

**Tomasz Śliwa\*, Andrzej Gonet\***

**OTWOROWE WYMIENNIKI CIEPŁA  
JAKO ŹRÓDŁO CIEPŁA LUB CHŁODU  
NA PRZYKŁADZIE LABORATORIUM  
GEOENERGETYKI WWNIG AGH\*\***

**1. WPROWADZENIE**

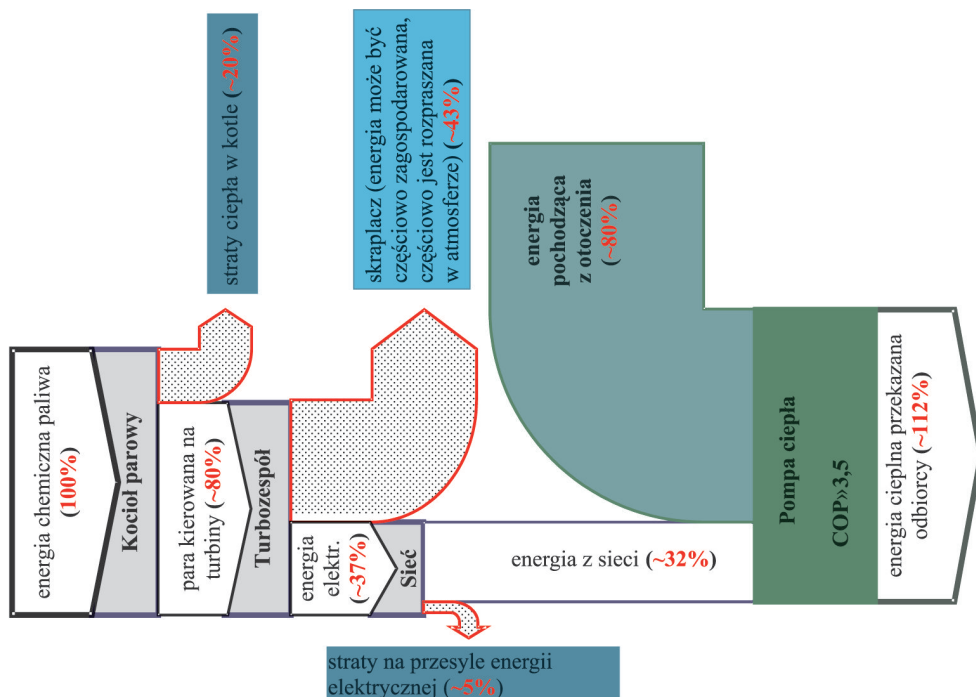
Górotwór może stanowić źródło ciepła lub chłodu dla instalacji grzewczych i grzewczo-chłodniczych wykorzystujących pompy ciepła. Instalacje tego typu są coraz częściej realizowane w krajach rozwiniętych. Istotą ich działania jest nie tyle pozyskiwanie odnawialnego ciepła, co racjonalizacja gospodarowania ciepłem w budynkach. Polega ona na wykorzystywaniu ciepła zawartego w górotworze do ogrzewania w sezonie grzewczym i wykorzystania chłodu zawartego w górotworze po sezonie grzewczym do klimatyzowania wnętrz. Klimatyzacja jest procesem odwrotnym do ogrzewania. Dysponując otworowymi wymiennikami ciepła, można cyklicznie wykorzystywać górotwór jako źródło ciepła i źródło chłodu. Strumienie energii zamiast do atmosfery są przemieszczane pomiędzy odbiorcą (budynkiem) a górotworem. Proces taki może odbywać się częściowo w sposób pasywny, czyli bez pomp ciepła, które dostosowują energię (temperaturę) do warunków odbioru.

Pod kątem ekologicznym i energetycznym istotne jest źródło energii napędowej pomp ciepła. W warunkach polskich energia elektryczna pochodzi głównie ze spalania węgla. Sprawność grzewcza pompy ciepła odniesiona do energii pierwotnej zawartej w węglu wynosi nieco ponad 100%. Pompy ciepła zastępując ogrzewanie prądem elektrycznym są więc bardzo korzystne energetycznie i ekologicznie (rys. 1). W przypadku zastąpienia pompą ciepła lokalnego tradycyjnego źródła ciepła (węgiel, gaz, olej opałowy) efekt energetyczny i ekologiczny nie będzie tak wyraźny. W przypadku produkcji energii elektrycznej w źródłach odnawialnych jak np. w krajach skandynawskich stosowanie pomp ciepła jest bezdyskusyjnie celowe.

