

WYKORZYSTANIE WODY PODGRZANEJ W KOLEKTORACH SŁONECZNYCH DO PODLEWANIA POMIDORÓW UPRAWIANYCH W OBIEKTACH POD OSŁONAMI

Hubert Latała

Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono relacje ilościowe między ciepłem pochodzącym z konwersji promieniowania słonecznego a potrzebami energetycznymi niezbędnymi do podgrzania wody do podlewania roślin pomidorów. Eksperymenty wykonano w okresie od czerwca do listopada w szklarni z uprawą pomidora na węglinie mineralnej. Objętość wody do podlewania określono teoretycznie na podstawie panujących podczas badań warunków otoczenia, które głównie wpływały na intensywność transpiracji. Dysponując ilością wody, która pochodziła ze studni głębinowej oraz znając jej temperaturę początkową wyliczono ilość ciepła potrzebnego do podgrzania tej wody do temperatury 18°C. Następnie potrzeby energetyczne do podgrzania wody porównano z dostępnym ciepłem z kolektorów słonecznych. W zakresie eksperymentu przeanalizowano trzy zestawy próżniowych kolektorów słonecznych: 1 – AP-30 (30 rur próżniowych); 2 – AP-30 + AP-20 (w sumie 50 rur próżniowych) oraz 3 – AP-30 + AP-30 (w sumie 60 rur próżniowych). Z przeprowadzonej analizy wynikało, że w celu pokrycia zapotrzebowania na ciepło w rozpatrywanym okresie należało by zastosować 3 zestawy nr 1 i po 2 zestawy nr 2 i 3.

Słowa kluczowe: magazynowanie ciepła, nawadnianie, kolektory słoneczne

Wstęp

Dobowe zapotrzebowanie na wodę przez rośliny w uprawie pod osłoną uzależnione jest od parametrów fizycznych klimatu wewnątrz jak i na zewnątrz. Ma to szczególne znaczenie w uprawie na węglinie mineralnej, gdzie masa wody dostarczana do systemu korzeniowego w postaci pożywki musi zaspokoić w pełni potrzeby związane z procesem transpiracji, infiltracji i parowania. Bardzo mała retencja wodna tego podłoża wymaga wielokrotnego dostarczania wody w ciągu doby. Zbyt niska jej temperatura prowadzić może do wychłodzenia strefy korzeniowej, a tym samym do obniżenia zdolności pobierania składników odżywczych. Aby temu zapobiec należy przygotować pożywkę o temperaturze zbliżonej do temperatury wewnątrz obiektu szklarniowego. Ilość wody niezbędnej dla roślin zależy w głównej mierze od ich transpiracji, na którą największy wpływ ma promieniowanie słoneczne [Joliet i Bailey 1992; Nederchoff i Graff 1993; Stanghellini 1987]. Opierając się na powyższych wynikach badań jak również na modelu regresji uwzględniającego procesy: infiltracji, transpiracji i parowania [Kurpaska 1998] zapotrzebowanie na

wodę przez rośliny pomidora można określić z błędem nie przekraczającym 6%. Na podstawie tych obliczeń oraz w wyniku monitorowania temperatury wody w studni określono niezbędne ciepło do podgrzania wody do podlewania roślin. Następnie postawiono sobie za cel sprawdzenie czy użycie trzech niezależnych zestawów próżniowych kolektorów słonecznych: 1 – AP-30 (30 rur próżniowych); 2 – AP-30 + AP-20 (w sumie 50 rur próżniowych) oraz 3 – AP-30 + AP-30 (w sumie 60 rur próżniowych) zapewni potrzebną ilość ciepła.

Materiał i metoda

Obliczenia wykonano w okresie od czerwca do listopada w szklarni o powierzchni 600 m² z uprawą pomidora na wełnie mineralnej. Uprawa roślin prowadzona była w systemie „V” i na 1 m² powierzchni uprawy przypadało 2,5 rośliny. Masę wody (m) do podlewania roślin określono na podstawie warunków solarnych, które głównie wpływały na intensywność transpiracji roślin według poniższej zależności [Kurpaska 1998]:

$$m = r \cdot a \cdot \left(\sum R_z \right)^b \text{ [g]} \quad (1)$$

gdzie:

- r – ilość roślin [szt.],
- R_z – dzienna suma promieniowania słonecznego [kWh·m⁻²],
- a i b – współczynniki zależne od rodzaju rośliny, (dla pomidora odpowiednio 46 i 0,1).

Woda do podlewania pomidorów czerpana była ze studni głębinowej do zbiornika, a następnie podgrzewana przez wężownicę zasilaną z kolektorów próżniowych. Ilość ciepła konieczną do podgrzania wody do temperatury 18°C określono na podstawie równania (2).

$$q = m \cdot c_w \cdot (t_w - t_g) \text{ [J]} \quad (2)$$

gdzie:

- c_w – ciepło właściwe wody [J·kg⁻¹·K⁻¹],
- t_w – temperatura wody podgrzanej [K],
- t_g – temperatura wody ze studni głębinowej [K].

Kolejnym etapem było wyznaczenie ciepła (q) jakie uzyskano z kolektorów słonecznych w ciągu dnia. Obliczono je na podstawie masy przepływającego płynu i różnicy temperatur na wyjściu (t_{wy}) i wejściu (t_{we}) z kolektora, według zależności (3).

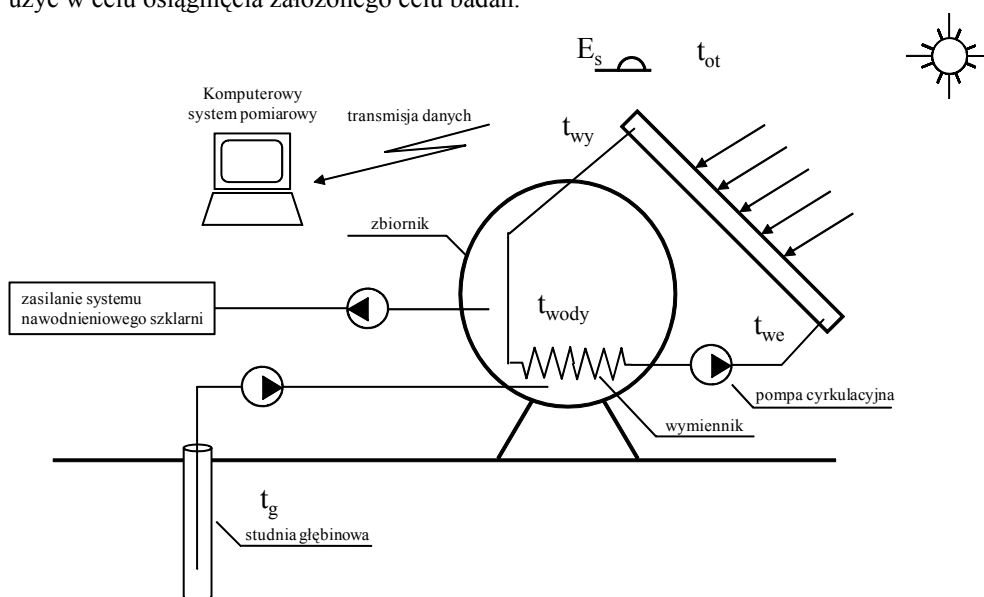
$$q = \sum (m_g \cdot c_g \cdot \tau \cdot (t_{wy} - t_{we})) \text{ [J]} \quad (3)$$

gdzie:

- m_g – jednostkowe natężenie przepływu czynnika grzewczego [kg·s⁻¹],
- c_g – ciepło właściwe czynnika grzewczego [J·kg⁻¹·K⁻¹],
- τ – czas [s],
- t_{wy} , t_{we} – temperatury czynnika grzewczego na wyjściu i wejściu z kolektora [K].

Warunki solarne poszczególnych dni określono na podstawie sumy dziennego promieniowania słonecznego wyliczono na podstawie pomiarów natężenia promieniowania słonecznego (E_s) wykonywanego pyranometrem. W zakresie prowadzonego eksperymentu przeanalizowano trzy zestawy próżniowych kolektorów słonecznych: 1 – AP-30 (30 rur próżniowych); 2 – AP-30 + AP-20 (w sumie 50 rur próżniowych) oraz 3 – AP-30 + AP-30 (w sumie 60 rur próżniowych). W układzie kolektory - węzownica znajdował się czynnik obiegowy, za którego ruch odpowiadała pompa cyrkulacyjna rys.1.

Wyliczoną ilość ciepła potrzebnego do podgrzania wody, do temperatury 18°C , pochodzącej ze studni głębinowej (t_g) porównano z dostępnym ciepłem jakie są w stanie dostarczyć badane zestawy kolektorów. Na tej podstawie określono ile i jakich zestawów należy użyć w celu osiągnięcia założonego celu badań.



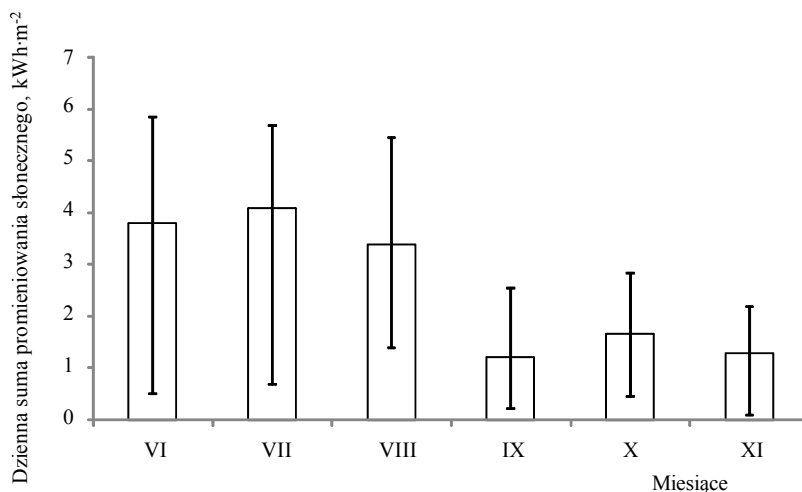
Rys. 1. Schemat ideowy systemu magazynowania ciepła w zbiorniku wodnym
 Fig. 1. Schematic diagram showing the system of heat storage in water tank

Wyniki

Suma dzienna promieniowania słonecznego wyliczona na podstawie danych pochodzących z pomiaru natężenia promieniowania słonecznego zmieniała się w szerokim zakresie. Przyczyną tego stanu rzeczy było zmienne zachmurzenie, które w decydujący sposób wpływało na ilość energii promieniowania słonecznego docierającego do powierzchni kolektorów. Na rysunku 2 przedstawiono wartości średnie dziennych sum promieniowania słonecznego dla poszczególnych miesięcy wraz z wartościami minimalnymi i maksymalnymi. W miesiącach od VI do VIII wartości maksymalne tych sum osiągały poziom zbliżony do $6 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$. Taki poziom energii promieniowania słonecznego powodował wzrost

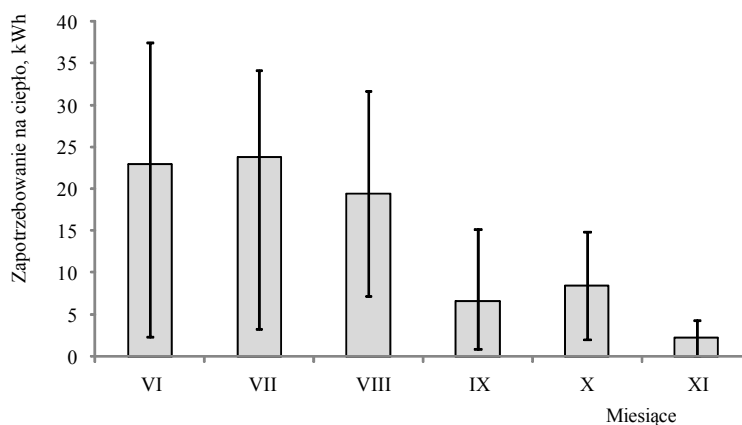
zużycia wody do podlewania, a tym samym zwiększało się zapotrzebowanie na ciepło potrzebne do ogrzania wody pochodzącej ze studni głębinowej.

Kolejne 3 miesiące, związane z okresem jesiennym, dostarczyły mniej energii promieniowania słonecznego. Było to około dwukrotnie mniej w porównaniu do miesięcy letnich.



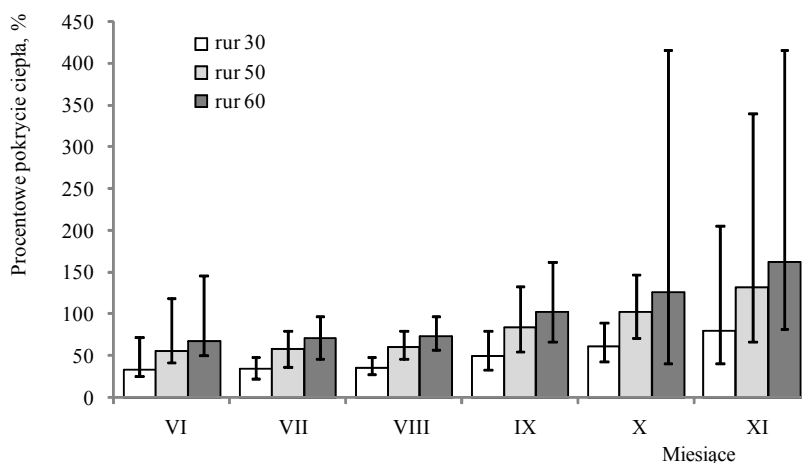
Rys. 2. Średnia dzienna suma promieniowania słonecznego na płaską powierzchnię [kWh·m⁻²]
Fig. 2. Mean daily sum of solar radiation falling on a flat surface [kWh·m⁻²]

Na podstawie sum promieniowania słonecznego określono dzienne zapotrzebowanie na wodę do podlewania roślin pomidorów według równania (1). Zaopatrzenie wody odbywało się ze studni głębinowej, w której temperatura wody zmieniała się, w okresie prowadzonych badań, od 7,1 do 9,6°C. Następnie wyliczono zapotrzebowanie na ciepło niezbędne do jej podgrzania do temperatury 18°C. Zapotrzebowanie to w ujęciu średnich miesięcznych wartości wraz z minimalnymi i maksymalnymi wartościami przedstawiono na rysunku 3. Ilościowe potrzeby ciepła w miesiącach letnich były około czterokrotnie większe w porównaniu do miesięcy jesiennych. Największe średnie zapotrzebowanie na poziomie 23,8 kWh odnotowano w miesiącu lipcu. Korelowało to z największą średnią dzienną sumą promieniowania słonecznego, które dla tego miesiąca wyniosło 4,1 kWh·m⁻². Najmniejsza ilość ciepła wymagana do podgrzania wody była w listopadzie. Średnie zapotrzebowanie na ciepło było wówczas na poziomie 2,2 kWh. Oznaczało to dziesięciokrotny spadek zapotrzebowania na ciepło w porównaniu do lipca. Ten spadek zapotrzebowania spowodowany był krótszym dniem, co w konsekwencji wiązało się z mniejszą ilością dostępnego promieniowania słonecznego. Ponadto przeważająca ilość dni pochmurnych również przyczyniła się do obniżenia zapotrzebowania na wodę.



