

## **METODYCZNE ASPEKTY OKREŚLENIA WPŁYWU OSŁONY OBIEKTU OGRODNICZEGO NA ZAPOTRZEBOWANIE CIEPŁA W SEZONIE GRZEWCZYM**

Sławomir Kurpaska

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

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki analizy teoretycznej związanej z oszacowaniem zużycia ciepła przez dwa typy obiektów ogrodnich (szklarnia, tunel foliowy) pokrytych odmiennymi od standardowych rozwiązań rodzajami osłony. Określono względne oszczędności w zapotrzebowaniu ciepła oraz obliczono okres zwrotu poniesionych nakładów finansowych.

**Słowo kluczowe:** szklarnia, tunel, zapotrzebowanie ciepła, osłona

### **Wstęp**

Zwiększone koszty ogrzewania obiektów produkcyjnych, obowiązujące uregulowania prawne (tzw. Dyrektywa 3x20 zakładająca ograniczenie emisji do atmosfery substancji szkodliwych powstałych podczas spalania paliw kopalnych) wymuszają podejmowanie działań do zmniejszenia zużycia ciepła w ogrzewanych obiektach ogrodnich. Jednym z takich rozwiązań jest zwiększenie izolacyjności ścian osłony ogrzewanych obiektów (szklarnie i tunele foliowe). Oprócz pojedynczej lub podwójnej folii (wraz z tłoczeniem do przestrzeni sprężonego powietrza), jako osłonę tuneli można stosować poliwęglan. Materiał ten cechuje się niższą wartością przenikania ciepła, jednak pewnym mankamentem jest mniejsza, w stosunku do szkła lub folii, przepuszczalność dla światła widzialnego oraz zmniejszanie tej przepuszczalności wraz z okresem jego użytkowania. Zagadnienie zmniejszania zapotrzebowania na ciepło przez ogrzewane obiekty ogrodnicze było intensywnie badane w różnych ośrodkach naukowych. Badania dotyczyły zarówno wyposażenia technicznego obiektu jak i wpływu rodzaju osłony (o zróżnicowanej izolacyjności) na zużycie ciepła. I tak, Zhang i in. [1996] analizowali wpływ zróżnicowanego pokrycia na wartość współczynnika przenikania ciepła przez osłonę szklarni. Badano pojedyncze szkło oraz trzy inne osłony wykonane z poliwęglanów wraz ściśle przylegającą do osłony folią PE. Dla badanych osłon (stanowisko badawcze zlokalizowane wewnątrz szklarni) określono zużycie ciepła uzyskując, w badanych warunkach oszczędności w zużyciu (względem osłony ze szkła) od 52 do 73%. W wyniku badań obliczono również wartość współczynnika przenikania ciepła oraz oszacowano średnie oszczędności w zużyciu ciepła w wyniku zastosowania ekranów ciepła w obiekcie, które w skali roku mieściły się w granicach od

23 do 24%. Bartzanas i in. [2005] analizowali zużycie ciepła w tunelu produkcyjnym (uprawa pomidorów) przy zróżnicowanych systemach grzewczych. W wyniku badań określono zużycie ciepła w obiekcie oraz wyznaczyli zakres zmian w wartościach parametrów mikroklimatu wewnętrznego. Autorzy przedstawili jednocześnie argumenty za stosowaniem w obiekcie wieloobwodowych systemów grzewczych. Bot [2005] przedstawił założenia i motywacje budowy tzw. szklarni solarnej wykorzystującej w maksymalny sposób energię promieniowania słonecznego docierającego do wnętrza obiektu. W wytycznych przeanalizował zarówno wpływ osłony (izolacyjność, przepuszczalność dla promieni słonecznych), sposób dostarczania ciepła do wnętrza jak i rozwiązania techniczne mające na celu magazynowanie nadwyżki ciepła w okresie letnim i sukcesywnego jego dostarczanie do wnętrza obiektu w sezonie grzewczym. W wyniku przeprowadzonych rozważań stwierdził, że przy dodatkowym wyposażeniu instalacji w pompę grzewczą energia z okresu letniego jest w stanie pokryć całoroczne zapotrzebowanie na ciepło. Lopez i in. [2006] badali zużycie ciepła w szklarni wyposażonej w powietrzne systemy grzewcze (nagrzewnica powietrza) określając zależność między zużyciem ciepła a różnicą temperatury powietrza między wnętrzem i otoczeniem dla badanego obiektu. Z kolei Van Henten [2003] przedstawił wyniki swoich badań związanych z doborem zastawów regulatora sterującego systemem ogrzewania szklarni. W zbudowanym modelu matematycznym uwzględnił optymalne zakresy temperatury i wilgotności wewnątrz badanego obiektu stwierdzając w konkluzji, że utrzymanie optymalnych nastaw regulatora przynosi wymierne korzyści finansowe. W pracy Kurpaska [2003a] przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych w tunelu foliowym określając wartość współczynnika przenikania ciepła przez osłonę obiektu (folia PE) wraz z wartościami gęstości strumienia ciepła uzależnionego od różnicy temperatury między wnętrzem tunelu a otaczającym klimatem. Z kolei, w pracy Kurpaska i in. [2003] opracowano i zweryfikowano matematyczny model opisujący zużycie ciepła przez laboratoryjny tunel foliowy z uwzględnieniem zmiennego jego wyposażenia technicznego (ekran zagrzejnikowy, ekran ciepła).

