

## WPŁYW WYSOKOŚCI SZKLARNI NA ZUŻYCIE CIEPŁA

Jakub Wojciech, Kazimierz Rutkowski

*Instytut Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie*

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono analizę zużycia ciepła w obiektach szklarniowych o zróżnicowanej wysokości. Przeanalizowano dwa obiekty szklarniowe o podobnej konstrukcji, wyposażeniu oraz technologii uprawy pomidora. Określono zużycie ciepła oraz podano jednostkowe wskaźniki energetyczne dla poszczególnych obiektów. Przeprowadzono analizę czynników mających wpływ na wymienione wyżej wielkości energetyczne.

**Słowa kluczowe:** szklarnia, zużycie ciepła, konstrukcja szklarni

### Wstęp

W ostatnich latach w produkcji ogrodniczej coraz większe znaczenie mają szklarnie. Stwarzają one możliwość dostarczania na rynek świeżych warzyw w okresach kiedy ich uprawa w warunkach polowych jest niemożliwa. Jednakże podstawowym warunkiem uzyskania opłacalności w produkcji szklarniowej jest doskonalenie technologii i unowocześnianie wyposażenia technicznego.

Jak podaje wielu autorów [Rutkowski 2004; Skierkowski 1986] największy udział w strukturze nakładów stanowi ciepło, które w niektórych przypadkach może wynosić nawet 60% ogólnych kosztów produkcji. Chcąc ograniczyć straty, producenci warzyw szklarniowych sięgają po najnowsze rozwiązania konstrukcyjne pozwalające ograniczyć wielkość nakładów energetycznych spełniając jednocześnie rosnące wymogi agrotechniczne roślin. Z powyższych względów konieczna jest budowa nowych, wyższych obiektów. Wyższe szklarnie to większy stosunek powierzchni osłony od powierzchni uprawy, a więc jednocześnie większe zużycie ciepła. Wraz ze wzrostem wysokości zmieniają się warunki wietrzenia z powodu oddziaływania większych różnic temperatury i wilgotności powietrza oraz różnicy ciśnień między podłożem a wietrznikami szklarni usytuowanymi w kalenicy.

### Cel i zakres pracy

Wstępne badania wykazały, że zachowanie się na pozór względnie podobnych obiektów jest różne pod względem zużycia ciepła.

Aby znaleźć przyczyny zwiększonego zużycia ciepła w niektórych okresach roku w nowych obiektach szklarniowych wyposażonych w materiały umożliwiające zmniejszenie strat, należy szczegółowo przeanalizować bilans energetyczny szklarni.

Z tego względu zakres prowadzonych badań obejmował pomiar wielkości fizycznych określających mikroklimat zewnętrzny i wewnętrzny w badanych obiektach. Podczas prowadzenia badań równolegle prowadzony był zapis zużycia ciepła w badanych obiektach.

## Wyniki badań i ich analiza

Wprowadzenie nowych technologii uprawy stawia przed producentem pewne wymagania, którymi są lepszy dostęp światła do roślin jak też wyrównany rozkład temperatur w strefie wegetacji roślin. Więcej światła mogą zagwarantować szklarnie wysokie z pojedynczym oszkleniem dachu. Jak podaje wielu autorów wraz ze wzrostem wysokości szklarni wzrasta szerokość izoterm mierzonych w przekroju poprzecznym szklarni. Dla zapewnienia jednakowej temperatury uprawianym roślinom na szklarni stosuje się nowe systemy grzewcze, które umieszcza się jak najbliżej powierzchni uprawy bądź w podłożu. Wskazane jest równomiernie rozłożone elementów grzejnych na powierzchni szklarni. Wyższe szklarnie to większa kubatura a tym samym z racji zwiększonej powierzchni osłony większe straty ciepła. Aby je ograniczyć stosuje się nowe rozwiązania konstrukcyjne oraz zwiększa się szczelność szklarni. Objęte badaniami szklarnie posiadały stalową konstrukcję nośną umieszczoną wewnątrz szklarni różniły się wysokością oraz rozmieszczeniem elementów grzejnych. Na rysunkach 1 i 2 pokazano zasadnicze różnice badanych obiektów. W szklarni nr 1 ogrzewanie przygruntowe stanowiło 8 rur  $\phi$  51 mm, zaś w szklarni oznaczonej nr 2 ogrzewanie przygruntowe stanowiło 10 rur o przekroju  $\phi$  44 mm. System ogrzewania zastosowany w szklarni nr 2 posiadał prawie 8% większą powierzchnię wymiany ciepła. Zastosowane ruchome systemy ogrzewania wegetacyjnego w badanych szklarniach różniły się zarówno ilością elementów grzejnych jak też ich średnicą. Powierzchnia tych systemów w analizowanych szklarniach była różna i podobnie jak w pierwszym przypadku w szklarni nr 2 powierzchnia wymiany ciepła ogrzewania przygruntowego była aż o 45% wyższa w porównaniu ze szklarnią nr 1. Ogrzewanie górne, które włączane jest przy niekorzystnych warunkach zewnętrznych tzn. przy zwiększonych opadach śniegu oraz niskich temperaturach w obu szklarniach w przeliczeniu na jednostkę powierzchni posiadało dość znaczną różnicę. Tym razem powierzchnia elementów grzejnych w szklarni nr 2 była większa o 25%. Ze względu na fakt, że w objętym analizą okresie nie wykorzystywano górnego systemu grzewczego w dalszej analizie nie brano go pod uwagę. Ogólna różnica powierzchni systemów grzewczych w badanych obiektach wynosiła 18%. Oznacza to, że szklarnia nr 2 posiadała wydajniejszy system grzewczy mimo mniejszej kubatury szklarni.

W celu realizacji założonego celu objęto badaniami dwa typy szklarni znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie. Wybór taki pozwolił zapewnić podobne warunki mikroklimatyczne panujące na zewnątrz szklarni. Przy równoczesnym monitoringu obu obiektów szklarniowych pozwoliło to na przeprowadzenie poprawnej analizy wskaźników energetycznych badanych obiektów.

Prowadzony monitoring obejmował zapis parametrów fizycznych określających warunki klimatyczne panujące na zewnątrz i wewnątrz obiektów. Na podstawie analizy wyników charakteryzujących obiekt jak też przeprowadzonych pomiarów parametrów mikroklimatu zewnętrznego i wewnętrznego oraz zużycia ciepła obliczone zostały wybrane wskaźniki takie jak: stosunek powierzchni osłony do powierzchni uprawy, jednostkowe zapotrzebowanie ciepła, współczynnik przenikania ciepła.

W objętych badaniami obiektach prowadzono monitoring od 18 lutego do 15 marca 2008 r. Temperatura zewnętrzna kształtowała się na poziomie od  $-1,1^{\circ}\text{C}$  do  $+7,6^{\circ}\text{C}$ . W przeważającym okresie trwania obserwacji (70%) średnia temperatura wynosiła  $5^{\circ}\text{C}$  z odchyleniem  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Podczas prowadzenia badań zauważa się niskie natężenie promienio-

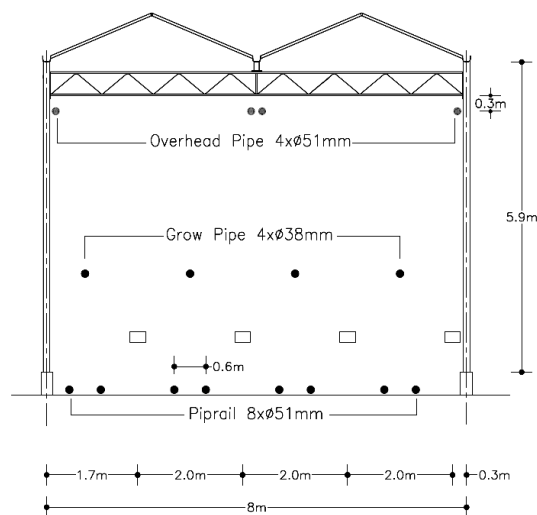
## Wpływ wysokości szklarni...

wania słonecznego. Średnia jego wartość wynosiła  $132 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  (w zakresie  $80\text{--}160 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Najbardziej zachmurzone dni występowały między 12 a 20 dniem badań. W tych dniach w badanych obiektach utrzymywana była niższa temperatura i tak  $18^\circ\text{C}$  w obiekcie nr 1 i  $16^\circ\text{C}$  w obiekcie nr 2. W pozostałych dniach temperatura wewnętrzna utrzymywana była na wyższym poziomie. Średnia zadana temperatura w obiekcie nr 1 wynosiła  $19^\circ\text{C}$ , zaś w obiekcie nr 2  $17^\circ\text{C}$ . Jak podaje Zabeltiz [1991], Rutkowski [2008] i inni duży wpływ na zużycie ciepła ma prędkość wiatru. Szczególnie jest to widoczne w szklarniach wykazujących dużą nieszczelność, gdzie współczynnik infiltracji wynosi ponad 1.

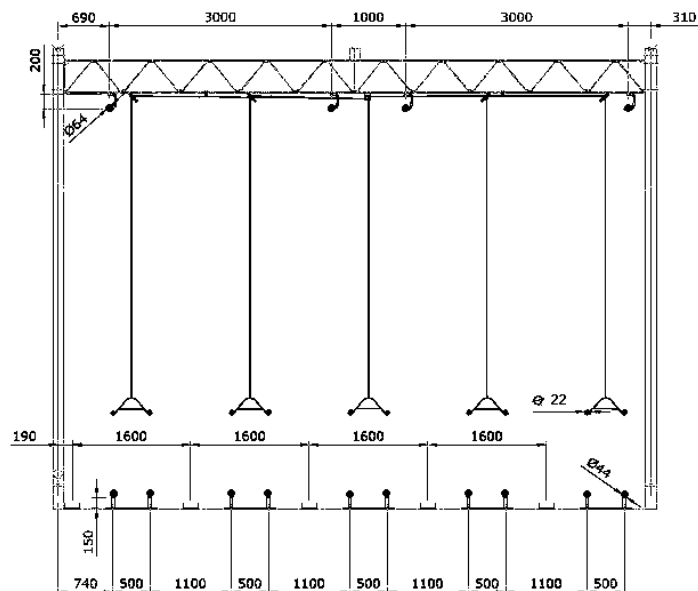
Tabela 1. Charakterystyka badanych obiektów

Table 1. Characteristics of examined objects

Cechy charakterystyczne	Obiekt nr 1	Obiekt nr 2
Produkcja	ALCOMJ Holandia	ACM Hiszpania
Rok budowy	2007	2003
Konstrukcja	Typu VENLO	
Szerokość nawy	8m	8m
Powierzchnia	$8\,2134 \text{ m}^2$	$12\,4637 \text{ m}^2$
Wysokość słupa	5,9 m	5.5 m
Kąt pochylecia dachu	$28^\circ$	$28^\circ$
Stosunek powierzchni osłony do powierzchni uprawy	1,21	1,20
Przegrody zewnętrzne	Dach i ściany boczne wykonane ze szkła pojedynczego, grubości 4mm osadzone na uszczelkach Obiekty zostały wyposażone w górne osłony cieniujące.	



Rys. 1. Rodzaje i rozmieszczenie systemów grzewczych w obiekcie nr 1 na przykładzie jednej nawy  
Fig. 1. Types and layout of heating systems in object no. 1 on the example of single aisle



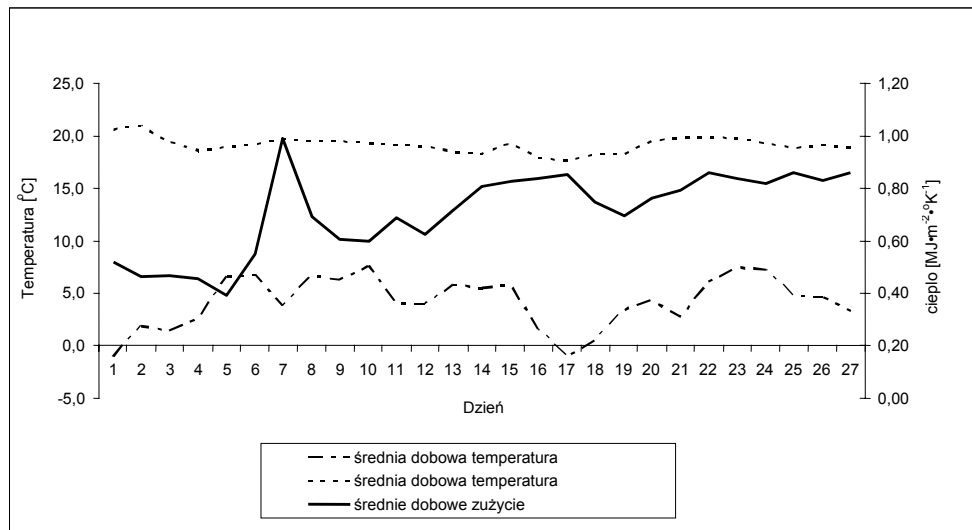
Rys. 2. Rodzaje i rozmieszczenie systemów grzewczych w obiekcie nr 2 na przykładzie jednej nawy

Fig. 2. Types and layout of heating systems in object no. 2 on the example of single aisle

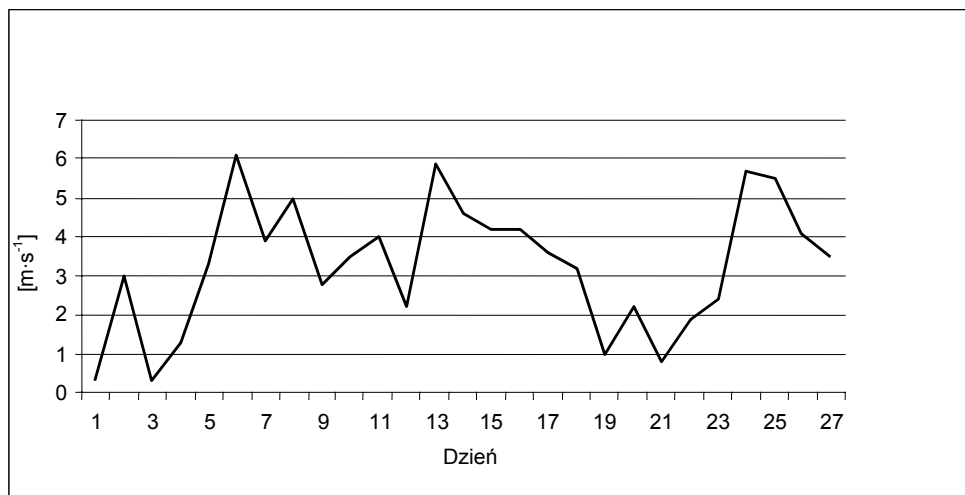
Ogólnie przyjmuje się, że prędkość wiatru do  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  nie powoduje tak dużych różnic w zużyciu ciepła. Powyżej tej wartości zauważalny jest wzrost zapotrzebowania na ciepło niezbędne do pokrycia strat wynikających ze wzrostu współczynnika przejmowania ciepła i wzrastającej infiltracji powstałej w wyniku różnicy ciśnień. W objętym badaniem okresie tylko przez 5 dni miały miejsce wietrzne dni gdzie prędkość wiatru dochodziła do  $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Przy wyżej określonych parametrach mikroklimatu w szklarni nr 1 (rys. 3) zużycie ciepła w przeliczeniu na jednostkę powierzchni uprawy utrzymywanej różnicy temperatur wahało się od  $0,4$  do  $1 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ . Najwyższe wartości zużycia zanotowano przy występującym silnym wietrze. W pozostałych dniach zużycie ciepła kształtowało się w objętych badaniach szklarniach na poziomie  $0,6\text{--}0,8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ .

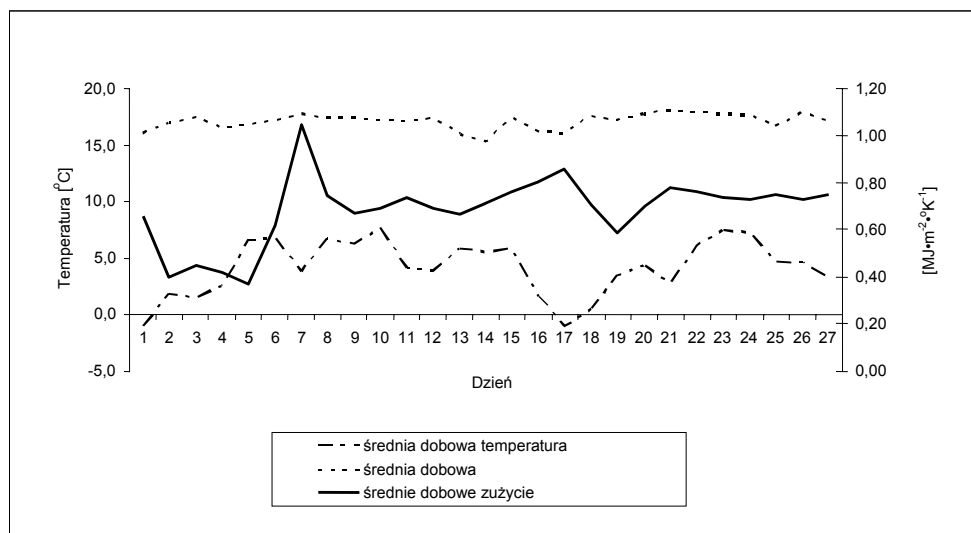
Porównując objęte badaniem obiekty zauważa się, że w szklarni nr 2 (rys. 5) utrzymywano nieco niższe temperatury natomiast jednostkowe zużycie ciepła jest wyższe. Szczególnie jest to widoczne przy silnym wietrze. Średnia wartość zużycia ciepła w tym obiekcie jest wyższa i wynosi  $18,33 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ .



Rys. 3. Dobowe zużycia ciepła w określonych warunkach mikroklimatu w szklarni nr 1  
 Fig. 3. The values of daily heat consumption at specified microclimate conditions in greenhouse no. 1

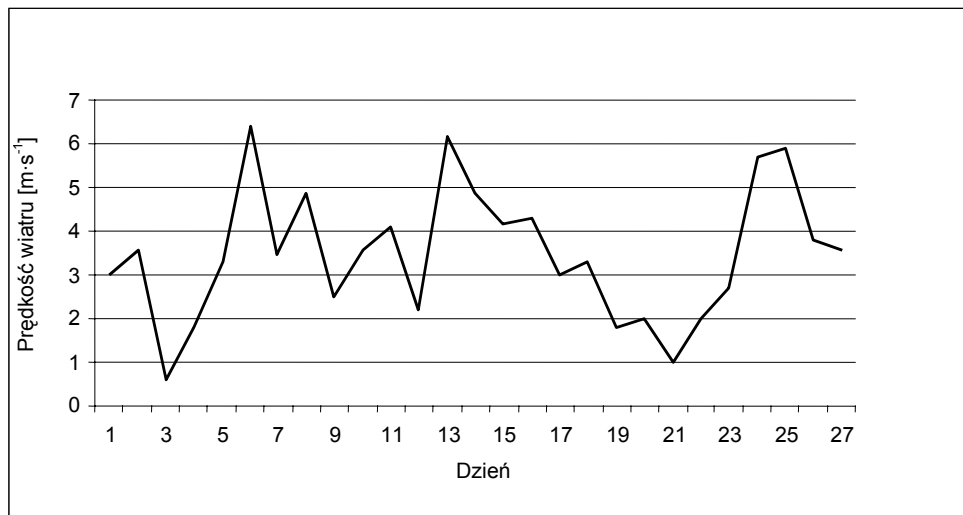


Rys. 4. Prędkość wiatru w objętym badaniami okresie w szklarni nr 1  
 Fig. 4. Wind velocity during period under investigation in greenhouse no. 1



Rys. 5. Dobowe zużycia ciepła w określonych warunkach mikroklimatu w szklarni nr 2  
 Fig. 5. The values of daily heat consumption at specified microclimate conditions in greenhouse no. 2

Objęte analizą obiekty zaliczane są do obiektów nowych a więc cechujących się zmniejszonym zużyciem ciepła w przeliczeniu na jednostkę powierzchni. Jak już wspomniano na wielkość tego wskaźnika ma wpływ współczynnik przenikania ciepła, który dla objętych badaniami szklarni przy istniejących systemach grzewczych i średniej wartości prędkości wiatru w badanym okresie wynoszącym  $3,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  wynosił; dla szklarni nr 1 -  $7,22 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , zaś dla szklarni nr 2 -  $6,96 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ . Stosując uproszczoną logikę wyjaśniającą zmniejszone zapotrzebowanie ciepła w szklarni nr 2 wynikającą tylko z wysokości (wyrażoną wskaźnikiem powierzchni osłony do powierzchni uprawy) uzyskujemy w bilansie energetycznym tylko połowiczne wyjaśnienie. Stąd też zmniejszone zużycie ciepła w szklarni nr 2 to najprawdopodobniej efekt korzystniejszego wskaźnika powierzchni osłony, mniejsza wrażliwość na prędkość wiatru (niższe szklarnie) oraz występujące mniejsze różnice temperatury (między wewnętrzną a zewnętrzną). Wymienione wyżej czynniki uzupełnione oddziaływaniem istniejącego systemu grzewczego mają sumaryczny wpływ na efekt energetyczny obiektu. Porównując wyliczone współczynniki przenikania ciepła z literaturą (dla szklarni zblokowane budowane w latach 80-tych) zauważa się, że są one średnio o około 20% niższe. Powyższe wskaźniki świadczą o tym, że nowej generacji szklarnie mimo niekorzystnego pod względem energetycznym wskaźnika osłony wykazują znacznie korzystniejsze parametry energetyczne. Jest to rezultat nowych rozwiązań konstrukcyjnych (konstrukcja nośna przeniesiona do wnętrza szklarni), większa szczelność, oraz nowe rozwiązania w zakresie rozmieszczenia elementów grzewczych, powodujących wyrównane prędkości ruchu powietrza wewnątrz szklarni [Rutkowski 2009].



Rys. 6. Prędkość wiatru w objętym badaniami okresie w szklarni nr 2

Fig. 6. Wind velocity during period under investigation in greenhouse no. 2

## Wnioski

1. Przy względnej różnicy wysokości na poziomie 8%, gdzie różnica powierzchni osłony szklarni zmienia się zaledwie o 0,83% zauważa się, że wraz ze wzrostem wysokości szklarni dla analizowanego obiektu zużycie ciepła wrosło o 3,5%.
2. W okresie kiedy przeprowadzone zostały badania zużycie ciepła w przeliczeniu na jednostkę powierzchni wynosiło  $17,68 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  dla obiektu niższego i  $18,33 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$  dla obiektu wyższego.
3. Współczynnik przenikania ciepła dla szklarni zblokowanej o wysokości 5,9m wynosi  $7,22 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ , natomiast dla szklarni o wysokości 5,5m wynosi  $6,96 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ .

## Bibliografia

- Rutkowski K. 2004. Nakłady energetyczno-ekonomiczne na uprawę pomidora szklarniowego. Inżynieria Rolnicza. Nr 4(59). Kraków s. 191-198.
- Skierkowski J. 1986. Uprawa warzyw pod szkłem i folią. PWRiL Warszawa. ISBN 83-09-00986-0.
- Zabeltitz Ch. 1991. Szklarnie-projektowanie i budowa. PWRiL. Warszawa. ISBN 83-09-0057-6.
- Rutkowski K. 2008. Analiza energetyczna wybranych typów szklarni. Inżynieria Rolnicza. Nr 9 (107). Kraków s. 249-255.

*Badania prowadzono w ramach realizacji Grantu. Umowa nr NN313307034.*

## **THE IMPACT OF GREENHOUSE HEIGHT ON HEAT CONSUMPTION**

**Abstract.** The paper presents analysis of heat consumption in greenhouse objects characterised by diversified height. Two greenhouse objects of much the same construction, equipment and tomato growing technology have been put to analysis. The research allowed to determine heat consumption and to specify unit energy units for individual objects. The researchers completed an analysis of factors affecting the above-mentioned energy values.

**Key words:** greenhouse, heat consumption, greenhouse construction

**Adres do korespondencji:**

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