

PAŹIK RAFAŁ<sup>\*</sup>, KOSTECKI JAKUB<sup>\*\*</sup>

## PRACA GRUNTOWEGO WYMIENNIKA CIEPŁA NA TLE ZMIENNYCH WARUNKÓW ATMOSFERYCZNYCH

### *Streszczenie*

*W pracy omówiono zastosowanie gruntowego żwirowego wymiennika ciepła wykorzystywanego w systemach wentylacji z odzyskiem ciepła. Analizie poddano skuteczność pracy w zmiennych warunkach atmosferycznych, obejmujących zimę oraz lato. Zaprezentowano wyniki uzyskanych, dzięki wymiennikowi, temperatur i oceniono odczuwalny komfort po całorocznej eksploatacji.*

Słowa kluczowe: gruntowy wymiennik ciepła, rekuperacja, wentylacja, chłodzenie pasywne, GZWC

### WSTĘP

Wzrastająca potrzeba poczucia komfortu wewnątrz obiektów budowlanych wymusza coraz to nowsze sposoby pozyskiwania ciepła lub chłodu. Idea zrównoważonego rozwoju wymaga jednocześnie aby były to systemy niskoenergetyczne [2006/32/WE]. Bardzo często w tym celu wykorzystuje się odnawialne źródła energii.

Pompa ciepła może dostarczać ciepło lub chłód. Może to następować w sposób aktywny bądź pasywny, tzw. „natural cooling”. W praktyce spotykane są różne konstrukcje i rozwiązania technologiczne [Florides i Kalogirou, 2007], które w głównej mierze sprawdzają się w okresie jesienno-zimowym (sezon grzewczy) [Kavanaugh i Rafferty, 1997].

Zastosowanie pompy ciepła dla pracy odwróconej celem naturalnego chłodzenia, nie daje efektów porównywalnych ze standardowymi instalacjami. Wykorzystanie w sposób pasywny ciepła, wymagałoby głębokich odwiertów (do głębokości ok. 100-200 m) [Pahud i Matthey 2001; Zeng i inni 2001], co powoduje wzrost kosztów inwestycyjnych. W budownictwie mieszkaniowym jedno-

---

<sup>\*</sup> Doktorant Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego

<sup>\*\*</sup> Zakład Ochrony i Rekultywacji Gruntów, Instytut Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego

rodzinnym szerszego znaczenia może nabrać zastosowanie przeponowych gruntowych żwirowych wymienników ciepła o poziomym przepływie (GŻWC), które zarówno w okresie letnim jak i zimowym przyczyniają się do zmniejszenia kosztów eksploatacyjnych [Esen i inni 2007, Inalli i Esen 2004]. Ponadto powietrze po przejściu przez GŻWC ma lepszą czystość mikrobiologiczną w porównaniu z powietrzem zewnętrznym [Szponar i Iwanicka 2006]. W tym względzie bardzo interesującym wydaje się być możliwość analizy całorocznej pracy takiego wymiennika i wykazania korzyści z tak z prostego i zarazem niedrogiego rozwiązania.

### CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ I TEZY PRACY

Obiekt doświadczalny zlokalizowano w zachodniej Polsce, w okolicy Zielonej Góry ( $51^{\circ}59'12''$  N  $15^{\circ}33'57''$  E).

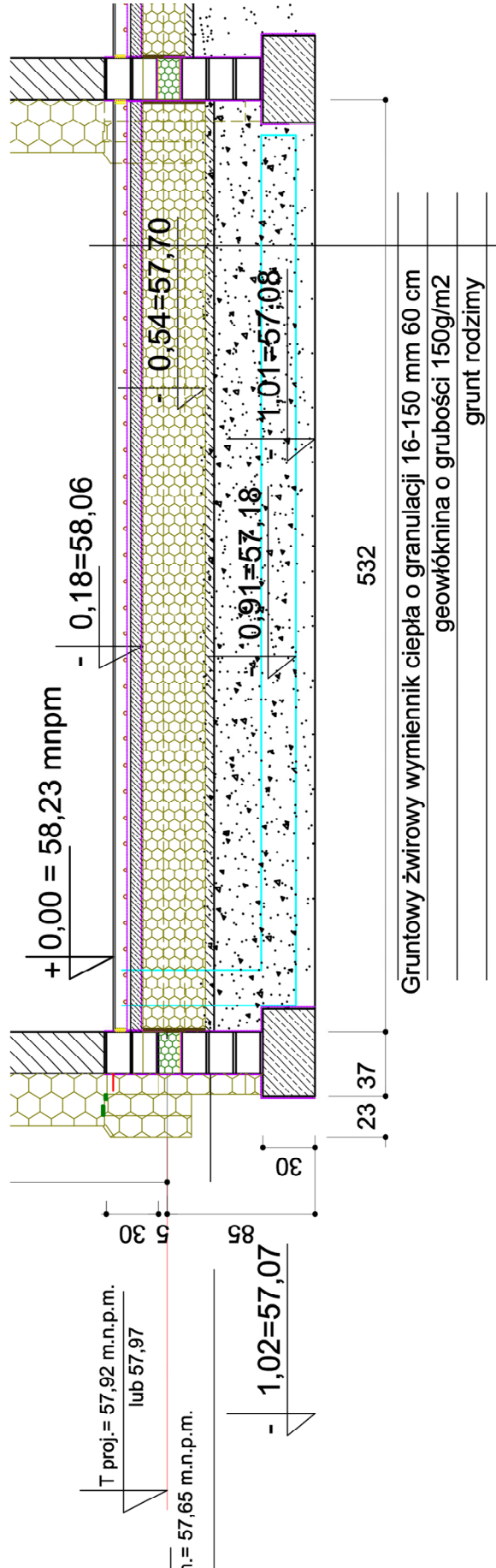
Wymiennik gruntowy zbudowany jest z dwóch komór – zewnętrznej (A), o wymiarach  $1,5 \times 2,0 \times 0,5$  m i wewnętrznej (B) o wymiarach  $5,3 \times 6,9 \times 0,55$  m (rys. 2). Obie komory wypełnione są 35 t żwiru o uziarnieniu 16 - 32 mm. W części głównej wymiennika, przy ścianach zewnętrznych umieszczono poziomo rury PVC o średnicy 200 mm (rys. 1, 3-4).

Zadaniem zewnętrznego wymiennika (A) jest wstępne podniesienie bardzo niskiej temperatury przed wprowadzeniem mroźnego powietrza bezpośrednio w sąsiedztwo ściany fundamentowej i do głównej części wymiennika (B). Nad dużą komorą (B) umiejscowiono jednorodzinny budynek mieszkalny, oddzielony od warstwy żwiru ociepleniem (styropian o grubości 36 cm) (rys. 1, 3-4).

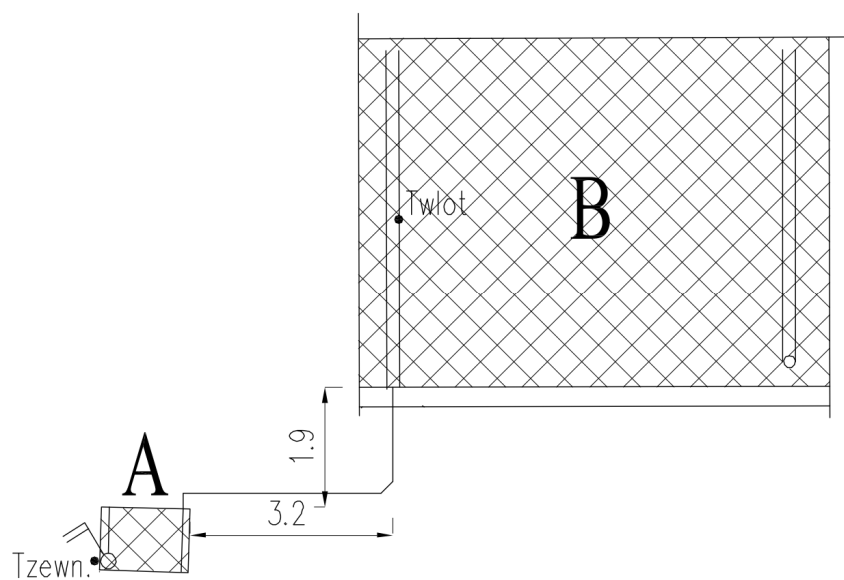
W obiekcie nie zastosowano wentylatorów wspomagających działanie wymiennika - powietrze zasysane jest przez wentylatory w centrali wentylacyjnej z odzyskiem ciepła. Maksymalna wydajność instalacji to  $450 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Zapewnia ona latem 2 wymiany powietrza na godzinę. W okresie zimowym utrzymanie wilgotności na poziomie 50 - 55% gwarantuje strumień powietrza wentylacyjnego na poziomie ok.  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  (0,3 wymiany na godzinę). Całkowita moc elektryczna pobierana przez centralę z odzyskiem ciepła przy maksymalnym przepływie (lato) to 135 W, a minimalna (zima) to 7 W.

W pracy wyznaczono następujące tezy:

- praca gruntowego żwirowego wymiennika ciepła latem gwarantuje utrzymanie komfortu na odpowiednim poziomie,
- uzyskiwane temperatury za wymiennikiem zimą w okresach największych mrozów są dodatnie, co sprzyja skutecznej pracy systemu wentylacyjnego z odzyskiem ciepła,
- dzięki pracy naprzemiennej letnio/zimowej wymiennik może skutecznie pracować przez cały rok bez konieczności jego dodatkowej regeneracji.



Rys. 1. Schemat budowy gruntowego żwirowego wymiennika ciepła  
 Fig. 1. The scheme of the ground heat exchanger



Rys. 2. Schemat wymiennika  
Fig. 2. Diagram of the exchanger



Rys. 3. Włot do wymiennika  
Fig. 3. Inlet to the exchanger



Rys. 4. Wylot z wymiennika  
Fig. 4. Outlet from the exchanger

#### METODYKA BADAŃ

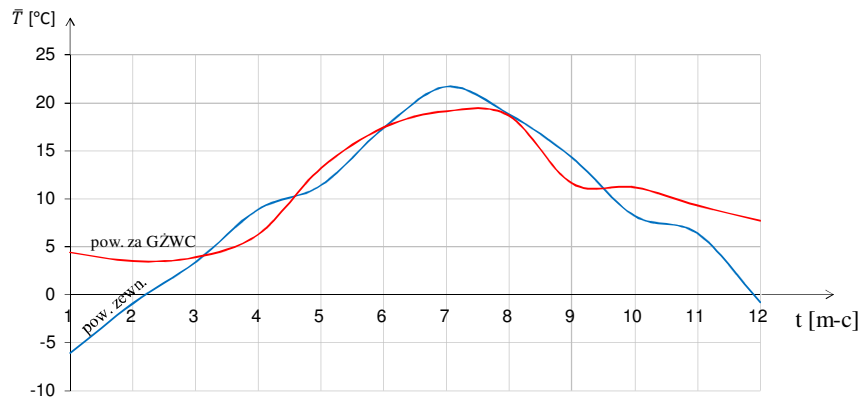
Badania prowadzono na przełomie 2009 i 2010 roku. Pomiarami objęto zmiany temperatury w układzie punktowym, przy pomocy czujników Pt100. Czujniki zostały skalibrowane poprzez pomiar topniejącego lodu, a poprawki uwzględnione w badaniach. Punkty badawcze umieszczono na zewnątrz budynku ( $T_{zewn.}$ ) oraz w jego wnętrzu, jako średnia temperatura ze wszystkich pomieszczeń w domu ( $T_{wewn.}$ ), oraz na wylocie z dużej komory wymiennika (B) ( $T_{wylot}$ ) i na wlocie do dużej komory wymiennika ( $T_{wlot}$ ) - wg rys 1. Odczytu temperatur dokonywano 3 razy w ciągu doby – ok. godz. 7.00 rano, ok. 15.00 i ok. 23.00. Badaniami objęto sezon letni oraz zimowy (12 miesięcy).

Centrala z odzyskiem ciepła oraz wymiennik ciepła pracowały z maksymalną wydajnością ( $450 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) od czerwca do sierpnia w godzinach 6:00-22:00. W godzinach 22:00-6:00 system pracował z automatycznym wyborem najniższej temperatury nawiewanej do centrali (0,5 wymiany na godzinę, pobór ok. 30 W).

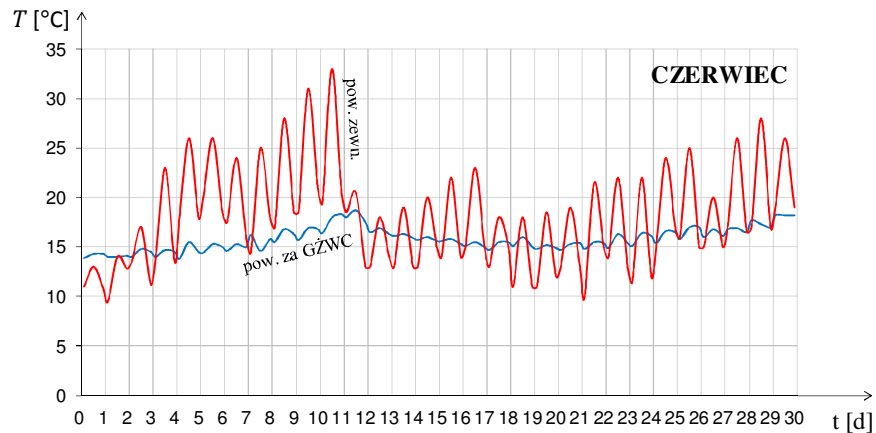
W pozostałych miesiącach system pracował z minimalną wydajnością  $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  ( $0,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , dla utrzymania komfortu i wymaganej wilgotności powietrza - ok. 55%, zużycie energii na poziomie 7 W). Nawiew do pomieszczeń czystych, a wywiew z pomieszczeń brudnych odbywał się za pomocą anemostatów sufitowych.

## WYNIKI BADAŃ

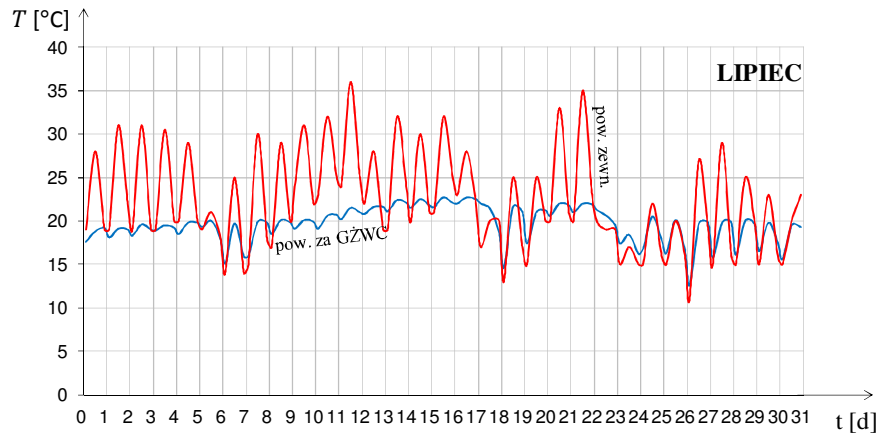
Na rysunku 4 przedstawiono przebieg średniej temperatury powietrza zewnętrznego oraz powietrza za GZWC w poszczególnych miesiącach w ciągu roku. Natomiast na rysunkach 5 - 7 zaprezentowano temperatury w ciągu poszczególnych dni za wymiennikiem dla miesięcy letnich: czerwca, lipca i sierpnia w roku 2010. Rysunek nr 8 pokazuje całoroczny wykres temperatur w różnych miejscach pomiaru.



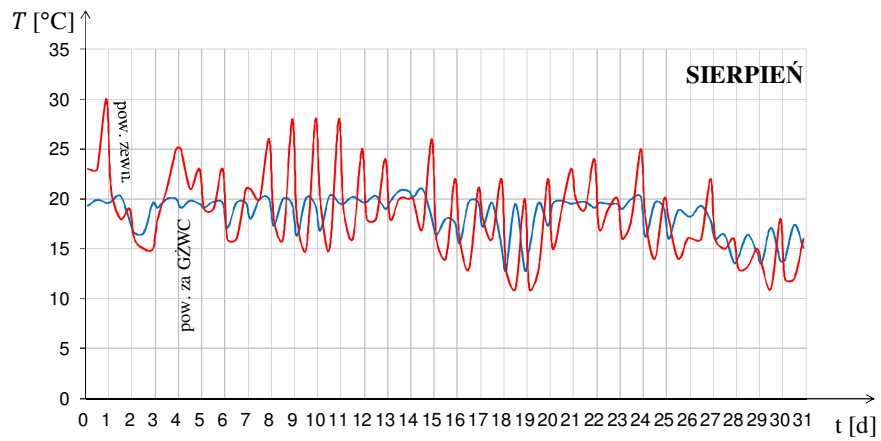
Rys. 5. Roczny wykres temperatur  
Fig. 5. Mean annual temperature



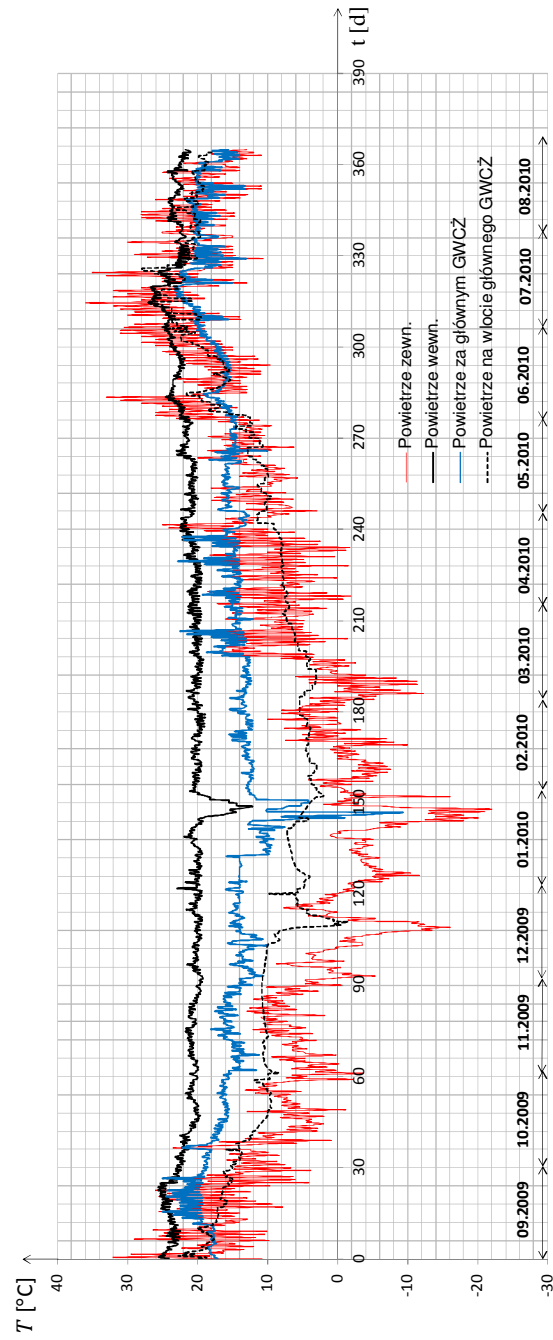
Rys. 6. Dzienny wykres temperatur – czerwiec  
Fig. 6. Mean daily temperature - June



Rys. 7. Dzienny wykres temperatur – Lipiec  
Fig. 7. Mean daily temperature - July



Rys. 8. Dzienny wykres temperatur – Sierpień  
Fig. 8. Mean daily temperature – August



Rys. 9. Roczny wykres temperatur w punktach pomiarowych – 2009/2010  
Fig. 9. Mean annual temperature in measurement points– 2009/2010



Analiza statystyczna wykazała wysoce istotną zależność pomiędzy temperaturą wewnątrz obiektu a temperaturą w poszczególnych punktach pomiarowych (tab. 1).

Tab. 1 Analiza korelacji temperatur w punktach badawczych

Tab. 1 Correlation matrix of temperature in measurement points

Zmienne, °C	Średnia	Odchylenie standardowe	Temp.zew.	Temp.wlot	Temp.wylot	Temp.wew.
Sezon letni, $p < 0,010$ , $n = 399$						
Temp.zew.	18,03	5,49	1,00	0,53*	0,59*	0,59*
Temp.wlot	18,62	3,85	0,53*	1,00	0,62*	0,61*
Temp.wylot	18,23	2,50	0,59*	0,62*	1,00	0,75*
Temp.wew.	23,20	1,37	0,59*	0,61*	0,75*	1,00
Sezon zimowy, $p < 0,010$ , $n = 696$						
Temp.zew.	3,44	7,46	1,00	0,57*	0,67*	0,57*
Temp.wlot	7,83	3,26	0,57*	1,00	0,52*	0,52*
Temp.wylot	14,28	2,94	0,67*	0,52*	1,00	0,70*
Temp.wew.	20,36	1,22	0,57*	0,52*	0,70*	1,00

\* korelacja wysoce istotna

## PODSUMOWANIE

Zastosowanie standardowych systemów chłodzenia i wstępnego podgrzewu powietrza wymaga dodatkowych nakładów inwestycyjnych. Dodatkowe elementy wpływają również na wzrost kosztów eksploatacyjnych [Congedo i inni., 2012].

W celu zminimalizowania ponoszonych nakładów finansowych, dobrym rozwiązaniem wydaje się być gruntowy zwirowy wymiennik ciepła [Pązik 2010]. Zastosowanie go zimą gwarantuje pracę systemu wentylacyjnego z odzyskiem ciepła bez konieczności jego odszraniania przy temperaturach poniżej 0°C. Podnosi to jednocześnie sprawność temperaturą całego układu, co podkreślają wyniki analizy statystycznej. Takie rozwiązanie umożliwia w okresie letnim schłodzenie temperatury zewnętrznej do wartości poniżej 20°C. Może to gwarantować poczucie komfortu pomimo braku standardowego systemu chłodzenia z wykorzystaniem np. wody lodowej.

Temperatura nawiewana na początku lata wynosiła ok. 14-15°C a na koniec sierpnia dochodziła do ok 20-21°C. Związane było to ze wzrostem temperatury całego złoza. Podobne dane figurują w innych opracowaniach [Link Air 2013]. Wymiana powietrza z intensywnością 1,5-2 w ciągu godziny pozwalała na podniesienie odczuwalnego komfortu latem, co świadczy o skutecznej możliwości wykorzystania GZWC do celów chłodzenia.

Lekkie pogorszenie komfortu cieplnego było odczuwalne jedynie podczas wzmożonych jednoczesnych działań związanych z przygotowywaniem większych posiłków, gotowaniem, pieczeniem itp.

Odpowiednio zaprojektowany i wykonany wymiennik pozwala na pracę naprzemienną w układzie ciągłym: zima/lato. Nie występuje wówczas konieczność dodatkowej regeneracji i pracy np. w cyklu 12/12 (12 h pracy i 12 h regeneracji), co jest widoczne na rysunku 9.

Na podstawie badań, zgodnie z rysunkami, 5-9 powietrze po przejściu przez wymiennik charakteryzuje się stabilnością, również stabilizując temperaturę wewnątrz obiektu. Istotnym jest to, że w obiekcie nie było zamontowanych żadnych rolet i innych elementów ograniczających dopływ promieni słonecznych, podnoszących temperaturę. Pomimo to, utrzymywała się ona wewnątrz przez cały rok w zakresie ok. 20-26°C.



Autor jest stypendystą w ramach Poddziałania 8.2.2 „Regionalne Strategie Innowacji”, Działania 8.2 „Transfer wiedzy”, Priorytetu VIII „Regionalne Kadry Gospodarki” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej i z budżetu państwa

## LITERATURA

1. 2006/32/WE Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 kwietnia 2006 r. w sprawie efektywności końcowego wykorzystania energii i usług energetycznych oraz uchylająca dyrektywę Rady 93/76/EWG.
2. CONGEDO P.M., COLANGELO G., STARACE G., 2012: CFD simulations of horizontal ground heat exchangers: A comparison among different configurations, *Applied Thermal Engineering*, 33-34, s. 24-32.
3. ESEN H., INALLI M., ESEN M., PIHTILI K., 2007: Energy and energy analysis of a ground-coupled heat pump system with two horizontal ground heat exchangers, *Building i Environment*, 42, s. 3606-3615.
4. FLORIDES G., KALOGIROU S., 2007: Ground heat exchangers e a review of systems, models and applications, *Renewable Energy*, 32, s. 2461-2478.
5. INALLI M., ESEN H., 2004: Experimental thermal performance evaluation of a horizontal ground-source heat pump system, *Applied Thermal Engineering* 24, s. 2219-2232.
6. KAVANAUGH S.P., RAFFERTY K.: Ground source heat pumps - design of geothermal systems for commercial and institutional buildings. *ASHRAE Applications Handbook*, USA, 1997.

7. LINK AIR, 2013: Wentylacja Klimatyzacja Rekuperacja: Gruntowy, żwirowy wymiennik ciepła – same korzyści. Dostępny (05.04.2013) w World Wide Web: <http://www.linkair.pl/gruntowy-zwirowy-wymiennik-ciepła-same-korzyści,3652.html>.
8. PAHUD D., MATTHEY B., 2001: Comparison of the thermal performance of double U-pipe borehole heat exchangers measured in situ, *Energy and Buildings*, 33, s. 503-507.
9. PAŹIK R., 2010: Budowa, koszty i eksploatacja domu pasywnego. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego. Inżynieria Środowiska*, 138 (18), s. 125-145.
10. SZPONAR B, IWANICKA M., 2006: Gruntowy wymiennik ciepła - Mikrobiologiczna czystość. *Magazyn Instalatora*, 2 (90), s. 18-19.
11. ZENG H., DIAO N., FANG Z., 2001: Efficiency of vertical geothermal heat exchangers in the ground source heat pump system, *J. of Thermal Science*, 12 (1), s. 77-81.

## **THE EFFICIENCY OF THE GROUND-COUPLED HEAT EXCHANGER UNDER VARYING WEATHER CONDITIONS**

### *S u m m a r y*

*In this article we present the work of the ground-coupled heat exchanger working in the systems with heat recovery. Efficiency of work under varying weather conditions, including winter and summer were analyzed. We also present the results of the temperature and comfort after a year-long operation.*

Key words: ground-coupled heat exchanger, recuperation, ventilation, passive cooling, GHE