

WYMIARY GEOMETRYCZNE ORAZ RODZAJ POKRYCIA A ZAPOTRZEBOWANIE CIEPŁA W SZKLARNI

Sławomir Kurpaska

Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przeanalizowano wpływ rodzaju pokrycia i wymiarów geometrycznych szklarni (wysokość ścian szczytowych, szerokość nawy) na zapotrzebowanie ciepła przez szklarnie wielonawową. Do obliczeń wykorzystano standardowe zależności oraz średnie wieloletnie parametry otaczającego powietrza. Określono ilościowe zmiany w zapotrzebowaniu na ciepło przez obiekt (o powierzchni 5 000 m²) w zależności od rozpatrywanych wariantów pokrycia i wymiarów geometrycznych ścian bocznych i szerokości nawy.

Słowa kluczowe: szklarnia wielonawowa, pokrycie, wymiary, zapotrzebowanie ciepła

Wstęp

Szklarnie powinny zapewnić uprawianym roślinom optymalne warunki wzrostu. Parametrami określającymi te warunki są: światło, temperatura i wilgotność zarówno podłoża, jak i powietrza oraz stężenie dwutlenku węgla. Nieprawidłowy zakres tych parametrów niekorzystnie oddziałuje na procesy zachodzące w roślinach (m.in. na fotosyntezę, transpirację, wzrost i rozwój), co negatywnie wpływa na termin zbioru oraz jakość i wielkość plonu, a w przypadku roślin wieloletnich również na ich kondycję w następnych sezonach.

Wśród obecnie budowanych szklarni zaczynają dominować obiekty, których wysokość ścian bocznych wynosi nawet 7 m. Duża różnorodność występuje również i w pokryciach obiektów. Tradycyjne szkło pojedyncze zastępowane jest szkłem modyfikowanym (handlowa nazwa Agriplus lub Hortiplus), szkłem zespolonym oraz tworzywami sztucznymi (poliwęglany, płyty PVC. Oczywiście zastosowanie materiału pokryciowego o większej izolacyjności powoduje zmniejszenie zużycia ciepła. Analizę wpływu pokrycia szklarni na efekty energetyczne były przedmiotem wielu badań. I tak, Cemeka i in. [2006] analizowali zużycie ciepła oraz dostępność światła (w zakresie PAR) szklarni pokrytej folią (pojedyncza lub podwójna folia PE, folia stabilizowana, folia PE z warstwą absorbującą promieniowanie bliskiej podczerwieni) w której uprawiano oberżynę. W wyniku przeprowadzonych badań określono w zależności od pokrycia zmianę w dostępności światła, produktywności roślin, wilgotności wewnątrz obiektu a także zużycie ciepła. Papadopoulos i Hao [1997] badali wpływ zmiennego pokrycia na produktywność uprawianych ogórków i zużycie ciepła. Autorzy stwierdzili statystycznie istotny wpływ pokrycia obiektu (zastosowano podwójną folię PE, pojedyncze szkło) na zmianę suchej masy w badanych roślinach. Wyniki badań posłużyły do rekomendowania na skalę produkcyjną podwójnej folii w badanym regionie (Ontario). Według badań Zwarta [1996], osłanianie folią PE ścian

szklarni pokrytej pojedynczą szybą powoduje ograniczenie w zużycia ciepła nawet do 30%. W nowoczesnych obiektach, zamiast folii pojedynczej lub pęcherzykowej, od strony wewnętrznej montuje się boczne rolety energooszczędne, które w wyniku zwiększonej izolacyjności powodują również zmniejszenie strat ciepła. Singh i in. [2006] opracowali i zweryfikowali matematyczny model do analizy zmian parametrów środowiskowych wewnątrz szklarni. Wielkościami charakteryzującymi materiał pokryciowy były: współczynnik przenikania ciepła, przepuszczalność świetlna oraz emisyjność pokrycia i podłoża ogrodniczego. Model wykorzystuje parametry otaczającego klimatu (temperatura, wilgotność i prędkość wiatru) oraz nasłonecznienie (uzależnione od szerokości geograficznej i czasu rzeczywistego). Parametrami opisującymi mikroklimat wewnątrz obiektu jest temperatura, zaś wilgotność zawarta jest w jednostkach ciśnienia cząstkowego pary wodnej. Taki sposób wyrażania wilgotności jest popularny, bowiem już pod koniec lat osiemdziesiątych ub. wieku Bakker i in. [1987] do analizy zmian mikroklimatu wprowadzili parametr VPD (*Vapour Pressure Deficit*). Autorzy na podstawie szeregu badań eksperymentalnych analizując wzrost i plonowanie ogórków stwierdzili w konkluzji przydatność tego parametru do monitorowania wilgotności powietrza.

