

Tomasz ŚLIWA<sup>1</sup>, Andrzej GONET<sup>1</sup>, Aneta SAPIŃSKA-ŚLIWA<sup>1</sup>, Albert ZŁOTKOWSKI<sup>1</sup>

## LABORATORIUM GEOENERGETYKI – 10 LAT DZIAŁALNOŚCI NA AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ W KRAKOWIE

### STRESZCZENIE

Dynamiczny rozwój systemów pozyskiwania energii odnawialnej, a także racjonalizacja gospodarki cieplnej, przyczyniły się 10 lat temu do budowy Laboratorium Geoenergetyki na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH w Krakowie. Jednym z ważnych czynników decydujących o budowie są wcześniejsze prace nad wykorzystaniem wyeksploatowanych i negatywnych otworów do celów geotermalnych. Prowadzone aktualnie w Laboratorium badania dzisiaj i jego funkcje zostały opisane w niniejszym artykule.

Laboratorium bazuje na różnych typach otworowych wymienników ciepła. Zostały one zbadane pod kątem ich efektywnej przewodności cieplnej  $\lambda_{ef}$  i odporności termicznej  $R_b$ . Przeprowadzone w nich testy reakcji termicznej wykorzystano do opracowania metodyki i weryfikacji testów przewodnictwa cieplnego wymienników otworowych. Wyniki takiego testu mogą być stosowane do optymalizacji struktury i technologii eksploatacji dużych podziemnych magazynów ciepła bazujących na otworowych wymiennikach ciepła.

System wymienników otworowych może współpracować z różnymi typami kolektorów słonecznych, które w odpowiedniej strefie klimatycznej mogą być idealnym źródłem do regeneracji zasobów podziemnego magazynu ciepła.

### SŁOWA KLUCZOWE

Geotermalne pompy ciepła, test reakcji termicznej, otworowe wymienniki ciepła, geoenergetyka

\* \* \*

---

<sup>1</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Laboratorium Geoenergetyki, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: sliwa@agh.edu.pl

## WPROWADZENIE

Opisując Laboratorium Geoenergetyki należy przedyskutować samo pojęcie geoenergetyki. Jest to dział energetyki, który zajmuje się geotermią i magazynowaniem ciepła w górotworze. Pojęcie geotermii jest nieco węższe, ponieważ dotyczy wyłącznie energii geotermalnej. Geotermia jest więc działem energetyki (techniki oraz nauki), która zajmuje się poszukiwaniem, udostępnianiem, eksploatacją, transportem i wykorzystaniem energii geotermalnej. Istnieją również opinie, że geotermia jest działem geologii, ale wtedy nie obejmowałaby szerokiego zagadnienia wykorzystania ciepła Ziemi.

Poszerzenie zagadnienia o możliwości magazynowania ciepła w górotworze nie mieści się w pojęciu geotermii ze względu na możliwości magazynowania ciepła różnego pochodzenia. Najczęściej dotyczy to w praktyce ciepła słonecznego magazynowanego w górotworze wynikającego z procesu klimatyzacji wewnątrz. Taki proces magazynowania można również nazwać regeneracją (sztuczną) zasobów ciepła w górotworze.

Geoenergetyka nie obejmuje magazynowania energii, tzn. nie zajmuje się np. podziemnymi magazynami gazu lub paliw ciekłych. Nie dotyczy też magazynowania w górotworze energii w formie ciśnienia. Zagadnienia podziemnego zgazowania węgla również się do geoenergetyki nie zaliczają. Stąd istotne w definicji geoenergetyki jest podkreślenie pojęcia ciepła (często nazywanego popularnie również energią cieplną lub grzewczą), a nie energii. Do geoenergetyki należy natomiast zaliczyć magazynowanie ciepła w sztucznych lub naturalnych geologicznych złożach materiałów zmiennofazowych (np. w sztucznych złożach parafiny).

W literaturze używane są pojęcia magazynów ciepła w geologicznych warstwach przepuszczalnych, gdzie ciepło magazynowane jest w wodzie (ATES – *Aquifer Thermal Energy Storages*) oraz magazynów ciepła wykonanych w oparciu o otworowe wymienniki ciepła (BTES – *Borehole Thermal Energy Storages*) (Chiasson 2016).

Dyskusja powyższych pojęć stanowi istotę nazwy Laboratorium Geoenergetyki na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Nazwa definiuje zakres działalności. Powstałe w 2007 roku Laboratorium zajmuje się więc głównie działalnością badawczą, projektową, konsultacyjną i dydaktyczną dotyczącą:

a) wód geotermalnych i podziemnych, wykorzystywanych także za pośrednictwem pomp ciepła (absorpcyjnych i sprężarkowych) – co w skrócie można objąć pojęciem „wody geotermalne”,

b) pozyskiwania i magazynowania ciepła ze skorupy ziemskiej bez eksploatacji masy, co możliwe jest do wykorzystania głównie za pośrednictwem sprężarkowych (geotermalnych) pomp ciepła – w skrócie można objąć pojęciem „geotermalne pompy ciepła”.

W tych dwóch obszarach działalność Laboratorium obejmuje głównie poszukiwania (geofizykę), udostępnianie (wiercenia) i eksploatację górotworu dla pozyskiwania i magazynowania ciepła. W mniejszym zakresie także zagadnienia wykorzystania ciepła geotermalnego i pozyskiwania ciepła w celu jego magazynowania i późniejszej eksploatacji.

Laboratorium powstało z inicjatywy dra hab. inż. Tomasza Śliwy oraz prof. dra hab. inż. Andrzeja Goneta w Katedrze Wiertnictwa i Geoinżynierii. Główny zespół Laboratorium

Geoenergetyki Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, działającego przy Katedrze Wiertnictwa i Geoinżynierii tworzą autorzy niniejszej publikacji. Z pośród pracowników AGH z Laboratorium współpracują jeszcze Zbigniew Jezuit, Tomasz Kowalski, Marcin Maciaszek, Paweł Zapiór oraz Aleksandra Andruchowycz. Ponadto doktoranci oraz osoby spoza AGH.

## 1. LABORATORYJNE INSTALACJE Z OTWOROWYMI WYMIENNIKAMI CIEPŁA

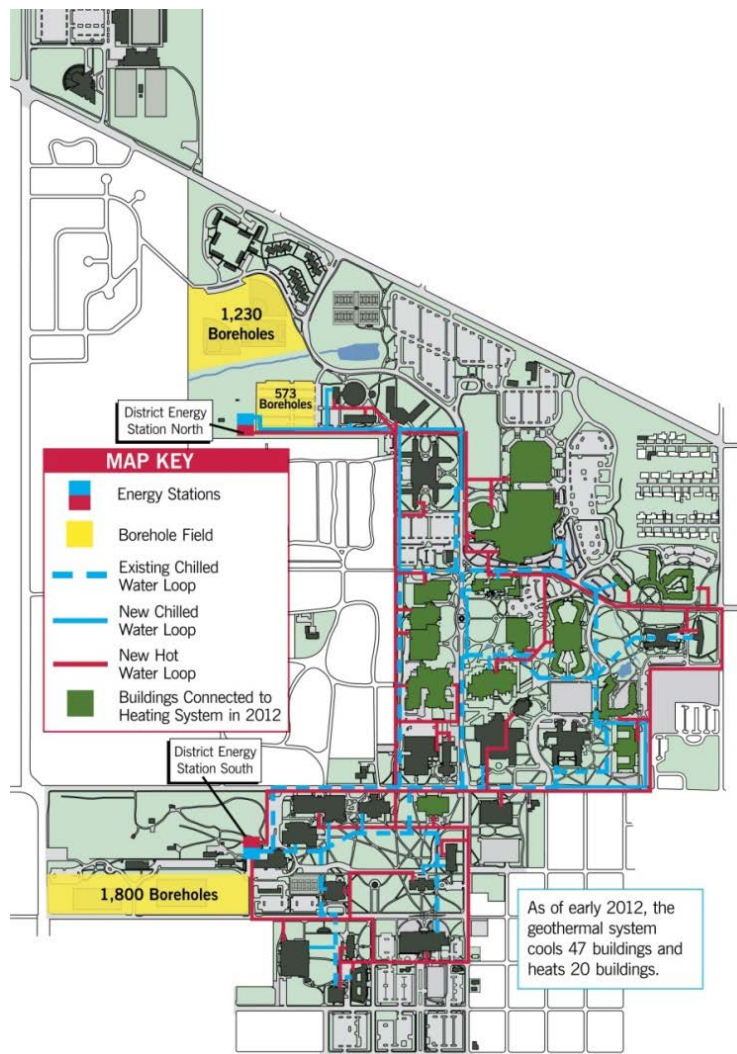
Coraz popularniejszą technologią utrzymania komfortu cieplnego w budynkach mieszkalnych i komercyjnych jest podziemne magazynowanie energii cieplnej (UTES – *Underground Thermal Energy Storage*). Większość UTES opiera się na otworowych wymiennikach ciepła (BHE – *Borehole Heat Exchanger*), które mogą być wykorzystywane do ogrzewania i klimatyzacji wewnątrz budynków. Największe istniejące instalacje mają ponad 1000 BHE. Jednym z takich przykładów jest system Ball State University, Indiana, USA (Lund i in. 2010), dla którego rozmieszczenie pola BHE pokazano na rysunku 1. Ta instalacja ma głębokości BHE w zakresie od 122 do 152 m.

