

Potenciál podzemných vôd Slovenska ako obnoviteľných zdrojov energie

Ladislav Tometz¹ a Dušan Dugáček

The potential of the Slovakian ground-water as sources of renewable energy

One of the most favourable energetic sources of heat is represented by ground-water, which can be found in the Earth crust in two forms as common water and as geothermal water. It is well-known, that Slovakia disposes by great potential of this kind of renewable energy source. For the evaluation, it is necessary to take into account also the regional demands of the ground-water utilisation as renewable energy source. This paper evaluate the occurrence, quality and possibilities of exploitation of these sources.

Key words: Slovakia, hydrogeology, ground-water, heat pump

Úvod

Tepelné čerpadlá sú alternatívne zariadenia pre výrobu tepelnej energie v porovnaní s jej klasickou výrobou pomocou spaľovania fosílnych palív. Princíp ich funkcie je založený na termodynamickom obehu strojného chladiaceho zariadenia.

Jedným z najvýhodnejších energetických zdrojov tepla je podzemná voda, ktorá sa z hľadiska jej využitia nachádza v zemskej kôre v dvojakej forme:

a, Obyčajná podzemná voda

Je z energetického hľadiska veľmi výhodným zdrojom tepla o teplotnej úrovni 5 až 12 °C bez výraznejších teplotných fluktuácií. Pre otvorené systémy je ale vhodná, vzhľadom na vodohospodárske predpisy, reinjektáž použitého množstva vody do ďalšieho podzemného vrtu. Menej vhodným, z hľadiska ekologického ale aj ekonomického (finančná úhrada za využitú podzemnú vodu) sa javí vypúšťanie do povrchových recipientov). Hlavnou nevýhodou, zvlášť systému s reinjektážou sú pomerne vysoké investičné náklady pre získanie a zriadenie predmetného vodného zdroja tepelnej energie.

b, Geotermálna podzemná voda

Geotermálna voda o teplotnej úrovni 15 až 90 °C je energeticky veľmi výhodným zdrojom pre tepelné čerpadlá, základnou nevýhodou sú veľmi vysoké investičné náklady na jej získanie (vrty do hĺbky až niekoľko km), vysoký stupeň korozívnosti a jej dostupnosť len v mieste výskytu. Výhodným riešením môže byť využitie geotermálnej vody o vysokej teplote najprv na získanie tepla priamo vo výmenníkoch tepla voda-voda a potom pri jej ochladení na 15 až 25 °C, ako zdroja tepla pre tepelné čerpadlá. Vzhľadom na uvedené skutočnosti je v príspevku venovaná pozornosť týmto vodám len okrajovo.

Využitie obyčajných podzemných vôd pre tepelné čerpadlá a získavanie informácií o ich zdrojoch

Základnom hodnotenia výskytu podzemných vôd na Slovensku s možnosťou ich využívania tepelnými čerpadlami je jeho hydrogeologická rajonizácia. Tu možno pri základnej orientácii vychádzať z dvoch aktuálnych mapových podkladov tvoriacich súčasť Atlasu krajiny Slovenskej republiky [6] (Miklós ed., 2002), a to:

- a, Z mapy hlavných hydrogeologických regiónov [5] (Malík a Švasta, 2002), podľa ktorej je územie Slovenska rozdelené na 142 hydrogeologických regiónov s farebným odlišením určujúceho typu priepustnosti (medzizrnová, puklinová a krasová).
- b, Z mapy využiteľných množstiev podzemných vôd [7] (Poráziková, Kollár, 2002). Podľa tejto mapy je na území Slovenska vyčlenených 142 hydrogeologických rajónov [9] (Šuba et al., 1990) členených na subrajóny, resp. čiastkové rajóny. Využiteľné množstvo podzemných vôd v hydrogeologickom rajóne ($\text{l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$) je vyjadrené 7 stupňovou farebnou škálou od menej ako $0,20 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$ až po viac ako $9,99 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$.

¹ doc. Ing. Ladislav Tometz, PhD., Ing. Dušan Dugáček, Ústav geovied, Fakulta danictva, ekológie, riadenia a geotechnológií, Technická Univerzita v Košiciach, Park Komenského 15, 042 00 Košice, tel.: +421 55 602 3134, ladislav.tometz@tuke.sk, dušan.dugacek@tuke.sk (Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 23.34.2012)

Rozmiestnenie využívaných zdrojov podzemných vôd na Slovensku je veľmi nepravidelné a naznačuje priestorovú nerovnomernosť výskytu týchto zdrojov, odrážajúcu pestrosť geologickej stavby a morfológie povrchu jeho územia s výskytom najrôznejších typov hornín od kryštalinika po kvartérne sedimenty a od nížin až po vysokohorský reliéf. Nerovnomernosť sa prejavuje aj v rozdielnych kvantitatívnych charakteristikách týchto zdrojov.

V ďalšom texte sú stručne charakterizované hydrogeologické celky podľa geotektonického rozdelenia, litofaciálnych pomerov, veku hornín a ich základných hydrogeologických vlastností (obr. 1).

Kryštalinické horniny budujú predovšetkým jadrové pohoria. V granitoidoch a ich metamorfítach sa obeh podzemných vôd viaže na pripovrchovú zónu zvýšenej priepustnosti zasahujúcu zväčša do hĺbok okolo 40-60 m. Výdatnosť vrtov má rozpätie 0,1-3,0 l.s⁻¹, ojedinele na zlomoch dosahuje až 10 l.s⁻¹, výdatnosti prameňov nepresahujú 0,5 l.s⁻¹, výnimočne prevyšujú 1,0 l.s⁻¹. Menej priaznivé pomery vykazujú paleozoické epimetamorfity (s výnimkou tektonicky porušených metavulkanitov s výdatnosťami vrtov do 1,0 l.s⁻¹, ojedinele do 3,0 l.s⁻¹).

Významné hydrogeologické štruktúry s krasovo-puklinovou priepustnosťou sú budované mezozoickými karbonátmi. Pri využití podzemných vôd tu má značný význam zachytenie prameňov, ktorých výdatnosť sa pohybuje od niekoľko l.s⁻¹ až po niekoľko stoviek l.s⁻¹. Veľká časť vôd karbonátových komplexov je drénovaná povrchovými tokmi. Pre nestálosť výdatností krasových prameňov sa využitie optimalizuje realizáciou exploatačných vrtov, kde sa často na trvalý odber odporúčajú výdatnosti okolo 50-100 l.s⁻¹ na 1 vrt.

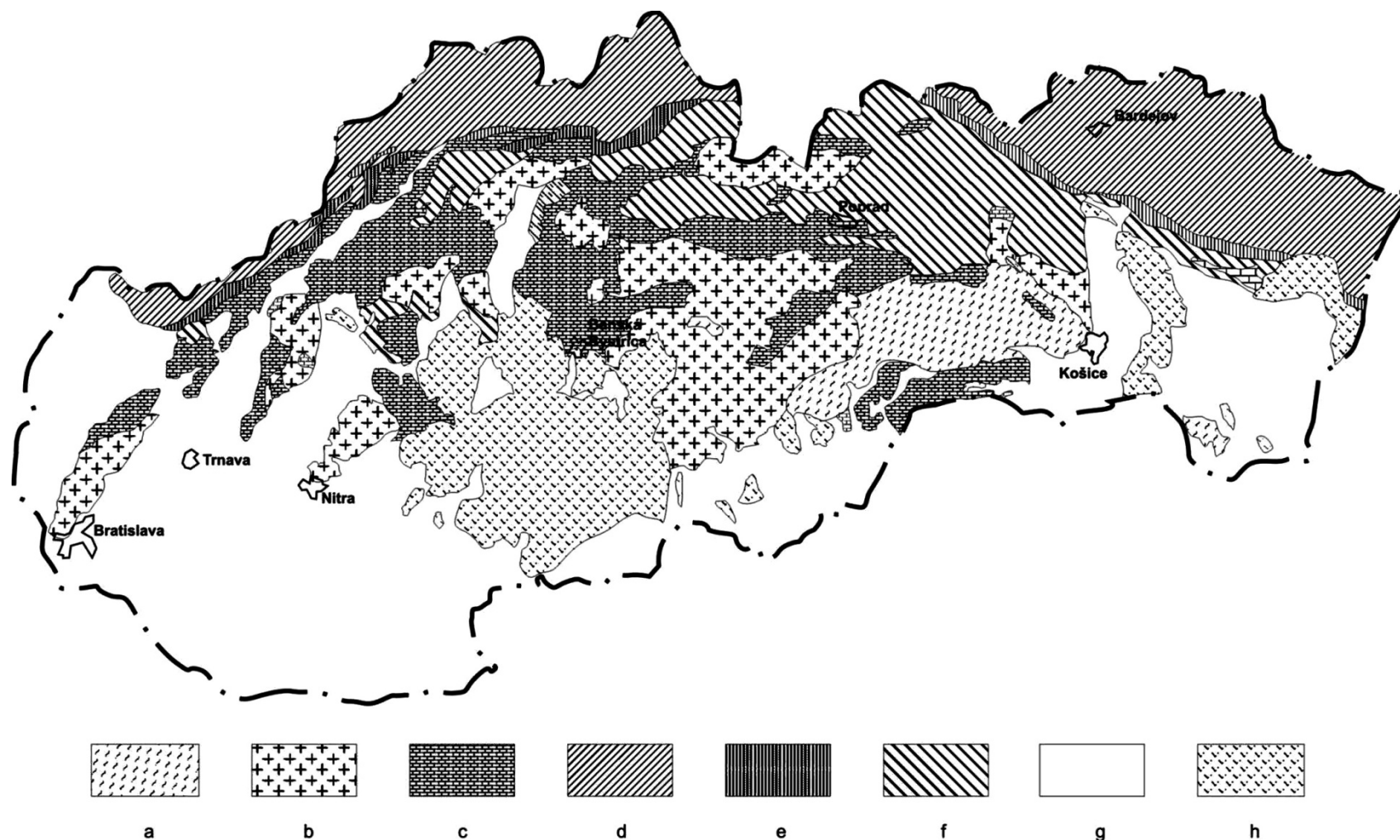
Najväčší plošný rozsah majú flyšové horniny centrálnokarpatského paleogénu a vonkajšieho flyšu, ktoré sú rozdelené bradlovým pásmom s výskytom priepustnejších karbonátov. Vzťah priepustnosti týchto hornín a ich litológie je veľmi zložitý. Ukázalo sa, že v značnej časti skúmaných regiónov a litostratigrafických členov paleogénu neplatí najmä v pripovrchovej zóne tradičná predstava o antagonizme priepustných pieskocov a slabopriepustných ílovcov a prachocov, takže rastúci podiel pieskocov nevedie k rastu priemernej priepustnosti a niekedy má dokonca opačný efekt [4] (Jetel et al., 1993). Väčšie výdatnosti sa viažu na priebeh tektonicky podmienených puklinových zón v dolinách. Priemerná výdatnosť pripadajúca na 1 vrt leží zväčša v rozpätí 0,5 - 3 l.s⁻¹. Neogénne panvy vyplňujú prevažne ílovité sedimenty fungujúce ako hydrogeologické izolátory, s polohami pieskových, štrkových a pieskocových kolektorov. Hydraulicke vlastnosti hornín vykazujú značnú variabilitu, výdatnosti vrtov sa pohybujú od 0,2 do 10 l.s⁻¹.

Hydraulicke parametre neovulkanitov Slovenska sú značne závislé od tektonického porušenia. Predstavy o význame vyššej priemernej priepustnosti andezitov oproti komplexom vulkanoklastík sa nepotvrdili. Priemerná výdatnosť na 1 vrt dosahuje najčastejšie 2 - 8 l.s⁻¹, ojedinele (na zlomových pásmach) môže výnimočne prekročiť hodnotu 10 l.s⁻¹.

Najvýznamnejšími kvartérnymi kolektormi sú fluvialne štrky a piesky v dnových výplniach nív väčších tokov. Osobitné postavenie majú silne priepustné glaci-fluvialne sedimenty predpolia Vysokých Tatier, dosahujúce hrúbku niekoľko sto metrov. Hrúbka fluvialnych zvodnencov na dolných tokoch riek môže dosahovať až niekoľko desiatok (v náplavoch Dunaja aj viac ako 100) metrov s prevahou piesčitej frakcie nad štrkovou. Smerom k horným úsekoch tokov hrúbka zvodnencov klesá (najčastejšie na 3 - 10 m) a zvyšuje sa podiel štrkovej frakcie. V dolných častiach tokov možno z fluvialnych zvodnencov získavať jedným vrtom aj niekoľko desiatok l.s⁻¹, v ostatných úsekoch údolných nív riek sú charakteristické výdatnosti 1- 10 l.s⁻¹ na 1 vrt.

Z uvedeného vyplýva, že priestorové rozmiestnenie využiteľných zdrojov podzemných vôd na Slovensku je veľmi nepravidelné nielen z hľadiska rozdielov medzi jednotlivými hydrogeologickými celkami, ale aj vnútri týchto celkov.

Vychádzajúc z takýchto skúseností je potom pri výbere vhodných lokalít pre dané energetické využitie podzemných vôd možné využiť regionálne hydrogeologické mapy Slovenska v mierke 1:50 000, ktoré je možné študovať na mapovom serveri ŠGÚDŠ (http://www.geology.sk/index.php?pg=geois.mapovy_server). Jeho nevýhodou je však, tá skutočnosť, že doposiaľ bolo sprístupnených len 14 takýchto máp pokrývajúcich územie Slovenska približne len z jednej pätiny. V danom prípade je potom nevyhnutné využiť najprv databázu informácií o hydrogeologických prieskumoch. Za týmto účelom je možné využiť buď digitálny archív Štátneho geologického ústavu Dionýza Štúra v Bratislave (http://www.geology.sk/index.php?pg=geofond.digi_archiv), prípadne Geoarchív Ústavu geovied FBERG TU v Košiciach (<http://www.geoarchiv.tuke.sk/>). V prvom prípade je však (po získaní prístupu) možné študovať len nepatrnú časť dokumentov v digitálnej podobe. V druhom prípade je zverejnený len zoznam dokumentov a je potrebné ich študovať fyzicky v tlačenej podobe. V rámci Ústavu geovied FBERG TU v Košiciach bol pre mesto Košice a okres Košice okolie zostavený interaktívny informačný systém (<http://www.hydrogeo.tuke.sk/>), účelovo zameraný na vyhľadávanie zdrojov podzemných vôd slúžiacich pre prevádzku tepelných čerpadiel.



Obr. 1. Mapa hydrogeologických celkov zostavená podľa geotektonického rozdelenia, litofaciálnych pomerov, veku hornín a ich základných hydrogeologických vlastností (zostavil L. Tometz)
 a – paleozoikum, b – kryštalinikum, c – mezozoikum, d – flyšové pásmo, e – bradlové pásmo, f – vnútrokarpatský paleogén, g – sedimentárny neogén a kvartér, h – neovulkanity.
 Fig. 1. Map of hydrogeologic units compiled according the geotectonic classification, lithology, ages and basic hydrogeological characteristics of rocks (compiled by L. Tometz)
 a – Paleozoic, b – Crystalline, c – Mesozoic, d – Paleogene, e – Flysch beds, f – Innercarpatinan Paleogene, g – sedimentary Neogene and Quaternary, h – Neovolcanic rocks.



Obr. 2. Klad mapových listov so spracovaním údajov o zdrojoch podzemnej vody v Košiciach a ich okolí.
Fig. 2. Map lists with interpreted data of ground-water sources in Košice and its surrounding.

Po kliknutí na príslušný mapový list v obrázku č. 2 sa tento zobrazí aj so situovaním zdrojov podzemnej vody. Jeden z týchto zdrojov sa prejavuje ako aktívny blikaním. Po kliknutí na tento bod je možné získať informácie o jestvujúcom zdroji podzemnej vody s údajmi uvedenými v tabuľke 1.

Tab. 1. Základné informácie o zdroji podzemnej vody.
Tab. 1. Basic information about groundwater source.

Označenie a lokalizácia vrtu		Archívne pramene		Technické a geologické údaje	
Pôvodné označenie	HP-1	Autor	Tometz, L.	Hĺbka vrtu [m]	12,0
Mesto obec	Košice - juh	Rok	1984	Ustálená hladina podzemnej vody [m]	4,5
Ulica	Požiarnická	Investor	MsNV Košice	Teplota vody [°C]	13,0
List mapy 1:10 000	37-24-19	Archívne číslo Geofond	59499	Výdatnosť [L.s ⁻¹]	21,0
Pozn.	Hasiči, základná škola, obchody	Archívne číslo Geoarchív	2016	Litológia zvodnenca od-do [m p.t.]	štrk 4,4 – 11,0

Po získaní prístupu sú potom dostupné informácie o ktoromkoľvek zdroji podzemnej vody situovaného na príslušných listoch mapy uvedených na obrázku 2.

Uvedený informačný systém umožňuje výberové kritériá podľa teploty vody, výdatnosti zdroja, hĺbky vrtu (studne) a stavu hladiny podzemnej vody v čase jeho realizácie.

Účelovo, pre potreby komerčnej firmy, bola spracovaná aj štúdia využiteľnosti podzemných vôd pre tepelné čerpadlá na Slovensku [15] (Tometz, 2007c), ktorá bola zostavená vychádzajúc z požiadavky jej objednávateľa, na základe kritérií územného a správneho rozdelenia Slovenska, ako aj jeho regionálneho hydrogeologického rozdelenia.

Pre územné a správne rozdelenie Slovenska bola využitá v súčasnosti platná schéma z roku 1996, ktorá vymedzuje 8 krajov a 79 okresov. Konkrétne hodnotenie využiteľnosti množstiev podzemných vôd pre dané účely je potom viazané na územie vymedzené hranicami okresu. V každom zo 79 okresov sú zhodnotené v zmysle hydrogeologickej rajonizácie Slovenska [8] (Šuba et al., 1984) podmienky výskytu, obehu a akumulácie obyčajných podzemných vôd. V textovej časti predmetnej práce sú potom podrobnejšie opísané možnosti využívania podzemných vôd pre dané účely. Charakterizované sú tu hlavné hydrogeologické prvky, akými sú typ a hrúbka zvodneného kolektora, základný geohydraulický parameter – koeficient filtrácie a priemerná výdatnosť pripadajúca na jeden hydrogeologický vrt, situovaný do daného prostredia.

Skúsenosti s realizáciou hydrogeologických prieskumov pre získanie podzemných vôd využívaných tepelným čerpadlom

V priebehu posledného desaťročia sme získali viaceré skúsenosti s realizáciou zdrojov podzemnej vody pre tepelné čerpadlá. Na prvom mieste je v danom prípade vyhľadanie vhodného zdroja s požadovanou kvantitou a vhodnou kvalitou podzemnej vody. Dôležitým procesom pri zužitkovaní podzemnej vody je jej remediácia, t.j.

vsakovanie čerpanej a zužitkovanej vody späť do horninového prostredia. Pre dané účely sa ako najvhodnejšie javia hydrogeologické kolektory s medzizrnovou priepustnosťou a nenapätou zvodňou (voľnou hladinou podzemnej vody). Čerpací a vsakovací vrt by mali byť rovnocenné, vhodne situované, v dostatočnej vzdialenosti od seba, hydraulicky úplné (prechádzajúce celou hrúbkou zvodnenca).

Priaznivé podmienky pre dané účely boli overené napr. v Kalnej nad Hronom, kde je energiou získanou tepelným čerpadlom zabezpečená miestna základná, materská škola a futbalové ihrisko [11], [12], [14] (Tometz, 2006a,b; Tometz, 2007a), tiež miestny relaxačno-športový areál s krytým bazénom [16] (Tometz, 2007b).

V zmysle hydrogeologickej rajonizácie Slovenska [8] (Šuba et al., 1984) spadá územie do HG rajónu QN59 Kvartér Hronských terás v Podunajskej nížine. Zvyšky kvartérnych terás Hrona sú zakryté sprašami a sprašovými hlinami o hrúbke 4 až 15 m a nemajú hydrogeologický význam. Podzemná voda je tu viazaná na hlbšie uložené terasové štrky, ktorých hrúbka dosahuje v Kalnej nad Hronom 20 m. Výdatnosť pripadajúca na jeden vrt tu môže presiahnuť 10 l.s^{-1} . Južne od Kalnej nad Hronom sú polohy piesčitých štrkov menej hrubé (2 až 8 m) a narastá v nich aj podiel hlinitej frakcie. V podloží štrkov sa nachádza komplex neogénnych hornín s výskytom vrstiev piesku a štrku. Jedným vrtom hlbokým niekoľko 10 m až 100 m tu možno získať výdatnosť okolo $0,5$ až $3,5 \text{ l.s}^{-1}$.

Podobné podmienky pre získanie kvalitnej podzemnej vody v dostatočnom množstve majú aj Košice. Zvlášť sa takéto podmienky vyskytujú v centrálnej časti mesta. Skúsenosť bola získaná prieskumnými prácami [13], [17] (Tometz, 2006c; 2008) pre overenie možnosti celoročnej klimatizácie administratívnej budovy na Murgašovej ulici č. 3. Zaujímavosťou v danom prípade je skutočnosť, že ako čerpacia studňa, tak aj špeciálne upravené vsakovacie objekty sa nachádzajú v suteréne administratívnej budovy. Tá je situovaná do hydrogeologického rajónu Q 125 Kvartér Hornádu v Košickej kotline, ktorý zaberá centrálnu časť mesta Košice. Nachádzajú sa tu kvartérne fluviálne piesčité štrky (subrajón HD 10) s vysokou priepustnosťou ($k = 1.10^{-4}$ až $1.10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$). Hrúbka sedimentov dosahuje 3 až 12 m. V hrubších častiach situovaných v južnej časti mesta sa vytvorili podmienky pre dobré prúdenie a akumuláciu podzemných vôd. Jedným vrtom tu možno zachytiť podzemnú vodu v množstve 9 až 21 l.s^{-1} [10] (Tometz, 1984). Rádovo menej výdatné sú vrty situované do terasových štrkov Hornádu (subrajón HD 20). K tomuto subrajónu treba priradiť aj územie vymedzené Popradskou ul. a celým sídliskom KVP, kde sa nachádzajú neogénne sedimenty s prevahou ílov v ktorých sa spravidla v hĺbke viac ako 25 až 30 m nachádzajú polohy štrkov z ktorých možno jedným vrtom získať $0,5$ až $3,0 \text{ l.s}^{-1}$ podzemnej vody. Pod kvartérou výplňou v hĺbke 50 až 150 m, sa miestami nachádzajú neogénne štrky vo forme artézskych vrstiev s výdatnosťou pripadajúcou na jeden vrt okolo 10 l.s^{-1} [3] (Frankovič, 1976).

V oboch prípadoch, teda ako v Kalnej nad Hronom, tak aj v Košiciach, sú tepelné čerpadlá využívané celoročne bez čí len náznaku kvantitatívnych a kvalitatívnych zmien na čerpacích a vsakovacích objektoch a v konečnom dôsledku aj kvality a množstva využívaného média – podzemnej vody.

Podmienky využívania podzemných vôd pre tepelné čerpadlá

Vychádzajúc z v súčasnosti platnej legislatívy, je potrebné sa pri zriaďovaní zdrojov podzemnej vody využívanej tepelným čerpadlom pracujúcim v režime voda – voda riadiť usmernením Odboru štátnej správy v sektore vôd a rybárstva MŽP SR. Podľa tohoto usmernenia je v danom prípade základným legislatívnym podkladom Zákon č. 364/2004 Z. z. o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb., o priestupkoch v znení neskorších predpisov (ďalej iba „vodný zákon“). Okrem iného sa v predmetnom usmernení uvádza:

Teplota vody po využití tepelnej energie sa výrazne nemení a nie je preukázaný vplyv na kvalitu vôd. Čerpadlo musí byť zabezpečené dostatkom podzemnej vody v množstve približne 180 l.h^{-1} na výkon 1 kW výkonu tepelného čerpadla. Výdatnosť vodného zdroja je potrebné overiť skúškou, pri ktorej sa nepretržite počas 28 dní vyčerpáva voda z vrtu (studne). Vo vode nesmú byť rozptýlené mechanické nečistoty, ktoré môžu zanášať výmenník tepelného čerpadla, prípadne filtre. Nevhodné môžu byť i vody s vysokým obsahom minerálov alebo železa. Pri takýchto vodách je nutné vykonať ich rozbor a na jeho základe zvážiť výhodnosť riešenia. Pri nedostatočnom prietoku vody môže dôjsť k zamrznutiu vody vo výparníku. Hlavnou nevýhodou systému sú investične pomerne vysoké náklady pre získanie predmetného vodného zdroja tepelnej energie a výhodou je tepelne stabilný zdroj z hľadiska jeho využitia na čerpanie energie.

Podľa § 17 ods. 1 písm. h) a i) vodného zákona je v danom prípade nakladanie s vodami činnosť ovplyvňujúca vodné pomery a je nevyhnutné za účelom preukázania miery (kvalitatívnej a kvantitatívnej) vykonať hydrogeologický prieskum. Podľa § 21 ods. 1 písm. g) a i) vodného zákona je potrebné povolenie na osobitné užívanie vôd. Toto povolenie, podľa ods. 2 citovaného paragrafu, vydáva orgán štátnej vodnej správy fyzickým a právnickým osobám. V rozhodnutí určí účel, rozsah a čas povolenia ne osobitné užívanie vôd, povinnosti a podmienky, za ktorých sa povolenie vydáva. V prípade vypúšťania použitých osobitných vôd do podzemných vôd sa orgán štátnej správy radi ustanovením § 37 ods. 6, vodného zákona.

V právnych predpisoch v oblasti ochrany vôd a vodného hospodárstva je výroba tepelnej energie z odobratej vody podporovaná formou oslobodenia od povinností platiť poplatky za odbery podzemných vôd

na účely energetického využitia, ak sa následne vypúšťajú do podzemných vôd, okrem odberov geotermálnych vôd (§ 79 ods. 3 písm. i) vodného zákona).

Príslušný obvodný úrad životného prostredia na základe žiadosti navrhovateľa povolí čerpanie podzemných vôd a ich vypúšťanie do povrchových vôd alebo podzemných vôd pri hydrogeologickom prieskume s časom trvania čerpacej skúšky 28 dní. Na základe záverečnej správy z podrobného hydrogeologického prieskumu, pri ktorom sa zistili a overili množstvá podzemných vôd a bol vykonaný výpočet množstva vôd (podľa § 5 odseku 5, písm. b) vyhlášky MŽP SR č. 52/2008 Z. z., ktorou sa vykonáva geologický zákon) a predloženej dokumentácie k územnému konaniu sa príslušný orgán štátnej vodnej správy vyjadrí. Toto vyjadrenie je záväzným stanoviskom k územnému konaniu stavebného úradu.

V stavebnom konaní špeciálny stavebný úrad povolí vodnú stavbu, nakladanie s vodami s podmienkami podľa spôsobu vypúšťania do podzemných alebo povrchových vôd. Upozorní na povinnosť oznamovať údaje o odberoch podzemnej vody podľa § 6 ods. 5 vodného zákona Slovenskému hydrometeorologickému ústavu.

Povoľujúci orgán štátnej vodnej správy postupuje v rozhodovacej činnosti podľa § 30 ods. 1 vodného zákona tak, aby sa v záujme uchovania a ochrany stavu povrchových vôd, podzemných vôd a vodných pomerov uprednostňovalo vypúšťanie použitých energetických vôd do toho istého hydrogeologického kolektora, z ktorého sa odoberali.

Zdroje termálnych podzemných vôd na Slovensku

Geotermálna energia, tiež vnútorné teplo Zeme, je iba časťou energie, ktorou disponuje naša planéta. Navonok sa prejavuje mechanicky (zemetrasenia, vrásnenia horských masívov) alebo tepelne (sopky, gejzíry a horúce pramene). Už z toho je vidieť aké množstvo energie skrýva Zem vo svojom vnútri. Tepelný tok z vnútra Zeme na jej povrch dosahuje 26 TJs^{-1} . Ak porovnáme tepelný tok Zeme (množstvo tepla vyžiareného Zemou na 1 m^2 za 1 s) $F_{\text{zem}} = 0,06 \text{ W.m}^2$ so slnečným tepelným tokom zistíme, že je cca 10 000-krát menší. Využitie tejto energie sa zdá zatiaľ lacnejšie ako stavba kozmických elektrární. Je to zatiaľ najmocnejší, prakticky nevyčerpatelný zdroj energie. Je pritom vzdialený z ľubovoľného miesta na Zemi iba 10 až 12 km smerom do jej stredu. I keby sme pokryli všetku minulosť i budúcu spotrebu ľudstva, poklesla by teplota Zeme o $1 \text{ }^\circ\text{C}$ za 40 mil. rokov.

Zemské jadro tvorí žeravá hmota z roztavených kovov, ktorá je pod tlakom 350 tis. MPa uzavretá do tvaru gule o priemere asi 300 km. Okolo jadra je obal z roztaveného železa a niklu, ktorý vyplňuje guľu o priemere asi 6800 km (od stredu Zeme). Medzi obalom a pevnou zemskou kôrou je asi 2900 km široká hrubá vrstva tvorená žeravými nerastami, ktorých teplota v mieste kde sa stretáva s pevnou zemou je asi $1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Za tým nasleduje 30 až 60 km vrstva (pod oceánmi aj tenšia) zemská kôra – litosféra. Tu sa môžu nachádzať i veľké zásobárne podzemnej vody. Ak sa voda dostane do styku so žeravým obalom, zahrieva sa na vysoké teploty a niekedy sa vytvoria i veľké ložiská suchej alebo vlhkej pary. V niektorých miestach preniká táto voda alebo para na zemský povrch.

