowania transpiracji, przy zastosowanej dokładności aparatury pomiarowej, w zakresie istniejącej transpiracji mieści się w granicach od 0,9 do 2,5%.

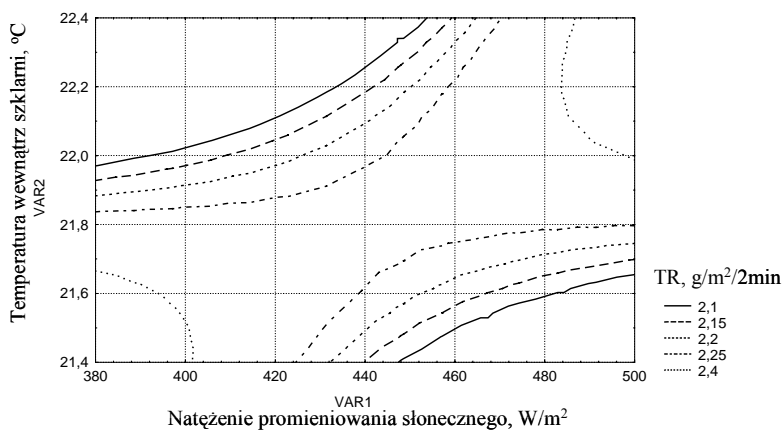
Na rys. 1 przedstawiono przykładowy - dobowy przebieg mierzonych i obliczonych wielkości. Jak można zauważyć, transpiracja roślin jest silnie uzależniona od intensywności promieniowania słonecznego.

Do dalszych analiz wyodrębniono dane pomiarowe dotyczące trwania całego eksperymentu (marzec, kwiecień). W analizie pominięto stężenie dwutlenku węgla, wychodząc z założenia, że parametr ten jest silnie skorelowany z natężeniem promieniowania słonecznego, a jego wielkość winna być utrzymana na poziomie zalecanym dla roślin. Transpirację przeliczono na jednostkową powierzchnię liścia. Zakładając niecelowość przedstawienia wszystkich możliwych zależności, na rysunkach 2–6 zobrazowano przebieg transpiracji w funkcji wybranych parametrów dla przyjętego jednego zakresu pozostałej zmiennej decyzyjnej. Jako zmienne niezależne wybrano: natężenie promieniowania słonecznego, temperaturę wewnątrz szklarni oraz deficyt ciśnienia pary wodnej w powietrzu wewnątrz szklarni.

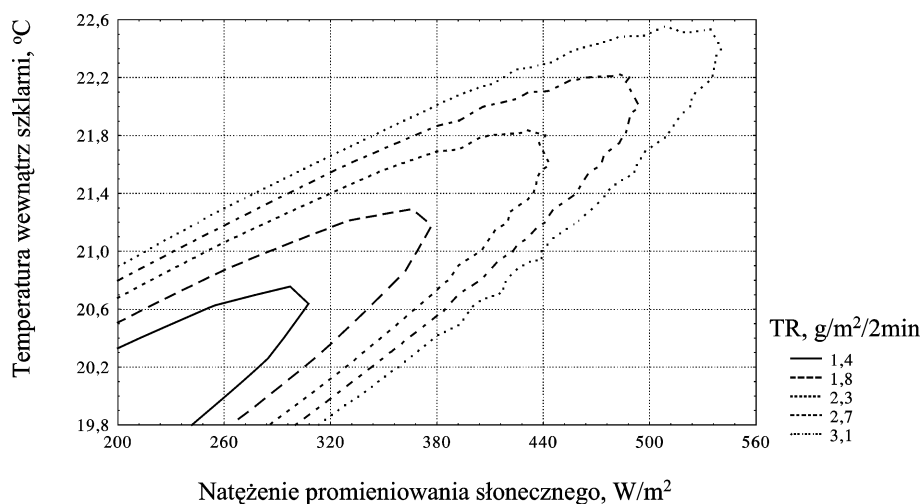


Rys. 1. Dobowy przebieg mierzonych wielkości w szklarni
 Fig. 1. 24-hour characteristics of the analyzed parameters in a greenhouse

Deficyt ten określa niedobór aktualnego ciśnienia pary wodnej do stanu pełnego nasycenia powietrza parą. I tak, na rys. 2 i 3 przedstawiono wpływ temperatury powietrza i natężenia promieniowania słonecznego na zapotrzebowanie wody dla minimalnego (rys. 2) oraz maksymalnego deficytu ciśnienia pary wodnej. Z kolei na rys. 4 i 5 zobrazowano zmianę zapotrzebowania na wodę dla minimalnej (rys. 4) i maksymalnej (rys. 5) temperatury wewnątrz szklarni.

