

ANALIZA EKONOMICZNO-EKOLOGICZNA STOSOWANIA POMPY CIEPŁA W OGRZEWANIU OBIEKTÓW OGRODNICZYCH*

Sławomir Kurpaska

Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki ekonomiczne i ekologiczne stosowania pompy ciepła (o założonej mocy grzewczej na poziomie 9,7 kW) w tunelu foliowym (pokrytym podwójną folią) o zróżnicowanej powierzchni użytkowej. Do analizy ekologicznej (przeliczonej na koszty użytkowania środowiska z tytułu emisji do atmosfery substancji szkodliwych) przyjęto cztery powszechnie wykorzystywane w ogrodnictwie kotły grzewcze różniące się między sobą konstrukcją rusztu oraz możliwością zainstalowania w nich urządzenia odpylającego. W analizie ekonomicznej, przy przyjętych kosztach instalacyjnych związanych z zastosowaniem rozważanej pompy ciepła, wykorzystano powszechnie stosowane w analizie inwestycji dwa parametry (statyczne i dynamiczne), a mianowicie: prosty okres zwrotu oraz bieżącą wartość netto inwestycji (NPV). Dla przyjętych założeń wskazano powierzchnię użytkową obiektu oraz liczbę lat użytkowania, przy których rozpatrywana inwestycja jest konkurencyjna względem innych metod oprocentowania inwestycji alternatywnej.

Słowa kluczowe: tunel foliowy, opłacalność inwestycji, aspekty ekologiczne, pompa ciepła

Wstęp

W stosowaniu urządzeń zastępujących tradycyjne rozwiązania istotnym zagadnieniem jest dokonanie analizy, na ile wprowadzone rozwiązania (przy założeniu, że spełnią one założony cel) są efektywne pod kątem ekonomicznym i wywołają zmiany w aspekcie oddziaływania na środowisko przyrodnicze. Takim rozwiązaniem w produkcji ogrodniczej jest stosowanie pompy ciepła. Niewątpliwie wprowadzanie do systemu ogrzewania tego urządzenia, poprzez zastępowanie kotła grzewczego, przyniesie zmiany ekologiczne; jest ono jednak również obciążone nakładami finansowymi. W myśl obecnie obowiązujących przepisów (Dz. U. Nr 97 oraz M. P. Nr 94), każdy użytkownik szklarni, w której zainstalowany kocioł grzewczy, jest zobowiązany uiszczać opłaty z tytułu emisji do atmosfery substancji szkodliwych. Wielkość tych opłat uzależniona jest typu kotła oraz rodzaju

* Pracę wykonano w ramach projektu badawczego NR N N313 445137

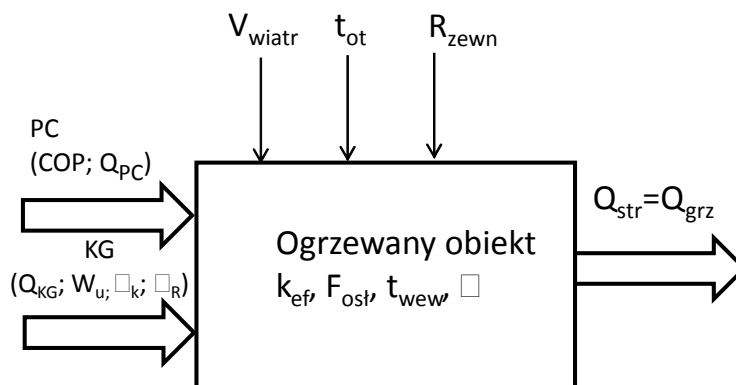
i ilości zużywanego paliwa. Zmniejszenie kosztów z tytułu emisji substancji szkodliwych obarczone jest zwiększonymi kosztami inwestycyjnymi, poniesionymi na uruchomienie systemu, który wykorzystuje pompę ciepła. Aby więc można było rekomendować dla krajowych producentów ogrodniczych takie rozwiązanie, przy istniejących warunkach finansowo-gospodarczych, zagadnienie to winno być szczegółowo przeanalizowane. Problematyka stosowania pomp ciepła (w ujęciu finansowym) była obiektem zainteresowania, a szczegółowa analiza była przeprowadzana w różnych ośrodkach naukowych. I tak, Smoleń i Budnik-Rodz (2006) porównali koszty ogrzewania domu jednorodzinnego zlokalizowanego w Polsce i Niemczech z wykorzystaniem pompy ciepła (współpracującej z pionowymi, gruntowymi wymiennikami ciepła) z ogrzewaniem gazowym. Rentowność inwestycji została określona za pomocą metody dynamicznej amortyzacji, która zakłada roczny stały zwrot kapitału. Określono okres zwrotu poniesionych nakładów finansowych na instalację systemu wykorzystującego pompę grzewczą. W konkluzji stwierdzono, że rentowność ekonomiczna proponowanego rozwiązania determinowana jest zarówno efektywnością pracy urządzenia, cenami paliwa oraz zachętami finansowymi stosowanymi w analizowanych krajach. Ucar i Inalli (2005) do badań symulacyjnych systemu wykorzystującego kolektory słoneczne z długoterminowym magazynowaniem ciepłej wody w podziemnych zbiornikach wykorzystali program ANSYS. Autorzy określili okres zwrotu poniesionych nakładów finansowych. Liben i in. (2002) analizowali ekonomiczne efekty wykorzystania zmodyfikowanej absorpcyjnej pompy ciepła oraz tradycyjnej – wykorzystanych do chłodzenia obiektu. Do określenia rocznych kosztów użytkowania obydwu układów uwzględniono koszty inwestycyjne (zarówno pompy, jak i elementów składowych systemu), koszty amortyzacji oraz koszty operacyjne związane z pracą tych urządzeń. Seung-Hwan i Joong (2013) określili efekty finansowe przy wykorzystaniu sprężarkowej pompy ciepła do zmiany parametrów klimatu wewnątrz szklarni, w której prowadzono uprawę parapelatową. Pompa pobierała ciepło ze zbiorników, w których magazynowano nadwyżkę ciepła z okresu występowania pogody radiacyjnej. Analizę ekonomiczną (okres zwrotu inwestycji, zysk netto) dla tego obiektu porównano do tradycyjnej szklarni ogrzewanej gazem. Karacavus i Can (2009) określili okres zwrotu poniesionych nakładów finansowych dla systemu, w którym kolektory słoneczne wykorzystywano do długoterminowego magazynowania ciepła w podziemnych zbiornikach. Analizę porównawczą przeprowadzono dla obiektu ogrzewanego paliwem stałym. Karaca i in. (2002) określili koszty pracy chemicznych pomp ciepła (chemicznych transformatorów energii), w których stosowali zróżnicowane substancje chemiczne, podlegające endo- i egzotermicznym reakcjom chemicznym. Analizę porównawczą przeprowadzono w odniesieniu do kotła parowego zasilanego olejem napędowym. Mastrullo i Renno (2010) przeprowadzili analizę energetyczno-ekonomiczną dla autonomicznego układu składającego się z paneli fotowoltaicznych, z których wytwarzana energia elektryczna wykorzystana była do napędu sprężarkowej pompy ciepła. Na bazie zależności z zakresu analizy energetycznej i ekonomicznej autorzy opracowali program symulacyjny. Program ten, w zależności od przyjętych warunków i kosztów poszczególnych składowych systemu, pozwala obliczyć, oprócz zagadnień energetycznych systemu, wskaźniki ekonomiczne (bieżącą wartość wydatków i wpływów pieniężnych z inwestycji, okres zwrotu inwestycji oraz prosty okres zwrotu kapitału). Spelstra i in. (2002) analizowali wykorzystanie dwóch typów chemicznych pomp ciepła: jednej, w której do inicjowania reakcji endotermicznych (w dolnym źródle ciepła) oraz

pompy absorpcyjnej, w której wykorzystano ciepło odpadowe z przemysłu. Określili wartość wewnętrzną stopy zwrotu inwestycji (IRR) oraz typy pompy, które w badanych warunkach determinowały opłacalność tego przedsięwzięcia. Kurpaska (2008) analizował wykorzystanie pompy ciepła do ogrzewania obiektu ogrodniczego. W oparciu o aktualne koszty inwestycyjne określono minimalną wartość kosztów ciepła, przy których – dla arbitralnie założonego okresu użytkowania pompy – zwracają się nakłady finansowe poniesione na stosowanie biwalentnego systemu grzewczego. Określono również koszty związane z opłatami z tytułu użytkowania środowiska przyrodniczego. Szlachta (2005) na bazie wskaźników ekonomicznych określił celowość wymiany kotłowni węglowych na kotły zasilane biomasą.

Z przeglądu prac badawczych wynika jednoznacznie celowość przeprowadzenia analizy ekonomiczno-ekologicznej dla układu wykorzystującego pompę ciepła do ogrzewania obiektu ogrodniczego o zróżnicowanej powierzchni użytkowej. Będzie to zasadniczym celem pracy.

Material i metoda

Rozważany układ przedstawiono schematycznie na rysunku 1. Jak widać, w systemie założono instalowanie kotła szczytowego, zaś jego moc uwarunkowana jest współdziałaniem mocy grzewczej generowanej przez pompę ciepła.



Rysunek 1. Schemat rozważanego układu
Figure 1. Schematic diagram of the discussed system

Ilość dostarczanego ciepła uzależniona jest od rodzaju obiektu charakteryzowanego przez: powierzchnię osłony (F_{ost}), jej izolacyjności (k_{ef}), zamierzoną temperaturę wewnątrz obiektu (t_{wew}), czas ogrzewania (t) i warunki otoczenia: temperaturę (t_{ot}), intensywność promieniowania (R_{zewn}) oraz prędkości wiatru (V_{wiatr}).

Ciepło do wnętrza obiektu (Q_{grz}) musi więc zrównoważyć straty ciepła (Q_{str}). może być dostarczone z pompy ciepła (Q_{PC}) lub kotła grzewczego (Q_{KG}), który jest opalany węglem sortymentu „miał”. Pochodną zmiany typu kotła jest emisja do atmosfery substancji szko-

dliwych. Wysokość kosztów emisji poszczególnych składowych (pył, CO, CO₂, NO_x oraz SO₂) przyjęto zgodnie z aktualnymi wartościami (M. P. Nr 94). W przeprowadzonej analizie uwzględniono:

- kocioł z rusztem mechanicznym z urządzeniem odpylającym (ozn. A),
- kocioł z rusztem mechanicznym, bez urządzenia odpylającego (ozn. B),
- kocioł z rusztem stałym, z ciągiem sztucznym, z urządzeniem odpylającym (ozn. C),
- kocioł z rusztem stałym, z ciągiem sztucznym, bez urządzenia odpylającego (ozn. D).

Przy dostarczaniu ciepła z pompy grzewczej założono, że koszty z tytułu opłaty ze środowiska są uiszczane przez elektrownię, tym samym nie obciążają one użytkownika proponowanego rozwiązania. Przyjęto, że zasilanie pompy grzewczej odbędzie się wg taryfy G11 (dystrybutor Tauron).

Do obliczenia zapotrzebowania na ciepło wykorzystano zależność w postaci:

$$Q_{grz} = \frac{F_{osl}}{F_{uż}} \cdot k_{ef} \cdot (t_{wew} - t_{zew}) \cdot \tau \cdot LF \quad (1)$$

Ciepło to musi być zrekompensovane masą zużytego paliwa, którą obliczono z zależności:

$$m_{pal} = \frac{Q_{grz}}{\eta_k \cdot \eta_R \cdot W_u} \quad (2)$$

Zużycie energii elektrycznej do napędu pompy sprężarkowej wyliczono z zależności:

$$W_{PC} = \frac{Q_{grz}}{COP-1} \quad (3)$$

gdzie, poszczególne symbole oznaczają:

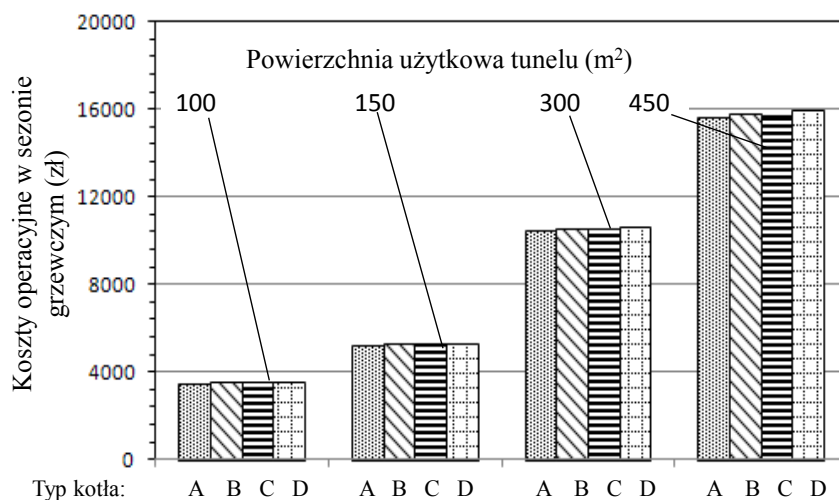
- Q_{grz} – zapotrzebowanie na ciepło (MJ),
- F_{osl} – powierzchnia osłony obiektu (m²),
- $F_{uż}$ – powierzchnia użytkowa obiektu (m²),
- k_{ef} – efektywny współczynnik przenikania ciepła przez osłonę (W·m⁻²·K⁻¹),
- t_{wew}, t_{zew} – odpowiednia temperatura wewnątrz i na zewnątrz obiektu (°C),
- τ – czas działania instalacji grzewczej (s),
- LF – średnioroczny współczynnik wykorzystania maksymalnej mocy grzewczej (-),
- m_{pal} – masa paliwa, kg,
- η_k – sprawność kotła (-),
- η_R – sprawność przesyłu ciepła (-),
- W_u – wartość opałowa paliwa (MJ·kg⁻¹),
- COP – współczynnik efektywności pracy pompy ciepła (-).

Analizę ekonomiczną rozważanego systemu przeprowadzono w oparciu o dwie standardowo stosowane metody, a mianowicie – stosując prosty okres zwrotu (Static Payback Period) oraz metodę bieżącej wartości netto (Net Present Value).

Wyniki i dyskusja

Analizę przeprowadzono dla następujących danych wejściowych: wskaźnik osłony (liczony jako stosunek powierzchni osłony do powierzchni użytkowej obiektu) równy 2,0; powierzchnia użytkowa odpowiednio: 100; 150; 300 i 450 m²; temperatura wewnątrz 15°C, minimalna temperatura otoczenia -5°C; czas ogrzewania równy 2500 godz.; LF=0,3; współczynnik $k_{ef}=5,0 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\text{K}$; $\eta_k=0,75$; $\eta_R=0,95$; $W_u=20 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$; COP=2,7. Wartości k_{ef} , COP określono w oddzielnych analizach, zaś pozostałe jako powszechnie wykorzystywane w praktyce grzewczej. W obliczeniach pominięto koszty amortyzacji, ponadto przyjęto koszt energii elektrycznej równy 0,38 PLN·kWh⁻¹, zaś koszt paliwa wynosi 500 PLN·tonę⁻¹. W obliczeniach przyjęto, że sumaryczny koszt wywozu popiołu, prac konserwacyjnych oraz remontowych wynosi 80% kosztów paliwa.

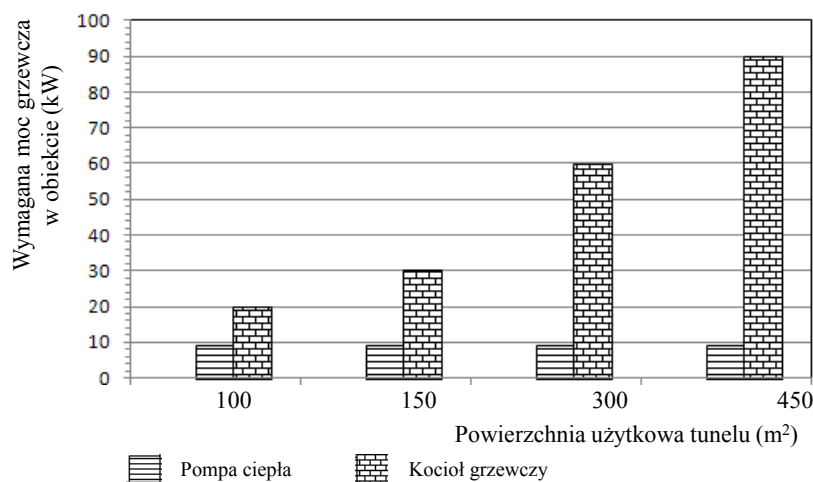
Na rysunku 2 zobrazowano koszty ogrzewania w przyjętym sezonie ogrzewania.



Rysunek 2. Koszty ogrzewania w sezonie grzewczym
Figure 2. Costs of heating in the heating season

Jak można zauważyć, koszty w zależności od powierzchni i typu kotła kształtują się w zakresie od ok. 3500 PLN (kocioł typu A, powierzchnia użytkowa tunelu 100 m²) do blisko 16000 PLN (kocioł typu D powierzchnia użytkowa równa 450 m²). Dokładne obliczenia opłat z tytułu korzystania ze środowiska, w zależności od rozpatrywanych wariantów, mieszczą się w granicach 1,9 do 3,6% kosztów paliwa.

Aby określić efekty finansowe związane ze stosowaniem pompy ciepła, należy określić moc kotła szczytowego (tzn. przy założeniu, że całe ciepło będzie dostarczane w wyniku spalania w nim przyjętego paliwa). Dodatkowo w obliczeniach przyjęto, że część ciepła będzie dostarczana za pomocą pompy ciepła, będącej przedmiotem pracy. Wyniki tych obliczeń przedstawiono na rysunku 3.



Rysunek 3. Wymagana moc kotła grzewczego oraz pompy ciepła w zależności od powierzchni tunelu

Figure 3. Required power of the heating boiler and the heat pump in relation to the tunnel area

Jak wynika z rysunku 3, zapotrzebowanie na moc grzewczą, w zależności od przyjętych wariantów, wynosi od 20 do blisko 90 kW. Oczywiście jeśli przyjąć, że część ciepła pokrywane będzie przez pompę, wtedy pozostałe ciepło musi być dostarczone z tradycyjnego kotła grzewczego.

W analizie wykorzystania pompy ciepła przyjęto, że będzie ona współpracować z wymiennikami pionowymi wykonanymi na 100 m głębokości. Do analizy przyjęto sprężarkową pompę ciepła o znamionowej mocy grzewczej 9,7 kW, zaś sumaryczne zapotrzebowanie na moc elektryczną wynosi 5,3 kW. Przyjęte wartości są pochodną serii badań określającą jej efektywność (Kurpaska i Latała, 2012). Pompa ta winna współpracować z dwoma pionowymi, gruntowymi wymiennikami ciepła w konfiguracji: jeden wymiennik typu 1U oraz jeden typu 2U. W analizie ekonomicznej założono, że koszt pompy ciepła (łącznie z zainstalowanym zbiornikiem buforowym) wynosić będzie 28 tys. PLN, zaś łączne koszty wykonania wymienników kształtują się na poziomie 24 tys. PLN.

Wyniki obliczeń związanych z rozważanym układem, w którym zainstalowano przyjętą pompę w tunelach o zróżnicowanej powierzchni wraz z pracą kotła szczytowego, przedstawiono w tabeli 1. W analizie przyjęto cykliczność pracy pompy w ten sposób, że stosunek pracy pompy ciepła do czasu przerwy między poszczególnymi cyklami kształtuje się na poziomie 0,3:0,7. Cykliczność zapewnia zastosowanie w instalacji zbiornika buforowego.

Prosty okres zwrotu poniesionych nakładów finansowych (w ujęciu statycznym), liczony jako relacja wartości inwestycji do rocznego dochodu, dla rozważanych przypadków zobrazowano w tabeli 2. W analizie założono, że koszty napraw, sumaryczne koszty wywozu popiołu, prac konserwacyjnych oraz remontowych wynoszą 20% kosztów paliwa.

Tabela 1

Wyniki obliczeń związanych z funkcjonowaniem systemu wykorzystującego pompę ciepła

Table 1

Results of calculation related to the functioning of the system which uses the heating pump

Wyszczególnienie	Powierzchnia tunelu foliowego (m ²)			
	100	150	300	450
Procent pokrycia zapotrzebowania ciepła przez pompę grzewczą	48,5	32,2	16,1	10,7
Wymagana masa paliwa spalana w sezonie grzewczym w kotle (kg·a ⁻¹)	727	2621	8305	13990
Koszt funkcjonowania pompy ciepła (PLN·a ⁻¹)	2765	2765	2765	2765
Procent zmniejszenie kosztów paliwa kopalnego	73,7	49,1	24,5	16,3

Tabela 2

Wyniki analizy ekonomicznej przy zastępowaniu paliwa kopalnego ciepłem z pompy grzewczej

Table 2

Results of economical analysis at replacing fossil fuel from the heat pump

Wyszczególnienie	Powierzchnia tunelu foliowego (m ²)			
	100	150	300	450
Roczne oszczędności z tytułu wprowadzenia pompy ciepła (PLN·a ⁻¹)	610	1066	2430	3796
Okres zwrotu (rok)	84	48	21,4	13,7

Jak widać, jedynie w obiekcie o powierzchni użytkowej powyżej 400 m², dla przyjętych wielkości występują przesłanki do stwierdzenia, że koszt użytkowania pompy ciepła jest ekonomicznie uzasadniony przy dodatkowym założeniu, że w tym czasie nieponiesione zostaną żadne dodatkowe koszty związane z jej funkcjonowaniem. Wydaje się to jednak mało realne, bowiem użytkownik takiego systemu będzie zmuszony pokryć koszty związane z corocznymi przeglądami oraz wymianą czynnika obiegowego w dolnym źródle pompy ciepła.

Dynamicznym kryterium decyzyjnym przy stosowaniu pompy ciepła jest parametr NPV, który pozwala porównać proponowane rozwiązanie z alternatywną inwestycją o znanej stopie zwrotu poniesionych nakładów. W obliczeniach założono, że stopa dyskonta wynosi 2% i jest stała w analizowanym okresie. Do analizy przyjęto okres użytkowania pompy ciepła na poziomie 20 lat, założono ponadto, że co każde 3 lata poniesione zostaną koszty na wymianę czynnika obiegowego w dolnym źródle ciepła (300 PLN), zaś roczne koszty przeglądu i remontów pompy wynosić będą po 100 PLN. Wyniki analizy przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3

Zdyskontowany przepływ pieniądza (PLN) dla obiektu o zróżnicowanej powierzchni użytkowej oraz przyjętych lat użytkowania

Table 3

Exploited flow of money (PLN) for a facility of a varied usable area and assumed usage years

Wyszczególnienie	Założony okres użytkowania (lata)			
	5	10	15	20
Tunel, $F_{uz}=100 \text{ m}^2$	-49 878	-48 219	-46 706	-45 130
Tunel, $F_{uz}=150 \text{ m}^2$	-47 729	-44 122	-40 847	-37 674
Tunel, $F_{uz}=300 \text{ m}^2$	-41 300	-31 870	-23 320	-15 370
Tunel, $F_{uz}=450 \text{ m}^2$	-34 861	-19 600	-5768	6985

Jak widać, jedynie koszty poniesione na instalację i funkcjonowanie pompy ciepła w obiekcie o powierzchni 450 m^2 w 20. roku użytkowania są konkurencyjne względem lokaty o przyjętym oprocentowaniu w wysokości 2%. Szczegółowa analiza wykazuje, że to rozwiązanie w 18-tym roku użytkowania przynosi zysk finansowy dla użytkownika na poziomie 1940 PLN. Należy mieć świadomość, że wyniki tych obliczeń dotyczą przyjętego typu pompy ciepła o arbitralnej mocy grzewczej.

Widać więc, że dla badanych warunków inwestycja w krajowych warunkach finansowo-gospodarczych bez dofinansowania jest ekonomicznie nieopłacalna.

Wnioski

1. W zależności od powierzchni użytkowej analizowanego tunelu, dla przyjętych rodzajów kotłów, koszty z tytułu użytkowania środowiska przyrodniczego mieszczą się w granicach od 1,9 do 3,6% kosztów paliwa.
2. Minimalna powierzchnia tunelu foliowego, w której jest ekonomicznie opłacalne stosowanie pompy ciepła o przyjętej mocy grzewczej, wynosi 400 m^2 .
3. Dla powierzchni tunelu foliowego o powierzchni 450 m^2 dopiero w 18. roku użytkowania przyjętej do analizy pompy ciepła istnieją przesłanki do stwierdzenia, że ta inwestycja jest konkurencyjna względem innych metod oprocentowania inwestycji alternatywnej.

Literatura

- Karaca, F.; Kincay, O.; Bolat, E. (2002). Economic analysis and comparison of chemical heat pump systems. *Applied Thermal Engineering*, 22, 1789-1799.
- Karacavus, B.; Can, A. (2009). Thermal and economical analysis of an underground seasonal storage heating system in Thrace. *Energy and Buildings*, 4, 1-10.
- Kurpaska, S. (2008). Ekonomiczno-ekologiczne aspekty stosowania zintegrowanego systemu do ogrzewania obiektów ogrodnich. *Inżynieria Rolnicza*, 2(100), 145-154.

- Kurpaska S.; Latała, H. (2012). Energy efficiency of ground heat exchangers co-operating with compressor heat pump. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agricultures*, Vol. 12, 1, 143- 148.
- Liben, J.; Zhaolin, G.; Xiao, F.; Yun, L. (2002). Thermo-economical analysis between new absorption-ejector hybrid refrigeration system and small double-effect absorption system. *Applied Thermal Engineering*, 22, 1027–1036.
- Mastrullo, R.; Renno, C. (2010). A thermoeconomic model of a photovoltaic heat pump. *Applied Thermal Engineering*, 30, 1959–1966.
- M. P. z 2011 r., Nr 94, poz. 958: Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 26 września 2011 r. w sprawie wysokości stawek opłat za korzystanie ze środowiska na rok 2012.
- Seung-Hwan, Y.; Joong, Y. (2013). Utilization and performance evaluation of a surplus air heat pump system for greenhouse cooling and heating. *Applied Energy*, 105, 244-251.
- Smoleń, S.; Budnik-Rodz, M. (2006). Low rate energy use for heating and in industrial energy supply systems—Some technical and economical aspects. *Energy*, 31(14), 2588-2603.
- Spoelstra, S.; Haije, W.G.; Dijkstra, J.W. (2002). Techno-economic feasibility of high-temperature high-lift chemical heat pumps for upgrading industrial waste heat. *Applied Thermal Engineering*, 22, 1619–1630.
- Szlachta, J. (2005). Analiza opłacalności ekonomicznej budowy kotłowni opalanych słomą oraz redukcji emisji gazów przy ich użytkowaniu. *Inżynieria Rolnicza*, 7(67), 331-339.
- Ucar, A.; Inalli, M. (2005). Thermal and economical analysis of a central solar heating system with underground seasonal storage in Turkey. *Renewable Energy*, 30, 1005-1019.
- Dz. U. z 2009 r., Nr 97: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 18 czerwca 2009 r. w sprawie wzorów wykazów zawierających informacje i dane o zakresie korzystania ze środowiska oraz o wysokości należnych opłat.

ECONOMIC AND ECOLOGY ANALYSIS OF USING A HEAT PUMP FOR HEATING GARDEN FACILITIES

Abstract. The paper presents economic and ecological results of using a heat pump (of the assumed heating power at the level of 9.7 kW) in the plastic tunnel (covered with double plastic) of varied usable area. Four heating boilers, commonly used in gardening, differing with the grill structure and possibility of installing a dust removal device were accepted for ecological analysis (calculated into the costs of using environment on account of hazardous substances emission to atmosphere). In the economic analysis, at the accepted installation costs related to the use of the discussed heat pump, two parameters (static and dynamic), that is: simple return period and current net value of the investment (NPV) commonly used in the investment analysis were applied. For the accepted assumptions, usable area of the facility and the number of years of usage, at which, the discussed investment is competitive towards other methods of alternative investment interest, were indicated.

Key words: plastic tunnel, investment profitability, ecological aspects, heat pump

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