Rys. 3. Średnie miesięczne zapotrzebowanie na ciepło do podgrzewania wody [kWh]
Fig. 3. Mean monthly demand for heat used to warm up water [kWh]

Na rysunku 4 przedstawiono procentowe pokrycie ciepła pochodzącego z kolektorów słonecznych w stosunku do zapotrzebowania wymaganego do utrzymania założonych parametrów termicznych wody do podlewania pomidorów. Z analizy otrzymanych wyników wynika, że zastosowane w badaniach zestawy kolektorów słonecznych nie są w stanie zapewnić potrzeb energetycznych związanych z podgrzewaniem wody do podlewania pomidorów. Dotyczy to szczególnie miesięcy, w których zanotowano największe zużycie wody. W okresie od czerwca do września jedynie w pojedynczych dniach zastosowany system kolektorów, AP-30 + AP-20 (50 rur próżniowych) i AP-30 + AP-30 (60 rur próżniowych), był w stanie pokryć całkowite zapotrzebowanie na ciepło. Szczególnie uwidoczniło się to w miesiącu czerwcu i wrześniu. Lepsze efekty pod względem zaopatrzenia w ciepło pochodzące z konwersji promieniowania słonecznego osiągnięto w miesiącach październiku i listopadzie. Związane to było z dziesięciokrotnym spadkiem zapotrzebowania na ciepło do podgrzania wody w porównaniu do okresu o największej radiacji. Niedobór ciepła dla pozostałych okresów wymagałby zastosowania dodatkowych zestawów kolektorów, ale w tej pracy nie została przeanalizowana zasadność ekonomiczna takiego rozwiązania. Użycie dodatkowych zestawów kolektorów słonecznych w miesiącach letnich w ilości 3 sztuk AP-30 w pełni zaspokoiłoby potrzeby cieplne, ale te 3 kolektory w warunkach miesiąca listopada dostarczyłyby około dwukrotnie więcej ciepła niż wynikało to z potrzeb uprawianych roślin. W tabeli 1 zestawiono liczbę kolektorów słonecznych dla poszczególnych miesięcy, która zapewniłaby wymaganą ilość ciepła do podgrzania wody do podlewania roślin pomidora.



Rys. 4. Procentowe pokrycie ciepła przez zestawy kolektorów 30, 50 i 60 rur [%]

Fig. 4. Percent heat demand coverage by collector sets consisting of 30, 50 and 60 tubes [%]

Tabela 1. Średnia ilość zestawów kolektorów, w poszczególnych miesiącach (czerwiec – listopad), niezbędna do dostarczenia ilości ciepła potrzebnej do podniesienia temperatury wody do 18°C

Table 1. Average number of collector sets in individual months (June – November), necessary to deliver heat amount required to increase water temperature to 18°C

Zestaw	Grupa I			Grupa II		
	VI	VII	VIII	IX	X	XI
30 rur	3,1	3,0	2,8	2,1	1,7	1,5
50 rur	1,9	1,8	1,7	1,3	1,0	0,9
60 rur	1,6	1,5	1,4	1,1	0,8	0,8

Źródło: obliczenia własne autora

Zaproponowane ilości zestawów kolektorów słonecznych w tabeli I podzielono na dwie grupy. Jedną z nich obejmowała miesiące od czerwca do sierpnia, a drugą od września do listopada. W pierwszej grupie pod względem zaopatrzenia w ciepło przeanalizowano 3 zestawy z 30 rurami i po 2 zestawy składające się z 50 i 60 rur. Średnio największy niedobór ciepła (2,3 kWh) zanotowano w miesiącu czerwcu dla 3 kolektorów 30 rurowych. Natomiast średnią wartość nadwyżki ciepła (3,2 kWh) z kolektorów słonecznych uzyskano w miesiącu sierpniu stosując 2 zestawy kolektorów 50 rurowych. Odnosząc powyższe wartości ciepła do ilości potrzebnej do podgrzania wody do podlewania wyliczono, że średnio 169 litrów wody należało podgrzać z innego źródła w czerwcu, a nadwyżka ciepła w sierpniu umożliwiła podgrzanie dodatkowo około 237 litrów wody ze studni głębinowej do temperatury 18 °C. Podobną analizę przeprowadzono dla grupy II, w której przeanalizowano 1 zestaw z 50 rurami i 1 zestaw składający się z 60 rur. Zestaw kolektorów z 50 rurami nie był w stanie zapewnić wymaganej ilości ciepła do podgrzania wody w okresie

