

**Andrzej Gonet\*, Tomasz Śliwa\*, Jacek Hendel\*\***

## **MAGAZYNOWANIE W GÓROTWORZE CIEPŁA POCHODZĄCEGO Z RÓŻNYCH ŹRÓDEŁ\*\*\***

### **1. WPROWADZENIE**

Od wielu lat obserwujemy wzrost światowej konsumpcji energii. W dokumencie World Energy Outlook 2010 Scenariuszu Nowych Polityk, Międzynarodowa Agencja Energii (IEA) szacowała, że zapotrzebowanie na energię pierwotną pomiędzy rokiem 2008 a 2035 wzrośnie o 38% z 12 300 Mtoe<sup>1</sup> do 16 700 Mtoe, co daje średni 1,2% wzrost konsumpcji na rok. Bardziej zachowawczy scenariusz (tzw. scenariusz 450) zakładał wzrost na poziomie 0,7% rocznie. (IEA, 2010). Już w kolejnej edycji raportu World Energy Outlook 2011, agencja podała, iż w roku 2010 popyt na energię wzrósł o 5% oraz nastąpiła rekordowa emisja CO<sub>2</sub> (IEA, 2011). W każdym wariantcie rozwoju energetyki światowej, niezależnie czy bierze pod uwagę prognozy z 2010 roku, czy z 2011, podstawowym źródłem uzyskania energii będą: ropa naftowa, gaz ziemny i węgiel. Spalanie paliw kopalnych wyemituje znaczne ilości CO<sub>2</sub>. Z powodu wzrostu konsumpcji, konieczności zakupu pozwoleń na emisję gazów cieplarnianych oraz wysokonakładowych inwestycji w energetyce, szczególnie polskiej, prognozuje się znaczny wzrost cen energii. W związku z tym, szczególnie nacisk należy kłaść na poprawę efektywności wytworzenia i przesyłu, oszczędność oraz racjonalizację zużycia energii.

---

\* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Katedra Wiertnictwa i Geoinżynierii, Kraków, gonet@agh.edu.pl, sliwa@agh.edu.pl

\*\* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Kraków, jacek.hendel@gmail.com

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

<sup>1</sup> million tonne of oil equivalent (1 Mtoe = 41,868 PJ).

## 2. CEL MAGAZYNOWANIA ENERGII

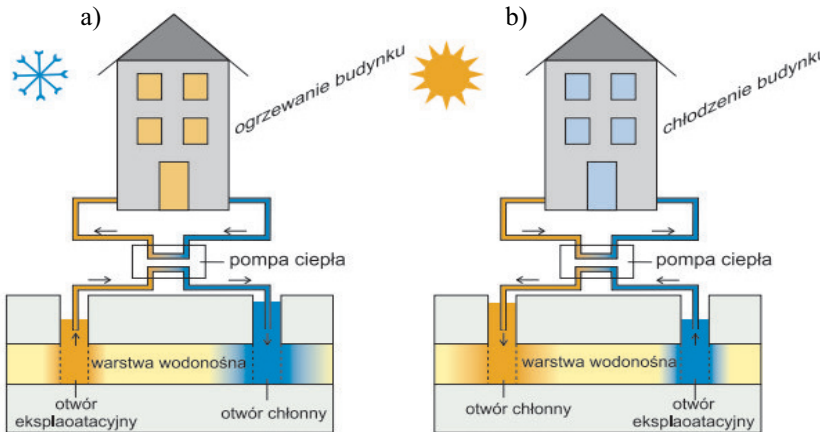
Problem w efektywnym gospodarowaniu wytworzoną energią sprawia dobową oraz sezonową zmienność jej konsumpcji. Z powodu zmienności zużycia energii konieczne jest jej magazynowanie. Energia może być gromadzona w postaci mechanicznej, elektrycznej, chemicznej lub w postaci ciepła. (Szlachta, 1999; Ataer, 2006). Energię mechaniczną (kinematyczną) gromadzi się dzięki elektrowniom szczytowo-pompowym. Zasada działania opiera się na pompowaniu wody do górnego zbiornika w czasie niskiego popytu na energię (noc) oraz odbiorze energii kinematycznej spływającej grawitacyjnie wody w czasie szczytowego poboru energii (dzień). Alternatywnymi sposobami magazynowania energii mechanicznej są komory sprężonego powietrza oraz koła zamachowe. Akumulacja energii elektrycznej, a właściwie elektro-chemicznej następuje dzięki użyciu ogniw galwanicznych, akumulatorów oraz magazynowaniu produktów elektrolizy wody. Najprostszym sposobem akumulacji energii jest wykorzystanie pojemności cieplnej różnych materiałów. Ciepło może być magazynowane krótkoterminowo w celu przygotowania ciepłej wody użytkowej czy dla ogrzewania lub chłodzenia pomieszczeń. W tym przypadku jako medium gromadzące energię najczęściej wykorzystuje się wodę. Metoda ta często stosowana jest w budownictwie jednorodinnym. Długoterminowe gromadzenie ciepła może odbywać się w górotworze.

## 3. PODZIEMNE MAGAZYNOWANIE CIEPŁA

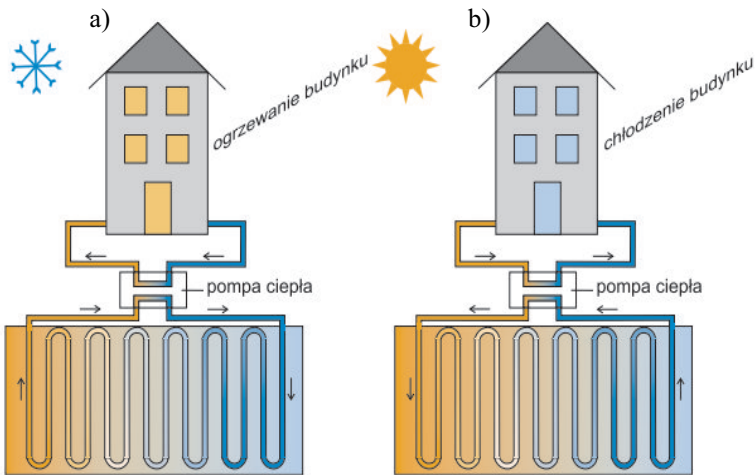
Proces magazynowania ciepła w górotworze prowadzi się na różnych głębokościach. (Pinka *et al.*, 2001) Płycej – wykorzystując poziome gruntowe wymienniki ciepła (sposób mało efektywny, rzadko stosowany) oraz głębiej – w skałach lub warstwach wodonośnych, zwany podziemnym magazynowaniem ciepła (UTES – *Underground Thermal Energy Storage*) (Sanner, 2001a). Spośród metod UTES, największą popularnością cieszą się: magazynowanie ciepła w warstwach wodonośnych (zwane z ang. ATES – *Aquifer Thermal Energy Storage*, rys. 1) oraz magazynowanie energii w górotworze ze pomocą otworowych wymienników ciepła (z ang. BTES – *Borehole Thermal Energy Storage*). Czasami dzieli się systemy UTES na otwarte (ATES – *Aquifer Thermal Energy Storage*) oraz zamknięte (DTES – *Duct Thermal Energy Storage*, rys. 2) (Sanner, 2001b)

W górotworze można gromadzić nie tylko ciepło lecz również chłód (UCS – *Underground Cold Storage*). Akumulacja chłodu staje się bardzo popularna z powodu wysokiego kosztu jego wytwarzania. W latach 60. XX wieku Chiny były pionierem tej technologii. Obecnie prym wiodą Holandia, Belgia i Szwecja (Sanner, 2001a). Systemy magazynowania ciepła i chłodu szczególnie przydatne są w pobliżu dużych obiektów wymagających ogrzewania zimą oraz klimatyzowania latem. Magazyn w górotworze pracuje wtedy cyklicznie oddając ciepło zimą, jednocześnie wychładzając się i magazynując chłód. Latem z kolei zgromadzony chłód wykorzystuje się np. do klimatyzacji. Chłód odbierany z górotworu jest

jednocześnie procesem wprowadzania do skał ciepła, które będzie wykorzystane w sezonie grzewczym. Takim przykładem w Polsce może być zbudowany system grzewczo-chłodniczy w *Ekologicznym Parku Edukacji i Rozrywki OSSA*. (Złotkowski *et al.*, 2011).



**Rys. 1.** Schemat otwartej metody magazynowania ciepła ATES: a) ogrzewanie w okresie zimowym; b) chłodzenie w okresie letnim (Kapuściński&Rodzoch, 2010)



**Rys. 2.** Schemat zamkniętej metody magazynowania ciepła DTES: a) ogrzewanie w okresie zimowym; b) chłodzenie w okresie letnim (Kapuściński&Rodzoch, 2010)

#### 4. MAGAZYNOWANIE CIEPŁA W WARSTWACH WODONOŚNYCH

Technologia ATES wykorzystuje warstwy wodonośne w celu magazynowania w nich ciepła lub chłodu. Górótwór poniżej głębokości periodycznego wnikania ciepła posiada stałą temperaturę odpowiadającą średniorocznej temperaturze powietrza atmosferycznego.

Temperatura skał rośnie wraz z głębokością zgodnie z regionalnym lub lokalnym gradientem geotermicznym. Podczas sezonu grzewczego chłód jest gromadzony w warstwie wodonośnej wraz z wodą wprowadzaną do niej otworem chłonnym. Jednocześnie następuje pobór ciepła z wody eksploatowanej studnią produkcyjną, odpowiednio oddaloną od chłonnej. W sezonie letnim, obieg zostaje odwrócony. Otwór chłonny staje się otworem eksploatacyjnym i zmagazynowana schłodzona woda służy celom chłodniczym, natomiast ciepło odpadowe zostaje zatłoczone i zmagazynowane w cieplejszej części warstwy wodonośnej. W zależności od wielkości odbiorcy i warunków hydrogeologicznych wykonuje się od jednej do kilku studni zarówno po stronie cieplejszej jak i zimniejszej. Pierwszą instalacją ATES powstała w Chinach w latach 80. XX wieku (Wu *et al.*, 2000), następnie magazyny powstały w Ameryce Północnej i Europie. Do roku 2003 istniało ponad 200 projektów ATES w Holandii (Snijders, 2002), 30 w Szwecji (stan na rok 2001). Liczącymi się państwami w rozwoju magazynów ATES są Niemcy (Kabus *et al.*, 2000; Pokosy *et al.*, 2003; Dikici *et al.* 2003) i Belgia (Dirven&Gysen, 2000). W roku 2006 w Belgii działało ponad 10 dużych instalacji ATES o mocy chłodniczej ponad 500 kW (Desmedt *et al.*, 2006). Należy wspomnieć również o ciekawym rozwiązaniu instalacji geoenergetycznej działającej na rzecz ogrzewania i chłodzenia Bundestagu w Berlinie, gdzie wykorzystywane są dwie warstwy wodonośne. Powstają również projekty ATES w krajach śródziemnomorskich, takich jak np. Turcja, gdzie zapotrzebowanie na chłód jest istotnym problemem (Pokosy *et al.* 2003; Dikici *et al.*, 2003).

## **5. MAGAZYNOWANIE ENERGII W GÓROTWORZE ZA POMOCĄ OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA**

Instalacje BTES są alternatywnym rozwiązaniem w przypadku, gdy dany obiekt nie leży nad aquiferem. Ponadto idealnie nadają się do gromadzenia ciepła z paneli słonecznych, czy systemów kogeneracyjnych wytwarzających energię podczas sezonu letniego. Warto również podkreślić, że instalacje BTES mogą być wykorzystywane do bezpośredniego chłodzenia w okresie letnim, bez użycia energochłonnych agregatów chłodniczych. Nakłady poniesione na instalacje BTES zwracają się w okresie 7–10 lat (Desmedt *et al.*, 2006), przy czym najdroższą częścią przedsięwzięcia jest wiercenie otworów w górotworze pod wymienniki. W celu obniżenia kosztów wykonania otworowych wymienników ciepła, rozważa się adaptację wyeksploatowanych lub negatywnych otworów naftowych (Śliwa, 2002; Gonet *et al.*, 2010). Dzięki temu możliwe będzie wykorzystanie także głębokich otworów, jednak tylko do pozyskiwania ciepła.

## **6. PODSTAWOWE ZAŁOŻENIA MAGAZYNOWANIA ENERGII W GÓROTWORZE**

Dwie podstawowe cechy, jakimi powinien charakteryzować się magazyn energii, to bezpieczeństwo środowiska oraz opłacalność ekonomiczna. Akumulator taki, ponadto musi

charakteryzować się łatwością ładowania i rozładowywania, małymi stratami zgromadzonej energii oraz znaczną pojemnością magazynowania (Szlachta, 1999). Proces magazynowania ciepła w górotworze spełnia wszystkie, wymienione poniżej warunki:

- Jest bezpieczny. Ciepło zgromadzone w skałach nie powoduje zagrożenia dla środowiska naturalnego. Ponadto zakumulowane w górotworze bardzo wolno się rozprzestrzenia poza miejsce „załadunku”, co minimalizuje straty. Mikrowstrząsy obserwowane ostatnio (2009–2010) w dolinie Renu, błędnie kojarzone z procesem pozyskiwania energii geotermalnej, mają inne źródło.
- Znaczna jednostkowa pojemność cieplna skał i wody. Pojemność właściwa wody wynosi 4,2 kJ/(kg·K), natomiast wybranych skał przedstawiona jest w tabeli 1.
- W przypadku, gdy magazynowana energia ma temperaturę wyższą niż akumulator, przepływ następuje samorzutnie. Jeżeli jest odwrotnie, konieczne jest użycie pomp ciepła, co generuje dodatkowe nakłady inwestycyjne oraz pochłania energię konieczną do zasilania pomp, obniżając sprawność całkowitą procesu magazynowania.
- W procesie tworzenia podziemnego magazynu ciepła, najdroższe jest wykonanie dolnego źródła ciepła, dlatego rozważa się adaptację w tym celu nieeksploatowanych otworów naftowych (Śliwa, 2002; Gonet *et al.*, 2010).

**Tabela 1**

Wartości cieplnej pojemności właściwej różnych skał wg Gonet, 2011; Plewa, 1994

Skala	Pojemność cieplna właściwa $c$ , MJ·m <sup>-3</sup> ·K <sup>-1</sup>	Skala	Pojemność cieplna właściwa $c$ , MJ·m <sup>-3</sup> ·K <sup>-1</sup>
Piaskowiec kwarcytowy	0,789–0809	Piaskowce	0,837
Piaskowiec drobnoziarnisty (w temp. 25 °C do 527 °C)	0,837–1,28	Piaskowce (w temp. 25 °C do 527 °C)	0,824–1,18
Łupek kwarcytowy	0,819–0,881	Mułki	0,963
Łupek kwarcytowo-węglanowy	0,741–1,666	Il piaszczysty (w temp. 25 °C do 527 °C)	0,828–1,255
Łupek (w temp. 25 °C do 527 °C)	0,795–1,176	Iły piaszczysto-margliste	0,879
Łupek	0,837	Iły	0,921
Łupek amfiboliczny	1,063–1,201	Margle	1,005
Łupek łuszczkowy	0,735–0,872	Wapienie margliste	0,670
Łupek talkowo-chlorytowy	0,819–0,911	Wapienie	1,005
Łupki ilaste i margliste	0,921	Kreda pizująca	0,837
Serpentynit	0,840–1,042	Dolomity	0,921
Gnejs	0,754–1,176	Gipsy	1,130
Granitognejs	0,795–1,516	Gipso-anhydryty	1,088
Kwarcyt	0,718–1,331	Anhydryty	1,047
Marmur	0,753–0,879	Sole z anhydrytami	0,963
Skarn	0,741–0,901	Sól kamienna	0,837

## 7. ŹRÓDŁA DODATKOWEJ ENERGII

W górotworze można gromadzić energię wytworzoną za pomocą paneli słonecznych, układów kogeneracyjnych lub jej nadwyżki powstające w konwencjonalnych i nuklearnych elektrowniach w czasie zmniejszonego popytu. O ile w konwencjonalnych elektrowniach opalanych węglem brunatnym, kamiennym czy gazem, regulacja mocy nie jest tak uciążliwa, to w sytuacji elektrowni nuklearnych wahania popytu na energię są istotnym problemem. W celu oszczędności energii, wskazana jest akumulacja ciepła wyrzucanego z wentylowanych oraz klimatyzowanych pomieszczeń latem, aby powtórnie go użyć na potrzeby ogrzewania czy przygotowania c.w.u. zimą (Domański&Moszyński, 1983). Istotnym źródłem ciepła tego typu są zakłady przemysłowe. Generują one energię wtórną, niewykorzystaną w procesach technologicznych, w postaci paliw odpadowych, nadwyżek ciśnienia oraz ciepła odpadowego. Ponadto, jak każdy budynek użytkowy, odprowadzają do środowiska energię odpadową poprzez system wentylacji i klimatyzacji. Istotnym źródłem energii odpadowej jest energia wód zrzutowych z zakładów energetycznych oraz ciepło odprowadzanych ścieków (Kapuściński&Rodzoch, 2010; Rosik-Dulewska&Grabda, 2001). Odzysk i gromadzenie ciepła jest szczególnie opłacalne, gdy procesy technologiczne prowadzone są w wysokiej temperaturze, co w konsekwencji powoduje, że temperatura ciepła odpadowego jest znacznie większa niż temperatura otoczenia. Przedsiębiorstwami spełniającymi powyższy warunek są huty (stali, szkła), cementownie oraz drobne zakłady przemysłowe, jak piekarnie, suszarnie czy spalarnie odpadów.

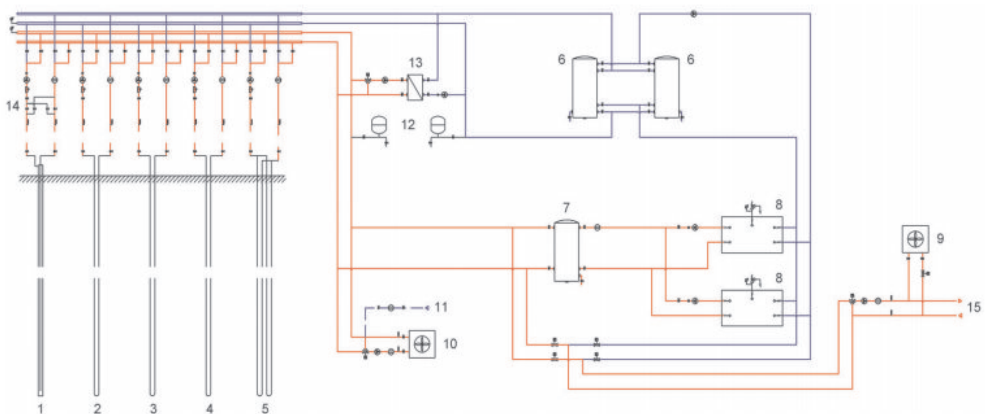
## 8. BADANIA ZWIĄZANE Z MAGAZYNOWANIEM CIEPŁA W GÓROTWORZE PROWADZONE NA WYDZIALE WIERTNICTWA, NAFTY I GAZU AGH W KRAKOWIE

Pionierami w magazynowaniu energii w górotworze są kraje skandynawskie, Belgia, Holandia, Niemcy, oraz dwaj najwięksi konsumenci energii na świecie – USA i Chiny. Charakterystyka zjawisk zachodzących w górotworze, ekonomiki magazynowania w nim energii oraz procesów towarzyszących są przedmiotem intensywnych badań ośrodków akademickich na całym świecie. Punktem kulminacyjnym wymiany poglądów oraz spostrzeżeń naukowców i praktyków jest cykliczna konferencja International Conference on Thermal Energy Storage (np. Futurestock, 2003; Ecostock, 2006; Effstock, 2009; Innostock 2012).

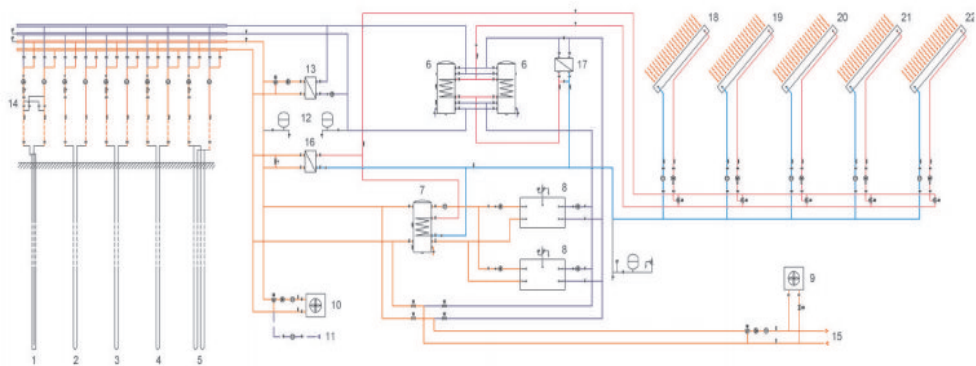
W Polsce w pierwszej połowie lat 90. XX wieku rozpoczęto wykorzystywanie ciepła z wód termalnych na cele grzewcze. Tzw. płytka geotermia, lub geotermia niskotemperaturowa, do której zalicza się instalacje magazynowania ciepła i chłodu (UTES, ATES, BTES) w górotworze początek swojego rozwoju w Polsce na większą skalę datuje na XXI wiek (Złotkowski *et al.*, 2011).

Koncepcja badań nad wykorzystaniem górotworu jako rezerwuaru ciepła i chłodu pojawiła się na WWiG AGH pod koniec lat 90 (Śliwa, 1996) wraz z koncepcją wykonywania głębokich otworowych wymienników ciepła (Śliwa&Kotyza 2000). W tym celu wykonano od podstaw Laboratorium Geoenergetyki. Dla potrzeb badawczych wykonano instalację BTES składającą się z pięciu otworowych wymienników ciepła o głębokości 78 m.

Każdy wymiennik ciepła ma inną konstrukcję. Dzięki temu możliwe stało się badanie wpływu budowy wymiennika (koncentryczny-współosiowy, z pojedynczą u-rurką, z podwójną u-rurką) oraz użytego materiału uszczelniającego (o różnej przewodności cieplnej) na proces wymiany ciepła z górotworem. Instalacja umożliwia wykonywanie testów reakcji termicznej na otworach i określanie efektywnej przewodności cieplnej wymienników w zależności od strumienia objętości nośnika ciepła, mocy grzewczej, rodzaju nośnika ciepła, czasu trwania testu i kierunku cyrkulacji nośnika ciepła (w wymienniku centrycznym). Laboratorium wyposażone jest w dwie pompy ciepła, które poza celami badawczymi służą do dostarczania ciepła i chłodu do ogrzewania i klimatyzacji audytorium WwNiG AGH. Zimą ogrzewanie bazuje na niskotemperaturowym cieple z górotworu, latem wytwarzają chłód do klimatyzacji audytorium, który to proces jest jednocześnie regeneracją zasobów ciepła w górotworze – magazynowaniem ciepła na sezon grzewczy. Schemat systemu pokazano na rysunku 3. Cyfry na rysunku oznaczają: 1 – koncentryczny otworowy wymiennik ciepła, współosiowy), 2 – otworowy wymiennik ciepła o konstrukcji pojedynczej u-rurki uszczelniony zwykłym zaczynem cementowym, 3 – otworowy wymiennik ciepła o konstrukcji pojedynczej u-rurki uszczelniony zaczynem cementowym o podwyższonej przewodności cieplnej, 4 – otworowy wymiennik ciepła o konstrukcji pojedynczej u-rurki wypełniony żwirem i uszczelniony łem w interwale przepuszczalnym, 5 – otworowy wymiennik ciepła o konstrukcji podwójnej u-rurki, 6 – zbiornik buforowy nośnika ciepła po stronie zimnej, 7 – zbiornik buforowy nośnika ciepła po stronie ciepłej, 8 – pompa ciepła, 9 – klimakonwektor wentylatorowy do ogrzewania i chłodzenia laboratorium, 10 – nagrzewnica wodna, 11 – doprowadzenie wody sieciowej do napełnienia instalacji, 12 – przeponowe naczynie 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 zasilającej salę wykładową WwNiG. Ponadto, laboratorium wyposażono w 5 kolektorów słonecznych, każdy o innej budowie, mających za zadanie wspomóc regenerację potencjału cieplnego górotworu (rys. 4) (Gonet, 2011; Śliwa&Gonet, 2011).



**Rys. 3.** Schemat instalacji grzewczo-chłodniczej w oparciu o BTES w Laboratorium Geoenergetyki WwNiG AGH (Gonet, 2011)



Rys. 4. Schemat instalacji wzbogaconej o kolektory słoneczne (Śliwa&Gonet, 2011)

## 9. PODSUMOWANIE

Z racji rosnącej konsumpcji energii i konieczności jej efektywnego wykorzystania, ważkim problemem staje się magazynowanie zarówno nadwyżek energii, jak i energii odpadowej. Każdy budynek biurowy czy usługowy generuje znaczne ilości ciepła odpadowego, które emitowane zarówno zimą, jak i latem przez system wentylacji w atmosferę, zostaje bezpowrotnie stracone. Jeszcze poważniejszymi emitentami energii odpadowej są zakłady przemysłowe, w których odbywają się procesy technologiczne wymagające znacznych temperatur. Nadwyżka energii z elektrowni, ciepło odpadowe z hut, piekarni, spalarni czy zakładów energetycznych oraz systemów wentylacji obiektów usługowych może być z powodzeniem magazynowana w górotworze. Jeżeli istnieją uwarunkowania hydrogeologiczne, akumulację ciepła prowadzi się w warstwach wodonośnych. Alternatywną metodą jest wykonanie instalacji otworowych wymienników ciepła. W górotworze można bezpiecznie i efektywnie magazynować zarówno ciepło, jak i chłód. Dla lepszego poznania i opisanie zjawisk towarzyszących procesowi magazynowania energii w górotworze i jego efektywności należy prowadzić nieustanne obserwacje i badania, w co włączył się Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH w Krakowie tworząc Laboratorium Geoenergetyki.

## LITERATURA

- Ataer O. Erean: *STORAGE OF THERMAL ENERGY*, in *Energy Storage System*. [Ed. Yalcin Abdullah Gogus], in *Encyclopedia of Life Support System (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford, UK [www.eolss.net](http://www.eolss.net), 2006.
- Desmedt J., Hoes H., Van Bael J.: *Status of Underground Thermal Energy Storage in Belgium*. 10<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, New Jersey, USA, 2006.



- Dikici D., Pakosy H., Kandirmaz S., Konuklu S.: *Availability of Cold for Injection with Borehole Thermal Energy Storage in Turkey*. 9<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Warsaw, Poland, vol. 1, 2003.
- Dirven P., Gysen B.: *Towards the Growth of ATEs in Flanders (Belgium)*. 8<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Stuttgart, Germany, vol. 1, 2000.
- Domański R., Moszyński J.R.: *Możliwości i problemy magazynowania energii cieplnej*. Biuletyn Informacyjny Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej Nr 62, 1983.
- Gonet A. (red.): *Metodyka identyfikacji potencjału cieplnego górotworu wraz z technologią wykonywania i eksploatacji otworowych wymienników ciepła*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2011.
- Gonet A., Śliwa T., Jeziut Z., Sapińska-Śliwa A., Knez D.: *Koncepcja wykorzystania odwiertów naftowych w Karpatach*. *Wiertnictwo Nafta Gaz*, z. 4, 2010.
- IEA – International Energy Agency: *World Energy Outlook 2010*. [www.worldenergyoutlook.org](http://www.worldenergyoutlook.org) [dostęp:] 04.2011.
- IEA – International Energy Agency: *World Energy Outlook 2011*. [www.worldenergyoutlook.org](http://www.worldenergyoutlook.org) [dostęp:] 11.2011
- Kabus F., Seibt P., Poppei J.: *Aquifer Thermal Energy Stores in Germany*. 8<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Stuttgart, Germany, vol. 1, 2000.
- Kapuściński J., Rodzoch A.: *Geotermia niskotemperaturowa w Polsce i na świecie. Stan aktualny i perspektywy rozwoju. Uwarunkowania techniczne, środowiskowe i ekonomiczne*. Borgis Wydawnictwa Medyczne, Warszawa 2010.
- Pinka *et al.*: *Nove technologie rozpolowania hornin pri krtani*. Elfa, Koszyce 2001.
- Plewa S.: *Rozkład parametrów geotermalnych na obszarze Polski*. Wydawnictwo CPPGSMiE PAN, Kraków 1994.
- Pokosy H., Turgut B., Gürbüz Z., Evliya H.: *First Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) Plant in Turkey*. 9<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Warsaw, Poland, vol. 1, 2003.
- Rosik-Dulewska Cz., Grabda M.: *Rola ciepłej energii odpadowej oraz energii wód geotermalnych w ochronie środowiska przyrodniczego*. Proc. of International Scientific Conference „Geothermal Energy in underground mines”, 21–23 November 2001, Ustroń, Poland.
- Sanner B.: *Shallow Geothermal Energy*. GHC Bulletin, June 2001.
- Sanner B.: *A different approach to shallow geothermal energy – Underground Thermal Energy Storage (UTES)*. International Summer School on Direct Application of Geothermal Energy, 2001.
- Snijders A.: *ATES: Recent Development in the Netherlands*. Annex 14 Workshop, Stockton, NJ, USA, October 26, 2002, Proceedings on CD-ROM.
- Szlachta J. (red.): *Niekonwencjonalne źródła energii*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław 1999.

- Śliwa T.: *Wybrane systemy geotermalne w skałach suchych*. Konferencja naukowa z okazji X-lecia współpracy Państwowa Akademia Górnicza Ukrainy w Dniepropietrowsku, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie „Aktualny stan i perspektywy rozwoju górnictwa w aspekcie ochrony środowiska”, Dnepropetrovsk – Kraków 1996.
- Śliwa T.: *Techniczno-ekonomiczne problemy adaptacji wykorzystanych odwiertów na otworowe wymienniki ciepła*. AGH WWiNiG, Kraków 2002 (praca doktorska).
- Śliwa T., Gonet A.: *Otworowe wymienniki ciepła jako źródło ciepła lub chłodu na przykładzie laboratorium geoenergetyki WWiNiG AGH*. *Wiertnictwo Nafta Gaz*, z. 1–2, 2011.
- Śliwa T., Kotyza J.: *Dobór optymalnego otworowego wymiennika ciepła w otworze Jachówka 2K do głębokości 2870 m*. *Metodyka i technologia uzyskiwania użytecznej energii geotermicznej z pojedynczego otworu wiertniczego*, pod red. J. Sokołowskiego, Polgeotermia, IGSMiE PAN Pracownia Geosynoptyki i Geotermii, Kraków 2000.
- Wu X., Ma J., Bink B.: *Chinese ATES Technology and Its Future Development*. 8<sup>th</sup> International Conference on Thermal Energy Storage, Stuttgart, Germany 2000.
- Złotkowski A., Śliwa T., Gonet A.: *Otworowe wymienniki ciepła w instalacji grzewczo-klimatyzacyjnej Ekologicznego Parku Edukacji i Rozrywki OSSA*. *Wiertnictwo Nafta Gaz*, z. 1–2, 2011.