Jak wynika z przytoczonych wybranych wyników badań celowe jest przeprowadzenie analizy wpływu wymiarów geometrycznych i pokrycia szklarni na zapotrzebowanie ciepła i wilgotność wewnątrz obiektu. Przeprowadzenie takiej analizy dla warunków polskiego klimatu jest głównym celem pracy.

Material i metoda

Przedmiotem tej analizy jest: szklarnia zblokowana o powierzchni 5 000 m² posadowiona na cokole o wysokości 0,4 m; obliczenia wykonano dla różnych pokryć, szerokości nawy i wysokości ścian bocznych. W obliczeniach przyjęto (obecnie stosowane) standardowe wymiary szerokości nawy równe: 6,4, 8, 9,6 i 12,8 m oraz dwie skrajne wysokości ścian bocznych: 4 oraz 6 m. Założono również, że w szklarni uprawiane są w cyklu przedłużonym pomidory (w zagęszczeniu 2,5 rośliny na m²), wilgotność wewnątrz utrzymywana jest na poziomie takim, aby tzw. deficyt ciśnienia pary wodnej w stosunku do stanu pełnego nasycenia (*Vapour Pressure Deficit*) wynosił 400 Pa. Zapotrzebowanie na wodę odczytano z pracy [Kurpaska 1996]. Do analizy wykorzystano średnie wieloletnie parametry otaczającego klimatu (nasłonecznienie, temperatura otoczenia, wilgotność powietrza). Ponadto założono, że samoczynna wymiana powietrza wskutek nieszczelności (tzw. infiltracja) następuje raz na godzinę, czyli cała objętość powietrza wewnątrz szklarni zostanie zastąpiona powietrzem zewnętrznym w ciągu godziny (w specjalistycznych obliczeniach dla szklarni przyjmuje się zakres infiltracji w przedziale od 0,5 do 2 wymian na godzinę). Przyjęto również, że układ sterowania systemem ogrzewania i wentylacji (latem) zapewni temperaturę wewnątrz obiektu na poziomie 15°C w nocy, 22°C w dzień, a w okresie intensywnego nasłonecznienia temperatura wynosić będzie 25°C.

Jako materiał pokryciowy przeanalizowano: szkło pojedyncze o współczynniku przenikania $k_1=5,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$; szkło Hortiplus – ($k_2= 5,4$); szkło zespolone ($k_3= 4,4$) oraz poliwęglan (grubość 8 mm) o współczynniku przenikania równym 4,6 ($k_4=5,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}^{-1}$).

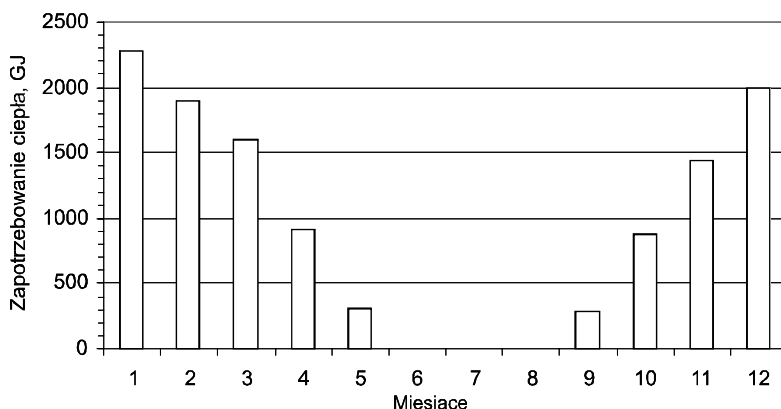
W czasie uprawy wystąpi zjawisko transpiracji, a w konsekwencji konieczność zamiany powietrza wewnętrznego powietrzem zewnętrznym tak, aby można było utrzymać zarówno pożądaną temperaturę, jak i wilgotność (deficyt ciśnienia pary wodnej w stosunku do stanu pełnego nasycenia) na optymalnym poziomie. Nie jest możliwe precyzyjne określenie we wnętrzu obiektu ilości ciepła powstałego z konwersji promieniowania słonecznego, dlatego w obliczeniach założono, że ciepło to będzie spożytkowane na proces przemiany fazowej wody w parę wodną podczas zjawiska transpiracji. Uproszczenie to nie wpłynie zbyt mocno na wyniki, ponieważ we wszystkich analizowanych wariantach błąd powstały z pominięcia tego procesu będzie porównywalny.

Do wyliczeń zapotrzebowania ciepła (drogą przenikania, infiltracji oraz wentylacji) oraz entalpii powietrza (zewnętrznego i wewnętrznego) wykorzystano standardowe zależności opisujące parametry wilgotnego powietrza oraz stosowane w wymianie ciepła.

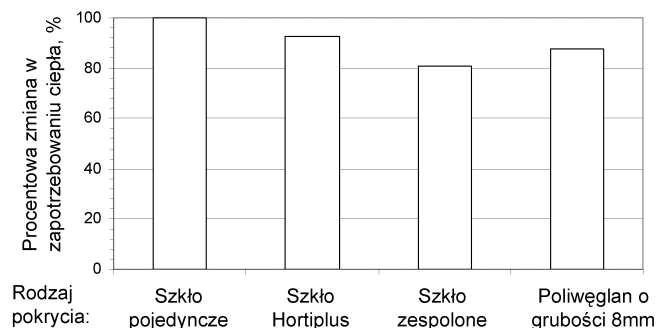
Wyniki i dyskusja

Na rysunku 1 przedstawiono miesięczne zapotrzebowanie na ciepło (jako sumę ciepła traconego drogą przenikania i infiltracji) dla szklarni o szerokości nawy 6,4 m i wysokości ścian bocznych 4,0 m pokrytej pojedynczym szkłem. Można zauważyć, że zakres zmian mieści się w granicach od 0 (miesiące letnie) do ok. 2275 GJ·mc⁻¹, zaś całkowite roczne zapotrzebowanie wynosi ponad 11,6 TJ ciepła.

Szklarnia pokryta materiałem o większej izolacyjności wymaga mniejszego zapotrzebowania na ciepło. Wyniki względnych zmian (przy przyjęciu za 100% zapotrzebowania w przypadku szklarni pokrytej szkłem pojedynczym) dla obiektu o wysokości 4 m i szerokości nawy 6,4 m przedstawiono na rys. 2.



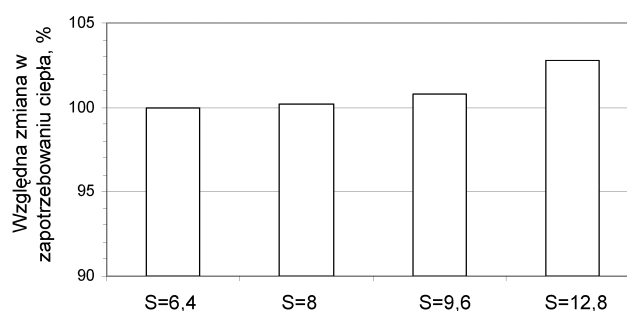
Rys. 1. Miesięczne zapotrzebowanie na ciepło szklarni pokrytej pojedynczym szkłem
Fig. 1. Monthly demand for heat in a greenhouse covered with single glass



Rys. 2. Względna zmiana w zapotrzebowaniu na ciepło szklarni pokrytej różnymi materiałami
 Fig. 2. Relative change in demand for heat in greenhouses covered with different materials

Jak widać, roczne, względne oszczędności w zużyciu ciepła mieszczą się w granicach od 8 (szklarnia pokryta szkłem Hortiplus) do około 20% (przy szkłe zespolonym).

Szklarnie o takiej samej powierzchni przy szerszych nawach mają większe zapotrzebowanie na ciepło ponieważ występuje w nich większa powierzchnia dachu i znajduje się większa objętość powietrza wewnątrz obiektu (wymieniana w wyniku infiltracji). Wyniki takich obliczeń dla obiektu pokrytego pojedynczym szkłem i wysokości ścian 4 m, przy spotykanych na rynku szerokościach nawy zobrazowano graficznie na rys. 3.



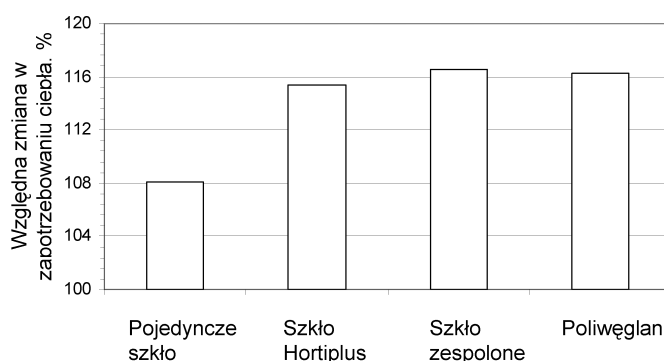
Rys. 3. Względna zmiana w zapotrzebowaniu na ciepło szklarni o różnicowanej szerokości nawy (wysokość ścian bocznych równa 4m)

Fig. 3. Relative change in demand for heat in greenhouses of diverse aisle width (side walls height was 4m)

Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, że dla szklarni o szerokości nawy $S=12,8$ m roczne zapotrzebowanie na ciepło jest większe, w porównaniu z zapotrzebowaniem szklarni o szerokości 6,4 m, o ponad 2,8%. Dla różnych pokryć, zakres i tendencja zmian są podobne.

Wyniki szacunkowych wyliczeń wpływu wysokości obiektu na zapotrzebowanie na ciepło przedstawiono na rys. 4. Jako obiekt porównawczy przyjęto szklarnię o wysokości 4,0 m i szerokości nawy 6,4 m pokrytą różnymi pokryciami. W zależności od materiału

osłony, szklarnia o wysokości ścian bocznych 4,0 m ma mniejsze zapotrzebowanie na ciepło niż szklarnia o wysokości 6 m o około 8-16%. Zmiany te spowodowane są z jednej strony zwiększoną powierzchnią pokrycia, a z drugiej większą ilością powietrza znajdującą się wewnątrz obiektu. Największe zmiany w zapotrzebowaniu na ciepło występują w przypadku obiektu pokrytego szkłem zespolonym, bowiem obiekt ten cechuje zwiększona izolacyjność ścian bocznych.

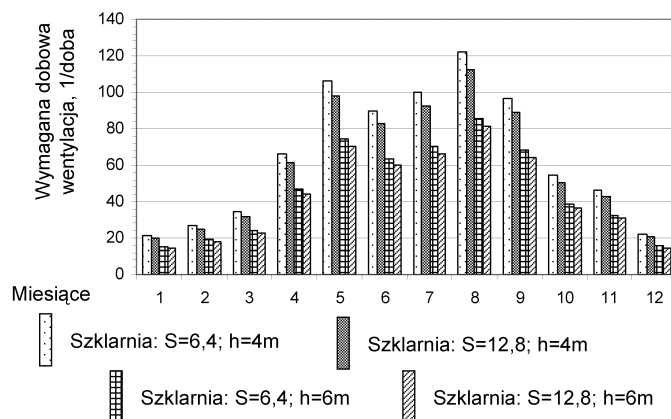


Rys. 4. Względna zmiana w zapotrzebowaniu na ciepło w obiekcie o zwiększonej wysokości, przy różnym pokryciu ścian: 100% - obiekt o wysokości ścian bocznych 4,0 m, szerokość nawy $S=6,4$ m

Fig. 4. Relative change in demand for heat in higher greenhouses with different roofing types: 100% for building with 4m high sidewalls and aisle width $S=6.4$ m

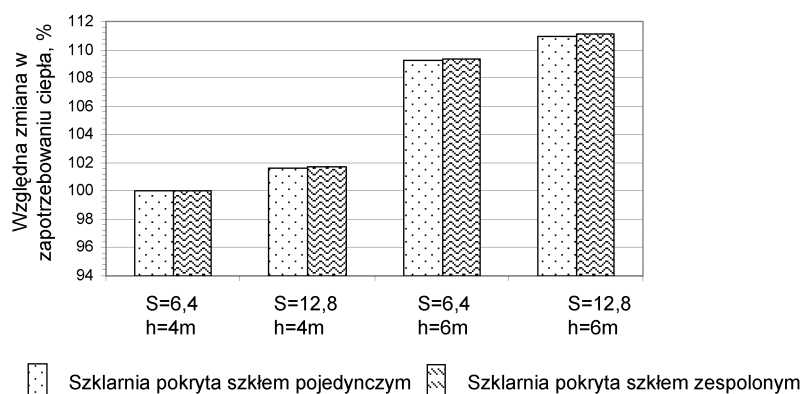
Prezentowane dotąd zależności graficzne dotyczyły obiektu bez roślin. Zapotrzebowanie ciepła dla szklarni w której będą uprawiane rośliny jest zróżnicowane i zależy od intensywności nasłonecznienia w analizowanym miesiącu uprawy roślin. Wydalana przez aparaty szparkowe w postaci woda powoduje wzrost stężenia pary wodnej w powietrzu wewnątrz obiektu, a stąd istnieje konieczność wentylacji. Sumaryczną wymianę powietrza w ciągu doby, z uwzględnieniem założonych roślin i przyjętego zakresu VPD, przedstawiono na rys.5. Na osi rzędnych symbol 1/dobę oznacza liczbę wymian całej objętości powietrza znajdującego się wewnątrz obiektu szklarniowego. Taka forma wyrażania intensywności wentylacji jest standardem w analizie procesów zachodzących w wentylowanych obiektach. Przykładowo, jeśli wymagana wentylacja wynosi 100 litrów na dobę oznacza to, że w ciągu doby istnieje konieczność doprowadzenia do wnętrza szklarni (o wysokości ścian bocznych 4 i szerokości nawy 6,4 m) blisko 2,4 mln m^3 powietrza. W celu zwiększenia przejrzystości obliczeń, analizę ograniczono dla skrajnych szerokości nawy (6,4 oraz 12,8 m) oraz dla dwóch wysokości ścian bocznych równych 4 oraz 6 m.

Analizując otrzymane zależności można stwierdzić, że im w szklarni jest więcej powietrza, tym mniej trzeba dostarczyć powietrza zewnętrznego. Względna zmiana w rocznej ilości dostarczanego świeżego powietrza dla tej samej wysokości lecz zróżnicowanej szerokości nawy (względem szklarni o szerokości 6,4 lub 12,8 m i wysokości 4 lub 6 m), mieszczą się w granicach od 5,5 (dla $h=6$ m) do 7,5% ($h=4$ m). Podobne wyliczenia dla szklarni o zróżnicowanej wysokości ścian bocznych wynoszą odpowiednio: 28% ($S=12,8$ m; $h=4$ lub 6 m) oraz 30% ($S=6,4$; $h=4$ lub 6 m).



Rys. 5. Wymagana dobową wentylacja dla analizowanych konstrukcji szklarni
 Fig. 5. Daily ventilation required for the analyzed greenhouse structures

Z kolei na rys. 6 zobrazowano graficznie całkowite zapotrzebowanie na ciepło dla szklarni pokrytej pojedynczym szkłem oraz szkłem zespolonym (przy przyjęciu za 100% zapotrzebowanie dla szklarni o szerokości nawy 6,4 oraz wysokości ścian 4 m).



Rys. 6. Względna zmiana w zapotrzebowaniu na ciepło z uwzględnieniem wentylacji dla zróżnicowanych obiektów szklarniowych
 Fig. 6. Relative change in demand for heat taking into account ventilation for various greenhouses

Wpływ szerokości nawy na zużycie ciepła jest mało istotny pokrycia (względna różnica w wynosi niecałe 2%), zaś dla zróżnicowanej wysokości ścian bocznych względna różnica w zapotrzebowaniu wynosi od ok. 9 (szklarnia pokryta szkłem pojedynczym i wysokości ścian 6 m) do ponad 12% (szklarnia pokryta szkłem zespolonym o szerokości nawy 12,8 m i wysokości ścian 6 m).

Podsumowanie

Porównując uzyskane wyniki (rys. 5 i rys.6) można stwierdzić, że w obiektach o zwiększonych wymiarach występuje zmniejszona wentylacja co prowadzi do zmniejszenia zapotrzebowania na ciepło. Ten wniosek znajduje potwierdzenie w obecnej tendencji do budowy wysokich szklarni o szerokich nawach. Na podstawie przeprowadzonych wyliczeń można stwierdzić, że niecałe 12% wyższe zapotrzebowania na ciepło w obiekcie o większej wysokości i szerokości nawy rekompensowane jest stabilniejszymi, w stosunku do szklarni o mniejszych wymiarach, warunkami środowiskowymi. Dzięki temu w takich szklarniach można łatwiej sterować ogrzewaniem i wentylacją oraz utrzymywać wyższy poziom dwutlenku węgla. Oprócz tych zalet, obiekty charakteryzujące się zwiększoną kubaturą są również mniej podatne na gwałtowne zmiany temperatury wewnętrznej spowodowanej intensywnym promieniowaniem słonecznym. Należy mieć również świadomość, że co prawda nieco zwiększone zapotrzebowanie na ciepło dla obiektów o większej wysokości i szerokości nawy, z racji ogólnego ocieplenia klimatu nie wpływa aż tak znacząco na koszty produkcji (wszystkie wyliczenia przeprowadzono dla średnich wieloletnich parametrów klimatu na zewnątrz szklarni), a przytoczone zyski związane z klimatem wewnątrz obiektu rekompensują poniesione nakłady związane z ogrzewaniem szklarni.

Bibliografia

- Bakker J.C., Welles G.W.H., Van Ufflen J.A.M.** 1987. The effects of day and night humidity on yield and quality of greenhouse cucumbers. *Journal Horticulturae Science* 62. s. 363-70.
- Cemeka B., Demira Y., Uzunb S., Ceyhanc V.** 2006. The effects of different greenhouse covering materials on energy requirement, growth and yield of aubergine. *Energy* 31. s. 1444-1452.
- Kurpaska S.** 1996. Wpływ niektórych czynników środowiskowych na ewapotranspirację pomidorów szklarniowych uprawianych w wełnie mineralnej. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. Z.444.* s. 203-210.
- Papadopoulos AP, Hao X.** 1997. Effects of greenhouse covers on seedless cucumber growth, productivity, and energy use. *Science Horticulturae* 68. s. 113-123.
- Singh G., Singh P.P., Lubana S., Prit S.** 2006. Formulation and validation of a mathematical model of the microclimate of a greenhouse. *Renewable Energy* 31. s. 1541-1560.
- Zwart de H.F.** 1996. Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using simulation model. PhD, Wageningen University.

GEOMETRICAL DIMENSIONS AND TYPE OF ROOFING VS. DEMAND FOR HEAT IN A GREENHOUSE

Abstract. The work analyses greenhouse roofing type and its geometrical dimensions (height of gable wall, aisle width) influence on the demand for heat in multi-aisle greenhouses. Standard correlations and average air parameters from many years were used in computations. The research allowed to determine changes in the volume of heat demand in a building (floor area 5000 m²) depending on considered roofing types and geometrical dimension of sidewalls and aisle width.

Key words: multi-aisle greenhouse, roofing, dimension, demand for heat

Adres do korespondencji:

Sławomir Kurpaska, e-mail: rtkurpas@cyf-kr.edu.pl
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków