

ELEONORA SOLIK-HELIASZ*, MICHAŁ SKRZYPCZAK**

THE TECHNOLOGICAL DESIGN OF GEOTHERMAL PLANT FOR PRODUCING ENERGY FROM MINE WATERS

PROJEKT SIŁOWNI GEOTERMALNEJ DO PRODUKCJI ENERGII Z WÓD KOPALNIANYCH

The results of the analysis on extracting heat from mine waters have been presented. The abandoned underground Katowice coal mine has been used as an example. The result is a technological design for 3,000 kW thermal plant producing 600 kW of electric power. The proposed configuration has been adapted to specific conditions of mine waters pumping system: mainly to changes of water flow, possible breaks in pumping and the system of carrying mine waters to the environment. Our researches show that extracting heat from low-temperature sources like mine waters can be economically and ecologically efficient, if appropriate technology is used and local geological and mining conditions are taken into consideration.

Keywords: geothermal energy at Upper Silesian Coal Basin (GZW), geothermal plant, geothermal installation, heat extraction from mine waters, Katowice coal mine

W obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) z 53 kopalń węgla kamiennego odprowadzane jest około 600 000 m³ wód na dobę o temperaturze od 13° do 23°C. Określony dla nich potencjał cieplny (moc cieplna) wynosi łącznie około 220 MW (Solik-Heliasz, 2007b). Potencjał ten zmienia się w poszczególnych kopalniach od 0,3 do ponad 10 MW – w wielu z nich jest więc duży i warty wykorzystania. W Europie istnieją już kopalniane instalacje geotermalne opierające się na pompach i wymiennikach ciepła, jak choćby w Anglii, Holandii, na Słowacji, jednak w Polsce brak było dotąd tego typu rozwiązań. Wcześniejsze, polskie prace wskazywały na możliwe ograniczenia w pozyskaniu energii z wód kopalni w GZW (Kubski 2002, Solik-Heliasz i Małolepszy, 2002, Solik-Heliasz i Skrzypczak, 2005). Ograniczenia te nie zostały wcześniej szczegółowo zweryfikowane w toku prac aplikacyjnych. Dopiero projekt technologiczny siłowni geotermalnej pozwolił zmierzyć się z konkretnymi problemami oraz zaproponować odpowiednie rozwiązania.

Celem projektu było opracowanie ekonomicznie efektywnego układu do pozyskania energii cieplej z wód kopalnianych i do produkcji prądu elektrycznego oraz uzyskanie znaczącego efektu ekologicznego w postaci obniżenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Przedmiotem zainteresowania były wody

* CENTRAL MINING INSTITUTE, PL. GWARKÓW 1, 40-160 KATOWICE, POLAND, e-mail: esolik@gig.katowice.pl

** VERT ENERTY CONSULTING MICHAŁ SKRZYPCZAK, UL. MORSKIE OKO 7/71, 43-316 BIELSKO-BIAŁA, POLAND, e-mail: biuro@skrzypczak.pl

zlikwidowanej kopalni Katowice wypompowywane w ilości średnio 5,4-6,2 m³/min, a odbiorcą energii, projektowany obiekt muzeum śląskiego w Katowicach. Wody kopalniane na wylocie z szybu wykazują temperaturę 19,3°-19,8°C. Ich mineralizacja wynosi około 4 g/l, a zawartość zawiesiny, 10-30 mg/l. Po wypompowaniu na powierzchnię są odprowadzane kanałem zrzutowym do rzeki Rawy. Określony dla wód kopalni Katowice całkowity potencjał energii cieplnej wynosi, w zależności od natężenia pompowania, 3,7-6,9 MW. Możliwości odbioru energii wynikają w odniesieniu do tej kopalni ze zbiegu kilku korzystnych czynników: a) znacznej ilości wód i ich zadawalającej temperatury (powyżej 19°C), b) małej odległości od szybu do przyszłego odbiorcy energii (150 m) c) potrzeby pompowania wód, celem zapewnienia bezpieczeństwa prowadzenia eksploatacji innym kopalniom, wreszcie c) ponoszenia przez Państwo jednej ze znaczących pozycji kosztów instalacji geotermalnej, jaką jest koszt pompowania wód na powierzchnię terenu.

W fazie badawczej przeanalizowano różne warianty ogrzewania projektowanego obiektu. Przeanalizowano wykorzystanie: sprężarkowych pomp ciepła, absorpcyjnych pomp ciepła, sprężarkowych pomp współpracujących z agregatem kogeneracyjnym wytwarzającym energię elektryczną do napędu pomp ciepła, jak również klasycznego węzła ciepłowniczego bazującego na węglu kamiennym lub kotłowni gazowej. Z punktu widzenia potrzeb i efektów najbardziej ekonomicznym rozwiązaniem okazało się wykorzystanie sprężarkowych pomp ciepła wraz z agregatami kogeneracyjnymi. Mając na wadze potrzeby cieplne przyszłego obiektu, w skład instalacji geotermalnej weszły 3 pompy ciepła i 1 rezerwowa oraz 2 agregaty kogeneracyjne zasilane gazem ziemnym (Rys. 1). Całkowita moc cieplna instalacji wyniesie wówczas 3035 kW, co w całości pokryje potrzeby grzewcze budowanego obiektu. W układzie tym uzyska się wodę o parametrach 60°/45°C. Ponadto w agregatach kogeneracyjnych wytworzona zostanie energia elektryczna w ilości 600 kW, która będzie wykorzystana do napędu pomp ciepła, a jej nadwyżka zostanie przeznaczona na cele własne projektowanego obiektu i w dalszej kolejności może być odsprzedana operatorowi systemu dystrybucyjnego. Rezerwowym źródłem ciepła na okres przestojów w pompowaniu będzie kotłownia gazowo-olejowa.

Instalacja siłowni geotermalnej została zaprojektowana elastycznie, co wynika z potrzeb energetycznych oraz z charakteru dostawy wód kopalnianych. Największe wyzwanie stanowiły okresy przerw w pompowaniu, związane z:

- 1) pompowaniem wód głównie nocą oraz z przestojami w ciągu dnia, wynikające z obowiązujących taryf za energię elektryczną
- 2) potencjalnymi awariami pomp, ich naprawami lub przerwami w dostawie energii elektrycznej zasilającej pompy, bądź z czynnikami natury górniczej.

W toku prac zaproponowano system pozyskania energii cieplnej nie ingerujący w obecny system odprowadzania wód do środowiska. Ciepło odbierane jest po wypompowaniu wód na powierzchnię terenu, ze zbiornika retencyjnego posadzonego na kanale zrzutowym wód kopalnianych. Zaprojektowany „by-pass” na kanale umożliwi kierowanie wód w zależności od potrzeb do urządzeń siłowni lub ich ominięcie (Rys. 2). W przypadku kopalni Katowice, ze względu na stosunkowo długie, kilkunastogodzinne przerwy, przewidziano budowę zbiornika akumulacyjnego zlokalizowanego w podziemiach budynku technologicznego, o pojemności 900 m³ (Rys. 2).

Zaproponowana kopalniana instalacja siłowni geotermalnej jest w pełni zautomatyzowanym, nowoczesnym układem technologicznym. Wyniki analizy ekonomicznej wykazały, że nakłady inwestycyjne na nową instalację będą większe, niż w układzie tradycyjnym opartym na węglu kamiennym, jednak koszty eksploatacyjne będą wyraźnie mniejsze. Prosty czas zwrotu, SPBT instalacji siłowni w wariantcie komercyjnym wyniesie 15,5 lat, przy dofinansowaniu w wysokości 50%, 7,7 lat, a w przypadku dofinansowania 85%, 2,3 lata. Progowa wartość dofinansowania dla zapewnienia opłacalności projektu (NPV > 0) wynosi 28,3%. Dofinansowanie jest realne, zważywszy na wiele możliwości proponowanych przez fundusze unijne i polskie.

Bardzo korzystny jest również uzyskany efekt ekologiczny. Urządzenia siłowni geotermalnej są praktycznie bezemisyjne. Wielkość emisji gazów w instalacji siłowni wyniesie zaledwie 76,8 Mg CO₂/rok. Dla porównania, dla wytworzenia porównywalnej ilości energii cieplnej i elektrycznej pochodzącej z konwencjonalnego źródła (węgla kamiennego), emisja zanieczyszczeń wyniosłaby 3686,7 Mg CO₂/rok.

Jak wykazały wyniki badań, siłownia geotermalna bazująca na niskotemperaturowych wodach kopalnianych oraz wysokosprawnej kogeneracji może być interesującą propozycją pozyskania dodatkowej ilości energii, którą można przeznaczyć na cele grzewcze i klimatyzacyjne. W GZW istnieje wiele

kopalń o znacznym potencjale cieplnym zawartym w wodach kopalnianych (Solik-Heliasz, red., 2009), i o podobnych warunkach górniczo-środowiskowych, jak w prezentowanym przypadku. Potencjał ten powinien być w większym stopniu wykorzystywany, co pozwoliłoby uzyskać wymierne korzyści ekonomiczne i ekologiczne.

Słowa kluczowe: energia geotermalna w GZW, siłownia geotermalna, kopalniana instalacja geotermalna, pozyskanie energii cieplnej z wód kopalnianych, instalacja geotermalna w kopalni Katowice

1. Introduction

There are 53 coal mines in the area of Upper Silesian Coal Basin (GZW) where the mine waters have to be pumped out. The total water flow is about 600,000 m³ per day (416 m³/min). The temperature of the mine waters at the ground level ranges from 13 to 2°C – so they can be considered low-temperature geothermal waters (Sokołowski, 1985). The total heat energy potential of these waters is about 220 MW (Solik-Heliasz, 2007b). This potential is different in particular coal mines and may vary from 0.3 to more than 10.0 MW. In many cases it is high enough and worth of considering for use.

There are some coal mine geothermal installations in Europe, based on heat pumps and heat exchangers, as for example in England, in the Slovakia and in Netherlands (Bajtoš, 2002, Bloomquist, 2002, Burke, 2002). A special attention should be paid to the latest one, which has been activated in Heerlen, the Netherlands. The installation uses mine waters of the abandoned Oranien-Nassau coal mine and delivers heat to residential area of about 75,000 m².

The earlier Polish scientific works showed some possible limitations in obtaining heat from mine waters at GZW (Kubski 2002, Solik-Heliasz & Małolepszy, 2002, Solik-Heliasz & Skrzypczak, 2005). They concerned mainly the mining, technical and environmental conditions. These limitations have not been verified in detail so far, so the technological design of the geothermal plant is the first case which enables to tackle some specific problems and to propose suitable solutions.

2. The aim and the conditions of the project

The aim of the project was to work out an economically efficient system obtaining heat from mine waters and to produce electricity. In particular, the aim was:

- to produce energy with prices competitive to other energy sources (coal, natural gas, oil, electric energy),
- to obtain significant ecological effect resulting in decrease in emission of pollutants to the atmosphere.

The results that have been achieved are promising. It succeeded to work out an efficient system which fully takes into consideration some specific problems of mine

waters. Moreover, the first experiences have been gained, which allows to conduct further researches on local systems using renewable energy sources (Staško & Kaliski, 2006) and working out the next solutions.

3. The coal mine's characteristics

The object of interest was the Katowice coal mine's mine waters – as a heat source and newly designed buildings of a Silesian Museum – as an energy receiver. This coal mine has got some significant trump cards. It is situated in the strict centre of Katowice agglomeration where construction of new buildings is planned. The amount and quality of the mine waters is also very promising. All these factors caused that the detailed researches on possibilities and effectiveness of obtaining energy for heating purposes have been taken on.

The Katowice coal mine was shut down in 2001. Currently, it is subordinated to The Central Company of Mines' Drainage, a joint-stock company, a part of Coal Mines Restructuring Company. The legal status of the coal mine is regulated, what is conducive to undertaking further actions directed towards producing energy. Although the coal mine does not operate any more, it must be still drained to ensure safety for other coal mines working in this area: Staszic, Mysłowice, Wieczorek and Wesoła. All these coal mines make up an hydraulic system and termination of drainage of one of them would cause flooding of the other ones (Rogoż & Posyłek, 1998). Currently, partial inundation of some closed-mines in GZW is allowed. However the allowable and safe level of mine waters must be determined for each mine (Vademecum, 2008).

One of the first responsible tasks connected with the technical project of the geothermal plant was to define a long-term draining duration of the coal mine's excavations. As there was no answer to this question, the authors started to work on defining potential risk factors, which could be imminent for continuous pumping.

Theoretically, there are two sources of danger for mine waters pumping. The first one is a possibility of rising of the water table in the Katowice coal mine's excavations. It could cause a reduction in the total amount of mine waters pumped out depending on established the mine waters' level. For example, if the present mine waters' level is raised up from -500 m to -300 m, the new water flow will amount to 3.9 m³/min. This means a decrease of the amount of pumped out mine waters by about 1.5 m³/min. In this case, the power of 2,174 kW is possible to obtain and it is still sufficient for heating of the designed buildings.

Another danger results from the termination of drainage of mine waters, which would cause the total mine inundation. But, even in this case, there is a huge underground water reservoir with a slightly higher temperature, which is a reserve heat source. If the coal mine is flooded only in an interval from -500 m to -197.5 m, the total amount of water in the mine's excavations and in the surrounding rock mass will be about $6.6 \cdot 10^6$ m³.

The reserves of heat in this reservoir have been estimated for 500,000 GJ (Solik-Heliasz, 2007a). In perspective, after all the mine's excavations flooding, the reserves of water and heat will raise several times.

In a result of another analysis, it has been stated that mine waters' pumping can not be stopped due to existing hydraulic connections. The Katowice coal mine's waters must be pumped out as long as all the coal mines which are located in the eastern area of GZW will not be shut down. According to the expectations, it will be a period from a dozen to several dozen years. It has been evaluated that this period is long enough for amortization of the geothermal installation. Moreover, the coal reserves which have been certified in A+B+C1 categories, are predicted for potential exploitation for further 31 – 206 years (Bilans, 2007) and this fact together with a long-lasting economic boom for the coal are a guarantee for continuous mine waters' pumping from the present water level. All these factors show that possibilities of geothermal heat extraction became advisable.

4. The characteristics of mine waters as a heat source

In the Katowice coal mine all the excavations which are located below level -500 m have been flooded. For safety reasons, which have been mentioned before, the mine waters' level is set to -477.3 m and the excess water is pumped out to the ground surface. Depending on the amount of rainwater, the amount of pumped out mine waters is 5.4÷6.2 m³/min. In a short period of time it can decrease to 4.8 m³/min or raise to 8÷9 m³/min. The temperature of the mine waters at the ground surface is 19.3÷19.8°C, the mineralization is about 4 g/l and the amount of suspension is 10÷30 mg/l. After pumping out, the waters are drained to Rawa river. This is a functional system typical for many mines at GZW.

In the case of the Katowice coal mine, possibilities of energy extraction come from a coincidence of many favourable factors: a) large amount of water of slightly higher temperature (above 19°C) is pumped out, b) a future energy consumer is located very close i.e. within a distance of 150 m from the mine shaft, c) there is a need for pumping the mine waters to guarantee safety for the other mines, finally d) the cost of pumping is borne by the State Treasury. So the pumping the mine waters charge, which is a significant financial burden, can be removed from a calculation of the total costs of the geothermal installation.

During the design process, a system of obtaining heat which does not interfere in the present ground drainage system has been proposed. After pumping out the mine waters to the ground surface, heat is being extracted from the storage reservoir which is located in the discharge channel. A special bypass is proposed in order to control the mine water flow which allow to direct the water towards the plant installation or miss it. The presence of the reservoir is necessary, because the mine waters are not pumped out continuously; they are pumped out only during the night and 2÷4 hours during the

day. In our climate, during a heating season, one has to heat buildings all day and night long, so the storage reservoir has to be included in the technological system. It has to be mentioned that for heating purposes of the future heat consumer, the amount of the mine waters of $1.83 \text{ m}^3/\text{min}$ will be sufficient, so there is a reserve of $3.6 \text{ m}^3/\text{min}$, which can be used for other purposes. The total heat energy potential calculated for the mine waters ranges from 3.7 to 6.9 MW, depending on the intensity of pumping.

5. The parameters of the geothermal plant

During the research, different variants of heating systems for the designed buildings have been analyzed. The temperature of the mine waters – about 19°C – suggest that the heat pumps should be included in the technological system. The use of compressor heat pumps, absorption heat pumps and compressor heat pumps cooperating with combined heat and power (CHP) module, producing electric energy for heat pumps was tested. For comparative purposes, the typical heat distribution centre (from the district heating network) based on coal and the boiler-room fired by natural gas were analyzed.

Taking into consideration the needs and results, the most economical solution is the one with the use of compressor heat pumps cooperating with CHP modules. Taking into account the future needs of the designed consumer, four heat pumps (including one as a reserve) and two CHP modules powered by natural gas have been included in the geothermal system (Fig. 1). The total heat power capacity of the system reaches 3,035 kW, and it will totally meet the heating needs of the designed objects. In this system the temperature parameters of the heating medium will be $60/45^\circ\text{C}$. Moreover, in the CHP modules 600 kW of electricity will be produced, which will be used for supplying the heat pumps. The surplus energy will be used for other needs of the designed objects, and it can be also sold to the electric energy distributor. However, in the final project, the electric energy production has been limited to the amount which is necessary for the consumer (with a slight safety margin).

A boiler house powered by natural gas and oil will be a reserve source of heat for periods of the mine's draining stoppage. Oppositely to the boiler house, connecting the buildings to a main heat centre would cause necessity of paying all year long fixed fee, regardless of the amount of used energy. So the economic calculation shows that this solution would be less profitable.

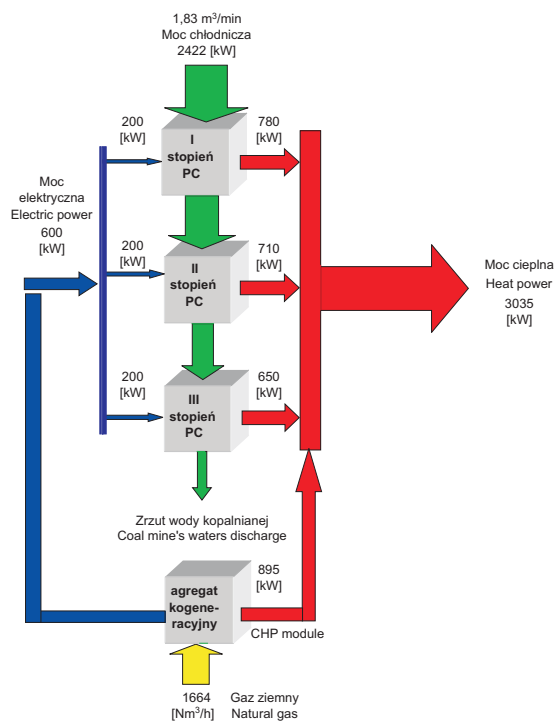


Fig. 1. The scheme of the geothermal plant

6. The solutions of the technical design

The geothermal plant has been designed flexibly. It arises from both the needs and the conditions related to the mine waters. The greatest challenge were interruptions in the pumping process. As mentioned above, these interruptions can come from:

- 1) pumping of the mine waters mainly during the night and only a few hours during the day,
- 2) pumps' failures, their repairs, interruptions in electric energy supply or other factors related to the mining conditions.

