

ENERGIA GEOTERMALNA O NISKIEJ ENTALPII W WODACH KOPALNIANYCH NA SŁOWACJI

LOW ENTHALPY GEOTHERMAL ENERGY FROM MINE WATERS IN SLOVAKIA

STRESZCZENIE

Wody w podziemnych kopalniach charakteryzują się ustaloną temperaturą, która jest znacząco wyższa niż średnia roczna temperatura powietrza w miejscu ich lokalizacji. Ponadto, wiele z nich posiada względnie wysoką wydajność, zatem mogą przedstawiać interesujące zasoby geotermalne o niskiej entalpii. Przepuszczalny potencjał energii cieplnej wód kopalnianych w eksploatowanych jeszcze kopalniach węgla, lub w bardziej istotnych zlikwidowanych kopalniach rud w skałach wulkanicznych na Słowacji, wynosi w niektórych przypadkach 0,7 do 7 MW_t (temperatura wody 14-19°C). W pozostałych kopalniach osiąga kilka dziesiątych MW_t (temperatura do 13°C). Te potencjalne zasoby o niskiej entalpii nie są udostępnione obecnie, ale mogą mieć lokalne znaczenie mimo, że pompy ciepła muszą być użyte do odbioru ciepła. Wyższe temperatury wody mogą być uzyskane poprzez izolację wskazanych do wykorzystania wypływów w wyrobiskach. W ten sposób, źródło wody termalnej (40 l/s, 57°C) zostało ujęte w kopalni Kremnica w celu zasilenia kąpieliska termalnego.

* * *

WSTĘP

Słowacja jest bogata w różnorodne złoża surowców mineralnych. Eksploatacja - początkowo rud metali - sięga czasów historycznych a jej kulminacja trwała od średniowiecza do końca ubiegłego wieku, po czym nastąpiło nagłe bankructwo po 1989 r. Obecnie tylko jedno złożo rudy metalu jest eksploatowane na Słowacji. Zmniejszenie eksploatacji zaczęło dotyczyć złóż węgla. Reperkusją braku inwestycji jest - w niektórych przypadkach - przerwa w przemysłowej eksploatacji surowców mineralnych.

Tereny eksploatacji i wzbogacania surowców są w większości zdewastowanym środowiskiem. Negatywne działania na środowisko to głównie osiadanie terenu, zagrożenie dla źródeł wód podziemnych i powierzchniowych, obciążenie gleby emisją skażeń. Rozległe systemy wydobywania kopalin osiągają głębokość kilkuset metrów i zmieniają pierwotne krążenie wód. Skupione wypływy wód kopalnianych, które mają anomalną wydajność, specyficzny skład chemiczny i temperaturę wyższą w porównaniu do tych z naturalnych źródeł, wywołane są efektem drenażu.

ABSTRACT

Mine waters of underground mines are characterized by steady temperature, which is considerably higher than the annual air temperature of respective locality. In addition, many of them have relatively high yield, therefore they can represent interesting low enthalpy geothermal resources. Presumed mine water heat-energetic potential in in working coal mines or abandoned ore mines in volcanic rocks occurred in the territory of Slovak republic ranges in single cases from 0,7 to 7 MW_t (water temperature 14-19°C), in rest of mines reaches some tenths of MW_t (to 13°C). These potential low enthalpy geothermal resources aren't used in present, but can have local meaning although heat pumps have to be used for heat extraction. Water sources of higher temperature can be obtained by isolating suitable outflows in workings. By this way the source of thermal water (40 l.s⁻¹, 57°C) was caught in the Kremnica mine for thermal bath supply.

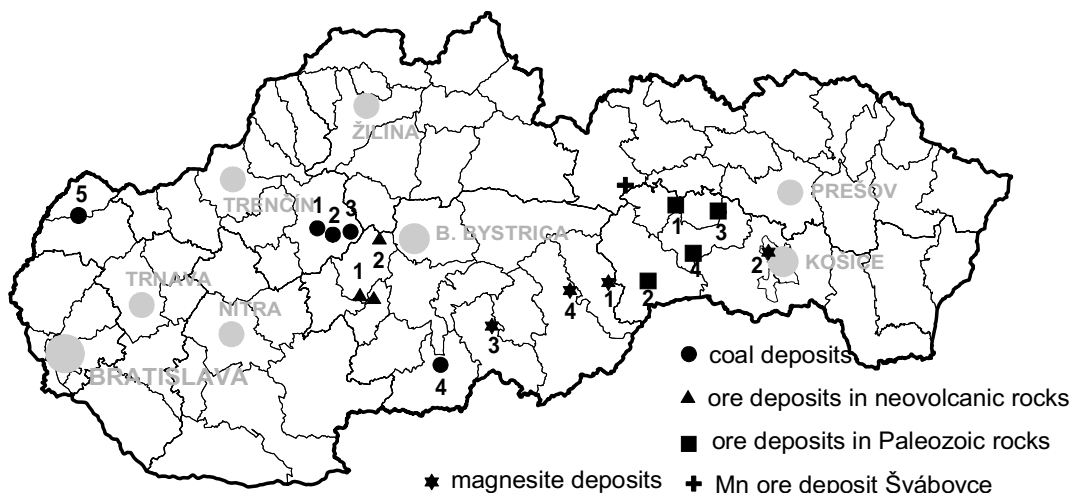
* * *

INTRODUCTION

The Slovakia is rich in diverse types of mineral deposits. Exploitation - primarily of metal ore - reaches into historical age and culmination lasted from Middle Ages until the end of past century was succeeded by rapid ruin after 1989. Only one metal ore deposit is currently exploited in Slovakia. The exploitation reduction begins to concern the coal deposits. Backwash of investment lack is - in some cases - interruption of industrial minerals exploitation.

Areas of exploitation and mineral dressing are of most devastated environment. The negative impacts on environment represent mainly subsidences, threats of underground water or surface water resources and imission loading of soil. Extensive systems of workings reach depth of some hundreds metres and modify original water circulation. The concentrated mine water outflows originate by its drainage effect, which have anomalous yield, specific chemical composition and higher temperature in comparison with natural springs.

Mine water character depend on many factors, therefore their attributes are very variable. From ecological point of view, some mine water outflows repre-



Ryc. 1. Lokalizacja najbardziej znaczących wypływów wód kopalnianych na Słowacji.

Złoże węgla: 1-Nováky, 2-Handlová, 3-Cígeľ, 4-Modrý Kameň, 5-Gbely. Złoże rud w skałach neowulkanicznych: 1-Banská Hodruša - okręg rudny Banská Štiavnica, 2- okręg rudny Kremnica. Złoże rud w skałach paleozoicznych: 1-Rudňany, 2-Rožňava, 3-Slovinky, 4-Smolník. Złoże magnezytu: 1-Dúbravský masív, 2-Košice Bankov, 3-Podrečany, 4-Burda.

Fig.1. Location of most significant mine water outflows in Slovakia.

Coal deposits: 1-Nováky, 2-Handlová, 3-Cígeľ, 4-Modrý Kameň, 5-Gbely. Ore deposits in neovolcanic rocks: 1-Banská Hodruša - Banská Štiavnica ore district, 2-Kremnica ore district. Ore deposits in paleozoic rocks: 1-Rudňany, 2-Rožňava, 3-Slovinky, 4-Smolník. Magnesite deposits: 1-Dúbravský masív, 2-Košice Bankov, 3-Podrečany, 4-Burda.

Table 1. Thermal energy potential evaluation of chosen Slovak mine water outflows.

Explanations: t_{air} - annual average air temperature of locality, t_{H_2O} - mine water temperature, TDS - total dissolved solids content in mine water, * - operated mines, ** - abandoned mines - released data from processing term.

Mine	t_{air} (°C)	t_{H_2O} (°C)	Q (l.s ⁻¹)	P _t (MW)	Risky chemical elements
<i>Coal deposits</i>					
Novaky*	8.5	20	115	5.79	-
Handlova*	8.5	11,6	116	1,73	-
Cigel*	8.5	14	144	3.61	-
Modry Kamen*	8.5	17	190	7.17	-
Gbely*	9.5	16	21	0.69	Fe, Mn, NH ₄
<i>Ore deposits in neovolcanic rocks</i>					
Voznicka adit	7	17	115	4.33	TDS, SO ₄
Nova voznicka adit	7	16	30	1.00	
Kremnica adit	5.5	19	80	3.68	TDS, SO ₄ , Fe, Mn
<i>Ore deposits in Paleogene rocks</i>					
Svabovce	5.5	15.5	5	0.16	TDS, Fe, Mn
<i>Magnesite deposits</i>					
Dubravsky masiv*	6.5	13	40	0,84	-
Bankov*	8.5	19.5	17	0.83	-
Podrečany**	8.5	13	19	0.39	-
Burda**	8.5	13	12	0.25	-
<i>Ore deposits in Paleozoic rocks</i>					
Rudnany*	6	10	20	0.17	TDS, SO ₄ , Hg
Roznava**	8.2	12	10	0.17	Fe
Slovinky	6	11.5	15	0.22	SO ₄ , Fe, Mn
Smolník	5.5	15	12	0.35	TDS, pH, SO ₄ , Fe, Cu, Mn, Al, Zn, As

Charakter wód kopalnianych zależy od wielu czynników, zatem ich właściwości są bardzo zmienne. Z ekologicznego punktu widzenia, niektóre wypływy wód kopalnianych są zagrożeniem dla środowiska (np. pogorszenie jakości wód powierzchniowych) lub korzyścią (poprawa jakości wód powierzchniowych). Praktycznie zaś, niektóre z nich są z dobrym skutkiem stosowane w gospodarce wodnej (woda pitna).

Obecnie nie wykorzystuje się większości zasobów wód kopalnianych. Możliwości wykorzystania energii geotermalnej nie są w większości zbadane. Nie

sent environmental risk (for example surface water quality deterioration) or environmental asset (for example surface water quality improvement). From practical point of view, some of them are effectively used in water management (drinking water).

At present, majority of mine water resources is not used. Possibilities of geothermal energy utilisation are most unexplored. Special studies of this problem have not been yet done. The aim of this contribution is to give the basic information about possibilities of mine water geothermal energy utilisation in Slovak territory.

wykonano jeszcze specjalnych analiz dotyczących tego zagadnienia. Celem tego artykułu jest przyczynienie się do udostępnienia podstawowej informacji o możliwościach wykorzystania energii geotermalnej wód kopalnianych na Słowacji.

ENERGIA GEOTERMALNA W WODACH KOPALNIANYCH NA SŁOWACJI

Charakterystyka geotermalna wód kopalnianych zależy od umiejscowienia kopalni w regionalnym systemie krążenia wód podziemnych i geotermalnej aktywności tego obszaru. Wyróbiska zlokalizowane w obszarach regionalnego drenażu pobierają zarówno płytką "zimną" wodę gruntową, jak i wodę termalną. Wypadkowa temperatura i skład chemiczny wód kopalnianych na ich wypływie zależą od właściwości rodzajów drenowanych wód podziemnych i ich udziału w wydatku.

Aby przybliżyć możliwości wykorzystania energii geotermalnej, podano potencjał energii cieplnej (TEP) dla najbardziej znaczących wypływów wody kopalnianej (tab. 1). Obliczenia TEP dokonano wg następującego równania:

$$P_t = Q (T_o - T_r) c z$$

gdzie:

P_t - potencjał energii cieplnej TEP (W)

Q - wydatek wody kopalnianej (m^3/s)

T_o - temperatura na wypływie (K)

T_r - temperatura odniesienia (K)

c - ciepło właściwe ($J/kg \cdot K$)

z - gęstość wody (kg/m^3)

Wartość T_r równą $8^\circ C$ użyto do obliczeń TEP, jako założoną wartość graniczną, zapewniającą efektywne zastosowanie pomp ciepła.

W Tab.1 rozróżniono wartości dotyczące kopalń pracujących i zlikwidowanych. Podane wartości dla kopalń pracujących są możliwe do stosowania tylko w okresie eksploatacji - aczkolwiek z parametrami zależnymi od procesu eksploatacji. Po zamknięciu kopalni następują dynamiczne zmiany wydajności wód kopalnianych i ich temperatury na wypływie (zatem też TEP).

Szczególnym zagadnieniem jest możliwość wykorzystania potencjału energii cieplnej TEP skupionych dopływów, które zostały wychwycone przez wyróbiska. Można je oddzielić od innych wód kopalnianych izolując ich wypływ na powierzchnię ziemi poprzez wyrobisko lub odwiert. Przykładem takiego udanego rozwiązania jest uzdrowisko termalne w Kremnicy, które jest zasilane przez podziemny odwiert ($Q = 39,2 l/s$, $t_{H_2O} = 56,8^\circ C$) z szybu L'udovit.

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA

Przy utrzymującej się względnie niskiej temperaturze wód kopalnianych ($<20^\circ C$) efektywna eksploatacja ich energii geotermalnej wymaga zastosowania pomp ciepła. Dlatego też, osąd możliwości indywidualnego wykorzystania każdego racjonalnego źródła energii wymaga rozpatrzenia naturalnych warunków w okolicy kopalni, jej charakteru i celu wykorzystania energii.

GEOTHERMAL ENERGY IN SLOVAK MINE WATERS

Geothermal characteristics of mine waters depends on position of mine in regional groundwater circulation and geothermal activity of area. Workings located in regional discharge areas drain both shallow "cold" groundwater and thermal water. Resulted temperature and chemical composition of mine water outflow is given by character of drained groundwater types and their yield ratio.

To approach the geothermal energy utilisation possibilities, the thermal energy potential (TEP) of most significant mine water outflows is given (Tab.1). TEP estimate is determined after equation:

$$P_t = Q (T_o - T_r) c z$$

where

P_t - thermal energy potential TEP (W)

Q - mine water yield ($m^3 \cdot s^{-1}$)

T_o - outflow temperature (K)

T_r - reference temperature (K)

c - specific heat capacity ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

z - water density ($kg \cdot m^{-3}$).

T_r value of $8^\circ C$ was used for TEP estimate, as assumed limit for effective usage of heat pumps.

Table 1 distinguishes between values for working mines and those for abandoned mines. Given values of operating mines, it is possible to determine the exploitation term - although with variables depend on the exploitation process. After mine closure the dynamic changes of mine water discharge and outflow temperature (so that TEP) go on.

A specific problem is the possibility of concentrated inflows TEP utilisation which are caught by workings. Their separation from other mine waters can be made by isolated outlet on land surface through workings or borehole. The example of such effective use is the Kremnica thermal spa, which is supplied through the underground borehole outflow ($Q = 39,2 l \cdot s^{-1}$, $t_{H_2O} = 56,8^\circ C$) from the L'udovit pit.

UTILISATION POSSIBILITIES

In keeping with relatively low mine water temperature ($<20^\circ C$), effective exploitation of their geothermal energy involves heat pumps utilisation. Therefore, individual utilisation possibility judgement of each reasonable energy source is needed to consider the natural conditions of locality, mine character and utilisation character.

The heat pump is a technical apparatus, which - by using of substance phase change - concentrate some quantity of heat energy dispersed in some water volume on equal heat energy quantity dispersed in significantly less water volume. The concentration effect is the temperature increase on outlet. Cyclic phase changes of substance are performed by air-pump, which consume the electric energy. The ratio of obtained (concentrated) energy and consumed energy is named the heat pump coefficient.

Pompa ciepła jest technicznym urządzeniem, które - wykorzystując przemianę fazową substancji - pewną ilość energii cieplnej zawartą w pewnej objętości wody skupia w znacząco mniejszej objętości wody zachowując tą samą ilość energii. Efektem tej koncentracji jest wzrost temperatury na wypływie. Cykliczna przemiana fazowa substancji dokonuje się w pompie zasilanej powietrzem, która do pracy zużywa energię elektryczną. Stosunek uzyskanej (skupionej) energii do energii zużytej nazywa się współczynnikiem pompy ciepła.

Przykładem udanego wykorzystania źródła geotermalnego o niskiej entalpii jest odwiert "Izabela" w uzdrowskiej wiosce Vyšné Ružbachy ($Q = 5,6 \text{ l/s}$, $T_{\text{H}_2\text{O}} = 20,7 \text{ °C}$). Pompy ciepła pracują na dwóch poziomach temperatury $20/10 \text{ °C}$ i $10/8 \text{ °C}$. Tym sposobem, pokrywa to całkowite zużycie ciepła przez uzdrowisko w warunkach do temperatury zewnętrznej -16 °C (wówczas dodatkowe ogrzewanie elektryczne wspomaga sieć).

Pozytywne aspekty popierające eksploatację energii geotermalnej wód kopalnianych są następujące:

- eksploatacja - do dzisiaj lekceważona - odnawialnej energii
- niskie koszty wykonania ujęć
- lokalizacja na zamieszkałym obszarze
- redukcja kosztów energii w jeszcze pracujących kopalniach

Aspektami ograniczającymi są:

- zastosowanie pomp ciepła wymuszone niską temperaturą
- występowanie tylko na obszarach górniczych
- potrzeba uzdatniania wody w niektórych przypadkach.

WNIOSKI

Wody kopalniane stanowią potencjalne źródło energii geotermalnej o niskiej entalpii. Na Słowacji potencjał energii cieplnej (TEP) wód kopalnianych poszczególnych eksploatowanych złóż węgla i nieeksploatowanych złóż rud w neowulkanicznych skałach osiąga kilka MWt, przy temperaturze wody od 14 do 20 °C . Maksymalny TEP dla innych złóż nie przekracza kilku dziesiątych MWt, przy temperaturze wody do 16 °C . Całkowity TEP wód kopalnianych Słowacji wynosi około 32 MWt . Przedstawione dane są przybliżone, do dnia dzisiejszego nie dokonano specjalistycznych badań.

Obecnie nie wykorzystuje się zasobów geotermalnych o niskiej entalpii, ale mogą one mieć lokalne znaczenie mimo, że pompy ciepła muszą być użyte do "wydobycia" ciepła. Niektóre skupione dopływy wody termalnej do wyrobisk mogą być wykorzystane po odizolowaniu ich od innych dopływów do kopalni. Przykładem takiego udanego zastosowania jest zasilanie uzdrowska termalnego w Kremnicy.

W celu lepszego poznania tego zagadnienia, specjalistyczne badania dla korzystnych lokalizacji powinny być przeprowadzone. Przede wszystkim reżim wód kopalnianych musi zostać określony, ze specjalnym zwróceniem uwagi na zmiany temperatury wód.

The example of successful use of low enthalpy geothermal source is the "Izabela" borehole in the Vyšné Ružbachy spa village ($Q = 5,6 \text{ l.s}^{-1}$, $T_{\text{H}_2\text{O}} = 20,7 \text{ °C}$). Heat pumps work in two degrees $20/10 \text{ °C}$ and $10/8 \text{ °C}$. By this way, the all heat consumption of spa (swimming pool, space heating, treating procedures) is covered, up to external temperature of -16 °C (then additional electric heating helps).

The positive facts which support mine water geothermal energy exploitation are following:

- exploitation of - to date passed up - renewable energy
- low catchworks expenses
- localisation in inhabited areas
- in still operated mines the reduction of energy expenses

Restrictive aspect are:

- low temperature involved the heat pumps utilisation
- occurring only in mine areas
- in some cases a need for utilised water dressing.

CONCLUSION

Mine waters represent the potential low enthalpy geothermal energy sources. In the Slovakia, mine water TEP (thermal energy potential) of separate exploited coal deposits and abandoned ore deposits in neovolcanic rocks reaches several MW_t by water temperature from 14 °C to 20 °C . Maximum TEP of other deposits do not exceed some tenths of MW_t by water temperature to 16 °C . Total mine water TEP in the Slovakia is about 32 MW_t . Presented data are approximate, to date no specialised study have been done.

These potential low enthalpy geothermal resources aren't used in present, but can have local meaning, although heat pumpes have to be used for heat extraction. Some concentrated thermal inflows into workings can be used after isolating from other inflows into mine. An example of such effectual use is the supply of the Kremnica thermal spa.

For better knowledge of this problem, the special studies of favourable localities should be done. First of all, the mine water regime have to be determined, with special attention on water temperature changes.

REFERENCES

- Franko O., Remšík A., Fendek M., 1995. Atlas of Geothermal Energy of Slovakia. Geologický ústav Dionýza Štúra Bratislava.
- Lauková I., 1999. Mining influence of the Hornonitrianske Bane Prievidza a.s. on the environment. Proceedings of XXIX. IAH Congress, Bratislava, 791-796p.
- Tréger M., Baláz P., Cicmanová S. 1999. Nerastné suroviny Slovenskej republiky. Rocenka 1999. GEOLOGICKÁ SLUŽBA SLOVENSKEJ REPUBLIKY.