---

\* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

\*\* Praca zrealizowana w ramach grantu MNiSW nr N N524 353738, nr umowy AGH 18.18.190.505



**Rys. 1.** Wykres pasmowy przepływu energii pozyskiwanej ze sprężarkowej pompy ciepła napędzanej siecią energią elektryczną wytwarzaną w elektrowni zasilanej węglem kamiennym. Do sporządzenia wykresu posłużono się uogólnionymi sprawnościami charakteryzującymi poszczególne elementy układu, których wartości podano w nawiasach, na podstawie (Gonet 2011)

## 2. POWSTAWANIE LABORATORIUM GEOENERGETYKI

Tematyka otworowych wymienników ciepła pojawiła się na WWiG AGH pod koniec lat 90. XX wieku. Wtedy to otworzono przewód doktorski dotyczący wykorzystania istniejących, nieprzydatnych otworów wiertniczych jako źródła ciepła. W związku z faktem, iż wykorzystanie górotworu dla celów grzewczo-chłodniczych obejmuje wiele dziedzin powstała idea wykonania laboratorium. Dzięki temu możliwe są badania nad konstrukcjami, wykonywaniem oraz eksploatacją wymienników otworowych.

Dzięki uzyskaniu grantu badawczego rozwojowego całą ideę udało się wprowadzić w życie. Na pomieszczenie laboratorium zaadoptowano boks pomiędzy pawilonami A3 i A4 na terenie AGH, a prace górnicze wykonano na terenie zielonym.

Dla potrzeb badawczych wykonano pięć wymienników otworowych, przy czym każdy różnił się od pozostałych. Jako zmienne przyjęto konstrukcje i uszczelnienie otworów. Wykonano wymienniki centryczny, z pojedynczymi u-rurkami i z podwójną u-rurką. Wymienniki z pojedynczymi u-rurkami uszczelniono materiałami o różnej przewodności cieplnej. Opis otworowych wymienników ciepła zawarty jest w publikacji (Gonet 2011).

Prace wiertnicze trwały od 16 stycznia do 12 lutego 2008 r. Do wykonania otworów wykorzystano dwie wiertnice URB 2A. Zgodnie z projektem prac geologicznych utwory czwartorzędowe przewiercono do głębokości 19,80 m p.p.t. świdrem gryzowym o średnicy 216 mm, stosując płuczkę ilową. Zastosowano rury okładzinowe 7" (177,8 mm) do głębokości 18,80 m p.p.t. posadawiając je w szarych iłach miocénskich, izolując tym samym wpływ wody czwartorzędowej na niżej zalegające utwory miocenu i jury górnej. Wykonano korek cementowy. Następnie w trzeciorzędzie wiercono świdrem gryzowym o średnicy 143 mm z płuczką samorodną powstałą w wyniku oddziaływania wody na górotwór. W otworze AGH LG 2 do głębokości końcowej tj. 84 m dwukrotnie stosowano rdzeniówkę; w interwałach 60–63 m i 81–84 m. Na dnie otworu wykonano korek ilowy o długości 6 m (Pawlikowski 2008). Następnie wprowadzono u-rurkę pod ciśnieniem i wykonano cementowanie przez przewód wiertniczy od dołu do wierzchu. Pozostałe cztery otwory wykonano do głębokości 78 m. Profil litologiczno-stratygraficzny przedstawiono w tabeli 1.

**Tabela 1**

Profil litologiczno-stratygraficzny otworu AGH LG-2 (Pawlikowski 2008)

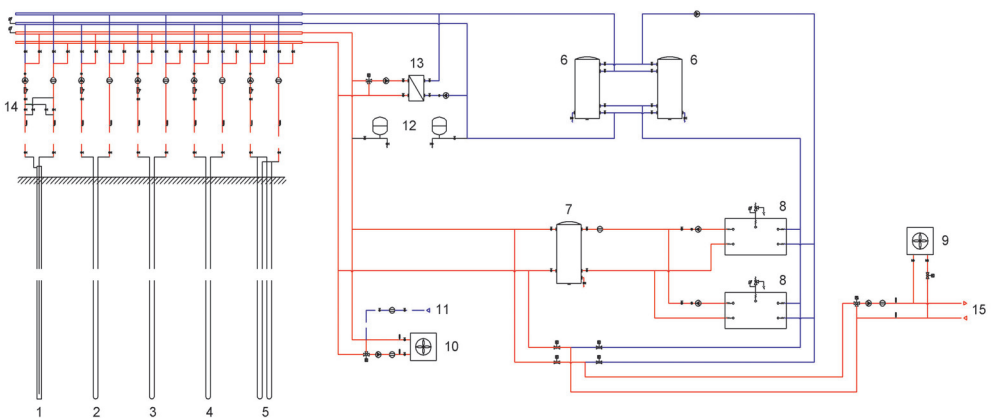
Interwał	Litologia	Stratygrafia
0,0–2,2 m	grunty antropogeniczne (nasyp ciemno-szary z rumoszem)	czwartorzęd (pleistocen, holocen)
2,2–2,6 m	namuły (gleba szara)	
2,6–4,0 m	piasek drobny i pylasty nieco zagliniony	
4,0–6,0 m	piasek drobny	
6,0–15,0 m	pospółka i żwir	
15,0–30,0 m	ił szary	trzeciorzęd (miocén)
30,0–81,0 m	ilołupek szary	
81,0–84,0 m	wapień szary z okruchami buł krzemianowych, spękany	jura górna

W czerwcu 2008 roku wykonano połączenia otworowych wymienników ciepła z zasobnikami chłodu w laboratorium. Przewody były prowadzone z każdej studzienki (wylot otworu) do wnętrza laboratorium, dzięki czemu można selektywnie uruchamiać poszczególne wymienniki otworowe. W drugiej połowie 2008 roku wykonano instalację wewnątrz laboratorium, zainstalowano zasobniki ciepła i chłodu, pompy obiegowe, zawory ręczne i automatyczne, wentylator do ogrzewania i/lub chłodzenia wnętrza laboratorium, nagrzewnicę do usuwania nadwyżki mocy cieplnej, wymiennik ciepła do transportu ciepła pomiędzy zasobnikami oraz dwie pompy ciepła o sumarycznej mocy grzewczej 26 kW.

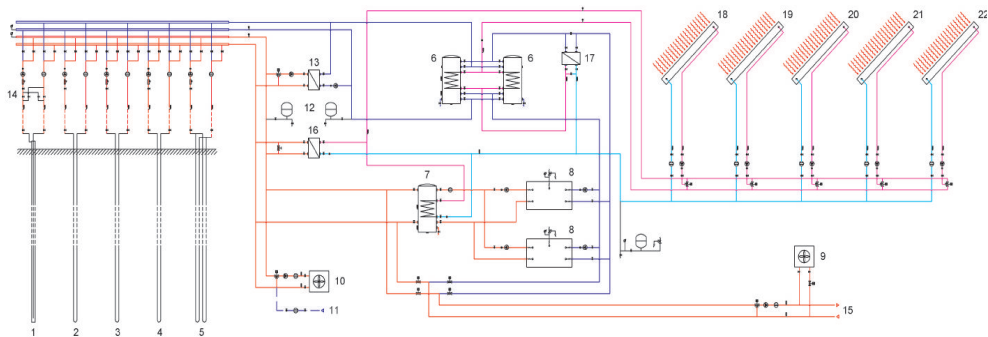
Dla celów badań konstrukcji oraz eksploatacji otworowych wymienników ciepła na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu powstało Laboratorium Geoenergetyki. Podstawową

jego częścią są otworowe wymienniki ciepła o różnej konstrukcji. Instalację laboratorium ukończono w 2010 roku, a schemat jej przedstawiono na rysunku 2. Zaznaczone elementy oznaczają: 1 – otworowy wymiennik ciepła (koncentryczny, współosiowy), 2 – otworowy wymiennik ciepła (pojedyncza u-rura) uszczelniony klasycznym zaczynem cementowym, 3 – otworowy wymiennik ciepła (pojedyncza u-rura) uszczelniony zaczynem cementowym o podwyższonej przewodności cieplnej, 4 – otworowy wymiennik ciepła (pojedyncza u-rura) wypełniony żwirem i uszczelniony compactonitem w interwale przepuszczalnym, 5 – otworowy wymiennik ciepła (podwójna u-rura), 6 – zbiornik buforowy nośnika ciepła po stronie zimnej (zasobnik chłodu), 7 – zbiornik buforowy nośnika ciepła po stronie ciepłej (zasobnik ciepła), 8 – pompa ciepła, 9 – klimakonwektor wentylatorowy do ogrzewania i chłodzenie pomieszczenia laboratorium, 10 – nagrzewnica wodna (do odprowadzania ewentualnej nadwyżki mocy), 11 – doprowadzenie wody sieciowej do napełniania instalacji, 12 – przeponowe naczynia wzbiorcze, 13 – płytowy wymiennik ciepła pomiędzy zasobnikami chłodu i ciepła, 14 – zestaw zaworów do zmiany kierunku przepływu cieczy w koncentrycznym wymienniku otworowym, 15 – doprowadzenie nośnika ciepła do centrali wentylacyjnej zasilającej Audytorium Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu Akademii Górniczo-Hutniczej celem ogrzewania lub klimatyzacji.

Na rysunku 3 przedstawiono schemat laboratorium po planowanej rozbudowie w 2011 roku o kolektory słoneczne. Ich zadaniem jest regeneracja zasobów ciepła w górotworze wraz z wprowadzaniem ciepła powstającego przy klimatyzacji audytorium. Ze względu na to, że w sezonie grzewczym pozyskiwana jest większa ilość energii do ogrzewania, górotwór jest wychłodzony po zimie. Dzięki temu możliwa jest pasywna klimatyzacja, a zasoby ciepła na następny sezon grzewczy są także regenerowane ciepłem z kolektorów słonecznych, które jednocześnie są przedmiotem badań. Każdy z pięciu kolektorów jest inaczej zbudowany.



**Rys. 2.** Schemat instalacji grzewczo-chłodniczej w Laboratorium Geoenergetyki Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu Akademii Górniczo-Hutniczej (Gonet i in. 2010)



**Rys. 3.** Układ rozbudowany o kolektory słoneczne

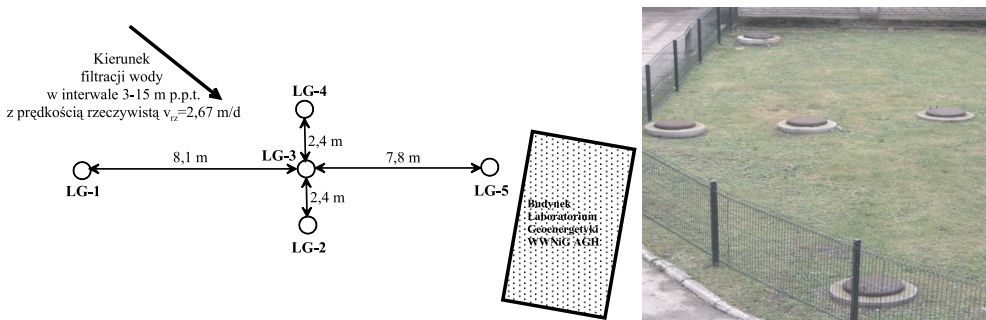
Przez 2008 i 2009 rok wykonywano w wymiennikach otworowych testy reakcji termicznej, przy zmiennych:

- strumieniach objętości nośnika ciepła,
- mocach grzewczych,
- rodzajach nośnika ciepła (woda i roztwór glikolu propylenowego),
- czasach trwania testu,
- kierunkach cyrkulacji (dotyczy otworu centralnego).

Ukończenie instalacji wewnętrznej w laboratorium umożliwiło rozpoczęcie prac nad systemem pomiarowym, sterującym i rejestrującym parametry pracy. Rejestrowane są temperatury, strumień objętości nośnika ciepła (a więc pośrednio moc grzewcza), napięcie i natężenie prądu w pompach ciepła, COP pomp ciepła, a także ciśnienie oraz stany poszczególnych elementów wykonawczych i sterujących (np. zaworów).

W 2010 roku wykonano instalację przyłączeniową do auditorium WWNiG w przebiegu pomiędzy pawilonami A3 i A4. Wymieniono starą centralę wentylacyjną. W jej miejsce zastosowano centralę umożliwiającą odzysk ciepła (chłodu) z wentylacji jako pierwszy stopień zmiany temperatury powietrza wentylowanego (ogrzewanie lub chłodzenie). Drugim stopniem zmiany temperatury powietrza jest nagrzewnica, w której cyrkuluje glikol z zasobników chłodu lub ciepła z laboratorium geoenerytyki (ogrzewanie lub chłodzenie). Trzeci stopień to nagrzewnica zasilana ciepłem z PEC-u, jako szczytowe lub awaryjne źródło ciepła (tylko ogrzewanie). Sezon grzewczy 2010/2011 jest pierwszym, kiedy sala audytorijna wykorzystuje ciepło ziemi do ogrzewania powietrza atmosferycznego. W auditorium zainstalowane są grzejniki c.o. o mocy 25 kW, jednak większość ciepła do sali wpływa wraz z powietrzem wentylacyjnym.

Rekuperacja ciepła odbywa się za pośrednictwem wymiennika obrotowego. Rozmieszczenie otworowych wymienników ciepła pokazano na schemacie i na fotografii z rysunku 4.



**Rys. 4.** Rozmieszczenie otworowych wymienników ciepła należących do Laboratorium Geoenergetyki WWNiG AGH w Krakowie

### 3. WYPOSAŻENIE LABORATORIUM – STANOWISKA BADAWCZE

Laboratorium Geoenergetyki jest częścią Międzywydziałowej Polowej Stacji Badań Środowiskowych. Wyposażone jest w 8 stanowisk badawczych. Są to stanowiska:

- aparatus do testów reakcji termicznej (TRT),
- pompy ciepła pracujące w systemie dwukierunkowego przepływu ciepła w górotworze (ogrzewanie i klimatyzacja),
- otworowe wymienniki ciepła, o różnych konstrukcjach, o głębokości 78 m każdy,
- model laboratoryjny centrycznego wymiennika otworowego,
- aparatus do pomiaru mocy grzewczej,
- $\lambda$ -metr do pomiarów przewodności cieplnej materiałów,
- aparatus NIMO-T do profilowania temperatury w wymiennikach otworowych,
- symulator numeryczny do prognozowania eksploatacji otworowych wymienników ciepła w systemach grzewczych, chłodniczych i grzewczo-chłodniczych.

Aparatus do testów reakcji termicznych (TRT – *thermal response test*) zawiera czujniki przepływu i temperatury, pompę obiegową i piec elektryczny. Układ umożliwia wykonywanie badań w celu określenia przewodności efektywnej skał oraz oporności termicznej wymiennika otworowego. Dzięki tym wielkościom możliwe jest właściwe zaprojektowanie liczby i rozmieszczenia otworowych wymienników ciepła lub określenie temperaturowej charakterystyki pracy systemu wymiany ciepła z górotworem.

Stanowisko z pompami ciepła umożliwia prowadzenie długotrwałych badań dotyczących wykorzystania górotworu jako źródła ciepła lub chłodu.

Otworowe wymienniki o różnych konstrukcjach umożliwiają badania efektywności wymiany ciepła i wpływu na nią budowy wymiennika. Wymiennik otworowy o budowie centrycznej może funkcjonować przy dwóch przeciwnych kierunkach przepływu nośnika ciepła. Możliwa jest także w nim wymiana kolumny wewnętrznej. Celem badań takiego wymiennika powstał też jego laboratoryjny model.

Aparat do pomiarów mocy grzewczej służyć będzie studentom do określania wpływu strumienia objętości nośnika ciepła oraz jego rodzaju na parametry termiczne przepływu. Cały układ laboratoryjny w 2009 roku był badany z wodą jako nośnikiem ciepła. Następnie wodę zastąpiono 30% glikolem monopropylenowym.

$\lambda$ -metr służy przede wszystkim do badań zaczynów uszczelniających wymienniki otworowe, a zwłaszcza wpływu składników receptur, czasu wiązania oraz warunków wilgotnościowych na przewodność cieplną. Do pomiarów przewodności cieplnej służy przyrząd TT-TC-01 firmy ThermTest Inc. z Kanady.

Szwajcarski przyrząd NIMO-T (*Non-wired Immersible Measuring Object for Temperature*) umożliwia pomiar temperatury w wymienniku otworowym. Podczas pomiaru przyrząd samoczynnie powoli opada na dno otworu wykonując na bieżąco i rejestrując (co 2 s) wartości temperatury oraz ciśnienie odpowiadające głębokości. Pomiary są prowadzone z dużą precyzją. Relatywna dokładność pomiaru temperatury wynosi 0,0015 K, a dokładność absolutna wynosi 0,1 K.

Opomiarowany system grzewczo-chłodniczy umożliwia badania nad wymianą ciepła z górotworem za pomocą otworowych wymienników ciepła, a także nad efektywnością magazynowania ciepła i chłodu w górotworze. W instalacji duże znaczenie ma system pomiarowo-rejestrujący. Oparty jest na centralnej jednostce (rys. 5), która zapewnia pełną komunikację z czujnikami oraz elementami wykonawczymi (włączanie, wyłączanie pomp, sterowanie zaworami, włączanie wyłączanie wentylatorów itp.). Jest jednocześnie źródłem danych historycznych oraz umożliwia wizualizację danych prezentowanych na bieżąco w sieci internetowej.

Komputer przemysłowy umożliwia odczyt i rejestrację ciągłą:

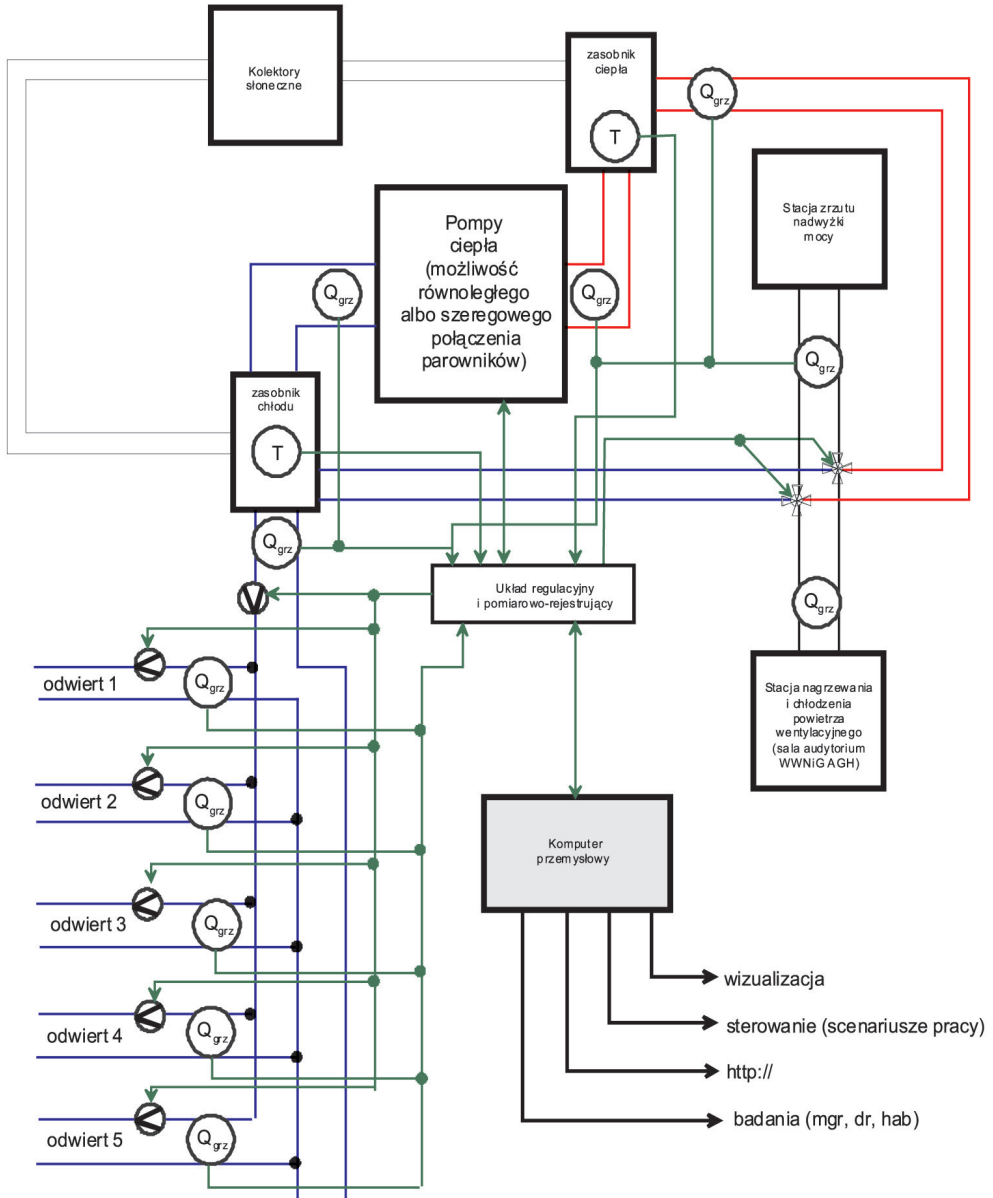
- a) temperatur z każdego ciepłomierza,
- b) strumienia objętości nośnika ciepła na każdym wymienniku otworowym,
- c) mocy grzewczych (na każdym wymienniku otworowym i z ciepłomierzy układu odbiorczego),
- d) mocy elektrycznej dostarczanej do pomp ciepła,
- e) sumarycznej ilości dostarczonej energii grzewczej i elektrycznej,
- f) temperatury powietrza atmosferycznego,
- g) temperatur wewnątrz laboratorium oraz czterech charakterystycznych temperatur centrali wentylacyjnej audytorium WWNiG AGH.

Poza tym umożliwia regulację płynną:

- a) strumienia objętości nośnika ciepła na każdym z wymienników otworowych,
- b) wartości temperatur w zasobniku zimna i ciepła,
- c) temperatur w audytorium i pomieszczeniu laboratorium.

Wizualizacją są objęte parametry bieżące oraz przebiegi historyczne. Możliwa jest komunikacja zdalna (za pomocą łączy internetowych). System sterujący raportuje komunikaty o błędach. Umożliwia utrzymanie stałej wartości strumienia objętości nośnika ciepła

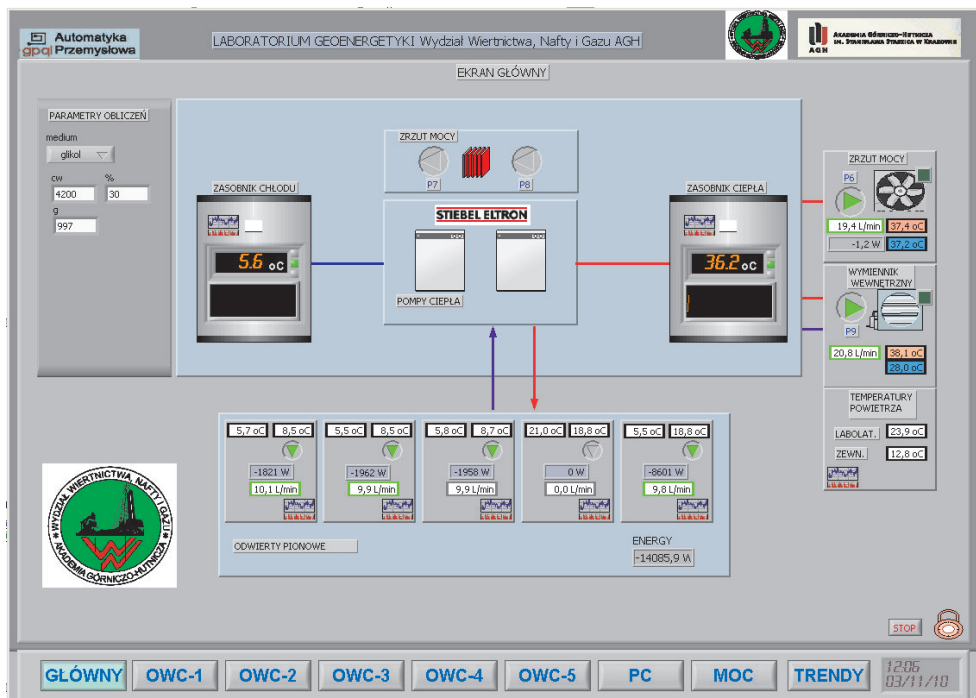
w wymiennikach otworowych niezależnie od zmian napięcia sieciowego i ciśnienia różniowego. Zabezpiecza to pracę pomp ciepła (wyłączenia awaryjne przy przekroczeniu dopuszczalnych progowych wartości temperatur w źródle dolnym i górnym).



**Rys. 5.** Ideowy schemat sterowania badawczym systemem grzewczo-chłodniczym na bazie otworowych wymienników ciepła



Dla obsługi laboratorium powstało szereg programów. Najważniejszym z nich jest program do sterowania i rejestracji pracy pomp ciepła (rys. 6). Drugi to program obsługujący model centrycznego wymiennika ciepła.



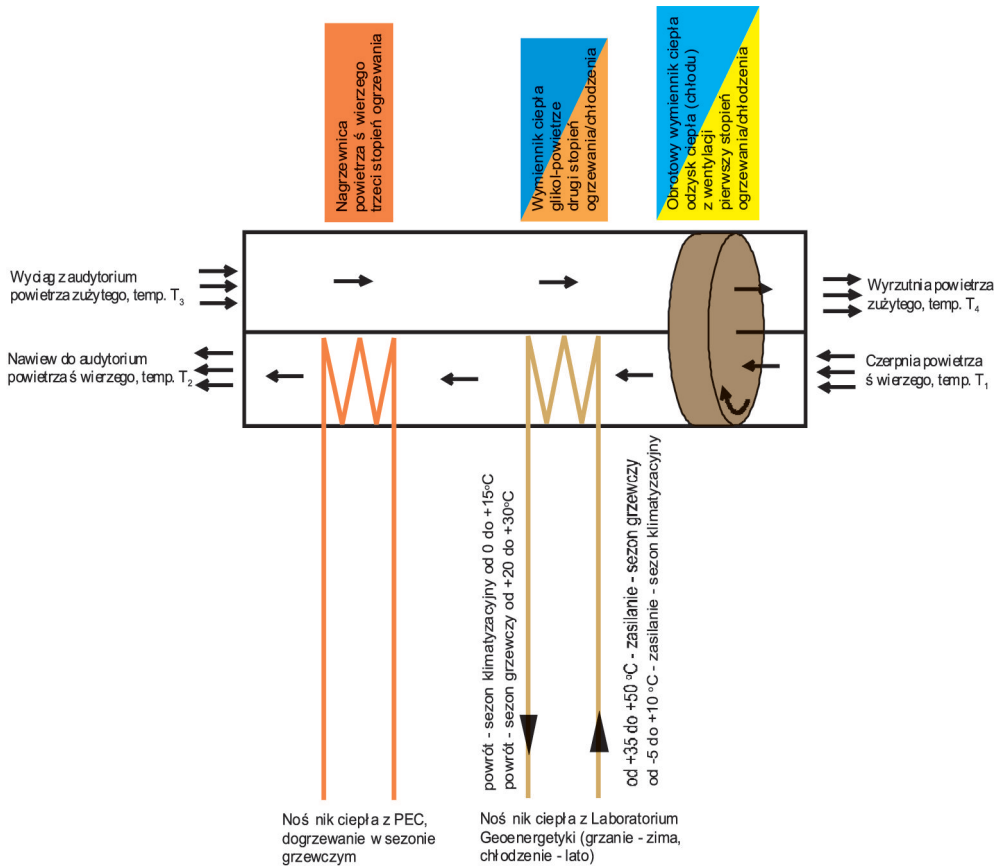
#### 4. FUNKCJE LABORATORIUM

Najważniejszą funkcją laboratorium są prace badawcze w zakresie geenergetyki. Stawniska badawcze umożliwiają prowadzenie badań na miejscu oraz w terenie. Drugą funkcją laboratorium jest dydaktyka. Podstawowy cel dydaktyczny, to zapoznanie geologów i górników z zagadnieniami ciepłowniczymi. Aktualnie w laboratorium swoje zajęcia dydaktyczne odbywają studenci studiów drugiego stopnia w specjalności wiertnictwo oraz studiów podyplomowych „Geenergetyka i geoinżynieria”. Trzecie zadanie to funkcjonowanie jako źródła ciepła lub chłodu dla zapewnienia komfortu cieplnego w sali audytorijnej wydziału.

Zapotrzebowanie ciepła na ogrzewanie powietrza wentylacyjnego jest zdecydowanie większe niż zapotrzebowanie na chłód. Tym bardziej, że klimatyzowanie sali w ciągu całego lata nie jest potrzebne ze względu na brak wykładów i konferencji w całym okresie letnim. W górotworze powstaje więc dysproporcja, ciepła pobieranego jest więcej, aniżeli ciepła wprowadzanego do górotworu. Taka sytuacja, szczególnie przy większych instalacjach prowadzi do obniżania się temperatury górotworu na przestrzeni lat eksploatacji, ze

względu na niedostateczną regenerację zasobów ciepła przy klimatyzacji. Wobec tego zdecydowano się na dodatkowe źródło ciepła, które pełni rolę regeneratora zasobów ciepła w górotworze. Są to kolektory słoneczne o różnych konstrukcjach, tak aby dodatkowo mieć możliwość badań w zakresie pozyskiwania ciepła słonecznego. Lokalizacja kolektorów i całego laboratorium w miejscu otoczonym z czterech stron wysokimi budynkami umożliwia dodatkowo badanie efektów cieplnych podczas pozyskiwania promieniowania rozproszonego.

Laboratorium, poza badaniami wymienników otworowych, służy także do badań przepływów ciepła w górotworze. Przepływy ciepła związane są z poborem ciepła zimą do ogrzewania sali audytoryjnej WwNiG AGH oraz wprowadzaniem ciepła przy jej pasywnej i aktywnej klimatyzacji. Schematyczna budowa elementów grzewczych centrali wentylacyjnej pokazana jest na rysunku 7. Rekuperacja ciepła i chłodu jest realizowana za pomocą wymiennika obrotowego. Progowa różnica temperatur, przy której włącza się odzyskiwanie ciepła (lub chłodu), wynosi 3 K.



Rys. 7. Elementy grzewcze i chłodzące w centrali wentylacyjnej audytorium WwNiG AGH

Efektywność energetyczna poza układem laboratoryjnym oraz ekonomika takich rozwiązań jest przedmiotem realizowanego grantu badawczego. W tym celu zrealizowany został także symulator numeryczny umożliwiający docelowo wykonywanie prognoz eksploatacji systemów z dużą liczbą otworowych wymienników ciepła. Obecnie trwają prace nad jego kalibracją.

Następna funkcja laboratorium to opracowanie prostych instalacji wraz ze sterowaniem. W ramach laboratorium optymalizuje się oprogramowanie sterujące takie systemy, które będzie odpowiednio dobierać tryby pracy przy kryterium ekonomicznym (maksymalizacja wartości NPV) i/lub przy kryterium energetycznym (minimalizacja rocznego zużycia energii pierwotnej).

## 5. WNIOSKI

1. Rola geoenergetyki niskiej entalpii może być znacząca w wielu krajach świata strefy umiarkowanej. Z racji możliwości wykorzystania górotworu jako źródła i magazynu ciepła, instalacje z otworowymi wymiennikami mogą być wykorzystywane przez cały rok. Zimą dają możliwość pozyskiwania ciepła na cele grzewcze, a latem mogą być regenerowane ciepłem słonecznym i/lub z klimatyzacji wewnątrz.
2. Energia niskotemperaturowa w górotworze jest powszechnie dostępna i możliwa do wykorzystania praktycznie w każdym miejscu. Obecnie na świecie podejmowane są działania mające na celu zwiększenie produkcji energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych. Praca górotworu jedynie jako źródła ciepła może być traktowana jako pozyskiwanie odnawialnej energii geotermalnej. W rzeczywistości instalacje grzewczo-chłodnicze oparte na wymiennikach otworowych i pompach ciepła służą bardziej racjonalizacji gospodarowania ciepłem niż pozyskiwaniu energii odnawialnej. Dotyczy to instalacji o zbilansowanej ilości energii pozyskiwanej i wprowadzanej do górotworu.
3. Budowa instalacji geotermalnej z otworowymi wymiennikami ciepła nie obniża walorów estetycznych środowiska, ponieważ jej główne elementy znajdujące się poza obiektem budowlanym i umieszczone są pod powierzchnią ziemi.
4. W celu wykonywania badań otworowych wymienników ciepła oraz przepływów i magazynowania ciepła w górotworze na Wydziale Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH zbudowano Laboratorium Geoenergetyki. W skład laboratorium wchodzi dwie pompy ciepła o sumarycznej mocy 26 kW oraz pięć otworowych wymienników ciepła o głębokości 78 m każdy.
5. Do regeneracji zasobów ciepła w górotworze, które pozyskane zostały w sezonie grzewczym, służy instalacja klimatyzacyjna i kolektory słoneczne. Jeśli ciepło do regeneracji zasobów ciepła w górotworze pochodzi z procesów chłodniczych, instalację można nazywać układem do racjonalizacji gospodarki ciepłem. Jeśli regeneracja odbywa się przy wykorzystaniu jedynie ciepła słonecznego z kolektorów, to jest to instalacja do pozyskiwania energii odnawialnej.

6. Laboratoryjna instalacja grzewczo-chłodnicza służy także ogrzewaniu i klimatyzacji Auditorium WWNiG. Układ umożliwia pasywny przepływ ciepła podczas klimatyzacji w okresie, gdy górotwór jest wychłodzony po sezonie grzewczym. Aktywne dwukierunkowe przepływy ciepła pomiędzy górotworem a audytorium są realizowane z zastosowaniem pomp ciepła.

## LITERATURA

- [1] Gonet A. (red.): *Metodyka identyfikacji potencjału cieplnego górotworu wraz z technologią wykonywania i eksploatacji otworowych wymienników ciepła*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2011 (w druku)
- [2] Gonet A., Śliwa T., Jezuit Z., Sapińska-Śliwa A., Knez D.: *Koncepcja wykorzystania odwiertów naftowych w Karpatach*. Wiertnictwo Nafta Gaz, nr 4/2010
- [3] Pawlikowski B.: *Dokumentacja geologiczna wierceń dla przyszłej instalacji otworowych wymienników ciepła w celach naukowo-badawczych*. AGH, Kraków 2008