

ANALIZA ENERGETYCZNA WYBRANYCH TYPÓW SZKLARNI

Kazimierz Rutkowski

Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie: W pracy przedstawiono analizę nakładów energetycznych poniesionych na ogrzewanie dwóch typów obiektów szklarniowych. Przeanalizowano zużycie energii w obiekcie spełniającym nowoczesne wymagania technologiczne i obiekcie starszym, oraz podjęto próbę udowodnienia tezy o zasadności stosowania nowych rozwiązań konstrukcyjnych szklarni. Porównywane obiekty szklarniowe zajmowały podobną powierzchnię uprawy.

Słowa kluczowe: szklarnia, ogrzewanie, nakłady energetyczne, bilans energetyczny

Wstęp

Produkcja ogrodnicza oraz jej ciągła poprawa efektywności to skutek oddziaływania najnowocześniejszych praktyk z dziedziny agrotechniki. Potrzeba uprawy warzyw nie tylko w pewnych okresach roku, ale przedłużenie okresu wegetacji aż do cyklu całorocznego ze względu na narastający udział ciepła w kosztach wytwarzania wymusza rozwój i stosowanie nowych technologii w produkcji szklarniowej. W warunkach krajowych uprawa szklarniowa wiąże się z dużymi nakładami energetycznymi, a co za tym idzie finansowymi. W dobie coraz bardziej odczuwalnego kryzysu energetycznego, oraz ciągle rosnących cen energii ważne jest w jaki sposób będziemy realizować strategię związaną z oszczędnym gospodarowaniem energią, a w szczególności ciepłem wykorzystywanym do ogrzewania obiektów szklarniowych.

Wyniki badań prowadzonych na temat energii zużywanej w produkcji pod osłonami jednoznacznie wskazują że energia dostarczana w postaci ciepła jest głównym składnikiem nakładów energetycznych stanowiącym niekiedy aż 90% wszystkich nakładów procesu produkcji [Kloc, Rutkowski 1988].

Biorąc pod uwagę wysokie koszty energii cieplnej, powinno dążyć się do zminimalizowania strat powstających w wyniku przenikania ciepła przez przegrody zewnętrzne. Zadaniem dobrze skonstruowanej szklarni jest, zapewnienie uprawianym w niej roślinom przez cały rok optymalnych warunków klimatycznych [Zabeltitz 1991].

Rozpatrując szklarnie pod względem energochłonności całego procesu produkcji w uprawie całorocznej z naciskiem należy śledzić możliwości oszczędzania energii. Należy opierać się o najistotniejsze wymagania stawiane szklarniom, którymi są:

- oszczędne wykorzystanie ciepła (głównego składnika kosztów upraw) i energii elektrycznej,
- wyposażenie w nowoczesne i wysokiej jakości systemy grzewcze, wietrzenia i nawadniania,

- maksymalne wykorzystanie światła,
- możliwość automatycznego i precyzyjnego sterowania parametrami klimatu szklarni,
- szczelność,
- zapewnienie optymalnej dla roślin temperatury powietrza i podłoża oraz wilgotności powietrza niezależnie od warunków zewnętrznych,
- wytrzymałość konstrukcji na intensywne opady śniegu oraz wiatr,
- wyposażenie w kurtyny termoizolacyjne i ewentualnie cieniujące,
- sprawny i terminowy serwis specjalistyczny.

Cel i zakres pracy

Celem prowadzonych badań była weryfikacja i ocena dwóch typów szklarni pod względem wielkości nakładów energetycznych poniesionych na ogrzewanie obiektów. Badania obejmują dwa obiekty szklarniowe. Szklarnię nową typu „Venlo” o powierzchni 16 167,1 m² opisywaną dalej jako szklarnia nr 1 oraz szklarnię starego typu o powierzchni 14 960,4 m² opisywaną jako szklarnia nr 2.

Porównanie i przeprowadzenie badań zużycia ciepła w zróżnicowanych pod względem kubatury i użytych materiałów pokryciowych obiektów pozwoli na ocenę badanych obiektów zarówno pod względem jednostkowego zużycia energii na jednostkę powierzchni jak też panujących w nich warunków mikroklimatycznych.

Przedmiot i metodyka badań

Badania zostały przeprowadzone w przedsiębiorstwie wielkoobszarowym, gdzie znajduje się prawie 15 ha pod szkłem. Wybudowane w latach siedemdziesiątych obiekty szklarniowe cechowały się niskim wskaźnikiem osłony w stosunku do powierzchni uprawy. Przy dostępnych wówczas na rynku materiałach konstrukcyjnych wskaźnik ten miał gwarantować niskie jednostkowe zużycie ciepła [Zabeltitz 1991]. Budowane wówczas zblokowane szklarnie spełniały wymagania stosowanym technologiom produkcji. Najczęściej stosowano wówczas uprawę gruntową. Warzywa w tych obiektach uprawiane były dwukrotnie w ciągu roku, stąd też obiekty te cechowały się niewielką wysokością a uzyskiwany plon był kilkukrotnie niższy od obecnego [Rutkowski 2005]. Budowane wówczas szklarnie były niskie gdzie wysokość szklarni mierzona do jej okapu wynosiła 2 do 2,2 m. Mała powierzchnia osłony w stosunku do powierzchni uprawy nie zapewniała dużego dostępu światła uprawianym roślinom. Analizując bilans energetyczny szklarni zauważamy, że największy udział w strukturze strat stanowią osłony, stąd też proponowane rozwiązania uważano za uzasadnione [Rutkowski 2006].

Obecnie zmieniono technologie uprawy warzyw a w szczególności pomidora i w ślad za tym zmieniły się wymagania w stosunku do konstrukcji budowanych szklarni. Jeśli przyjrzymy się wielkościom charakteryzującym badane obiekty przedstawionym w tab. 1 to zauważymy znaczące różnice. Przede wszystkim znacznie zwiększyła się wysokość szklarni. Aby zapobiec stratom ciepła spowodowaną przez znaczny przyrost powierzchni osłony (o 30%) wprowadzono nowe typy materiałów pokryciowych charakteryzujących się

znacznie niższym (ponad dwukrotnie) współczynnikiem przenikania ciepła. Najczęściej te nowe materiały pokryciowe w postaci szkła zespolonego stosowane są do krycia ścian bocznych. Dach ze względu na zapewnienie dobrego dostępu światła do szklarni nadal kryty jest w większości szkłem pojedynczym.

W objętych badaniami szklarniach najczęściej nazywanymi szklarniami nowego i starego typu przeprowadzono pomiary zużycia ciepła w kolejnych miesiącach w ciągu całego roku. Pomiary wykonywano zarówno na zamontowanych na stałe w zakładzie urządzeniach pomiarowych jak też dla uzyskania pewności co do wskazań istniejących urządzeń zamontowano na węzłach ciepłowniczych zasilających szklarnie dodatkowe legalizowane mierniki ciepła. Po okresie pomiarów porównawczych określono charakter i wielkość błędu i obliczoną poprawkę uwzględniono przy analizie wartości uzyskanych wyników.

Podczas prowadzenia badań prowadzono pomiar warunków klimatycznych występujących na zewnątrz szklarni. W niniejszym opracowaniu, które jest tylko częścią objętych badaniami zagadnień uwzględniono tylko zmieniające się warunki solarne, które mają znaczący wpływ na zużycie ciepła w obiektach szklarniowych [Kurpaska 2006].

Tabela 1. Charakterystyka techniczna badanych obiektów
Table 1. Technical characteristics of the examined facilities

	Powierzchnia uprawy [ha]	Wysokość [m]	Szerokość [m]	Długość [m]	Materiał pokryciowy	Wskaźnik powierzchni osłony do powierzchni uprawy [m ²]
Szklarnia 1	1,616	5,5	85,5	188,3	Ściany szkło podwójne 4 [mm] dach szkło pojedyncze	1,6
Szklarnia 2	1,496	2,96	356,2	42	Ściany i dach szkło pojedyncze	1,23

Wyniki badań i ich analiza

Badania obejmują dwa rodzaje szklarni. Szklarnia nr 1 charakteryzuje się nowoczesną konstrukcją, wykonana jest z materiałów pokryciowych o zmniejszonej przewodności cieplnej oraz większą wysokością mierzoną do okapu szklarni. W szklarni tej stosunek osłony do uprawy wynosi 1,6. Ściany boczne wykonane ze szkła zespolonego ułożone na uszczelkach gumowych, dach pokryty jest szkłem pojedynczym. Materiał pokryciowy użyty na krycie ścian bocznych to szkło zespolone o grubości 9 mm. Jak wynika z literatury [Kurpaska 2007] w tego typu materiałach należy się spodziewać wielkości współczynnika przenikania ciepła na poziomie max 4,3 W·m⁻²·K⁻¹.

Szklarnia nr 2 pokryta jest szkłem pojedynczym a stosunek osłony do uprawy wynosi 1,23. Zarówno szkło boczne jak też górne układane jest na kicie bitumicznym. W celu zmniejszenia strat ciepła w szklarni starego typu (szklarnia 2) po stronie zewnętrznej na ścianach bocznych przymocowano ekran termoizolacyjny w postaci folii komórkowej.

Tabela 2. Zużycie ciepła w szklarni nr 1 oraz nr 2
 Table 2. Heat consumption in greenhouses no. 1 and no. 2

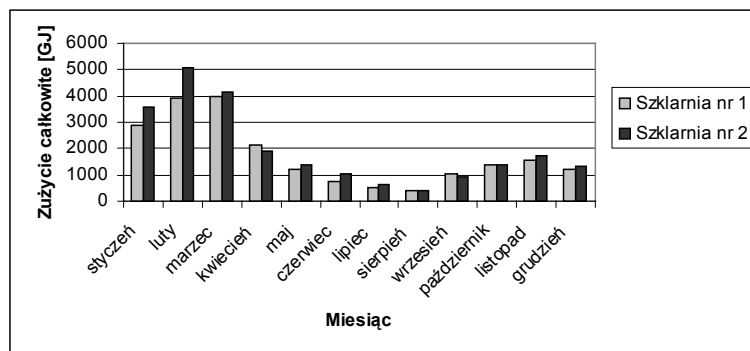
Ilość ciepła zużyta w szklarni						
Miesiąc	Szklarnia nr 1		Szklarnia nr 2		Tempera- tura zewn.	Nasłonecznienie
	Zużycie całkowite	Zużycie jednostkowe	Zużycie całkowite	Zużycie jednostkowe		
	[GJ]	[GJ·m ⁻²]	[GJ]	[GJ·m ⁻²]		
styczeń	2900	0,179	3558	0,238	-2,4	150
luty	3930	0,243	5060	0,338	-3	190
marzec	3970	0,246	4153	0,278	0,6	230
kwiecień	2142	0,133	1892	0,126	8,7	287,7
maj	1230	0,076	1359	0,091	13,2	340
czerwiec	740	0,046	1011	0,068	16,2	412,7
lipiec	510	0,032	614	0,041	18,1	366,3
sierpień	420	0,026	409	0,027	16,5	268,4
wrzesień	1040	0,064	940	0,063	14,1	239,9
październik	1390	0,086	1412	0,094	8,9	166,5
listopad	1540	0,095	1740	0,116	2,6	137,5
grudzień	1200	0,074	1320	0,088	-1	118,6
SUMA	21012		23468		7,71	242,3
Zużycie jednostkowe w ciągu roku		1,300		1,569		

Analizując zużycie ciepła w poszczególnych miesiącach w szklarni nr 1 (tab.2) zauważa się, że w miesiącach zimowych luty, marzec wynosi ono odpowiednio 243 i 246 MJ·m⁻², zaś w analogicznym okresie w szklarni nr 2 jest wyższe i wynosi odpowiednio 338 i 278 [MJ·m⁻²]. Porównując dynamikę zmian jednostkowego zużycia ciepła w analizowanych szklarniach w kolejnych miesiącach zimowych zauważa się pewną anomalię (rys. 1). W szklarni nr 1 charakteryzującą się lepszymi właściwościami izolacyjnymi wraz z nadejściem cieplejszego okresu jednostkowe zużycie ciepła spada wolniej niż w analogicznym okresie w szklarni nr 2, która pokryta jest szkłem pojedynczym o większym współczynniku przenikania ciepła. W miesiącu kwietniu oraz sierpniu i wrześniu zauważa się tendencje odwrotną lub też wartości jednostkowego zużycia są prawie jednakowe.

Analizując jednostkowe zużycie ciepła w poszczególnych obiektach szklarniowych (rys. 2) można stwierdzić, że w szklarni starego typu jest ono wyższe o 21% i wynosi 1,569 GJ·m⁻². W szklarni nr 1 zaliczanej do szklarni nowoczesnych jednostkowe zużycie ciepła przy uprawie pomidorów wynosi 1,3 GJ·m⁻².

Mimo znacznej różnicy wielkości jednostkowego zużycia w poszczególnych objętych badaniami obiektach zauważa się wyraźnie okresy, w których tendencje wymienionego zróżnicowania są odmienne. Jest to okres wczesnej wiosny i końca lata. Wstępnie wydaje się, że jest to rezultat większego wietrzenia szklarni w analizowanych okresach. W wyższych szklarniach (szklarnia nr 1 – nowa) występuje podczas otwierania wietrzników większa prędkość powietrza (o czym świadczą wstępne badania) a tym samym większe straty ciepła. Opisywane wyżej zjawisko zmian wielkości jednostkowego zużycia ciepła (na ko-

rzyść szklarni nr 2 – starszej) występuje w okresie gdy natężenie promieniowania słonecznego wynosi ponad $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (tab.2, rys. 2).



Rys. 1. Zużycie ciepła w analizowanych szklarniach w ciągu roku

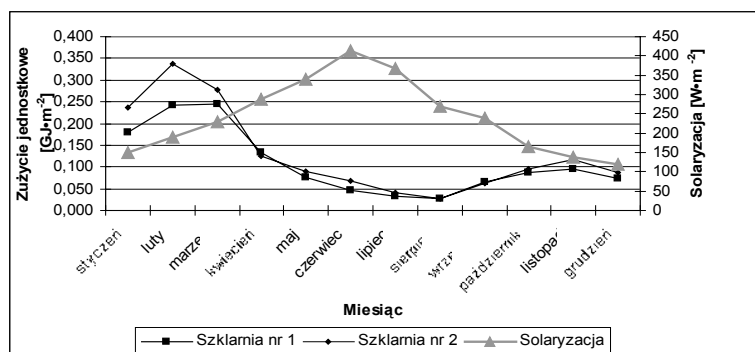
Fig. 1. Heat consumption in the analysed greenhouses over a year

W produkcji pod osłonami duży wpływ na zużycie ciepła mają warunki solarne. Niejednokrotnie nawet minusowe temperatury zewnętrzne ale duże promieniowanie słoneczne pozwalają na wyłączenie ogrzewania. Jak podaje literatura natężenie promieniowania powyżej $150 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ już w znaczący sposób wpływa na zużycie ciepła. Śledząc średnie wartości promieniowania słonecznego w ciągu roku oraz zużycie ciepła w szklarniach wyraźnie widzimy okres w którym maleje zużycie ciepła (jest to I dekada marca). Na rys.2 przedstawiono roczne zużycie ciepła w szklarniach nr 1 i nr 2 w przeliczeniu na metr kwadratowy powierzchni uprawnej w porównaniu z nasłonecznieniem. W przypadku szklarni nr 1 największe zużycie odnotowano w pierwszym kwartale roku, ale już w następnych dwóch kwartałach wraz ze wzrostem nasłonecznienia zauważa się znaczną obniżkę zużycia ciepła.

W przypadku szklarni nr 2 podobnie jak w szklarni pierwszej pierwszy kwartał to wyższa ilość zużytego ciepła. W następnym okresie zużycie ciepła nieznacznie spada.

Analizując zużycie ciepła przedstawione na rys.1 zauważa się, że najwyższe wartości występują w miesiącach; lutym, marcu i listopadzie. Miesiące grudzień i styczeń są okresem zagospodarowywania szklarni stąd też zapotrzebowanie na ciepło w tym okresie jest mniejsze.

Całoroczna uprawa warzyw pod osłonami w naszej strefie klimatycznej wymaga znacznej ilości ciepła w okresie zimowym. Stąd obiekty użytkowane w cyklu całorocznym winny być kryte materiałami wykazującymi duży opór cieplny a prezentowane wyniki te założenie potwierdzają. Niemniej jednak są okresy w których należy prześledzić i zapobiec występującym nadmiernym stratom mimo spełnienia wstępnych założeń konstrukcyjnych. Kontynuacja powyższych badań winna pozwolić na wyjaśnienie wymienionych wyżej zjawisk i przyczynić się do obniżenia strat ciepła występujących w nowych obiektach szklarniowych



Rys. 2. Jednostkowe zużycie ciepła z uwzględnieniem warunków solarnych w szklarniach nr 1 i 2 na metr kwadratowy powierzchni uprawowej

Fig. 2. Unit heat consumption taking into account solar conditions in greenhouses no. 1 and 2 per one square metre of cultivated surface

Wnioski

1. Jednostkowe zużycie ciepła przy uprawie pomidorów w badanym okresie w szklarniach nowego typu wynosi $1,3 \text{ GJ}\cdot\text{m}^{-2}$, zaś w szklarniach starszego typu $1,569 \text{ GJ}\cdot\text{m}^{-2}$.
2. W szklarniach nowego typu w okresie wczesnej wiosny oraz późnego lata zauważa się niekorzystne zjawisko zwiększonego jednostkowego zużycia ciepła.
3. Zjawisko zwiększonego jednostkowego zużycia ciepła w szklarniach nowego typu nasila się w okresach zwiększonego natężenia promieniowania słonecznego.

Bibliografia

- Kloc T. Kurpaska S. 1988. Energochłonność i efektywność bezpośredniego ogrzewania gleby w szklarni. Zeszyty naukowe AR. Nr 6. Kraków. s. 53-62.
- Kurpaska S. 2007. Szklarnie i tunele foliowe. PWRiL. Poznań. ISBN 978-83-09-01024-1.
- Rutkowski K. Borecz J. 2005. Podstawy teoretyczne oceny przydatności produkcyjnej obiektów szklarniowych. Inżynieria rolnicza Nr 10(70). Kraków. s. 321-326.
- Rutkowski K. 2006. Energetyczno-ekonomiczne aspekty uprawy pomidora w różnych obiektach szklarniowych Inżynieria Rolnicza Nr 6(81). Kraków. s. 223-229.
- Zabeltitz Ch. Von 1991. Szklarnie – projektowanie i budowa. PWRiL. Warszawa. ISBN 83-09-00577-6.

ENERGY ANALYSIS FOR SELECTED GREENHOUSE TYPES

Abstract. The paper presents energy expenditure analysis for heating of two greenhouse facility types. The analysis covered energy consumption in a facility satisfying up-to-date technological requirements, and in an older facility. Moreover, the researchers made an attempt to prove that it is justified to employ new structural greenhouse concepts. The compared greenhouse facilities had similar cultivated surfaces.

Key words: greenhouse, heating, energy expenditure, energy balance

Adres do korespondencji:

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