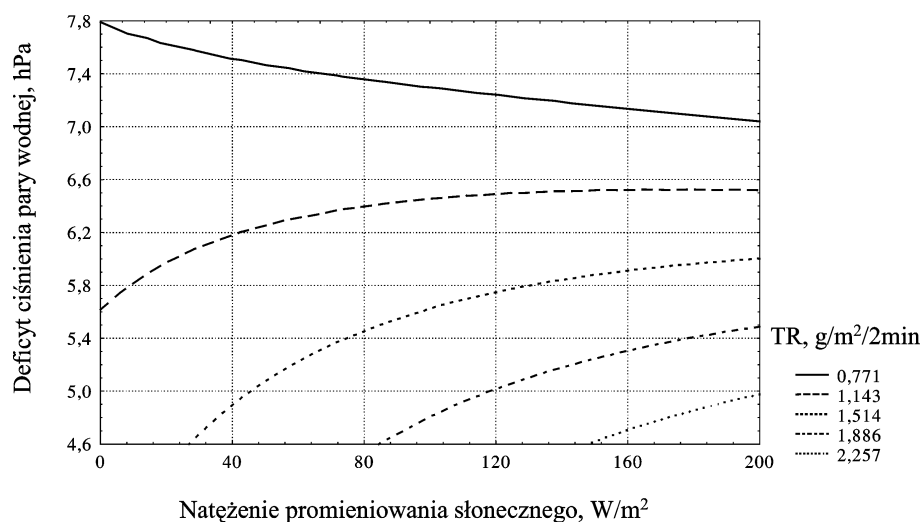


Rys. 2. Wpływ natężenia promieniowania słonecznego i temperatury wewnątrz obiektu na zapotrzebowanie wody przez pomidory dla $VPD \leq 4,5$ hPa
 Fig. 2. Effect of solar radiation intensity and temperature inside the facility on water demand by tomatoes for $VPD \leq 4,5$ hPa



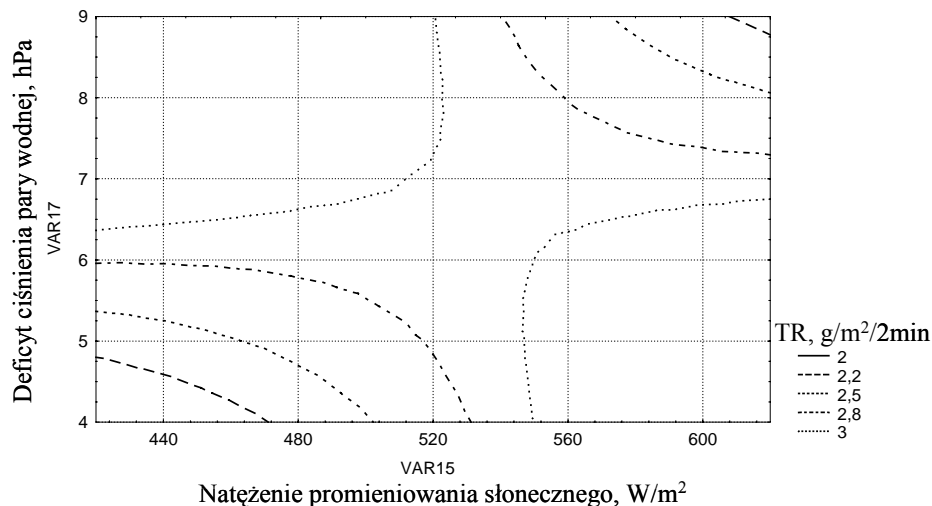
Rys. 3. Wpływ natężenia promieniowania słonecznego i temperatury wewnątrz obiektu na zapotrzebowanie wody przez pomidory dla $VPD \geq 7,5$ hPa

Fig. 3. Effect of solar radiation intensity and temperature inside the facility on water demand by tomatoes for $VPD \geq 7,5$ hPa



Rys. 4. Wpływ natężenia promieniowania słonecznego i deficytu ciśnienia pary wodnej na zapotrzebowanie wody przez pomidory dla temperatury otoczenia $\leq 19,5^\circ\text{C}$

Fig. 4. Effect of solar radiation intensity and steam shortage on water demand by tomatoes for environmental temperature $\leq 19,5^\circ\text{C}$

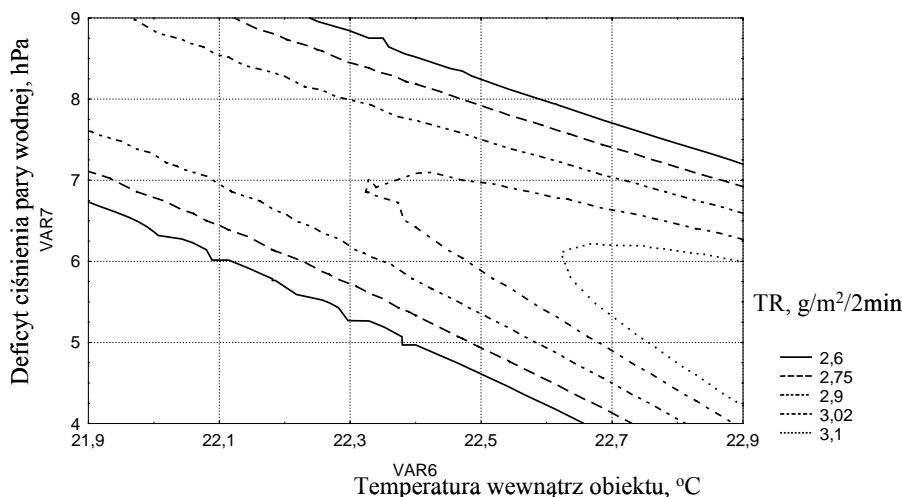


Rys. 5. Wpływ natężenia promieniowania słonecznego i deficytu ciśnienia pary wodnej na zapotrzebowanie wody przez pomidory dla temperatury otoczenia $\geq 22^{\circ}\text{C}$

Fig. 5. Effect of solar radiation intensity and steam shortage on water demand by tomatoes for environmental temperature $\geq 22^{\circ}\text{C}$

Rysunek 6 obrazuje wpływ temperatury otoczenia i deficytu pary wodnej na zapotrzebowanie wody przez pomidory maksymalnej wartości natężenia promieniowania słonecznego. Analizując te przebiegi można stwierdzić, że wraz ze wzrostem natężenia promieniowania i temperatury otoczenia zapotrzebowanie na wodę przez uprawiane rośliny wzrasta, zaś w przypadku wzrostu deficytu ciśnienia pary wodnej tendencja ta nie jest jednoznaczna. Dla niewielkich wartości temperatury otoczenia oraz natężenia promieniowania, zaobserwowano że dla pewnych wartości deficytu ciśnienia pary wodnej, zapotrzebowanie na wodę jest największe.

Objaśnienie jednoznaczne tego procesu jest skomplikowane, bowiem o intensywności zapotrzebowania wody (czyli transpiracji roślin) decydują wzajemne interakcje między stopniem otwarcia aparatów szparkowych w liściach oraz warunki panujące w przestrzeni przysparkowej (ciśnienie pary wodnej oraz temperatura). W konsekwencji panuje zmienny opór fizjologiczny który wpływa na intensywność wymiany gazowej która zależy różnicy ciśnienia pary wodnej we wnętrzu przestrzeni i na zewnątrz liścia [Kędziora 1995].



Rys. 6. Wpływ deficytu ciśnienia pary wodnej i temperatury otoczenia na zapotrzebowanie wody przez pomidory dla natężenia promieniowania słonecznego $\geq 500 \text{ W/m}^2$

Fig. 6. Effect of steam shortage and environmental temperature on water demand by tomatoes for solar radiation intensity $\geq 500 \text{ W/m}^2$

Jak można zauważyć, zapotrzebowanie na wodę przez uprawiane pomidory w badanych warunkach mieściło się 0,6 do 3,5 $\text{g/m}^2/2\text{min}$.

Analiza wariancji (przeprowadzona na poziomie $\alpha = 0,05$) wykazała że analizowane czynniki wykazują istotność wpływu na zapotrzebowanie wody. Stąd, do znalezienia funkcyjnych zależności zapotrzebowania na wodę funkcji parametrów otaczającego klimatu (natężenie promieniowania słonecznego, temperatura wewnątrz szklarni, deficyt ciśnienia pary wodnej) wykorzystano estymację nieliniową metodą quasi-Newtona przy zachowanym współczynniku zbieżności 0,001. Model regresji przyjmuje postać:

$$TR = 0,0025 \cdot R_{zew} + 0,098 \cdot t_{wev} - 0,143 \cdot VPD + 0,05 \quad R^2=0,85$$

w zakresie: $2 \leq R_{zew} \leq 595 \text{ W/m}^2$; $17,5 \leq t_{wev} \leq 23^\circ\text{C}$; $4,4 \leq VPD \leq 8,4 \text{ hPa}$

Wnioski

1. W badanych warunkach doświadczenia, zapotrzebowanie na wodę przez uprawiane pomidory szklarniowe, w odniesieniu do jednostkowej powierzchni liści, mieści się w granicach od 0,6 do 3,5 $\text{g}/_{120 \text{ sek}}$.

2. Znaleziono model regresji wielokrotnej który opisuje zapotrzebowanie wody uprawianych pomidorów w funkcji zmiennych parametrów klimatu wewnątrz szklarni.

Bibliografia

Baille A., Kittas C, Katsoulas N. 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop partitioning. *Agricultural and Forest Meteorology* 107(4), 293-306.

Boulard T., Wang S. 2002. Experimental and numerical studies on the heterogeneity of crop transpiration in a plastic tunnel. *Computers and Electronics in Agriculture*, 34(1-3), 173-190.

Boulard T., Fatnassi H., Roy J.C., Lagier J., Fargues J., Smits N., Rougier M., Jeannequin B. 2004. Effect of greenhouse ventilation on humidity of inside air and in leaf boundary- layer. *Agricultural and Forest Meteorology* 125(3-4), 225-239.

Dayan J., Dayan E., Strssberg Y., Presnov E. 2004. Simulation and control of ventilation rates in greenhouses. *Mathematics and Computers in Simulation*, 65(1-2), 3-17.

Fantassi H., Boulard T., Lagier J. 2004. Simple indirect estimation of ventilation and crop transpiration rates in a greenhouse. *Biosystems Engineering* 88(4), 467-478.

Korner O., Challa H. 2003. Process-based humidity control regime for greenhouse crop. *Computers and Electronics in Agriculture*, 39(3), 173-192.

Kędziora A. 1995. *Podstawy agrometeorologii*. PWRiL, Poznań.

Kurpaska S. 1996. Wpływ niektórych czynników środowiskowych na ewapotranspirację pomidorów szklarniowych uprawianych w warstwie mineralnej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. Z.444*, 203-210.

Medrano E., Lorenzo P., Sanchez M., Montero J. 2005. Evaluation and modelling of greenhouse cucumber-crop transpiration under and low radiation conditions. *Scientia Horticulturae*, 105(2), 163-175.

**DEMAND FOR WATER BY GREENHOUSE TOMATOES
CONSIDERING CONTROLLABLE PARAMETERS
OF THE AMBIENT CLIMATE**

Summary

The work includes the analysis of influence of climate variables (solar radiation, humidity and air temperature inside a greenhouse) on demand for water by greenhouse tomatoes. The tests were performed in a production greenhouse. Demand for water was determined by transpiration measurement. Based on the analysis results a regression model was found, describing water demand variance.

Key words: demand for water, climate variables, greenhouse, tomatoes