Rosnące zainteresowanie BHE sprzyjało intensyfikacji badań w tym obszarze i rozwojowi zaawansowanych systemów. Niektóre systemy BHE do ogrzewania albo zarówno ogrzewania, jak i chłodzenia, są instalowane na uniwersytetach i w obiektach rządowych, do celów operacyjnych, demonstracyjnych i badawczych. Należą do nich system Ball State University, a także na:

- Technicznym Uniwersytecie w Ostrawie (VSB) (Czechy). System otworowych wymienników ciepła na tym uniwersytecie został pokazany na rysunku 2 i opisany przez Bujoka i in. (2012),
- Luleå University of Technology, Luleå (Szwecja). Uniwersytet ten posiada pierwszy większy system otworowych wymienników ciepła wykonany w latach 1982–1983 (Nordell 1994),
- University of Ontario Institute of Technology, Oshawa (Kanada). Wizualizację tego system pokazano na rysunku 3 i opisano w (Koochi-Fayegh i Rosen 2012),
- od 2007 roku także AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii. Rozmieszczenie wymienników otworowych pokazano na rysunku 4 i opisano przez Śliwę i Goneta (2011).

Podczas gdy pojedyncze lub liczne płytkie wymienniki otworowe (< 200 m głębokości) są często wykorzystywane do ogrzewania (i/lub chłodzenia) w połączeniu z pompą ciepła, głębokie wymienniki otworowe (do kilku kilometrów głębokości) wytwarzają temperatury wystarczająco wysokie do bezpośredniego użytku, ogrzewając kilka budynków a czasami dzielnice, w zależności od głębokości, średnicy i natężenia przepływu nośnika ciepła (Mottaghy i Dijkshoorn 2012).

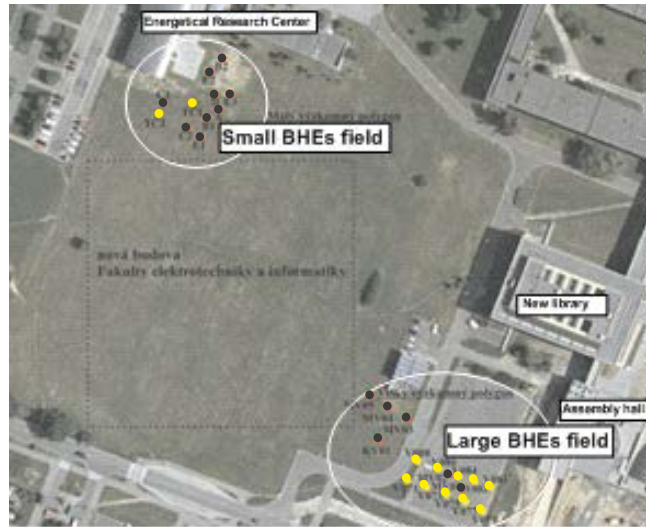
Jedną z podstawowych funkcji laboratoriów opisanych powyżej i poniżej jest badanie otworowych wymienników ciepła pod kątem ich mocy grzewczej. Badanie takie dotyczy



Rys. 1. Ilustracja UTES na Ball State University, Indiana, USA, przedstawiająca pola otworowych wymienników ciepła i mapę rurociągów ([cms.bsu.edu](http://cms.bsu.edu))

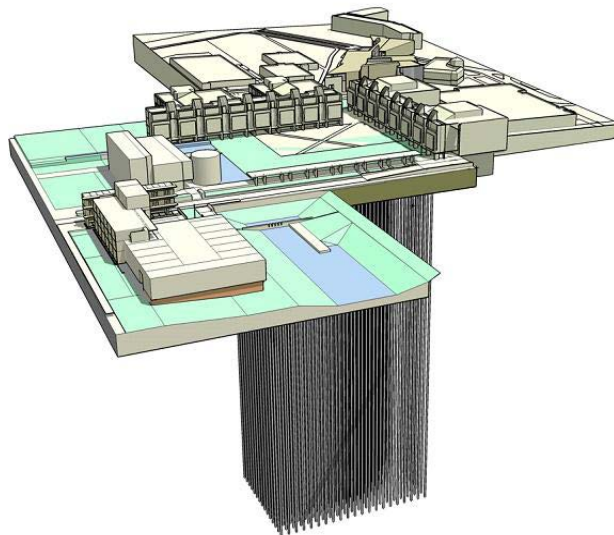
Fig. 1. Illustration of UTES at Ball State University, Indiana, US, showing the BHE fields and pipeline map ([cms.bsu.edu](http://cms.bsu.edu))

szczególnie instalacji o większych mocach, tj. od 100 kW. Dzięki określeniu mocy pojedynczego otworu możliwe jest właściwe zwymiarowanie instalacji, a zwłaszcza określenie właściwej liczby otworów. Zbyt duża liczba otworów (przewymiarowanie) pociąga za sobą zwiększone koszty inwestycyjne, natomiast zbyt mała liczba otworów (niedowymiarowanie) powoduje zwiększone koszty eksploatacyjne. Właściwe dobranie liczby otworów po zbadaniu pierwszego umożliwiają analizy geoenergetyczne, które są prognozami eksploatacji.



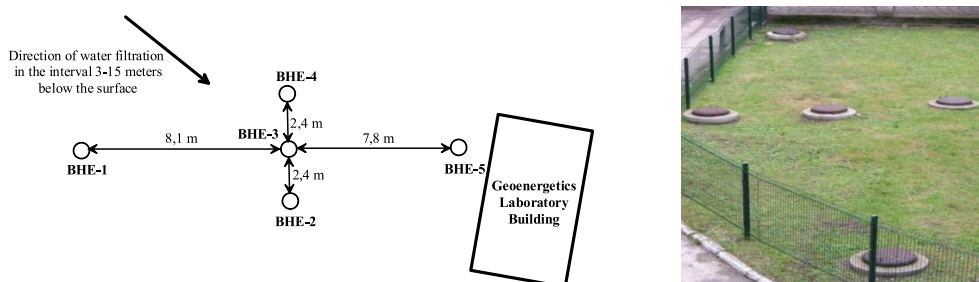
Rys. 2. Odwierty i otwory testowe na TU w Ostrawie (VSB) (Bujok i in. 2012). Jasne kropki oznaczają otworowe wymienniki ciepła, a ciemne kropki otwory testowe

Fig. 2. Wells and test boreholes at TU in Ostrava (VSB) (Bujok et al. 2012). Light dots indicate borehole heat exchangers, and dark dots indicate test boreholes



Rys. 3. System magazynowania energii cieplnej w górotworze pod budynkami uniwersyteckimi University of Ontario Institute of Technology (engineering.uoit.ca)

Fig. 3. Thermal energy storage system in a rock mass under buildings of University of Ontario Institute of Technology (engineering.uoit.ca)



Rys. 4. Układ pola otworów w Laboratorium Geoenergetyki Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. BHE-1 to system współosiowy, BHE-2, BHE-3 i BHE-4 to otwory o pojedynczej konstrukcji U-rurowej i różnych uszczelnieniach, a BHE-5 ma konstrukcję z podwójną U-rurką (Śliwa i Gonet 2011)

Fig. 4. The arrangement of the borehole field in the Geoenergetics Laboratory of the Drilling, Oil and Gas Faculty of the AGH University of Science and Technology in Krakow. BHE-1 is a coaxial system, BHE-2, BHE-3 and BHE-4 are BHEs with a single U-tube structure and various grouts, and the BHE-5 is constructed with a double U-tube (Śliwa and Gonet 2011)

## 2. Utworzenie Laboratorium Geoenergetyki

Trudno jednoznacznie określić konkretną datę jako początek funkcjonowania Laboratorium. Na WwNiG AGH zagadnienia geotermii pojawiały się już w XX wieku (m.in. Śliwa 1996, 1998, 1999).

Przyjmując kryterium posiadania własnej lokalizacji (stanowisk laboratoryjnych, pomieszczenia) za początki Laboratorium należy uznać:

- opracowanie i wykonanie pierwszych w Polsce testów reakcji termicznej (TRT – *Thermal Response Test*), co miało miejsce na przełomie lat 2006/2007,
- przygotowanie i zgłoszenie wniosku grantowego na wykonanie i badania otworowych wymienników ciepła (styczeń 2007 r.),
- początek wiercenia otworów w celu pozyskiwania ciepła Ziemi – otworowych wymienników ciepła – na terenie AGH (na przełomie 2007/2008), co przedstawia rysunek 5.

W 2017 r., na dziesięciolecie działalności Laboratorium Geoenergetyki wykonano 14 nowych otworowych wymienników ciepła. Realizację oraz efekt prac pokazano na rysunkach 6 i 7.





*Rys. 5. Wiertnica URB 2A wykonująca pierwszy otwór w celu zainstalowania rur wymiennika ciepła w 2008 r.*  
*Fig. 5. URB 2A drilling rig performing the first borehole to install the heat exchanger pipes in 2008*



*Rys. 6. Wiercenie nowych wymienników otworowych na AGH w 2017 r.*  
*Fig. 6. Drilling of new borehole heat exchangers at AGH in 2017*



*Rys. 7. Nowe pole badawcze otworowych wymienników ciepła na terenie Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (2017 r.)*

*Fig. 7. New research field of borehole heat exchangers at the AGH University of Science and Technology in Krakow (2017)*

### **3. WYPOSAŻENIE LABORATORIUM GEOENERGETYKI**

Aktualnie Laboratorium wyposażone jest w wiele przyrządów pomiarowych, instalacji badawczych oraz programów komputerowych. Należy do nich aparatura do wykonywania Testów Reakcji Termicznej (TRT). Dzięki niej możliwe są pomiary efektywności energetycznej otworowych wymienników ciepła w dowolnym miejscu w terenie. Aparatura może być zasilana energią elektryczną z sieci i z agregatu prądotwórczego.

Za najważniejszą instalację badawczą należy uznać pompy ciepła pracujące w systemie dwukierunkowego przepływu ciepła (ogrzewanie i klimatyzacja), które są zasilane z otworowych wymienników ciepła. Każdy z wymienników posiada inną konstrukcję, co pokazano w tabeli 1. Wykonano także model laboratoryjny centrycznego wymiennika otworowego. Można dzięki temu badać wpływ parametrów technologicznych eksploatacji (strumień ob-

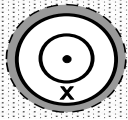
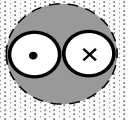
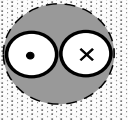
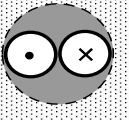
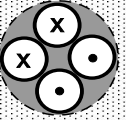


Tabela 1

## Konstrukcje starych otworowych wymienników ciepła

Table 1

## Constructions of old borehole heat exchangers

Parametr	Nazwa otworu				
	LG-1a	LG-2a	LG-3a	LG-4a	LG-5a
Konstrukcja	rura okładzinowa PE o średnicy 90 mm i grubości ścianki 5,4 mm, rura wewnętrzna PE o średnicy 40 mm i grubości ścianki 2,4 mm	pojedyncza U-rurka PE o średnicy 40 mm i grubości ścianki 2,4 mm	pojedyncza U-rurka PE o średnicy 40 mm i grubości ścianki 2,4 mm	pojedyncza U-rurka PE o średnicy 40 mm i grubości ścianki 2,4 mm	podwójna U-rurka PE o średnicy 32 mm i grubości ścianki 2,4 mm
Konstrukcja (zobrazowanie)					
Głębokość otworowego wymiennika ciepła [m]	78	82	78	78	78
Głębokość zapuszczenia rurek wymiennika [m]	78	78	78	78	78
Wypełnienie (uszczelnienie) otworu	zaczyn uszczelniający na bazie cementu	zaczyn uszczelniający na bazie cementu	zaczyn uszczelniający (ThermoCem) na bazie cementu o podwyższonej przewodności cieplnej	żwir o granulacji od 8 do 16 mm oraz dwa korki ilowe – Compactonit	zaczyn uszczelniający na bazie cementu
Przewodność cieplna materiału wypełniającego [ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ ]	$\lambda = 1,2$	$\lambda = 1,2$	$\lambda = 2,0$	$\lambda = 1,8$	$\lambda = 1,2$

jętości nośnika ciepła, charakter przepływu, rodzaj nośnika ciepła), wpływ rodzaju kolumny wewnętrznej (materiał rur i średnice) oraz wpływ dostarczanej mocy grzewczej na wymianę ciepła w wymienniku. Aparatura do pomiaru mocy grzewczej ma głównie cel dydaktyczny. Umożliwia badanie współzależności strumienia nośnika ciepła, mocy grzewczej i różnicy temperatur.

Miernik wilgotności ciał stałych służy głównie do określania wilgotności próbek skał i stwardniałego zaczynu uszczelniającego poddawanych badaniom przewodnictwa cieplnego. Przewodnictwo to mierzy się miernikiem przewodności cieplnej materiałów TT-TC-01. Pomiary temperatury w wymiennikach do głębokości 400 m badane są sondą NIMO-T do profilowania temperatury w otworach. Kamera termowizyjna ma za zadanie badanie poprawności połączenia (izolowanego cieplnie) otworowych wymienników ciepła z zestawem do TRT. Analizowane są także powierzchnie pod kątem ich temperatury, np. powierzchnia podgrzewanego parkingu (odsnieżanego ciepłem geotermalnym). Przepływomierz ultradźwiękowy umożliwia badania równomierności przepływu nośnika ciepła w wymiennikach otworowych. Mini stacja meteo prowadzi pomiary nasłonecznienia, prędkości i kierunku wiatru. Dane te mają na celu kalibrację modelu numerycznego podziemnego magazynu ciepła z wymiennikami otworowymi.

Kolektory słoneczne różnego typu – ruchome i nieruchome – służą do sztucznej regeneracji zasobów ciepła w górotworze. Ciepło słoneczne wprowadzane jest latem do górotworu, z którego zimą ogrzewana jest sala audytoryjna WWiG AGH. Układ do odsnieżania parkingu za pomocą ciepła z górotworu umożliwia także odladzanie i suszenie powierzchni parkingu. W okresie letnim możliwe jest wykorzystanie powierzchni parkingu w formie płaskiego kolektora słonecznego. Ciepło słoneczne przekazywane przez promieniowanie oraz konwekcję związaną z ruchem powietrza przekazuje ciepło poprzez powierzchnię parkingu do glikolu zawartego w rurkach pod powierzchnią kostki. Zastosowanie ciemnego koloru dałoby większe możliwości uzysku ciepła, ale wymaga to odpowiednich zgód administracji budowlanej (Śliwa i in. 2016).

Miernik poziomu wody w otworach wiertniczych, także podczas eksploatacji, umożliwia sporządzenie charakterystyki studni produkcyjnych i chłonnych działających w formie dubletu geotermalnego zasilającego pompy ciepła. Termometr bezkontaktowy umożliwia pomiary temperatury podgrzewanych próbek. Wykorzystywany jest przy pomiarach przewodnictwa cieplnego skał i stwardniałych zaczynów uszczelniających.

Nagrzewnica powietrza pierwotnie była przeznaczona do zrzutu nadwyżki mocy pojawiającej się w systemie pomp ciepła i wymienników otworowych podczas badań. Obecnie pełni również funkcję dodatkowego źródła ciepła. Umożliwia podgrzewanie zimnego nośnika ciepła (roztworu wodnego glikolu monopropylenowego) powietrzem atmosferycznym. Często zdarzają się sytuacje, kiedy nośnik ciepła pod koniec zimy jest mocno wychłodzony (np. do  $-2$ – $-4^{\circ}\text{C}$ ), a powietrze atmosferyczne ma temperaturę wyższą (np.  $+4$ – $6^{\circ}\text{C}$ ). Daje to możliwość pozyskiwania ciepła z powietrza do glikolu (Poniedziałek i Śliwa 2013). Nominalna moc nagrzewnicy wynosi 50 kW. Przy niskich parametrach jest to mniejsza wartość, ale dająca się ocenić jako istotne źródło energii do regeneracji sztucznej zasobów ciepła w górotworze.

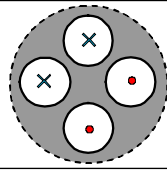
W dziesięciolecie funkcjonowania Laboratorium wzbogaciło się o następne 14 nowo wykonane otworowe wymienniki ciepła. Podobnie jak pierwsze, wiercone w 2007/2008 roku, każdy posiada inną konstrukcję (tab. 2). Aktualnie trwają ich badania. Wykonywane są profilowania temperatury, a także testy reakcji termicznej. Umożliwi to ocenę wpływu konstruk-

Tabela 2

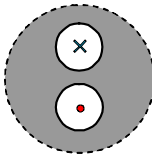
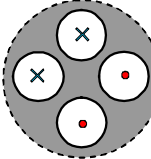
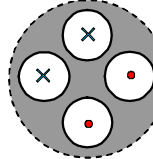
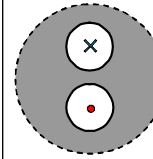
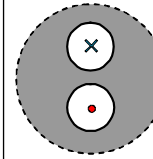
Konstrukcje nowych otworowych wymienników ciepła należących do Laboratorium Geoenergetyki

Table 2

Constructions of new borehole heat exchangers belonging to the Geoenergetics Laboratory

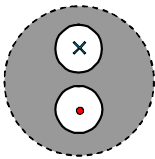
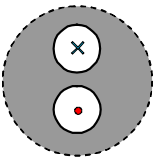
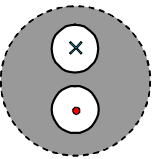
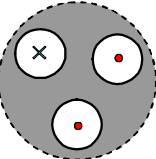
Nr otworowego wymennika ciepła	Nazwa otworu	Konstrukcja otworowego wymennika ciepła	Kolejność parametrów			Początkowe odchylenie otworu od kierunku północnego (azymut) [°]			
			4	5	6				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	LG-1b		40	zaczyn uszczelniający o podwyższonej przewodności cieplnej (TermorotaS)	32	3,0	PE, rura gładka	11	210

tab. 2 cd.  
tab. 2 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	LG-2b		50	uszczelniający o podwyższonej przewodności cieplnej (TermorotiaS)	32	3,0	PE, rura typu turbocollector	4	90
3	3		40	uszczelniający o podwyższonej przewodności cieplnej (TermorotiaS)	32	3,0	PE, rura typu turbocollector	10	270
4	4		40	uszczelniający o podwyższonej przewodności cieplnej (TermorotiaS)	32	3,0	PE, rura typu turbocollector	4	90
5	5		50	uszczelniający o podwyższonej przewodności cieplnej (TermorotiaS)	40	3,0	PE, rura gładka	13	270
6	6		50	uszczelniający o podwyższonej przewodności cieplnej (TermorotiaS)	40	3,0	PE, rura typu turbocollector	4	90

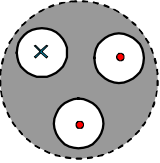
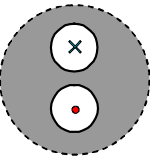
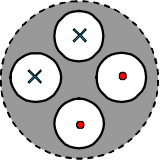
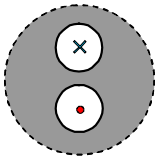
tab. 2 cd.

tab. 2 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	7		55	zaczyn uszczelniający o podwyższonej przewodności cieplnej (TermorotAS)	45	3,0	PE, rura typu turbocollector	10	270
8	8		40	zaczyn uszczelniający o podwyższonej przewodności cieplnej (TermorotAS)	32	3,0	PE, rura typu turbocollector	4	90
9	9		40	zaczyn uszczelniający o podwyższonej przewodności cieplnej (TermorotAS) w interwale 0-20 m	32	2,9	PE, rura typu turbocollector	10	270
10	10		40	zaczyn uszczelniający o podwyższonej przewodności cieplnej (TermorotAS)	40	3,0	PE, rura typu turbocollector	4	90



tab. 2 cd.  
tab. 2 cont.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	11		40	zaprawa murarska	40	3,0	PE, rura typu turbocollector	0	-
12	12		40	cement	32	2,9	PE, rura typu turbocollector	4	90
13	13		40	Zaczyn uszczelniający o podwyższonej przewodności cieplnej (Termorotax)	<p>Pierwsza U-rurka: - <math>\varnothing 32</math> – Turbocollector - <math>\varnothing 40</math> – Turbocollector</p> <p>Druga U-rurka: - <math>\varnothing 32</math> – gładka rura - <math>\varnothing 40</math> – gładka rura</p>	2,9 3,0 3,0 3,0	PE, rura typu turbocollector oraz gładka rura	0	-
14	14		40	Zaczyn uszczelniający o podwyższonej przewodności cieplnej (Termorotax) z grafitem	32	2,9	PE, rura typu turbocollector	10	180

cji na efektywność energetyczną, a także parametrów technologii eksploatacji (zwłaszcza strumienia objętości nośnika ciepła) (Gonet i in. 2012).

Do wyposażenia Laboratorium Geoenergetyki należą również stanowiska komputerowe z odpowiednim oprogramowaniem. Jednym z nich jest stosowany na całym świecie symulator numeryczny przepływu ciepła i masy w ośrodku przepuszczalnym – TOUGH2.0 wraz z pre- i postprocesorem PetraSim. Drugim symulatorem numerycznym jest opracowany specjalnie dla Laboratorium symulator BoHEX (*Borehole Heat Exchangers*). Służy on modelowaniu i prognozowaniu eksploatacji podziemnych magazynów ciepła z wymiennikami otworowymi o różnej konstrukcji i dowolnym rozmieszczeniu. Do określania zapotrzebowania na ciepło w budynkach mieszkalnych służy Audytor OZC (obliczeniowe zapotrzebowanie ciepła). Do prognozowania eksploatacji otworowych wymienników ciepła zakupiono program EED3.21 (*Earth Energy Designer*). Jest to powszechnie na świecie stosowany program wykorzystywany w praktyce inżynierskiej. Posiada jednak dwie duże wady w porównaniu z symulatorem numerycznym BoHEX, tj. nie ma możliwości obliczania dowolnego rozmieszczenia wymienników otworowych oraz brakuje możliwości uwzględniania przepływów wód podziemnych. W najnowszej wersji EED4.1 zawarto moduł ułatwiający dobór konfiguracji rozmieszczenia otworowych wymienników ciepła po zadaniu ich dowolnej lokalizacji. Nowa wersja EED4.1 będzie zakupiona pod koniec bieżącego roku. Dodatkowo dla prac studenckich i naukowych wykorzystywany jest program graficzny Grapher8.0.

#### 4. PROJEKTY ZREALIZOWANE I OFEROWANE USŁUGI

Największą aktywność komercyjną Laboratorium wykazuje w zakresie testów reakcji termicznej. Ich liczba, wraz z testami wykonywanymi na wymiennikach na terenie AGH dawno już przekroczyła 100. Drugim przejawem aktywności jest wykonywanie analiz geoenergetycznych. Są to opracowania określające współzależność zapotrzebowania na ciepło/chłód, liczby otworowych wymienników ciepła i parametrów temperaturowych pracy instalacji (charakterystyki pomp ciepła). Mają za zadanie głównie określenie liczby otworów dla danego odbiorcy lub umożliwiają dobór pompy ciepła dla zadanej liczby otworów.

Prace naukowe i projekty studenckie stanowią istotną formę działalności Laboratorium. Swoje badania realizują np. studenci zrzeszeni w Kole Naukowym Geowiert. Laboratorium jest wykorzystywane do celów dydaktycznych na studiach stacjonarnych (powstaje nowa specjalność studiów Geoinżynieria i geotermia oraz studia podyplomowe Geoenergetyka i geoinżynieria. W Laboratorium swoje praktyki odbywają także zagraniczni studenci z organizacji IAESTE.

W laboratorium zrealizowano trzy naukowe międzynarodowe projekty badawcze oraz dwa granty finansowane z polskich środków publicznych. Wydanych zostało wiele publikacji, w tym dziesięć monografii.

1. Technologiczne i ekonomiczne zagadnienia zagospodarowania wody termalnej na przykładzie Uniejowa, Aneta Sapińska-Śliwa. Wydawnictwa AGH, Kraków 2010 r. (Sapińska-Śliwa 2010),
2. Metodyka identyfikacji potencjału cieplnego górotworu wraz z technologią wykonywania i eksploatacji otworowych wymienników ciepła, pod redakcją Andrzeja Goneta, autorstwa Gonet Andrzej, Tomasz Śliwa, Stanisław Stryczek, Aneta Sapińska-Śliwa, Marek Jaszczur, Leszek Pająk, Albert Złotkowski wydane w Krakowie przez Wydawnictwa AGH w 2011 r. (Gonet i in. 2011),
3. Zintegrowany system otworowych wymienników ciepła i kolektorów słonecznych, pod redakcją Tomasza Śliwy, autorstwa Tomasza Śliwy, Andrzeja Goneta, Alberta Złotkowskiego, Leszka Pajaka, Anety Sapińskiej-Śliwy i Zbigniewa Jezuita wydane w Krakowie przez Wydawnictwa AGH w 2012 r. (Śliwa i in. 2012).
4. Badania podziemnego magazynowania ciepła za pomocą kolektorów słonecznych i wymienników otworowych, autorstwa Tomasza Śliwy wydane w Krakowie przez Wydawnictwa AGH w 2012 r. (Śliwa 2012).
5. Possibilities of geothermal energy utilization in Ukraine's Transcarpathia, pod redakcją Anety Sapińskiej-Śliwy, autorstwa Aneta Sapińska-Śliwa, Andrzej Gonet, Tomasz Śliwa, Stanisław Stryczek, Dariusz Curyło, Stanisław Alwasiak, Oleksandr Romanowych Kondrat, Valery Hryhorovych Omelchenko, Oleg Yuliyovych Vytyaz wydane w Krakowie przez The AGH University of Science and Technology Press w 2012 r. (Sapińska-Śliwa i in. 2012).
6. Rational low-temperature energy management in buildings exemplified by Ivano-Frankivsk Region in Ukraine, pod redakcją Anety Sapińskiej-Śliwy, autorstwa Anety Sapińskiej-Śliwy, Andrzeja Goneta, Tomasza Śliwy, Dariusza Curyło, Kondrata Oleksandra Romanovycha, Vytyaza Olega Yuliyovycha wydane w Krakowie przez Wydawnictwa AGH w 2013 r. (Sapińska-Śliwa i in. 2013).
7. Selected aspects of drilling, production and use of geothermal energy and waters, pod redakcją Anety Sapińskiej-Śliwy, autorstwa Anety Sapińskiej-Śliwy, Tomasza Śliwy, Dariusza Knezy, Andrzeja Goneta, Rafała Wiśniowskiego wydane w Krakowie przez Fundacja Wiertnictwo-Nafta-Gaz, Nauka i Tradycje w 2015 r. w ramach Laboratory of Geoenergetics Book Series; vol. 1 (Sapińska-Śliwa i in. 2015),
8. Borehole heat exchangers production and storage of heat in the rock mass, pod redakcją Tomasza Śliwy, autorstwa Tomasza Śliwy, Anety Sapińskiej-Śliwy, Dariusza Kneza, Anny Biedy, Tomasza Kowalskiego i Alberta Złotkowskiego wydane w Krakowie przez Fundacja Wiertnictwo-Nafta-Gaz, Nauka i Tradycje w 2016 r. w ramach Laboratory of Geoenergetics Book Series; vol. 2 (Śliwa i in. 2016),
9. Wiercenia geotermalne doświadczenia techniczne i technologiczne, pod redakcją Anety Sapińskiej-Śliwy, autorstwa Anety Sapińskiej-Śliwy, Tomasza Wiglusza, Michała Krużewskiego, Tomasza Śliwy, Tomasza Kowalskiego wydane przez Fundację Wiertnictwo-Nafta-Gaz, Nauka i Tradycje oraz Laboratorium Geoenergetyki w Krakowie w 2017 r. w ramach Laboratory of Geoenergetics Book Series; vol. 3 (Sapińska-Śliwa i in. 2017),

10. Laboratorium Geoenergetyki, 10 lat działalności, geotermia na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, pod redakcją Tomasza Śliwy, autorstwa Tomasza Śliwy, Andrzeja Goneta, Alberta Złotkowskiego, Anety Sapińskiej-Śliwy, Anny Biedy, Tomasza Kowalskiego wydane przez Fundację Wiertnictwo-Nafta-Gaz, Nauka i Tradycje oraz Laboratorium Geoenergetyki w Krakowie w 2017 r. w ramach Laboratory of Geoenergetics Book Series; vol. 4 (Śliwa i in. 2017).

W Laboratorium wykonuje się aktualnie prace nad optymalizacją rozmieszczenia otworowych wymienników ciepła przy różnych kryteriach. Opracowano test przewodnictwa cieplnego, który umożliwia uzależnienie efektywności energetycznej otworowych wymienników ciepła (efektywnej przewodności cieplnej w wymienniku otworowym  $\lambda_{ef}$ ) od parametrów ich eksploatacji w postaci równania funkcyjnego (Gonet i in. 2012):

$$\lambda_{ef} = k \cdot \dot{V}^{a_1} \cdot q^{b_1} \quad (1)$$

gdzie:  $\lambda_{ef}$  jest efektywną przewodnością cieplną w wymienniku otworowym w W/mK (bezpośrednio wpływającą na jednostkową mocą grzewczą wymiennika  $q_u$  w W/m), strumieniem objętości nośnika ciepła w  $m^3/s$ ,  $q$  mocą grzewczą podczas testu reakcji termicznej w W, oraz  $k$ ,  $a_1$ ,  $b_1$  oznaczającymi współczynniki.

Trwają prace badawcze określające podobną zależność dla oporności termicznej otworowych wymienników ciepła:

$$R_b = m \cdot \dot{V}^{a_2} \cdot q^{b_2} \quad (2)$$

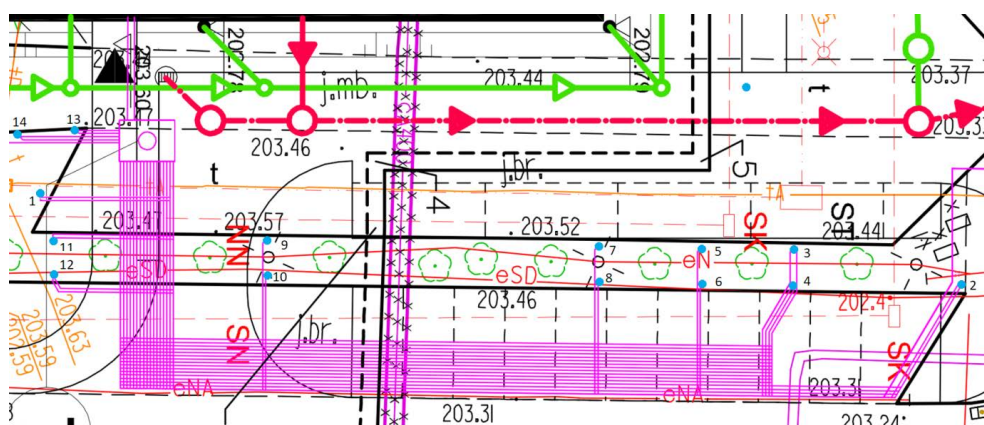
gdzie:

$R_b$  – oporność termiczna wymiennika w mK/W oraz  $m$ ,  $a_2$ ,  $b_2$  oznaczającymi współczynniki.

Aktualnie trwają prace nad udoskonaleniem testów, które bazują na kilkukrotnym wykonywaniu testów reakcji termicznej na tym samym wymienniku otworowym.

Laboratorium oferuje projektowanie otworów geotermalnych (zarówno produkcyjnych, jak i chłonnych), nadzór wiertniczy podczas prac geologicznych związanych z geotermią, projektowanie wierceń otworowych wymienników ciepła i badania hydrauliczne otworowych wymienników ciepła. Ponadto wykonuje prognozy eksploatacji wód geotermalnych, a także konsultacje i opinie z zakresu geoenergetyki.

Nowe otworowe wymienniki ciepła wykonano w dziesięciolecie powstania laboratorium. Ich rozmieszczenie pokazano na rysunku 8. Schemat blokowy nowej instalacji laboratoryjnej przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 8. Rozmieszczenie nowych otworowych wymienników ciepła (kropki)

Fig. 8. Arrangement of new borehole heat exchangers (dots)

## WNIOSKI

1. Projektowanie każdej większej instalacji z otworowymi wymiennikami ciepła (powyżej 100 kW) powinno być oparte na badaniu zwanym testem reakcji termicznej (TRT) oraz na analizie geoenergetycznej (doborze liczby i rozmieszczenia otworów lub określeniu termicznych parametrów długoczasowej eksploatacji na podstawie prognozy).

2. Im dokładniejsza jest interpretacja testu reakcji termicznej, tym poprawniejsze mogą być prognozy eksploatacji systemów z otworowymi wymiennikami ciepła.

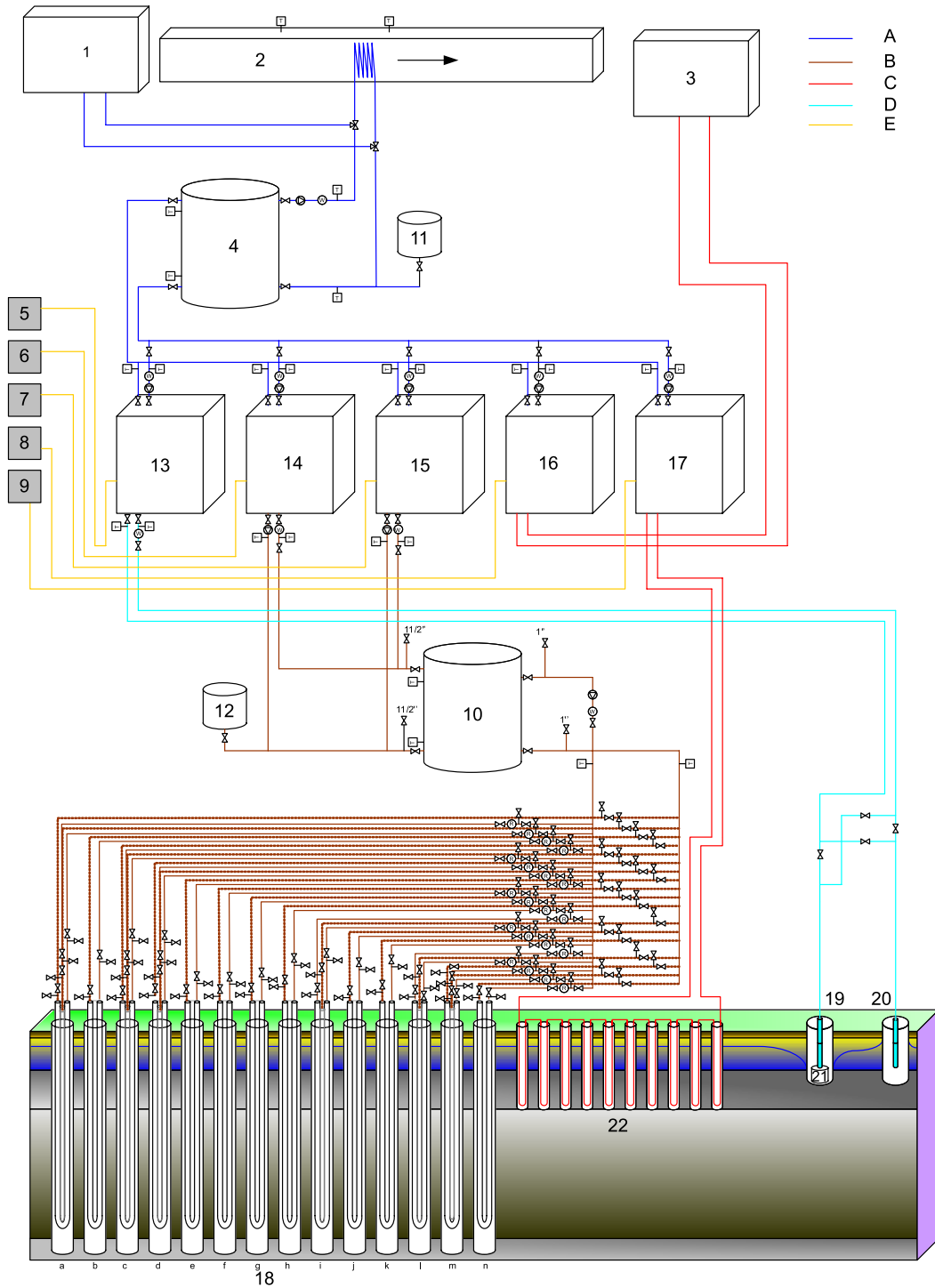
3. Laboratorium Geoenergetyki oferuje współpracę międzynarodową w zakresie:

- projektowania, wykonywania i interpretacji badań termicznych,
- wykonania analiz geoenergetycznych, które korelują głębokość, liczbę i rozmieszczenie otworowych wymienników ciepła z zapotrzebowaniem na ciepło i/lub chłód oraz charakterystyką temperaturową pomp ciepła,
- projektów dotyczących otworowych wymienników ciepła i odzyskiwania energii geotermalnej z geotermalnych wód podziemnych,
- współpracy odwiertu z wymiennikami ciepła, z kolektorami słonecznymi w perspektywie długoterminowego bilansu energetycznego,
- regeneracji podziemnych magazynów energii cieplnej z wykorzystaniem naturalnych i sztucznych źródeł ciepła,
- przewidywania rocznej i wieloletniej eksploatacji wymienników ciepła do celów grzewczych i chłodniczych dla klimatyzacji (magazynowanie ciepła w górotworze).

4. Laboratorium Geoenergetyki oferuje realizację zadań związanych z:

- projektowaniem otworów geotermalnych (chłonność i produkcja),
- technologią ich eksploatacji,





Rys. 9. Schemat instalacji Laboratorium Geoenergetyki 2 WwNiG AGH

1 – split do zrzutu nadmiaru ciepła, 2 – kanał doprowadzający powietrze do budynku, 3 – split do pompy ciepła powietrze/glikol, 4 – zbiornik buforowy górnego źródła ciepła, 5 – analizator parametrów pracy pompy ciepła nr 13, 6 – analizator parametrów pracy pompy ciepła nr 14, 7 – analizator parametrów pracy pompy ciepła nr 15, 8 – analizator parametrów pracy pompy ciepła nr 16, 9 – analizator parametrów pracy pompy ciepła nr 17, 10 – zbiornik buforowy dolnego źródła ciepła, 11 – naczynie wzbiorcze górnego źródła ciepła, 12 – naczynie wzbiorcze dolnego źródła ciepła, 13 – pompa ciepła woda/glikol, 14 – pierwsza rewersyjna pompa ciepła glikol/glikol, 15 – druga rewersyjna pompa ciepła glikol/glikol, 16 – pompa ciepła powietrze/glikol, 17 – pompa ciepła bezpośrednie paowanie/glikol, 18a – otworowy wymiennik ciepła wypełniony Termorotasem o konstrukcji podwójnej wewnątrz gładkiej U-rury 32 mm, 18b – otworowy wymiennik ciepła wypełniony Termorotasem o konstrukcji pojedynczej wewnątrz profilowanej U-rury 32 mm, 18c – otworowy wymiennik ciepła wypełniony Termorotasem o konstrukcji podwójnej wewnątrz profilowanej U-rury 32 mm, 18d – otworowy wymiennik ciepła wypełniony Termorotasem o konstrukcji podwójnej wewnątrz profilowanej U-rury 32 mm, 18e – otworowy wymiennik ciepła wypełniony Termorotasem o konstrukcji pojedynczej wewnątrz gładkiej U-rury 40 mm, 18f – otworowy wymiennik ciepła wypełniony Termorotasem o konstrukcji pojedynczej wewnątrz profilowanej U-rury 40 mm, 18g – otworowy wymiennik ciepła wypełniony Termorotasem o konstrukcji pojedynczej wewnątrz profilowanej U-rury 45 mm, 18h – otworowy wymiennik ciepła wypełniony Termorotasem o konstrukcji pojedynczej wewnątrz profilowanej U-rury 32 mm z dystansownikami, 18i – otworowy wymiennik ciepła wypełniony zaprawą piaskowo-cementową o konstrukcji pojedynczej wewnątrz profilowanej U-rury 32 mm, 18j – otworowy wymiennik ciepła wypełniony Termorotasem o konstrukcji potrójnej wewnątrz profilowanej rury 40 mm, 18k – otworowy wymiennik ciepła wypełniony zaprawą piaskowo-cementową o konstrukcji potrójnej wewnątrz profilowanej rury 40 mm, 18l – otworowy wymiennik ciepła wypełniony cementem o konstrukcji pojedynczej wewnątrz profilowanej rury 32 mm, 18m – otworowy wymiennik ciepła wypełniony Termorotasem o konstrukcji kombinowanej, 18n – otworowy wymiennik ciepła wypełniony Termorotasem z grafitem o konstrukcji pojedynczej wewnątrz profilowanej rury 32 mm, 19 – studnia czerpalna, 20 – studnia chłonna, 21 – pompa głębinowa wody, 22 – otwory z instalacją bezpośredniego odparowania czynnika roboczego, A – przewody z glikolem górnego źródła ciepła, B – przewody z glikolem dolnego źródła ciepła, C – przewody z freonem, D – przewody z wodą gruntową, E – przewody elektryczne, R – rotametr, T – czujnik temperatury, W – przepływomierz (Śliwa i in. 2017)

Fig. 9. Schematic of installation at Geoenergetics Laboratory II at FDOG AGH-UST

1 – split for discharge of excessive heat, 2 – canal supplying air to building, 3 – split for air/glycol heat pump, 4 – buffer collector of upper source of heat, 5 – analyzer of parameters of operation of heat pump no. 13, 6 – analyzer of parameters of operation of heat pump no. 14, 7 – analyzer of parameters of operation of heat pump no. 15, 8 – analyzer of parameters of operation of heat pump no. 16, 9 – analyzer of parameters of operation of heat pump no. 17, 10 – buffer collector of lower source of heat, 11 – expansion vessel of upper source of heat, 12 – expansion vessel of lower source of heat, 13 – water/glycol heat pump, 14 – first reversible glycol/glycol heat pump, 15 – second reversible glycol/glycol heat pump, 16 – air/glycol heat pump, 17 – direct evaporation/glycol heat pump, 18a – BHE filled with Termorotas with double smooth inside U-pipe 32 mm, 18b – BHE filled with Termorotas of single profiled inside U-tube 32 mm, 18c – BHE filled with Termorotas with double profiled inside U-tube 32 mm, 18d – BHE filled with Termorotas with double profiled inside U-tube 32 mm, 18e – BHE filled with Termorotas with single smooth inside U-tube 40 mm, 18f – BHE filled with Termorotas with single profiled inside U-tube 40 mm, 18g – BHE filled with Termorotas with single profiled inside U-tube 45 mm, 18h – BHE filled with Termorotas of single profiled inside U-tube 32 mm with distancers, 18i – BHE filled with sand/cement mortar with single profiled inside U-tube 32 mm, 18j – BHE filled with Termorotas with triple profiled inside tube 40 mm, 18k – BHE filled with sand/cement mortar with triple profiled inside tube 40 mm, 18l – BHE filled with cement with single profiled inside tube 32 mm, 18m – BHE filled with Termorotas with combined design, 18n – BHE filled with Termorotas with graphite with single profiled inside tube 32 mm, 19 – production well, 20 – injection well, 21 – downhole water pump, 22 – boreholes with direct evaporation of working agent, A – glycol pipes of upper source of heat, B – glycol pipes of lower source of heat, C – freon pipes, D – groundwater pipes, E – electrical cables, R – rotameter, T – temperature sensor, W – flow meter (Śliwa et al. 2017)

- doborem zaczynów uszczelniających do otworów geotermalnych,
- konsultacjami dotyczącymi wykonywania otworów,
- przewidywaniami produkcji w oparciu o dostępne symulatory numeryczne.

Artykuł zrealizowano w ramach badań statutowych na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, nr umowy 11.11.190.555.

## LITERATURA

- Bujok i in. 2012 – Bujok, P., Klempa, M., Koziołek, J., Rado, R. i Porzer, M. 2012. Ocena wpływu warunków klimatycznych na bilans energetyczny górotworu na obszarze poligonu badawczego VSB – TU Ostrava (*Evaluation of influence of climate conditions on rock mass energy balance in the research area of VSB – TU Ostrava*). *AGH Drilling Oil Gas* 29/1, s. 97–107.
- Chiasson, A.D. 2016. *Geothermal heat pump and heat engine systems. Theory and practice*. ASME Press and John Wiley & Sons, 496 s.
- Gonet i in. 2011 – Gonet, A., Śliwa, T., Stryczek, S., Sapińska-Śliwa, A., Jaszczur, M., Pająk, L. i Złotkowski, A. 2011. Metodyka identyfikacji potencjału cieplnego górotworu wraz z technologią wykonywania i eksploatacji borehole heat exchangers (*Methodology for the identification of potential heat of the rock mass along with technology implementation and operation of the borehole heat exchangers*). Red. Andrzej Gonet, Kraków: Wyd. AGH, 439 s.
- Gonet i in. 2012 – Gonet, A., Śliwa, T., Złotkowski, A., Sapińska-Śliwa, A. i Macuda, J. 2012. *The analysis of expansion thermal response test (TRT) for borehole heat exchangers (BHE)*. Geothermal reservoir engineering, thirty-seventh workshop 2012, Stanford, California, proceedings, Stanford University, Stanford Geothermal Program, workshop report, s. 1324–1329.
- Koohi-Fayegh S., Rosen M.A., 2012, Examination of thermal interaction of multiple vertical ground heat exchangers. *Applied Energy* 97, s. 962–969.
- Lund i in. 2010 – Lund, J.W., Gawell, K., Boyd, T.L. i Jennejohn, D. 2010. The United States of America Country Update 2010. *Proceedings, World Geothermal Congress 2010*, Bali, Indonesia, s. 1–18.
- Mottaghya, D. i Dijkshoornb, L. 2012. Implementing an effective finite difference formulation for borehole heat exchangers into a heat and mass transport code. *Renewable Energy* 45, s. 59–71.
- Nordell, B. 1994. *Borehole heat Store Design Optimization*. Doctoral Thesis, Division of Water Resources Engineering, Luleå University of Technology.
- Poniedziałek, M. i Śliwa T. 2013. The use of a heater and borehole heat exchangers for the regeneration of heat resources in the rock mass on the example of the Geoenergetics Laboratory, AGH UST. *AGH Drilling, Oil, Gas* Vol. 30 No. 2, s. 353–359.
- Sapińska-Śliwa, A. 2010. Technologiczne i ekonomiczne zagadnienia zagospodarowania wody termalnej na przykładzie Uniejowa (*Technological and economic issues relating to thermal water utilisation with the use of an example of Uniejów*). Kraków: Wyd. AGH, 165 s.
- Sapińska-Śliwa i in. 2013 – Sapińska-Śliwa, A., Gonet, A., Śliwa, T., Curyło, D., Romanowych, K.O. i Yuliyovych, V.O. 2013. *Rational low-temperature energy management in buildings exemplified by Ivano-Frankivsk Region in Ukraine*. Red. Aneta Sapińska-Śliwa, AGH University of Science and Technology Press, Kraków, s. 171.

- Sapińska-Śliwa i in. 2012 – Sapińska-Śliwa, A., Gonet, A., Śliwa, T., Stryczek, S., Curyło, D., Alwasiak, S., Romanowych, K.O., Omelchenko V.H. i Yuliyovych, V.O. 2012. *Possibilities of geothermal energy utilisation in Ukraine's Transcarpathia*. Red. Aneta Sapińska-Śliwa, Kraków: Wyd. AGH, 273 s.
- Sapińska-Śliwa i in. 2015 – Sapińska-Śliwa, A., Śliwa, T., Knez, D., Gonet, A. i Wiśniowski, R. 2015. *Selected aspects of drilling production and use of geothermal energy and waters*. Red. Aneta Sapińska-Śliwa, Kraków, Fundacja Wiertnictwo-Nafta-Gaz, Nauka i Tradycje, 2, s. 121 (Laboratory of Geoenergetics Book Series vol. 1).
- Sapińska-Śliwa i in. 2017 – Sapińska-Śliwa, A., Wiglusz, T., Kruszewski, M., Śliwa, T. i Kowalski, T. 2017. *Wiercenia geotermalne: techniki oraz zagadnienia poboczne: monografia (Geothermal drilling : techniques and side aspects)*. Red. Aneta Sapińska-Śliwa, Fundacja Wiertnictwo-Nafta-Gaz, Nauka i Tradycje; Geoenergetics Laboratory, Kraków, s. 174 (Laboratory of Geoenergetics Book Series vol. 3).
- Śliwa, T. 1996. Wybrane systemy geotermalne w skałach suchych (*Chosen geothermal systems in dry rocks*). *Proceedings Konferencja Naukowa „Aktualny stan i perspektywy rozwoju górnictwa w aspekcie ochrony środowiska”* (Conference on Current state and development prospects of mining in the aspect of environmental protection, proceedings). Dnipropetrovsk, Ukraine, s. 307–312.
- Śliwa, T. 1998. Wybrane systemy geotermalne w aspekcie warunków geologicznych (*Chosen geothermic systems in aspect of geology*). *Zeszyty Naukowe AGH Wiertnictwo Nafta Gaz* t. 15, Kraków, s. 199–208.
- Śliwa, T. 1999. Analysis of a heat pump system based on borehole heat exchangers for a swimming pool complex in Krynica, S-Poland. *Geothermal Training in Iceland; Reports of the United Nations University Geothermal Training Programme*, Reykiavik, s. 357–383.
- Śliwa, T. 2012. Badania podziemnego magazynowania ciepła za pomocą kolektorów słonecznych i wymienników otworowych (*Research on underground thermal energy storage by use solar collectors and borehole heat exchangers*). Kraków: Wyd. AGH, 272 s.
- Śliwa, T. i Gonet, A. 2011. Otworowe wymienniki ciepła jako źródło ciepła lub chłodu na przykładzie Geoenergetics Laboratory WWNiG AGH (*Borehole heat exchangers as heat or cool source on the basis of Laboratory of Geothermics of Drilling, Oil and Gas Faculty in AGH University of Science and Technology*). *Wiertnictwo, Nafta, Gaz* 28/1–2, s. 419–430.
- Śliwa i in. 2012 – Śliwa, T., Gonet, A., Złotkowski, A., Pająk, L., Sapińska-Śliwa, A. i Jezuit, Z. 2012. *Zintegrowany system borehole heat exchangers i kolektorów słonecznych (Integrated system of borehole heat exchangers and solar collectors)*. Red. Śliwa T., Kraków: Wydawnictwa Uczelniane AGH, 165 s.
- Śliwa i in. 2017 – Śliwa, T., Gonet, A., Złotkowski, A., Sapińska-Śliwa, A., Bieda, A. i Kowalski, T. 2017. *Geoenergetics Laboratory: 10 lat działalności: geotermia na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie: monograph (Laboratory of Geoenergetics : 10 years of activity : geothermal energy at the Drilling, Oil and Gas Faculty AGH University of Science and Technology in Kraków: monograph)*. Red. Tomasz Śliwa, Drilling, Oil and Gas Foundation and Geoenergetics Laboratory, Kraków, 198 s. (Laboratory of Geoenergetics Book Series vol. 4).
- Śliwa i in. 2016 – Śliwa, T., Rosen, M.A. i Poniedziałek, M. 2016. Use of heat from a snow melting installation in a parking lot surface as a heat regeneration source for underground heat storage via

- borehole heat exchangers, eSim 2016 Hamilton, Ontario, May 3<sup>rd</sup> to 6<sup>th</sup> Conference proceedings, McMaster University Engineering Canada, s. 247–256 [Online] <http://esim.mcmaster.ca/index.php/2016/index/pages/view/program> [Dostęp: 1.08.2018].
- Śliwa i in. 2016 – Śliwa, T., Sapińska-Śliwa, A., Knez, D., Bieda, A., Kowalski, T. i Zlotkowski, A. 2016. Borehole heat exchangers : production and storage of heat in the rock mass : monograph. Red. Tomasz Śliwa, *Laboratory of Geoenergetics Book Series* vol. 2, Kraków, Drilling, Oil and Gas Foundation, s. 175.
- Śliwa, T. i Gonet, A. 2011. Otworowe wymienniki ciepła jako źródło ciepła lub chłodu na przykładzie Geoenergetics Laboratory WWNiG AGH (*Borehole heat exchangers as heat or cool source on the basis of Laboratory of Geothermics of Drilling, Oil and Gas Faculty in AGH University of Science and Technology*). *Wiertnictwo, Nafta, Gaz* t. 28 z. 1–2, s. 419–430 [Online] [http://journals.bg.agh.edu.pl/WIERTNICTWO/2011-1-2/W\\_2011\\_1-2\\_36.pdf](http://journals.bg.agh.edu.pl/WIERTNICTWO/2011-1-2/W_2011_1-2_36.pdf) [Dostęp: 1.08.2018].

## **GEOENERGETICS LABORATORY – 10 YEARS OF ACTIVITY AT THE AGH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY IN KRAKOW**

### **ABSTRACT**

The dynamic development of renewable energy recovery systems and also the rationalization of heat management gave spur to the 10 year construction AGH of the Geoenergetics Laboratory at the Drilling, Oil and Gas Faculty AGH University of Science and Technology (DOGF AGH-UST) in Krakow. One of the important factors deciding about the build are previous works on adapting depleted and negative wells. Research carried out at the Laboratory up today and its usability functions are described in the paper.

The laboratory is based on various types of borehole heat exchangers. They were investigated in view of their design for their effective thermal conductivity  $\lambda_{ef}$  and thermal resistance  $R_b$ . The thermal response tests were used for elaborating the BHE thermal conductivity test. It can be used for optimizing the structure and technology of the exploitation of large underground heat storages with borehole heat exchangers.

This system can co-operate with various types of solar collectors which in an appropriate climate zone may be a perfect source to be used for charging underground heat storage.

### **KEYWORDS**

Geothermal heat pumps, thermal response test, borehole heat exchangers, geoenergetics



