

„Stabilita“ systému využitia tepelnej energie Zeme

Marina Sidorová¹ a Gabriel Wittenberger

The „stability“ of the system of the earth thermal energy utilization

In relation to the geothermal resources and, especially, to the geothermal energy utilization, stability means the ability of an applied production system to sustain the production level over long times. Often, the resources are taken into production, mainly to meet economic goals like a quick pay-back of investments for an exploration and an equipment, in such a way that the reservoir depletion is the result. In contrast, the sustainability production of the geothermal energy secures a longevity of these resource, at a lower production level.

Key words: sustainability production of geothermal energy, longevity of the resource, resource recovery.

Úvod

Všeobecne je známe, že geotermálna energia, ktorá sa získava z vnútra Zeme, je obnoviteľným zdrojom energie. Geotermálna energia ako energetický zdroj nepatrí vo svetovom rozsahu medzi najdôležitejšie, ale vo vhodných lokalitách môže byť dominantnou energiou zabezpečujúcou ľudské potreby. Vyčerpanie zásob tradičných nerastných palív (ropa, plyn, uhlie) a znečistenie životného prostredia pri ich spaľovaní v posledných desaťročiach zvyšujú záujem prakticky vo všetkých vyspelých štátoch sveta o technológie, ktoré využívajú netradičné obnoviteľné zdroje energií (slnečná energia, biomasa a bioplyn, veterná energia, geotermálna energia, tepelné čerpadlo).

Pokiaľ sa týka geotermálnych zdrojov a špeciálne ich využitia, «stabilita» znamená schopnosť výrobného systému udržať úroveň výroby dostatočne dlhý čas. Stabilitnosť produkcie geotermálnej energie zabezpečuje životnosť jej zdrojov vďaka nižšej úrovni produkcie.

Druhy tepelnej energie Zeme a systémy využitia nízkopotenciálnej tepelnej energie pôdy

Pri využití tepla z vnútra Zeme je možné vymedziť dva druhy tepelnej energie : vysokopotenciálnu a nízkopotenciálnu. Zdrojom vysokopotenciálnej tepelnej energie sú hydrotermálne zdroje – termálne vody, ohriate v dôsledku geologických procesov. Ako zdroj nízkopotenciálnej tepelnej energie sa môžu využívať podzemné vody s relatívne nízkou teplotou alebo pôdy povrchových (s hĺbkou do 400 m) vrstiev Zeme.

Nízkopotenciálne teplo pôdy sa môže využívať pre rôzne typy budov a stavby, ako aj pre rôzne účely: na vykurovanie, zásobovanie horúcou vodou, ochladzovanie vzduchu, ohrev dlažby v zimnom období, na zábranu vzniku námrazy, na zohriatie ihrísk otvorených štadiónov, atď.

Rozlišujeme dva typy systémov využitia nízkopotenciálnej tepelnej energie Zeme: otvorené systémy a uzavreté systémy. Zemné výmenníky tepla, ktoré sú súčasťou týchto systémov spájajú tepelno-čerpadlové zariadenia s pôdou. Okrem «vyťaženia» tepla pôdy, zemné výmenníky sa môžu používať aj pre akumuláciu tepla (alebo chladu) v pôde.

«Stabilita» systému využitia nízkopotenciálnej tepelnej energie Zeme

Počas prevádzky zemného výmenníka tepla môže vzniknúť situácia, že v priebehu vykurovacieho obdobia sa teplota pôdy okolo výmenníka tepla znižuje, avšak v letnom období sa pôda nestačí vyhriať na pôvodnú teplotu, v dôsledku čoho dochádza k znižovaniu jeho teplotného potenciálu. Spotreba energie v priebehu nasledujúceho vykurovacieho obdobia spôsobuje ešte väčší pokles teploty pôdy a jeho teplotný potenciál sa ešte viac znižuje. Táto skutočnosť núti pri projektovaní systému využitia nízkopotenciálneho tepla pôdy riešiť problém «stability» (z angl. sustainability) takých systémov.

