

OGRANICZENIE ZUŻYCIA CIEPŁA W SZKLARNIACH

Kazimierz Rutkowski, Jakub Wojciech

Institut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie: Objęty analizą obiekt stanowi punkt odniesienia oceny energetycznej dla szklarni nowej generacji będących przedmiotem kolejnych publikacji. W pracy przedstawiono analizę zużycia ciepła w szklarniach o wysokości 2,4 m wyposażonych w ekrany w postaci folii pojedynczej podwieszanej na wysokości okapu oraz folii komórkowej umieszczonej na zewnątrz ścian bocznych szklarni. Badania przeprowadzono przy różnych warunkach wietrznych. W pracy określono jednostkowe zużycie ciepła w odniesieniu do powierzchni uprawy oraz powierzchni osłony szklarni

Słowa kluczowe: szklarnia, ciepło, jednostkowe zużycie ciepła, ekrany termoizolacyjne

Wprowadzenie

Produkcja ogrodnicza w Polsce, w tym szklarniowa ma bogatą tradycję. Istniejące prawa wolnego rynku zachwiały jej pozycję. Wysokie ceny nośników energetycznych, oraz niskie ceny produktu końcowego skłaniają producentów warzyw szklarniowych do poszukiwania energooszczędnych rozwiązań. Ponieważ w strukturze nakładów największy udział stanowi ciepło stąd też temu zagadnieniu należy poświęcić więcej uwagi. Przed producentem, który chce pozostać na rynku staje wiele pytań. Czy i jak zmienić konstrukcję szklarni, co zmienić w wyposażeniu aby koszty produkcji były niższe?. Pomocną informację przy udzielaniu odpowiedzi na powyższe pytania będzie można znaleźć w cyklu publikacji analizujących wpływ rozwiązań konstrukcyjnych i wyposażenia szklarni na zużycie ciepła.

Cel i zakres pracy

Jak podaje wielu autorów [Kurpaska 2007; Rutkowski i in. 2008a] w strukturze czynników mających wpływ na straty ciepła w obiektach pod osłonami (porządkując wg wielkości) ma materiał pokryciowy szklarni, stosunek powierzchni osłony do powierzchni uprawy, szczelność oraz rozmieszczenie elementów grzejnych. Starsze typy szklarni w celu poprawy bilansu cieplnego obiektu wyposaża się w dodatkowe ekrany które z jednej strony zmniejszają straty przez przenikanie a z drugiej zwiększają szczelność. Oba te czynniki mają znaczący wpływ na ilość zużywanego ciepła przez obiekt. Celem prowadzonych badań jest określenie wielkości strat ciepła przez objęte badaniami szklarnie zabezpieczone dodatkowo w ekrany termoizolacyjne. Uzyskane wyniki pozwolą na porównanie zużycia ciepła ze szklarniami bez dodatkowego wyposażenia oraz będą stanowiły punkt odniesienia

do dalszej serii badań obejmujących szklarnie nowej generacji do których zaliczamy obiekty o wysokości powyżej 3,5m (mierzone do okapu).

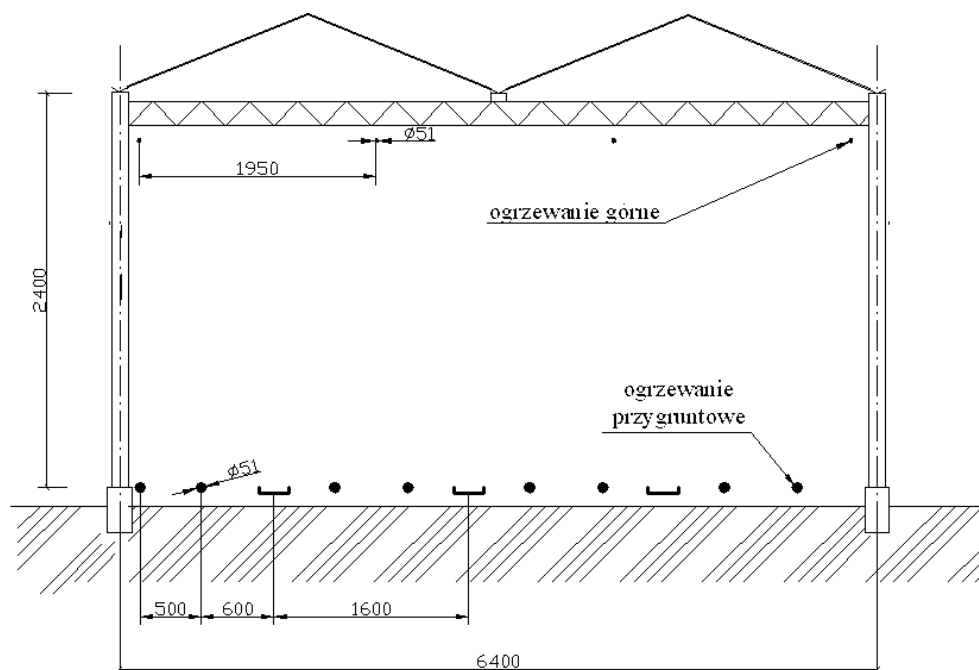
Przedmiot oraz metodyka badań

Przedmiotem badań są szklarnie zblokowane o powierzchni 1ha i wysokości (mierzonej do okapu) 2,4m oraz szerokości nawy 6,4m. Objęte badaniami szklarnie pochodzą z końca lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. W objętych badaniami szklarniach ściany boczne stanowi szkło pojedyncze, które dla ograniczenia strat ciepła po zewnętrznej stronie osłonięte jest folią komórkową. Dach szklarni kryty jest szkłem pojedynczym. W celu ograniczenia strat ciepła przez połac dachową na wysokości okapu szklarni umieszczono pojedynczą folię o grubości 0,05mm. Szkło pokryciowe na całości obiektu ułożone jest na kicie zaś konstrukcja na której ułożone jest szkło stanowi profil stalowy nie posiadający dodatkowych osłon przed stratami ciepła. W badanej szklarni występują dwa systemy grzewcze. Pierwszy stanowią rury umieszczone równomiernie 8-15cm nad powierzchnią gruntu z których 1/3 stanowi szyny służące do transportu technologicznego. Drugi system grzewczy to rury umieszczone na wysokości okapu szklarni. Wg Zabeltitz [1991] i innych autorów [Rutkowski 2008b] jest zmiana cyrkulacji ruchu powietrza wewnątrz obiektu szklarniowego co ma zapewnić wyrównanie temperatur w strefie wegetacji roślin oraz częściowe ograniczenie strat. Jak podaje wielu autorów [Rutkowski 2008a, 2008b, Zabeltitz 1991 i in.] system ten spełnia powyższe zadanie jeśli powierzchnię rur po wewnętrznej stronie pomalujemy lakierem grzejnikowym, zaś od strony dachu brązem aluminiowym ograniczającym promieniowanie w kierunku dachu.

Materiał pokryciowy obiektów szklarniowych decyduje o tym, że posiadają one małą bezwładność cieplną i są one wrażliwe na szybko zmieniające się warunki zewnętrzne w szczególności solarne. Dlatego wydaje się zasadnym, że ocenę energetyczną pod względem zużycia ciepła winno się wykonywać w czasie nocy a to z dwóch powodów. W czasie nocy występuje największe zużycie energii oraz brak jest czynnika zakłócającego bilans cieplny którym jest energia słońca. Z powyższych względów ocenę badanych obiektów pod względem strat ciepła wykonano dla warunków nocnych.

W celu określenia wielkości strat w objętych badaniami obiektach posłużono się wskaźnikiem wyrażającym jednostkowe nakłady energii w ciągu godziny wyrażone na jednostkę powierzchni, oraz w przeliczeniu na jeden stopień różnicy temperatur. W obliczeniach posłużono się różnicą temperatur występującą na zewnątrz i wewnątrz szklarni.

W celu określenia siły oddziaływania czynników atmosferycznych takich jak różnica temperatur oraz prędkość przepływu wiatru na zużycie ciepła uzyskane wyniki z badań przefiltrowano tworząc zbiór uśrednionej wartości wskaźnika zużycia ciepła dla prawie stałych prędkości wiatru ($\Delta v = 0,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) i uszeregowano w-g rosnącej prędkości wiatru do górnej granicy nie przekraczającej $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pierwszy zbiór przefiltrowanych wyników badań poddano analizie statystycznej w celu określenia siły korelacji między różnicą temperatur a wskaźnikiem zużycia ciepła. Drugą grupę stanowiącą średnie wartości przedstawiono na rys. 1. i analizowano pod kątem oddziaływania prędkości wiatru na wielkość wymienionego wyżej wskaźnika zużycia ciepła.



Źródło: opracowanie własne

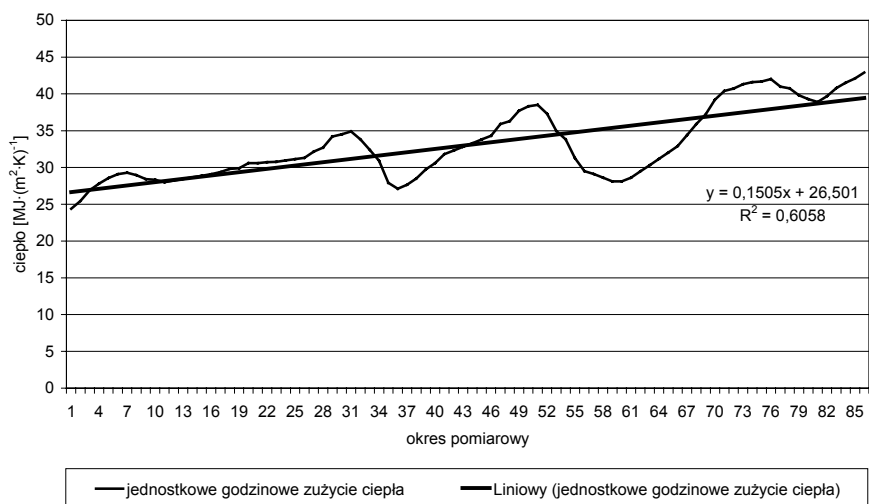
Rys. 1. Przekrój przez nawę i systemy grzewcze w obiekcie I

Fig. 1. Section through aisle and heating systems in object I

Całość okresu badawczego poddanego analizie podzielono na dwa przedziały. Pierwszy okres obejmował dni w których średnia wartość prędkości wiatru wynosiła poniżej $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ oraz drugi cechujący się większymi prędkościami wiatru.

Kryteria przyjętego podziału nawiązują do metodyki przyjętej przez wielu naukowców [Kurpaska 2007; Zabeltitz 1991] zajmujących się zagadnieniami energetycznymi szklarni.

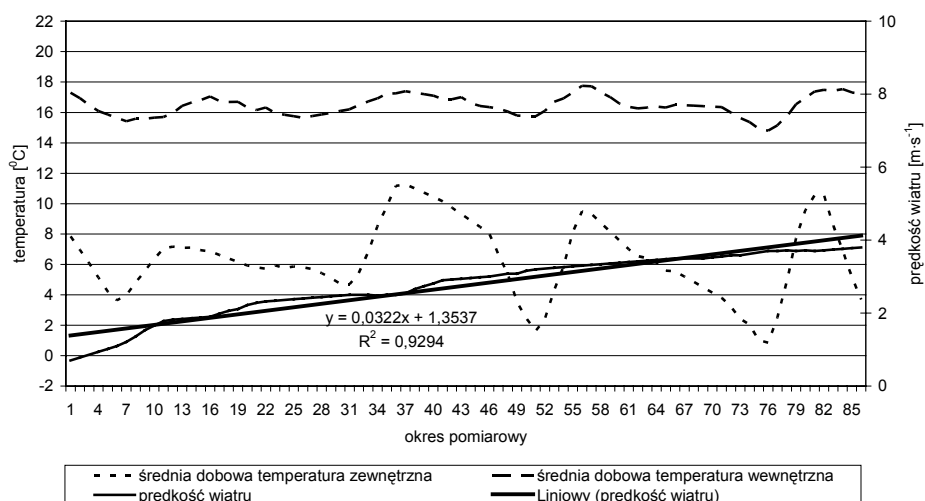
Jednostkowe zużycie ciepła oraz występujące różnice temperatur w obiekcie przedstawiono na rys. 2 i 3. Analizowane wykresy obejmują okres w którym występowały niskie wartości ruchu powietrza w zakresie do $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Śledząc przebieg warunków termicznych oraz jednostkowe zużycie ciepła zauważymy, że okres obserwacji obejmował dni w których występowała duża różnica temperatur. Różnica ta sięgała 17°C . Należy pamiętać, że wraz ze wzrostem różnicy temperatur rosną straty infiltracji [Rutkowski 2008b], które mają wpływ na całkowity współczynnik przenikania ciepła k' . W objętym analizą okresie prawdopodobnie poprzez zastosowanie dodatkowych kurtyn wewnętrznych i zewnętrznych powyższe stwierdzenie nie ma tak silnego oddziaływania. Szczegółowa analiza statystyczna wykazała, że przy zbliżonych wartościach prędkości wiatru równanie prostej opisujące linię trendu, jednostkowe zużycie ciepła w odniesieniu do różnicy temperatur ma postać $y=0,1505x+25,50$, zaś współczynnik korelacji wynosi 0,60.



Źródło: badania własne

Rys. 2. Jednostkowe zużycie ciepła w obiekcie nr I w istniejących warunkach klimatycznych, przy prędkości wiatru poniżej $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Fig. 2. Unit heat consumption in object I in existing climatic conditions, for wind velocity under $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

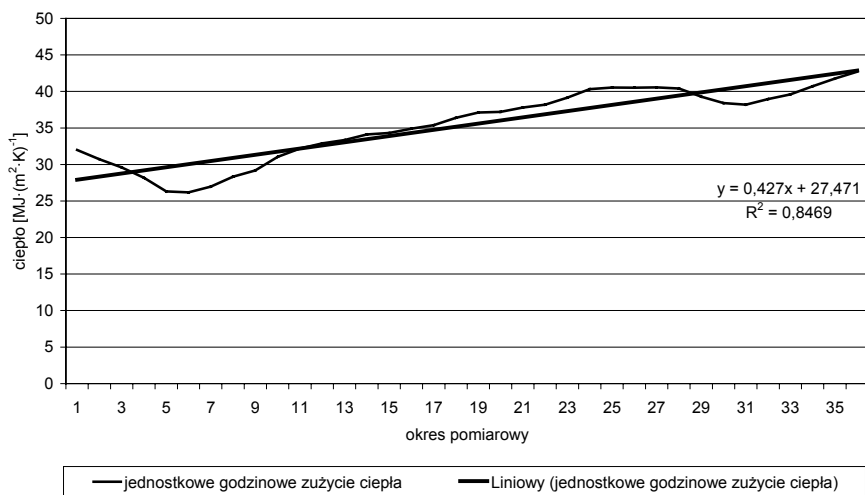


Źródło: badania własne

Rys. 3. Warunki klimatyczne w obiekcie I (przy prędkości wiatru poniżej $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Fig. 3. Climatic conditions in object I (for wind velocity under $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)

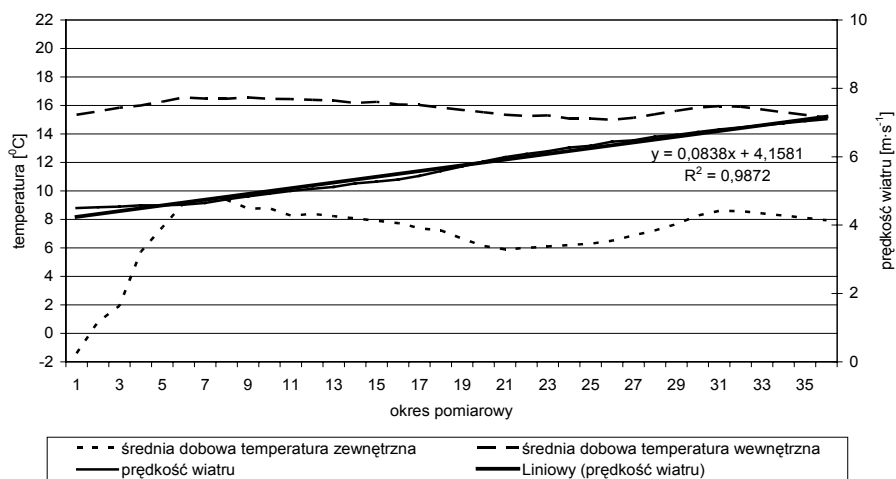
Ograniczenie zużycia ciepła...



Źródło: badania własne

Rys. 4. Jednostkowe zużycie ciepła w obiekcie nr I w istniejących warunkach klimatycznych, przy prędkości wiatru powyżej 4 m·s⁻¹

Fig. 4. Unit heat consumption in object I in existing climatic conditions, for wind velocity over 4 m·s⁻¹



Źródło: badania własne

Rys. 5. Warunki klimatyczne w obiekcie I (przy prędkości wiatru powyżej 4 m·s⁻¹)

Fig. 5. Climatic conditions in object I (for wind velocity over 4 m·s⁻¹)

Analizując wskaźnik zużycia ciepła przedstawiony na uszeregowanym wykresie (rys. 1) zauważa się jego niewielki spadek wraz ze zmniejszeniem prędkości wiatru, przy czym dynamika spadku wartości wskaźnika jest mniejsza niż prędkości ruchu powietrza. Współczynnik pochylenia linii trendu dla wiatru wynosił 0,0322, zaś dla wskaźnika zużycia ciepła 0,1505. Wskaźnik zużycia ciepła w analizowanych obiektach w istniejących warunkach wahał się w zakresie od 24,4 do 42,9 $\text{kJ}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{h})^{-1}$, przy średniej wartości 33,05 $\text{kJ}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{h})^{-1}$. Przy prędkościach poniżej 4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ współczynnik przenikania ciepła w badanych szklarniach niskich waha się w przedziale 5,51-9,69 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, przy średniej wartości wynoszącej 7,46 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Odnosząc uzyskane wielkości do literatury [Zabeltitz 1991] można podzielić opinię, że mieszczą się one w podawanych granicach.

W drugim przedziale obejmującym okres badawczy w którym występowały większe prędkości wiatru, gdzie średnia prędkość wahała się od 4,5-7,1 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, zauważa się nieco odmienną reakcję obiektu na warunki zewnętrzne w porównaniu z powyższą analizą odnoszącą się do małych prędkości wiatru. Zmiana prędkości wiatru o 1,2 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ powoduje zwiększenie zużycia ciepła. Wskaźnik zużycia ciepła waha się w przedziale 24,4 do 42,9 $\text{kJ}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{h})^{-1}$ przy średniej wartości 35,37 $\text{kJ}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K}\cdot\text{h})^{-1}$. Porównując dynamikę zmian wskaźników przy zróżnicowanej prędkości wiatru zauważa się, że dynamika wzrostu przy wyższych prędkościach jest znacznie większa i współczynnik nachylenia linii trendu wynosi 0,0838. Śledząc zachowanie się obiektu w istniejących warunkach klimatycznych zauważa się, że mimo korzystniejszych różnic temperatur które w konsekwencji winny mieć pozytywny wpływ na zmniejszenie strat spowodowanych infiltracją, występuje efekt odwrotny. Wszystko wskazuje na to, że zamontowane kurtyny przy silniejszym wietrze nie spełniają założonego celu. Wraz ze wzrostem prędkości wiatru wzrasta zużycie ciepła. Zależność tą można w przybliżeniu określić wzorem $y=0,427x+27,471$. Wartość współczynnika przenikania ciepła w zakresie większych prędkości wiatru (powyżej 4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) wahała się w przedziale 5,92-9,64 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ przy średniej wartości 7,99 $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Wnioski

1. Szklarnia o wysokości 2,4 m posiadająca pojedyncze oszklenie, wyposażona w dodatkowe ekrany w postaci folii rozwiniętej nad roślinami (na wysokości rynien) oraz folii komórkowej umieszczonej po zewnętrznej stronie ścian bardzo silnie reaguje na wzrost prędkości wiatru powyżej 4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Wzrost prędkości wiatru w zakresie 4 do 7 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ powoduje aż 35% wzrost zużycia ciepła.
2. W wymienionej wyżej szklarni w zakresie niskich prędkości wiatru (do 4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) średnia wartość współczynnika przenikania ciepła wynosi 7,46 $\text{W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$.
3. W wymienionej wyżej szklarni w zakresie wysokich prędkości wiatru (4-8 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) średnia wartość współczynnika przenikania ciepła wynosi 7,99 $\text{W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$.

Bibliografia

- Kurpaska S., Stokłosa R.** 2007. Wpływ konstrukcji i wyposażenia obiektu na zmiany temperatury wewnętrznej powietrza wywołanej promieniowaniem słonecznym. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 10(70). Kraków. s. 245-253.
- Rutkowski K.** 2006. A. Energetyczno-ekonomiczne aspekty uprawy pomidora w różnych obiektach szklarniowych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 6(81). Kraków. s. 223-229.
- Rutkowski K., Wojciech J.** 2008 A. Nakłady energetyczne na produkcję pomidora w szklarniach zblokowanych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 9(107). Kraków. s. 257-262.
- Rutkowski K.** 2008 B. Analiza energetyczna wybranych typów szklarni. *Inżynieria Rolnicza* 9(107). Kraków. s. 249-257.
- Zabeltitz Ch.** 1991. Szklarnie-projektowanie i budowa. PWRiL. Warszawa. ISBN 83-09-0057-6.

LIMITATION OF HEAT CONSUMPTION IN GREENHOUSES

Abstract. The object covered by the analysis constitutes a reference point of energy evaluation for new generation greenhouses being the subject of successive publications. The paper presents heat consumption analysis for 2.4m-high greenhouses provided with screens in form of single foil suspended at eaves height and cellular foil placed outside greenhouse side walls. The tests were performed for different wind conditions. The paper specifies unit heat consumption with reference to cultivation area and total greenhouse cover area.

Key words: greenhouse, heat, unit heat consumption, thermo-insulating screens

Adres do korespondencji:

Kazimierz Rutkowski; e-mail: kazimierz.rutkowski@ur.krakow.pl
Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków