

Zdroje geotermálnej energie a možnosti ich využívania

Pavol Rybár¹

Geothermal energy sources and possibilities of their exploitation

The geothermal energy is everywhere beneath the surface of the earth. The earth's interior is enormous thermal reservoir of energy, which can be utilized if favorable geological conditions exist.

The electricity generation in 1942 at Larderello was a commercial success. The installed geothermoelectric capacity had reached 127 650 kW_e. Several countries were soon to follow the example set by Italy. In 1919, first geothermal wells were drilled at Beppu in Japan, followed in 1921 by wells drilled at The Geysers, California, USA. In 1958 a small geothermal power plant began operating in New Zealand; in 1959 another one in Mexico, in 1960 in the USA, followed by many other countries in the years to come.

The heat source can be either a very high temperature (> 600 °C) magmatic intrusion reaching relatively shallow depths (5-10 km) or, as in certain low-temperature systems at the Earth's normal temperature, which increases with depth. The reservoir is a volume of hot permeable rocks from which circulating fluids extract the heat. The reservoir is generally overlain by a cover of impermeable rocks and connected to a superficial recharge area through which the meteoric waters can replace or partly replace the fluids that escape from the reservoir through springs or are extracted by boreholes. The geothermal fluid is water, in majority of cases the meteoric water, in the liquid or vapour phase, depending on its temperature and pressure. This water often carries chemicals and gases such as CO₂, H₂S, etc.

Another source of underground heat is so called the hot dry rock. The matter is to extract heat by creating a subsurface fracture system to which water can be added through injection wells. A creation of enhanced, or engineered, geothermal system requires improving the natural permeability of rock. Rocks are permeable due to minute fractures and pore spaces between mineral grains. The injected water is heated by a contact with the rock and returns to the surface through production wells, as in naturally occurring hydrothermal systems. The system improves the economics of resources without adequate water and/or permeability.

In article are presented the recent circumstances from the point of view of knowledge and used technologies of extraction of geothermal energy.

Key words: geothermal energy, electricity generation, heat generation, heat pumps, boreholes, wells, geothermal fluid, hot dry rock, Litho Jet system.

Úvod

Geotermálna energia je pod zemským povrchom všade prítomná. Zemské vnútro je obrovským potenciálom tepelných zásob energie, ktorá môže byť pri vhodných geologických podmienkach využitá. Niekde je ľahko dostupná, alebo dokonca sama vystupuje na zemský povrch vo forme horúcich vôd alebo pár a niekde je vzhľadom na jej využiteľný energetický potenciál nedostupná kvôli obrovským hĺbkam v ktorých je akumulovaná.

Zdrojom tepla je zostatkové teplo Zeme a teplo, ktoré sa uvoľňuje pri rádioaktívnom rozpade hornín. Teplota horniny na konkrétnom mieste zemskej kôry závisí na množstve tepla vystupujúceho z hĺbín Zeme a od tepelnej vodivosti okolitých hornín.

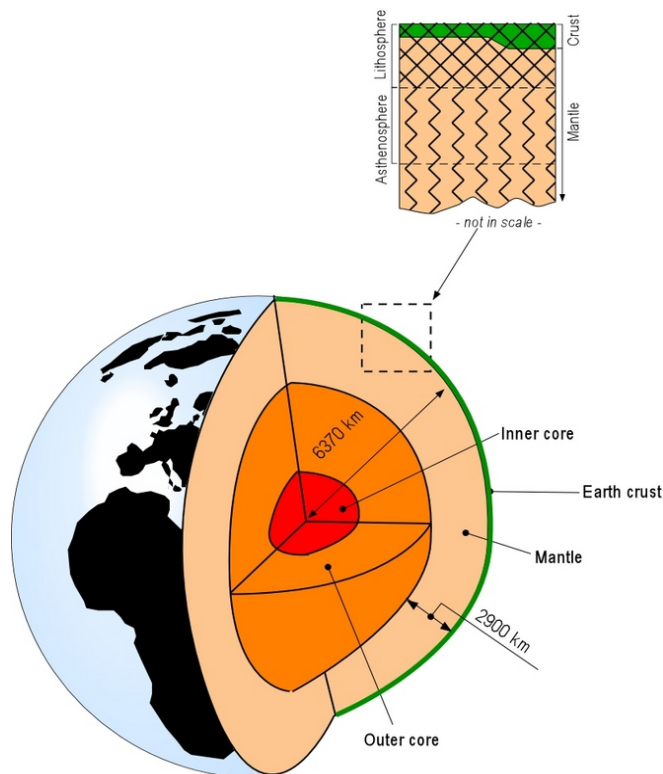
Tepelná bilancia a tepelné vlastnosti Zeme

Chladnuci proces Zeme je veľmi pomalý. Odhaduje sa, že teplota vonkajšieho jadra sa za 3 miliardy rokov ochladila nie viac ako o 300 až 350 °C a udržuje sa na styku zemský plášť, vonkajšie jadro zeme na úrovni cca 4 000 °C (obr. 1 a 2). Odhaduje sa, že tepelný obsah Zeme pri priemernej teplote zemského povrchu 15 °C je radovo $12,6 \times 10^{24}$ MJ a zemskej kôry je $5,4 \times 10^{21}$ MJ [1].

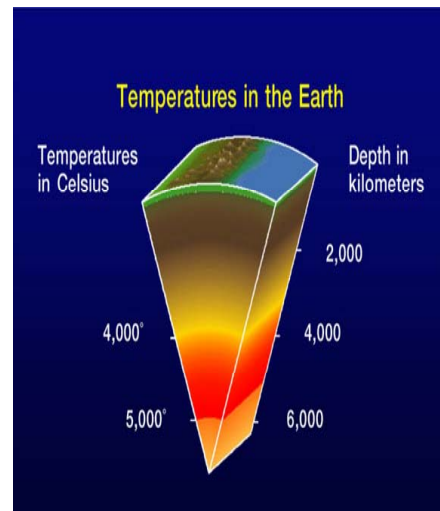
Sedimentárne horniny, hlavne málo spevnené, majú väčšinou nízku tepelnú vodivosť, a tým dobré izolačné vlastnosti. Horniny s nízkou porozitou a kompaktné, majú v priemere vysokú tepelnú vodivosť. Preto sa hlbinné teplo môže šíriť horninami kryštalinika, ale pod sedimentárnymi panvami sa postup tepelného toku spomalí, a tak môže dôjsť ku zvýšeniu teploty pod menej vodivými horninami a k vytvoreniu tepelného bazénu.

Najznámejším vonkajším a dobre viditeľným prejavom tejto energie je vulkanická činnosť, ktorá je viazaná na mobilné zóny zemskej kôry. Patria k nim oblasti subdukcie (podsúvania) kôry sprevádzané hlbokomorskými priekopami a vulkanickými pohoriami, stredoocéánskymi chrbátmi a riftami. Druhým dobre viditeľným prejavom geotermálnej energie sú výrony pár, gejzíry a pramene horúcich vôd, ktoré sú taktiež viazané na tieto zóny.

¹ prof. Ing. Pavol Rybár, PhD., Katedra geoturizmu, Ústav podnikania a cestovného ruchu, Fakulta BERG, Technická univerzita v Košiciach, pavol.rybar@tuke.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 18. 1. 2007)



Obr. 1. Rez planétou Zem (zemská kôra, plášť, vonkajšie a vnútorné jadro), vpravo hore: rez cez zemskú kôru a hornú časť plášťa – litosféra a astenosféra.
 Fig. 1. Crossection of the planet Earth (The Earth's crust, mantle, inner and outer core.). Top right: a section through the crust and the uppermost mantle – Lithosphere and Asthenosphere.



Obr. 1. Teplotné hranice Zeme (teploty v stupňoch C, hĺbka v km) [9].
 Fig. 1. Temperature zones of the Earth [9].

Množstvo energie, ktoré sa dostane behom jedného roka zo zemských hĺbín na povrch, zodpovedá energii, ktorú možno získať spaľovaním 35 miliárd ton čierneho uhlia.

K prínosu tepelnej energie z hĺbky dochádza tzv. tepelným tokom, ktorý je definovaný ako množstvo tepla prestupujúceho plochou horniny za určitý čas. Pri prepočte na jeden meter štvorcový zemského povrchu poskytuje zemské teplo svojimi 0,06 - 0,08 W menej energie, ako napr. svetlo jednej sviečky. Oblasti so sopečnou činnosťou a tektonickou aktivitou v treťohorách majú vo všeobecnosti vyšší tepelný tok a termický gradient - až 6 °C na 100 m. Vysoký tepelný tok doprevádza aj hlbinné aktívne zlomy a tektonicky silne porušené oblasti. V sopečne činných oblastiach sú hodnoty tepelného toku veľmi premenlivé. Z islandských gejzírov strieka horúca voda priamo na zemský povrch a na vulkanickom ostrove Lanzarotte má zem už v hĺbke niekoľko metrov teplotu 100 °C. V Toskánsku stúpa teplota s každými 100 m hĺbky až o 20 °C. Tam je sľubná možnosť využiť zemské teplo ako zdroj energie k vykurovaniu obytných domov, pre termálne kúpele, pre zásobovanie teplou vodou, k priemyselným účelom a dokonca aj na výrobu elektriny [6].

Geotermálna energia je využívaná prostredníctvom svojich nosičov - geotermálnych vôd a pár. Podiel tzv. juvenilných vôd, alebo vôd, pochádzajúcich z magmy, je nepatrný - odhaduje sa maximálne na 3 %.

Geotermálne zdroje

Zdroje geotermálnej energie existujú v štyroch hlavných formách: hydrotermálny systém, geostlačené zóny, horúca suchá skala a magmatické zdroje. Dostupné geotermálne zdroje sú na miestach, kde je relatívne tenká zemská kôra, alebo kde bola porušená tektonickými pochodmi a vulkanickou aktivitou za posledných 10 miliónov rokov aj s jej postvulkanickými prejavmi a recentnou vulkanickou aktivitou [7].

Hydrotermálne systémy

V miestach, kde bola zemská kôra porušená, mohla spodná voda klesnúť pozdĺž zlomov do hĺbok, kde bola ohriata okolitými horninami. V podmienkach vysokých tlakov v hĺbkach niekoľko tisíc kilometrov pod zemským povrchom, mohla ostať v kvapalnom skupenstve aj pri teplotách presahujúcich bod varu vody pri nadmorskej výške 0 m n.m. Geotermálne nahriata spodná voda sa niekedy naakumuluje v prepojenej sieti porúch v horninách a vytvorí sa podzemný hydrotermálny rezervoár. Voda z rezervoáru môže byť prírodným

prúdením pozdĺž porúch privedená na zemský povrch. Hydrotermálne rezervoáre a konvekčné systémy sú zdroje javov, ktorým hovoríme prírodné horúce pramene a gejzíry.

V súčasnosti sú hydrotermálne systémy jediným komerčne využívaným geotermálnym zdrojom. Niektoré hydrotermálne rezervoáre sú veľmi horúce (nad 300 °C), ale zhruba dve tretiny majú miernejšie teploty (120–200 °C). Využíva sa však iba niekoľko veľkých vysokoteplotných zdrojov typu suchá para. V tomto prípade výraz suchá para vyjadruje taký hydrotermálny systém, kde horúce fluidum je prevažne vo forme pary. Takéto zdroje sú relatívne vzácne, ale sú veľmi vhodné na výrobu elektrickej energie, pretože para môže byť po odfiltrovaní kvapiek vody vedená priamo na parné turbíny, produkujúce elektrickú energiu. Po ochladení a skondenzovaní sa voda vracia susednými vrtní späť do zeme.

Veľmi často sa však geotermálna energia využíva aj na výrobu elektrickej energie. Prvé pokusy s výrobou elektriny začali v Taliansku už v roku 1904 a prvá 250 kW elektrárňa bola daná do prevádzky v roku 1913 v Larderello. V súčasnosti je výkon elektrárne v Larderello 380 MW, pričom vyrobená kWh elektrickej energie je šesťkrát lacnejšia ako z uhoľných elektrární. Výroba elektrickej energie v Lardarello

bola komerčným úspechom tejto novej technológie. Po nej sa vybudovali ďalšie geotermálne elektrárne v Wairakai na Novom Zélande (1958), v Pathe Mexiku (1959) a The Geysers v USA (1960). Najväčšia geotermálna elektrárňa typu suchá para je v Kalifornii v údolí The Geysers. Jej výkon je 950 MW [7].



Obr. 3. Parný stroj použitý v Lardarello v roku 1904 pri prvom experimente výroby elektrickej energie z geotermálnej pary (na obrázku s vynálezcom princom Piero Giori Conti) [9]
Fig. 3. The steam engine used at Larderello in 1904 in the first experiment in generating the electric energy from a geothermal steam, with its inventor, Prince Piero Giori Conti [9]



Obr. 4. Geotermálna elektrárňa v Geysers, USA [9].
Fig. 4. Geothermal power station, Geysers, USA [9].

Väčšina využívaných hydrotermálnych systémov je však na báze horúcej vody a nie suchej pary. Tam kde voda v podzemí dosahuje teplotu od 180 do 350 °C a vďaka vysokému tlaku nezmenila skupenstvo, sa po jej transporte na zemský povrch pomocou vrtov vedie do odtlakovacích nádrží, kde sa po rýchlom znížení tlaku časť vody premení na paru, ktorá sa oddelí od kvapaliny a používa sa na pohon parných turbín, vyrábajúcich elektrickú energiu. Po výrobe elektrickej energie sú horúce geotermálne vody vedené do chladiacich veží, prípadne do systémov, kde sa teplo využije na vyhrievanie rôznych objektov, alebo sa využíva v rôznych priemyselných alebo poľnohospodárskych technológiách. Po ochladení horúcich vôd je voda odvedená prostredníctvom vrtov späť do podzemného rezervoára horúcich vôd. Aj keď studená voda, dopravená do hydrotermálneho ložiska ho znehodnocuje v závislosti na veľkosti podzemného rezervoára, na teplote vody v ložisku, na teplote vody vracanej do ložiska a na veľkosti čerpania vôd z podzemného rezervoára, praktické skúsenosti ukazujú, že z pohľadu ekológie a nákladov spojených s poplatkami za znečisťovanie povrchových vôd je používanie jediného – ťažobného vrtu, bez vracania vody do podzemného rezervoára nevhodným riešením.

Tam, kde má geotermálna voda menší prítok a pomerne nízku teplotu, môže byť použitá na výrobu elektrickej energie v tzv. binárnom cykle. V takomto systéme sa vo výmenníkoch tepla ako médium, ktoré odoberá teplo, používajú izobután, izopentán, freón a hexán, teda látky, ktoré majú nižšiu teplotu varu ako voda. Horúca voda z rezervoára premieňa vo výmenníkoch tepla tieto látky na paru a tá v parných turbínach vyrába elektrickú energiu. Para sa ochladzuje, mení na kvapalinu a v uzavretom okruhu sa dostáva opäť do výmenníka tepla. Podľa odhadov sa vyskytujú geotermálne zdroje s teplotou vody vhodnou pre binárny cyklus výroby elektrickej energie (120 až 200 °C) až štvornásobne častejšie, ako zdroje s teplotou nad 200 °C a päťdesiat násobne častejšie, ako rezervoáre produkujúce čistú paru. Z pohľadu životného prostredia a bezpečnosti práce sú však propán a izobután výbušné látky a freóny narušujú ozónovú nadzemnú vrstvu. Ďalší vývoj si preto žiada nájdenie iného média [7].

Geostlačené zóny

sú oblasti, v ktorých sú horúce slané vody (medzi 90 – 200 °C) zachytené pod vysokými tlakmi medzi vrstvami nepriepustných hornín. Na výrobu elektrickej energie môžu byť použité tak horúce vody ako aj hydraulický tlak. Tieto rezervoáre obsahujú niekedy aj tretí potenciálny zdroj energie - veľké množstvá rozpusteného metánu v slanej vode. Pokusy v USA ukázali, že odhadované náklady na vyrobenú elektrickú energiu sú výrazne vyššie náklady ako na jednu kWh, vyrobenú z konvenčných zdrojov energie [7].

Magmatické zdroje

Podpovrchová roztavená hornina je zodpovedná za vulkanickú aktivitu planéty Zem. Väčšina magmy vzniká v nižších hĺbkach zemskej kôry, alebo v plášti, v hĺbkach 30 km a viac. Avšak aj v menších hĺbkach je možné nájsť významné množstvo magmy, najmä vo vulkanických oblastiach. Vzhľadom na dočasnú neexistenciu vhodnej vrtnej techniky, nepredpokladá sa skoré komerčné využitie tohto energetického zdroja.

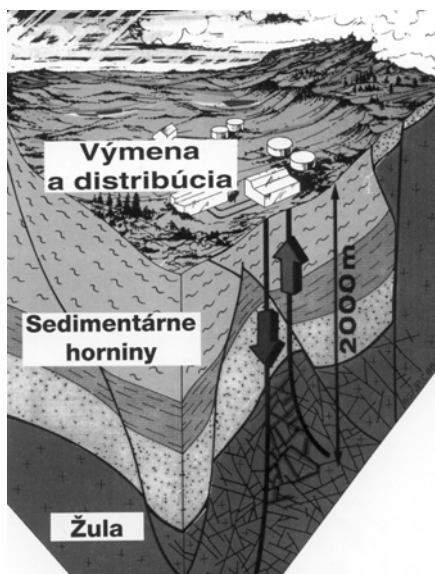
Zrejme prvé využitie bude v mladých kalderách, s dobou vzniku pred niekoľkými miliónmi rokov, s relatívne plytko uloženými telesami magmy. V niekoľkých etapách sa navŕta vrt hlboký 7 000 m, až do telesa magmy, kde sa očakáva teplota 900 °C. Najprv sa do vrtu bude vháňať studená voda, aby sa vytvorili pevné steny vrtu, čím sa vytvorí výmenník tepla hlboko pod zemským povrchom. Potom sa bude do výmenníka tepla z povrchu pumpovať voda, ktorá sa v ňom ohreje na vysoké teploty a bude vytlačená na zemský povrch, kde sa premení na paru, pomocou ktorej sa vyrobí elektrická energia. Ďalšie možné technológie, uvažujú s vodou, resp. vodou a biomasou vháňanou z povrchu priamo do magmy pri vzniku vodíka, resp. vodíka, metánu a oxidu uhoľnatého, teda látok vhodných na výrobu elektrickej energie [7].

Suché teplo hornín

Geotermálne zdroje využívajúce teplo suchej horniny (hot dry rock) sú bohaté a všade prítomné, iba ich uloženie v hĺbke, zväčša viac ako tri km pod zemským povrchom a neprítomnosť média - nosiča, ktorý by túto nahromadenú energiu vyniesol na zemský povrch, sú v súčasnosti komerčne nevyužívané.

Tento typ umožňuje využiť tepelnú energiu, akumulovanú v horninovom prostredí. Uvoľnenie takého zdroja tepla začína navŕtaním úvodného vrtu. Odstrelom trhaviny v tomto vrte, alebo tlakom vody v hĺbke, kde je akumulovaná tepelná energia, sa vytvorí umelé trhliny, ktoré potom slúžia ako podzemný výmenník tepla. Do vrtu sa zavedie voda, ktorá prijme teplo horúcej horniny a druhým vrtom, ktorý vytvára s úvodným vrtom prostredníctvom umelých trhlín jeden systém, vystupuje para, alebo horúca voda späť na povrch. Získané teplo sa využije buď na výrobu elektrickej energie, alebo na vykurovanie.

Experimenty s využitím energie suchého tepla hornín uskutočňovali v sedemdesiatych a osemdesiatych rokoch okrem Američanov aj Japonci, Angličania, Francúzi a Nemci. Technológia využitia energetického potenciálu je nová a vyžaduje si mnoho experimentov. Ponuka využiteľnej energie je obrovská a ekonomické využitie, hoci aj nepatrnej časti tohto potenciálu môže významne ovplyvniť blízku budúcnosť získavania energie na celom svete [7].



Obr. 5. Technológia získavanie geotermálnej energie zo suchého tepla hornín [7].
Fig. 5. Technology for obtaining the geothermal energy by the system Hot dry rock (heat exchanger and distribution, sedimentary rocks, granite) [7].

Súčasný stav využitia geotermálnej energie

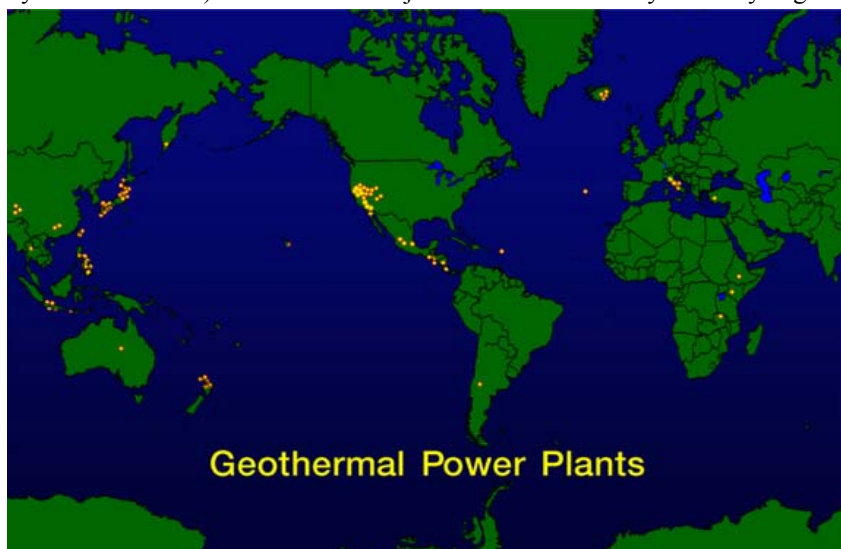
Po druhej svetovej vojne mnoho krajín začalo využívať geotermálnu energiu. V niektorých prípadoch aj odhliadnúc od ekonomiky podnikania, pretože to bol jediný dostupný energetický zdroj.

V tab. 1 a na obr. 6 sú uvedené krajiny, ktoré vyrábajú elektrickú energiu z geotermálnych zdrojov. Geotermálna energia inštalovaná v rozvojových krajinách v rokoch 1995 až 2000 predstavuje 38, resp. 47 % inštalovaného výkonu. Napr. v roku 2001 elektrická energia vyrábaná z geotermálnych zdrojov reprezentuje 27 % celkovej elektrickej energie vyrobenej na Filipínach, 12,4 % v Keni, 11,4 % v Kostarike a 4,3 % v Salvádore.

Čo sa týka neelektrických aplikácií využitia geotermálnej energie, inštalované kapacity a využitie energie vo svete je uvedené v tab. 3. Uvedených je 58 krajín v roku 2000, oproti 28 krajinám v roku 1995 a 24 v roku 1985.

Najčastejšie neelektrické využitie geotermálnej energie je na tepelné čerpadlá (34,80 %), kúpanie (26,20 %), vykurovanie (21,62 %), skleníky (8,22 %), akvakultúru (3,93 %) a priemyselné procesy (3,13 % (Lund and Freeston, 2001).

Situácia v strednej a východnej Európe je nasledovná: Teplé vody do 80 °C z vrtov hlbokých 500 – 2000m sa využívajú v Maďarsku (1630 GWh.r⁻¹), Bulharsku (220 GWh.r⁻¹), Slovensku (502 GWh.r⁻¹), Rumunsku (360 GWh.r⁻¹), Poľsku (206 GWh.r⁻¹) a v krajinách bývalej Juhoslávie (1085 GWh.r⁻¹), väčšinou v bazénoch, skleníkoch a kúpeľoch. Stredno-termálne geotermálne zvodnené horizonty sa vyskytujú takmer výlučne v Maďarsku a využívajú sa na kúpanie (45 %), skleníky (42 %), priemysel (10 %) a centrálné vykurovanie 13 %). V JV Maďarsku je až 80 % skleníkov vykurovaných geotermálnymi vodami.



Obr. 6. Geotermálne elektrárne [9].

Fig. 6. Geothermal power plants [9].

Tab. 1. Inštalované geotermálne elektrárne od roku 1995 do 2000 a ku koncu roka 2003 [3].
 Tab. 1. Installed geothermal generating capacities world-wide from 1995 to 2000 and at the end of 2003 [3].

Krajina Country	1995 [MW _e]	2000 [MW _e]	MW _e nárast/increase [1995-2000]	% Nárast/increase [1995-2000]	2003 [MW _e]
Argentina	0.67	-	-	-	-
Australia	0.15	0.15	-	-	0.15
Austria	-	-	-	-	1.25
China	28.78	29.17	0.39	1.35	28.18
Costa Rica	55	142.5	87.5	159	162.5
El Salvador	105	161	56	53.3	161
Ethiopia	-	7	7	-	7
France	4.2	4.2	-	-	15
Germany	-	-	-	-	0.23
Guatemala	-	33.4	33.4	-	29
Iceland	50	170	120	240	200
Indonesia	309.75	589.5	279.75	90.3	807
Italy	631.7	785	153.3	24.3	790.5
Japan	413.7	546.9	133.2	32.2	560.9
Kenya	45	45	-	-	121
Mexico	753	755	2	0.3	953
New Zealand	286	437	151	52.8	421.3
Nicaragua	70	70	-	-	77.5
Papua New Guinea	-	-	-	-	6
Philippines	1227	1909	682	55.8	1931
Portugal	5	16	11	220	16
Russia	11	23	12	109	73
Thailand	0.3	0.3	-	-	0.3
Turkey	20.4	20.4	-	-	20.4
USA	2816.7	2228	-	-	2020
Spolu Total	6833.35	7972.5	1728.54	16.7	8402.21

Tepelné čerpadlá pre okrajové nízke teploty geotermálnych vôd (od 5 do 10 °C) sú využívané vo Švajčiarsku (964 GWh.r⁻¹) a v krajinách severnej Európy. Švajčiarsko a Rakúsko disponujú alpínskymi geotermálnymi kúpeľmi, ako niektoré ďalšie krajiny strednej a východnej Európy.

Tab. 2. Rozdelenie využitia geotermálnej energie na výrobu tepla vo svete v roku 1998 [11].

Tab. 2. The distribution of exploitation of geothermal energy for the heat production all over the world in 1998 [12].

	% Kapacity % of Capacity total	% Energie % of Energy total
Tepelné čerpadlá (Heat pumps)	42,2	14,3
Vykurovanie objektov (Space heating)	30,6	36,8
Bazény (Basins)	11,1	22,2
Skleníky (Greenhouses)	8,5	11,8
Aquakultúry (Aquaculture)	3,2	6,6
Priemysel (Industry)	3,0	6,5
Roztápanie snehu/klimatizácia (Melting of the snow/climatization)	0,7	0,6
Poľnohospodárske sušenie (Agricultural drying)	0,4	0,6
Iné (Other)	0,3	0,6
Spolu (Together)	100	100

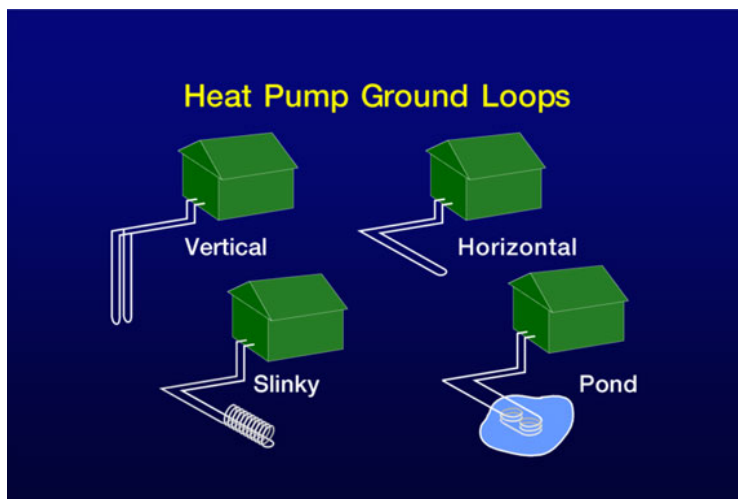
V roku 1912 si dal patentovať Švajčiari Zoelly využívanie zemského tepla z vrtov malých hĺbok formou použitia tepelných čerpadiel. V poslednom čase sa tento spôsob využívania geotermálnej energie využíva v USA, Kanade, Švédsku a najmä vo Švajčiarsku.

Princíp tejto metódy spočíva v priamom odbere tepelnej energie z horninového prostredia pomocou výmenníka tepla, zapusteného do vrtu a v jej transformácii na vyššiu teplotu pri použití tepelného čerpadla. Ako výmenník tepla slúžia polyetylénové, alebo medené trúbky s médiom, ktoré tvorí zmes vody a nemrznúcej kvapaliny. Výmenník s tepelným čerpadlom tvorí uzatvorený okruh. Tepelné čerpadlo umožňuje využiť nízke teploty 12 až 20 °C na ohrev vody na teplotu 40 až 50 °C, ktorú možno využiť na vykurovanie [7].

Hĺbka vrtu závisí od geologických a geotermických podmienok na jednej strane a od požiadaviek na odber tepla a dostupných finančných zdrojov na strane druhej. Všeobecne sa prijala zásada, že maximálna hĺbka vrtov je 150 m. Samozrejme pri väčšom tepelnom gradiente postačuje menšia hĺbka.

Územie Slovenska má na využívanie tepla z malých hĺbok optimálne podmienky. Väčší geotermický potenciál sa zistil v Podunajskej nížine, v stredoslovenských neovulkanitoch a najmä na Východoslovenskej nížine a v Košickej kotline, kde sa na niektorých miestach zistil najväčší tepelný tok a geotermálny gradient v strednej a východnej Európe [7].

Je to najrýchlejšie sa rozvíjajúca oblasť celého geotermálneho priemyslu. Počet inštalovaných tepelných čerpadiel využívajúcich teplo Zeme zaznamenal od roku 1995 obrovský nárast až 269 %, pričom ročný prírastok predstavuje 30 %. V 26 krajinách, v ktorých sa vedú štatistiky predaja presiahol počet inštalovaných zariadení až 500 tisíc, pričom len v USA sa ich ročne inštaluje asi 40 tisíc. Väčšina tepelných čerpadiel dnes pracuje vo vyspelých krajinách a ich priemerné ročné využitie sa pohybuje od 1000 hodín v USA po 6000 hodín vo Švédsku a Finsku [11].



Obr. 7. Systém zberu a odvodu tepla pomocou tepelného čerpadla (v zime geotermálne teplo do budovy a v lete z budovy do zeme) vertikálna, horizontálna, vodná nádrž [9].
Fig. 7. Different styles of pipes are installed beside a building. A liquid is piped through the pipes to pick up the heat from the ground or (in the summer) to bring heat from the building to the ground [9].

Tab. 3. Neelektrické využitie geotermálnej energie vo svete (2000) Inštalované termálne výkony (MWt) a použitie energie (TJ.r-1)[4].
 Tab. 3. Non-electric uses of geothermal energy in the world (2000) the installed thermal power (in MWt) and energy use (in TJ/yr) [4].

Krajina Country	Výkon Power [MW _t]	Energia [TJ.rok ⁻¹] Energy [TJ/yr]
Algeria	100	1586
Argentina	25.7	449
Armenia	1	15
Australia	34.4	351
Austria	255.3	1609
Belgium	3.9	107
Bulgaria	107.2	1637
Canada	377.6	1023
Caribbean Islands	0.1	1
Chile	0.4	7
China	2282	37 908
Colombia	13.3	266
Croatia	113.9	555
Czech Republic	12.5	128
Denmark	7.4	75
Egypt	1	15
Finland	80.5	484
France	326	4895
Georgia	250	6307
Germany	397	1568
Greece	57.1	385
Guatemala	4.2	117
Honduras	0.7	17
Hungary	472.7	4086
Iceland	1469	20170
India	80	2517
Indonesia	2.3	43
Israel	63.3	1713
Italy	325.8	3774
Japan	1167	26933
Jordan	153.3	1540

Kenya	1.3	10
Korea	35.8	753
Lithuania	21	599
Macedonia	81.2	510
Mexico	164.2	3919
Nepal	1.1	22
Netherlands	10.8	57
New Zealand	307.9	7081
Norway	6	32
Peru	2.4	49
Philippines	1	25
Poland	68.5	275
Portugal	5.5	35
Romania	152.4	2871
Russia	308.2	6144
Serbia	80	2375
Slovak Republic	132.3	2118
Slovenia	42	705
Sweden	377	4128
Switzerland	547.3	2386
Thailand	0.7	15
Tunisia	23.1	201
Turkey	820	15756
United Kingdom	2.9	21
USA*	3766	20302
Venezuela	0.7	14
Yemen	1	15
Total	15145	190699

Počas r. 2003 tieto údaje narástli na 4350 MW, a 22,250 TJ [5]

**During 2003 these figures increased to 4350 MW, and 22,250 TJ/yr [5]*

Potenciál geotermálnej energie Slovenska

Geotermálny výskum územia Slovenska začal v 70-tych rokoch, na základe jeho výsledkov bolo vymedzených 26 perspektívnych oblastí vhodných pre získavanie geotermálnej energie. V 90-tych rokoch začal regionálny geologický výskum a prieskum jednotlivých perspektívnych oblastí, vrátane výpočtov množstiev geotermálnych vôd a geotermálnej energie.

Slovenská republika má vďaka svojim prírodným podmienkam významný potenciál geotermálnej energie, ktorý je na základe doterajších výskumov a prieskumov ohodnotený na 5 538 MW_t. Zdroje geotermálnej energie sú zastúpené predovšetkým geotermálnymi vodami, ktoré sú viazané na hydrogeologické kolektory nachádzajúce sa (mimo výverových oblastí) v hĺbkach 200 – 5 000 m.

Doteraz realizovanými vrtmi (hlbokými 92 – 3 616 m) bolo na Slovensku overených okolo 1 787 l.s⁻¹ vôd s teplotou na ústi vrtu 18 – 129 ° C, ktorých tepelný výkon predstavuje 306,8 MW_t (pri využití po referenčnú teplotu 15 ° C), čo je cca 5,7 % z vyššie uvedeného celkového potenciálu geotermálnej energie. Výdatnosť vrtov pri voľnom prelive sa pohybovala v rozmedzí od desiatín litra do 100 l.s⁻¹, prevažuje Na-HCO₃-Cl, Ca-Mg-HCO₃ a Na- Cl typ vôd s mineralizáciou 0.4 – 90 g/l.

V súčasnosti sa geotermálna energia na Slovensku využíva na cca 36 lokalitách s tepelne využiteľným výkonom 131 MW_t [10].

Na základe najnovších výsledkov geologického prieskumu boli na území východného Slovenska vyčlenené tri perspektívne oblasti pre ich využitie:

- Košická kotlina (odhadovaný energetický potenciál 1200 MW),
- Humenský chrbát (800 MW),
- Oblasť Beša - Čičarovce (200 MW).

Z hľadiska svojho potenciálu sa ako najperspektívnejšia lokalita na Slovensku ukazuje Košická kotlina, ktorá je charakteristická prítomnosťou geotermálnych podzemných vôd s teplotou 120-160 °C, a to v hĺbke menšej ako 3000 metrov. Na základe výsledkov realizácie troch vrtov v okolí obce Ďurkov (12 km od Košíc) sa po odvrhnutí ďalších 9 vrtov plánuje vybudovanie geotermálneho zariadenia, ktoré by poskytovalo teplú vodu pre vykurovanie mesta Košice.

Systematický naftový prieskum vo východoslovenskej panve priniesol informácie o výskyte mineralizovaných naftových vôd so zvýšeným obsahom jodidov. Jedná sa o vlažné až teplé liečivé vody, ktoré môžu byť využívané vo forme vaňových kúpeľov, v kúpaliskách a priamym pitím. Vrtý s najvyššími obsahmi jódu sú v oblasti Kecerovských Pekl'an, Čičaroviec, Senného, Ptrukše, Trhovišťa a Stretavy.

Celkový energetický potenciál východoslovenských využiteľných zdrojov aj s vodami s nízkou teplotou (okolo 30 °C) je odhadovaný na 3500 MW termálneho výkonu. Potenciál geotermálnych vôd s teplotou vôd 75 – 95 °C predstavuje asi 500 - 600 MW [12].

Ekonomika využívania geotermálnych zdrojov

Využívanie geotermálnych zdrojov si vyžaduje veľmi vysoké finančné náklady pre odvrhnutie hlbokých vrtov, dopravenie energetického fluida na zemský povrch, výrobu tepla vo výmenníku tepla tak, aby kontaminované primárne tepelné fluidum mohlo byť vrátené do podzemného rezervoára reinjektážnym systémom, výrobu elektrickej energie z tepla zo sekundárneho okruhu výmenníka tepla. Systém si vyžaduje mnoho hydraulických prvkov a údržbu. Porovnanie nákladov na výrobu elektrickej energie z geotermálneho zdroja a ostatných obnoviteľných zdrojov však nevyznieva pesimisticky (Tab. 4).

Tab. 4. Energia a investičné náklady na výrobu elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov energie [2].
Tab. 4. Energy and investment costs for the electric energy production from renewables [2].

Energia/Energy	Náklady na vyrobenú el. energiu Current energy cost [US\$.kWh ⁻¹]	Potenciálne náklady na vyrobenú el. energiu v budúcnosti Potential future energy cost [US\$.kWh ⁻¹]	Investičné náklady Turnkey investment cost [US\$.kW ⁻¹]
Biomasa/Biomass	5 - 15	4 - 10	900 - 3000
Geotermálna/Geothermal	2 - 10	1 - 8	800 - 3000
Veterná/Wind	5 - 13	3 - 10	1100 - 1700
Slničná/Solar (photovoltaic)	25 - 125	5 - 25	5000 - 10 000
Solar (thermal electricity)	12 - 18	4 - 10	3000 - 4000
Prílivová/Tidal	8 - 15	8 - 15	1700 - 2500

Z pohľadu zamerania tejto konferencie sa vyjadrím iba k využívaniu geotermálnej energie z hornín (hot dry rock) v hĺbkach od 4 do 6 tisíc metrov pod zemským povrchom. Využitie tohto energetického

potenciálu by znamenal významný pokles potreby využívania fosílnych karbónových palív, ktoré sú v súčasnosti považované za podstatný prvok globálnych klimatických zmien.

Pre využitie energetického potenciálu suchého tepla hornín v hĺbkach od 4 do 6 tisíc metrov je potrebné vyvinúť taký spôsob vŕtania, resp. hĺbenia štíhlych banských diel, aby vŕtanie, resp. hĺbenie prebiehalo rýchlejšie a lacnejšie ako je v súčasnosti realizované.

Kolektív autorov na Technickej univerzite rozpracoval a čiastočne realizoval technológiu *Litho Jet*, ktorou je možné hĺbiť štíhle banské diela do veľkých hĺbok na báze spaľovania vodíka. Ekonomická analýza, ktorú sme vykonali na základe teoretických výpočtov, realizovaných modelových skúšok a pokusov in situ ukázala, že napr. pre 130 mm široké a 3 000 m hlboké dielo realizované technológiou *Litho Jet* by mala byť nová technológia zhruba trikrát rýchlejšia s mierne nižšími nákladmi ako v súčasnosti používané technológie. Porovnanie technológií vychádza tým výhodnejšie v prospech technológie *Litho Jet*, čím hlbšie dielo sa má realizovať [8].

Záver

Ako ukázali skutočnosti uvedené v tomto príspevku, geotermálna energia je významným potenciálnym energetickým zdrojom, ktorý je síce investične náročný, na druhej strane je na mnohých miestach dostupný v rôznych formách od rekreačných účelov, cez vykurovanie objektov, až po výrobu elektrickej energie.

Európska únia je citlivá na nedostatok energetických zdrojov, pričom sa väčšina krajín EU stavia negatívne k využitiu jadrovej energie a odsudzuje využívanie fosílnych palív.

Z uvedených príčin, ak chce byť energeticky nezávislá, musí nájsť energetické zdroje, ktoré sú dostatočné na výrobu desiatok až stovák MW elektrickej energie v elektrárnach, ktoré nezaberajú obrovské plochy ako je to pri využívaní slnečnej a veternej energie, energetické zdroje, ktoré nebudú odčerpávať významné množstvá poľnohospodárskej pôdy, ako je tomu pri produkcii biopalív a súčasne pri vysokom podiele hladujúceho obyvateľstva na Zemi a pod. Rozvoj Európskej únie a pokrok civilizácie však bez dostatočného množstva vyrobenej energie je nemožný.

Ekonomické využívanie suchého tepla hornín je bez podpory a investícií do nových technológií vŕtania, alebo hĺbenia štíhlych banských diel a do riešenia sprievodných technických problémov neriešiteľné. Riešenie tohto problému je výzvou pre Európsku úniu, ktorá v porovnaní s USA a Japonskom ťahá vo využívaní vysokých technológií za kratší koniec.

Literatúra – References

- [1] Armstead, H. C. H.: Tester, J. W.: Heat mining a new source of Energy. *UP Cambridge, 1994.*
- [2] Fridleifsson, I. B.: In What is Geothermal Energy ?, 2001, Mary H. Dickson and Mario Fanelli Istituto di Geoscienze e Georisorse, CNR, Pisa, Italy Prepared on February 2004 <http://iga.igg.cnr.it/geo/geoenergy.php>
- [3] Hutterer, G. W.: The Status of World Geothermal Power Generation 1995-2000, *Geothermics, 30/1, Elsevier Science, Ltd., Oxford, UK, 2001.*
- [4] Lund, J. W.: Freeston, D.H.: Worldwide direct uses of Geothermal energy 2000. *Proceedings of the World Geothermal Congress, 2001.*
- [5] Lund, J. W.: The Use of Downhole Heat Exchangers, *Proceedings of the European Geothermal Conference, Hungary, 2003.*
- [6] Rybár, P., Kuzevič, Š.: Alternatívne zdroje energie II. Geotermálna energia, *dočasné vysokoškolské texty (skriptá), Elfa, s.r.o. Košice, ISBN 80-80966-35-6, 2002.*
- [7] Rybár, P., Sasvári, T.: Zem a zemské zdroje, *vysokoškolské učebné texty, vyd. Štroffek, Košice, ISBN 80-88896-12-6, 1999.*
- [8] Sekula, F., Rybár, P., Lazar, T. et al.: Výsledky riešenia VTP Litho Jet, technológia termického tavenia hornín za účelom hĺbenia vertikálnych diel, *ŠO 95/5135/059, 2000.*
- [9] <http://www.geothermal.marin.org/GEOpresentation>
- [10] www.hospodarstvo.sk
- [11] www.inforse.dk/europe/fae/OEZ/GEOTERM/geoterm.html
- [12] Uznesenie vlády SR č. 684/97 Aktualizovaná energetická koncepcia pre SR do roku 2005.