Často sa na zníženie doby návratnosti zariadení energetické zdroje prevádzkujú veľmi intenzívne, čo môže spôsobiť ich rýchle vyčerpanie. Preto treba podporovať takú úroveň výroby energií, ktorá by dovolila prevádzkovať zdroj energetických zásob čo najdlhšie. Táto schopnosť systému udržať požadovanú úroveň výroby tepelnej energie počas dlhšej doby sa nazýva «stabilita». Pre systémy využitia nízkopotenciálneho tepla pôdy platí nasledujúca definícia stability: «Pre každý systém využitia

¹ Ing. Marina Sidorová, PhD, Ing. Gabriel Wittenberger PhD., Katedra ropného inžinierstva, F BERG TU, Park Komenského 19, 043 84 Košice

(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 26. 9. 2006)

nízkopotenciálneho tepla pôdy a pre každý režim práce systému existuje určitá maximálna úroveň výroby energie. Výrobu energie pod túto úroveň možno udržiavať dlhodobo (100-300 rokov)» [1, 4].

Výskumy uskutočnené vo firme «INSOLAR INVEST» v Rusku ukázali, že spotreba tepelnej energie z pôdy spôsobuje koncom vykurovacieho obdobia okolo regulátora rúr systému «tepelného zberu» znižovanie teploty pôdy, ktoré sa v pôdno - klimatických podmienkach väčšej časti Ruska nestačí kompenzovať v období letnom, a začiatkom nasledujúceho vykurovacieho obdobia pôda zaznamenáva nižší teplotný potenciál. Spotreba tepelnej energie v priebehu nasledujúceho vykurovacieho obdobia spôsobuje ďalší pokles teploty pôdy a na začiatku tretieho vykurovacieho obdobia sa jeho teplotný potenciál ešte viac odlišuje od prirodzeného.

Tepelný vplyv dlhoročnej prevádzky systému získavania tepla na prirodzený teplotný režim pôdy má výrazný exponenciálny charakter. V piatom roku prevádzkovania pôda prechádza na nový režim, blízky periodickému. To znamená, že už od piateho roku prevádzkovania dlhoročná spotreba tepelnej energie z pôdy je doprevádzaná periodickými zmenami jej teploty. Preto pri projektovaní tepelno-čerpákových systémov zásobovania teplom z pôdy je potrebné brať do úvahy:

- znižovanie teplôt pôdneho komplexu spôsobeného dlhoročnou prevádzkou systému,
- znižovanie teploty pôdy, očakávané v piatom roku prevádzkovania [1].

V kombinovaných systémoch, ktoré sa používajú na zásobovanie teplom a chladom budov, sa tepelná bilancia určí automaticky: v zimnom období (je potreba zásobovania teplom) dochádza k ochladzovaniu pôdneho komplexu, v letnom období (je potreba zásobovania chladom) k jeho zohriatiu. V systémoch, ktoré používajú nízko-potenciálne teplo podzemných vôd, dochádza k stálemu dopĺňaniu vodných zásob vďaka vode prenikajúcej z povrchu a vode z hlbších vrstiev pôdy. Tepelný obsah pôdnych vôd sa teda zvyšuje ako «zhora» (vďaka teplu atmosférického vzduchu), tak i «zdola» (vďaka teplu pôdy). Veľkosť tepelných príjmov «zhora» a «zdola» závisí od hrúbky a hĺbky uloženia vrstvy nasýtenej vodou. Vďaka týmto „teplým príjmom“ teplota pôdnych vôd prakticky sa nemení v procese prevádzkovania.

V systémoch s vertikálnymi zemnými výmenníkmi tepla je situácia iná. Pri odvádzaní tepla teplota pôdy okolo výmenníka tepla klesá. Na pokles teploty vplyva konštrukcia výmenníka tepla a režim jeho prevádzky. Napríklad, v systémoch s vysokými hodnotami odvádzanej tepelnej energie (niekoľko desiatok Wattov na meter dĺžky výmenníka tepla) alebo v systémoch s výmenníkom tepla, ktorý je umiestnený v pôde s nízkou tepelnou vodivosťou (napríklad, v suchom piesku alebo štrku), pokles teploty bude obzvlášť výrazný a môže spôsobiť zmrazovanie pôdneho komplexu okolo výmenníka tepla.

Nemeckí špecialisti uskutočnili neďaleko od Frankfurtu merania teploty pôdy, v ktorom bol zabudovaný vertikálny výmenník tepla v hĺbke 50 m. Pre tento účel okolo hlavného vrtu vo vzdialenosti 2,5/ 5/ 10 m bolo navŕtaných 9 vrtoch v rovnakej hĺbke. Vo všetkých vrtoch boli každé 2 m umiestnené snímače merania teploty – celkom 240 snímačov. Na obr. 1 sú uvedené ozočiary teplôt v pôdnom komplexe okolo vertikálneho výmenníka tepla na začiatku a po skončení prvého vykurovacieho obdobia. Ku koncu vykurovacieho obdobia je dobre viditeľný úbytok teploty pôdneho komplexu okolo výmenníka tepla. Vzniká tepelný prúd, usmernený k výmenníku tepla z okolitého pôdneho komplexu, ktorý čiastočne kompenzuje znižovanie teploty pôdy v dôsledku «odvodu» tepla. Veľkosť tohto prúdenia v porovnaní s hodnotou prúdenia tepla z vnútra Zeme v danej oblasti (80-100 MW.m⁻²) je dostatočne vysoká (niekoľko W.m⁻²).

Vertikálne výmenníky tepla našli svoje široké uplatnenie približne pred 15-20 rokmi, ale celkovo sa vo svete pociťuje nedostatok experimentálnych údajov, získaných pri dlhodobých (niekoľko desiatok rokov) prevádzkach systémov s výmenníkmi tepla takéhoto typu. Vzniká otázka stability týchto systémov, ich spoľahlivosti pri dlhodobých prevádzkach. Je nízko-potenciálne teplo Zeme obnoviteľným zdrojom energie? Aké je obdobie «obnovy» tohto zdroja?

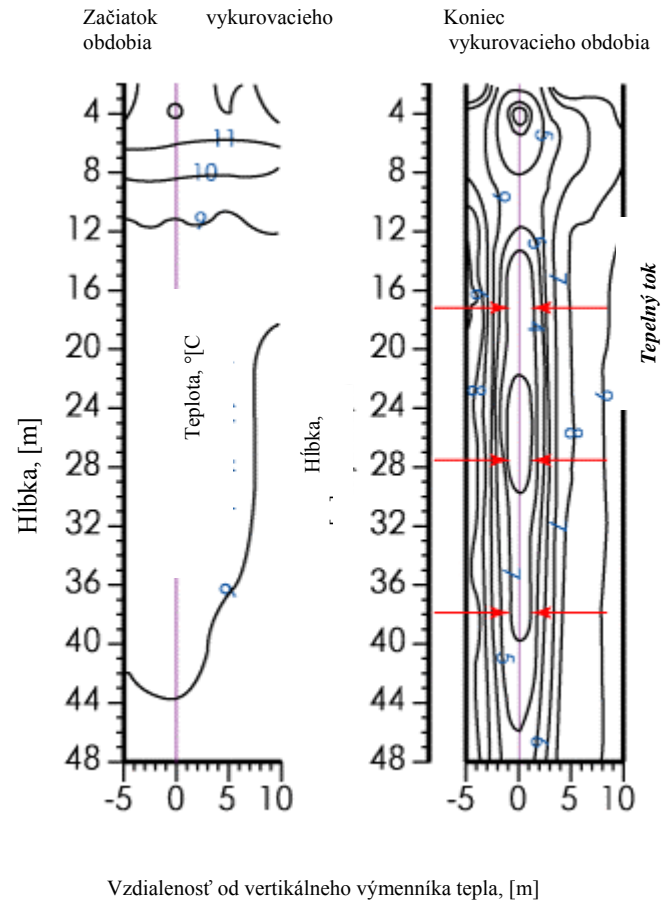
V roku 1986 sa vo Švajčiarsku neďaleko Zurichu uskutočnili výskumy systému s vertikálnym zemným výmenníkom tepla [4]. V pôdnom komplexe bol umiestnený vertikálny výmenník tepla koaxiálneho typu v hĺbke 105 m. Tento výmenník tepla bol použitý pre tepelno-čerpákový systém v rodinnom obytnom dome. Vertikálny výmenník tepla zaisťoval špičkový výkon približne 70 W na každý meter dĺžky, čo vytváralo značnú tepelnú záťaž okolitého komplexu pôdy [2], [3].

