Vydavateľstvo Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici
Belianum

Štefan Ferenc

Geotermálna energia a jej využitie

Banská Bystrica
2015

Učebný materiál vznikol v rámci projektu „Inovatívne kroky pre potreby vysokoškolského vzdelávania v 21. storočí“ (ITMS: 26110230109) v súlade s Operačným programom Vzdelávanie. Projekt je spolufinancovaný zo zdrojov Európskej únie. Prijímateľom nenávratného finančného príspevku je Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici.

Názov: Geotermálna energia a jej využitie

Autor: Štefan Ferenc

Recenzenti: prof. RNDr. Ján Spišiak, DrSc.
RNDr. Ľuboslav Maťo, PhD.

Schválené: Vysokoškolské skriptá schválené prorektorom pre rozvoj a informatizáciu UMB 09/2015.

© Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, 2015

ISBN 978-80-557-0955-0

Obsah

PREDSLOV **5**

GEOTERMÁLNA ENERGIA A JEJ VYUŽITIE **6**

1. Definícia a základné pojmy **8**

1.1 Geotermálna energia 8
1.2 Tepelný tok, tepelný výkon Zeme 9
1.3 Teplota Zeme 12
1.4 Geotermálny gradient, geotermálny stupeň 13
1.5 Geotermálne pole 14
1.6 Rezervoár geotermálnych vôd, hydrogeotermálne štruktúry 15
1.7 Geotermálne, minerálne a termálne vody 17

2. Zdroje a zásoby geotermálnej energie **18**

3. História využívania geotermálnej energie **22**

3.1 Využívanie geotermálnej energie v praveku a staroveku 22
3.2 Využívanie geotermálnej energie v stredoveku a novoveku (do r. 1904) 26
3.3 Moderné využívanie geotermálnej energie (1904 – súčasnosť) 32

4. Konkrétne príklady využitia geotermálnej energie **36**

4.1 Chov rýb **38**

4.2 Pestovanie rastlín v skleníkoch 40
4.3 Sušenie poľnohospodárskych plodín 41
4.4 Relaxačno-rehabilitačné účely 42
4.5 Priemysel, potravinárstvo 44
4.6 Vykurovanie, klimatizácia 45
4.7 Topenie snehu a ľadu 50
4.8 Výroba elektrickej energie 51

5. Vplyv využitých (odpadových) geotermálnych vôd na životné prostredie **56**

6. Zneškodňovanie odpadových geotermálnych vôd **60**

7. Metódy vyhľadávania zdrojov geotermálnej energie **65**

8. Geotermálna energia a jej využívanie na Slovensku 69

8.1 Historické aspekty geotermálnej energie na Slovensku 69
8.2 Geologická stavba a vývoj Slovenska 71
8.3 Geotermálne pole Slovenska 83
8.4 Geotermálne vody na Slovensku – ich vznik a rozšírenie 96
8.5 Geochemická klasifikácia geotermálnych vôd Slovenska 102
8.6 Súčasné využitie geotermálnej energie na Slovensku 108

LITERATÚRA 116

Internetové odkazy 120

PRÍLOHA: HYDROGEOTERMÁLNA CHARAKTERISTIKA VYMEDZENÝCH GEOTERMÁLNYCH OBLASTÍ SLOVENSKA 123

Viedenská panva 124

Podunajská Panva 126

Bánovská kotlina a topoľčiansky záliv 131

Hornonitrianska kotlina 133

Trnavský a piešťanský záliv 134

Trenčianska kotlina 136

Ilavská kotlina 136

Žilinská kotlina 137

Turčianska kotlina 138

Skorušinská panva 139

Liptovská kotlina 140

Levočská panva 142

Stredoslovenské neovulkanity 144

Lučenská a Rimavská kotlina 147

Východoslovenská panva 148

Predslov

Využívanie geotermálnej energie, najmä termálnych vôd je staré takmer ako samo ľudstvo. Človek si odpradávna všímal vývery geotermálnych vôd a ich blahodarné účinky na ľudský organizmus. Tepelná energia Zeme je prakticky nevyčerpateľným energetickým zdrojom, na rozdiel od kvantitatívne obmedzených zásob klasických nerastných energetických surovín (kaustobiolity, uránové rudy). Výhodou geotermálnej energie je aj pomerne malý negatívny dopad na životné prostredie pri jej využívaní.

Predložená publikácia je určená najmä študentom vysokých škôl v „negeologických“ odboroch, ale aj laickej verejnosti. V kocke oboznamuje čitateľa s problematikou geotermálnej energie, jej genézy, histórie jej využívania, praktickými aplikáciami a pod. Učebný text nezachádza do podrobností fyzikálneho procesu šírenia tepla v Zemi ani do problematiky rezervoárového inžinierstva (hodnotenie geotermálnych vrtov, hydrodynamické skúšky). Cieľom knižky je v kocke vysvetliť študentovi „o čom vlastne tá geotermálna energia je“ a snáď aj prebudiť hlbší záujem o danú problematiku, resp. vyprovokovať ďalšie, detailnejšie štúdium témy.

Publikácia je výstupom projektu „*Inovatívne kroky pre potreby vysokoškolského vzdelávania v 21. storočí*" *(ITMS 26110230109)* v súlade s aktivitou č. 2.1 „*Tvorba a inovácia predmetovej ponuky pre skvalitnenie výučby regionálneho rozvoja na UMB*“.

Autor

Geotermálna energia a jej využitie

V súvislosti s prudkým rozvojom priemyslu a s rastom počtu obyvateľstva na Zemi sa čoraz dôraznejšie dostáva do popredia riešenie otázok a problémov znečistenia životného prostredia. Degradácia životného prostredia sa týka najmä oblastí s hustým osídlením, silným priemyselným znečistením, rozvinutým automobilizmom, intenzívnou ťažbou nerastov, či poľnohospodárstvom a pod.

Minulosť (prakticky od systematického a cieleného využívania ohňa v paleolite, asi pred 1 miliónom rokov), súčasnosť i budúcnosť ľudstva je neoddeliteľne spätá s využívaním ***energetických surovín***. Klasickým príkladom „biotickej“ energetickej suroviny je drevo – toto je však v globálnom meradle využívané iba lokálne. Celosvetový význam však majú „abiotické“ (nerastné) energetické suroviny medzi ktoré patria ***kaustobiolity***, teda fosílne palivá organického pôvodu (uhlie, ropa, asfalt, zemný plyn, horľavé bridlice) a ***uránové rudy*** (Jirásek et al. 2010). Spaľovaním kaustobiolitov sa do atmosféry uvoľňujú plyny, ktoré určitým podielom prispievajú ku klimatickým zmenám. Atómová energia je z tohto hľadiska voči životnému prostrediu „čistá“, aj tu však hrozí určité riziko zamorenia životného prostredia rádioaktívnym žiarením, napr. pri havárii atómovej elektrárne.

Ťažba, spracovanie a využívanie kaustobiolitov, ako aj uránových rúd, majú do istej miery negatívny dopad na životné prostredie. Ich ložiská sú zaradené medzi tzv. ***neobnoviteľné zdroje*** energie (resp. surovín), teda ak sa minú ich posledné zásoby na Zemi, ľudstvo ich jednoducho nikdy viac nebude mať k dispozícii. Týka sa to všetkých nerastných surovín. Tento fakt zapríčinil, že v posledných rokoch sa čoraz intenzívnejšie vyhľadávajú možnosti ťažby a využitia netradičných (doteraz málo, alebo vôbec nevyužívaných) nerastných surovín a tzv. ***obnoviteľných zdrojov*** energie, ktorých využitie navyše nemá výrazný negatívny dopad na životné prostredie (voda, vietor, slnko). Medzi tieto patrí aj geotermálna energia našej planéty.

Obr. 1: Lávové jazierko Erta Ale v Etiópii (internetový zdroj 1).

1. Definícia a základné pojmy

1.1 Geotermálna energia

Pojem geotermálny sa skladá z dvoch pôvodných gréckych slov GÉ (Zem) a THERMOS (teplo). ***Geotermálnu energiu*** možno chápať ako tepelnú energiu, ktorá je produkovaná, čiastočne uchovávaná a následne odovzdávaná planétou Zem. Táto energia teda určuje teplotu jej geologického prostredia. Vonkajšími (povrchovými) prejavmi geotermálnej energie sú vývery termálnych vôd, gejzíry, výrony horúcich plynov, či samotná vulkanická činnosť (obr. 1).

Geotermálna energia Zeme pochádza z dvoch zdrojov. Ide jednak o rezíduum ***prvotného*** - kozmického tepla, ktoré mala naša planéta pri svojom vzniku pred 4,5 miliardami rokov (asi 20 % energie). Jeho hlavnými „producentmi“ sú zemské jadro a zemský plášť. Významnejší zdroj tepelnej energie (asi 80 %) predstavuje ***teplo produkované rozpadom rádioaktívnych prvkov*** v zemskej kôre, menej v zemskom plášti (tab. 1), ktorý je o rádioaktívne prvky relatívne ochudobnený (Turcotte a Schubert 2002; Wiliam 2010).

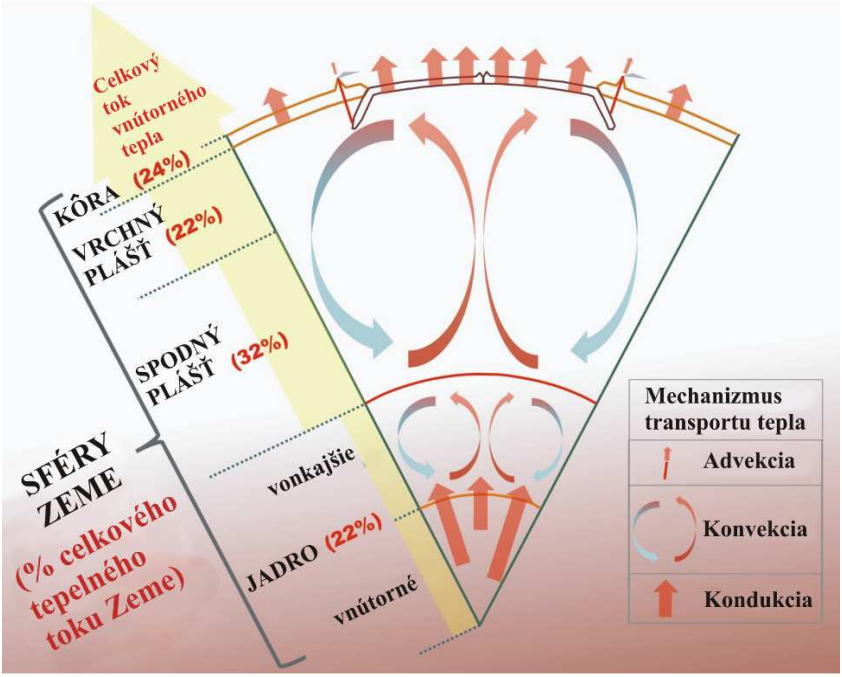
Novšie modelovanie globálnej tepelnej bilancie vyššie uvedených zdrojov ukazuje, že podiely prvotného tepla a rádioaktívneho tepla môžu byť zhruba aj energeticky ekvivalentné (Gando et al. 2011).

Izotop	**Produkcia tepla** [W/kg izotopu]	**Polčas rozpadu** [rok]	**Priemerná koncentrácia v zemskom plášti** [kg izotopu/kg plášťa]	**Produkcia tepla** [W/kg plášťa]
^{238}U	9.46×10^{-5}	4.47×10^{9}	30.8×10^{-9}	2.91×10^{-12}
^{235}U	5.69×10^{-4}	7.04×10^{8}	0.22×10^{-9}	1.25×10^{-13}
^{232}Th	2.64×10^{-5}	1.40×10^{10}	124×10^{-9}	3.27×10^{-12}
^{40}K	2.92×10^{-5}	1.25×10^{9}	36.9×10^{-9}	1.08×10^{-12}

Tab. 1: Prehľad izotopov prvkov, ktoré v súčasnosti najviac prispievajú k tvorbe rádiogénneho tepla Zeme (Wiliam 2010).

1.2 Tepelný tok, tepelný výkon Zeme

Tepelný tok predstavuje migráciu tepelnej energie z hlbinných zdrojov Zeme (jadro, plášť) smerom ku jej povrchu. Tento proces sa deje v súlade s Nernstovou druhou termodynamickou vetou (teplo nemôže pri styku dvoch telies s rozličnou teplotou samovoľne prechádzať z telesa chladnejšieho na teleso s vyššou teplotou). Tepelná energia v rámci Zeme migruje nasledujúcimi spôsobmi (obr. 2):



Obr. 2: Prierez planétou Zem, s vyznačením geosfér, dominantných mechanizmov migrácie tepelnej energie a bilanciou celkového tepelného toku (podľa: Dye 2012; Arevalo et al. 2009; internetový zdroj 2).

- ***kondukciou*** (vedením) – najčastejší spôsob šírenia tepla v tuhých látkach. Je to transfer tepelnej energie pomocou kmitania a vzájomných zrážok mikroskopických častíc hmoty (molekuly, atómy, elektróny).

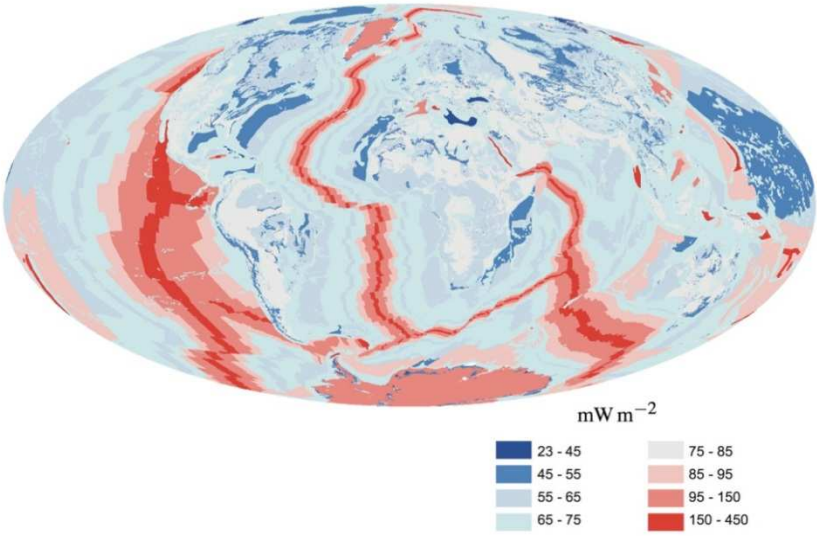
Teplo sa týmto spôsobom šíri vo vnútornom (pevnom) zemskom jadre a v zemskej kôre.

- ***plášťovou konvekciou*** (prúdením) – ide o prenos tepla pomalým prúdením (tečením) hmoty pevného zemského plášťa v dôsledku teplotných rozdielov v jednotlivých plášťových zónach. Okrem zemského plášťa sa konvekciou teplo šíri vo vonkajšom (kvapalnom) jadre.

- ***hydrotermálnou konvekciou*** – prenos tepelnej energie pomocou cirkulácie prehriatej vody (hydrotermálnych roztokov) resp. horúcich plynných fluíd po tektonických štruktúrach. Teplo sa takto šíri najmä v zemskej kôre.

- ***advekciou*** – prenos tepla náhlym pohybom (tokom) transportného média, obyčajne hydrotermálnych roztokov alebo magmy. Teplo sa takto šíri z vrchného plášťa do zemskej kôry až atmosféry (sopečné výbuchy).

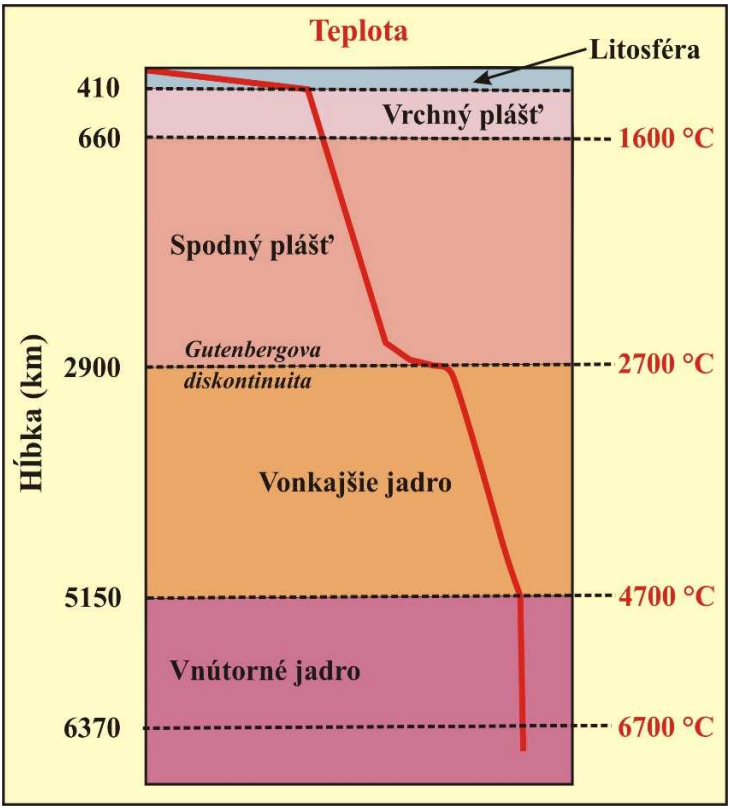
Hodnota ***tepelného výkonu*** Zeme je vyjadrovaná vo wattoch [W], v globálnom meradle sa však v praxi používajú terawatty [TW]. Pre vyjadrenie tepelného výkonu niektorí autori používajú aj jednotku termálne watty [Wt], čo však nie je v súlade s medzinárodnou sústavou SI. Jednotlivé výpočty tepelného výkonu Zeme sa líšia, sumárne sa však pohybujú v rozsahu 43-49 TW (Dye 2012). Najreálnejšia hodnota množstva zemskej tepelnej energie sa pohybuje okolo 47 TW (Davies a Davies 2010). Vnútorná tepelná energia Zeme spôsobuje mnohé dynamické, energeticky náročné geologické procesy (drift kontinentov, tvorba novej zemskej kôry a zanikanie starej kôry). Pokiaľ však ide o tepelnú bilanciu priamo na zemskom povrchu, vnútorné teplo Zeme predstavuje iba okolo 0,03 % energie zo 173 000 TW ktorými dotuje povrch Zeme Slnko (Archer 2007). Denné kolísanie teploty na povrchu Zeme zasahuje sotva do hĺbky väčšej ako 1 m. Ročné kolísanie teplotného priemeru však ovplyvňuje teplotu do hĺbky asi 20 m, kde leží neutrálna zóna so stálou teplotou, ktorá zodpovedá ročnému tepelnému priemeru na povrchu (Bouček a Kodym 1954).



Obr. 3: Mapa hustoty tepelného toku [mW · m^{-2}] na zemskom povrchu (Davies a Davies 2010).

Tepelný tok je vyjadrený množstvom tepla na jednotku plochy a je uvádzaný v miliwattoch na meter štvorcový [mW · m^{-2}]. V oblastiach Zeme budovaných kontinentálnou kôrou je hodnota tepelného toku 65 mW · m^{-2}, vyššia hodnota 101 mW · m^{-2} je charakteristická pre oblasti budované oceánskou kôrou. Vypočítaný globálny priemer je 87 mW · m^{-2} (Pollack et al. 1993). Priemerná hodnota tepelného toku v zemskej kôre je v malej miere zvýšená o slnečnú energiu absorbovanú povrchom Zeme (1). Všeobecne možno povedať, že tepelný tok našej planéty je vyšší v oblastiach so zvýšenou magmatickou aktivitou (sopečné oblasti, stredooceánske chrbty, horúce škvrny) a v mladých orogénnych zónach, ako v oblastiach kontinentálnej či oceánskej kôry bez magmatickej aktivity (obr. 3).

1.3 Teplota Zeme



Obr. 4: Schematický teplotný profil Zemou (podľa: Boehler 1996). Červená línia vyjadruje rýchlosť zvyšovania sa teploty s narastajúcou hĺbkou.

Množstvo geotermálnej energie priamo určuje ***teplotu Zeme*** v určitej hĺbke, resp. v určitej zemskej sfére. Všeobecne možno povedať, že s pribúdajúcou hĺbkou sa zvyšuje teplota zemského telesa. V rámci prierezu planéty však v globále nejde o celkom lineárnu či konštantnú závislosť, ale teplota vzrastá s pribúdajúcou hĺbkou rozdielne v rôznych vnútorných sférach. Najrýchlejšie vzrastá teplota v litosfére (zemská kôra a najvrchnejšia časť zemského plášťa), rapídne nižší nárast teploty je v zemskom plášti a vonkajšom jadre, najpomalšie stúpa teplota vo

vnútornom jadre. Zmena rýchlosti pribúdania teploty s hĺbkou sa skokovo mení na určitých plochách diskontinuity, ktoré obyčajne predstavujú hranice jednotlivých vnútorných geosfér Zeme (obr. 4).

1.4 Geotermálny gradient, geotermálny stupeň

Geotermálny gradient určuje teplotnú hodnotu toku tepelnej energie. Je to narastanie teploty zemskej kôry resp. Zeme o určitú hodnotu, na jeden km pribúdajúcej hĺbky. Jeho hodnota sa udáva v stupňoch Celzia na km [°C · km^{-1}]. Geotermálny gradient v rámci našej planéty nie je všade rovnaký. Vyššiu hodnotu dosahuje vo vulkanicky aktívnych oblastiach či v oblasti stredooceánskych chrbtov, naopak nižšie hodnoty sú charakteristické pre oblasti kontinentálnej kôry, napr. v tektonicky stabilných, prekambricky konsolidovaných platformách, či šelfoch. Priemerná celosvetová hodnota teplotného gradientu je 30 °C · km^{-1}, ak by sa oblasti stredooceánskych chrbtov nerátali do globálneho priemeru, jeho hodnota by klesla na 25 °C · km^{-1} (Fridleifsson et al. 2008).

S geotermálnym gradientom vo svojej podstate úzko súvisí (resp. vyjadruje to isté) pojem ***geotermálny stupeň***, ktorý tak isto určuje teplotnú hodnotu tepelného toku. Je to určitá hĺbka, pri ktorej sa teplota hornín v zemskej kôre zvýši o 1 °C. Jeho hodnota sa uvádza v metroch [m]. Geotermálny stupeň v priemere predstavuje 30-33 m (Svoboda et al. 1960). Obdobne ani hodnota geotermálneho stupňa nie je všade na zemi rovnaká. S rastúcou hodnotou geotermálneho gradientu sa znižuje hodnota geotermálneho stupňa a naopak. Hodnota geotermálneho stupňa je tiež ovplyvnená mechanickými vlastnosťami hornín z ktorých vyplýva ich tepelná vodivosť. Všeobecne je nižšia v sypkých horninách a v horninách uložených horizontálne. Vyššiu hodnotu má geotermálny stupeň v spevnených horninách a v horninách ktorých vrstvy sú uložené vertikálne až subvertikálne. V špecifických prípadoch je hodnota geotermálneho stupňa ovplyvnená fyzikálnochemickými procesmi

v zemskej kôre. Ako konkrétny príklad možno uviesť ložiská uhlia pri Duchcove (Čechy), kde sa uhoľné sloje s vysokým obsahu sulfidov (pyrit, markazit) zohrievajú pomalými oxidačnými procesmi a geotermálny stupeň je tu iba 5 m (Bouček a Kodym 1954). Geotermálny gradient je teda v tomto prípade 200 °C · km^{-1}.

1.5 Geotermálne pole

Geotermálne pole môže byť definované ako termálna zóna, ktorá má oproti celosvetovému priemeru teplotného gradientu (30 °C · km^{-1}) niekoľkonásobné zvýšenú jeho hodnotu (Fendek et al. 2011). Pokiaľ ide o hydrogeotermálne štruktúry, musí v geotermálnom poli existovať priepustná horninová formácia (kolektor) umožňujúca kumulovať geotermálne zdroje (vodu, alebo paru), bez ktorých by exploatácia geotermálnej energie nebola možná. Geotermálne pole býva v literatúre často označované tiež ako hydrogeotermálny, alebo len geotermálny systém.

Geotermálne polia je možné rozčleniť do troch nasledovných typov (Christopher a Armstead 1981):

- ***semitermálne polia*** – schopné produkovať horúcu vodu s teplotami do 100 °C približne z hĺbky 1000-2000 m.

- ***mokré hypertermálne polia*** – produkujúce vodu pod tlakom, pričom teplota vody na výstupe presahuje 100 °C (tiež označované ako polia s prevládajúcou vodou).

- ***suché hypertermálne polia*** – produkujúce suchú nasýtenú, alebo mierne prehriatu vodnú paru s tlakmi vyššími ako je atmosférický tlak (polia s prevládajúcou parou).

1.6 Rezervoár geotermálnych vôd, hydrogeotermálne štruktúry

Priestorový obsah ***rezervoáru (nádrže) geotermálnych vôd*** je charakterizovaný hlavne určitou teplotou a svojou dĺžkou, šírkou a výškou, okrem toho sklonom a smerom horninových vrstiev. V prípade že sa v rezervoári striedajú vrstvy priepustných (kolektory) a nepriepustných (izolátory) hornín, tak je obsah rezervoáru daný celkovou hrúbkou kolektorov.

Čo sa týka dostupnosti rezervoáru pre ťažbu geotermálnej energie, dôležitá je hĺbka jeho stropu a bázy pod povrchom, druh hornín a vek. Z ekonomického hľadiska možno rezervoáre s geotermálnymi zdrojmi vymedziť: minimálnou hĺbkou, ktorú určuje minimálna teplota využiteľná perspektívnym užívateľom (v závislosti na konkrétnej požiadavke využitia zdroja) a maximálnou hĺbkou, ktorú určuje najvyššia prijateľná cena geotermálneho vrtu (Fendek et al. 1999).

Hydrogeotermálna štruktúra je geologicky, štruktúrne, hydrologicky a geochemicky vymedzená jednotka, na ktorú je viazaná geotermálna voda s jej vlastnými podmienkami tvorby a pohybu. Hydrogeotermálna štruktúra má nasledovné časti:

- ***infiltračná oblasť*** – územie kde kolektory vystupujú na povrch, príp. sú prekryté priepustnými horninami a kde sú napájané zrážkami, povrchovými vodami alebo vodami plytko uložených nádrží podzemnej vody.

- ***tranzitno-akumulačná oblasť*** – voda tu zostupuje z infiltračnej oblasti, akumuluje sa v nej zemské teplo a odtiaľto prúdi k výverovej oblasti.

- ***výverová oblasť*** – výstupné časti geotermálnych vôd na povrch.

Podľa toho, či štruktúra má vyvinuté všetky tri oblasti, sa ďalej rozdeľujú hydrogeotermálne štruktúry na:

- ***otvorené*** – majú všetky tri oblasti. Sú stále dopĺňané prirodzenou infiltráciou a odvodňované v prirodzených prameňoch resp. v skrytých

výveroch. Na tieto štruktúry sú viazané vody s petrogénnou mineralizáciou (mineralizácia získaná vylúhovaním hornín).

- ***polootvorené*** – majú len infiltračnú a akumulačnú oblasť – v tomto prípade je štruktúra otvorená cez infiltračnú oblasť, alebo len akumulačnú a zaniknutú výverovú oblasť (štruktúra otvorená cez výverovú oblasť). Počas exploatácie môže byť štruktúra dopĺňaná cez otvorené oblasti a geotermálne vody z takýchto štruktúr môžu byť získavané iba z vrtov. V štruktúrach sú prítomne vody s marinogénnou i petrogénnou mineralizáciou.

- ***zatvorené*** – majú len akumulačnú oblasť. Nie sú dopĺňané prirodzenou infiltráciou a nevyvierajú z nej pramene. Geotermálnu vodu možno exploatovať len pomocou vrtov. Pre zatvorené hydrogeotermálne štruktúry je charakteristická voda s marinogénnou mineralizáciou (fosílna morská voda).

Geologicky sa hydrogeotermálne štruktúry rozdeľujú nasledovne (Varet 1980):

- ***štruktúry veľkých sedimentárnych paniev***, v ktorých sú kolektory geotermálnych zdrojov kontinuálne vyvinuté, s vysokým celkovým objemom.

- ***štruktúry tektonicky porušených paniev***, v ktorých sú kolektory tektonicky porušené a môžu vytvárať samostatné bloky bez hydraulickej spojitosti.

- ***štruktúry kryštalických masívov*** v ktorých je výskyt kolektorov podmienený prítomnosťou puklinových systémov.

- ***štruktúry recentných vulkanických masívov***, v ktorých sú kolektory reprezentované vulkanoklastikami a puklinovými systémami tektonického aj vulkanotektonického pôvodu. Zdroj tepla sa nachádza blízko povrchu, čo umožňuje tvorbu vysokoteplotných geotermálnych zdrojov.

1.7 Geotermálne, minerálne a termálne vody

Pojem ***podzemné vody*** zahŕňa všetky vody, ktoré sa nachádzajú pod povrchom zeme v pásme nasýtenia a v bezprostrednom kontakte s pôdou, resp. pôdnym podložím. Niektoré podzemné vody slúžia ako médium pre akumuláciu, transport a exploatáciu zemského tepla z horninového prostredia, teda ich tepelný obsah možno využívať na energetické ciele. Tieto vody nazývame ***geotermálne vody*** (Zákon č. 364/2004 Z.z., tzv. Vodný zákon).

Minerálne vody sú podzemné vody originálnym spôsobom akumulované v prírodnom prostredí, vyvierajúce na povrch prirodzenými alebo umelými výstupnými cestami. Od iných podzemných vôd sa minerálne vody odlišujú najmä:

a) svojim pôvodom

b) obsahom stopových prvkov

c) obsahom celkových rozpustných látok, ktorý presahuje 1000 $mg \cdot l^{-1}$ rozpustených tuhých, alebo plynných látok (v prípade sulfánu - H_2S, je hranica stanovená min. obsahom 1 $mg \cdot l^{-1}$)

d) minimálnou teplotou vody v mieste výveru 20 °C (Zákon č. 538/2006 Z.z., tzv. Kúpeľný zákon)

Minerálne vody s teplotou vyššou ako 20 °C sú označované ako ***termálne minerálne vody*** (Vyhláška č. 100/2006). ***Termálna voda*** je prírodná podzemná voda, ktorá je zohriata pôsobením zemského tepla v horninovom prostredí, s minimálnou teplotou v mieste výveru 20 °C (Zákon č. 569/2007 Z.z., tzv. Geologický zákon). Termálna voda nemusí byť zákonite výrazne mineralizovaná.

2. Zdroje a zásoby geotermálnej energie

Zdroje geotermálnej energie sú z ekonomického hľadiska definované ako časť základne geotermálnych zdrojov, ktorá sa môže ekonomicky a právne ťažiť (využívať) v určenom čase v blízkej budúcnosti. ***Využiteľné množstvo*** (zásoby) geotermálnej energie predstavuje poznané zdroje zistené vrtmi, geochemickým, geofyzikálnym a geologickým výskumom, ktoré možno ekonomicky a právne ťažiť v súčasnosti (Haenel a Staroste eds. 1988).

Potenciál geotermálnych zdrojov vyjadruje McKelveyov diagram (obr. 5), kde vertikálna os reprezentuje hĺbku a ekonomickú výhodnosť a horizontálna os stupeň geologickej istoty (poznania) zdroja. Energia, ktorá je akumulovaná vo veľkej, ale nedefinovanej hĺbke sa nazýva ***základňa*** (resp. báza) zdrojov. Pri súčasnej vrtnej technológii však možno využívať iba časť zdrojovej základne a to do hĺbky asi 7 km (hranica medzi prístupnými a neprístupnými zdrojmi). Podľa hĺbky a ekonomickej výhodnosti sa zdroje členia na ***užitočné*** (v hĺbke do 3-4 km) a ***zostatkové*** (hĺbka 4-7 km). V súčasnosti sú zdroje geotermálnej energie, uložené hlbšie ako 4 km ***subekonomické***. Zdroje určené do hĺbky 3-4 km zároveň predstavujú využiteľné množstvo energie.

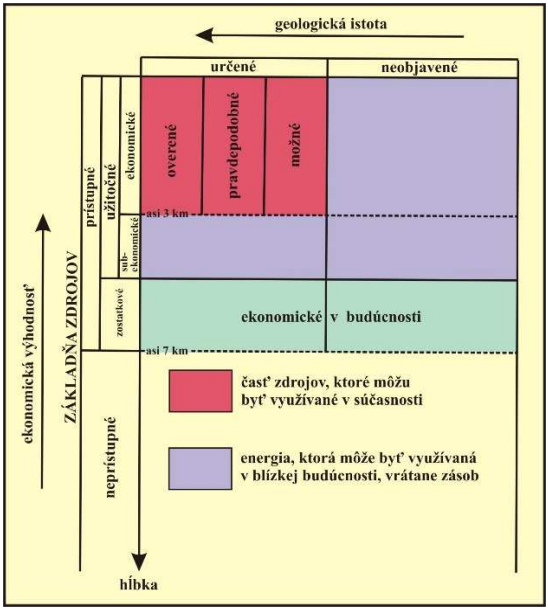
Určené využiteľné množstvo sa podľa stupňa geologickej istoty delí na: ***overené*** (preukázané, zistené vrtmi), ***pravdepodobné*** (zistené na základe geofyzikálneho, geochemického, alebo geologického prieskumu) a ***možné*** (zistené iba na základe geologického výskumu).

Z hľadiska obnovovania zásob energie, je možné ich rozdeliť na ***obnovované*** (dynamické) a ***neobnovované*** (statické). U obnovovaných zásob napr. geotermálnych vôd sa ťažba realizuje cez jeden vrt, využitá a ochladená voda sa vypúšťa do riečnych tokov (recipientov). Neobnovované zásoby geotermálnej vody sa musia pravidelne dopĺňať. Z tohto dôvodu sa okrem ťažobného vrtu musí navŕtať aj tzv. reinjektážny vrt, cez ktorý je geotermálna voda po odovzdaní tepla vo výmenníku spolu so škodlivinami (plyny, soli) zatláčaná naspäť do

podzemia (Cehlár et al. 2010). Systém ťažobného a reinjektážneho vrtu nazývame ***dublet.***

Zdroje geotermálnej energie existujú v štyroch hlavných formách (Rybár a Sasvári 1999):

- hydrotermálne systémy
- geotlakové zóny
- suché teplo hornín
- magmatické zdroje



Obr. 5: McKelveyov diagram vyjadrujúci potenciál geotermálnych zdrojov (podľa: Franko et al. 1995).

Hydrotermálne systémy vznikajú v miestach významných hlboko založených tektonických porúch. Po týchto mohla podzemná voda meteorického resp. morského pôvodu zostúpiť do hĺbok, kde bola pod vysokým tlakom prehriata okolnými horninami. V podmienkach

vysokých tlakov (hĺbka niekoľko km) môže voda ostávať v kvapalnom skupenstve aj pri teplotách presahujúcich bod varu vody pri nadmorskej výške 0 m. n. m. Takto nahriata voda sa niekedy naakumuluje v prepojenej sieti porúch v horninovom prostredí, pričom vznikne podzemný hydrotermálny rezervoár. Voda z rezervoáru môže byť prúdením po tektonických poruchách privedená na zemský povrch (prírodné horúce pramene, gejzíry). Okrem vody môžu byť transportným médiom tepla v hydrotermálnych systémoch aj horúce pary. **Hydrotermálne systémy sú v súčasnosti prakticky jediným komerčne využívaným geotermálnym zdrojom energie**.

Geotlakové zóny sú oblasti zemskej kôry, v ktorých sú horúce soľanky zachytené pod vysokým tlakom medzi vrstvami nepriepustných hornín. Okrem tepelnej energie predstavujú takéto rezervoáre aj iné potenciálne zdroje energie – hydraulický tlak kvapaliny a veľké množstvá rozpusteného metánu. V súčasnosti sa však nevyužívajú, kvôli vysokým ekonomickým nákladom pri výrobe elektrickej energie, oproti výrobe z konvenčných zdrojov.

Geotermálne zdroje využívajúce ***teplo suchej horniny*** sú bohaté a všadeprítomné. Z hľadiska ich praktického využitia je však určitou nevýhodou ich uloženie (obyčajne viac ako 3 km) a neprítomnosť transportného média energie.

Magmatické zdroje predstavujú energiu ukrytú v roztavených horninách – magme. Väčšina magmy vzniká v spodných častiach zemskej kôry, alebo v plášti, v hĺbke 30 km a viac. Vo vulkanicky aktívnych oblastiach, príp. mladých kalderách však existujú magmatické rezervoáre aj v menších hĺbkach. Napriek tomu že magmatické systémy predstavujú obrovský zdroj energie, v súčasnosti sa komerčne nevyužívajú, kvôli neexistencii vhodnej vrtnej techniky.

Geotermálne (hydrogeotermálne) zdroje môžu byť klasifikované aj podľa teploty fluida. Obyčajne sa rozlišujú na nízko, stredno- a vysokoteplotné zdroje. Teplotné hranice však nie sú jednoznačne určené, napr. hranica medzi nízko- a strednoteplotnými zdrojmi sa

u rôznych autorov pohybuje v rozsahu 70 – 150 °C, hranica medzi stredno- a vysokoteplotnými zdrojmi v intervale 100 – 225 °C (Fendek et al. 1999). Niektorí autori rozlišujú iba nízko a vysokoteplotné zdroje, pričom teplotná hranica je 150 °C. Na Slovensku je zaužívaná nasledujúca teplotná klasifikácia hydrogeotermálnych zdrojov (Franko et al. 1995):

- nízkoteplotné zdroje s teplotou 20 – 100 °C

-strednoteplotné zdroje s teplotou 100 – 150 °C

-vysokoteplotné zdroje s teplotou vyššou ako 150 °C

Podľa zastúpenia množstva geotermálnej vody a pary v hydrogeotermálnej štruktúre možno geotermálne zdroje rozdeliť na (Fendek et al. 1999):

I. ***Jednofázové***, ktoré sú zastúpené:

a) geotermálnou vodou – ktorá existuje pri tlaku 101,33 kPa a teplote v hĺbke (t_H) menej ako 100 °C. V prípade ak t_H > 100 °C musí byť tlak vyšší ako je tlak nasýtenia vodnej pary pre danú teplotu.

b) geotermálnou parou – v prípade ak t_H > 150 °C, pri tlaku nižšom ako je tlak nasýtenia vodnej pary pre danú teplotu.

II. ***Dvojfázové***, kde môže prevládať:

a) geotermálna voda nad parou, za podmienky: 240 < t_H < 374,15 °C

b) para nad geotermálnou vodou, za podmienky: 230 < t_H < 250 °C

3. História využívania geotermálnej energie

3.1 Využívanie geotermálnej energie v praveku a staroveku

Využívanie geotermálnej energie Zeme siaha ďaleko do historického štádia vývoja ľudstva. Ľudia odpradávna využívali horúce pramene, či prirodzené bazény s termálnou vodou na kúpanie, liečebné účely, neskôr aj na varenie a vykurovanie príbytkov. V skorších obdobiach mali prirodzené zdroje geotermálnej energie okrem praktického významu aj význam mytologický, náboženský či kultový. Takéto miesta často predstavovali priamo príbytky bohov, prípadne miesta obdarené nadprirodzenými - božskými silami, v rôznych náboženstvách predstavovali tiež symbol života a sily (Stober a Bucher 2013). Historické využívanie geotermálnej energie však bolo viazané iba na prirodzene vhodné oblasti v okolí hraníc litosferických platní (zvýšená magmatická aktivita), alebo hlboko založených zlomov (vývery geotermálnych vôd). Je len prirodzené, že ľudia systematicky vyhľadávali tieto miesta a usídľovali sa tam (Suárez Arriaga 2005). Významnú úlohu v živote človeka hrali aj samotné vulkány, čo sa odráža aj v mytológii, pretože jednak poskytovali výhodné prostredie pre ľudský život, no na druhej strane boli často príčinou jeho zániku.

Prvé využívanie geotermálnych zdrojov človekom sa predpokladá v závere paleolitu, v období asi 14 000 rokov p. n. l. (Cataldi 1999). Stopy cieleného osídlenia (11 000 rokov p. n. l.) s väzbou na blízkosť horúcich prameňov (pramene Yuda) sú známe napr. z Japonska (Fridleiffsson 2000), alebo zo severnej Ameriky, asi pred 10 000 rokmi (Lund 1999). Možné využitie geotermálnych zdrojov indikujú nástenné maľby v jaskyni Çatal Hüyük (Anatólia, Turecko), ktoré vznikli v období asi 6500 rokov p. n. l. (Özguler a Kasap 1999). Tieto maľby podľa novších interpretácií znázorňujú erupcie vulkánu Hasan Dag, výtoky termálnej vody a emanácie pár (obr. 6).

Obr. 6: Nástenné maľby v jaskyni Çatal Hüyük (Turecko) znázorňujúce magmatickú činnosť vulkánu Hasan Dag. Štvorcové útvary pod vulkánom pravdepodobne predstavujú neolitickú osadu – resp. „mestečko“ (internetový zdroj 3).

V starovekej Číne sa termálne vody využívali už okolo roku 3000 p. n. l. Zaujímavosťou je, že niektoré kúpele nadobúdali strategický význam v období vojnových konfliktov, alebo ak ležali blízko dôležitých obchodných ciest (Hodvábna cesta) a mohli byť užívané iba armádou. Kúpele v meste Jiunquan boli napr. využívané vojakmi zranenými počas výbojov dynastie Han (140 – 117 rokov p. n. l.), neskôr boli využívané na rekreačné účely. Z Japonska sa prvé písomné zmienky o termálnej liečbe a kúpeľoch objavujú v roku 794 n. l. Kúpele rýchlo nadobúdali význam a veľkú popularitu, o čom svedčí správa z roku 998 n. l., o šľachticovi ktorý prišiel ku horúcim prameňom v Nagane, aby si tu vylepšil svoj zdravotný stav. Voda z niektorých prameňov bola v sudoch transportovaná dokonca aj na 100 km vzdialenosť do kráľovského paláca v Kjóte (Sekioka 1995).

Bez veľkého nadsadenia možno za „praotcov geotermálneho priemyslu“ označiť Etruskov, ktorí vytvorili vyspelú civilizáciu (1200 – 300 rokov p. n. l.) v strednej časti Apeninského polostrova. Zhodnotili reálnu cenu nielen termálnych mineralizovaných vôd, minerálnych solí a hydrotermálnych kalov, ale tiež aj ich liečebných účinkov. Etruskovia vyvinuli samostatné liečebné metódy (kúpanie v termálnej vode, balneoterapia), vďaka ktorým mohli byť vybudované prvé verejné (ale zároveň i platené) kúpele (*balnea* a *thermae*). Okrem rozvinutej ťažby rúd, dobývali aj značné množstvo minerálnych produktov výverov termálnych vôd a výronov plynov: kamence (podvojné soli kyseliny sírovej), boráty, síru, kaolín, travertíny, oxidy železa a pod. Tieto následne používali pri výrobe keramiky, farbív, pleťových mastí a liečiv,

v sochárstve a stavebníctve. V časoch svojho rozmachu vyvinuli v oblasti Stredozemného mora čulý a rozsiahly obchod a i týmto spôsobom popularizovali množstvo geotermálnych (resp. hydrotermálnych) produktov (Kępińska 2004). Etruskovia sú teda reálne prvým národom ktorý komplexne poukázal na široké spektrum využitia geotermálnej energie.

Oblasť starovekého Grécka tiež patrila k významným oblastiam, kde ľudia využívali geotermálnu energiu. V gréckej mytológii boli balneoterapeutické metódy doménou bohov a hrdinov Olympu, v reálnom živote však predstavovali súčasť života obyčajných smrteľníkov. Otec moderného lekárstva – Hippokrates z Kósu (460 – 370 rokov p. n. l.) používal termálne vody na liečbu svojich pacientov. Vulkanizmus a s ním spojené geotermálne prejavy boli predmetom záujmu známych filozofov, prírodovedcov ale i básnikov: Homéra (7. stor. p. n. l.), Platóna (477-347 rokov p. n. l.), Aristotela (384-322 rokov p. n. l.), Plínia Staršieho (23-79 rokov. n. l.) a mnohých ďalších.

V rámci Európy je Apeninský polostrov veľmi exkluzívnym miestom pre využitie prirodzených geotermálnych zdrojov. Významným pokračovateľom etruských a gréckych trendov využívania geotermálnej energie bol staroveký Rím, resp. Rímska ríša. Rozmach výstavby kúpeľov a starovekých „wellness centier“ s mnohými atrakciami nastal v 2. storočí p. n. l. Boli to nielen miesta hygieny, liečby, kultúry, relaxácie, meditácie a športu, no tiež politických či obchodných stretnutí. Bežným doplnkom rímskych kúpeľov boli napr. knižnice (Cataldi a Burgassi 1999b). V samotnom Ríme bolo v 3. stor. n. l. viac ako tisíc termálnych kúpeľov, stretávame sa dokonca s organizovanou „kúpeľnou turistikou“ po okolitých mestách. Rímske kúpele sa vďaka expanzii ríše nachádzajú aj v iných krajinách, ďaleko od samotného Ríma (Francúzsko, Nemecko...). Napr. v nemeckom kúpeľnom meste Baden-Baden sú zachované luxusné kúpele pre vojakov z 2-3. stor. n. l. (obr. 7) s podlahovým geotermálnym kúrením (Stober a Bucher 2013).

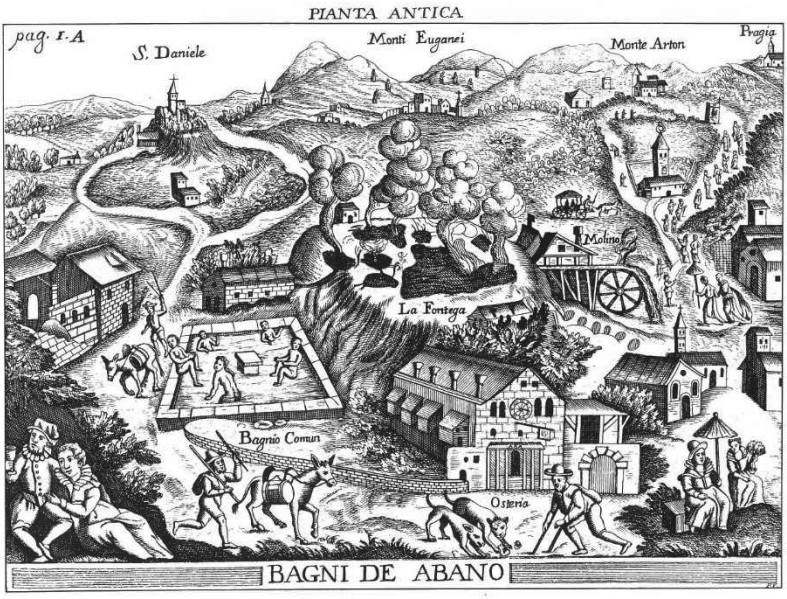
Obr. 7: Starorímske vojenské termálne kúpele v Baden-Badene s podlahovým systémom vykurovania (prevzaté z Stober a Bucher 2013).

Vývoj kúpeľníctva na samotnom Apeninskom polostrove pokračoval aj v stredoveku a novoveku, kedy sa geotermálne javy (a nielen tunajšie) stali tiež predmetom seriózneho záujmu prírodovedcov (napr. d`Arezzo, Agricola). Priaznivé prírodné podmienky, ako aj množstvo prirodzených geotermálnych zdrojov tu umožnili pozitívny vývoj civilizácie, ktorá ich dokázala vo využiť vo svoj prospech. Výstavba prvých starovekých kúpeľov Etruskami tak mohla postupne viesť ku výrobe prvej elektriny pomocou geotermálnej energie na svete v Larderelle (Taliansko) v r. 1904 (Kępińska 2004).

3.2 Využívanie geotermálnej energie v stredoveku a novoveku (do r. 1904)

V Číne boli v 4. až 6. stor. termálne vody využívané napríklad aj v poľnohospodárstve. Roľníci pri zavlažovaní polí teplou vodou postupovali podľa existujúcich návodov tak, aby prvá úroda ryže bola už v marci a celkovo sa získali až tri úrody za rok (6).

V 9. stor. n. l. prišli na Island prví vikingskí osadníci, ktorí sa veľmi rýchlo naučili spohodlniť si život v miestnych termálnych prameňoch (pranie šatstva, varenie a kúpanie). Z Islandu je známe i najstaršie potrubie na termálnu vodu, ktorého výroba sa datuje do 13. storočia (Fridleifsson 1999).



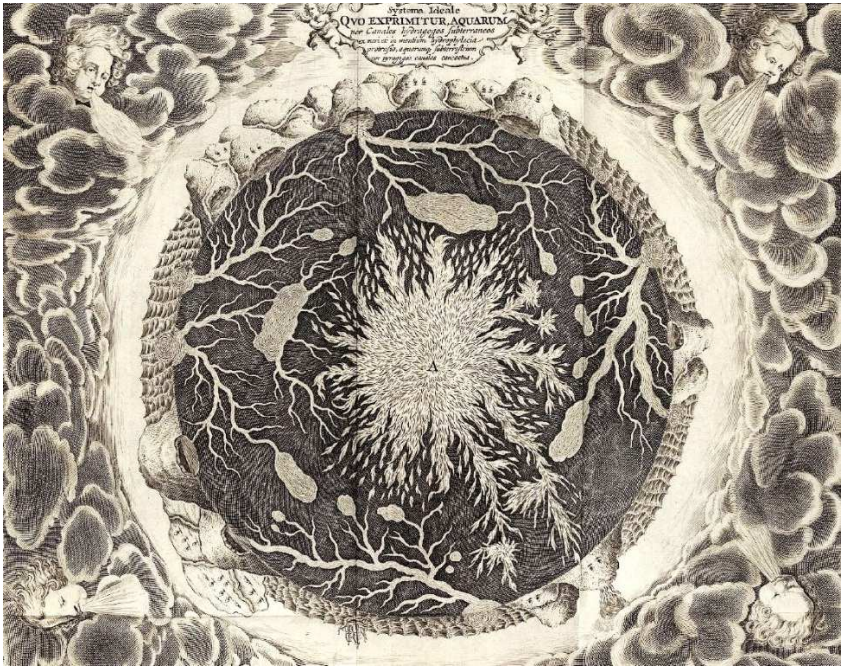
Obr. 8: Dobové vyjadrenie kúpeľného života. Kúpele v Abane pri Padove v Taliansku (7).

Pravdepodobne prvý systém diaľkového (mestského) vykurovania na svete je známy z Paquimé (Casas Grandes) v severnom Mexiku už asi z r. 1030 n. l. Z Európy je podobný vykurovací systém známy v mestečku Chaudes-Aigues (v preklade Horúce Vody) vo Francúzsku, funkčný už v r. 1334 (Suárez Arriaga 2005). V Európe v období 13. - 14. storočia došlo k rozmachu obnovovania a rekonštrukcií mnohých starorímskych kúpeľných miest (obr. 8), v 18. storočí k ďalšiemu obrovskému rozkvetu termálnych kúpeľov. Geotermálna voda z rieky Peta v stredovekej Transylvánii sa v zime využívala ako rozmrazujúca kvapalina na udržovanie funkčnosti vodou naplnených ochranných priekop okolo opevnenia Oradey (6).

Základ moderného tureckého kúpeľníctva a architektúry kúpeľov predstavujú kúpeľné tradície helénskeho a rímskeho obdobia. S intenzívnou výstavbou kúpeľov sa tu začalo v 11. až 14. stor. n. l. Významný politický i územný rozmach Osmanskej ríše v stredoveku a novoveku spôsobil rozšírenie tureckého štýlu kúpeľov aj do ostatnej Európy a krajín blízkeho východu (Arabský polostrov, územie dnešného Iraku), niektoré z nich (v Európe napr. Maďarsko, Bulharsko) sú používané dodnes (Kępińska 2004).

V 15. a 16. storočí sa stali termálne vody a ďalšie prejavy geotermálnej energie predmetom seriózneho vedeckého bádania mnohých učencov. Prvé štúdie vedeckého charakteru o použití termálnych vôd v liečbe napísal taliansky anatóm Fallopio, príručku balneoterapie nemecký lekár Pictorius (1560). Na ázijskom kontinente podáva odborné práce pojednávajúce o minerálnych a termálnych vodách čínsky farmakológ Li Shih-chen, pričom sa zaoberá aj ich chemickou a genetickou klasifikáciou. Jezuita Atanazius Kircher vyjadril vo svojom diele Mundus Subterraneus (1664) vtedajšie vedecké názory na geologické pomery Zeme, kde sa pokúsil objasniť aj vnútornú príčinu prejavov geotermálnej energie na zemskom povrchu (obr. 9). Okrem povrchových prejavov geotermálnej energie sa začali skúmať jej prejavy v hlbokých baniach. V roku 1530 lekár a montanistický expert

G. Agricola konštatoval, že teplota v baniach sa zvyšuje s ich rastúcou hĺbkou.



Obr. 9: Názor A. Kirchera (1664) na vnútornú stavbu Zeme a prejavy geotermálnej energie (vulkanizmus, teplé pramene). Zem je podľa neho pevné teleso, ktoré obsahuje početné obrovské dutiny, ktoré sú navzájom poprepájané kanálmi a pórmi. Zem je zahrievaná vnútorným (centrálnym) ohňom. Krb ohňa sa nazýva pyrophylacium, bližšie k povrchu sa nachádzajú dutiny naplnené vodou (hydrophylacium). V niektorých dutinách dochádza ku styku ohňa s vodou, čím Kircher vysvetľuje napr. vznik rudných žíl (8).

Prvé exaktné merania teploty teplomerom uskutočnil okolo r. 1740 francúzsky inžinier De Gensanne v baniach pri Belforte (Francúzsko). Geotermálny gradient bol prvýkrát určený Humboldtom (1791), ktorý na základe merania teploty v baniach pri Freibergu (Nemecko) konštatoval, že teplota pod zemou sa zvyšuje o 3,8 °C na každých 100 m hĺbky (Stober a Bucher 2013). Na Islande v r. 1753 prebehli úspešné pokusy výroby soli odparovaním morskej vody na

olovených panviciach, pričom na odparovanie bolo využité geotermálne teplo resp. teplo horúcich vôd (Suárez Arriaga 2005). Následne, v rokoch 1773-1793 bolo v lokalite Reykjanes takto získavané 53 t soli ročne.

Komerčné využitie termálnej vody na americkom kontinente sa prvýkrát udialo v r. 1830 v mestečku Hot Springs (Arkansas). Istý podnikavec Asa Thompson inkasoval jeden dolár od každého, kto využil možnosť kúpeľa v drevených sudoch napájaných vodou z horúceho prameňa. Oficiálne verejné kúpele (The Geysers Resort Hotel) v Amerike vznikli až v r. 1852, a čoskoro sa stali vyhľadávanými. Medzi ich návštevníkov patrili napr. Teodore F. Roosevelt a Mark Twain. V meste Folks in Boise (Idaho) bolo v roku 1892 spustené vykurovanie budov, pomocou vody privádzanej z termálnych prameňov, len o niekoľko rokov neskôr tu bolo takto vykurovaných 200 domov a 40 firiem. Geotermálna energia na vykurovanie sa tu využíva dodnes (4).

Termálne vody s prirodzene vysokým obsahom bóru, boli v Taliansku (oblasť dnes známa ako Larderello v Toskánsku) začiatkom 19. stor. využívané pre výrobu čistej kyseliny trihydroboritej evaporizáciou. Voda sa zachytávala buď priamo z prameňov, alebo z plytkých vrtov, následne bola vo varníkoch odparovaná, pričom ako palivo sa používalo drevo okolitých lesov. V r. 1827 F. Larderel vyvinul systém pre použitie tepla samotných termálnych bórových vôd v procese evaporizácie (nízkotlakový parný kotol), čo malo okrem technologického prínosu aj významný prínos ekologický, pretože zabránilo ďalšej výraznej devastácii lesa (5).

Rozvoj termodynamiky a techniky v druhej polovici 19. storočia priniesol aj prvé pokusy s výrobou elektrickej energie z geotermálnych zdrojov. Koncom storočia sa riaditeľom chemickej výroby v Larderelle stal knieža z Trevignana P. G. Conti, ktorý sa venoval experimentom s využitím geotermálnej pary na výrobu elektrickej energie. Jeho pokusy boli korunované úspechom v r. 1904, kedy sa mu podarilo rozsvietiť päť žiaroviek elektrinou vyrobenou pomocou geotermálnej energie. Použil pri tom piestový stroj, kombinovaný s 10 kW dynamom (obr. 10). Elektrina sa vyrábala tzv. nepriamym cyklom, čo znamená že piesty boli

uvádzané do pohybu parou produkovanou z čistej vody v tepelnom výmenníku, ktorý bol ohrievaný geotermálnym fluidom. Tým sa predišlo korózii stroja agresívnymi termálnymi fluidami (Lund 2004).

Obr. 10: Knieža Conti pri svojej prvej geotermálnej experimentálnej elektrárni (9)

Prejavy geotermálnej energie, ako i druhotné produkty s ňou späté, mali oddávna široké spektrum využitia. Ako je však zrejmé z predchádzajúceho, hlavnými oblasťami využívania termálnych vôd a plynných fluíd boli kúpeľníctvo (relax, liečba), a vykurovanie budov. Človek je však vo svojej podstate gurmán, a veľmi skoro prišiel na to, že tepelne upravené mäso mu lepšie chutí a navyše sa aj tak skoro nepokazí. Termálne žriedla a gejzíry odjakživa predstavovali akési prírodné sporáky, na ktorých sa dalo jedlo uvariť. Geotermálna energia „v kuchyni“ bola využívaná napr. pôvodnými obyvateľmi Nového Zélandu Maormi (obr. 11). V Severnej Amerike predstavuje takéto špecifikum gejzír Fishing Cone (Yellowstone), kde sa ryby nachytané v Yellowstonskom jazere mohli uvariť priamo na udici (obr. 12). Okrem kulinárskeho využitia sa horúce vody používali tiež na sušenie rýb, odperenie hydiny, odstránenie srsti z ošípaných a z hláv oviec, pranie vlny a šatstva aj ako prírodný inkubátor (liahnutie kuriatok). Tieto

postupy boli známe starobylým obyvateľom Číny, Tibetu, Islandu, Japonska, Kamčatky, Iránu, Kene a Mexika (Fendek et al. 1999).

Obr. 11: Horúce jazierka pri Whakarewarewa (Nový Zéland) boli tradične využívané na varenie jedla. Voda je dostatočne horúca aj na uvarenie čaju (11).

Obr. 12: Varenie rýb v gejzíre Fishing Cone vo Wyomingu (prevzaté z Stober a Bucher 2013).

3.3 Moderné využívanie geotermálnej energie (1904 – súčasnosť)

Výroba prvej elektriny v r. 1904 znamenala medzník v rýchlosti vývoja výskumu geotermálnej energie ako aj jej praktického využitia. Zdokonaľovaním pôvodného systému výroby elektrickej energie (10 kW), mala elektráreň v Larderelle v r. 1913 výkon 250 kW, a v r. 1915 až 15 MW. Od r. 1931 bola elektráreň poháňaná parou s teplotou až 200 °C (superprehriata para) z hlbokých vrtov. Takáto superprehriata para neobsahuje korozívne zložky (korózia turbíny), teda z výrobného procesu mohol byť vylúčený výmenník tepla navrhnutý pôvodne Contim. V roku 1939 elektráreň produkovala 66 MW, ale bola zničená počas II. svetovej vojny. Dnes vyrábajú geotermálne elektrárne v oblasti Larderello 4,77 TWh elektrickej energie (Hodgson 2013).

Termálna voda na vykurovanie skleníkov a budov sa vo veľkej miere začala využívať na Islande v r. 1920. Dnes patrí Island medzi krajiny s najvyššou mierou využívania geotermálnej energie na svete. Až 53 % primárnej energie je dodávaných z geotermálnych zdrojov, ktoré spolu s vodnou energiou uspokojujú na 99,9 % dopyt po elektrickej energii v tejto krajine. Na Novom Zélande bola prvá geotermálna elektráreň (Wairakei) postavená v roku 1958, následne (1969) bola experimentálna elektráreň vybudovaná aj v Mexiku. V roku 1960 bol v severnej Kalifornii spustený projekt „The Geysers“, ktorý v súčasnosti zahŕňa 21 elektrární s celkovou inštalovanou kapacitou 750 MW a predstavuje najväčšie geotermálne zariadenie na svete. Vyrobená energia dostatočne pokrýva spotrebu elektrickej energie mesta o veľkosti San Francisca (Stober a Bucher 2013). Výstavba geotermálnych elektrární a postupne i iných zariadení využívajúcich geotermálnu energiu sa vo viacerých krajinách sveta rozbehla práve v druhej polovici 20. storočia.

Ziskovosť využívania geotermálnej energie (obdobne i ostatných nerastných surovín) závisí od všeobecných ekonomických podmienok a momentálnej ceny iných energetických surovín na svetovom trhu. Dôležitými faktormi sú tiež lokálne zákony, medzinárodná politická situácia či náhľady na ochranu životného prostredia. Grécko a Argentína napríklad ukončili prevádzku geotermálnych zariadení z ekologických a ekonomických dôvodov. Vzrast trhových cien ropy a zemného plynu inicioval v nemeckom Bruchsale (1980) vŕtanie hlbokých vrtov pre účely geotermálnej elektrárne. Budovanie týchto geotermálnych systémov sa naopak zastavilo počas hospodárskej krízy, ktorá zapríčinila kolaps cien ropy, v roku 2009 tu však napokon bola vybudovaná plne funkčná geotermálna elektráreň.

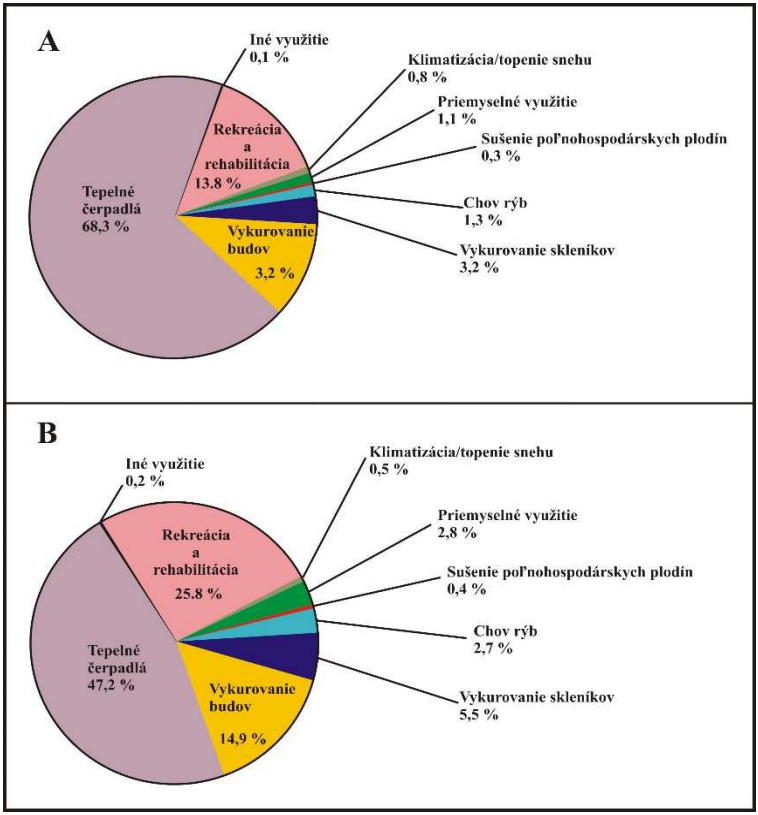
Výroba elektriny pomocou geotermálnej energie, je dnes rozšírená v desiatkach krajín sveta. Geotermálne zdroje sú v súčasnosti tiež využívané na vykurovanie, relaxáciu, či v rôznych odvetviach priemyslu a poľnohospodárstva (obr. 13, tab. 2). Celosvetovo je

inštalovaný výkon priameho využitia geotermálnej energie 48 493 MWt (tepelné megawatty), pričom ročná spotreba energie je 117 740 GWh v 78 krajinách sveta. Táto hodnota predstavuje ročnú úsporu spotreby ropy 38 mil. ton, ktorej využitím by sa do atmosféry uvoľnilo 107 miliónov ton CO_2 (CANGEA 2014). Medzi krajiny s najväčším využitím geotermálnej energie patria Čína, USA, Švédsko, Turecko, Japonsko, Island, Francúzsko, Nemecko a Nórsko.

Použitie	**Inštalovaná kapacita** [MWt]	**Ročná spotreba** [TJ/rok]
Vykurovanie skleníkov	1 544	23 264
Chov rýb	653	11 521
Vykurovanie budov	5 394	63 025
Sušenie poľnohospodárskych plodín	125	1 635
Priemyselné použitie	533	11 745
Relaxačno-rehabilitačné účely	6 700	109 410
Klimatizácia/topenie snehu	368	2 126
Tepelné čerpadlá	33 134	200 149
Iné využitie*	42	955
Celkom	48493	423830

*chov zvierat, pestovanie rias, odsoľovanie, sterilizácia fliaš

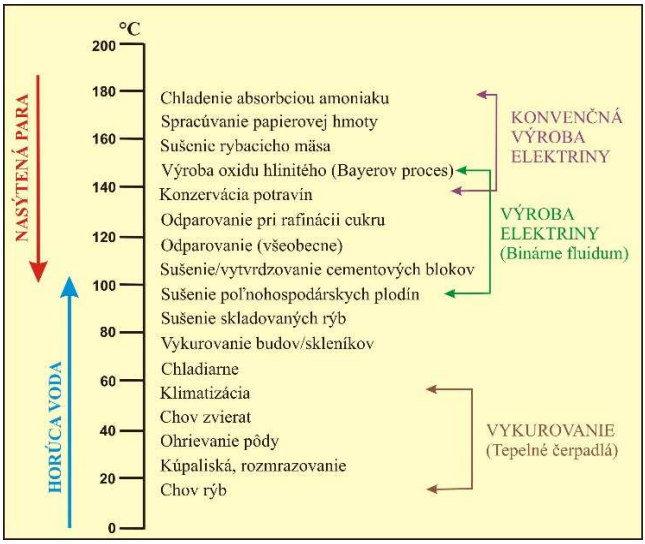
Tab. 2: Prehľad celosvetového využitia (v roku 2010) geotermálnej energie (CANGEA 2014)



Obr. 13: A) Distribúcia priamych aplikácií geotermálnej energie vo svete (stav z r. 2010) podľa celkovej inštalovanej kapacity [MWt]. B) Priame aplikácie geotermálnej energie vo svete (2010), distribuované podľa ročnej spotreby energie [TJ/rok] (podľa: CANGEA 2014).

4. Konkrétne príklady využitia geotermálnej energie

Rôznorodosť priamych aplikácií využitia geotermálnej energie závisí od viacerých faktorov. Ide najmä o charakter geotermálneho zdroja (teplota, chemické zloženie hydrotermálnych roztokov atď.), jeho dostupnosť resp. vzdialenosť od komunikácií, stupeň existujúcej infraštruktúry a v neposlednom i konkrétna spoločenská požiadavka na jeho využitie. Prehľad priamych aplikácií využitia geotermálnych zdrojov v závislosti na ich teplote v stručnosti vyjadruje tzv. Lindalov diagram (obr. 14). Je potrebné si uvedomiť, že jednotlivé aplikácie neprebiehajú iba pri „bodovej“ teplote ktorú stanovuje Lindalov diagram, v skutočnosti existujú rozličné rozsahy teplôt pre každú aplikáciu (obr. 15). V praxi je potom výhodné ***kaskádové použitie*** geotermálneho tepla. Ide o voľbu vhodného zoradenia niekoľkých aplikácií napojených na jeden zdroj podľa klesajúcej teploty termálneho média.



Obr. 14: Lindalov diagram (Gudmundsson et al. 1985).

Obr. 15: Rôznorodé využívanie geotermálnej energie v závislosti od teploty geotermálneho zdroja (upravené podľa: http://www.groundzerosoftware.net/Geo-energy-uses, internetový zdroj 12).

4.1 Chov rýb

Pod touto hospodárskou aplikáciou všeobecne rozumieme cielený chov sladkovodných, alebo morských živočíchov v regulovanom prostredí na špecializovaných geotermálnych vodných farmách (obr. 16). Pre chov sa používajú vonkajšie rybníky, alebo zakryté nádrže. Hlavným dôvodom úpravy/monitorovania prostredia je dosiahnuť rýchly rast rýb, resp. iných vodných živočíchov, a tým zvýšiť produkciu tohto typu fariem.

Obr. 16: Geotermálna rybia farma v Oregone, USA. (internetový zdroj 13).

Teplota prostredia a jej regulácia je pre chov vodných živočíchov oveľa dôležitejšia ako v prípade chovu suchozemských zvierat. Pri poklese teploty ryby strácajú schopnosť normálne sa vyživovať kvôli retardácii metabolických reakcií v ich tele, čo má za dôsledok spomalenie až zastavenie rastu. Pre udržanie konštantnej teploty v chovných nádržiach sa často využíva geotermálna energia, ktorá je oveľa efektívnejšia, ako napr. energia Slnka. Pri optimálnej konštantnej

teplote v nádrži môže dôjsť k zvýšeniu rastu vodných živočíchov (podľa druhu) o 30-50%.

Obr. 17: Aligátory na snehu v Colorado Gators Reptile Park. (internetový zdroj 14).

Dlhodobú tradíciu vodných fariem má Japonsko, kde sa chovajú hlavne kapry a úhory (potravinárstvo), ale aj aligátory a krokodíly ako turistická atrakcia. Obdobná geotermálna plazia farma využívaná ako turisticko-edukačný objekt sa nachádza tiež napr. v Colorade, USA (obr. 17). Geotermálne liahne (pstruh, losos) sú vybudované na Islande, v USA sú vodné farmy rozšírené hlavne v Kalifornii a Idahu (tilapia, ostrież). Farma Fish Breeders (Idaho), produkuje ročne 227 t. sumca a 45 ton tilapie. Prevádzka je zriadená tak, že termálna voda (32-35 °C) čerpaná z ôsmich vrtov napája kaskádu betónových nádrží s rybami, čím je zabezpečené aj jej okysličovanie. Konečný stupeň kaskády tvoria nádrže s najchladnejšou „odpadovou“ vodou v ktorých sa chovajú aligátory. Africké cichlidy žijúce v jazere Malawi sú chované v Klamath Falls (Oregon, USA), odkiaľ sa vyvážajú do akvárií ZOO v San Franciscu. V blízkosti Wairakei (Nový Zéland) sa na vodnej geotermálnej farme chovajú obrie malajzijské sladkovodné krevety (400 ton ročne). Tieto sa distribuujú do rôznych reštaurácií, ale chov je zároveň využitý aj ako turistická atrakcia, kde si návštevníci môžu uloviť vlastné jedlo (CANGEA 2014).

4.2 Pestovanie rastlín v skleníkoch

V skleníkoch vyhrievaných geotermálnou energiou sa často pestujú rôzne, komerčne dôležité rastliny. Vykurovanie skleníkov pomocou geotermálnej energie jednak znižuje prevádzkové náklady pestovania a jednak umožňuje pestovanie teplomilných rastlín v chladných klimatických podmienkach (obr. 18), kde by vyhrievanie klasickými palivami bolo neekonomické.

Obr. 18: Skleníky vyhrievané geotermálnym teplom na Islande (internetový zdroj 15).

Pestovanie rastlín v geotermálnych skleníkoch je rozšírené v Maďarsku, Rusku, Novom Zélande, Japonsku, Islande, Grécku, Taliansku, Číne, Tunisku, Keni a v USA. Pestuje sa najmä zelenina (uhorky, paradajky...), kvety, izbové rastliny, kaktusy a sadenice stromov (CANGEA 2014).

Jednou z najúspešnejších obchodných spoločností pestujúcich rastliny v geotermálnych skleníkoch je spoločnosť Oserian v Keni. V ich skleníkoch o rozlohe 50 ha sa denne vypestuje 1 milión ruží s dlhými stonkami, ktoré sú dodávané na veľkoobchodný trh v Amsterdame, ale aj do Japonska a USA. Skleníky sú vykurované geotermálnym teplom od 2 hod. v noci do 7 hod. ráno, elektrickú energiu pre prevádzku zabezpečujú dve malé geotermálne elektrárne (výkon do 2 MW). Oxid

uhličitý z geotermálneho fluida používaného pri vykurovaní je odoberaný a potrubným systémom vháňaný do skleníkov, kvôli priaznivému vplyvu na rast ruží. Dobrý príklad na kaskádové využite geotermálnej energie predstavuje geotermálna plantáž v Mt. Amiata (Taliansko). Na vykurovanie skleníkov je použitá „odpadová“ geotermálna voda (86 °C) z 15 MW elektrárne ktorá využíva vodu s teplotou 184 °C. Geotermálne teplo sa tu tiež využíva na sušenie zeleniny, pričom ročná produkcia tohto produktu je 100 000 ton.

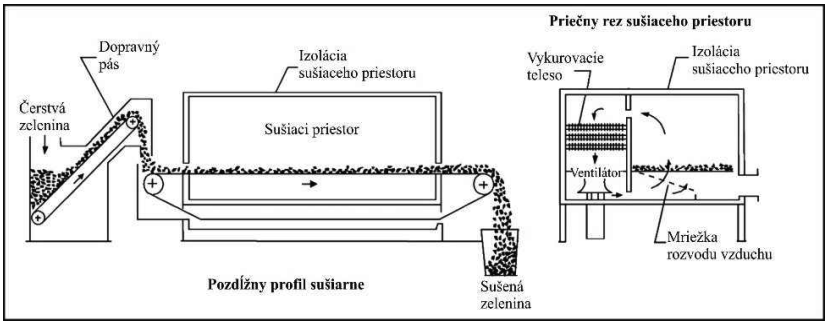
4.3 Sušenie poľnohospodárskych plodín

V závislosti na druhu sa rôzne poľnohospodárske plodiny sušia pri teplote vzduchu v rozsahu asi 40-100 °C. V praxi sa pre sušenie plodín používajú ***malokapacitné*** (statické) a ***veľkokapacitné*** sušiarne s dopravnými pásmi.

Sušenie obilnín, ovocia, zeleniny i morských rias pomocou geotermálneho tepla je rozšírené na Islande (riasy), Filipínach (dužina kokosového orecha), Novom Zélande (lucerna), ďalej v USA (cibuľa), Srbsku (obilniny), Salvadore, Guatemale a Mexiku (ovocie). Okrem poľnohospodárskych plodín sa obdobné sušiarne používajú na sušenie reziva (Mexiko, Nový Zéland, Rumunsko).

Ako príklad malovýroby v sušení plodín možno uviesť sušiareň v SV Grécku. Ročne takáto sušiareň spracuje asi 4 tony paradajok. Čerstvé paradajky sa umiestnia na stojany v tunelovej sušiarni. Na ohrev vzduchu v tuneli sa používa termálna voda (59 °C) s prietokom vo vyhrievacích telesách 7 l/s. Za takýchto podmienok sa vysuší asi 14 kg čerstvých paradajok za hodinu. Sušené paradajky sa následne nakladajú do olivového oleja. Pozoruhodnosťou je, že takéto malokapacitné zariadenie obsluhujú iba traja ľudia (CANGEA 2014). Veľkokapacitná sušiareň na cibuľu a cesnak je vybudovaná v Nevade, USA (obr. 19). Dopravný pás privádza do samotného sušiaceho priestoru 3-4,5 t/hod. cibule s obsahom vlhkosti asi 85 %. Zariadenie využíva na ohrev

vzduchu termálnu vodu (110 °C) v množstve 50-75 l/s, ktorá sa v priebehu procesu ochladí na 70 °C. Výsledkom 24 hodinovej prevádzky sušiarne je 500-700 kg/hod. sušenej cibule s obsahom vlhkosti asi 4 %.



Obr. 19: Schéma veľkokapacitnej sušiarne poľnohospodárskych plodín (CANGEA 2014).

4.4 Relaxačno-rehabilitačné účely

Z dejinného prehľadu využívania geotermálnej energie Zeme (kapitola 3), je zrejmé, že človek odpradávna vyhľadával vývery mineralizovaných i nemineralizovaných termálnych vôd kvôli lepším životným podmienkam v ich okolí. V neposlednom rade si všímal i liečebné účinky niektorých vôd.

Z viac-menej náhodného a sporadického využívania minerálnych a termálnych vôd sa v priebehu času vyvinul celý liečebný odbor – balneoterapia. V nej sa na liečbu okrem samotných vôd využívajú aj plynné látky rozpustené vo vode a liečivé bahná (kaly). Ide predovšetkým o kúpele v liečivých vodách/kaloch, pitie minerálnych a termálnych vôd a taktiež ich inhalovanie. Balneoterapeutická liečba sa obyčajne kombinuje s vhodnými pohybovými aktivitami (16). Fyziologické účinky kúpeľa v termálnej vode sú ilustrované v tabuľke 3.

Medzi najrozšírenejšie rozpustené látky v minerálnych a termálnych minerálnych vodách patria Na^{+}, K^{+}, Cl^{-}, Mg^{2+}, Ca^{2+}, S^{2-},CO_2 a Rn. Rozličné minerálne látky pôsobia priaznivo pre imunomoduláciu organizmu, rozšírenie krvných ciev, uvoľnenie ß endorfínu, tiež majú protizápalové a antialgické účinky.

Liečebný faktor	Fyziologické efekty
Teplota	Vyhriatie tela, analgetické účinky, relaxácia svalstva, rozšírenie ciev, protizápalové účinky, uvoľnenie ß endorfínu
Hydrostatický tlak	kardiovaskulárne účinky, účinky na krvný obeh, priaznivý vplyv na močové cesty
Vztlak	Mechanická relaxácia (uvoľnenie), mobilita kĺbov
Viskozita	Odpor vody pri pohybových aktivitách (námaha svalstva)

Tab. 3: Vplyv kúpeľa v termálnej vode na človeka (16).

4.5 Priemysel, potravinárstvo

Napriek rôznym možnostiam využitia geotermálnej energie (obr. 15), je táto aplikácia pomerne málo používaná. Je to zapríčinené sčasti „nedostupnosťou“ geotermálnych zdrojov na ľubovoľnom mieste a hlavne tým, že mnohé závody využívajú pre výrobu tepla osvedčené klasické palivá (uhlie, ropa).

Najstaršie priemyselné využitie je známe z Larderello (Taliansko), kde boli už koncom 18. storočia získavaná kyselina boritá a iné boritany z geotermálnej soľanky. V súčasnosti je geotermálna energia využívaná najmä v procese sušenia diatomitu (Island) a pri spracovaní dreva, celulózy a výrobe papiera (Nový Zéland). V menšom rozsahu sa využíva pri tvrdnutí (zrení) betónu (Guatemala, Slovinsko), výrobe sýtených nápojov (Bulharsko, Srbsko, USA), chemickej ťažbe - rozpúšťaní minerálov termálnou vodou (Bulharsko, Poľsko, Rusko) a získavaní oxidu uhličitého, solí jódu a kuchynskej soli (Island, Turecko, Vietnam). V Oregone boli robené pokusy o využitie geotermálnej energie pri pasterizácii mlieka.

Geotermálne teplo sa využíva pri kyanidovom lúhovaní zlata a striebra z koncentrátu v Nevade (USA), čo zvyšuje výťažnosť lúhovania a umožňuje prevádzku aj v zimných mesiacoch. Geotermálna voda sa využíva aj pri ťažbe ropy v Montane a Severnej a Južnej Dakote (USA). Vháňanie geotermálnej vody do vrtov umožňuje zo sedimentárnych formácií vyťažiť asi o 33 % ropy viac ako bez jej použitia. V USA sa tiež robili pokusy s využitím geotermálnej energie pri výrobe technických palív na báze alkoholu zo semiačok repky olejnej a pri výrobe bionafty z rastlinného oleja (CANGEA 2014).

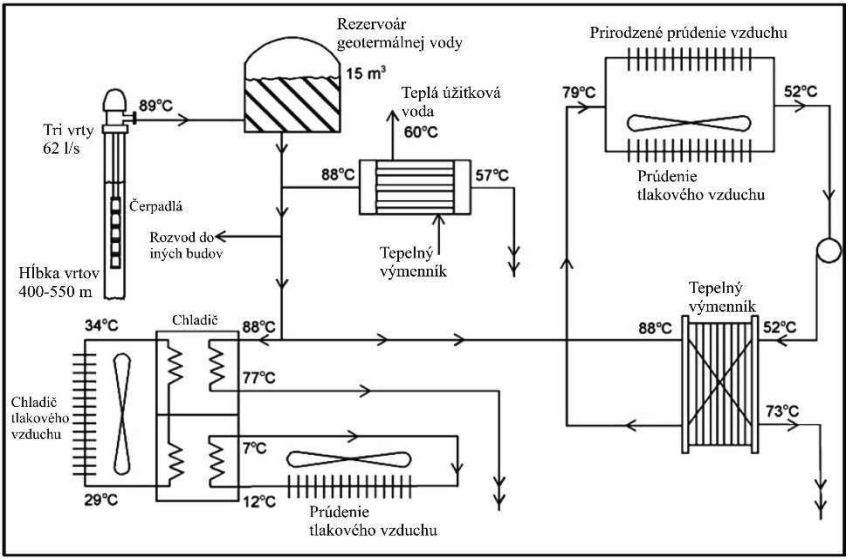
4.6 Vykurovanie, klimatizácia

Vykurovanie budov za použitia geotermálnej energie je vo svete čoraz viac rozšírené a získava väčšiu obľubu. Budovy vykurované teplom získaným z jednotlivých vrtov sú rozšírené najmä v USA (Oregon, Nevada), Islande, Novom Zélande, Číne i v Európe. Je známych niekoľko systémov vykurovania resp. klimatizácie.

Príkladom ***distribučného klimatizačného systému***, pri využití nízko- až strednoteplotných geotermálnych zdrojov je Inštitút technológií v Klamath Falls v Oregone (obr. 20). Klimatizovaných je tu 16 budov s celkovou rozlohou 76 000 m^2. Táto plocha sa vykuruje systémom podlahového kúrenia, pri využití geotermálnej vody (cca 90 °C) z troch vrtov. Prietok termálnej vody vo vykurovacom systéme je max. 62 l/s, s priemerom použitého tepla 0,53 MWt. Pri maximálnom výkone vykurovacieho zariadenia sa uvoľní až 5,6 MWt tepelnej energie. Geotermálny chladiaci systém vyžadoval prietok geotermálnej vody do 38 l/s, pričom produkoval 23 l/s vody s teplotou 7 °C. Z ekonomických dôvodov (efektívnosť chladiaceho zariadenia iba 50 %) bol chladiaci systém neskôr nahradený elektrickým chladením. Úspora nákladov na vykurovanie tejto plochy, prepočítaná na použitie nafty je viac ako 1 milión USD (CANGEA 2014). „Prvá“ voda čerpaná z vrtov, teplejšia asi o 10-15 °C ako voda využívaná pre vykurovanie je najprv využitá pre výrobu elektriny (280 kW elektráreň), čím je zabezpečené kaskádové využitie geotermálnej energie.

Pre vykurovanie budov je tiež využívaný tepelný výmenník, ktorý je inštalovaný priamo vo vrte. Takýto tepelný výmenník rieši problém s likvidáciou odpadovej-ochladenej geotermálnej vody. Množstvo takýchto vôd je silne mineralizovaných a pri ich vypúšťaní do prírodného prostredia môže dochádzať napr. k zasoľovaniu pôd, či zvýšeniu salinity vody povrchových vodných tokov. Ide o systém rúrok umiestnených priamo v geotermálnom aquifere v ktorých cirkuluje čistá voda. Táto je nahrievaná geotermálnym fluidom a pomocou čerpadla

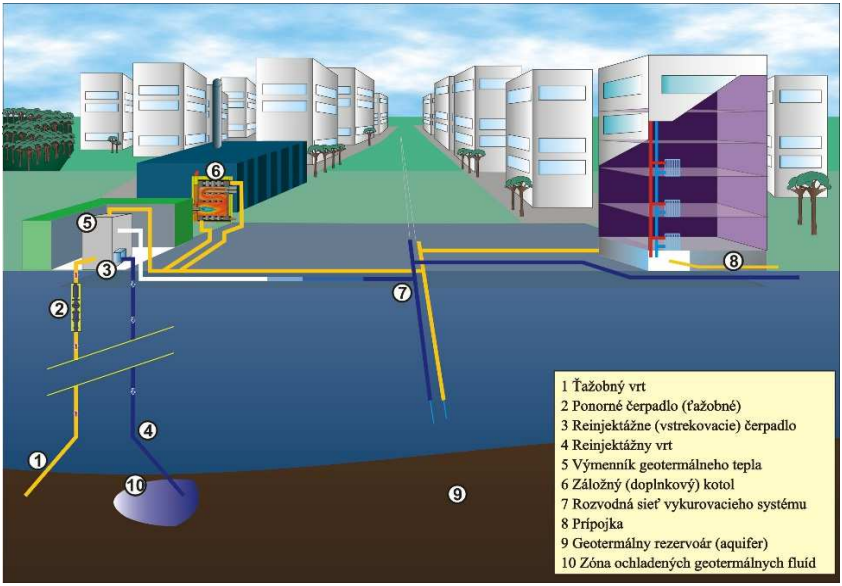
cirkuluje po vykurovacom systéme (radiátory), teda z geotermálneho vrtu sa prakticky čerpá iba čistá tepelná energia.



Obr. 20: Schéma distribučného klimatizačného systému v Inštitúte technológií v Oregone (CANGEA 2014).

Iným systémom vykurovania objektov je ***centrálne kúrenie (diaľkové kúrenie)***, kde je horúce fluidum (para, voda) rozvádzané pomocou potrubného systému do jednotlivých objektov alebo celých blokov budov (obvodu). Takéto teplo môže byť okrem samotného vykurovania využité pre ohrev úžitkovej/pitnej vody a pre priemyselné procesy vyžadujúce teplo. Geotermálne (ťažobné) vrty môžu predstavovať jediný, resp. hlavný zdroj tepla. V závislosti na požadovanej teplote môže byť vykurovanie konkrétneho obvodu okrem geotermálneho tepla zabezpečené aj kombináciou použitia klasických fosílnych palív či tepelných čerpadiel. Takýto kombinovaný systém sa využíva napr. v extrémne chladných dňoch, keď je požiadavka tepla maximálna. Keďže geotermálne vody majú často korozívny účinok na potrubia, v praxi sa to rieši ohriatím sekundárnej, čistej vody pomocou

geotermálneho fluida v tepelnom výmenníku pred rozvodom do vykurovaného priestoru. Použitá geotermálna voda sa vháňa reinjektážnym vrtom naspäť do podzemia, kde sa opäť stáva organickou súčasťou prirodzeného geotermálneho systému (obr. 21).

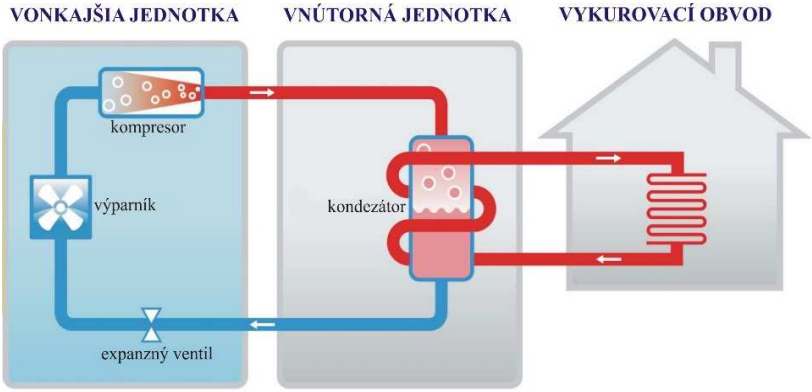


Obr. 21: Schéma centrálneho vykurovania pomocou geotermálnej energie (17).

Geotermálne centrálne kúrenie je rozšírené v množstve krajín na svete. Najrozsiahlejšie vykurovacie systémy tohto typu sú v USA a Číne, z európskych štátov majú prvenstvo Francúzsko, Island, Nemecko, Turecko, Rumunsko a Srbsko.

Vykurovanie pomocou ***tepelných čerpadiel*** predstavuje jednoznačne najrozšírenejšiu priamu aplikáciu využitia geotermálnej energie vo svete (obr. 13). V súčasnosti sú tepelné čerpadlá rozšírené najmä v USA, Číne, Švédsku a Holandsku. Ich použitie však prudko narastá. Rozšírenie aplikácií geotermálnej energie vyžadujúcich vyššiu teplotu (obr. 15) je obmedzené na prirodzené geotermálne polia, teda oblasti s vysokým geotermálnym gradientom (magmatická aktivita,

gejzíry...). Tepelné čerpadlá môžu byť inštalované prakticky kdekoľvek, pretože sú efektívne aj pri podzemných vodách s teplotou 5 – 30 °C (CANGEA 2014).



Obr. 22: Princíp tepelného čerpadla (Pražská energetika 2011).

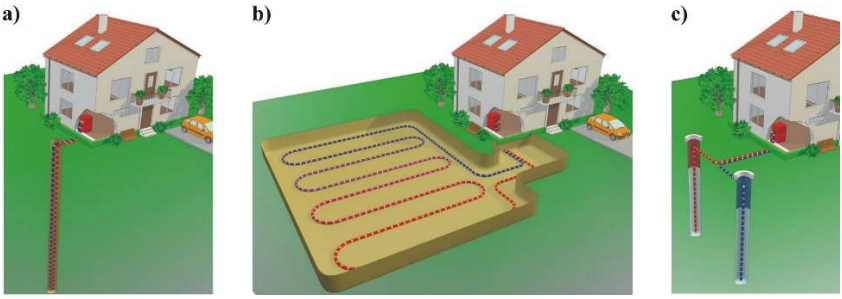
Tepelné čerpadlo je zariadenie, ktoré je schopné z okolia budovy odobrať tepelnú energiu z vody, pôdy ale i zo vzduchu a následne ju prečerpať na vyššiu teplotnú hladinu použiteľnú na vykurovanie, ohrev teplej vody v domácnosti, či v bazéne. Pre tento proces je však potrebné čerpadlu dodať určité množstvo elektriny na poháňanie kompresoru. Princíp tepelného čerpadla vyjadruje obrázok 22. V chladiacom okruhu čerpadla cirkuluje pracovné médium (chladivo), ktoré cyklicky mení svoje skupenstvo. Plynné chladivo sa stláča kompresorom (zahriatie), následne putuje do kondenzátoru kde odovzdáva teplo a následkom ochladenia kondenzuje (skvapalnie). Táto kvapalina prejde expanzným ventilom do výparníku, kde sa vplyvom prudkého zníženia tlaku mení na plyn a celý cyklus sa môže opakovať (Pražská energetika 2011).

Pri vykurovacom režime tepelného čerpadla je teplo odvádzané z pôdy, alebo z podzemnej vody do budov. V rámci chladiaceho procesu (letné mesiace) je naopak vonkajšie teplo vháňané do pôdy/podzemnej

vody, čím vzniká podzemný zásobník tepelnej energie, ktorú možno v zimných mesiacoch využiť na kúrenie.

V zásade sa konštruujú dva vykurovacie systémy s tepelnými čerpadlami resp. dve polohy umiestnenia čerpadla: s ***uzavretou*** a ***otvorenou slučkou***. Pre systémy s uzavretou slučkou sa ako zdroj zemského tepla využívajú plytké vrty (70-140 m), alebo plošné výkopy s hĺbkou okolo 2 m (obr. 23). Pracovné médium cirkuluje v uzavretom potrubnom systéme. Systémy s otvorenou slučkou využívajú obeh plytkých podzemných vôd. Voda z čerpacieho vrtu je privádzaná do tepelného čerpadla kde odovzdá časť tepla a ochladená je privádzaná do vsakovacieho-reinjektážneho vrtu (obr. 23).

Efektivita tepelných čerpadiel sa vyjadruje *koeficientom performancie (výkonu)*, teda vykurovacím faktorom (*COP*), čo je pomer vykurovacieho alebo chladiaceho výkonu ku množstvu elektrickej energie spotrebovanej čerpadlom (skrátene: energia vystupujúca/energia vstupujúca). Čím vyššia bude číselná hodnota COP, tým nižšie budú prevádzkové náklady tepelného čerpadla, po slovensky povedané „za menej peňazí viacej muziky“. Bežne používané systémy s otvorenou alebo uzavretou slučkou majú koeficient performancie medzi 3-4.

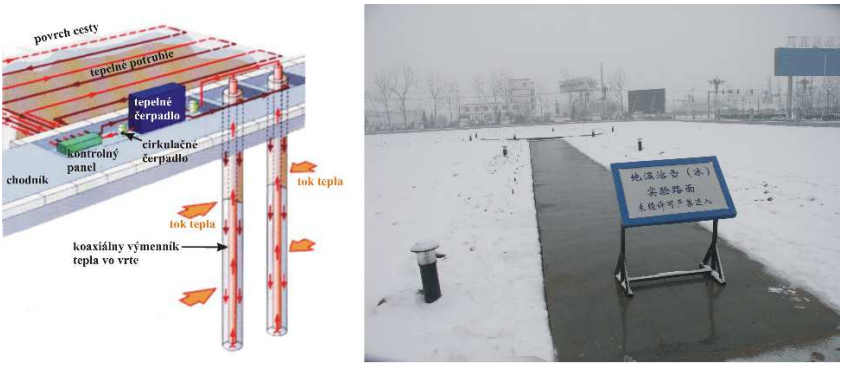


Obr. 23: Systémy usporiadania tepelných čerpadiel. a) Systém so zatvorenou slučkou využívajúci plytký vrt. b) Systém s uzavretou slučkou využívajúci plošný výkop. c) systém s otvorenou slučkou využívajúci cirkuláciu podzemnej vody (Pražská energetika 2011).

4.7 Topenie snehu a ľadu

Táto, na pohľad jednoduchá aplikácia využitia geotermálnej energie je v praxi výrazne obmedzená dvoma faktormi. Ide jednak o pomerne vysoké náklady na inštaláciu potrebných zariadení, hlavný problém však predstavuje neprítomnosť blízkeho geotermálneho zdroja vhodného na tento účel, na ľubovoľnom mieste.

V praxi je vykurovanie povrchu vozoviek, mostov či chodníkov využívané na Islande, v Argentíne, Švajčiarsku, Japonsku a USA. V súčasnosti je pomocou geotermálnej energie vykurovaných viac ako 2 milióny m^2 vonkajšieho povrchu (väčšina na Islande). Spotreba tepelnej energie na tento účel sa pohybuje v rozmedzí 130 – 180 W/m^2 (USA, Island), pričom závisí na intenzite snehových zrážok, teplote vzduchu, relatívnej vlhkosti ovzdušia a rýchlosti vetra. Teplo sa na predmetné miesto dodáva buď priamo z vody geotermálneho zdroja cirkulujúcej v potrubnom systéme (obr. 24), tiež nepriamym spôsobom (cez tepelný výmenník), alebo tak, že teplá voda prúdi priamo po dlažbe.



Obr. 24: Topenie snehu na cestách v Japonsku systémom GAIA (internetový zdroj 18).

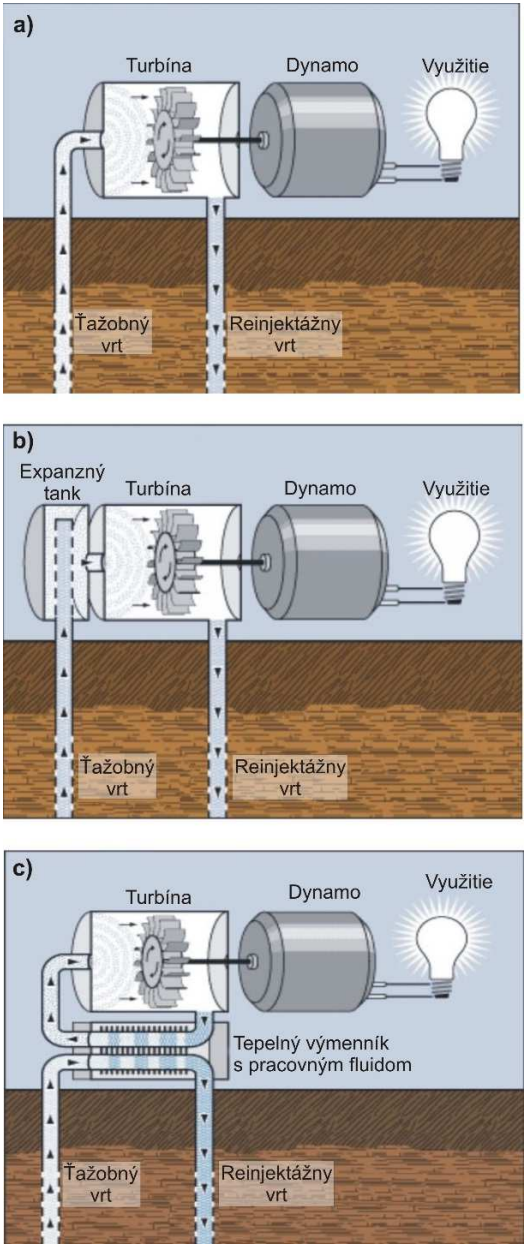
4.8 Výroba elektrickej energie

Kúpeľníctvo bolo po tisícročia hlavnou doménou praktického využívania geotermálnej energie, čo je zrejmé aj z historického prehľadu (kap. 3). S nástupom technickej revolúcie sa v 19. storočí začala energia Zeme využívať aj vyslovene na technické, či priemyselné účely. Obrovský medzník vývoja predstavuje rok 1904, kedy knieža Conti vyrobil prvý model malej elektrárne poháňanej geotermálnou energiou. Výroba elektriny týmto spôsobom sa veľmi rýchlo zdokonalila a rozšírila do viacerých krajín sveta (obr. 25), pričom v súčasnosti lokálne predstavuje veľmi významný zdroj elektrickej energie (tab. 4).

Obr. 25: Geotermálna elektráreň Hellisheidi na Islande (internetový zdroj 19).

Štát	Kapacita (MW)	Podiel z produkcie elektriny v štáte (%)
USA	3 389	0.3
Filipíny	1 894	27
Indonézia	1 333	3.7
Mexiko	980	3
Taliansko	901	1.5
Nový Zéland	895	13.6
Island	664	30
Japonsko	537	0.1
Keňa	215	11.2
Kostarika	208	14
Salvador	204	25
Turecko	163	0.3
Nikaragua	104	10
Štáty s inštalovanou kapacitou menej ako 100 MW		
Rusko, Papua Nová Guinea, Guatemala, Portugalsko, Čína, Francúzsko, Etiópia, Nemecko, Rakúsko, Austrália, Thajsko		

Tab. 4: Inštalovaná kapacita geotermálnych elektrární vo svete v roku 2013 (Matek 2013).



Obr. 26: Typy geotermálnych elektrární: a) s priamym použitím suchej pary, b) s expanzným systémom, c) s binárnym cyklom (internetový zdroj 20).

Geotermálne elektrárne patria ku vyššie teplotným (teplota zdroja cca 100 °C a viac, obr. 15) spôsobom využitia zemského tepla. Samotný princíp výroby elektriny je veľmi jednoduchý – všetky geotermálne elektrárne využívajú paru na otáčanie veľkých turbín, ktoré produkujú elektrinu. V súčasnosti sú známe tri typy geotermálnych elektrární resp. tri spôsoby výroby elektrickej energie: priamym použitím suchej pary, expanzným (flash) alebo dvojitým expanzným cyklom a binárnym cyklom (20). Z hľadiska ochrany životného prostredia geotermálne fluidum v takýchto elektrárňach eliminuje použitie fosílnych palív (únik spalín do vzduchu), pretože do atmosféry sa uvoľňuje prakticky iba vodná para a iba zanedbateľné množstvo iných plynov. Z hľadiska ekonomiky výroby je takto eliminovaný transport fosílnych palív do miesta výroby a náklady na ich uskladňovanie.

V prípade elektrárne s ***priamym využitím suchej pary*** ide o najstarší systém výroby elektrickej energie. Hydrotermálne fluidum (v prvom rade para) je priamo vháňané do turbíny, ktorá poháňa generátor (dynamo) vyrábajúci elektrinu (obr. 26a).

V geotermálnych elektrárňach s ***expanzným cyklom*** sa využívajú hydrotermálne fluidá s teplotou nad 182 °C. Geotermálna voda sa vstrekuje do expanzného tanku, v ktorom je tlak oveľa nižší ako tlak samotnej kvapaliny. V tanku sa tak kvapalina prakticky momentálne mení na paru (expanduje), ktorá poháňa turbínu. Turbína následne poháňa dynamo (obr. 26b). Ak v expanznom tanku ostáva isté množstvo kvapaliny nepremenenej na paru, môže sa prípadne vháňať do sekundárneho expanzného tanku a využiť na intenzívnejšie roztočenie turbíny (systém s dvojitou expanziou).

Hydrotermálne vody vo väčšine geotermálnych oblastí majú teplotu nižšiu než 200 °C (stredne temperované). V takomto prípade sa elektrická energia vyrába v elektrárňach s ***binárnym cyklom*** (tiež Rankinov cyklus). Geotermálne fluidum je vháňané do tepelného výmenníka, kde zároveň cirkuluje pracovná kvapalina (teda binárna) s oveľa nižším bodom varu ako je teplota geotermálneho fluida (obyčajne organické látky). Teplo geotermálneho fluida spôsobuje premenu

pracovnej kvapaliny na paru, ktorá roztáča turbínu (obr. 26c). Pri elektrárňach s binárnym cyklom ide o systém s uzavretou slučkou, preto sa pri chode elektrárne nevypúšťajú do atmosféry prakticky žiadne emisie.

5. Vplyv využitých (odpadových) geotermálnych vôd na životné prostredie

Hoci to na prvý pohľad nie je zrejmé, geotermálne vody pri ich ťažbe, využívaní ale najmä zneškodňovaní, majú do istej miery aj negatívny dopad na životné prostredie. Je to zapríčinené ich markantne odlišným fyzikálnochemickým a mikrobiologickým charakterom od ostatných podzemných vôd.

Odpadové geotermálne vody sú často vypúšťané do povrchových tokov (recipientov). Svojim zvyškovým teplom spôsobujú nárast teploty vody v toku, čo má za následok ***zníženie obsahu rozpusteného kyslíka***. Pri významnom poklese obsahu kyslíka vo vode, zároveň dochádza aj k ***zvýšeniu jej teploty*** v dôsledku čoho môže dôjsť k obmedzeniu životných/vegetatívnych aktivít „chladnomilnejších" živočíchov a flóry. V ideálnych (prirodzených) podmienkach – nárast teploty v povrchových tokoch od 0 do 20-26 °C prevažne priaznivo ovplyvňuje ich faunu a flóru. Pri zvýšení teploty vody v recipiente nad 26 °C dochádza k postupnej stagnácii životných aktivít. Od teplôt 30-35 °C k rýchlemu poklesu a následne k znižovaniu životných aktivít prakticky celej biocenózy povrchového toku (výrazná selekcia druhov v biotope). Zmenené podmienky recipientu s teplotou nad 42 °C už spôsobujú hromadný úhyn celých druhov biocenózy a postupnú zmenu toku v takomto úseku na mŕtvy povrchový tok (Fendek et al. 1999).

Vypúšťanie odpadových geotermálnych vôd s obsahom organických látok do recipientov spôsobuje ***zmeny v chemickej spotrebe kyslíka***. Časť znečistenia tvoria biologicky oxidovateľné látky, ktoré sú v aeróbnych podmienkach hodnotené ako biologická spotreba kyslíka. Pri veľkej spotrebe kyslíka mikroorganizmami (zvlášť vo vodách s malou energiou toku) dochádza ku kyslíkovému deficitu, pri jeho prekročení začnú prebiehať v povrchových vodách anaeróbne (hnilobné) procesy – ich dlhodobé prevládanie môže mať nepriaznivé následky pre životné prostredie. Ropné látky spôsobujú tvorbu tenkej membrány na

hladine povrchových vôd, ktorá vo veľkej miere bráni prestupu a rozpúšťaniu kyslíka vo vode.

Geotermálne vody sú obyčajne intenzívne mineralizované. Pri ich vypúšťaní do recipienta bez predchádzajúcej chemickej úpravy môže dôjsť k ***rastu mineralizácie vody***. Ak ide o soli obsahujúce biogénne prvky (N, P, K) ***rastie eutrofizácia toku*** (obr. 27). Zvyšovanie mineralizácie vôd povrchových tokov (nad 500 mg/l) znižuje vhodnosť ich použitia ako zdrojov závlahových, úžitkových či pitných vôd.

Obr. 27: Eutrofizácia na rieke Potomac (USA) sa prejavuje extrémnym rozvojom siníc (internetový zdroj 21).

Odpadové geotermálne vody (bez predchádzajúcej úpravy) majú alkalický charakter (pH > 7, často 8,3 a viac). Voda recipienta s nadmerne zvýšenou alkalitou ***leptaním poškodzuje sliznice a žiabre vodných živočíchov*** (najmä rýb).

Geotermálne vody často obsahujú stopové množstvá ťažkých kovov a toxických prvkov (najmä Sr až do 5 mg/l, menej Zn, Cu, Pb, Hg,

Cd, Ni, Cr, As, V, U...). Tieto sa môžu ***kumulovať vo vodnej flóre a faune*** o odtiaľ následne putovať i do potravného reťazca človeka. Kumulácie týchto prvkov spôsobujú stagnáciu vývoja, vývojové poruchy a v extrémnych prípadoch i úhyn vodných živočíchov.

Zlúčeniny obsahujúce Fe a Mn v oxidovanej forme v povrchovej vode spôsobujú ***zanášanie žiabier*** ú rýb. Tvoria i ***hnedastý zákal vody***, v dôsledku čoho poklesne prestup svetla do vody a zníži sa rýchlosť fotosyntézy vodných rastlín. Vysoký obsah Ca^{2+} a Mg^{2+} v povrchovej vode môže spôsobovať ***tvorbu uhličitanových inkrustácií*** a povlakov na povrchu vodných rastlín. Z alkalických kovov je v geotermálnych vodách najbežnejší Na. Nevhodný pomer Na/(Ca+Mg) obmedzuje vhodnosť použitia vody recipienta na zavlažovanie poľnohospodárskej pôdy. Zavlažovaním takouto vodou dôjde postupne k ***zasoleniu pôdy***. Pôda sa stáva glejovitou, stráca vzdušnosť a mikrobiologické oživenie (Fendek et al. 1999).

Zvýšený obsah plynného amoniaku (NH_3) v geotermálnych vodách je spôsobený redukčnými procesmi baktérií odoberajúcich kyslík z dusičnanov a dusitanov pre svoje životné potreby. Vplyvom prebiehajúcich prírodných procesov, alebo ľudskej činnosti sa pri náraste hodnoty pH nad 8,3 postupne mení amónny katión NH^{4+} na plynný NH_3, ktorý je veľmi ***prudkým jedom najmä pre ryby***. Z iných plynov rozpustených vo vode N_2 a CH_4 málo ovplyvňujú biologické oživenie povrchových tokov. Rozpustený CO_2 vytvára s vodou kyselinu uhličitú, ktorá pôsobí ako slabý dezinfekčný prostriedok (potlačenie mikrobiologického rozvoja). Sulfán (H_2S) býva častým plynom geotermálnych vôd v oblastiach ropných ložísk. Patrí medzi prudké nervovoparalytické jedy.

Soli halogénnych prvkov (F^-, Cl^-, Br^-, I^-) obsiahnuté v geotermálnych vodách majú ***algicídne a baktericídne účinky*** na mikroflóru a mikrofaunu povrchových vôd recipientov. Vysoký obsah rozpustených síranov spôsobuje pri poklese teploty geotermálnej vody (napr. pri jej vypúšťaní do recipienta) ich prechod do nerozpustnej formy. Vytvárajú sa tak ***nánosy a lavice na dne*** povrchových tokov.

Geotermálne vody obsahujúce H_2S, Fe, Mn, NO_3^-, NH_3, alebo SO_4^{2-} bývajú kontaminované sulfurikačnými/desulfurikačnými, nitrifikačnými/denitrifikačnými alebo železitými baktériami. Ich vnášaním do povrchových tokov a ich činnosťou dochádza k deficitu kyslíka a k vzniku anaeróbnych procesov.

V niektorých geotermálnych vodách je výrazne zvýšený obsah rozpustených rádioaktívnych látok (Rn, Ra, ^{40}K, ^{2}H, ^{3}H). Takéto vody potom nemožno vypúšťať do povrchových tokov, pretože ***dávkou žiarenia spôsobujú úhyn žiab, rýb a iných druhov živočíchov*** (Fendek et al. 1999).

6. Zneškodňovanie odpadových geotermálnych vôd

Spôsoby zneškodňovania využitých geotermálnych vôd sa navrhujú v závislosti od ich kvality a kvantity, v snahe o elimináciu ich nepriaznivých účinkov na životné prostredie a v snahe o udržanie rentability ich využívania. Pri zneškodňovaní sa geotermálne vody odvádzajú do recipientu. Ako recipient môžu byť podľa lokálnych podmienok použité moria, veľké jazerá, rieky, podzemné vody alebo umelé rezervoáre. Geotermálna voda môže byť pred samotným vypustením do recipienta fyzikálno-chemicky alebo biologicky upravená.

Zneškodňovanie vypúšťaním do mora je využívané v krajinách s prístupom k moru. Je to najvhodnejší spôsob zneškodňovania odpadových geotermálnych vôd. ***Zneškodňovanie použitých geotermálnych vôd do povrchových tokov*** závisí od ***zneškodňovacej kapacity toku*** čo je prípustné množstvo látok, ktoré môže byť v danom profile do toku vypúšťané. Legislatíva na Islande, USA, Taliansku a Maďarsku povoľuje vypúšťanie prirodzených geotermálnych vôd do povrchových tokov, naopak napr. vo Francúzsku sa vo veľkej miere využíva reinjektáž odpadových geotermálnych vôd. V niektorých lokalitách sa využitá geotermálna voda vypúšťa aj do recipientu s nižšou zneškodňovacou kapacitou. V tom prípade sa však prietok recipientu umelo zvyšuje z doplnkových zdrojov (iné vodné toky, vodné nádrže).

Zneškodňovanie využitých geotermálnych vôd vypúšťaním do podzemných vôd je možné aplikovať len vtedy, ak nedôjde k následnému zhoršeniu kvality podzemnej vody. Z tohto hľadiska sa využité geotermálne vody delia na (Fendek et al. 1999):

- vhodné na zneškodnenie vypúšťaním do podzemných vôd
- vhodné len po dostatočnom nariedení
- vhodné po fyzikálno-chemickej úprave

Pred vypúšťaním využitej geotermálnej vody do recipienta sa takáto voda ***zneškodňuje nariedením***. Pre nariedenie sa využívajú zdroje podzemných „čistých“ vôd. Spôsob nariedenia geotermálnej vody sa používa vtedy, ak najbližší vhodný recipient nemá dostatočnú zneškodňovaciu kapacitu.

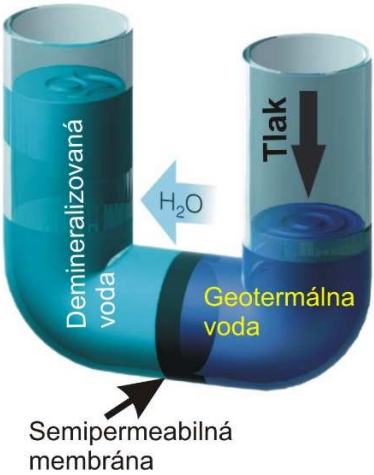
Vypúšťanie využitých geotermálnych vôd do splaškovej kanalizácie je alternatívny úsporný spôsob ich zneškodnenia nariedením. Tento spôsob sa aplikuje v oblastiach s hustým osídlením alebo intenzívnym priemyslom, kde dochádza k pravidelnému vypúšťaniu veľkého množstva vyčistenej odpadovej vody do recipientu. Filozofia myšlienky tkvie v tom, že splaškové vody majú nižšiu mineralizáciu resp. ukazovatele znečistenia ako využitá geotermálna voda.

V prípade absencie vhodného recipienta, veľmi vhodnú metódu predstavuje ***zneškodňovanie využitých geotermálnych vôd reinjektážou*** do pôvodného kolektora geotermálnej vody. Aplikácia je využívaná aj vtedy, keď ťažbou geotermálnej vody dochádza k poklesu tlaku v hydrogeotermálnej štruktúre. Ide o ekologicky najvhodnejší spôsob zneškodňovania geotermálnej vody, aj ten však ukrýva isté úskalia. Pri reinjektáži hrozí nebezpečenstvo mikrobiologickej kontaminácie kolektora, hlavne sírnymi baktériami, ktorých činnosťou môže v kolektore vznikať veľké množstvo sulfánu.

Jedným zo spôsobov zneškodňovania využitých geotermálnych vôd pred ich vypustením do recipienta je ***demineralizácia***. Voľba tohto spôsobu úpravy závisí od upravovaného množstva vody, celkovej mineralizácie, fyzikálno-chemického charakteru vody, *stupňa konverzie* (pomer množstva demineralizovanej vody ku množstvu koncentrátu) a podstatnú úlohu hrá spôsob zneškodnenia resp. využitia koncentrátu (Fendek et al. 1999).

Pri demineralizácii totiž okrem demineralizovanej vody zostáva koncentrát chemických zlúčenín. V prípade že obsahuje priemyselne a technicky využiteľné zložky (významné prvky, rádioaktívne látky),

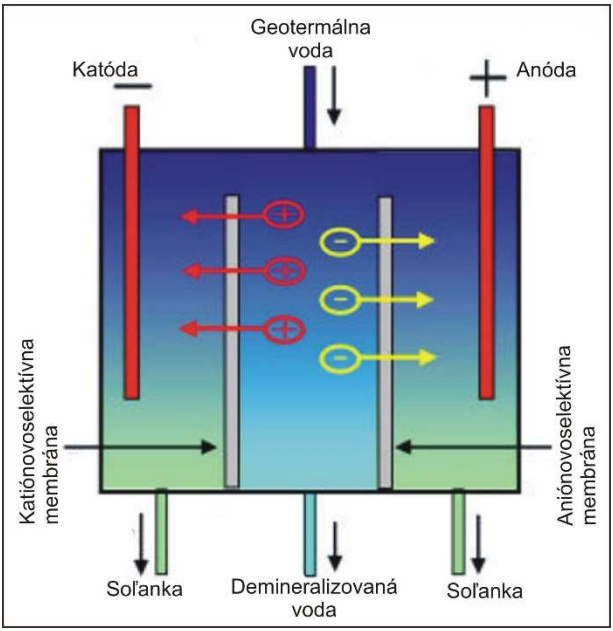
stáva sa surovinou a môže byť podrobený ďalšiemu spracovaniu. V mnohých prípadoch však koncentrát neobsahuje významné zložky a vtedy sa stáva novým odpadom, ktorého likvidácia je často veľkým problémom. V praxi sa takýto odpad najčastejšie likviduje vypúšťaním do nefunkčných hlbokých banských diel, depozíciou na skládkach kalov, prípadne sa odváža do povrchových tokov, ktoré sú schopné bezpečne ich odtransportovať do mora a tak zneškodniť. Medzi najčastejšie používané technologické postupy demineralizácie odpadových geotermálnych vôd patrí osmóza, elektrodialýza, ionexová separácia, destilácia a vymrazovanie (Hartinger 1976).



Obr. 28: Princíp reverznej osmózy (internetový zdroj 22).

Reverzná osmóza je technologický postup, pri ktorom sa pravý vodný roztok tlakovo filtruje cez semipermeabilnú membránu vyrobenú na báze organických polymérov (obr. 28). Takéto membrány zadržujú s 90-99 % účinnosťou rozpustené látky a prepúšťajú vodu. Pomocou reverznej osmózy nemôžu byť bez predúpravy upravované nepravé

roztoky a roztoky obsahujúce hydrogénuhličitany Ca, Mg, Mn..., ktorých rozpustnosť závisí od obsahu rozpusteného CO_2, pH a iných faktorov. Tieto soli spôsobujú upchávanie pórov membrán. Nevhodné sú tiež roztoky s obsahmi solí Mn a Fe. Reverzná osmóza je najvhodnejšia pre demineralizáciu nízko mineralizovaných geotermálnych vôd.



Obr: 29: Princíp elektrodialýzy (internetový zdroj 23).

Elektrodialýza je elektrochemický proces, pri ktorom sú účinkom jednosmerného prúdu priťahované z roztokov katióny ku zápornej elektróde (katóda) a anióny ku kladnej elektróde (anóda). Aby sa tieto dva „odseparované“ roztoky spätne nemiešali, musia byť od seba oddelené párom vhodne usporiadaných iónovoselektívnych membrán. Katiónovoselektívna membrána prepúšťa katióny a s účinnosťou 90-93 % zadržiava anióny, aniónovoselektívna membrána prepúšťa anióny a zadržiava 90-91 % katiónov. Pri elektrodialýze ostáva medzi

membránami postupne demineralizovaná voda (obr. 29). Membrány sú citlivé na obsah zlúčenín, ktoré sú spomenuté pri predchádzajúcej metóde. Táto technológia je pomerne náročná na spotrebu elektrickej energie. Spotreba elektriny rastie úmerne s mineralizáciou vody, pri nízko mineralizovaných vodách však postup stráca účinnosť. Elektrodialýza je teda vhodná na demineralizáciu menších množstiev geotermálnych vôd s vysokou mineralizáciou.

Ionexová separácia je metóda založená na odstránení iónov z geotermálnej vody pomocou ionexu (iónomeniču). Ionex je pórovitá vysokomolekulárna látka, ktorej základný skelet nesie na povrchu náboj. Ionexy sú väčšinou syntetické organické látky na báze styrénu, polykrylátu, fenolformaldehydových živíc a podobne. Metóda je vhodná na úpravu malých množstiev mineralizovaných vôd, alebo na odstránenie, resp. skoncentrovanie katiónov/aniónov. Na demineralizáciu geotermálnych vôd sa používa v obmedzenej miere, z dôvodu pomerne malej špecifickej výmennej kapacity ionexov. To spôsobuje potrebu veľkého objemu ionexových náplní, alebo ich častú výmenu či regeneráciu (s čím je spojená zvýšená spotreba regeneračných činidiel).

Destilácia je najstarším spôsobom demineralizácie využitých geotermálnych vôd. V praxi sa však v súčasnosti od tohto spôsobu stále viac upúšťa (veľká spotreba energie). Používa sa najmä vákuová, alebo mnohostupňová destilácia. Výhodou destilácie je získanie absolútne čistej vody. Nevýhodou je už spomenutá energetická náročnosť a korozívny/inkrustačný vplyv geotermálnych vôd na časti technologického zariadenia (zvyšovanie nákladov na demineralizáciu).

Vymrazovanie je metóda demineralizácie vychádzajúca z princípu, že voda postupne zamŕza tvorbou kryštalizačných jadier, pričom soli sa koncentrujú v zvyškovom (nezamrznutom) roztoku. Samotná aplikácia sa používa iba ojedinele (energetická náročnosť). V chladnejších oblastiach severnej Európy je možné získavať demineralizovanú vodu týmto spôsobom vymrazovaním geotermálnej vody v plytkých nádržiach (prevádzková teplota 0 až -3,5 °C), pravda za výdatnej pomoci vymrazovacích zariadení.

7. Metódy vyhľadávania zdrojov geotermálnej energie

Hlavným a východiskovým kritériom pri vyhľadávaní zdrojov geotermálnej energie je zemské teplo, resp. stupeň jeho koncentrácie. Veľmi často sa zdroje geotermálnej energie prejavujú na zemskom povrchu (gejzíry, výrony plynov, termálne pramene, tvorba pramenitov....), avšak tieto zdroje niekedy vôbec nemusia mať povrchový prejav. Z tohto dôvodu neexistuje jednotná metodika ich vyhľadávania. Vyhľadávanie geotermálnych vôd je orientované predovšetkým na rezervoáre bez ich prirodzených výverov (Franko et al. 1995). Pre optimálne vyhľadávanie geotermálnych zdrojov je potrebné uskutočniť rad činností, ktoré na seba logicky nadväzujú.

Výber a spracovanie publikovanej literatúry, nepublikovaných prác či archívnych historických dokumentov týkajúcich sa vybranej oblasti, je nutnou predprípravou pred ostatými prieskumnými aktivitami.

Vhodnou pomôckou je využitie a zhodnotenie materiálov z ***diaľkového prieskumu Zeme***. Význam diaľkového prieskumu sa znásobuje zvlášť pri územiach s veľkou rozlohou. Pomáha uskutočniť štruktúrnu analýzu územia, zostaviť geologickú mapu územia. Pomocou infračerveného snímkovania možno priamo určiť teplotné prejavy v predmetnom území.

Pomocou ***geologického mapovania*** vybraného územia možno určiť litologickú náplň územia, stanoviť hranice medzi jednotlivými horninovými typmi, určiť stratigrafické pomery a podrobnejšie vymapovať tektonické štruktúry. Geologické mapovanie sa síce robí na povrchu, no merania úložných pomerov a orientácie štruktúrnych prvkov, spolu s doplňujúcimi údajmi zo starších vrtov resp. banských diel v oblasti umožnia zostaviť model geologickej stavby územia aj do hĺbky. Miesta v záujmovom území ktoré neposkytujú dostatočné množstvo geologických informácií je vhodné preskúmať mapovacími vrtmi. Okrem geologickej mapy povrchu a vertikálnych rezov záujmového územia, sú výsledkom geologického mapovania rôzne iné

mapy, napríklad: mapa morfoštruktúr predterciérneho resp. predneogénneho podložia, mapa bázy, stropu alebo hrúbky konkrétnej záujmovej geologickej jednotky, mapa výskytov nerastných surovín, tektonická mapa apod. Súbor takýchto máp utvára ucelený obraz o geologickom charaktere geotermálnej oblasti.

Špeciálnou metódou mapovania je ***hydrogeologické mapovanie***. Hydrogeologické údaje (výdatnosť, teplota, fyzikálno-chemická charakteristika vôd) sa získavajú z prameňov, termálnych prameňov a realizovaných vrtov. Výsledkom je hydrogeologická mapa ktorá okrem iných geologických prvkov rozlišuje kolektory a izolátory geotermálnych vôd. Spolu so získanými terénnymi údajmi umožní štúdium a modeláciu podmienok režimu geotermálnych a studených vôd a ich možných vzájomných vzťahov.

Súčasne s hydrogeologickým mapovaním môže prebiehať ***geochemické mapovanie***. Ide o cielené a systematické odbery vzoriek vôd z termálnych prameňov a vrtov, rôzne merania (meranie vodivosti, pH, rádioaktivity...), chemické analýzy vôd a plynov. Pre objasnenie genézy a veku geotermálnej vody má veľký význam štúdium obsahu izotopov H, O, S, C, Sr a iných (Fendek et al. 1999).

Základný kameň pre vyhľadávanie geotermálnych zdrojov a prieskum geotermálnych oblastí však predstavujú ***geofyzikálne metódy*** (resp. geofyzikálne mapovanie). Jedným z podstatných problémov, riešenie ktorých sa od geofyziky očakáva je stanovenie geometrického tvaru geotermálnej (hydrogeologickej) štruktúry. Výber vhodných geofyzikálnych metód prieskumu určujú fyzikálne vlastnosti vôd a geologické špecifiká skúmaného územia. Vysoká teplota geotermálnych vôd v spätosti s ich obvykle vysokou mineralizáciou predurčuje predovšetkým aplikovanie regionálnej a plytkej geotermiky, diaľkového snímkovania Zeme a karotáže. Vysoká mineralizácia a obvykle zvýšený obsah CO_2, zvýšená teplota a rádioaktivita nízkotemperovaných geotermálnych a minerálnych vôd vytvárajú vhodné podmienky pre použitie geoelektrických metód, merania obsahu CO_2 v pôdnom vzduchu, plytkej termometrie a karotáže (Mareš et al.

1983). Hydrogeotermálnu štruktúru možno určiť na základe nepriamych meraní rôznych fyzikálnych parametrov v hĺbke, ako sú hustota horninového prostredia, rýchlosť šírenia sa seizmických vĺn, elektrická vodivosť a odpor, teplota, magnetická susceptibilita atď.

Magnetometrické metódy sa používajú napr. v prvej etape prieskumu záujmového územia (letecká magnetometria). Účelom magnetometrického prieskumu je identifikácia hornín demagnetizovaných hydrotermálnymi prejavmi, prípadne skrytých intrúzií s väzbou na tektonické systémy. V detailnej mierke sa magnetometria využíva na spresnenie štruktúrnej stavby, čo je vhodné zvlášť v územiach prekrytých napr. neogénnymi alebo paleogénnymi sedimentmi.

Gravimetrické metódy, doplnené o seizmiku, alebo geoelektrické metódy sú nosnou metódou geofyzikálneho prieskumu záujmového územia. V prvej etape prieskumu slúžia na zistenie základných štruktúrnych prvkov, ktoré sú vhodné na akumuláciu alebo výstup geotermálnych a minerálnych vôd. Po základnom určení geotermálnej štruktúry sa robí detailná gravimetria, pomocou ktorej sa určia hranice lokálnych pozitívnych anomálií, tiež sa lokalizujú poruchové zóny v geotermálnej štruktúre.

Geoelektrickými metódami sa zisťujú základné štruktúrne prvky územia, a ocenia sa kolektorské horniny (zvodnená hornina, alebo hornina tektonicky porušená má napr. nižší elektrický odpor a vyššiu vodivosť ako „suchá“ a neporušená hornina).

Použitie ***seizmických metód*** je veľmi vhodné v prípade prieskumu veľkých hĺbok, s požiadavkami na vyššiu presnosť meraní. Seizmika sa aplikuje hlavne pri prieskume v sedimentárnych panvách na vykreslenie hlbokých morfoštruktúr, zvodnených horizontov, priebehu tektonických línií a na identifikáciu jednotlivých rozhraní výplne sedimentárnej panvy.

Geotermické metódy sú založené na meraní teploty geologického prostredia. Teplotné anomálie sa môžu prejaviť už pri

infračervenom snímkovaní (diaľkový prieskum). Geotermické merania sa robia aj priamo, a to zisťovaním teploty na povrchu (porušenie teplotného poľa geotermálnymi zdrojmi uloženými v hĺbke, napr. výstupy termálnych vôd po zlomových štruktúrach, zmena tepelnej vodivosti v poruchových zónach). Hlbinná geotermika je založená na priamom meraní teploty vo vrtoch.

Na komplexné geofyzikálne merania vo vrtoch sa používa ***karotáž***. Je to súbor geofyzikálnych metód (geoelektrické, rádiometrické, termometria, kavernometria, inklinometria, merania hustoty...), ktorými sa skúmajú fyzikálne vlastnosti hornín a tekutín (prípadne plynov) vypĺňajúcich vrt a póry/pukliny hornín (Mareš et al. 1990).

Rádiometrické (emanometrické) metódy sa všeobecne používajú pre sledovanie žriedlových línií geotermálnych a minerálnych vôd (obvykle majú zvýšený obsah Rn, nakoľko cirkulujú po hlboko založených zlomových líniách) a pre konkrétne určenie rádioaktivity vôd. Sledovaním umelo pridaných rádioaktívnych izotopov niektorých prvkov do podzemnej vody (podmienkou je, že dodaný izotop sa nesmie prirodzene vyskytovať vo vode) možno stanoviť smer a rýchlosť pohybu podzemných vôd.

8. Geotermálna energia a jej využívanie na Slovensku

8.1 Historické aspekty geotermálnej energie na Slovensku

Obdobne ako všade vo svete (kapitola 3), aj na území dnešného Slovenska javil človek oddávna záujem o geotermálnu energiu a jej praktické využitie. Dôkazom toho sú nálezy stôp po ľudskom osídlení (ohniská, kamenné nástroje, pozostatky ulovených zvierat) s väzbou na travertíny (najmä pramenitové kopy a terasy) už v paleolite. Dokladujú záľubu človeka pobývať pri prameňoch geotermálnych vôd, ktoré ani v chladných obdobiach nezamŕzali, pričom otepľovali aj susedné toky. Teplé pramene tak vytvárali vhodné podmienky pre celoročné napájanie zvierat (zvýšená koncentrácia lovnej zveri), nehovoriac o tom, že pobyt pri nich bol pre našich predkov určite príjemnejší ako pobyt kdekoľvek inde vo voľnej krajine. Okrem praktického významu mali žriedla termálnych vôd pre človeka aj význam kultový. Najstaršie doteraz známe osídlenie s väzbou na termálne pramene je dokumentované na svetoznámej lokalite Gánovce-Hrádok (obr. 30). V okolí tunajších termálnych prameňov sa zdržiaval už predchodca neandertálskeho človeka. Lokalita je preslávená najmä nálezom výliatku mozgovne protoneandertálca, ktorého vek je stanovený na 105 000 rokov (Soják 2003). Iné pozostatky pračloveka, spolu s kamennými nástrojmi z Gánoviec sú datované na 120 000 rokov (Novotný et al. 1991). Paleolitické osídlenie tohto typu bolo odkryté na mnohých iných lokalitách s travertínmi: Hôrka-Ondrej, Behárovce-Sobotisko, Hranovnica-Hincava, Bešeňová-Skálie, Bojnice-Hradná kopa a inde (Fendek et al. 1999).

Ľudské osídlenie okolia termálnych žriediel už v staršej dobe kamennej podčiarkuje ich veľký význam a pozitívny vplyv na život človeka. Nemožno sa preto pozastavovať nad tým, že termálne pramene nestrácali tento význam ani v neolite, či v dobe bronzovej a železnej. Neskôr (stredovek) boli pramene geotermálnych vôd na území dnešného

Slovenska využívané na kúpanie, máčanie ľanu a konope, tiež na odperenie hydiny pri príprave jedál. Na ich miestach vznikali prvé kúpele, o ktorých písomné zmienky pochádzajú z obdobia 11. – 17. storočia (Piešťany, Trenčianske Teplice, Bojnice, Rajecké Teplice, Sklené Teplice, Dudince, Sliač, Lúčky, Gánovce, Vyšné Ružbachy...).

Obr. 30: Zvyšok pramenitovej kopy na svetoznámej archeologickej a paleontologickej lokalite Hrádok v Gánovciach. Foto: Štefan Ferenc

Teplé, v zime nezamŕzajúce vody, či pramene sa slovensky nazývajú tiež teplice. Tento termín sa v rôznych obmenách objavuje v geografických názvoch vodných tokov a obcí (resp. ich častí) na Slovensku, napríklad: Trenčianske Teplice, Liptovská Teplá, Liptovská Teplička, Spišská Teplica, Teplá, Tepličany, Teplá Voda a pod. Pomerne častá frekvencia výskytu takýchto názvov v rámci územia celého Slovenska zvýrazňuje nielen historický význam termálnych vôd pre človeka, ale aj pomerne veľký geotermálny potenciál našej krajiny.

Pioniersky systematický opis minerálnych vôd a liečivých kúpeľov aj z územia dnešného Slovenska podáva lekár J. Wernher.

V jeho knihe O podivuhodných vodách Uhorska (Bazilej, 1549) opisuje 22 kúpeľov a liečivých prameňov, väčšina z nich sa nachádza na našom území (Rebro 1983). V diele uvádza aj fyzikálno-chemickú charakteristiku vôd a indikačné návody na ich použitie.

Prvý geotermálny vrt na území Slovenska bol odvŕtaný v Gánovciach, za účelom získania vyššej teploty a výdatnosti geotermálnych vôd, nakoľko tunajšie kúpele boli napájané iba z prirodzených prameňov. Vrtné práce sa začali v r. 1877 a ukončili sa kvôli havárii vrtu v r. 1879 v hĺbke 183 m. Z hĺbky 30 m vytekala z vrtu voda s teplotou 21,5 °C, v hĺbke 60 m sa teplota vody zvýšila na 24 °C. Úspechom vrtu bolo zvýšenie výdatnosti napájania kúpeľov (13,5 l/s), čo umožnilo ich ďalší rozvoj (Rebro 1996). Pri prieskumných prácach na uhlie v Kováčovej bol v r. 1899 odvŕtaný vrt, z ktorého začala vytekať voda (voľný preliv) s teplotou na ústí vrtu 40,5 °C (výdatnosť 12,5 l/s). Na základe takto získaného zdroja geotermálnej vody tu vznikli kúpele a neskôr i termálne kúpalisko.

Vôbec prvé využite geotermálnych vôd na energetické účely je opäť spojené s kúpeľmi a datuje sa od r. 1958. Vtedy sa začalo s experimentálnym využívaním geotermálneho tepla na vykurovanie obytných a hospodárskych budov kúpeľov. Odskúšané boli tri základné systémy a to priame vykurovanie termálnou vodou (Piešťany, Kováčová, Sklené Teplice), vykurovanie pomocou tepelných čerpadiel (Piešťany, Turčianske Teplice) a vykurovanie/ohrev úžitkovej vody cez tepelné výmenníky v Piešťanoch, Turčianskych Tepliciach a Kováčovej (Fendek et al. 1999).

8.2 Geologická stavba a vývoj Slovenska

Pre pochopenie distribúcie a potenciálu zdrojov geotermálnej energie na Slovensku je potrebné sa aspoň v náznaku zoznámiť s geodynamickým vývojom územia slovenských Karpát a ich súčasným geologickým obrazom. Informácie o geologickej stavbe Slovenska a jej

vývoji sú vhodne „v kocke“ podané napr. v prácach: Kováč et al. (1993), Biely et al. (1996), Plašienka et al. (1997), Hók et al. (2001), Kováč a Plašienka (2003) a Hók et al., (2014).

Karpaty sú súčasťou európskeho alpínskeho orogénu, ktorý vznikol postupným zatváraním oceánu Tethys v mezozoiku (druhohory) a terciéri (treťohory). Tento oceán sa rozprestieral medzi megakontinentmi Lauráziou a Gondwanou. Stredozemné more, umiestnené v jazve medzi Afrikou a Európou predstavuje posledný zvyšok oceánu Tethys.

Územie väčšiny Slovenska patrí do horskej sústavy Západných Karpát. Podľa niektorých názorov, časť východného Slovenska (Bukovské vrchy, Nízke Beskydy...) prináleží k Východným Karpatom, resp. predstavuje prechodnú oblasť medzi Východnými a Západnými Karpatmi. Pre horské časti Slovenska sú charakteristické veľké, pretiahnuté chrbty, medzi ktorými sa nachádzajú výrazné kotliny a vnútrohorské depresie. Južnej časti nášho územia dominujú rozsiahle nížiny, predstavujúce výbežky panónskej panvy.

Pre geologickú stavbu Slovenska je charakteristická príkrovová stavba na ktorej sa zúčastňujú horninové komplexy od staršieho paleozoika po paleogén. Vergencia (smer násunu) príkrovov počas alpínskej orogenézy bola generálne z J na S. Na základe priestorového rozmiestnenia jednotlivých horninových (príkrovových) jednotiek, ich vzájomných vzťahov a časového ukončenia ich tektonickej individualizácie (vrásnenia), možno Západné Karpaty rozdeliť na niekoľko jednotiek rôzneho rádu (tab. 5).

EXTERNIDY	Externé Západné Karpaty (EZK)	- čelná priehlbina	
		- flyšové pásmo	krosnenská skupina príkrovov magurská skupina príkrovov
		- bradlové pásmo	čorštýnska sekvencia kysucko-pieninská sekvencia
INTERNIDY	Centrálne Západné Karpaty (CZK)	- pribradlové pásmo	klapská sekvencia manínska sekvencia
		- pásmo jadrových pohorí	tatrikum fatrikum hronikum
		- veporské pásmo	veporikum hronikum silicikum
		- gemerské pásmo	gemerikum silicikum
	Interné Západné Karpaty (IZK)	- meliatske pásmo	meliatikum turnaikum silicikum
		- zemplínske pásmo	zemplinikum
POTEKTONICKÉ (POPRÍKROVOVÉ) FORMÁCIE: - vrchnokriedové až kvartérne sedimenty (výplne paniev) - neogénny až kvartérny vulkanizmus (neovulkanity)			

Tab. 5: Zjednodušený prehľad geologickej stavby slovenskej časti Karpát (podľa: Kováč et al. 1993., Kováč a Plašienka 2003).

Dve najzákladnejšie jednotky predstavujú internidy a externidy. Tektonická individualizácia interníd bola ukončená pred koncom vrchnej kriedy (cca pred 65 miliónmi rokov), externidy boli zvrásnené v terciéri (30 – 12 miliónov rokov). Jednotky interníd obsahujú aj relikty hercýnskej orogenézy (devón až perm), ktoré sú však pretvorené a inkorporované do alpínskych jednotiek. Deliacim elementom interníd a externíd je bradlové pásmo, ktoré bolo vrásnené jednak s internidami, ale tiež aj s externidami, na základe čoho je zaradené ku externidám. Internidy rozdeľujeme na centrálne Západné Karpaty (CZK) a interné Západné Karpaty (IZK), následne do pásiem a superjednotiek, ktoré

budú podrobnejšie komentované v ďalšom texte. Osobitnú kapitolu tvoria popríkrovové formácie Karpát, vznikajúce po ukončení presunu príkrovov interníd pred vrchnou kriedou. Patria sem relikty sedimentárnej výplne vrchnokriedových paniev, hlavne však výplne paleogénnych a neogénnych paniev. V súvislosti s vrásnením flyšového a bradlového pásma (externidy) a vznikom neogénnych paniev došlo v oblasti interníd k stenčovaniu zemskej kôry, čo viedlo k intenzívnemu zaoblúkovému vulkanizmu, ktorého produkty sú známe najmä zo stredného a východného Slovenska (neogénne-kvartérne vulkanity, tzv. neovulkanity). Rozšírenie tektonických jednotiek, ako i popríkrovových formácií na Slovensku je ilustrované na obrázku 31.

Za **EXTERNIDY (EZK)** sú považované (od S na J): čelná priehlbina, flyšové pásmo a bradlové pásmo (tab. 5).

Čelná priehlbina (predhlbeň) predstavuje najsevernejší segment Západných Karpát, no na území Slovenska nezasahuje. Je tvorená prevažne piesčitými a ílovitými sedimentmi neogénneho veku. Podľa novších názorov (Hók et al. 2014) predstavujú sedimenty čelnej priehlbiny autochtónny obal Európskej platformy na ktorý sú presunuté karpatské príkrovy (flyšové pásmo), teda čelná priehlbina v tomto zmysle nie je súčasťou Západných Karpát.

Flyšové pásmo pozostáva zo zložitej sústavy čiastkových príkrovov. Vystupuje v Bielych Karpatoch, Javorníkoch, Západných Beskydách a Nízkych Beskydách (obr. 31). Na sever Kysúc a východného Slovenska zasahuje ***krosnianska skupina príkrovov*** (krosnianska zóna). Ide o systém jursko-kriedových až paleogénnych litostratigrafických jednotiek rozličnej paleogeografickej povahy. Hlavné litologické typy predstavujú ílovce a pieskovce. Pre krosniansku zónu je charakteristický výskyt čierneho rohovca (menilit), čo je silicit, ktorý vznikol nahromadením mikroskopických schránok rozsievok. ***Magurská skupina príkrovov*** (magurská zóna) buduje podstatnú časť flyšového pásma na našom území. Je tvorená hlavne paleogénnymi pieskovcami a ílovcami, kriedové sedimenty sú tu zastúpené podradnejšie. Predpokladaný hĺbkový dosah flyšového pásma

v západnej časti Slovenska je 5-6 km, vo východnej časti (Nízke Beskydy) až 10-12 km.

Bradlové pásmo (pieninské bradlové pásmo) sa vynára na západnom Slovensku pri Podbranči, odkiaľ pokračuje Považím cez Oravu do Poľska. Na našom území sa opäť objavuje v oblasti Pienin, odkiaľ pokračuje smerom na JV do oblasti Humenného, ponára sa pod vulkanity Vihorlatu a pokračuje na Ukrajinu (obr. 31). Je najzložitejším pásmom Karpát. Mimoriadna zložitosť stavby bradlového pásma je podmienená dvojitým tektonických prepracovaním – v kriede spolu s internidami a v terciéri spolu s flyšovým pásmom. Stavba je tiež komplikovaná zlomami s horizontálnymi posunmi jednotlivých blokov. Názov bradlového pásma je odvodený od charakteristickej morfotektonickej črty – strmé skalné útvary (bradlá) výrazne vystupujú nad okolitý, mäkko modelovaný reliéf. Samotné bradlá sú budované intenzívne zvrásnenými jurskými a spodnokriedovými vápencami a dolomitmi, ktoré sú odolnejšie voči zvetrávaniu. Vystupujú spod mäkších, na erozívnu dezintegráciu náchylnejších slienitých až ílovitých sedimentov vrchnokriedového a paleogénneho veku. Najrozšírenejšími sedimentárnymi sekvenciami bradlového pásma sú plytkovodná ***čorštýnska sekvencia*** (jurské vápence s bohatým výskytom fosílií, krinoidové vápence) a hlbokovodná ***kysucko-pieninská sekvencia*** (jurské slienité a kalové vápence, rádiolarity). Tieto dve faciálne kontrastné sekvencie sa spoločne nazývajú ***oravikum*** a dokazujú, že dnešná podoba bradlového pásma vznikla transformáciou členitého sedimentačného bazénu na sústavu severovergentných pripovrchových príkrovov. Bradlové pásmo je v rámci stavby Karpát veľmi strmo postavené a predpokladá sa jeho hĺbkový dosah viac ako 10 km.

INTERNIDY predstavujú časť slovenských Karpát, ktoré sa nachádzajú južne od bradlového pásma. Do **centrálnych Západných Karpát (CZK)** sú zaradené pribradlové pásmo, pásmo jadrových pohorí, veporské a gemerské pásmo. Pre CZK sú charakteristické dva druhy tektonických jednotiek, resp. príkrovov. Prvá skupina, tatrikum, veporikum a gemerikum sú budované predvrchnokarbónskym

fundamentom na ktorom ležia horniny mladšieho paleozoika a mezozoika (príkrovy fundamentu). Druhú skupinu predstavujú bezkoreňové (superficiálne) príkrovy, zložené z hornín mezozoika, niekedy aj mladšieho paleozoika (fatrikum, hronikum, silicikum), ktoré pri tektonickom prepracovaní a presune celkom stratili kontinuitu so svojim podkladom (fundamentom). Silicikum je najvrchnejší superficiálny príkrov a vystupuje ako v CZK, tak aj v IZK (tab. 5). Zvláštne postavenie má pribradlové pásmo, známe iba na Považí a Orave.

Pribradlové pásmo, tvorené klapskou a manínskou jednotkou bolo chápané ako integrálna súčasť bradlového pásma (teda externíd). Neustále stúpajúca báza poznatkov o tektonických procesoch však umožňuje tvrdenie, že tieto jednotky majú vnútrokarpatský pôvod a do štruktúry bradlového pásma boli tektonicky inkorporované. Predstavujú teda akúsi prechodnú zónu medzi bradlovým pásmom a pásmom jadrových pohorí. ***Klapská sekvencia*** je reprezentovaná kriedovými pieskovcami, ílovcami a bridlicami, typické sú polohy tzv. exotických zlepencov. ***Manínska sekvencia*** je charakteristická hlavne plytkovodnými vápencami spodnej jury a spodnej kriedy, ale i vrchnokriedovým flyšom. Je sporné, či táto jednotka predstavuje čelnú časť tatrika, alebo fatrika.

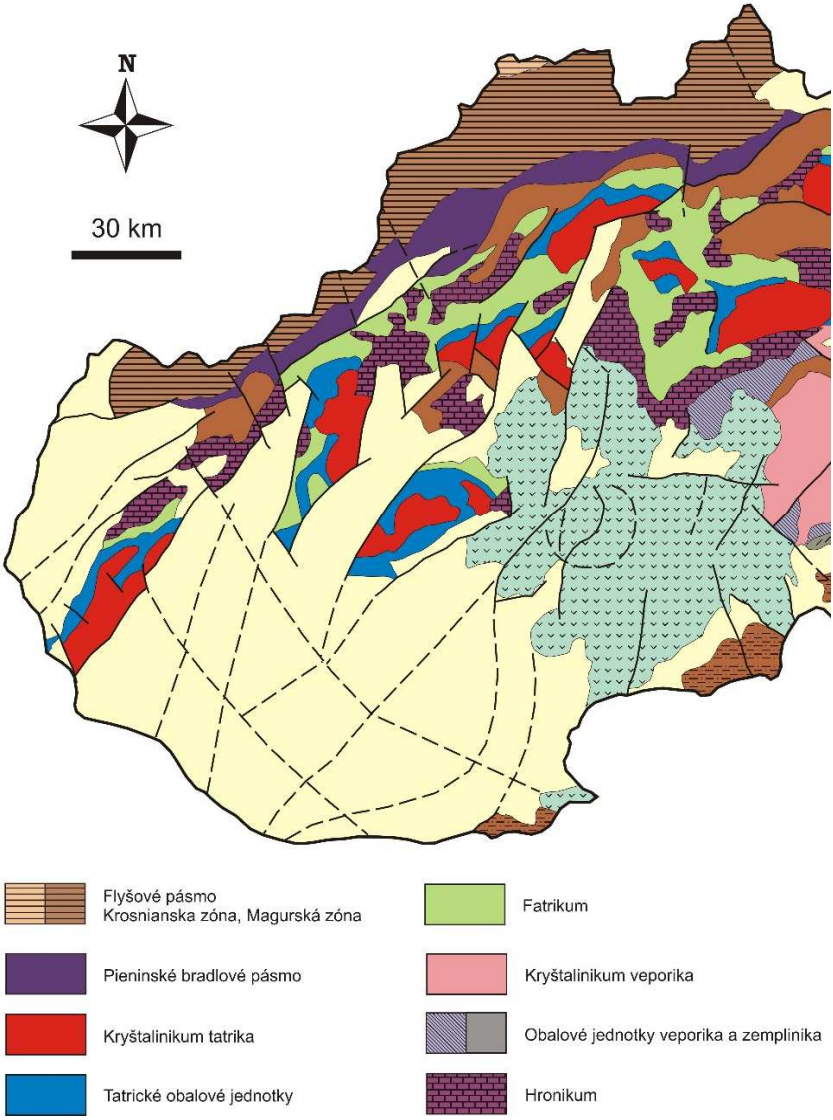
Pásmo jadrových pohorí (tiež fatransko-tatranské pásmo) pozostáva z tatrika a zo superficiálnych jednotiek fatrika a hronika. ***Tatrikum*** vystupuje v tzv. jadrových pohoriach (obr. 31): Malé Karpaty, Považský Inovec, Žiar, Strážovské vrchy, Malá a Veľká Fatra, Starohorské vrchy, Vysoké a Západné Tatry, ďumbierska časť Nízkych Tatier, zoborská časť Tribeča a v Branisku (S časť - Smrekovica). Pozostáva z kryštalinického jadra, ktoré je budované vrchnopaleozoickými granitoidmi a hercýnsky aj alpínsky metamorfovanými horninami (ruly, amfibolity, migmatity, svory). Na kryštalinikum nasadá v normálnom stratigrafickom slede obal, pozostávajúci z permských až strednokriedových sedimentov. Na tatrikum (jadro + obal) sú nasunuté tzv. subtatranské príkrovy: spodný -

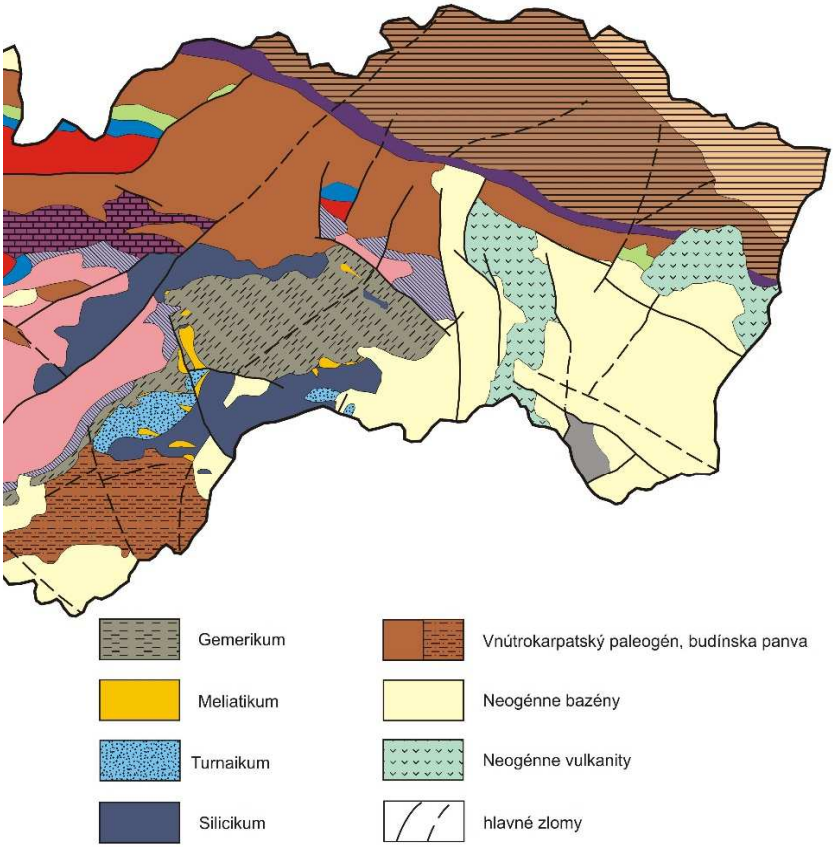
fatrikum (krížňanský príkrov) a vrchný - hronikum (chočský príkrov). Tektonickou hranicou medzi pásmom jadrových pohorí a veporským pásmom (resp. medzi tatrikom a veporikom) je čertovická línia.

