

## WYKORZYSTANIE GRUNTOWEGO WYMIENNIKA CIEPŁA W BUDYNKACH INWENTARSKICH

*Arkadiusz Dyjakon*

*Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Przyrodniczo-Technologiczny*

*Mirosław Mila*

*SRS BAUSYSTEM Spółka z o.o.*

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono koncepcję wykorzystania gruntowego wymiennika ciepła typu żwirowo-wodnego do wentylacji i wspomagania ogrzewania istniejących budynków inwentarskich, w których prowadzona jest hodowla trzody chlewnej. Dokonano analizy zapotrzebowania chlewni na stopień wymiany powietrza oraz ciepło. W oparciu o aktualne zużycie energii elektrycznej na potrzeby wentylacyjno-grzewcze budynków inwentarskich zaproponowano koncepcyjne rozwiązanie alternatywne, bazujące na gruntowym wymienniku ciepła (GWC). Wykonano również analizę ekonomiczną realizacji przedsięwzięcia. Wykazano, że zastosowanie GWC żwirowo-wodnego w układzie wentylacji i ogrzewania budynków inwentarskich pozwala na utrzymanie w nich właściwych warunków klimatycznych oraz jest zasadne zarówno z ekonomicznego, jak i ekologicznego punktu widzenia.

**Słowa kluczowe:** gruntowy wymiennik ciepła, wentylacja, budynek inwentarski, trzoda chlewna

### Wstęp

Powietrze wypełniające wnętrza budynków mieszkalnych, biurowych, gospodarczych czy inwentarskich ulega zużyciu w wyniku oddziaływania różnych czynników związanych z funkcją i wyposażeniem pomieszczeń. Przede wszystkim może być zawilgocone i zawierać zwiększone ilości dwutlenku węgla powstałego w wyniku oddychania użytkowników. Do powietrza mogą przedostawać się lub wydzielać także inne toksyczne i szkodliwe dla zdrowia gazy. W przypadku budynków inwentarskich (Mielcarek, 2012), w powietrzu mogą być pewne ilości szkodliwych dla zwierząt oparów substancji, takich jak: amoniak, metan, siarkowodór oraz pyły i inne nieprzyjemne odoranty. Nadmierna ilość wilgoci przyczynia się do rozwoju trudnych do usunięcia grzybów i jest często źródłem chorób oraz wytwarzania substancji szkodliwych dla zdrowia. Wykroplona woda przenikania do elementów konstrukcyjnych budynku, powodując uszkodzenie struktury oraz elementów wyposażenia obiektu.

W celu zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza i właściwych warunków zoohigienicznych niezbędna jest wentylacja pomieszczeń. Wielkość wymiany powietrza oraz utrzymanie jego zadanych parametrów (zwłaszcza temperatury i wilgotności) w budynkach inwentarskich (chlewniach, kurnikach czy oborach) stanowi jeden z podstawowych warunków chowu wszystkich zwierząt (Mikułka, 2003; Karłowski i Nawrocka, 2001). Brak należytej ilości świeżego powietrza znacząco wpływa nie tylko na obniżenie dobrostanu inwentarza, ale również upośledza procesy fizjologiczne, obniżając w ten sposób uzyskiwane wyniki produkcyjne. Z uwagi na silne wahania temperatury w ciągu roku oraz konieczność utrzymania właściwych parametrów świeżego powietrza, budynki inwentarskie mogą być wyposażone w naturalny (grawitacyjny) lub mechaniczny układ wentylacji. O rozwiązaniu systemu wentylacyjnego w dużym stopniu decyduje rodzaj prowadzonego chowu oraz zadane parametry powietrza zasilającego. Do najczęściej spotykanych systemów wentylacji mechanicznej należą wentylacja podsufitowa, poprzeczna, podłużna, drzwiowa i kominowa (Szlachta, 2011).

W okresie zimy w wielu przypadkach niezbędne jest często dogrzewanie budynków inwentarskich dla zapewnienia właściwych warunków mikroklimatycznych. Standardową metodą dogrzewania takich budynków jest podgrzewanie powietrza wentylacyjnego do wymaganej temperatury za pomocą grzałek elektrycznych (nagrzewnicy elektrycznej), umieszczonych w kanale wentylacyjnym powietrza nawiewanego. Innym sposobem jest wykorzystanie grzejników radiacyjnych, konwekcyjnych czy promienników rozmieszczonych w odpowiednich miejscach budynku inwentarskiego.

W okresie letnim z kolei najbardziej rozpowszechnioną metodą wentylacji jest otwieranie bram, drzwi i okien w budynku celem wywołania przepływu powietrza. Jest to metoda tania i stosunkowo skuteczna, ale prowadzi często do chorób zwierząt znajdujących się w budynku na skutek zbyt dużych prędkości przepływającego powietrza. W efekcie może to prowadzić do przeziębienia zwierząt i strat produkcyjnych (Fred de Cocq, 2011). W chowie zwierząt szczególnie wrażliwa na zmiany temperatury oraz przeciągi jest trzoda chlewna. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe wytyczne dla mikroklimatu powietrza w zależności od typu chowu trzody chlewnej.

Tabela 1  
*Wentylacja i parametry powietrza w budynkach hodowli trzody chlewnej*  
Table 1  
*Ventilation and air parameters in the piggery buildings*

Zwierzęta	Temperatura, (°C)	Wymiana powietrza, (m <sup>3</sup> ·h·szt. <sup>-1</sup> )		Prędkość powietrza, (m·s <sup>-1</sup> )		Wilgotność względna (%)
	min.	zima	lato	zima	lato	
Knury	12-15	20	100	0,3	0,5	75
Lochy	12-15	20	100	0,2	0,4	70
Wysokoprośne lochy	15-19	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	70
Lochy karmiące	18-20	50	150	b.d.	b.d.	70
Prosiaki do 3 dni	25-30	5	20	0,15	0,2	60
Prosiaki do 14 dni	24-28	5	20	0,15	0,2	60
Prosięta 15-28 dni	18-23	5	20	0,15	0,2	60
Prosięta starsze	18-20	8	30	0,2	0,3	60
Warchlaki	17-21	8	30	0,2	0,3	60
Tuczniaki	15-18	15	80	0,2	0,4	70
Knurki i loszki	14-17	20	90	0,2	0,4	70

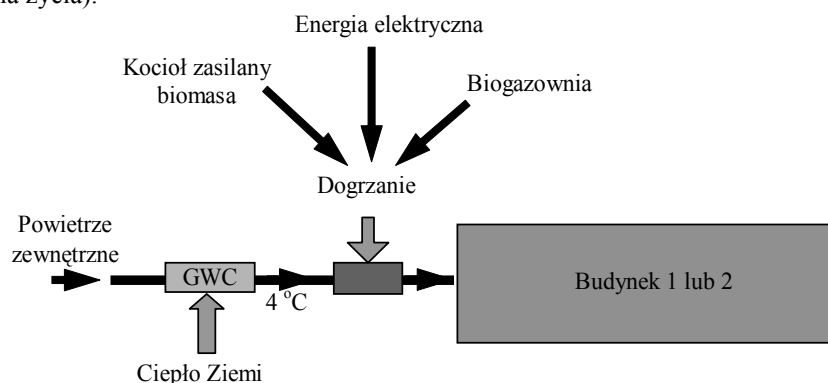
*Źródło: opracowanie własne na podstawie (Rokicki i Kolbuszowski, 1999; Myczko, 1998)*

## Metodyka i obiekt badawczy

Celem pracy jest koncepcja alternatywnego sposobu wentylacji i ogrzewania istniejących budynków inwentarskich, w których prowadzony jest chów trzody chlewnej, z wykorzystaniem Gruntowego Wymiennika Ciepła (GWC) typu żwirowo-wodnego oraz innych źródeł ciepła (w przypadku konieczności ich zastosowania) stanowiących uzupełnienie systemu grzewczego w okresie zimowym (rys. 1). Zadaniem gruntowego wymiennika ciepła jest ograniczenie lub wyeliminowanie potrzeby dogrzewania powietrza wentylacyjnego przez nagrzewnice elektryczne zamontowane w kanale wentylacyjnym. Należy zaznaczyć, że koncepcja nie obejmuje dodatkowego systemu miejscowego ogrzewania bokсів dla loch i prosiąt przez promienniki elektryczne.

Dodatkowym zamierzeniem jest osiągnięcie efektu ekologicznego, wynikającego z zastąpienia energii elektrycznej pochodzącej ze spalania paliw konwencjonalnych energią cieplną ze źródła odnawialnego.

Analiza zapotrzebowania na energię cieplną została wykonana w oparciu o rzeczywiste dane zużycia energii elektrycznej na potrzeby grzewcze rozpatrywanych budynków pozyskane od Zakładu Doświadczalnego Instytutu Zootechniki Państwowego Instytutu Badawczego w Żernikach Wielkich pod Wrocławiem. Do realizacji zadania wybrano dwa budynki inwentarskie różniące się rodzajem chowu trzody chlewnej. W jednym budynku prowadzony jest chów tuczników, a w drugim loch karmiących i młodych prosiaków (do 30 dnia życia).

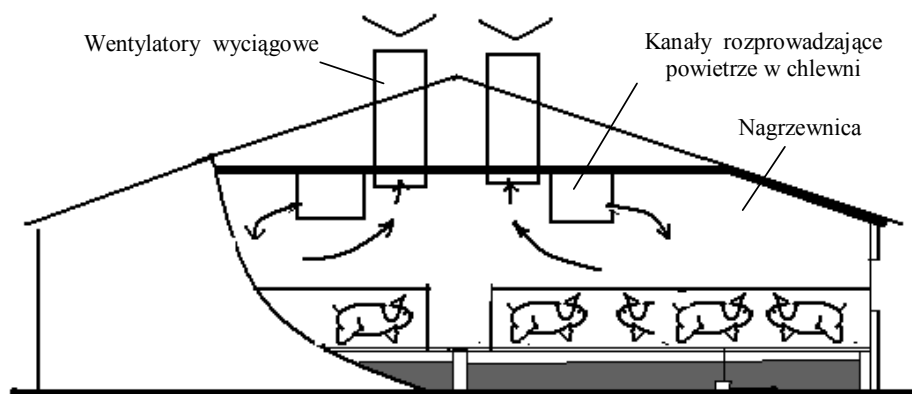


Rysunek 1. Koncepcja wykorzystania GWC do wentylacji/ogrzewania budynków inwentarskich

Figure 1. Concept of GHE application for ventilation/heating of stock buildings

W wybranych budynkach inwentarskich zastosowany jest mechaniczny system wentylacji i ogrzewania powietrza za pomocą wentylatorów oraz nagrzewnic elektrycznych. Powietrze w budynkach, zasysane przez czerpnie w ścianie czołowej budynku, rozprowadzane jest równomiernie podwieszonymi kanałami wentylacyjnymi, skąd poprzez układy szczelinowe wdmuchiwane jest do wnętrza. Z kolei zużyte powietrze odprowadzane jest na zewnątrz za pomocą wentylatorów wyciągowych, zlokalizowanych w części dachowej budynków (rys. 2). Dodatkowo, w przypadku budynku dla loch karmiących i prosiąt, do miejscowego dogrzewania kojców wykorzystywane są promienniki elektryczne. Zużycie

energii elektrycznej na potrzeby grzewczo-wentylacyjne w okresie zimowym i letnim zestawiono w tabeli 2.



Rysunek 2. Układ wentylacji w rozpatrywanych budynkach inwentarskich  
Figure 2. Ventilation system in the considered stock buildings

Tabela 2

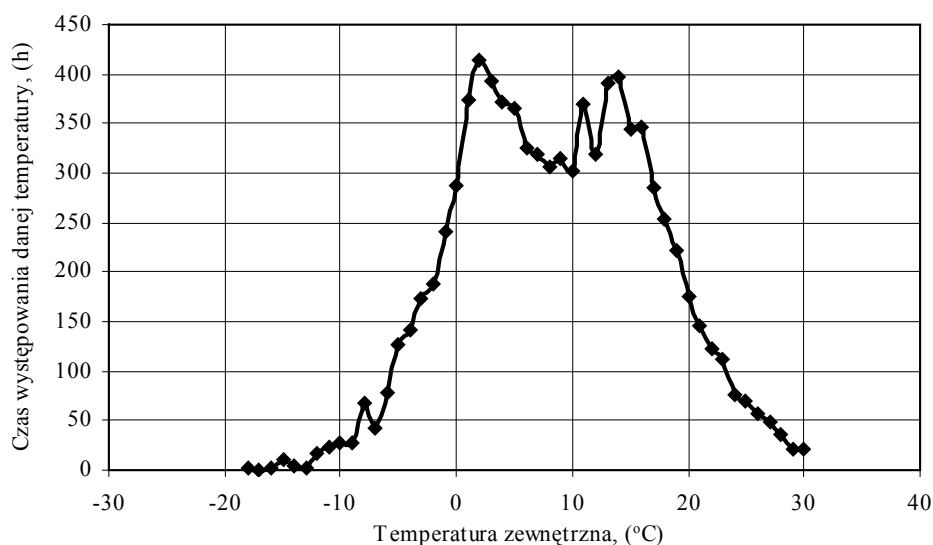
Charakterystyka grzewczo-wentylacyjna rozpatrywanych budynków inwentarskich

Table 2

Heating-ventilating characteristics of the considered stock buildings

Parametr	Rodzaj chowu	
	Porodówka (lochy i prosięta)	Tuczniki
Ilość osobników:		
- lochy,	60 szt. m <sup>-2</sup>	-
- prosięta	660 szt.	-
- tuczniki	-	800 szt.
Moc nagrzewnicy	6 kW	6 kW
Ilość nagrzewnic	4 szt.	4 szt.
Zużycie energii elektrycznej przez nagrzewnice (w okresie zimowym)	13 600 kWh·m-c <sup>-1</sup>	8 640 kWh·m-c <sup>-1</sup>
Zużycie energii elektrycznej przez nagrzewnice (w okresie letnim)	-	-
Moc promienników	0,3 kW	-
Ilość promienników	60	-
Zużycie energii przez promienniki miejscowe (w okresie zimowym)	12 200 kWh·m-c <sup>-1</sup>	-
Zużycie energii przez promienniki miejscowe (w okresie letnim)	5 200 kWh·m-c <sup>-1</sup>	-
Wymagana wentylacja (w okresie zimowym)	6 300 m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	12 000 m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>
Wymagana wentylacja (w okresie letnim)	22 200 m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>	64 000 m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup>
Czas trwania sezonu zimowego	4 miesiące	
Moc wentylatora	0,3 kW	0,6 kW
Ilość wentylatorów	4 szt.	6 szt.
Powierzchnia budynków	600 m <sup>2</sup>	600 m <sup>2</sup>

Do wyznaczenia ilości pozyskanego ciepła/chłodu przez gruntowy wymiennik ciepła niezbędna jest znajomość rocznego rozkładu temperatury zewnętrznej powietrza. Z uwagi na brak danych meteorologicznych z miejscowości Żerniki Wielkie, do określenia potencjału ilości odbieranego ciepła/chłodu zmagazynowanego w gruncie przez żwirowo-wodny GWC do chłodzenia/podgrzewania powietrza zewnętrznego wykorzystano dane częstotliwości występowania danej temperatury zewnętrznej powietrza w ciągu roku dla miasta Wrocławia (rys. 3).



Rysunek 3. Częstotliwość występowania danej temperatury zewnętrznej dla miasta Wrocławia

Figure 3. Frequency of the given external air temperature occurrence for the city of Wrocław

Źródło: opracowanie własne na podstawie (Danielewicz i Golecki, 2010)

Na podstawie rocznego rozkładu temperatury powietrza zewnętrznego (rys. 3), przyjętej średniej gęstości powietrza  $\rho=1,29 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , wilgotności względnej  $\phi=70\%$ , ciepła właściwego  $c_p=1,009 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , oraz założenia możliwości podgrzania powietrza o temperaturze  $t\leq 3^\circ\text{C}$  w okresie zimowym w gruntowym wymienniku ciepła do wartości  $4^\circ\text{C}$ , obliczono potencjalne uzyski ciepła dla wymaganego poziomu wentylacji rozpatrywanych budynków inwentarskich. Podobne obliczenia przeprowadzono dla okresu letniego, zakładając możliwość ochładzania powietrza o temperaturze  $t\geq 19^\circ\text{C}$  w przypadku chowu loch i prosiąt oraz  $t\geq 16^\circ\text{C}$  w przypadku chowu tuczników.

Wyniki ilości pozyskiwanego ciepła/chłodu z gruntu oraz aktualne zużycie energii elektrycznej na potrzeby grzewczo-wentylacyjne rozpatrywanych budynków inwentarskich dla okresu zimowego i letniego zestawiono w tabeli 3.

Z danych przedstawionych w tabeli 3 wynika, że w okresie zimowym ilość ciepła pozyskanego z gruntu w odniesieniu do ilości podgrzewanego powietrza wentylacyjnego w chowie loch i prosiąt pozwala na pokrycie potrzeb na poziomie około 55%. Dla tuczni-

ków z kolei ciepło pozyskane przez gruntowy wymiennik ciepła umożliwi (w rozpatrywanym zakresie temperatur) pokrycie zapotrzebowania na ciepło w 165%. Oznacza to, że GWC jest w stanie pokryć w pełni potrzeby energetyczne na wentylację budynku inwentarskiego, gdzie prowadzony jest chów tuczniaka. Należy to tłumaczyć tym, że podgrzanie powietrza przez GWC do temperatury 4°C jest wystarczające, aby w połączeniu z ciepłem wydzielanym przez osobniki znajdujące się w budynku (w tym wypadku tuczniaki) uzyskać temperaturę optymalną, zalecaną dla tej grupy trzody chlewnej. Stąd do analizy ekonomicznej przeprowadzonej w dalszej części niniejszej pracy zostały uwzględnione wcześniej pominięte koszty energii elektrycznej na ogrzewanie w ilości 29948,7 kWh dla loch i prosiąt oraz 34560 kWh dla tuczniaków.

Tabela 3

*Roczny uzysk ciepła/chłodu z gruntu dla rozpatrywanych budynków inwentarskich*

Table 3

*Annual yield of heat/cool from ground for the considered stock buildings*

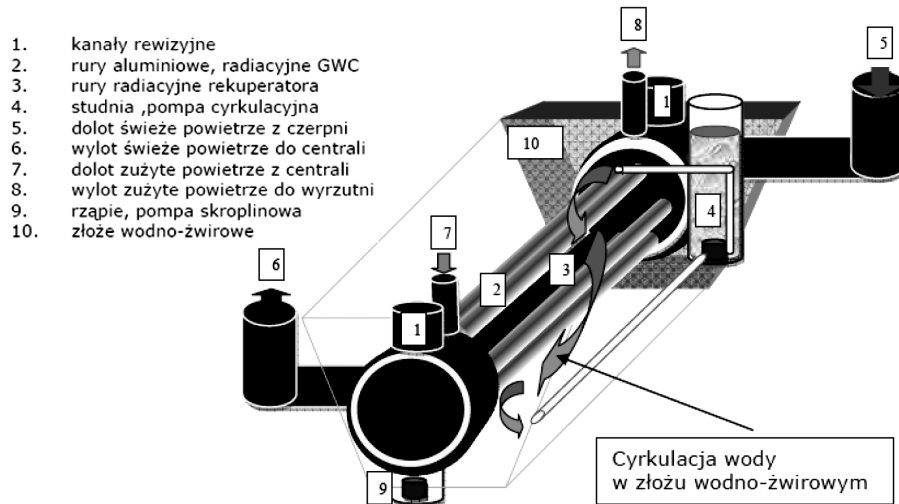
Parametr	Rodzaj hodowli	
	Porodówka (loch i prosięta)	Tuczniaki
	Stan aktualny	
Ilość energii elektrycznej zużywanej na potrzeby grzewcze w okresie zimowym <sup>1</sup>	54400 kWh	34560 kWh
	Koncepcja z GWC	
Ciepło pozyskane z gruntu w okresie zimowym	29948,7 kWh	57045,2 kWh
Chłód pozyskany z gruntu w okresie letnim	10796,9 kWh	42241,6 kWh

<sup>1</sup> dla okresu zimowego trwającego 4 miesiące

Jako urządzenie do pozyskiwania ciepła/chłodu z gruntu w rozpatrywanej koncepcji przyjęto GWC żwirowo-wodny, którego schemat funkcjonalny przedstawiono na rysunku 4. Głównymi elementami GWC żwirowo-wodnego, posadowionego na głębokości około 3 m, są radiacyjne rury aluminiowe o średnicy 160 mm (połączone kolektorem wlotowym i wylotowym) umieszczone w szczelnym złożu składającym się z żwiru o granulacji 8-16 mm oraz wody pełniącej rolę nośnika energii.

Zewnętrzny pakiet rur aluminiowych pełni rolę wymiennika właściwego; przepływa nimi powietrze pobierane z otoczenia. Przepływające przez wymiennik świeże powietrze ogrzewa się (w okresie zimowym) lub ochładza (w okresie letnim) i kierowane jest do budynku. Wewnętrzny pakiet rur stanowi dodatkowy rekuperator umożliwiający w okresie zimowym wykorzystanie ciepła odpadowego zawartego w zużytym powietrzu wyrzucanym z budynku (zużyte powietrze przepływa przez wymiennik, oddając ciepło do złoża). Pozwala to na dodatkowe podgrzanie złoża i wzrost wydajności grzewczej wymiennika. Znajdujące się pod powierzchnią ziemi złożo wymienia ciepło z gruntem właściwym. W celu zwiększenia wymiany ciepła z gruntem oraz w przypadku wzrostu wydajności, w złożu okresowo krąży woda pobierana z dodatkowego złoża żwirowo-wodnego, pełniąc funkcję akumulatora ciepła/chłodu. Pracująca pompa powoduje krążenie wody w układzie, zapewniając prawidłową wymianę ciepła oraz stabilizację pracy GWC.

## Wykorzystanie gruntowego wymiennika...

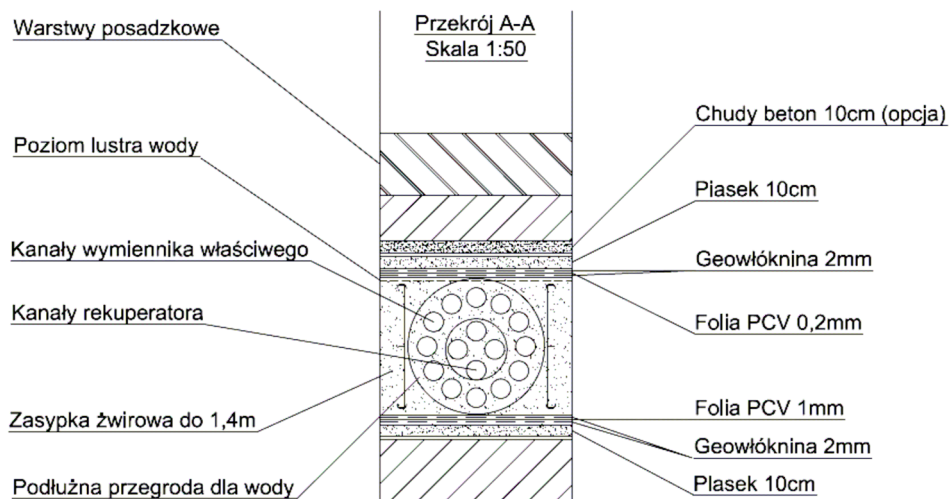


Rysunek 4. Schemat gruntowego wymiennika ciepła żwirowo-wodnego

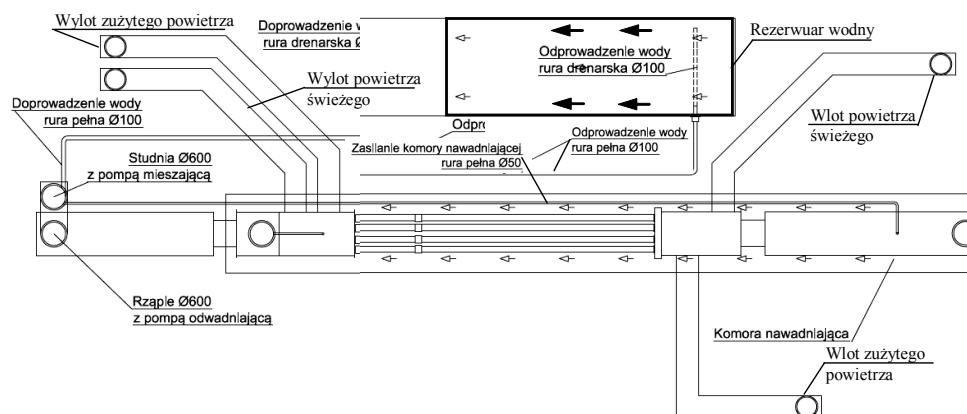
Figure 4. Schematic representation of the ground heat exchanger of the gravel-water type

Z uwagi na wielkość wymiany powietrza w rozpatrywanych budynkach inwentarskich oraz wymaganą moc cieplną, przyjęto do analizy dwa wymienniki żwirowo-wodne z dodatkowym rezerwuarem wody. Schemat wymiennika oraz jego przekrój poprzeczny w złożu przedstawiono na rysunku 5.

a) przekrój poprzeczny wymiennika w złożu



## b) schemat wymiennika z rezerwuarem wodnym



Rysunek 5. Gruntowy wymiennik ciepła żwirowo-wodny  
 Figure 5. Ground heat exchanger of gravel-water type

### Efekty ekonomiczne i środowiskowe

W celu przeprowadzenia analizy ekonomicznej przedsięwzięcia zastosowania grunto-  
 wych wymienników ciepła do wentylacji i wsparcia ogrzewania w rozpatrywanych budyn-  
 kach inwentarskich, przyjęto następujące założenia:

- rozpatrywane obiekty są w pełni wykorzystane, a produkcja trzody chlewnej ma cha-  
 rakter ciągły,
- zużycie energii elektrycznej do zasilania wentylatorów w stanie obecnym i w rozpatry-  
 wanej koncepcji jest jednakowe (nie wymagają zatem uwzględnienia w analizie eko-  
 nomicznej),
- całkowity koszt inwestycyjny z tytułu budowy żwirowo-wodnych GWC wynosi netto  
 230 000 PLN,
- koszty eksploatacyjne GWC (roczne koszty utrzymania instalacji: przeglądy i konser-  
 wacja): netto 3500 PLN·rok<sup>-1</sup>,
- cena energii elektrycznej wynosi 0,65 PLN·kWh<sup>-1</sup>,
- przychody (41 930 PLN·rok<sup>-1</sup>) wynikają z tytułu eliminacji kosztów związanych  
 z ogrzewaniem budynków inwentarskich nagrzewnicami elektrycznymi w okresie zi-  
 mowym (tab. 3),
- okres eksploatacji: 10 lat,
- stopa dyskontowa  $r=5\%$ ,
- w analizie nie uwzględniono prognozowanych wzrostów cen energii elektrycznej,
- analiza nie uwzględnia zmiany ceny danej instalacji w wyniku konkurencji, przetargu  
 czy zmian rynkowych.

Uwzględniając analizę kosztów i założenia uzyskano przepływy pieniężne w okresie  
 założonych 10 lat. Uwzględniając następnie stopę dyskontową i wskaźnik *NPV* (*Net Pre-  
 sent Value*) wyrażony wzorem (1) otrzymano przepływ środków finansowych (tab. 4).



Wskaźnik  $NPV$  (wartość bieżąca netto) stanowi różnicę pomiędzy zdyskontowanymi przepływami pieniężnymi a nakładami początkowymi (Skorek, 2002):

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_o \quad (1)$$

gdzie:

$NPV$  – wartość bieżąca netto (PLN),

$CF_t$  – przepływy gotówkowe w okresie ( $t$ ),

$r$  – założona stopa dyskonta lub wewnętrzna stopa zwrotu ( $IRR$ ) (%),

$I_o$  – nakłady początkowe (PLN),

$t$  – kolejne okresy (lata) eksploatacji.

Tabela 4

*Przepływy pieniężne w rozpatrywanym okresie 10 lat*

Table 4

*Cash flows in the considered period of 10 years*

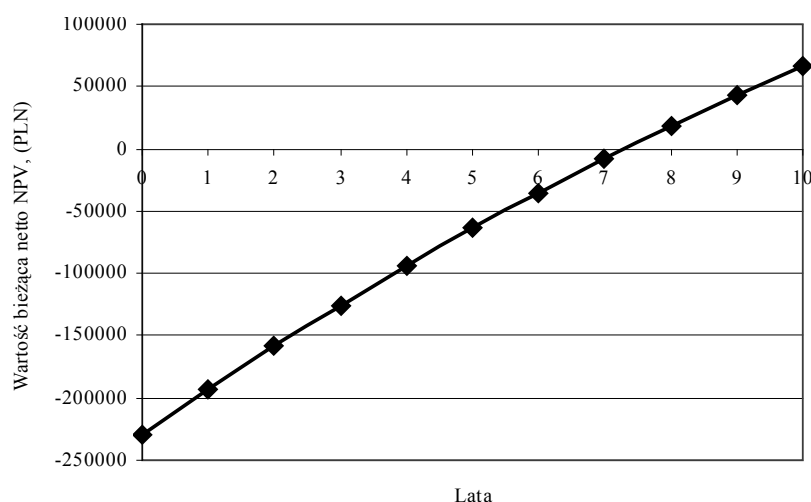
Okres, lata	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Współczynnik dyskonta dla $r=5\%$	1,0000	0,9524	0,9070	0,8638	0,8227	0,7835	0,7462	0,7107	0,6768	0,6446	0,6139
Nakłady inwestycyjne, (PLN)	230 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Koszty, (PLN)	0	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500
Przychody (koszty uniknięte) <sup>1</sup> , (PLN)	0	41 931	41 931	41 931	41 931	41 931	41 931	41 931	41 931	41 931	41 931
Zysk netto, (PLN)	-230 000	38 431	38 431	38 431	38 431	38 431	38 431	38 431	38 431	38 431	38 431
Zysk zdyskontowany, (PLN)	-230000	36 601	34 858	33 198	31 617	30 111	28 678	27 312	26 011	24 773	23 593
$NPV$ , (PLN)	-230000	-193 399	-158 542	-125 344	-93 727	-63 615	-34 938	-7 626	18 385	43 158	66 751

<sup>1</sup> oszczędności wynikające ze zmniejszenia kosztów ogrzewania powietrza nagrzewnicami elektrycznymi (traktowane jako koszty uniknięte)

W oparciu o obliczone skumulowane przepływy pieniężne wyznaczono wskaźnik  $NPV$  inwestycji pozwalający określić jej okres zwrotu (rys. 5). Analiza ekonomiczna wykazała, że wartość bieżąca netto dla okresu 10-letniego wynosi  $NPV=66750$  PLN. Okres zwrotu inwestycji ( $NPV=0$ ) wynosi 7 lat i 3 miesiące, a wewnętrzna stopa zwrotu  $IRR=10,6\%$ . Otrzymana wartość  $IRR$  jest dwa razy większa od założonej stopy dyskontowej, co potwierdza zasadność inwestycji. Biorąc pod uwagę działania inwestycyjne w rolnictwie oraz niskie ryzyko awarii urządzenia (gruntowego wymiennika ciepła) otrzymane wyniki należy uznać za bardzo dobre.

Należy zaznaczyć, że w analizie ekonomicznej nie uwzględniono zysków związanych z pozyskiwaniem chłodu z GWC w okresie letnim. Przyjęto, że pozyskany chłód jest tylko czynnikiem normalizującym warunki klimatyczne w budynku inwentarskim i nie pociąga za sobą w bezpośredni sposób innych nakładów/uzysków energetycznych. Wynika to z faktu, że w praktyce chowu trzody chlewnej, dla obniżenia temperatury wewnętrznej w budynku inwentarskim w okresie letnim, otwierane są często okna oraz drzwi/bramy dla

wywołania tzw. przeciągu (wspomagane ewentualnie pracą wentylatorów). Jest to rozwiązanie zazwyczaj skuteczne tylko przy średnich temperaturach powietrza i występowaniu minimalnej wietrzności wywołującej przepływ powietrza przez budynek (w przypadku braku pracy wentylatorów). Warto jednak podkreślić, że taki naturalny system wentylacji może przynieść szkody w produkcji, ponieważ nie pozwala na ścisłą kontrolę parametrów powietrza (zwłaszcza prędkości przepływu) i w sytuacjach szczególnych może prowadzić do przeziębienia, przegrzania lub innych problemów zdrowotnych zwierząt. Jednak w przypadku stosowania przez zakład w procesie chowu zwierząt innych metod obniżenia temperatury powietrza (np. z użyciem klimatyzatorów) wewnątrz budynku inwentarskiego, uwzględnienie energii chłodu uzyskanej z GWC byłoby wskazane i w pełni zasadne.



Rysunek 5. Zdyskontowane i skumulowane przepływy pieniężne NPV w okresie 10 lat  
Figure 5. Discounted and cumulated cash flows NPV in the period of 10 years

Wykorzystanie GWC pozwala również na osiągnięcie efektu ekologicznego w odniesieniu do emisji CO<sub>2</sub>. Przy założeniu, że energia elektryczna zasilająca nagrzewnice elektryczne produkowana jest w wyniku spalania paliw kopalnych, można obliczyć ich niezbędne zapotrzebowanie do wyprodukowania wymaganej ilości energii elektrycznej. Przyjmując, że w polskiej energetyce zawodowej podstawowym paliwem do wytwarzania energii elektrycznej jest węgiel kamienny (wartość opałowa  $Q_f=22,5 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ , zawartość pierwiastka węgla w paliwie  $c=65\%$  mas.), a sprawność całkowita bloku energetycznego wytwarzającego energię elektryczną wynosi  $\eta=0,37$  (Szurlej i Mokrzycki, 2003), można obliczyć emisję CO<sub>2</sub> wynikającą z jego potencjalnego spalania. Biorąc pod uwagę pokrycie energii przez GWC w okresie zimowym w wysokości  $64\,508,7 \text{ kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$  oraz powyższe założenia, można wykazać, że instalacja GWC ograniczy zużycie węgla kamiennego o  $27,89 \text{ Mg}\cdot\text{rok}^{-1}$  i związaną z tym emisję dwutlenku węgla w wysokości  $66,35 \text{ Mg}\cdot\text{rok}^{-1}$ .

## Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzona analiza koncepcyjnego rozwiązania zastosowania GWC typu żwirowo-wodnego w budynkach inwentarskich, w których prowadzony jest chów tuczników oraz loch z prosiętami, pozwala na sformułowanie następujących wniosków końcowych:

- zastosowanie GWC w budynkach inwentarskich jest wskazane zarówno z ekologicznego, jak i finansowego punktu widzenia,
- możliwe jest zastosowanie także innych odnawialnych źródeł energii w celu dogrzania powietrza do zadanej temperatury, co pozwoli na zminimalizowanie zużycia energii elektrycznej na potrzeby wentylacyjno-grzewcze budynków inwentarskich,
- bazowanie tylko i wyłącznie na energii elektrycznej jako źródle ciepła dla ogrzania powietrza wentylacyjnego w dużych budynkach inwentarskich jest wygodne, ale nieuzasadnione ekonomicznie i nie przynosi korzyści ekologicznych.

Na podstawie ostrożnych założeń przyjętych w analizie ekonomicznej (brak wzrostu cen energii elektrycznej) wykazano opłacalność inwestycji, dla której okres zwrotu wyniósł niewiele ponad 7 lat, a wewnętrzna stopa zwrotu  $IRR=10,6\%$ . Dla tego typu inwestycji, w której wykorzystuje się energię odnawialną, okres zwrotu poniżej 10 lat jest uważany za bardzo dobry wynik potwierdzający celowość przedsięwzięcia. Należy podkreślić, że w analizie nie uwzględniono dodatkowych wpływów (dość częstych dla tego typu inwestycji proekologicznych), jakimi są np.: dotacje z *Regionalnego Funduszu Ochrony Środowiska* czy *Agencji Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa*. Jednak w przypadku pozyskania takich środków wskaźniki ekonomiczne mogą ulec dodatkowej poprawie.

Autorzy artykułu składają podziękowania p. Andrzejowi Sikorze, kierownikowi Utrzymania Ruchu z Zakładu Doświadczalnego Instytutu Zootechniki Państwowego Instytutu Badawczego w Żernikach Wielkich, za udostępnienie danych technicznych i energetycznych niezbędnych do realizacji niniejszej pracy.

## Literatura

- Danielewicz, J.; Golecki, K. (2010). *Poradnik projektanta systemów grzewczych*. Wrocław, Oficyna Wydawnicza PWR, ISBN 973-83-7493-535-7.
- Fred de Cocq, (2011). *Mikroklimat w pomieszczeniach dla świń – czynnik istotnie determinujący ich zdrowotność*. Pozyskano z: <http://www.konferencjaswinie.pl/referaty/2011/FreddeCocq.pdf>
- Karłowski, J.; Nawrocka, M. (2001). Zmiany technologiczne w budynkach inwentarskich dla trzody chlewnej. *Trzoda Chlewna*, 39(10), 102-107.
- Mielcarek, P. (2012). Weryfikacja wartości współczynników emisji amoniaku i gazów cieplarnianych z produkcji zwierzęcej. *Inżynieria Rolnicza*, 4(139) T.1, 267-276.
- Mikułka, M. (red.). (2003). *Charakterystyka technologiczna hodowli drobiu i świń w Unii Europejskiej*. Warszawa, Ministerstwo Środowiska. Pozyskano z: <http://ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/HODOWLA.pdf>
- Myczko, A. (1998). *Projektowanie, budowa i wyposażanie budynków inwentarskich - praca zbiorowa*. Warszawa, IBMER, ISBN: 83-86264-49-7.
- Rokicki, E.; Kolbuszowski, T. (1999). *Higiena zwierząt*. Warszawa. Fundacja Rozwój SGGW. ISBN 83-7274-000-3.

- Skorek, J. (2002). *Ocena efektywności energetycznej i ekonomicznej gazowych układów kogeneracyjnych małej mocy*. Gliwice, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. ISBN 83-7335-127-2.
- Szlachta, J. (2011). *Inżynieria w produkcji zwierzęcej – rozwój – zastosowanie praktyczne*. W: Juliszewski, T. (red.), Kurpaska, S. (red.). (2011) *Współczesna inżynieria rolnicza – badania i zastosowania*. Kraków, DrukRol, 325-340, ISBN978-83-930818-1-3.
- Szurlej, A.; Mokrzycki, E. (2003). Ekologiczne i energetyczne oraz ekonomiczne aspekty stosowania układów wykorzystujących gaz ziemny. *Polityka Energetyczna*, T.6, z. specjalny, Kraków, Wyd. Instytutu GSMiE PAN, 199-211.

## THE USE OF GROUND HEAT EXCHANGER IN INVENTORY FACILITIES

**Abstract.** The article presents a concept of using a ground heat exchanger of gravel-water type for air conditioning and support of heating of the existing inventory facilities, where pigs are bred. Analysis of piggery demand for degree of air and heat exchange was analysed. Based on current consumption of electric energy for air-conditioning and heating needs of inventory facilities, a concept alternative solution based on the ground heat exchanger was suggested. Moreover, economic analysis of the execution of the undertaking was carried out. It was proved that the use of gravel and water ground heat exchanger in the air-conditioning system and the system of heating inventory facilities allows maintaining appropriate climatic conditions and is justified both from the economic and ecological point of view.

**Key words:** ground heat exchanger, air conditioning, inventory facility, pigs

**Adres do korespondencji:**

Arkadiusz Dyjakon; e-mail: arkadiusz.dyjakon@up.wroc.pl  
Instytut Inżynierii Rolniczej  
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
ul. Chełmońskiego 37/41  
51-630 Wrocław