

Dorian CZARNIECKI<sup>1</sup> i Daniel SŁYŚ<sup>1</sup>

## MOŻLIWOŚCI ODZYSKU CIEPŁA ODPADOWEGO ZE ŚCIEKÓW W GOSPODARSTWACH ROLNO-HODOWLANYCH

### THE POSSIBILITIES OF WASTE HEAT RECOVERY FROM SEWAGE IN LIVESTOCK FARMS

**Abstrakt:** Rolnictwo jest jednym z sektorów gospodarki, w których pompa ciepła ma coraz szersze zastosowanie. Dzieje się to zwłaszcza w sytuacjach, gdy może być ona wykorzystana w układzie alternatywnym zarówno do celów grzewczych, jak i chłodniczych, a także gdy istnieje możliwość wykorzystania ciepła odpadowego. Hodowla trzody chlewnej jest jedną z najistotniejszych gałęzi produkcji rolniczej w Polsce od niepamiętnych czasów. W rozwoju nowoczesnych technologii chowu zwierząt niezbędna staje się potrzeba poszukiwania nowych rozwiązań, których zastosowanie przyczyni się do racjonalizacji wykorzystania energii, a dzięki temu również do ochrony powietrza atmosferycznego. Odpowiedzią na taki trend jest odzysk energii odpadowej ze ścieków. Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie możliwych rozwiązań oraz przybliżenie korzyści, jakie można osiągnąć poprzez zastosowanie instalacji umożliwiającej odzysk ciepła ze ścieków do zaopatrzenia gospodarstwa rolno-hodowlanego w ciepłą wodę użytkową. Przeanalizowano możliwe rozwiązania powyższych instalacji.

**Słowa kluczowe:** odzysk ciepła odpadowego, pompa ciepła, gnojowica

#### Wprowadzenie

W Polsce i na świecie od początku XX wieku można zaobserwować wyraźny rozwój cywilizacji i związany z nim wzrost liczby ludności, skutkujący dużym zapotrzebowaniem na żywność, w tym produkty pochodzenia zwierzęcego. Konsumpcyjny tryb życia prowadzony przez mieszkańców krajów rozwiniętych oraz rozwijających się sprawia, że rolnictwo oraz hodowla zwierząt stały się istotnymi gałęziami gospodarek.

Współczesne rolnictwo stoi więc przed wieloma trudnymi wyzwaniami [1]. Z jednej strony istnieje pilna potrzeba opracowywania nowoczesnych rozwiązań technologicznych, które gwarantowałyby ciągłą produkcję żywności, możliwie taniej i o wysokich parametrach jakościowych, z drugiej zaś - ograniczania środowiskowych kosztów jej wytwarzania. Obecnie nie ulega najmniejszej wątpliwości, że rolnictwo, tak jak każda działalność produkcyjna, stanowi realne zagrożenie środowiska, a ograniczenie tego zagrożenia jest jednym z priorytetów współczesnej gospodarki żywnościowej [2].

Zważywszy na obecny etap rozwoju gospodarczego kraju oraz w wyniku realnie pojawiających się zagrożeń środowiskowych, w tym związanych z emisją różnego rodzaju zanieczyszczeń gazowych [3-5], działania na rzecz ochrony środowiska terenów wiejskich powinny stanowić jedną z podstawowych form inicjowania koniecznych zmian w infrastrukturze wiejskiej, często wyzwalając przy tym dodatkowy potencjał gospodarczy i aktywność lokalnej społeczności. Mając to na względzie, należy dać pierwszeństwo wszystkim proekologicznym systemom oszczędzającym energię i obniżającym koszty jej

<sup>1</sup> Katedra Infrastruktury i Ekorozwoju, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, al. Powstańców Warszawy 6, 35-959 Rzeszów, tel. 17 86 512 409, 17 86 51 784, email: doriancz@prz.edu.pl, daniels@prz.edu.pl

\* Praca była prezentowana podczas konferencji ECOpole'15, Jarnołtówek, 14-16.10.2015

wytwarzania lub umożliwiającym jej pozyskanie w sposób tani z nowych źródeł, nawet w sytuacji, gdy obecnie koszty te wydają się nieco wyższe [6].

Obowiązek poprawy efektywności energetycznej, rozwoju wykorzystania odnawialnych źródeł energii i, co się z tym wiąże, ograniczenia oddziaływania energetyki na środowisko, wynika również z przyjętej polityki energetyczno-klimatycznej Polski. Na obecny kształt tej polityki główny wpływ ma dorobek prawny Unii Europejskiej. Najistotniejsze regulacje prawne stanowią: Dyrektywa 2009/28/WE w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych [7] oraz Dyrektywa 2009/29/WE zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych [8], wchodzące w skład pakietu klimatyczno-energetycznego. Z kolei konieczność podejmowania działań na rzecz efektywności energetycznej reguluje Dyrektywa 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej [9]. Dotyczy to działalności państwa, samorządów terytorialnych, przedsiębiorstw, gospodarstw domowych oraz gospodarstw rolno-hodowlanych tradycyjnie zaniebawianych [10].

Idea zrównoważonego rozwoju kładzie nacisk na poszukiwanie nowych rozwiązań systemów zaopatrzenia w ciepło, takich jak: rozwój niskoemisyjnych technologii wytwarzania energii - zwłaszcza ze źródeł odpadowych oraz poprawa sprawności wytwarzania energii [11]. Odpowiedzią na taki trend jest wykorzystanie niskotemperaturowej energii odpadowej z gnojowicy przy użyciu pompy ciepła.

### **Gnojowica jako dolne źródło ciepła**

Rosnące ceny paliw oraz świadomość odpowiedzialności za środowisko naturalne sprzyjają coraz większemu zainteresowaniu wykorzystaniem odpadowych źródeł energii [12, 13]. Do odzysku tej energii może być wykorzystywana wysokosprawna pompa ciepła.

Gnojowica jest produktem odpadowym o konsystencji płynnej, powstającym podczas bezściółkowego chowu zwierząt, będącym mieszaniną odchodów zwierzęcych zarówno stałych, jak i ciekłych w naturalnej proporcji z dodatkiem wody technologicznej zużytej na jej splukiwanie oraz pochodzącej z przecieków z urządzeń do pojenia zwierząt [14, 15]. Z uwagi na bogaty skład stała się cennym nawozem naturalnym [16, 17]. Gnojowica jest również niezwykle pożądanym dolnym źródłem ciepła dla pomp ciepła z uwagi na to, że cały czas jej temperatura jest wyższa niż temperatura otoczenia. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie wysokich efektywności sezonowych. Odzysk ciepła z gnojowicy przez pompę ciepła, czyli jej schładzanie, przynosi szereg wymiernych korzyści ze względów ekonomicznych, jak również środowiskowych i nie wpływa negatywnie na stan zwierząt. W schłodzonej gnojowicy wolniej przebiegają procesy gnilne i tworzenie się gazów, takich jak: metan, ditlenek węgla, siarkowodór czy amoniak. Nie bez znaczenia pozostaje również fakt, że działająca instalacja nie emituje żadnych zanieczyszczeń, praktycznie nie wymaga dozoru i charakteryzuje się stabilną pracą przez cały rok, co znacznie wpływa na poprawę komfortu pracy rolnika.

Straty ciepła w chlewni można podzielić na trzy główne kategorie: straty wentylacji, straty przez ściany, okna i dach, a także energię cieplną usuwaną wraz z gnojowicą. Ten ostatni rodzaj stanowi połowę strat energii cieplnej z tego typu obiektów. Głównym składnikiem gnojowicy jest w 90-92% woda o temperaturze bliskiej 20°C. Oszczędności

wynikające z zastosowania tego typu rozwiązania wynikają z faktu, że z jednego metra kwadratowego kanału gnojowicy można odzyskać 30 W energii cieplnej. Oznacza to, że przy 500 m<sup>2</sup> kanału gnojowicy odzyskuje się 15 kW energii, co przy zastosowaniu pompy ciepła daje co najmniej 20 kW. Jest to wystarczająca ilość energii potrzebna do ogrzania budynku mieszkalnego hodowcy [18].

### **Warianty instalacji do odzysku ciepła odpadowego ze ścieków w gospodarstwach rolno-hodowlanych**

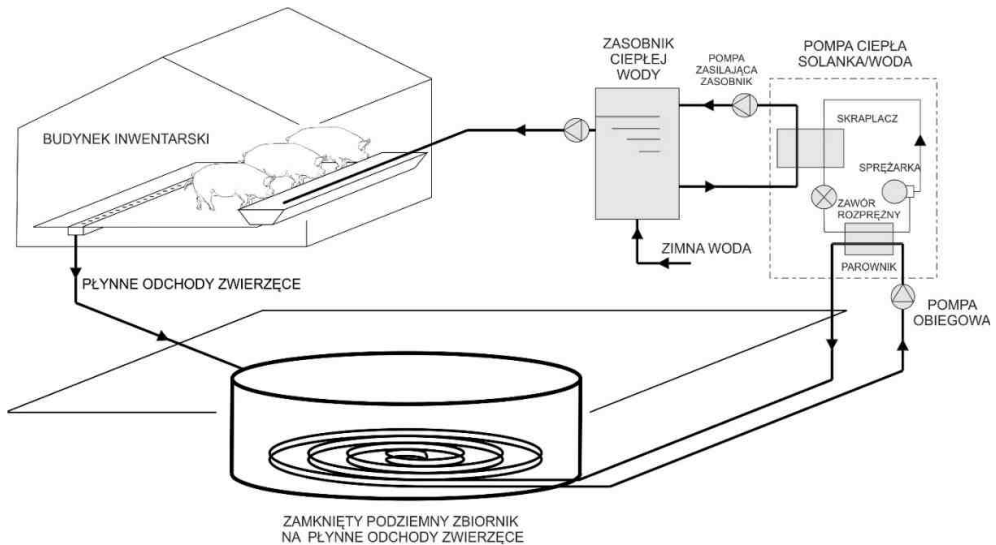
Rolnictwo charakteryzuje się dużym zapotrzebowaniem na niskotemperaturowe źródła energii w różnych technologiach produkcji rolniczej oraz gospodarstwach domowych, a mianowicie [13]:

- podgrzewanie wody użytkowej do celów technologicznych w technologiach produkcji żywności, do celów sanitarnych w gospodarstwach domowych,
- podgrzewanie wody użytkowej do nawadniania i deszczowania roślin produkowanych pod osłonami (szklarnie czy tunele foliowe),
- podgrzewanie wody użytkowej w budynkach inwentarskich do pojenia oraz przygotowywania paszy dla zwierząt,
- podgrzewania powietrza w urządzeniach suszarniczych oraz przechowalniach warzyw (obsuszania warzyw po zbiorze) i owoców.

Obecnie procesy te realizowane są przeważnie przy użyciu konwencjonalnych źródeł energii w podgrzewaczach elektrycznych, kotłach gazowych lub na paliwo stałe. Do tego celu może być również wykorzystywana instalacja z pompą ciepła. Ze względu na znaczne nakłady inwestycyjne należy dokładnie przeanalizować zyski i straty związane z jej wykorzystaniem.

Poniżej przedstawiono przykłady instalacji do odzysku energii odpadowej ze ścieków przy użyciu pompy ciepła w gospodarstwach rolno-hodowlanych.

Na rysunku 1 pokazano schemat instalacji z pompą ciepła z wymiennikiem ściekowym usytuowanym w zamkniętym podziemnym zbiorniku na gnojowicę do podgrzewania wody służącej do pojenia i przygotowywania paszy dla zwierząt w hodowli trzody chlewnej. Ciepło jest pobierane ze źródła dolnego ścieków - o temperaturze 14°C [19]. Do przekazania ciepła z gnojowicy do parownika służy niskokrzepnąca ciecz (solanka lub wodny roztwór glikolu). Obieg nośnika ciepła wymuszony jest działaniem pompy obiegowej. Górne źródło pompy ciepła stanowi wymiennik zasobnikowy ciepłej wody użytkowej. Dostarczone czynnikowi roboczemu ciepło inicjuje zmianę stanu skupienia czynnika chłodniczego z cieczy na gaz. Po przejściu przez parownik podnosi się również jego temperatura. Czynnik chłodniczy dochodzi do sprężarki, gdzie wzrastają jego ciśnienie i temperatura. Przed skraplaczem jest to gaz o wysokiej temperaturze. W wymienniku tym oddaje ciepło w wyniku skroplenia, czyli z powrotem zmienia swój stan skupienia z gazu na ciecz. Ostatnim etapem jest rozprężanie w zaworze rozprężnym, gdzie ciśnienie zostaje zredukowane do poziomu wyjściowego, a czynnik roboczy w stanie ciekłym dochodzi do parownika [20]. Podgrzana w ten sposób woda kierowana jest w dalszej kolejności do poideł w budynku inwentarskim.



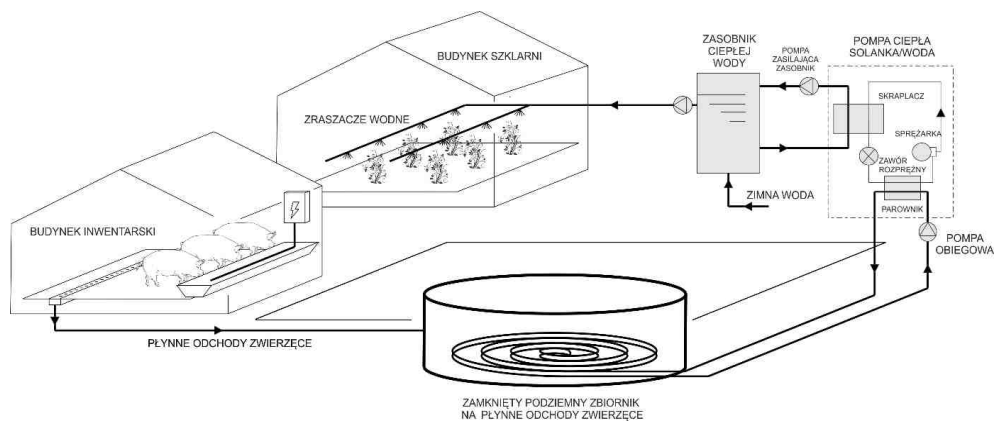
Rys. 1. Schemat instalacji do podgrzewania wody służącej do pojenia i przygotowywania paszy dla zwierząt z użyciem pompy ciepła i wymiennika ściekowego

Fig. 1. Outline of the installation for heating water, which is used to water and prepare pasture for the animals, with the use of a heat pump and a sewage exchanger

Jak wynika z informacji otrzymanych od hodowców, aby uzyskać optymalny wzrost systemu korzeniowego oraz zapobiec powstawaniu warunków sprzyjających rozwojowi chorób grzybowych i bakteryjnych rośliny najlepiej nawadniać wodą o temperaturze bliskiej w okresie letnim temperaturze otoczenia, czyli około  $20^{\circ}\text{C}$  [21-23]. W tradycyjnych instalacjach nawadniających wodę ogrzewa się przy pomocy kotłów gazowych oraz na paliwo stałe. W niniejszym artykule przedstawiono nowy sposób podgrzewania wody wodociągowej z wykorzystaniem pomp ciepła. Celem ogrzewania jest uzyskanie wody o temperaturze optymalnej z punktu widzenia produktywności roślin. Dzięki podgrzewaniu wody zakładany jest wzrost produkcji roślinnej, co spowoduje znaczne zwiększenie zysków. Aby zapewnić odpowiednią wilgotność, należy podlewać rośliny wodą w ilości około  $5 \text{ dm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$  [24].

W dzisiejszych czasach nowoczesna technika ułatwia człowiekowi wszystkie czynności związane z jego życiem. Tak jest również w przypadku podlewania roślin. Nowoczesne systemy nawadniające pozwalają precyzyjnie określać, ile, w jakich odstępach czasu, w jakim tempie, o jakiej temperaturze wody i jak długo mają być nawadniane konkretne partie hodowli [22].

Na rysunku 2 przedstawiono schemat instalacji z pompą ciepła z wymiennikiem ściekowym do podgrzewania wody służącej do podlewania w produkcji roślinnej. Instalacja pobiera ciepło z gnojowicy za pomocą ściekowego wymiennika ciepła, który został usytuowany w zamkniętym zbiorniku na gnojowicę pod powierzchnią terenu. Pompa ciepła po odebraniu ciepła ze ścieków przekazuje je do zasobnika ciepłej wody i dalej do zraszaczy wodnych, które będą równomiernie zraszać rośliny.



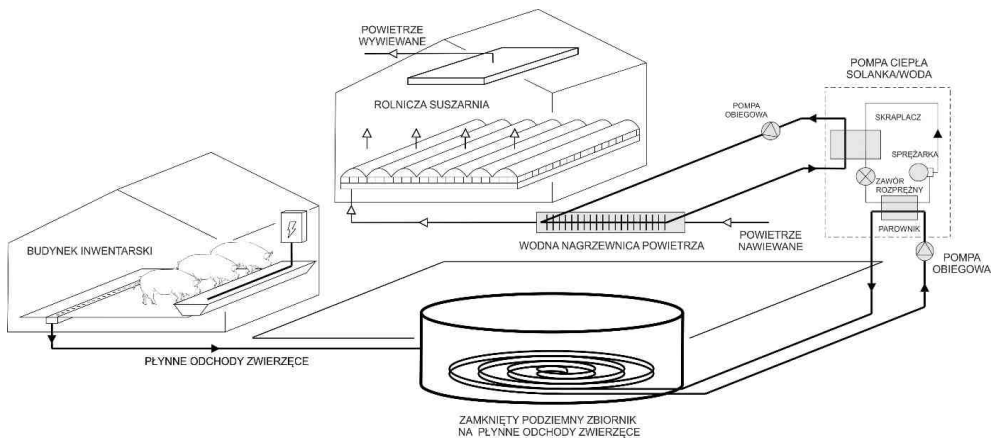
Rys. 2. Schemat instalacji do podgrzewania wody służącej do podlewania w produkcji roślinnej z użyciem pompy ciepła i wymiennika ściekowego

Fig. 2. Outline of the installation for heating water, which is used to water crop production, with the use of a heat pump and a sewage exchanger

W produkcji rolniczej co roku suszy się około 5 mld kilogramów ziarna zbóż, około 4 mld kilogramów pasz zielonych, tytoniu, ziół, nasion warzyw i innych produktów rolniczych. Suszarnictwo rolnicze jest jednym z najbardziej energochłonnych procesów konserwacji produktów rolniczych, na które zużywane jest co roku 0,7-1,2 mld kilogramów węgla [10]. Usuwanie wody z szerokiej gamy materiałów (owoce i warzywa, zboża, zioła, len) poddyktowane jest wieloma korzystnymi efektami suszenia. Przede wszystkim następuje obniżenie aktywności wody i zwolnienie wielu reakcji chemicznych oraz praktyczne wyeliminowanie reakcji enzymatycznych oraz rozwoju drobnoustrojów, w efekcie czego produkt jest trwały. Ponadto w większości przypadków następuje zredukowanie masy i objętości suszonych materiałów, co ułatwia i obniża koszty opakowań, transportu i magazynowania. Woda zawarta w tych surowcach bezpośrednio po zbiorze stanowi znaczący procent ich masy. Zioła, liście i kwiaty zawierają średnio od 70 do 85% wody, zboża, nasiona i korzenie około 15-25%. Tak duża zawartość wody i obecność enzymów są przyczyną szybkiej destrukcji wielu substancji po zbiorze, w tym również substancji biologicznie aktywnych. Usunięcie wody jest zatem niezbędne do stabilizacji związków aktywnych. Suszenie polega na odparowaniu z surowców takiej masy wody, aby pozostała jej zawartość wynosiła około 7-14%. Dopiero taka wilgotność gwarantuje ustanie w obumierających komórkach destrukcyjnego działania enzymów. Medium wykorzystywanym do suszenia szerokiej gamy materiałów jest gorące powietrze. Przez jego ogrzanie zyskuje się energię potrzebną do odparowania wilgoci z surowca. Powietrze przekazuje energię cieplną do suszonego materiału, gdzie zostaje ona zużyta na odparowanie wody. Paruje ona z powierzchni i wnętrza danego materiału, a powstała para wodna jest przenoszona do otaczającego powietrza. Czynnik suszący wykorzystywany jest zatem jednocześnie do dostarczenia ciepła do suszonego materiału i odprowadzenia odparowanej wody. Czynnik suszący powinien mieć takie parametry i przepływać przez suszarkę w takiej ilości, aby mógł pobrać całą ilość odparowanej wilgoci, a w przypadku suszenia konwekcyjnego - aby mógł przekazać do surowca wymaganą ilość ciepła.

Kinetyka procesu suszenia polega na zmianie średniej zawartości wilgoci oraz średniej temperatury w czasie [25]. W rolnictwie przeważnie zastosowanie mają urządzenia do suszenia typu płaskiego, czyli suszarnie podłogowe. Rozwiązania te charakteryzują się niskimi kosztami eksploatacyjnymi oraz budowy i możliwością wykonania ich systemem gospodarczym [20].

Na rysunku 3 przedstawiono schemat instalacji z pompą ciepła z wymiennikiem ściekowym do podgrzewania powietrza w procesie suszenia. Instalacja pobiera ciepło z gnojowicy za pomocą ściekowego wymiennika ciepła, który usytuowany został w zamkniętym zbiorniku na gnojowicę pod powierzchnią terenu. Przyjęto, że powietrze nawiewane jest do budynku suszarni kanałem z wodną nagrzewnicą powietrza przy użyciu wentylatora nawiewnego. W wymienniku tym zostaje ogrzane wodą, podłączoną do obiegu skraplacza pompy ciepła. Następnie podgrzane powietrze kierowane jest kanałem do suszarni przez metalową płytę z otworami. Powietrze przepływa przez warstwę suszonego surowca (zboża, zioła, len, owoce i warzywa), a w dalszej kolejności kanałem powietrznym zostaje wyrzucone na zewnątrz przez wentylator wywiewny. Pompa ciepła pracuje w systemie solanka-woda. Instalacja pomiędzy pompą ciepła a wymiennikami jest wykonana z rur z tworzyw sztucznych, kanały powietrzne zaś z blachy stalowej ocynkowanej. Przepływ czynnika grzewczego realizowany jest przy pomocy pomp obiegowych.

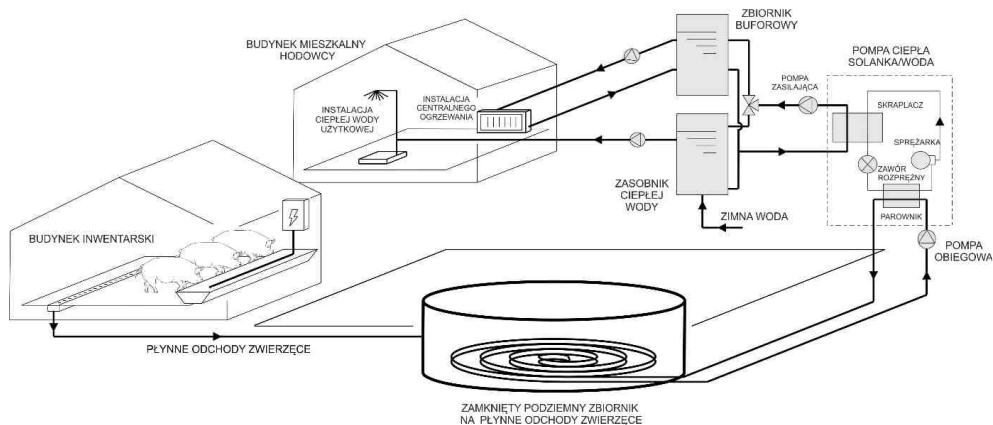


Rys. 3. Schemat instalacji do suszenia zbóż, ziół i owoców z użyciem pompy ciepła i wymiennika ściekowego

Fig. 3. Outline of the installation for drying grains, herbs and fruits with the use of a heat pump and a sewage exchanger

W gospodarstwie rolnym dobrym rozwiązaniem do uzyskania energii cieplnej jest wykorzystanie zamiast węgla innych źródeł energii, w tym źródeł odpadowych. Znaczna część zawartej w gnojowicy energii może być użyta na przykład do ogrzewania budynku mieszkalnego hodowcy lub podgrzewania wody. Proponowane rozwiązania stanowią kolejno pierwszą i drugą pozycję w strukturze zużycia energii w gospodarstwach domowych, co daje powyżej 80% całkowitego zużycia energii w tych obiektach [26].

Na rysunku 4 przedstawiono schemat instalacji z pompą ciepła z wymiennikiem ściekowym usytuowanym w zamkniętym podziemnym zbiorniku na gnojowicę do pokrycia zapotrzebowania na ciepło na potrzeby centralnego ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej w budynku mieszkalnym hodowcy. Ciepło jest pobierane ze źródła dolnego ścieków - o temperaturze 14°C [19]. Do przekazania ciepła z gnojowicy do parownika służy niskokrzepnąca ciecz (solanka lub wodny roztwór glikolu). Zainstalowana pompa obiegowa ułatwia krążenie mieszaniny w obiegu. Sprężarkowa pompa ciepła pobiera energię niskotemperaturową i przekazuje ją do górnego źródła ciepła - instalacji ciepłej wody użytkowej oraz grzewczej. W celu prawidłowego działania układu należy zastosować zbiornik buforowy oraz zasobnik ciepłej wody użytkowej.



Rys. 4. Schemat instalacji do przygotowania ciepłej wody użytkowej oraz zaopatrzenia w ciepło do ogrzewania budynku mieszkalnego hodowcy z pompą ciepła i wymiennikiem ściekowym

Fig. 4. Outline of the installation for preparing hot water and supplying with central heating the residential building of the breeder with the use of a heat pump and a sewage exchanger

## Podsumowanie i wnioski

Reasumując powyższe, można stwierdzić, że istnieją potencjalne możliwości wykorzystania energii cieplnej z gnojowicy jako odpadowego źródła ciepła w gospodarstwach rolno-hodowlanych. Spojrzenie na to medium nie tylko jako nawóz naturalny może okazać się niezwykle rentowne, przyjazne środowisku i jest zgodne z racjonalną gospodarką energetyczną, która wymaga, aby ilość niewykorzystanej energii była jak najmniejsza. Warunkiem uzyskania tych korzyści jest montaż instalacji do odzyskiwania ciepła odpadowego w obiektach chowu bezściółkowego zwierząt. Znaczną niedogodnością we wdrożeniu opisywanych rozwiązań w obiektach już istniejących może być sam montaż instalacji oraz wynikająca z tego przerwa w produkcji trzody chlewnej. W związku z powyższym proponowane rozwiązania chętniej będą wykorzystywane przez hodowców, którzy zdecydują się na rozbudowę istniejącej lub budowę nowej chlewni. Znaczne nakłady inwestycyjne czynią schładzanie gnojowicy atrakcyjne wyłącznie dla dużych ferm trzody chlewnej (powyżej 500 sztuk). W mniejszych gospodarstwach hodowlanych można wykorzystać pompy ciepła do odzysku energii z systemów wentylacji.

Potrzebne są jednak dalsze analizy techniczne i ekonomiczne, co będzie tematyką kolejnej publikacji.

## Literatura

- [1] Blicharski T, Hammermeister A, Okularczyk S, Pejsak Z, Pisula A, Różycki M, i in. Strategia odbudowy i rozwoju produkcji trzody chlewnej w Polsce do roku 2030. Warszawa: Polski Związek Hodowców i Producentów Trzody Chlewnej „POLSUS”; 2013. <http://nowastrona.polsus.pl/photos/Wydawnictwa/Strategia%20odbudowy/Strategia%20odbudowo%20i%20rozwoju%20produkcji%20trzody%20chlewnej%20w%20Polsce%20do%20roku%202020.pdf> (dostęp 06.08.2015).
- [2] Marcinkowski T. Emisja gazowych związków azotu z rolnictwa. Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie. 2010;3(31/X):175-189. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BATC-0004-0041> (dostęp 06.08.2015).
- [3] Sapek A. Emisja gazów cieplarnianych z rolnictwa do atmosfery. Zesz Edukacyjne. 2000;6:9-21. [http://www.imuz.edu.pl/wydaw/ofertawyd/zeszytyedu/z\\_6\\_2000.htm](http://www.imuz.edu.pl/wydaw/ofertawyd/zeszytyedu/z_6_2000.htm) (dostęp 06.08.2015).
- [4] Schader Ch, Jud K, Meier MS, Kuhn T, Oehen B, Gattinger A. Quantification of the effectiveness of greenhouse gas mitigation measures in Swiss organic milk production using a life cycle assessment approach. J Clean Prod. 2014;73:227-235. DOI: 10.1016/j.clepro.2013.11.077.
- [5] Słyś D, Kordana S. Financial analysis of the implementation of drain water heat recovery unit in residential housing. Ener Buildings. 2014;71:1-11. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.11.088.
- [6] Czarniecki D, Pisarev V, Dziopak J, Słyś D. Analiza techniczna i finansowa instalacji do odzysku ciepła ze ścieków w budynkach wielorodzinnych. W: Interdyscyplinarne Zagadnienia w Inżynierii i Ochronie Środowiska. Traczewska MT, Kaźmierczak B, editors. Wrocław: Ofic Wyd Politechniki Wrocławskiej; 2014;4:132-148. <http://www.eko-dok.pl/2014/13.pdf> (dostęp 06.08.2015).
- [7] Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/28/WE z 23 kwietnia 2009 r. w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych zmieniająca i w następstwie uchylająca dyrektywy 2001/77/WE oraz 2003/30/WE (Dz. Urz. UE L 140, 5.06.2009)). <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/HTML/?uri=CELEX:32009L0028&from=PL> (dostęp 06.08.2015).
- [8] Directive 2009/29/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 amending Directive 2003/87/EC so as to improve and extend the greenhouse gas emission allowance trading scheme of the Community (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/29/WE z 23 kwietnia 2009 r. zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych (Dz. Urz. UE L 140, 5.06.2009)). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0063:0087:pl:PDF> (dostęp 06.08.2015).
- [9] Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directive 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC (Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/27/UE z 25 października 2012 r. w sprawie efektywności energetycznej, zmiany dyrektyw 2009/125/WE i 2010/30/UE oraz uchylenia dyrektyw 2004/8/WE i 2006/32/WE (Dz. Urz. UE L 315, 14.11.2012)). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:PL:PDF> (dostęp 06.08.2015).
- [10] Godlewska J. Poradnik dobrych praktyk gospodarowania energią w gospodarstwie rolnym. Białystok: Wyższa Szkoła Ekonomiczna w Białymstoku; 2011. <http://www.energia.wse.edu.pl/data/uploads/poradnik1.pdf> (dostęp 06.08.2015).
- [11] Słyś D, Kordana S. Odzysk ciepła odpadowego w instalacjach i systemach kanalizacyjnych. Krosno: Wyd. i Handel Książkami „KaBe”; 2013.
- [12] Słyś D, Kordana S. Rationalization of water and energy consumption in shower systems of single-family dwelling hoses. J Clean Prod. 2014;82:58-69. DOI:10.1016/j.clepro.2014.06.078.
- [13] Pabis J. Odnawialne źródła energii uzupełnieniem energetyki w rolnictwie. Warszawa: AgEngPol; 2011. <http://www.agengpol.pl/LinkClick.aspx?fileticket=DKqjuvznNeQ%3D&tabid=144> (dostęp 06.08.2015).
- [14] Kutera J. Gospodarka gnojowicą. Wrocław: Wyd Akad Roln; 1994.
- [15] Hus S. Chemia wody, ścieków i gnojowicy. Wrocław: Wyd Akad Roln; 1995.
- [16] Kwaśny J, Kowalski Z, Banach M. Właściwości nawozowe gnojowicy w kontekście zawartości wybranych makro- i mikroelementów. Zsop Techn Chemia. 2011;108(2-Ch):107-120. [http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i5/i9/i6/i5/r5965/KwasnyJ\\_WlasciwosciNawozowe.pdf](http://suw.biblos.pk.edu.pl/resources/i5/i9/i6/i5/r5965/KwasnyJ_WlasciwosciNawozowe.pdf) (dostęp 06.08.2015).



- [17] Olszewska H, Skowron K. Effect of storage temperature and type of slurry on survivability of Salmonella. *J Central Europ Agricult.* 2013;14(2):369-375. DOI: 10.5513/JCEA01/14.2.1275.
- [18] Tatys M. Pompy ciepła w rolnictwie. *GLOBEnergia.* 2009;4. <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.agro-article-2cdf94a-345f-4fb3-b1b6-b19b956373e0> (dostęp 06.08.2015).
- [19] Mazur T, Wojtas A, Sądej W. Przemiany związków azotowych w czasie przechowywania gnojowicy. *Roczn Glebozn.* 1980;1(XXXI):63-75. [http://ssa.ptg.sggw.pl/files/artykuly/1980\\_31/1980\\_tom\\_31\\_nr\\_1/tom\\_31\\_nr\\_1\\_63-75.pdf](http://ssa.ptg.sggw.pl/files/artykuly/1980_31/1980_tom_31_nr_1/tom_31_nr_1_63-75.pdf) (dostęp 06.08.2015).
- [20] Pisarev V. Projektowanie instalacji grzewczych z pompami ciepła. Rzeszów: Ofic Wyd Politechniki Rzeszowskiej; 2013.
- [21] Lisiecka J. Wymagania wodne ogórka, 2012. [http://e-warzywnictwo.pl/index.php/wymagania-wodne-ogorka\\_4918.html](http://e-warzywnictwo.pl/index.php/wymagania-wodne-ogorka_4918.html) (dostęp 06.08.2015).
- [22] Kołota E, Orłowski M, Biesiada A. *Warzywnictwo.* Wrocław: Wyd Uniwersytetu Przyrodniczego; 2007.
- [23] Czarniecki D, Słyś D. Analiza techniczna i finansowa wariantów ogrzewania wody z wykorzystaniem pomp ciepła współpracujących z systemami rozsączania wody deszczowej w produkcji roślinnej. *Czasopismo Inż Lądowej, Środ i Architekt.* 2014;61(3/1):33-51. DOI: 10.7862/rb.2014.45.
- [24] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 r. w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody (DzU 2002 Nr 8, poz. 70). <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20020080070> (dostęp 06.08.2015).
- [25] Strumiłło C. *Podstawy teorii i techniki suszenia.* Warszawa: WNT; 1968.
- [26] Główny Urząd Statystyczny. *Efektywność wykorzystania energii w latach 2002-2012.* Warszawa: Zakład Wyd Statyst; 2014. <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/energia/efektywnosc-wykorzystania-energii-w-latach-2002-2012,5,9.html> (dostęp 06.08.2015).

## THE POSSIBILITIES OF WASTE HEAT RECOVERY FROM SEWAGE IN LIVESTOCK FARMS

Department of Infrastructure and Sustainable Development, Faculty of Civil and Environmental Engineering  
and Architecture, Rzeszow University of Technology, Rzeszów

**Abstract:** Agriculture is one of the sectors of the economy where the heat pump is becoming more widely used. This is particularly true in situations where it may be used in an alternative arrangement, both for heating and cooling, mainly as the possibility to use waste heat. Pig farming is one of the most important branches of agricultural production in Poland since immemorial period. The development of modern husbandry animal technology the need to seek new solutions seems to be imperative. The use of it will contribute to the rationalization of energy use and it will result in air protection. The answer to this trend is the recovery of waste energy from wastewater. The purpose of this article is to present possible solutions and bring benefits which can be achieved through the use of an installation for heat recovery from waste water so as to supply the livestock farm in hot water. The analysis of possible examples of above systems has been done.

**Keywords:** waste heat recovery, heat pump, pig slurry