Vo vzdialenosti 0,5 a 1 m od hlavného vrtu boli navŕtané dva dodatočné vrty, a v nich boli v hĺbke 1, 2, 5, 10, 20, 35, 50, 65, 85 a 105 m umiestnené snímače teplôt. Vrty boli zaplnené ílovitou cementovou zmesou. Teplota sa zaznamenávala každých tridsať minút. Okrem teplôt pôdy sa merali i ďalšie parametre: rýchlosť pohybu tepelného nosiča, spotreba energie pohonom kompresora, teplota vzduchu, atď.

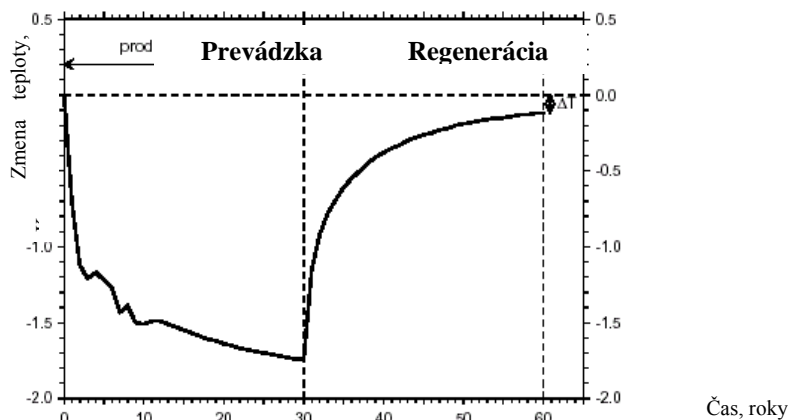
Prvé obdobie skúmania bolo realizované v rokoch 1986 až 1991. Merania ukázali, že vplyv tepla vonkajšieho vzduchu a slnečnej radiácie sa prejavuje v povrchovej vrstve pôdy do hĺbky 15 m. Pod touto úrovňou sa tepelný režim pôdy vytvára predovšetkým vďaka teplu vnútra Zeme. Počas prvých 2-3 rokov prevádzky sa teplota pôdneho komplexu okolo vertikálneho výmenníka tepla prudko znížila, avšak každý nasledujúci rok sa pokles teploty zmenšoval. O niekoľko rokov systém prešiel na režim blízky k stálemu, tak že teplota pôdneho komplexu okolo výmenníka tepla bola nižšia o 1-2 °C oproti pôvodnej teplote.

Po desiatich rokoch (jeseň 1996) prevádzkovania systému boli merania znovu obnovené. Tieto merania ukázali, že teplota pôdy sa podstatným spôsobom nezmenila. V nasledujúcich rokoch boli zaznamenané nepatrné kolísania teploty pôdy v rozmedzí 0,5 °C v závislosti od každoročného vykurovacieho zaťaženia. Z toho vyplýva, že systém prešiel na kvázistacionárny režim po prvých niekoľkých rokoch prevádzkovania (Obr. 2).

Na základe experimentálnych údajov boli zostavené matematické modely procesov prebiehajúcich v pôdnom komplexe, čo dovolilo vytvoriť dlhodobú predpoveď zmeny teploty pôdneho komplexu [4], [5].



Obr. 1. Rozloženie teplôt v pôdnom komplexe okolo vertikálneho výmenníka tepla na začiatku a po skončení prvého vykurovacieho obdobia
 Fig. 1. Distribution of temperatures in the soil complex around vertical heat exchanger at the beginning of the monitoring period and at the end of the first heating season



Obr. 2. Vypočítaná zmena teploty v hĺbke 50 m a vzdialenosti 1 m od výmenníka tepla počas prevádzky a počas regenerácie. $\Delta T=0,1^{\circ}\text{C}$.
 Fig. 2. Calculated temperature change in a depth of 50 m and in a distance of 1 m from the BHE over a production period and recuperation period $\Delta T=0,1^{\circ}\text{C}$

Z matematického modelovania vyplýva, že každoročný pokles teploty sa bude postupne znižovať, avšak objem pôdneho komplexu okolo výmenníka tepla zasiahnutého poklesom teploty sa bude každý nasledujúci rok zväčšovať. Po skončení doby prevádzkovania sa začína proces regenerácie: teplota pôdy začína stúpať. Charakter priebehu procesu regenerácie je podobný charakteru procesu odvodu tepla: počas prvých rokov prevádzky dochádza k rýchlemu zvyšovaniu teploty pôdy, avšak v nasledujúcich rokoch rýchlosť zvyšovania teploty klesá. Doba trvania regenerácie je závislá na dobe trvania prevádzky. Tieto dve doby sú približne rovnaké. V posudzovanom prípade doba prevádzky pôdneho výmenníka tepla je tridsať rokov a doba regenerácie sa tiež odhaduje na tridsať rokov.

Záver

Geotermálna energia sa v podmienkach Slovenskej republiky využíva predovšetkým na ohrev teplej úžitkovej vody, na vykurovanie, rekreačné účely a v kúpeľníctve na ohrev bazénov. Využívanie geotermálnej energie na produkciu elektrickej energie je viazané na vysoko teplotné (na priamu výrobu) a stredne teplotné zdroje (na nepriamu výrobu elektrickej energie, napr. technológiou ORMAT) [6].

Zdroje geotermálnej energie sú obnoviteľné v porovnaní s tradičnými zdrojmi energie - ropou, plynom a uhlím. Obnova týchto zdrojov prebieha v tom istom mieste, odkiaľ boli vytiažené. Okrem toho, pre systémy tepelných čerpadiel sa môže dosiahnuť a udržať požadovaná úroveň výroby tepelnej energie počas dlhšej doby.

Systémy zásobovania teplom a chladom budov, ktoré využívajú nízkopotenciálne teplo Zeme sú spoľahlivým energetickým zdrojom, ktorý môže byť využitý v rôznych podmienkach. Tento zdroj sa môže využívať dlhodobo a môže byť obnovený po skončení doby prevádzkovania systému.

Literatúra - References

- [1] Vasiljev, G., P., Šilkin, N., V.: Ispolzovanie nizkopotencialnej teplovoj energie zemli v teplonasosnyh systemach. Casopis ABOK.
http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=1991&version=print
- [2] Rybach, L., Sanner, B.: Ground-source heat pump systems - the European experience. *GeoHeatCenter Bull.* 21/1, 2000.
- [3] Rybach, L., Kohli, Th.: The geothermal heat pump boom in Switzerland and its background. *International Geothermal Conference, Reykjavik, Sept. 2003. S03 Paper108.*
- [4] Rybach, L.: Geothermal energy: sustainability and the environment. *Proc. World Geothermal Congress Vol. 2, p. 843-849.* <http://www.geothermie.de/egec-geothernet/proceedings/szeged/1-2-03.pdf>
- [5] Rybach, L., Eugster, W.: SHALLOW GEOTHERMAL RESOURCES – BHE / HP, III. *Sustainability.* <http://www.geothermal-energy.ch/downloads/Publikationen/rybach3.pdf>
- [6] Tauš, P., Rybár, R., Kudelas, D., Kuzevič, Š., Domaracký, D.: Potenciál obnoviteľných zdrojov energie na Slovensku z hľadiska výroby elektrickej energie, *AT&P Journal* 3/2005.