Využitie geotermálnej energie spočíva hlavne vo výrobe elektrickej energie a vykurovacej oblasti. Teplé či horúce pramene, ktorých vody sú ohriate v dôsledku vyššie opísaného mechanizmu, sa však už od pradávna využívajú na energetické účely. Nie je tomu inak ani na Slovensku, ktoré oplýva pomerne bohatými zdrojmi týchto vôd.

Slovensko so zreteľom na svoju malú rozlohu ($49\,000 \text{ km}^2$) je veľmi bohaté na minerálne a termálne vody. Na jeho území je zaregistrovaných 1200 prameňov, takže 1 prameň pripadá na 40 km^2 . Bohatá fyzikálno-chemická pestrosť vôd a ich rovnomerné rozšírenie na celom území je podmienené priaznivou geologicko-tektonickou stavbou územia a geotermickou aktivitou.

Od severu na juh sú minerálne a termálne vody viazané na sedimenty flyšového a bradlového pásma paleogénu a mezozoika, na kryštalinické horniny paleozoika a mezozoika, na dolomity a vápence mezozoika, flyšové sedimenty vnútrokarpatského paleogénu a klastiká neogénu (obr. 3).

Teplota vôd prameňov sa pohybuje v rozmedzí $15 - 70 \text{ }^\circ\text{C}$. Vrtnými prácami v boli niektorých oblastiach získané vody s teplotami v rozmedzí $40-130 \text{ }^\circ\text{C}$. Výdatnosť prirodzených prameňov sa pohybuje v rozmedzí $1-40 \text{ l.s}^{-1}$, sumárne dosahuje okolo 1000 l.s^{-1} . Výdatnosť vrtov sa pohybuje v rozmedzí $5-90 \text{ l.s}^{-1}$, sumárne dosahuje 1200 l.s^{-1} .

Geneticky sú to atmosférogénne, marinogénne a zmiešané vody. Celkový obsah rozpustených tuhých látok sa pohybuje v rozmedzí $1-40 \text{ g.l}^{-1}$. Chemicky sú to vody Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg-SO₄, Na-HCO₃ až Na-Cl typu s prechodnými typmi. Absolútna väčšina vôd patrí k prvým trom typom s celkovým obsahom rozpustených látok do 5 g.l^{-1} , ojedinelo do 10 g.l^{-1} . Z plynov obsahujú hlavne CO₂ a H₂S. Obsah CO₂ sa pohybuje do 4 g.l^{-1} a H₂S do 10 mg.l^{-1} , ojedinelo 200 až 600 mg.l^{-1} [1] (Franko, 1990).

Na báze termálnych vôd existuje skoro 40 verejných rekreačných (turistických) bazénových areálov. Najvýznamnejšie z nich sú v Dunajskej Stredi, Veľkom Mederi, Patinciach, Štúrove, Sládkovičove, Diakovciach, Podhájskej, Kalinčiakové, Bojniciach, Rajci, Banskej Bystrici, Liptovskom Jáne, Liptovskom

Mikuláši, Vrbove a Vyšných Ružbachoch. Areály s celoročnou činnosťou sú v Dunajskej Strede, Mederi, Podhájskej, Bešeňovej, Poprade.

Podľa teploty je rozšírenie geotermálnych vôd na Slovensku nasledovné:

Tab. 3. Klasifikácia termálnych vôd Slovenska a ich výskyt.
Tab. 3. Classification of thermal water of Slovakia and its occurrence (Fendek, Franko a Remšík, 1995).

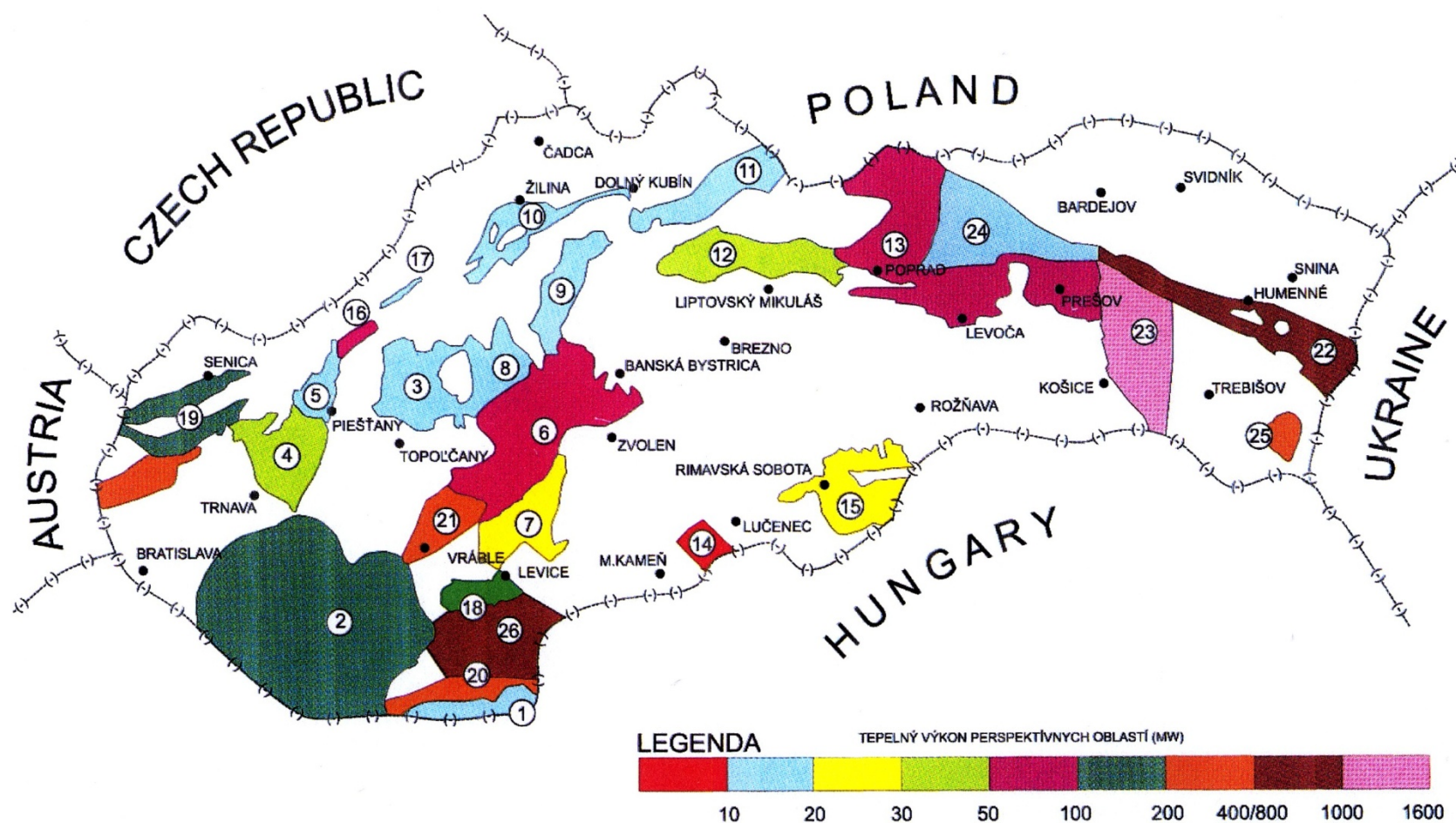
Geotermálne vody	Vymedzené oblasti
Vysokoteplotné > 150°C	6-stredoslovenské neovulkanity SZ; 19-viedeňská panva; 25-štruktúra Beša – Čičarovce
Strednoteplotné 100 až 150°C	2-centrálne depresie podunajskej panvy; 3-Bánovská kotlina; 4-trnavský záliv; 5-piešťanský záliv; 10-Žilinská kotlina; 9-Turčianska kotlina; 16-Trenčianska kotlina; 17-Ilavská kotlina; 19-viedeňská panva; 20-komárňanská okrajová kryha; 22-humenský chrbát; 23-Košická kotlina; 24-levočská panva, 25-štruktúra Beša – Čičarovce
Nízokoteplotné <100°C	1-komárňanská vysoká kryha; 3-Bánovská kotlina; 4-trnavský záliv; 5-piešťanský záliv; 7-stredoslovenské neovulkanity JV; 8-Hornonitrianska kotlina; 9-Turčianska kotlina; 10-Žilinská kotlina; 11-Skorušiná; 12-Liptovská kotlina; 13-levočská panva; 14-hornostrehársko-trenčianska prepadlina; 15-Rimavská kotlina; 16-Trenčianska kotlina; 17-Ilavská kotlina; 18-levická kryha; 19-viedeňská panva; 20-komárňanská okrajová kryha; 21-komjatická depresia; 22-humenský chrbát; 23-Košická kotlina; 24-levočská panva; 25-štruktúra Beša – Čičarovce; 26-dubnická depresia.

Takto vymedzené tri kategórie geotermálnych vôd možno využiť nasledovne:

- vysokotermálne zdroje s teplotou nad 150°C hlavne na výrobu elektrickej energie priamym spôsobom, s využitím suchej alebo mokrej pary na poháňanie turbíny,
- strednoteplotné zdroje s teplotou 100 až 150°C pre nepriame využitie s odovzdaním tepla vody alebo pary povrchovému sekundárnemu médiu ktoré poháňa turbínu a pod.,
- nízokoteplotné zdroje s teplotou pod 100°C ktoré možno využiť hlavne pre vykurovanie. Výroba elektrickej energie je tu už neekonomická.

Tab. 4. Minimálne, maximálne a priemerné teploty podzemných vôd Slovenska v príslušných hĺbkových intervaloch.
Tab. 4. Minimal, maximal and average groundwater temperature of Slovakia in competent depth interval (Fendek, Franko a Remšík, 1995).

Hĺbka [m]	Tmin [°C]	Tmax [°C]	Tpriem [°C]
0	9	10	10
100	12	16	14
200	15	19	18
300	19	23	22
400	22	28	25
500	26	32	29
600	30	37	33
700	33	41	37
800	36	45	41
900	40	50	45
1000	43	54	49
1100	46	59	53
1200	50	63	57
1300	53	67	61
1400	56	72	65
1500	60	77	69
1600	64	82	73
1700	68	86	77
1800	72	90	81
1900	76	94	85
2000	80	98	89
2100	83	102	93
2200	87	106	96
2300	91	111	100
2400	95	115	105
2500	99	119	108
3000	111	135	126
4000	136	173	160



Obr. 3. Mapa tepelno-energetického potenciálu geotermálnych vôd na Slovensku

1-komárňanská vysoká kryha; 2-centrálne podunajská depresia; 3-Bánovská kotlina; 4-trnavský záliv; 5-piešťanský záliv; 6-stredoslovenské neovulkanity SZ; 7-stredoslovenské neovulkanity JV; 8-Hornonitrianska kotlina; 9-Turčianska kotlina; 10-Žilinská kotlina; 11-Skorušiná; 12-Liptovská kotlina; 13-levočská panva; 14-hornostrhársko-trenčská prepadlina; 15-Rimavská kotlina; 16-Trenčianska kotlina; 17-Iľavská kotlina; 18-levická kryha; 19-viedeňská panva; 20-komárňanská okrajová kryha; 21-komjatická depresia; 22-humenský chrbát; 23-Košická kotlina; 24-levočská panva; 25-štruktúra Beša – Čičarovce; 26-dubnická depresia.[2] (Fendek, Franko a Remšík, 1995).

Fig. 3. Map of thermic-energetic potential of geothermal water in Slovakia (Fendek, Franko a Remšík, 1995).

Záver

Vychádzajúc z poznatkov o hydrogeologických pomeroch Slovenska možno konštatovať, že obyčajné podzemné vody je možné výhodne využívať pre energetické účely v podstatnej časti jeho územia. Bohaté zásoby obyčajných vôd ako nízkoenergetických zdrojov sú viazané hlavne na údolné náplavy väčších riek, kde je sústredená aj väčšina mestských a priemyselných aglomerácií Slovenska. Ich získanie je z technického hľadiska málo náročné. Náročnejšie sa to však javí v ostatných celkoch. Významné množstvá podzemnej vody sú viazané aj na krasové útvary strednotriasových mezozoických karbonátov. Menej priaznivá je situácia v oblasti granitoidov jadrových pohorí, neovulkanitov, flyšových hornín centrálnokarpatského paleogénu a vonkajšieho flyšu a neogénnych sedimentov. Ako málo vhodná až nevhodná je oblasť s výskytom paleozoických epimetamorfitov.

Získať informácie regionálneho charakteru o výskyte podzemných vôd na Slovensku možno hlavne z hydrogeologických máp v mierke 1:500 000 verejne prístupných na internete (mapový portál ŠGÚDŠ), prípadne z účelových máp množstiev podzemných vôd, ktoré sú súčasťou Atlasu krajiny Slovenskej republiky [6] (Miklós ed., 2002).

Podrobnejšie informácie sú potom viazané na geologické archívy, len v malej miere prístupné v digitálnej forme. Lokálne sú vytvorené aj interaktívne informačné systémy s mapovým podkladom a databázou údajov o zdrojoch podzemnej vody (hydrogeologické vrty, studne).

Podmienky využívania podzemných vôd na energetické účely sú na Slovensku v súčasnosti legislatívne opatrené na úrovni usmernenia Odboru štátnej správy v sektore vôd a rybárstva MŽP SR. Hlavným právnym podkladom je v danom prípade vodný zákon určujúci nakladanie nie len s využitím ale aj likvidáciou podzemných vôd slúžiacich pre energetické účely. V záujme uchovania a ochrany stavu množstva a kvality podzemných vôd je ich využívanie pre energetické účely bez predchádzajúceho hydrogeologického prieskumu neprípustné.

Pod'akovanie: Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt: 26220220031, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Literatúra - References

- [1] Franko, O.: Geotermálna energia Slovenska. Dizertačná práca na získanie vedeckej hodnosti doktora geologických vied. *Manuskript – archív ŠGÚDŠ Bratislava, 1990, 161 s.*
- [2] Fendek, M., Franko O., Remšík, A.: Atlas geotermálnej energie Slovenska. *ŠGÚDŠ Bratislava, 1995, 268 s.*
- [3] Frankovič, J.: Košice – juh, artézské horizonty, vyhladávací hydrogeologický prieskum. *Manuskript – archív ŠGÚDŠ Bratislava, 1976, 58 s.*
- [4] Jetel, J., Nemčok, J., Tkáč, J.: Hydrogeologický výskum Spišskej Magury – záverečná správa. *Manuskript – archív ŠGÚDŠ Bratislava, 1993, 222 s.*
- [5] Malík, P., Švasta, J.: Hlavné hydrogeologické regióny. In: Miklós ed. – Atlas krajiny Slovenskej republiky. *MŽP SR Bratislava a AŽP SR Banská Bystrica, 2002, s. 104.*
- [6] Miklós, L., ed.: Atlas krajiny Slovenskej republiky. MŽP SR Bratislava a SAŽP Banská Bystrica, 2002, 342 s. ISBN 80-88833-27-2.
- [7] Poráziková, K., Kollár, A.: Využitelné množstvo podzemných vôd. In: Miklós ed. – Atlas krajiny Slovenskej republiky. *MŽP SR Bratislava a AŽP SR Banská Bystrica, 2002, s. 210 – 211.*
- [8] Šuba, J., et al.: Hydrogeologická rajonizácia Slovenska – II. vydanie. *SHMÚ Bratislava, 1984, 308 s.*
- [9] Šuba, J., et al.: Mapa využiteľných zásob podzemných vôd SSR 1:500 000. *SHMÚ Bratislava, 1990.*
- [10] Tometz, L.: Košice – verejný požiarny útvar, vyhladávací hydrogeologický prieskum. *Manuskript – archív ŠGÚDŠ Bratislava, 1984, 9 s.*
- [11] Tometz L.: Kalná nad Hronom – Základná škola, hydrogeologický prieskum. *Manuskript – Geoarchív Ústavu geovied, Fakulta BERG TU Košice, 2006a, 13 s.*
- [12] Tometz L.: Kalná nad Hronom – futbalové ihrisko, hydrogeologický prieskum. *Manuskript – Geoarchív Ústavu geovied, Fakulta BERG TU Košice, 2006b, 12 s.*
- [13] Tometz L.: Košice – Murgašova ul. š. 3, hydrogeologický prieskum. *Manuskript – Geoarchív Ústavu geovied, Fakulta BERG TU Košice, 2006b, 15 s.*
- [14] Tometz L.: Využitie podzemnej vody pre tepelné čerpadlo v Kalnej nad Hronom. *Acta Montanistica Slovaca 12/1, FBERG TU v Košiciach, 2007a, s. 37 – 41. ISSN 1335-1788.*

- [15] Tometz L.: Kalná nad Hronom – krytý bazén, hydrogeologický prieskum. *Manuskript – Geoarchív Ústavu geovied, Fakulta BERG TU Košice, 2007b, 12 s.*
- [16] Tometz L.: Využitie podzemných vôd Slovenska pre tepelné čerpadlá. *Manuskript – archív Intergeo a.s. Bojnice, 2007c, 124 s.*
- [17] Tometz L.: Resources of utilization of groundwater for heat pump in Košice – Slovakia. *GeoScience Engineering. Vol. 54, no.1 (2008). VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, p. 34 – 40. ISSN 1802-5420.*