3 miesięcy. Największe braki ciepła, na poziomie 2 kWh, zanotowano we wrześniu. W tym czasie należałoby podgrzewać średnio około 152 litry wody z dodatkowego źródła ciepła. Natomiast Kolektor w układzie 60 rur w miesiącach października i listopadzie zapewniał potrzeby cieplne. Jedynie we wrześniu wystąpił niedobór ciepła na poziomie około 1 Kwh.

Kierując się zatem wyborem określonego zestawu i jego ilością należy uwzględnić również inne sposoby zagospodarowania powstałych nadwyżek ciepła, które można magazynować i wykorzystać w okresach słabszej radiacji lub spożytkować do wspomaganie układu grzewczego zainstalowanego w obiekcie.

Wnioski

1. Największe średnie miesięczne zapotrzebowanie na ciepło do podgrzewania wody, ściśle związane z jej zużyciem, zanotowano w miesiącu lipcu.
2. W miesiącach lipcu i sierpniu żaden z analizowanych zestawów kolektorów nie był w stanie zapewnić potrzebnej ilości ciepła do podgrzania wody do podlewania roślin pomidorów.
3. Celem zapewnienia wymaganej ilości ciepła do podgrzania wody należy zastosować 3 zestawy kolektorów AP-30 w miesiącach o największej radiacji, natomiast w okresach najniższej radiacji wystarczy połączenie AP-30 i AP-20.

Bibliografia

- Joliet O., Bailey B.J.** 1992. The effect of climate on tomato transpiration in greenhouses: measurements and models comparison. *Agricultural and Forest Meteorology*. 58. s. 43-62.
- Kurpaska S.** 1998. Modelowe badanie zapotrzebowania na wodę niektórych roślin szklarniowych w funkcji promieniowania słonecznego. *Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej* z. 333. s. 811-815.
- Nederchoff E.M., Graff R.** 1993. Effects of CO₂ on leaf conductance and canopy transpiration of greenhouse grown cucumber and tomato. *Journal of Horticultural Science*. 68, 6. s. 925-937.
- Stanghellini C.** 1987. Transpiration of greenhouse crops an aid to climate management. Ph. D. Wageningen.

USING WATER HEATED UP IN SOLAR COLLECTORS FOR WATERING TOMATOES GROWN IN COVERED FACILITIES

Abstract. The paper presents quantitative relations between heat obtained from solar radiation conversion and demand of energy required to preheat water for tomato plants. Experiments were carried out between June and November in a greenhouse with tomatoes grown in mineral wool. Capacity of water needed for watering was determined theoretically according to ambient conditions prevailing during tests, which were primarily affecting transpiration intensity. Having the volume of water taken from deep well and knowing its initial temperature, it was possible to compute heat amount required to warm up this water to the temperature of 18°C. Then, energy demand for warming up water was compared with heat available from solar collectors. The scope of the experiment included analysis of three sets of vacuum solar collectors: 1 – AP-30 (30 vacuum tubes); 2 – AP-30 + AP-20 (50 vacuum tubes in total) and 3 – AP-30 + AP-30 (60 vacuum tubes in total). Completed analysis proved that 3 sets no. 1 and 2 sets no. 2 and 3 each should have been used during the period in question in order to cover heat demand.

Key words: heat storage, watering, solar collectors

Adres do korespondencji:

Hubert Latała; e-mail: Hubert.Latala@ur.krakow.pl
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków