

EKONOMICZNO-EKOLOGICZNE ASPEKTY STOSOWANIA ZINTEGROWANEGO SYSTEMU DO OGRZEWANIA OBIEKTÓW OGRODNICZYCH

Sławomir Kurpaska

Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono analizę kosztów stosowania pompy ciepła do ogrzewania obiektu ogrodniczego. W oparciu o aktualne koszty inwestycyjne określono minimalną wartość kosztów ciepła przy której, przy arbitralnie założonym okresie użytkowania pompy zwracają się zwiększone nakłady finansowe poniesione na stosowanie biwalentnego systemu grzewczego. Określono również koszty związane z opłatami z tytułu użytkowania środowiska przyrodniczego. Przeanalizowano ponadto wpływ powierzchni obiektu na okres zwrotu poniesionych nakładów na montaż w systemie grzewczym pompy ciepła.

Słowa kluczowe: koszty, okres zwrotu, pompa ciepła, obiekt ogrodniczy

Wstęp

Stosowanie odnawialnych nośników energii do ogrzewania obiektów ogrodniczych winno zrealizować m.in. ograniczenie emisji do atmosfery substancji szkodliwych oraz polepszyć efekty ekonomiczne produkcji. Jednym z takich nośników jest wykorzystanie energii promieniowania słonecznego przekształconej w kolektorach w ciepło oraz energii wnętrza ziemi. Systemami wykorzystującymi tę energię na potrzeby grzewcze jest pompa ciepła pracująca w układzie mono lub biwalentnym. Oprócz zagadnień ekologicznych interesującym problemem jest określenie efektywności ekonomicznej przy stosowaniu tych urządzeń, bowiem właśnie efektywność jest czynnikiem warunkującym powszechnie ich stosowanie. Zagadnienie efektywności ekonomicznej, aspektów ekologicznych przy stosowaniu systemów zmniejszających zużycie paliw kopalnych było tematem wielu analiz prowadzonych w różnych ośrodkach całego świata. I tak, Ossebaard i in. [1997] przedstawili analizę nad wykorzystaniem poszczególnych źródeł energii na potrzeby grzewcze (zarówno odnawialnych jak i tradycyjnych) z uwzględnieniem efektów ekonomicznych i ekologicznych. Stwierdzono celowość zastępowania tradycyjnego nośnika ciepła (gaz) nośnikami energii odnawialnej. Hawlader i in. [2001] badali efekty energetyczne oraz okres zwrotu ponoszonych nakładów finansowych dla systemu biwalentnego. Ozgener i Hepbasli [2005a] analizowali zagadnienia energetyczno- ekonomiczne układu monowalentnego (pompa ciepła z wymiennikami gruntowymi). Do analizy opracowano model symulacyjny który można wykorzystać do określenia nakładów finansowych przy stosowaniu pompy ciepła do ogrzewania obiektów. Aye i in. [2002] badali inołąpracę sprężarkowej pompy ciepła z kolektorami słonecznymi do ogrzewania wody technologicznej w bu-

dynkach mieszkaniowych. W analizie porównali uzyskane efekty energetyczno-ekonomiczne rozważanego systemu. Ericsson i Vamling [2006] przedstawili przesłanki (związane ze zmniejszeniem emisji substancji szkodliwych do atmosfery podczas wytwarzania energii grzewczej z wykorzystaniem tradycyjnych nośników ciepła) do szerszego stosowania pomp ciepła. Trillat- Berdal i in. [2006b] rozpatrywali system w którym dolne źródło pompy ciepła stanowiły wody geotermalnej oraz kolektory słoneczne. Do analizy efektów energetyczno- ekonomicznych wykorzystali komercyjny model numeryczny. Opracowali również ilościowe efekty zmniejszenia emisji substancji szkodliwych emitowanych do otaczającej atmosfery. Berntsson [2002] analizował przydatność zróżnicowanych dolnych źródeł ciepła (powietrze, grunt) współpracujących z pompa grzewczą określając nakłady inwestycyjne, efekty ekologiczno-energetyczne oraz efektywność pracy rozważanych systemów. Omer [2006] na podstawie przeglądu literatury analizował efekty energetyczno-ekologiczne pracy pompy ciepła. Autor jako dolne źródło ciepła uwzględnił gruntowe wymienniki ciepła (zarówno poziome jak i pionowe) stwierdzając podsumowując, że dobór rodzaju dolnego źródła ciepła winien być poddany szczegółowej analizie na etapie projektowania systemu wykorzystującego pompę ciepła. Kalina i Skorek [1999] analizowali opłacalność stosowania układów do skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w pojedynczych obiektach. Autorzy przedstawili metody oceny efektywności ekonomicznej, omówili zasady doboru urządzeń do potrzeb obiektu oraz przeprowadzili wielowariantową analizę ekonomiczną układu skojarzonego. W konkluzji stwierdzili, że w całościowej analizie należy uwzględnić nie tylko optymalny dobór urządzeń do warunków pracy ale również koszty paliwa i cenę energii elektrycznej. Do oceny ekonomicznej wykorzystali m.in. okres zwrotu nakładów inwestycyjnych ponoszonych przy wariantach wyposażenia technicznego analizowanego układu.

Jak wynika z przytoczonego przeglądu literatury, przeprowadzona analiza ekonomiczno-ekologiczna była problemem badawczym, jednakże autorzy analizowali te efekty w zróżnicowanych warunkach ekonomiczno- środowiskowych oraz dla odmiennych konfiguracji systemu grzewczego. Stąd celem pracy jest analiza tych zagadnień dla instalacji zlokalizowanych w krajowych warunkach.

Materiał i metoda

Przedmiotem analizy jest system wykorzystania odnawialnej energii zlokalizowany w obiektach Wydziału Agrotechnologii UR w Krakowie wykorzystywany do ogrzewania tunelu foliowego o powierzchni 54 m². W skład rozważanego systemu wchodzi: sprężarkowa pompa ciepła, pionowe lub poziome wymienniki gruntowe wraz z zbiornikiem buforowym. Odbiór ciepła ze zbiornika buforowego pompy grzewczej i kierowanie go do wnętrza tunelu foliowego odbywa się za pomocą dwóch wymienników typu ciecz-powietrze. Zimne powietrze zasysane jest przewodami perforowanymi z górnych przestrzeni tunelu foliowego i kierowane jest do wnętrza obiektu systemem rur zlokalizowanych bezpośrednio nad tradycyjnym systemem grzewczym. Więcej szczegółów technicznych omawiających stanowisko badawcze przedstawiono w pracy [Kurpaska i Sporysz 2007].

Analizę ekonomiczną opłacalności inwestycji przeprowadzono przy uwzględnieniu następujących założeń:

- system grzejny będzie pracować pod obciążeniem wynikającym z wieloletnich wartości temperatury otaczającego powietrza,
- okres użytkowania instalacji z pompą ciepła (n) wynosi 20 lat [Zalewski 2001],
- koszt wytworzonego ciepła, sprawność kotłów przyjęto według obecnych danych rynkowych,
- analizę przeprowadzono metodą rachunku statycznego (nie uwzględniono czasowej zmiany wartości pieniądza),
- w analizie uwzględniono że ciepło wytwarzane w tradycyjnej kotłowni jest uzyskane z węgla sortymentu „Miał” (wartość opałowia $18,9 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, cena brutto $280 \text{ PLN}\cdot\text{tona}^{-1}$, sprawność kotłowni $\eta=0,7$), dodatkowe koszty związane z naprawami, bieżącymi przeglądami, wywozem odpadów paleniskowych stanowią 30% kosztów wytworzonego ciepła; koszty te są stałe w ciągu sezonu grzewczego,
- temperatura wewnątrz obiektu jest równa $14 \text{ }^\circ\text{C}$, współczynnik przenikania ciepła przez osłonę wynosi $7,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ zaś wskaźnik osłony obiektu jest równy 2,09,
- pompa ciepła jest wykorzystywana jedynie do ogrzewania obiektu ogrodniczego, jej moc cieplna przy przyjętej temperaturze wewnątrz wynosi 3 kW [Kurpaska 2008]; całkowity pobór energii elektrycznej do napędu pompy ciepła wraz z systemem dostarczające zmagazynowane ciepła do wnętrza obiektu wynosi 5,6 KW,
- inwestor pokrywa całościowe koszty inwestycyjne związane z zakupem tradycyjnego kotła i pompy ciepła wraz z jej elementami z własnych środków finansowych,
- koszt kotła CO wynosi 5000 PLN, koszt pompy ciepła wraz z wymiennikami cieczi-powietrze jest równy 30 000 zł, zaś koszty gruntowych wymienników w optymalnej konfiguracji zasilania [Kurpaska 2008] wynoszą odpowiednio 4 800 (wymienniki poziome) zaś pionowych 6 300 PLN; koszty utrzymania instalacji pompy ciepła wynoszą 2% kosztów instalacji [Zalewski 2001],
- efektywność pompy ciepła dla wymienników poziomych wynosi 1,42 zaś dla pionowych 1,52 [Kurpaska 2008],
- w obliczeniach przyjęto, że pompa ciepła zasilana będzie energią elektryczną której cena wynika z taryfy C12a o średniej wartości $0,35 \text{ zł}\cdot(\text{kW}\cdot\text{godz})^{-1}$

Wszystkie wyliczenia przeprowadzono względem rozwiązania standardowego, które charakteryzowane jest przez nakład inwestycyjny (N) oraz ciepło dostarczane z kotła standardowego. Poszczególne wskaźniki wyliczono z następujących zależności [Górecki 1997]:

a) koszt wytworzonego ciepła (KC) w standardowej kotłowni określano z zależności:

$$KC = \frac{C_{pal}}{\eta \cdot W_u} \quad [\text{PLN}\cdot\text{GJ}^{-1}] \quad (1)$$

b) nadwyżkę nakładów inwestycyjnych przy dodatkowym wyposażeniu systemu grzewczego w elementy wykorzystujące pompę ciepła:

$$\Delta N = K_1 - N \quad [\text{PLN}] \quad (2)$$

b) koszt K_1 obliczono z zależności:

$$K_1 = K_{PC} + K_{dzt,i} + K_{gzt} \quad [\text{PLN}] \quad (3)$$

c) zmniejszenie zapotrzebowania w wyniku zastosowania pompy ciepła:

$$\Delta Q = Q_{koc} - Q_{PC} \quad [\text{GJ} \cdot \text{obiekt}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}] \quad (4)$$

d) zmniejszenie kosztu ogrzewania:

$$\Delta k = KC_{koc} - KC_{PC} \quad [\text{PLN} \cdot \text{a}^{-1}] \quad (5)$$

e) okres zwrotu zwiększonych, w poszczególnych wariantach wyposażenia, nakładów inwestycyjnych względem wariantu standardowego:

$$z = \frac{\Delta N}{\Delta k} \quad \text{sezon grzewczy} \quad (6)$$

gdzie:

- C_{pal} – koszt paliwa [$\text{zł} \cdot \text{kg}^{-1}$],
- W_u, η – wartość opałowa ($W_u, \text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$) i przyjęta sprawność kotła ($\eta, [-]$),
- N – koszt kotła standardowego [zł],
- K_1 – nakłady inwestycyjne poniesione na zakup: pompy ciepła (K_{PC}), instalację dolnych źródeł ciepła $K_{dzt,i}$ (pionowe i poziome wymienniki), montaż systemu odbioru ciepła (K_{gzt}) [PLN],
- Q_{koc}, Q_{PC} – roczna ilość wytworzonego ciepła przez kocioł standardowy grzewczy (Q_{koc}) oraz pompę grzewczą (Q_{PC}) [$\text{GJ} \cdot \text{obiekt}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$],
- KC_{koc}, KC_{PC} – koszt wytworzenia ciepła w tradycyjnym kotle (KC_{koc}) oraz z pompy grzewczej (KC_{PC}) [PLN].

W przypadku gdyby koszty, według obecnych relacji cenowych, wytworzenia ciepła z tradycyjnego kotła były wyższe niż koszt wytworzenia ciepła z pompy grzewczej określono cenę jednostki ciepła przy której następuje równoważenie poniesionych kosztów inwestycyjnych.

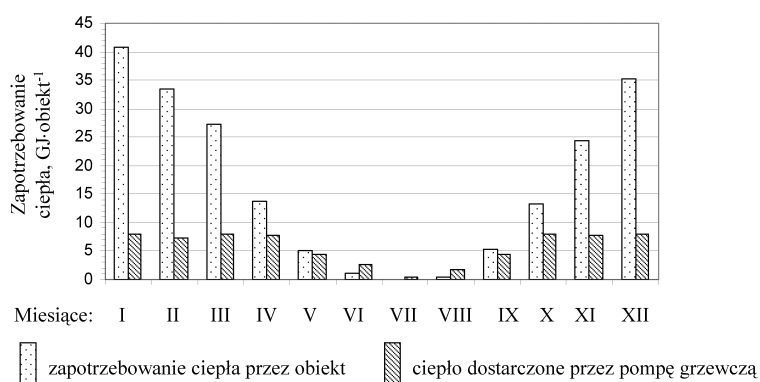
Dodatkowo zgodnie z obowiązującymi przelicznikami (jednostkowa emisja i koszt emisji do atmosfery substancji szkodliwych) określono koszty użytkowania środowiska.

Wyniki i dyskusja

Na rys. 1 przedstawiono wyliczone zapotrzebowanie ciepła dla analizowanego obiektu ogrodniczego wraz z ciepłem dostarczanym przez zainstalowaną pompę grzewczą. Można zauważyć, że maksymalne zapotrzebowanie wynosi ok. 41 GJ zaś w skali całego sezonu ponad 200GJ; z pompy grzewczej do wnętrza obiektu podczas sezonu jest dostarczane ok. 68 GJ ciepła. W miesiącach letnich układ grzewczy jest w niewielkim stopniu wykorzystany, bowiem rozważany w tej pracy system ogrzewania dotyczy tylko ogrzewania powietrza za pomocą wymienników zlokalizowanych w górnych częściach obiektu. Jednak w konfiguracji gdyby pompa ciepła dostarczała energię do systemu ogrzewania roślinnego

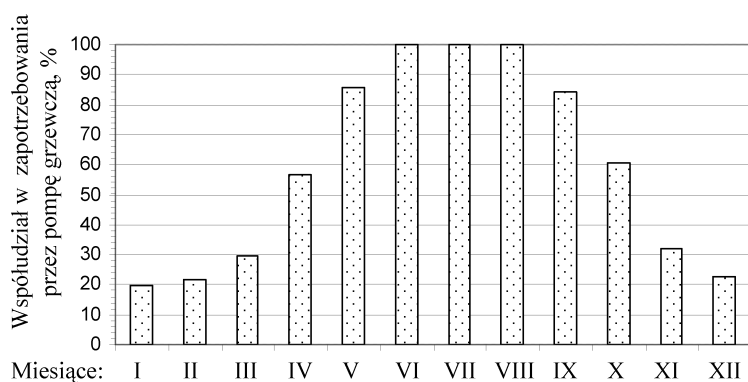
(ogrzewanie podłoża) lub ciepła woda kierowana byłaby do przewodów zlokalizowanych wokół roślin istniałaby możliwość lepszego wykorzystania ciepła wytworzonego przez pompę grzewczą.

Potwierdzeniem tej tezy są zależności przedstawione na rys. 2. W skali roku współdziałanie ciepła dostarczonego z pompy grzewczej w ogólnym zapotrzebowaniu ciepła zmienia się od ok. 20% (styczeń) do 100% (miesiące letnie). Można zauważyć, że w miesiącach letnich pompa ciepła na potrzeby grzewcze jest wykorzystana w niewielkim stopniu. Z przeprowadzonych wyliczeń wynika, że maksymalna ilość ciepła możliwa do uzyskania (przy kierowaniu ciepła z pompy grzewczej do przewodów zlokalizowanych wokół strefy korzeniowej roślin) mieści się w granicach od 5,4 (czerwiec) do 7,7 GJ ciepła (lipiec).



Rys. 1. Roczne zapotrzebowanie ciepła wraz ciepłem dostarczanym do obiektu przez pompę grzewczą

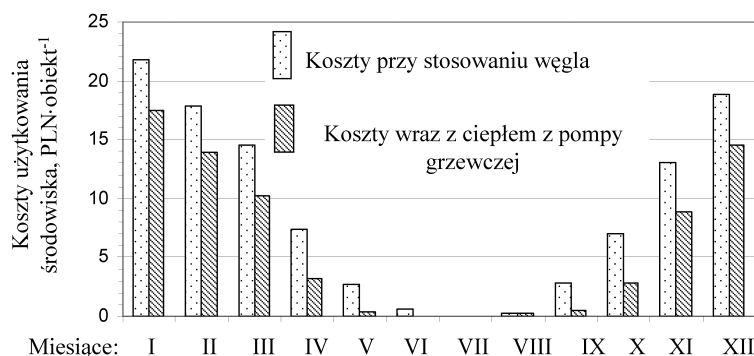
Fig. 1. Yearly heat demand together with the heat supplied to the object by a heat pump



Rys. 2. Współdziałanie w pokryciu zapotrzebowania ciepła ciepłem z pompy grzewczej

Fig. 2. The share of heat from a heat pump in meeting the heat demand

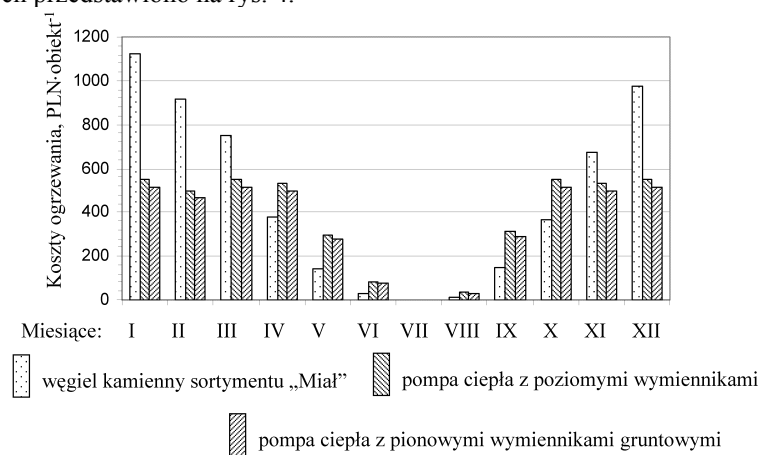
Na rys. 3 przedstawiono koszty związane emisją do atmosfery substancji szkodliwych powstałych z wytwarzaniem ciepła z i bez pompy grzewczej do rozważanego obiektu. Jak widać roczne koszty wynoszą 108 zł (ciepło dostarczane jedynie z kotła węglowego) zaś w przypadku pompy ciepła koszty te maleją do stosowania do 72 zł. W wyniku stosowania pompy ciepła, w zależności od procentowego pokrycia zapotrzebowania ciepła z pompy grzewczej następuje zmniejszenie kosztów (względem stosowania w instalacji jedynie tradycyjnego kotła) od 19,6 (styczeń) do 100% (miesiące letnie).



Rys. 3. Miesięczne koszty emisji substancji do atmosfery w zależności od rodzaju źródła ciepła dostarczanego do obiektu

Fig. 3. Monthly costs of the emission of substances to the atmosphere depending on the type of the source of heat supplied to the object

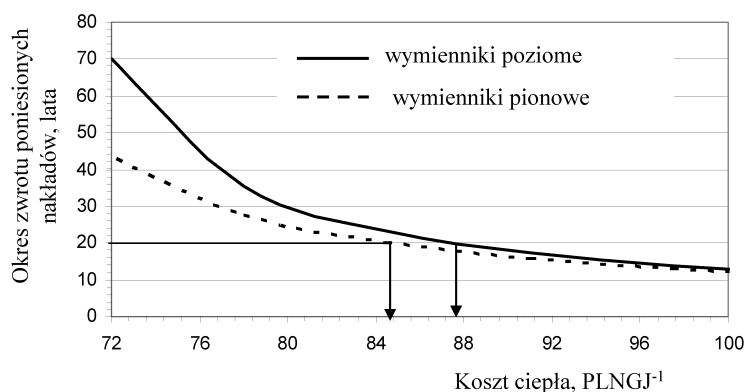
Miesięczne koszty ogrzewania obiektu wraz kosztami emisji do atmosfery substancji szkodliwych przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Miesięczne koszty ogrzewania obiektu wraz kosztami użytkowania środowiska z i bez pompy ciepła

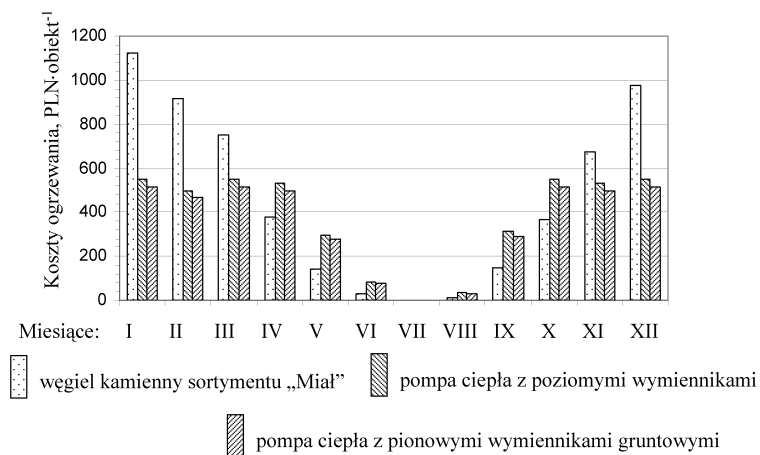
Fig. 4. Monthly costs of heating the object together with the costs of using the environment with and without a heat pump

Jak widać, roczne koszty ogrzewania (wraz opłatami emisji do atmosfery substancji szkodliwych) w zależności od konfiguracji systemu dostarczania ciepła kształtują się na poziomie: 5620 (ciepło jedynie z kotła grzewczego), 4485 (kocioł wraz z pompą ciepła z wymiennikami poziomymi) oraz 4190 zł (pompa z wymiennikami pionowymi). Zróżnicowanie kosztów ogrzewania w zależności od rodzaju wymienników stanowiących dolne źródło pompy ciepła wynika z różnej efektywności pracy pompy grzewczej (współczynnik COP). Na rys. 5 przedstawiono wpływ kosztów ciepła na okres zwrotu poniesionych nakładów finansowych z tytułu zakupu i montażu pompy ciepła. Można stwierdzić, że w obecnych relacjach czasowych stosowanie pompy ciepła nie jest opłacalne ekonomicznie, bowiem dopiero przy kosztach, w zależności od rodzaju wymienników gruntowych, na poziomie 84,5 (wymenniki pionowe i blisko 88 zł·GJ⁻¹ (wymenniki pionowe) poniesione koszty zwracają się w przyjętym arbitralnie okresie użytkowania pompy ciepła równym 20 lat. Porównując to z wyliczonymi kosztami ciepła z węgla sortymentu „Miał” na poziomie 27,5 zł·GJ⁻¹ poniesione nakłady inwestycyjne na pompę ciepła nie mają uzasadnienia ekonomicznego. Pewne rezerwy opłacalności inwestycji tkwią w systemie odbioru ciepła. Gdyby zastosować w systemie odbioru ciepła rozwiązania umożliwiające odbiór ciepła z teoretyczną mocą analizowanej pompy równą 9,4 kW, wtedy graniczne koszty ciepła (przy okresie zwrotu inwestycji w ciągu 20 lat) wynoszą 53 (wymenniki pionowe) oraz 58 zł·GJ⁻¹ w przypadku wymienników poziomych.



Rys. 5. Wpływ kosztów ciepła na okres zwrotu poniesionych nakładów inwestycyjnych
 Fig. 5. Effect of heat costs on the period of investment cost payback

Interesującym zagadnieniem jest odpowiedzenie na pytanie: jak wpływa wielkość powierzchni obiektu na okres zwrotu poniesionych nakładów finansowych? Wyniki takiej symulacji przedstawiono na rys. 6. Jak widać, wraz ze wzrostem powierzchni obiektu, wzrasta okres zwrotu poniesionych nakładów finansowych.



Rys. 6. Wpływ powierzchni obiektu na okres zwrotu poniesionych nakładów finansowych
 Fig. 6. Effect of the object area on the period of investment cost payback

Z analizy uzyskanych zależności wynika celność przeprowadzenia rzetelnego doboru wydajności cieplnej pompy grzewczej do ogrzewanego obiektu ogrodniczego.

Wnioski

1. Miesięczny współdziałanie ciepła dostarczonego z pompy grzewczej w ogólnym zapotrzebowaniu ciepła przez analizowany obiekt zmienia się od ok. 20% do 100%.
2. Roczne koszty ponoszone wraz z emisją do atmosfery substancji szkodliwych powstałych ze spalania analizowanego paliwa, w zależności od źródła ciepła dostarczanego do obiektu mieszczą się w granicach od 72 do 108 zł.
3. Zwiększone koszty inwestycyjne ponoszone na instalację pompy ciepła, w obecnych relacjach cenowych, zwracają się w okresie 20 lat przy kosztach ciepła równych 84,5 (wymienniki pionowe i blisko 88 zł·GJ⁻¹ (wymienniki pionowe) .
4. Wraz ze zmniejszeniem współdziałania ciepła doprowadzonego z pompy grzewczej w stosunku do całkowitego jego zapotrzebowania maleje opłacalność stosowania instalacji wykorzystującej ciepło z pompy.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005-2008 jako projekt badawczy.

Bibliografia

- Aye L., Charters W.W.S., Chaichana C. 2002. Solar heat pump systems for domestic hot water. Solar Energy 73(3). s. 169-175.
- Berntsson T. 2002. Heat sources- technology, economy and environment. International Journal of Refrigeration 25(4). s. 428- 438.

- Eriksson M., Vamling L.** 2006. Heat pumps and tradable emission permits: On the carbon dioxide emission of technologies that cross a tradable emission market boundary. *Energy Conversion and Management* 47(20). s. 3510-3518.
- Górecki J.** 1997. Sieci ciepłone. Wydawnictwa Politechniki Wrocławskiej.
- Hawladar M.N.A., Chou S.K., Ullah M.Z.** 2001. The performance of a solar assisted heat pump water heating system. *Applied Thermal Engineering* 21(10). s. 1049-1065.
- Kalina J., Skorek J.** 1999. Opłacalność stosowania małych układów do skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w pojedynczych obiektach. *Gospodarka Paliwami i Energią* 7. s. 3-8.
- Kurpaska S., Sporysz M.** 2007. Stanowisko do analizy pracy pomp ciepła wykorzystywanych do ogrzewania tuneli foliowych. *Inżynieria Rolnicza* 9(97). s. 119-125.
- Kurpaska S.** 2008. Wytyczne konstrukcyjno- eksploatacyjne dla systemów wykorzystujących pompę ciepła do ogrzewania obiektów ogrodnich. *Inżynieria Rolnicza* (przesłane do Redakcji).
- Ossebaard M.E., Van Wijk A.J.M., Van Wees M.T.** 1997. Heat supply in The Netherlands: A system analysis of costs, exergy efficiency, CO₂, and NO_x emissions. *Energy* 22(11). s. 1087-1098.
- Omer A.M.** 2008. Ground-source heat pumps systems and applications. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 12. s. 344-371.
- Ozgener O., Hepbasli A.** 2005. Exergoeconomic analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system. *Applied Thermal Engineering* 25(10). s. 1459-1471.
- Trillat- Bernald V., Souyri B., Achard G.** 2006. Coupling of geothermal heat pumps with thermal solar collectors. *Applied Thermal Engineering* 26(2-3). s. 690-705.
- Zalewski W.** 2001. Pompy ciepła: sprężarkowe, sorpcyjne oi termoelektryczne. Podstawy teoretyczne, przykłady obliczeniowe. IPPU Masta.

ECONOMIC AND ECOLOGICAL ASPECTS OF THE USE OF THE INTEGRATED SYSTEM FOR HEATING HORTICULTURAL OBJECTS

Abstract. In the paper the analysis of costs, connected with using a heat pump for heating a horticultural object is presented. Basing on the current investment costs, we have determined the minimum value of the heat costs at which, with an arbitrarily assumed pump using period, the increased outlays made for using the bivalent heating system will pay back. The costs connected with charges for using the natural environment have also been determined. In addition, the effect of the object area on the payback period, considering the outlays on assembling heat pumps in the heating system, has been analyzed.

Key words: costs, payback period, heat pump, horticultural object

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