Z przedstawionego pokrótce przeglądu prac badawczych wynika jednoznacznie aktualność rozważanej problematyki oraz brak ilościowych wyników ujmujących wpływ zmiennej osłony (o zróżnicowanej izolacyjności) na efekty energetyczne rozważanego obiektu. Przedstawienie metodyki do określenia tej problematyki, podanie wyników analizy energetyczno-ekonomicznej będzie głównym celem tej pracy.

## **Materiał i metoda**

W procedurze określenia zapotrzebowanie na ciepło przez badany obiekt należy uwzględnić zarówno panujące warunki klimatyczne wewnątrz jak i na zewnątrz oraz dysponować wartościami współczynnika przenikania ciepła osłony. Do analizy przyjęto średnioroczne warunki termiczne panujące w kraju oraz założono, że wewnątrz obiektu (z ogrzewanym podłożem) uprawiane będą pomidory o wymaganiach termicznych (dzienna/nocna temperatura) w sezonie na poziomie odpowiednio: wiosna 20/11°C oraz w okresie jesiennym 21/11°C. Ponadto w obydwu typach obiektów ogrodniczych założono, że w niektórych miesiącach (grudzień, styczeń) nie będzie prowadzona uprawa, zaś temperatura wewnątrz obiektu wynosić będzie 8°C. Tę wartość temperatury przyjęto również dla

tunelu w miesiącu lutym. W analizie uwzględniono poliwęglan o zróżnicowanej grubości (od 4 do 32 mm) oraz pojedynczą standardową folię PE służącą do pokrycia tuneli i szkło ogrodnicze o grubości 4mm. W analizie pominięto obiekt z podwójną folią (z wtłaczanym do przestrzeni powietrzem) bowiem wymaga on odmiennej konstrukcji. Przyjęte wartości współczynnika przenikania ciepła przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Przyjęte do analizy wartości współczynnika przenikania ciepła przez osłonę obiektu  
Table 1. The values of overall heat-transfer coefficient for facility covering, assumed in the analysis

Wyszczególnienie	Szkło	Folia PE	Poliwęglan o grubości [mm]			
			4	8	16	32
Współczynnik przenikalności ciepła k, [W·m <sup>-2</sup> ·K <sup>-1</sup> ]	5,8	6,5	4,5	3,8	2,7	1,5

W analizie uwzględniono infiltrację na poziomie jednokrotnej godzinowej wymiany powietrza. W obliczeniach pominięto ciepło zużywane na podgrzanie wentylowanego powietrza zakładając, że niezależnie od rodzaju osłony system wentylacji winien zapewnić skuteczność jego wymiany (tak aby zapewnić wewnątrz obiektu deficyt ciśnienia pary wodnej na poziomie 4hPa), zaś jego ilość jest w rozpatrywanych przypadkach zawsze jednakowa.

Wychodząc z ogólnych zależności, zapotrzebowanie na ciepło w różniczkowalnym czasie  $d\tau$  można obliczyć ze wzoru:

$$dq = dq_{prz} + dq_{mf} + dq_{pod} \quad (1)$$

gdzie poszczególne strumienie ciepła obliczono z zależności:

a) energia wymieniana na sposób ciepła drogą przenikania:

$$dq_{prz} = k \cdot F_{os} (t_{wew} - t_{ot}) d\tau \quad (2)$$

a) ciepło wymieniane drogą infiltracji

$$dq_{mf} = 0,278 \cdot i \cdot \xi \cdot c_p \cdot \rho \cdot F_p (t_{wew} - t_{ot}) d\tau \quad (3)$$

gdzie:

- $F_{os}$  – powierzchnia osłony obiektu [m<sup>2</sup>],
- $t_{wew}, t_{ot}$  – odpowiednio temperatura wewnątrz i na zewnątrz obiektu [°C],
- $k$  – współczynnik przenikania ciepła [W·m<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>],
- $i$  – krotność wymiany powietrza [godz<sup>-1</sup>],
- $\xi$  – współczynnik kubatury [m],
- $c_p$  – ciepło właściwe wilgotnego powietrza [kJ·kg<sup>-2</sup>·K<sup>-1</sup>],
- $\rho$  – gęstość powietrza [kg·m<sup>-3</sup>],
- $F_p$  – powierzchnia obiektu [m<sup>2</sup>].

W obliczeniach przyjęto: dyskretny przedział czasu równy 1 godz i zapotrzebowanie strumienia ciepła do ogrzewania podłoża  $q_{pod}$  na poziomie 20W·m<sup>-2</sup>. Wszystkie wyliczenia

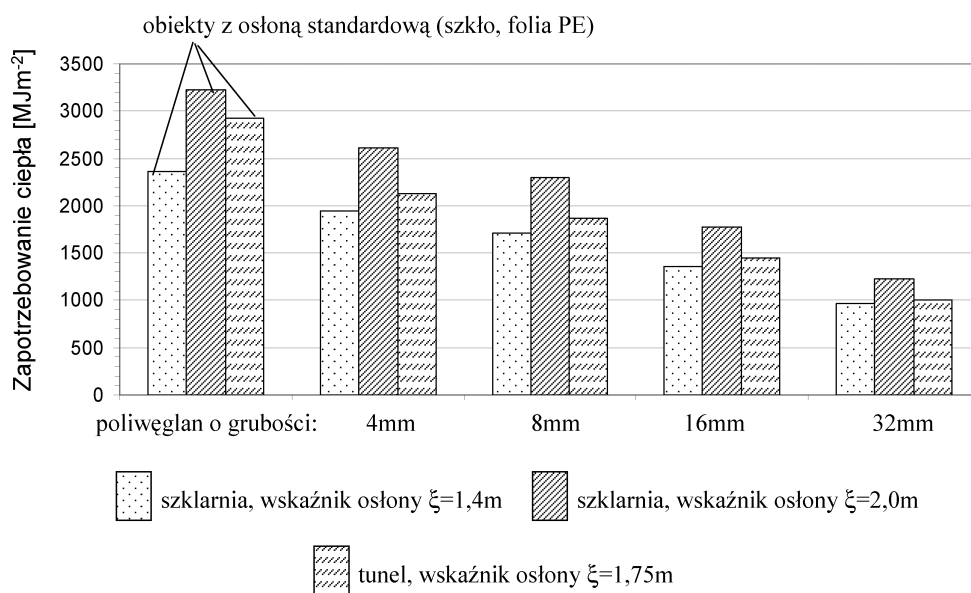
związane z właściwościami wilgotnego wykorzystując standardowe zależności psychrometryczne.

Dodatkowo, korzystając z przedstawionej w pracy metodyki [Kurpaska 2003b] obliczono okres zwrotu inwestycji. W obliczeniach przyjęto, że okres użytkowania poliwęglanu wynosi 10 lat, zaś obliczenia wykonano metodą statyczną (bez uwzględnienia oprocentowania kredytów i inflacji). Pominięcie kosztów oprocentowania niesie ryzyko w obliczeniach analizowanych okresów zwrotu inwestycji, jednak jest to błąd popełniony dla wszystkich analizowanych przypadków.

## Wyniki i dyskusja

W analizie przyjęto dwa typy obiektów, a mianowicie szklarnię (o powierzchni  $5000\text{m}^2$ ) oraz tunel foliowy (powierzchnia  $300\text{m}^2$ ) oraz odpowiednio o wskaźniku osłony  $\xi = 1,4$  i  $2,0\text{m}$  zaś dla tunelu foliowego (założono standardową konstrukcję o szerokości  $9\text{m}$  i maksymalnej wysokości ścian szczytowych) wskaźnik ten jest równy  $\xi=1,75$ .

Na rys. 1 przedstawiono roczne zapotrzebowanie ciepła przez rozpatrywane obiekty ogrodnicze. Jak widać, dla szklarni o wskaźniku osłony równym  $1,4\text{m}$ , zakres zmian w zapotrzebowaniu mieści się w granicach od ok.  $966$  do  $2365$ , z kolei dla szklarni o wskaźniku  $\xi = 2,0\text{m}$  zakres ten zmienia się od ok.  $1220$  do ponad  $3220$ , zaś dla rozważanego tunelu od  $1009$  do ok.  $2920 \text{MJm}^{-2}$ .

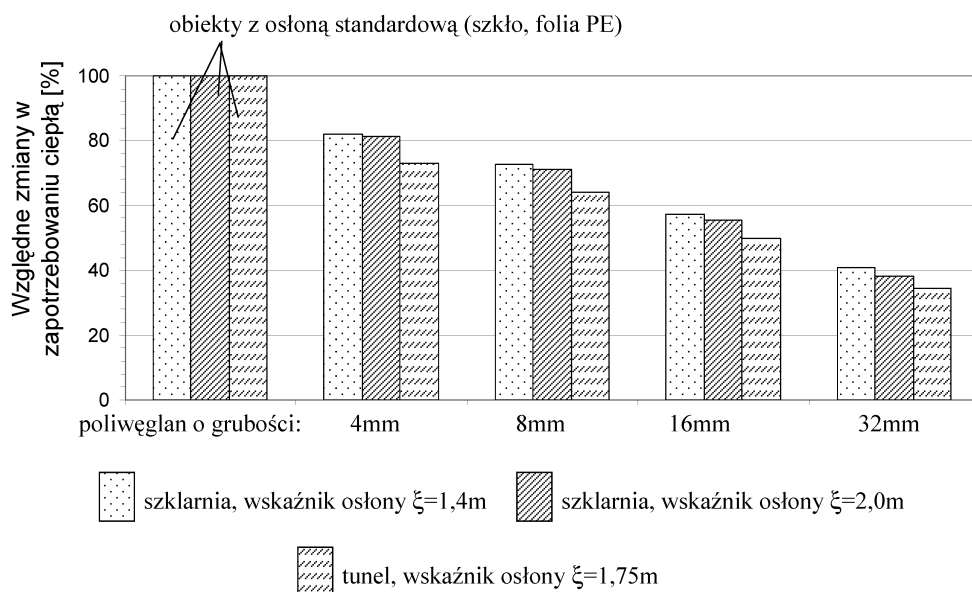


Rys. 1. Oszacowane zapotrzebowanie ciepła przez analizowane obiekty  
Fig. 1. Estimated heat demand for the analysed facilities

Można więc zauważyć, że zwiększenie izolacyjności osłony przyniesie wymierne efekty w zużyciu ciepła przez rozważane obiekty ogrodnicze.

Syntetyczne względne oszczędności w zapotrzebowaniu ciepła (przy przyjętym za 100%) zapotrzebowania dla standardowego pokrycia obiektu (szklarnia, tunel) zobrazowano graficznie na rys. 2. Jak widać, względne maksymalne oszczędności w zapotrzebowaniu ciepła wynoszą dla tunelu pokrytego poliwęglanem o grubości 32mm, zaś minimalne dla szklarni o wskaźniku osłony  $\xi=1,4$  pokrytej poliwęglanem o grubości 4mm. Zakres zmian we względnym (względem osłony standardowej) zmniejszeniu zapotrzebowaniu na ciepło mieści się w granicach od 34 (szklarnia o wskaźniku osłony  $\xi=1,4$  pokryta poliwęglanem o grubości 4mm) do 82% (szklarnia o wskaźniku osłony  $\xi=2,0$  pokryta poliwęglanem o grubości 32mm).

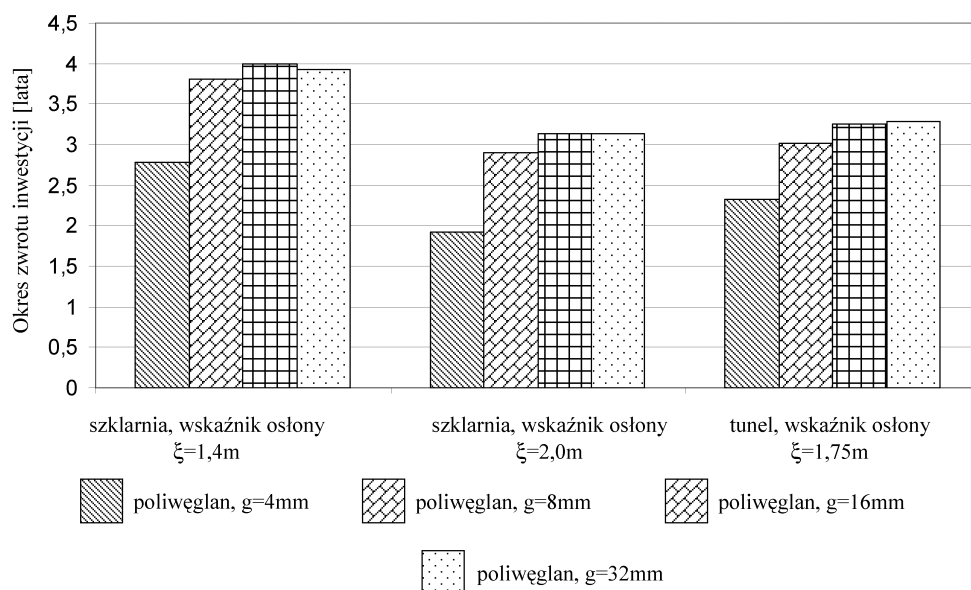
Z przeprowadzonych wyliczeń wynika jeden wniosek poznawczy, że najbardziej z punktu widzenia energetycznego opłacalnym przedsięwzięciem byłoby pokrycie obiektów materiałem o najwyższej izolacyjności. Jednak, aby taki jednoznaczny wniosek można byłoby sformułować należy przeprowadzić analizę ekonomiczną, innymi słowy określić po jakim okresie nastąpi zwrot zwiększonych kosztów inwestycyjnych. Wyniki takiej analizy przedstawiono na rys. 3. W obliczeniach przyjęto aktualne koszty poliwęglanu, folii i szkła ogrodniczego oraz założono, że koszt tony węgla sortymentu „Miał” wynosi 500 zł·t<sup>-1</sup>.



Rys. 2. Względne zmiany w zapotrzebowaniu ciepła przez rozważane obiekty ogrodnicze  
 Fig. 2. Relative changes in heat demand for the discussed horticultural facilities

Ponadto, w analizie kosztów energii uwzględniono koszty: użytkowania środowiska (opłaty za emisję do atmosfery substancji szkodliwych), napraw i remontów kotła oraz wywozu odpadów paleniskowych (popiołu) powstałych po spalaniu węgla.

Na rys. 3 przedstawiono wyniki obliczeń obrazujących po ilu latach nastąpi zwrot poniesionych zwiększonych nakładów finansowych na pokrycie obiektów poliwęglanem. Jak widać, okres zwrotu mieści się w granicach od blisko 2 lat użytkowania (szklarnia o wskaźniku osłony  $\xi=2,0$  pokryta poliwęglanem o grubości 4mm) do 4 lat (szklarnia (wskaźnik osłony  $\xi=1,4$  pokryta poliwęglanem o grubości 16mm). Tak optymistyczne wyniki obliczeń wynikają z przyjętego okresu sezonu grzewczego. Dla rozważanych przypadków, czas trwania sezonu grzewczego wynosi ponad 8000godzin. Tak długi okres jest podyktowany koniecznością zapewnienia odpowiednich warunków termicznych wewnątrz ogrzewanych obiektów (wymagana temperatura). W przeciwnym przypadku, gdy nastąpiłaby rezygnacja z ogrzewania w maju, czerwcu, sierpniu i wrześniu okres zwrotu znacznie się wydłuży. I tak, przykładowo dla wspomnianej szklarni (wskaźnik osłony  $\xi=2,0$  pokryta poliwęglanem o grubości 4mm) okres ten przy założonym jedynie standardowym czasie ogrzewania (w ciągu roku 4300 godz) wzrasta z niecałych dwóch lat do blisko 4 sezonów grzewczych. Konkludując uzyskane wyliczenia można jednoznacznie stwierdzić, że zwiększenie izolacyjności ścian niesie za sobą wymierne efekty w zmniejszeniu zapotrzebowania ciepła oraz istnieją przesłanki do uzasadnienia ekonomicznego takich rozwiązań.



Rys. 3. Okres zwrotu poniesionych nakładach dla rozważanych przypadków  
 Fig. 3. Incurred outlays return period for the discussed cases

Analizując uzyskane wyniki można równocześnie stwierdzić, że rekomendowanym rozwiązaniem jest zastosowanie poliwęglanu o większej izolacyjności (dla przyjętej jego grubości występują porównywalne okresy zwrotu inwestycji), bowiem w kolejnych 10-iu latach użytkowania wystąpią wymierne oszczędności finansowe związane ze zmniejsze-

niem zapotrzebowania na ciepło. Jednak, aby takie rozwiązanie zastosować w praktyce należy znać precyzyjnie zmniejszenie przepuszczalności świetlnej w zależności od okresu użytkowania osłony. Dostępne literaturowe dane związane z tym problemem dotyczą osłon produkowanych na początku lat 90-tych ub. wieku. Ciągły postęp w technologii wytwarzania poliwęglanu powoduje, że nie można przenosić bezpośrednio opublikowanych danych, bowiem każda przepuszczalność świetlna poliwęglanu zależy nie tylko od rejonizacji obiektu (zróżnicowana konieczność mycia osłony), ale również i od technologii wytwarzania tego materiału pokryciowego. Zróżnicowanie w przepuszczalności świetlnej poliwęglanów (o zróżnicowanej grubości) a w konsekwencji konieczność doświetlania można pominąć, bowiem proces doświetlania realizowany jest zazwyczaj w okresie deficytu światła zewnętrznego.

## Wnioski

1. W zależności od rodzaju obiektu oraz jego osłony roczne zapotrzebowanie na ciepło mieści się w granicach od 966 do 2920 MJ·m<sup>-2</sup>.
2. Zakres zmian we względnym zmniejszeniu zapotrzebowaniu na ciepło mieści się w granicach od 34 do 82%
3. Okres zwrotu poniesionych nakładów na zmianę pokrycia obiektów, w zależności od ich typów oraz rodzaju osłony i przyjętych założeniach, mieści się od ok. 2 do ok. 4 lat.

*Pracę wykonano w ramach realizacji projektu badawczego: Nr N N313 445137.*

## Bibliografia

- Bartzanas T., Tchamitchian M., Kittas C.** 2005. Influence of the Heating Method on Greenhouse Microclimate and Energy Consumption. *Biosystems Engineering*. 91(4). s. 487-499.
- Bot, G.P.A.** 2004. The solar greenhouse; technology for low energy consumption. *Acta Horticulturae*. 633. s. 29-33.
- Henten Van E.J.** 2003. Sensitivity Analysis of an Optimal Control Problem in Greenhouse Climate Management *Biosystems Engineering*. 85(3). s. 355-364.
- Kurpaska S., Latala H., Rutkowski K.** 2003. Zmiany temperatury powietrza przy zróżnicowanym wyposażeniu technicznym tunelu foliowego. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 11(53). Kraków. s. 129-136.
- Kurpaska S.** 2003a. Wpływ niektórych czynników na zużycie ciepła w tunelu foliowym. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 9(51). Kraków. s. 301-308
- Kurpaska S.** 2003b. Ekonomiczno- ekologiczne aspekty stosowania elementów zmniejszających zużycie ciepła w tunelu foliowym. *Problemy Inżynierii Rolnictwa*. Nr 1. s. 47-55.
- Lopez J. C., Baille A., Bonachela S, Gonzalez-Real M. M., Perez-Parra J.** 2006. Predicting the energy consumption of heated plastic greenhouses in south-eastern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 4(4). s. 289-296.
- Zhang Y., Gauthierb L., de Halleux D., Dansereau B., Gosselin A.** 1996. Effect of covering materials on energy consumption and greenhouse microclimate. *Agricultural and Forest Meteorology*. 82(1-4). s. 227-244.

## **METHODICAL ASPECTS FOR DETERMINING THE IMPACT OF HORTICULTURAL FACILITY COVERING ON HEAT DEMAND DURING THE HEATING SEASON**

**Abstract.** The paper presents the results of theoretical analysis related to the evaluation of heat consumption by two types of horticultural facilities (greenhouse, foil tunnel) provided with covering types different than the standard solutions. The research allowed to determine relative savings as regards heat demand, and to calculate the return period for the incurred financial outlays.

**Key words:** greenhouse, tunnel, heat demand, covering

**Adres do korespondencji:**

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