

Hubert Latała
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Akademia Rolnicza w Krakowie

WPLYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA ZUŻYCIE CIEPŁA PODZAS ELEKTRYCZNEGO OGRZEWANIA PODŁOŻA OGRODNICZEGO

Streszczenie

Badania wykonano w warunkach laboratoryjnych na specjalnie przygotowanym stanowisku. Wewnątrz tunelu foliowego znajdowało się, osłonięte folią PE, ogrzewane kablem grzewczym podłoże. W zmieniających się warunkach otoczenia określono wartości strumieni strat ciepła dla tunelu jak i znajdującej się w jego wnętrzu osłoniętej przestrzeni. Dodatkowo przeanalizowano zachowanie się systemu po podniesieniu temperatury podłoża o 10°C.

Słowa kluczowe: straty ciepła, tunel foliowy, ogrzewanie podłoża

Wykaz oznaczeń

- F_{os} – powierzchnia osłony
- F_{grz} – powierzchnia systemu grzewczego
- F_g – powierzchnia podłoża
- $F_{ob.}$ – powierzchnia obiektu
- σ – stała promieniowania
- ε_z – zastępczą emisyjność
- ψ_{ob} – wskaźnik kubatury obiektu
- ρ – gęstość powietrza
- c_w – ciepło właściwe powietrza
- k – współczynnik wnikania ciepła

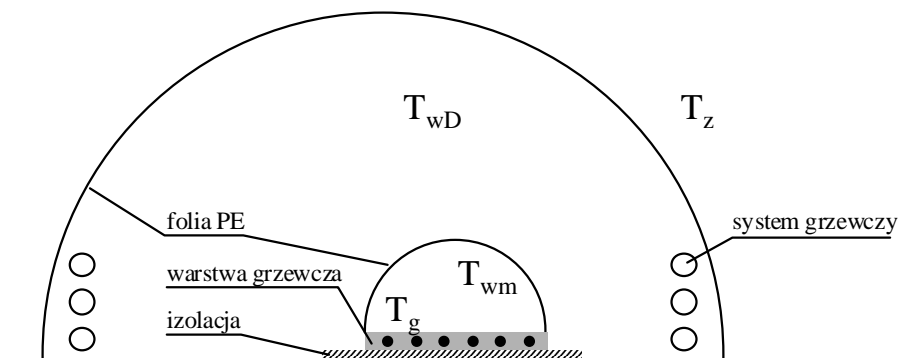
Wstęp

Uprawa roślin pod osłonami daje możliwość zagwarantowania wymaganych warunków środowiskowych niezbędnych dla prawidłowego rozwoju. Jednym z ważniejszych czynników jest temperatura podłoża, która wpływa na intensywność poboru, przez system korzeniowy, wody wraz ze składnikami pokarmowymi [Rewut 1980]. Ponadto optymalna temperatura podłoża zapewnia prawidłowy rozwój systemu korzeniowego, a w przypadku produkcji sadzonek wpływa na właściwe ich ukorzenianie [Skierkowski 1984]. Istnieją różne sposoby ogrzewania podłoża [Kurpaska 2000], ale zważywszy na znaczne niższe nakłady pracy przy instalowaniu ogrzewania elektrycznego [Długosz i Kurpaska 2003] i stosunkowo małą powierzchnię przeznaczoną pod przygotowanie roszady najprostszemu wydaje się użycie elektrycznego kabla grzewczego. Zapewnienie właściwych warunków do produkcji roszady w tunelach foliowych związane jest z podniesieniem temperatury podłoża i temperatury powietrza wewnątrz obiektu, która prowadzi do zwiększenia zapotrzebowania na ciepło. Ograniczenie przestrzeni nad ogrzewanym podłożem, zważywszy na początkową fazę rozwoju roślin, przezroczystą folią polietylenową powodować będzie ograniczenie strat ciepła i zapewni wymagany dostęp światła dla roszady. Brak jest jednak dokładnych informacji o wielkości zapotrzebowania na ciepło w tak zmodyfikowanych warunkach.

Stąd głównym celem pracy jest wyznaczenie wielkości opisujących jednostkowe zapotrzebowanie na ciepło zarówno w tunelu foliowym jak i stanowisku, w którym podgrzewano podłoże ogrodnicze w ograniczonej przestrzeni.

Materiał i metody

Badania doświadczalne przeprowadzono w tunelu foliowym, zlokalizowanym na terenie Wydziału Agrotechnologii Akademii Rolniczej w Krakowie, o wymiarach 9 x 6 m. Ściany czołowe tunelu pokryte były poliwęglanem o grubości 6 mm, zaś część łukowa pokryta była folią PE o grubości 0,18 mm. Wysokość obiektu w najwyższym punkcie wynosiła 2,8 m. Wewnątrz tunelu znajdowało się stanowisko o wymiarach 9 na 1 m, osłonięte folią PE. Na stanowisku tym zainstalowano system do podgrzewania podłoża ogrodniczego kablem grzewczym o jednostkowej mocy 16 W/mb. Nad ogrzewanym podłożem umieszczono osłonę, z identycznej folii jaką pokryty był tunel doświadczalny, znajdującą się na wysokości 0,5 m w najwyższym punkcie (rys. 1).



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego

Fig. 1. Layout of a measuring stand

W tunelu zainstalowano czujniki do pomiaru temperatury: podłoża (T_g), powietrza nad ogrzewanym podłożem (T_{wm}), powietrza wewnątrz obiektu (T_{wD}), a na zewnątrz tunelu podczas eksperymentu mierzono temperaturę otoczenia (T_z). Dodatkowo monitorowano również temperaturę podłoża w tunelu, temperaturę systemu grzewczego i prędkość wiatru. Wymienione parametry były mierzone i rejestrowane w przedziałach 30 sekundowych. Straty ciepła w tunelu foliowym (q) obliczono w postaci sumy składowych strumieni ciepła według podanych poniżej zależności:

$$q = q_K + q_R + q_I + q_P \quad (1)$$

– Strumień strat przez konwekcje (q_K):

$$q_K = k \cdot (t_w - t_z) \cdot F_{os} \quad (2)$$

– Strumień strat przez promieniowanie (q_R):

$$q_R = q_{R1} + q_{R2} \quad (3)$$

– elementy konstrukcyjne

$$q_{R1} = \varepsilon_z \cdot \sigma \cdot F_{grz} \cdot (T_{grz}^4 - T_{os}^4) \quad (4)$$

– osłona nieboskłon

$$q_{R2} = \varepsilon_{os} \cdot \sigma \cdot F_{os} \cdot (T_{os-z}^4 - T_n^4) \quad (5)$$

– Strumień strat przez infiltrację (q_i):

$$q_i = 2,78 \cdot 10^{-4} \cdot i \cdot \psi_{ob} \cdot \rho \cdot c_w \cdot F_{ob} \cdot (t_w - t_z) \quad (6)$$

– Strumień strat ciepła przez podłoże(q_p):

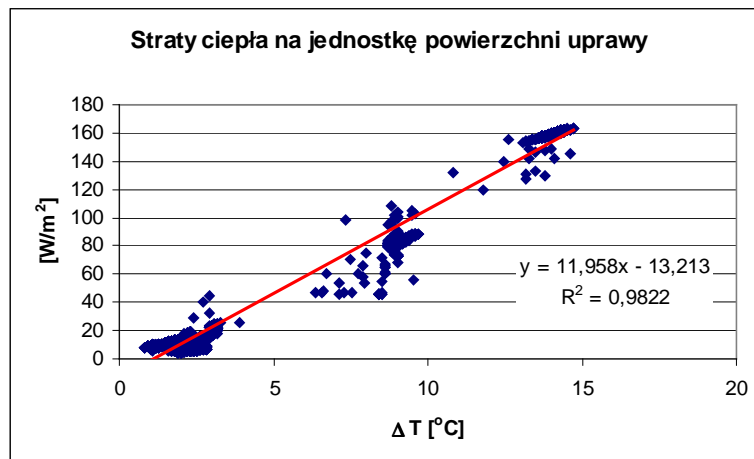
$$q_p = k_p \cdot (t_w - t_g) \cdot F_g \quad (7)$$

Stosując podobną metodykę obliczono również straty ciepła w osłoniętym, folią PE, stanowisku, w którym podgrzewano podłoże ogrodnicze kablem grzewczym. Wartość tych strat wyliczono na podstawie zależności (1-7) w odniesieniu do temperatury w osłoniętej przestrzeni i temperatury powietrza wewnątrz tunelu. W zależnościach (4 i 5) uwzględniono parametry, które decydowały o stratach w ograniczonej przestrzeni. Przeanalizowano również, korzystając z powyższych zależności, próbę określenia w jakim stopniu założony wzrost temperatury podłoża (o 10 °C) wpłynie na wielkość strat ciepła zarówno w tunelu z pracującym systemem grzewczym jak i nie ogrzewanym. Prędkość wiatru w czasie eksperymentu nie przekraczała 4 m/s.

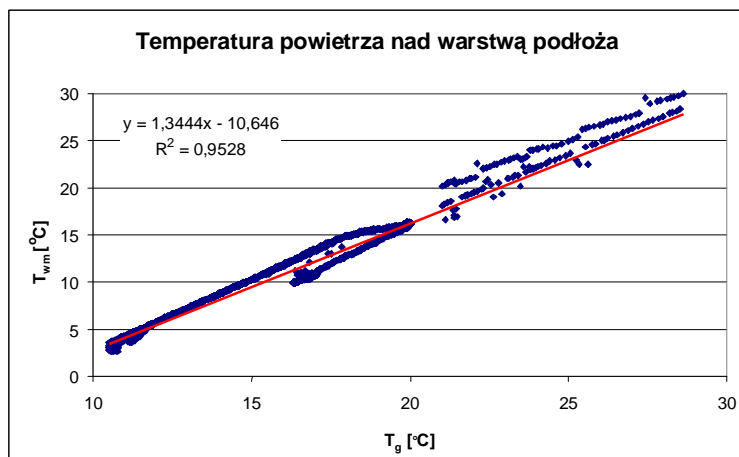
Wyniki i dyskusja

Na podstawie wyników przeprowadzonego eksperymentu obliczono strumień strat ciepła w tunelu foliowym według przedstawionej powyżej metodyki. Wartość tego strumienia przeliczono następnie na jednostkę powierzchni znajdującej się pod osłoną i przedstawiono na rys. 2. Straty a tym samym zapotrzebowanie na ciepło w badanym obiekcie zmieniało się w granicach od kilku do 165 W/m² w funkcji różnicy temperatur powietrza – wewnętrznego i zewnętrznego. O wysokiej zgodności przedstawionych na wykresie wyników świadczy bliska jedności wartość współczynnika determinacji. Występujące różnice w obliczaniu strat ciepła wynikać mogą z pewnych uproszczeń stosowanych w szacowaniu infiltracji jak również założenia stałego wpływu wiatru z zakresie prędkości 0-4 m/s.

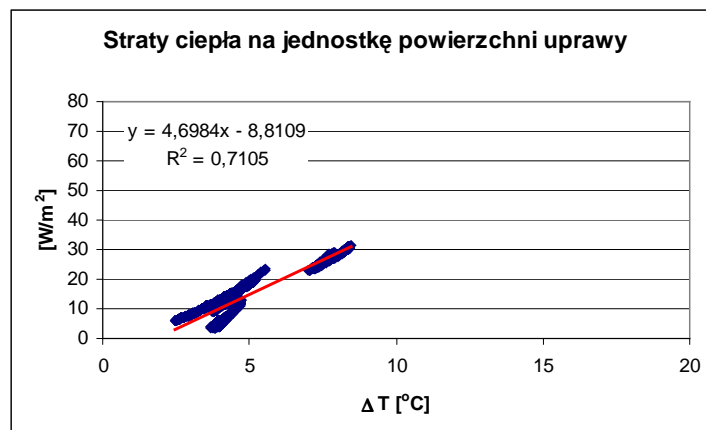
Z przedstawionych wyników na rysunku 3 wynika ścisły związek pomiędzy temperaturą podłoża a temperaturą powietrza, które znajduje się w ścisłym kontakcie ($R^2=0,95$) z warstwą ogrzewaną. Dodatkowo sprzyja temu osłona z folii PE znajdująca się w niewielkiej odległości, która ogranicza konwekcyjną wymianę ciepła. Na podstawie tych pomiarów wyznaczono zależność opisującą wzajemną relację między temperaturą podłoża, a temperaturą powietrza nad ogrzewaną warstwą. Wartości strat strumienia ciepła w osłoniętej przestrzeni nad ogrzewaną warstwą podłoża przedstawione na rysunku 4. Obliczeń tych wartości dokonano w oparciu o równania (1-7) korygując i uwzględniając odpowiednie parametry wpływające na wielkości składowych strumieni wymiany ciepła. Analizując strumienie strat ciepła dla tych samych różnic temperatur (rys. 2 i 4) stwierdzono 2,7 krotnie mniejsze straty w warunkach ograniczonej przestrzeni w porównaniu ze stratami obliczonymi w warunkach nie osłoniętego podłoża. Zmniejszenie tych strat wynika z faktu ograniczenia powierzchni wymiany ciepła jak również braku bezpośredniego oddziaływania warunków zewnętrznych.



Rys. 2. *Straty ciepła w tunelu foliowym na jednostkę powierzchni uprawy w funkcji różnicy temperatur wewnętrznej i zewnętrznej*
 Fig. 2. *Heat loss in a film tunnel per unit of arable area in the function of the difference between internal and external temperatures*



Rys. 3. *Zmiany temperatury powietrza nad ogrzewaną warstwą w funkcji temperatury podłoża*
 Fig. 3. *Air temperature changes above the heated layer in the function of substrate temperature*

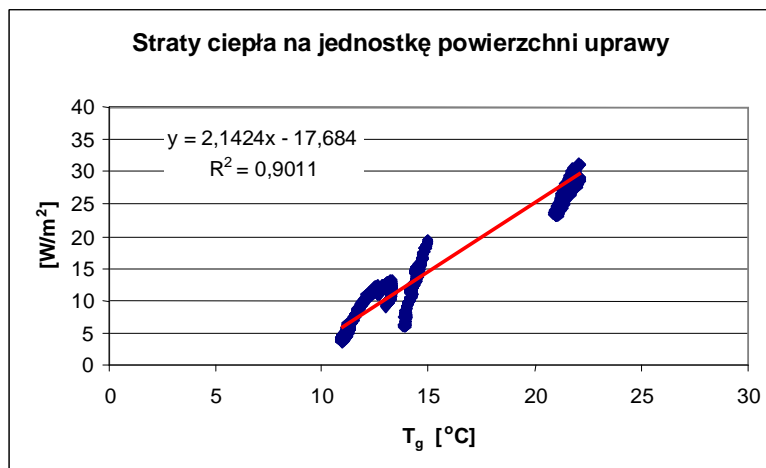


Rys. 4. Straty ciepła w osłoniętej przestrzeni na jednostkę jej powierzchni w funkcji różnicy temperatur wewnętrznej tunelu i powietrza nad ogrzewaną warstwą

Fig. 4. Heat loss in covered area per its unit in a function of the difference between tunnel internal temperature and that of air above heated layer

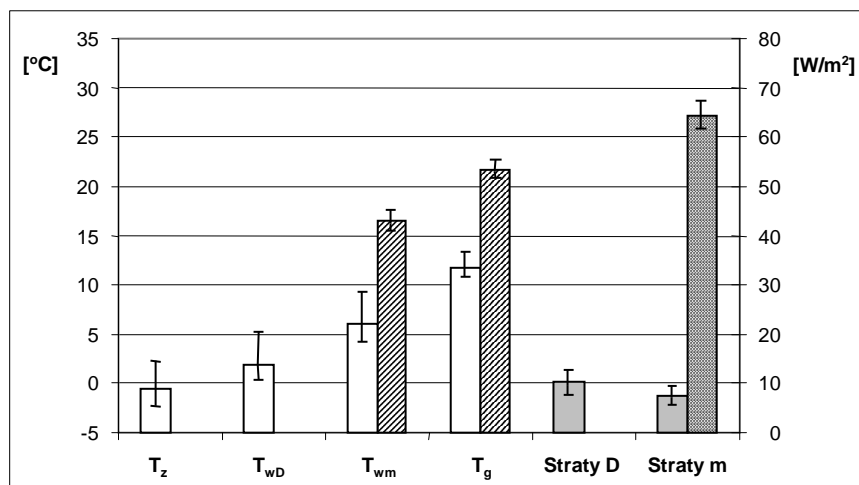
Na rysunku 5 przedstawiono zmiany strumienia strat ciepła, w osłoniętej folią przestrzeni, w funkcji temperatury podłoża. W zakresie przeprowadzonego doświadczenia stwierdzono, że jednostkowy wzrost temperatury podłoża wywołuje dwukrotnie większe straty ciepła. Biorąc pod uwagę fakt, że temperatura nad ogrzewanym podłożem rośnie w wolniejszym tempie (rys. 3.) niż straty (rys. 5.) i poddając go głębszej analizie można zauważyć, że około dwie trzecie ciepła oddanego przez podłoże zużywane jest na podniesienie temperatury powietrza a pozostała część ulega rozproszeniu.

Na kolejnych rysunkach (rys. 6, 7) przedstawiono średnie wartości temperatur mierzonych parametrów. Dodatkowo zamieszczono również wartości średnich strumieni strat dla tunelu foliowego i ograniczonej przestrzeni nad ogrzewaną warstwą. Zaznaczone minimalne i maksymalne odchylenia od wartości średnich dodatkowo uzupełniają informację o wynikach otrzymanych w czasie eksperymentu. W nie ogrzewanym tunelu, w którym przykryto folią ogrzewane podłoże (rys. 6) temperatura zewnętrzna w większości czasu trwania doświadczenia była poniżej zera. Strumienie strat ciepła w tunelu jak i w ograniczonej przestrzeni nad analizowanym podłożem były na bardzo zbliżonym poziomie. W tych warunkach kabel grzewczy utrzymywał temperaturę podłoża na poziomie około 12°C.



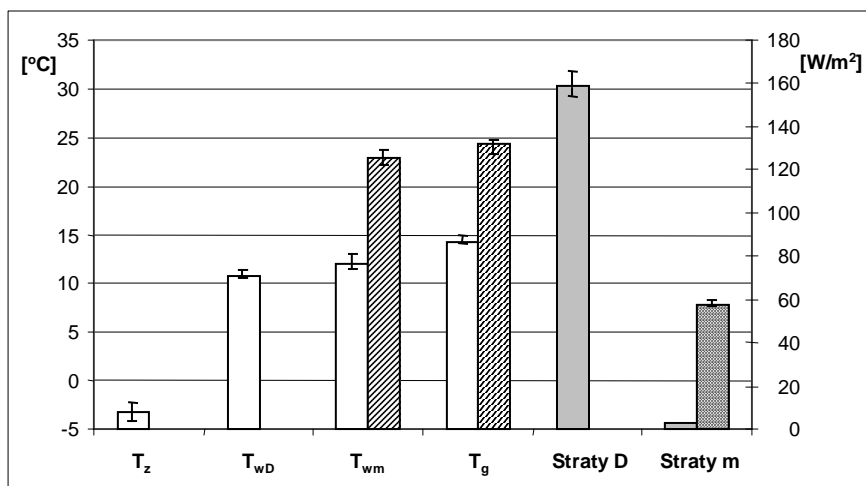
Rys. 5. Straty ciepła w osłoniętej przestrzeni na jednostkę jej powierzchni w funkcji temperatury podłoża

Fig. 5. Heat loss in covered area per its unit in a function of the substrate temperature



Rys. 6. Średnie wartości temperatur i straty ciepła w nie ogrzewanym tunelu foliowym

Fig. 6. Mean temperature values and heat loss in non-heated film tunnel



Rys. 7. Średnie wartości temperatur i straty ciepła w ogrzewanym tunelu foliowym
 Fig. 7. Mean temperature values and heat loss in heated film tunnel

Jest to za niska wartość jeśli weźmiemy pod uwagę warunki przygotowania rozsady. W związku z tym przeanalizowano zachowanie się systemu po podniesieniu temperatury podłoża o 10°C . Spowodowało to wzrost strumienia strat na granicy osłoniętej przestrzeni i wnętrza tunelu. Z przedstawionych na wykresie (rys. 6) wielkości wynika, że średni wzrost zapotrzebowania mocy do realizacji tak postawionego zadania wymagałby dostarczenia około 57 W/m^2 ogrzewanej powierzchni. Podobne rozważania zostały przeprowadzone dla ogrzewanego tunelu foliowego. Wyższa temperatura powietrza wewnątrz tunelu wpłynęła na wielkość strat, która średnio oscylowała w granicach 162 W/m^2 . Średnia wartość strat osłoniętej folią przestrzeni nad podłożem ogrzewanym nie przekroczyła 5 W/m^2 . Podniesienie temperatury podłoża o 10°C w omawianych warunkach spowodowało średni wzrost zapotrzebowania na ciepło o około 53 W/m^2 . Na podstawie przeprowadzonych badań i wykonanej analizy wyników można stwierdzić, że ograniczenie przestrzeni nad ogrzewaną powierzchnią wpływa na ograniczenie strat ciepła powodując tym samym zapewnienie właściwych warunków do rozwoju roślin.

Wnioski

1. Jednostkowe straty ciepła w tunelu foliowym były średnio 2,7 razy większe w porównaniu do strat jakie stwierdzono w osłoniętym folią podgrzewanym podłożu odniesione do powierzchni uprawy.

2. Wzrost temperatury ogrzewanego podłoża wpływał bezpośrednio na większe straty ciepła przez pokrycie.
3. Wzrost temperatury podłoża ogrodniczego o 10°C w przestrzeni osłaniającej ogrzewane podłoże prowadził do zwiększenia jednostkowych strat ciepła o około 56 W/m².

Bibliografia

Długosz A., Kurpaska S. 2003. Zmiany temperatury podłoża ogrodniczego umieszczonego w tacach wielokomórkowych ogrzewanego oporowym przewodem grzewczym. Inżynieria Rolnicza nr 9.

Kurpaska S. 2000. System ogrzewania podłoża ogrodniczego ciepłym powietrzem. Analiza teoretyczna i weryfikacja eksperymentalna. Zeszyty Naukowe AR w Krakowie, Z. 269.

Rewut I. 1980. Fizyka gleby, PWRiL, Warszawa.

Skierkowski J. 1984. Uprawa warzyw pod szkłem i folią. PWRiL, Warszawa.

EFFECT OF CHOSEN FACTORS ON HEAT CONSUMPTION DURING ELECTRIC HEATING OF GARDEN SUBSTRATE

Summary

The study was carried out in laboratory environment on a specially prepared stand. The substrate, heated with heating cable, was shielded with PE film and placed inside the film tunnel. Values of heat loss flux of the tunnel were determined in changing ambient conditions and in the covered area inside. Additionally, behaviour of the system after increasing substrate temperature by 10°C was studied.

Key words: heat losses, film tunnel, heating of the substrate