Pumping the mine waters mainly during the nights is related to the obligatory charges for electric energy. But not in all coal mines this issue exists with the same intensity. In some coal mines, with greater inflow of water, there is a need of longer period of pumping during a day, what can be a facilitation for future heat recovery. In the analyzed case, regarding long breaks in pumping, a 900 m³ storage reservoir has been designed, located under the geothermal installation building. It will be a flow-through reservoir located in the discharge channel (Fig. 2).

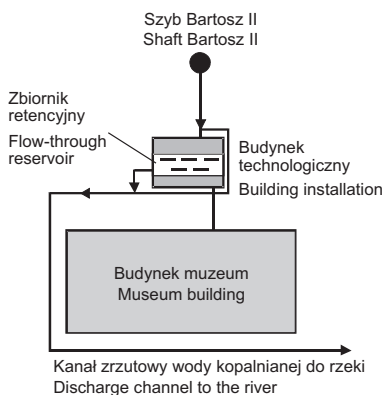


Fig. 2. The scheme of the mine waters' disposal

In the case of failure of the pump in the mine shaft, there is another reserve pump. Despite this, one can not exclude the possibility of a few hour interruptions in pumping. On the other hand there is no significant risk coming from the devices of the geothermal plant. A failure of a heat pump or a CHP module will not cause interruption in supplying energy to the consumer. In the case of failure of a heat pump, the reserve heat pump will be activated and in the case of failure of a CHP module the heat power of the installation decreases by 17.4% at maximum, what will not influence consumer's needs negatively. Also a break in electricity supply from the grid will not cause negative consequences, because energy can be still produced by CHP modules.

In abandoned coal mines the potential interruptions in pumping can be also caused by the mining conditions. In the Katowice coal mine's excavations a huge water reservoir has been created for the safety purpose. It makes possible to take over the whole natural water inflow for the period of 14 days. For that reason the geothermal installation has been equipped with a reserve boiler-room powered by natural gas and oil, which can guarantee heat supply in the periods of the mine waters' pumping interruptions. It should be mentioned that other shut down coal mines also have such water reservoirs, so in the case of constructing geothermal plants there, an additional source of heat must be considered.

The above analysis shows, that there is a technical risk which accompanies to this project, but there are possibilities of counteraction.

7. The economical and ecological results

The proposed geothermal installation based on mine waters is a fully automated modern technological system. The results of the economical analyses show that capital expenditure for this installation will be greater than for a conventional heat source based

on coal but operational costs will be significantly lower. The unit price for heat from the geothermal installation (without the share of the capital expenditure) will amount to 16.66 PLN/GJ while the unit price for heat from the conventional heat centre will amount to 29.62 PLN/GJ. This means that cost of heat energy from the geothermal plant will be about 40% lower than cost of heat energy produced using coal. The simple pay back time (SPBT) of the installation in a commercial variant (a bank loan) will be 15.5 years, with 50% donation it will be 7.7 years and with 85% donation it will be 2.3 years. The project will be profitable ($NPV > 0$) with the minimal donation of 28.3%. It is a real figure regarding many possibilities of co-financing such installations by Polish and European Union funds.

The ecological effect that has been achieved is also very good. The devices of the geothermal plant are practically emission-free. The total amount of CO_2 discharged to the atmosphere resulting from the operation of the installation is only 76.8 Mg/year while production of the same amount of heat and electric energy with a use of conventional methods (coal-fired sources) would cause CO_2 emission of 3,686.7 Mg/year.

The designed installation is adopted to the typical mining conditions of a coal mine, so one may hope that achieved results could be implemented also in other coal mines.

8. Summary

As the research shows, the geothermal plant based on low-temperature mine waters and high-efficiency cogeneration can be an interesting proposal for obtaining additional amount of energy, which can be used for local purposes: for heating buildings, defrosting roads or, in reverse, for air-conditioning (Ostaficzuk, Heliasz, 2000). There are many coal mines at GZW, which have significant heat potential, included in the mine waters (Solik-Heliasz, red., 2009). This potential should be used to a larger extent, what will allow to obtain significant economic and ecological benefits.

References

- Bajtoš P., 2002. *Energia geotermalna niskej entalpii w wodach kopalnianych na Słowacji*. (w:) Energia geotermalna w kopalniach podziemnych. Sosnowiec.
- Bilans zasobów kopalni i wód podziemnych w Polsce (w/g stanu na 31.XII.2006). Warszawa, 2007.
- Bloomquist R., 2002. *Ekonomika zastosowania systemów geotermalnych pomp ciepła dla budynków komercyjnych i użyteczności publicznej*. (w:) Energia geotermalna w kopalniach podziemnych. Sosnowiec.
- Burke T., 2002. *Wykorzystanie zatopionych wyrobisk w Szkocji jako źródła energii geotermalnej*. (w:) Energia geotermalna w kopalniach podziemnych. Sosnowiec.
- Kubski P., 2002. *Koncepcja ciepłowni zagospodarowującej energię zawartą w wodzie kopalnianej*. (w:) Energia geotermalna w kopalniach podziemnych. Sosnowiec.
- Ostaficzuk S., Heliasz Z., 2000. *Ekologiczne możliwości utylizacji zamykanej kopalni węgla – restrukturyzacja z perspektywą*. Prace Wydz. Nauk o Ziemi U. Śl.

- Rogoż M., Posytek E., 1998. *Przewidywane zmiany warunków hydrogeologicznych związane z likwidacją kopalń w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. (w:) Hydrogeologia obszarów zurbanizowanych i uprzemysłowionych. Wyd. U. Śl., Katowice.
- Sokołowski J., 1985. *Prowincje, baseny i zbiorniki geostrukturalne, geotermalne i ropogazonośne Polski*. (w:) Stan rozpoznania i perspektywy wykorzystania wód termalnych. Kraków.
- Solik-Heliasz E., 2007a. *Możliwości wykorzystania ciepła z zatopionych zrobów górniczych w obszarze GZW*. Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko, III.
- Solik-Heliasz E., 2007b. *Możliwości wykorzystania energii geotermalnej z wód czynnych i zlikwidowanych kopalń w obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego*. Technika Poszukiwań Geologicznych. Geotermia, Zrównoważony Rozwój, 2.
- Solik-Heliasz E., red., 2009. *Atlas zasobów energii geotermalnej w regionie górnośląskim – utwory neogenu, karbonu i dewonu*. Katowice.
- Solik-Heliasz E., Małolepszy Z., 2002. *Możliwości wykorzystania energii geotermalnej z wód kopalnianych w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. Mat. Międzynarodowej konferencji naukowej pt.: Energia geotermalna w kopalniach podziemnych, Ustroń.
- Solik-Heliasz E., Skrzypczak M., 2005. *Czynniki warunkujące odbiór ciepła z wód zlikwidowanych kopalń na Śląsku*. Przegląd Górniczy, 11.
- Staśko D., Kaliski M., 2006. *Model oceny bezpieczeństwa energetycznego Polski w aspekcie prognoz energetycznych na lata 2005-2020*. Archives of Mining Sciences, vol. 51, no 3.
- Vademecum, 2008. *Biuletyn informacyjny Spółki Restrukturyzacji Kopalń w Katowicach*.

Received: 14 April 2009