Fatrikum predstavuje systém superficiálnych čiastkových príkrovov ležiacich na tatriku. Vyskytuje sa v pásme jadrových pohorí (obr. 31). Stratigrafický rozsah fatrika je variabilný. Litologická náplň pozostáva hlavne zo sedimentárnych hornín (prevaha karbonátov) spodnotriasového až vrchnokriedového veku.

Hronikum predstavuje, obdobne ako fatrikum, skupinu bezkoreňových čiastkových príkrovových telies, so stratigrafickým rozpätím karbón až spodná krieda. Je známe hlavne z jadrových pohorí, ale i z veporského pásma (Kozie chrbty., obr. 31). V mladšom paleozoiku (karbón, perm) sú charakteristické najmä klastické horniny (pieskovce, zlepence, bridlice) a bázické vulkanity (tzv. melafýry). Mezozoické sekvencie sú budované prevažne vápencami a dolomitmi.

Vo **veporskom pásme** vystupuje veporikum s.s., na ktoré sú tektonicky naložené superficiálne príkrovy hronika a silicika. ***Veporikum*** buduje skýcovskú časť Tribeča, Veporské vrchy, Stolické vrchy a Revúcku vrchovinu, kráľovohoľské Nízke Tatry, južnú časť Braniska (Sľubica) a Čiernu horu (obr. 31). Vystupuje v podloží stredoslovenských neovulkanitov, tu však na povrch spod vulkanických hornín vystupuje len vo forme ostrovov (Sklené Teplice, Zvolen). Kryštalinikum veporika je tvorené predovšetkým vrchnopaleozoickými granitoidmi a hercýnsky/alpínsky metamorfovanými horninami v rôznom stupni premeny (fylity, ruly, amfibolity, migmatity, svory). Tieto metamorfity, obdobne ako metamorfity tatrického kryštalinika reprezentujú pôvodný staropaleozoický obal (sedimenty, vulkanity) do ktorého intrudovali granitoidy. Obalové sekvencie veporika sú tvorené sedimentárnymi horninami (kremence, bridlice, karbonáty) s vrstevným sledom od permu po spodnú kriedu. Veporikum je nasunuté na tatrikum pozdĺž čertovickej línie.


N
30 km
Flyšové pásmo
Krosnianska zóna, Magurská zóna
Pieninské bradlové pásmo
Kryštalinikum tatrika
Tatrické obalové jednotky
Fatrikum
Kryštalinikum veporika
Obalové jednotky veporika a zemplinika
Hronikum



Obr. 31: Tektonická schéma slovenskej časti Karpát (podľa: Vozár a Káčer eds. 1998).

Silicikum je štruktúrne najvyššou tektonickou jednotkou alpínskej príkrovovej stavby Západných Karpát. Vystupuje ako vo veporskom, tak aj v gemerskom a v meliatskom pásme. Je známe zo Slovenského krasu, Slovenského raja, Muránskej planiny a Galmusu (obr. 31). Permské až spodnotriasové sekvencie silicika majú piesčito-bridličnatý vývoj s polohami evaporitov. Podstatnú časť silicika buduje hrubý komplex triasových vápencov a dolomitov, ktoré tvoria charakteristické krasové planiny.

Najvýznamnejšou tektonickou jednotkou **gemerského pásma** je ***gemerikum*** s.s., ktoré geomorfologicky buduje Volovské vrchy (Spišsko-gemerské rudohorie., obr. 31). Fundament gemerika, je na rozdiel od fundamentu tatrika a veporika dominantne budovaný nízkometamorfovanými horninami staropaleozoického veku (fylity, porfyroidy, čierne bridlice). Obalové sekvencie gemerika sú tvorené najmä mladopaleozoickými vulkanosedimentárnymi komplexmi, v najvrchnejšom perme až spodnom triase prevláda lagunárna sedimentácia s výskytom evaporitov. Gemerikum je nasunuté na severnejšie umiestnené veporikum pozdĺž lubenícko-margecianskej línie. V oblasti Slovenského krasu aj pri Dobšinej je na gemerikum nasunuté silicikum.

V **interných Západných Karpatoch (IZK)** sú známe dve samostatné pásma – meliatske a zemplínske pásmo.

V **meliatskom pásme** existujú tri samostatné tektonické superjednotky. Meliatikum s.s. a turnaikum, ktoré vystupujú spod príkrovov silicika. Nachádzajú sa na juhu Spišsko-gemerského rudohoria a v oblasti Slovenského krasu (obr. 31). ***Meliatikum*** je v dnešnom morfologickom zreze známe len z reliktov. Ide o sutúru po uzatvorení tzv. Meliatského oceánu vo vrchnej jure až spodnej kriede (subdukcia oceánskej kôry). Horninovú náplň meliatika predstavuje tektonická melanž triasových karbonátov rádiolaritov a vulkanitov v tmavých bridliciach jurského veku. Postupné uzavretie oceánskej domény meliatika spôsobilo presun horninových komplexov, ktoré sedimentovali

na jej južnom okraji. Z nich vznikli tektonické telesá turnaika a silicika, ktoré sa v dnešnej pozícii nachádzajú v nadloží meliatika.

Turnaikum sa vyskytuje v podloží silicika. Stratigrafický záznam turnaika je od vrchného karbónu po vrchný trias. Na rozdiel od silicika je väčšina súvrství turnaika metamorfne postihnutá. Charakteristickými litotypmi sú rohovcové vápence a tmavé bridlice s vložkami vulkanitov (trias).

Zemplínske pásmo obsahuje tektonickú jednotku ***zemplinikum***, ktorej zaradenie nie je doteraz uspokojivo vyriešené. Na povrch vystupuje v Zemplínskych vrchoch, plošne zanedbateľný výskyt kryštalinika sa nachádza pri Byšte (obr. 31). Názory na pôvod zemplinika sa u rôznych autorov odlišujú. Jedna skupina koreluje zemplinikum s veporikom, ďalšia ho považuje za jednotku maďarského stredohoria, iná za súčasť východoeurópskej platformy. Kryštalinikum zemplinika je budované pomerne vysokometamorfovanými horninami (ruly, migmatity, amfibolity). Obal kryštalinika je tvorený kontinentálnymi sedimentmi permu a karbónu, v ktorom sú vyvinuté sloje antracitu. V nadloží mladopaleozoických hornín sa nachádzajú kremence a karbonáty triasu.

Popríkrovové formácie slovenských Karpát reprezentujú sedimenty panvovej výplne od vrchnej kriedy, no predovšetkým paleogénneho a neogénneho veku, spolu s produktmi neogénneho až kvartérneho vulkanizmu. Tieto diskordantne a transgresívne prekrývajú príkrovovú (paleoalpínsku) stavbu Karpát.

Vrchnokriedové sedimenty sa zachovali iba sporadicky v oblasti Myjavskej pahorkatiny, pri Moldave n. Bodvou, Dobšinskej ľadovej jaskyni a Šumiaci. Litologicky sú to zlepence, pieskovce, menej ílovce a vápence morského pôvodu.

Paleogénne sedimenty sa litologicky delia na podtatranskú skupinu a budínsky vývoj (obr. 31). Sedimenty podtatranskej skupiny sa nachádzajú v Skorušinských vrchoch, Spišskej Magure, Levočských vrchoch, Bachurni, Šarišskej vrchovine a najmä v terciérnych kotlinách

(Žilinská, Turčianska, Hornonitrianska, Podtatranská, Hornádska kotlina, Horehronské podolie). Litologickú náplň reprezentujú zlepence, no hlavne pieskovce a ílovce morského pôvodu. Budínsky vývoj paleogénu je známy iba na juhu Slovenska (Štúrovo, Lučenecká kotlina), nevystupuje na povrch a je známy iba z vrtov (prekrytie sedimentmi neogénu). Je charakteristický striedaním sa brakickej a morskej sedimentácie, výskyty uhlia poukazujú na kontinentálnu sedimentáciu. Hrúbka paleogénnych súvrství je premenlivá, v kotlinách dosahuje do 1,5-2 km, v Levočských vrchoch až 3-5 km.

Sedimenty neogénu vypĺňajú rozsiahle panvy (Viedenská, Dunajská, Východoslovenská) a menej rozsiahle vnútrohorské kotliny (Trenčianska, Ilavská, Oravská, Bánovská, Hornonitrianska, Turčianska, Žiarska, Zvolensko-slatinská a Rožňavská kotlina). Ipeľská, Rimavská a Lučenecká kotlina sú často spoločne označované ako Juhoslovenská panva. Litologicky sú sedimenty reprezentované hlavne nespevnenými štrkmi, ílmi a pieskami. V sedimentárnej výplni sú lokálne zastúpené polohy vulkanitov a vulkanoklastík, tiež aj uhoľné sloje. Sedimentárna výplň paniev dosahuje často niekoľko km (5-7 km) a leží diskordantne a transgresívne na svojom podloží.

Neovulkanity sa nachádzajú hlavne v stredoslovenskej a východoslovenskej oblasti. V stredoslovenskej oblasti sú vulkanické pohoria Kremnické a Štiavnické vrchy, Vtáčnik, Pohronský Inovec, Poľana, Javorie, Ostrôžky a Krupinská planina. Vo východoslovenskej oblasti sa nachádzajú Slanské vrchy, Vihorlat a Popriečny. Vulkanické horniny sú reprezentované hlavne andezitmi, potom dacitmi, ryolitmi, ryodacitmi, bazaltmi, bazanitmi a príslušnými vulkanoklastikami. Hrúbka neogénnych vulkanických komplexov dosahuje do 2,5 km. Väčšina vulkanitov vznikala v miocéne (cca 20 – 11 mil. rokov), bázické vulkanity Cerovej vrchoviny sú o niečo mladšie, vznikali vo vrchnom miocéne (cca 8 mil. rokov), pričom vulkanická aktivita trvala až do kvartéru. Najmladší prejav vulkanizmu na Slovensku je datovaný na 130 000-140 000 rokov, ide o prúdy nefelinických bazanitov na lokalite Pútikov vŕšok pri Novej Bani.

8.3 Geotermálne pole Slovenska

Podľa priemernej hustoty tepelného toku (82 mW · m^{-2}) má územie Slovenska zvýšenú geotermálnu aktivitu. Obdobne hodnota geotermálneho gradientu do 1000 m 39 °C · km^{-1} je vyššia ako celosvetový priemer (30 °C · km^{-1}). Geotermálne pole na území Slovenska je však výrazne variabilné. Jeho lokálny charakter a priestorovú distribúciu geotermálnej aktivity určujú nasledujúce faktory (Franko et al. 1995):

- rozličná hrúbka kôrových segmentov slovenských Karpát (inými slovami rôzna hrúbka zemskej kôry), ktorá má za následok nerovnomerný príspevok tepla zo zemského plášťa
- priebeh hlavných diskontinuít a hlboko založených tektonických štruktúr
- priestorové rozloženie neogénneho vulkanizmu
- distribúcia rádioaktívnych zdrojov vo vrchných častiach zemskej kôry
- hydrogeologické pomery

Teplotné pole v hĺbkach pod 3 km je ovplyvnené geotermálnou aktivitou hlbokých morfologických štruktúr zemskej kôry (obr. 32., 33). Teplotné pole do hĺbky 3 km (obr. 34., 35) je do veľkej miery formované hydrogeologickými pomermi. Jeho variabilita je tiež ovplyvňovaná geomorfológiou terénu, prítomnosťou plytkých, tepelne aktívnych tektonických štruktúr, prejavmi neogénneho vulkanizmu a samozrejme aj distribúciou hornín s lepšou či horšou tepelnou vodivosťou.

Územie Slovenska možno z hľadiska geotermálnej aktivity rozdeliť na dve časti. Relatívne nízke teploty v hĺbke a nízke hodnoty povrchového tepelného toku sú charakteristické pre centrálnu a severnú časť interníd a pre západnú časť flyšového pásma. Vysoké podpovrchové teploty a povrchový tepelný tok sú typické pre neogénne panvy a neogénne vulkanické pohoria. Prechodná geotermálna aktivita je charakteristická pre územia interníd budované paleogénnymi horninami a pre východnú časť flyšového pásma (obr. 35).

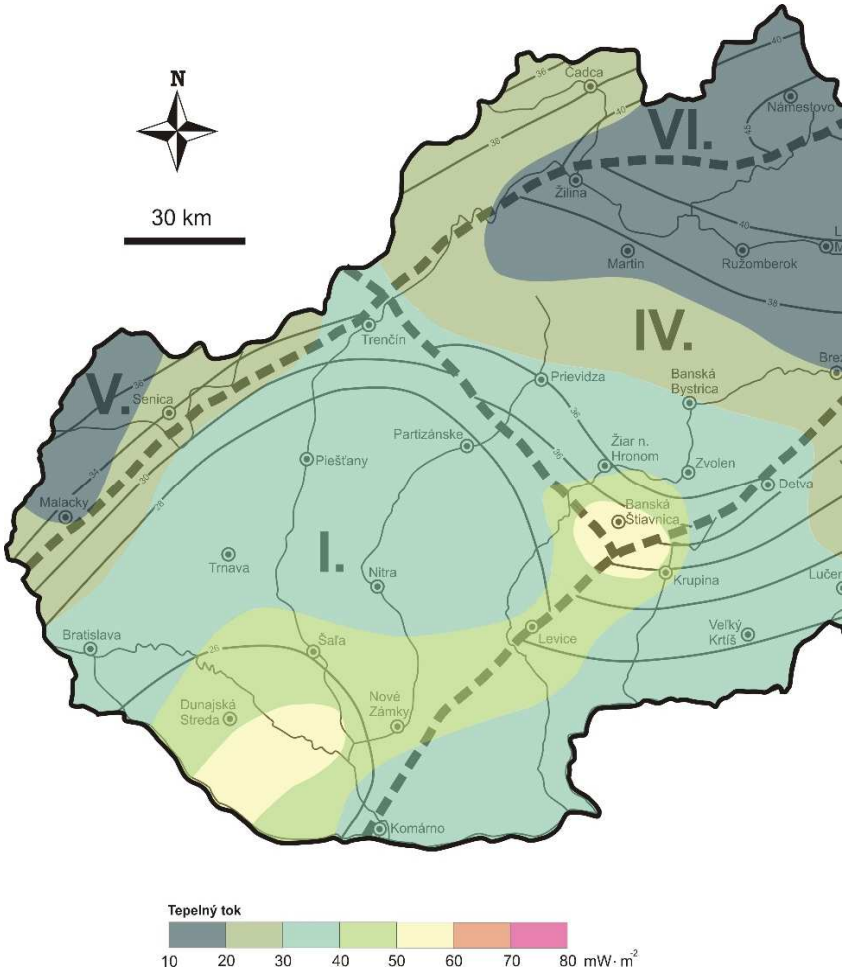
Výskyt vysokých tepelných tokov (resp. teplôt kôry) sa teda viaže na oblasti s oslabenou zemskou kôrou, zatiaľ čo nízky tepelný tok (a teploty) je charakteristický pre územia s jej zvýšenou hrúbkou (tab.6., 7). V regionálnej mierke klesá geotermálna aktivita slovenských Karpát v smere od vnútorných štruktúr k vonkajšej časti karpatského oblúku (Franko et al. 1995).

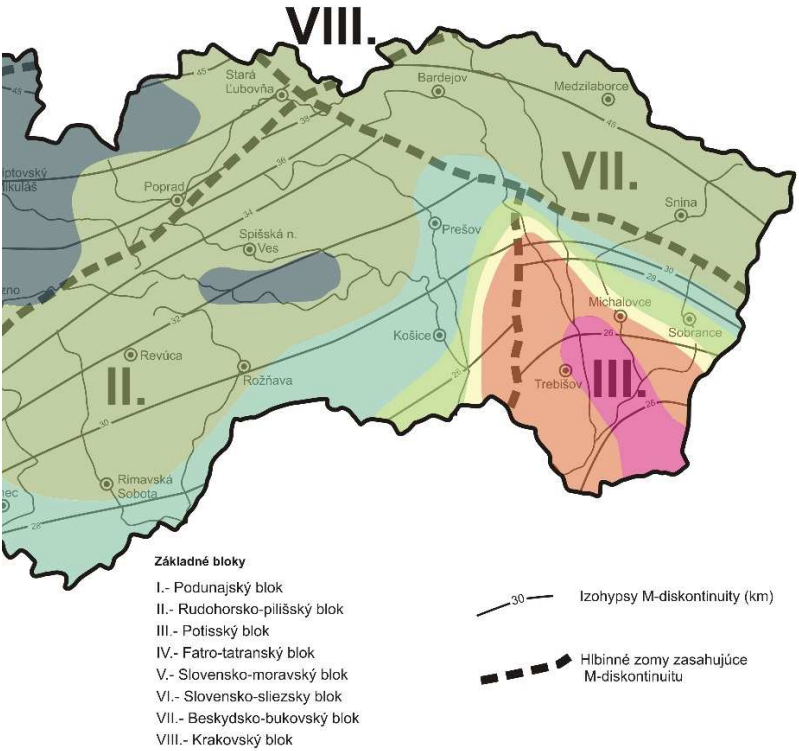
Územie	**Q**
Západné Karpaty	82
Flyšové pásmo	65
Slovenské rudohorie	62
Jadrové pohoria	70
Vnútrohorské kotliny	66
Stredoslovenské neovulkanity	94
Juhoslovenská panva (V časť)	62
Viedenská panva	44
Podunajská panva	79
Trnavský záliv	65
Topoľčiansky záliv	68
Východoslovenská panva	111
Košická kotlina	95
Východoslovenské neovulkanity	73

Tab. 6: Priemerná hustota tepelného toku Q (mW . m^{-2}) v rôznych celkoch Slovenska (podľa: Franko et al. 1995).

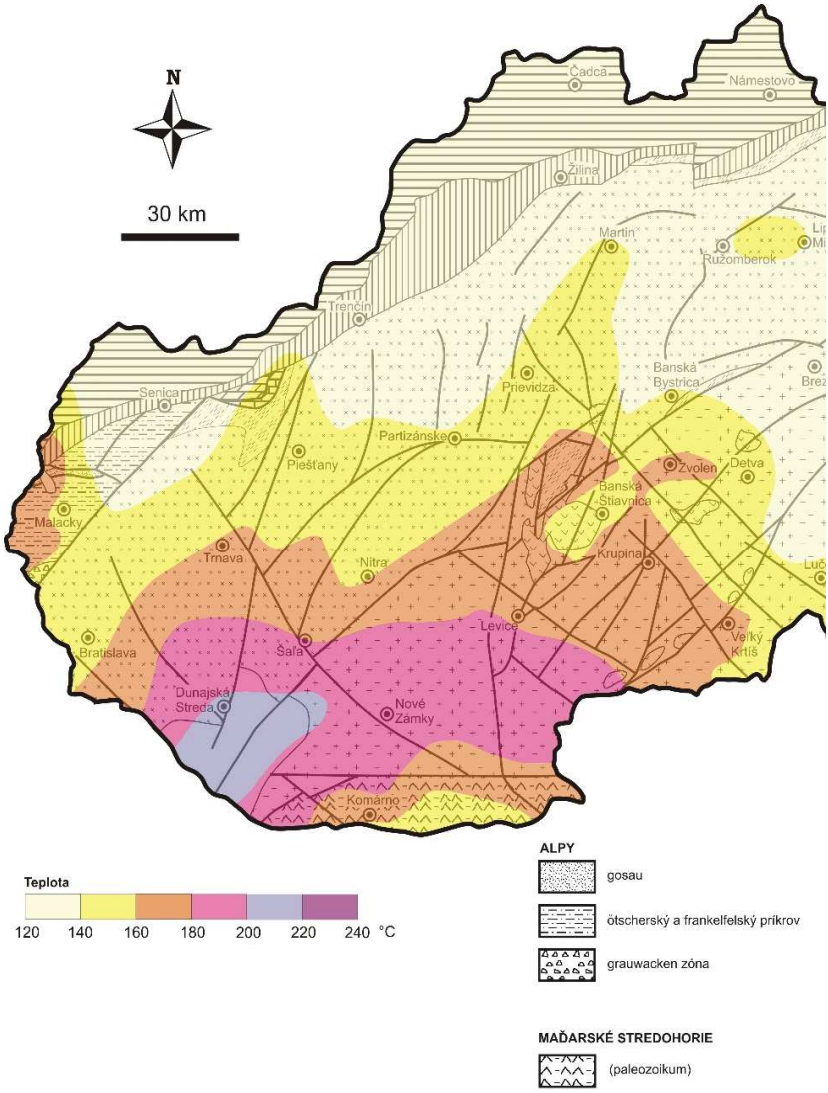
Územie	**T1000**	**T3000**	**T6000**
Západné Karpaty	45	107	194
Východoslovenská panva	57	139	245
Externidy	44	101	179
Stredoslovenské neovulkanity	45	105	187
Podunajská panva	50	119	215
Viedenská panva	47	107	169
Slovenské rudohorie	31	77	159
Juhoslovenská panva	38	96	175
Vnútrohorské kotliny	38	86	165

Tab. 7: Priemerné teploty v rozličnej hĺbke na Slovensku (°C). Teploty v hĺbkach 3000 a 6000 m boli vo väčšine prípadov stanovené výpočtom. (Franko et al. 1995).

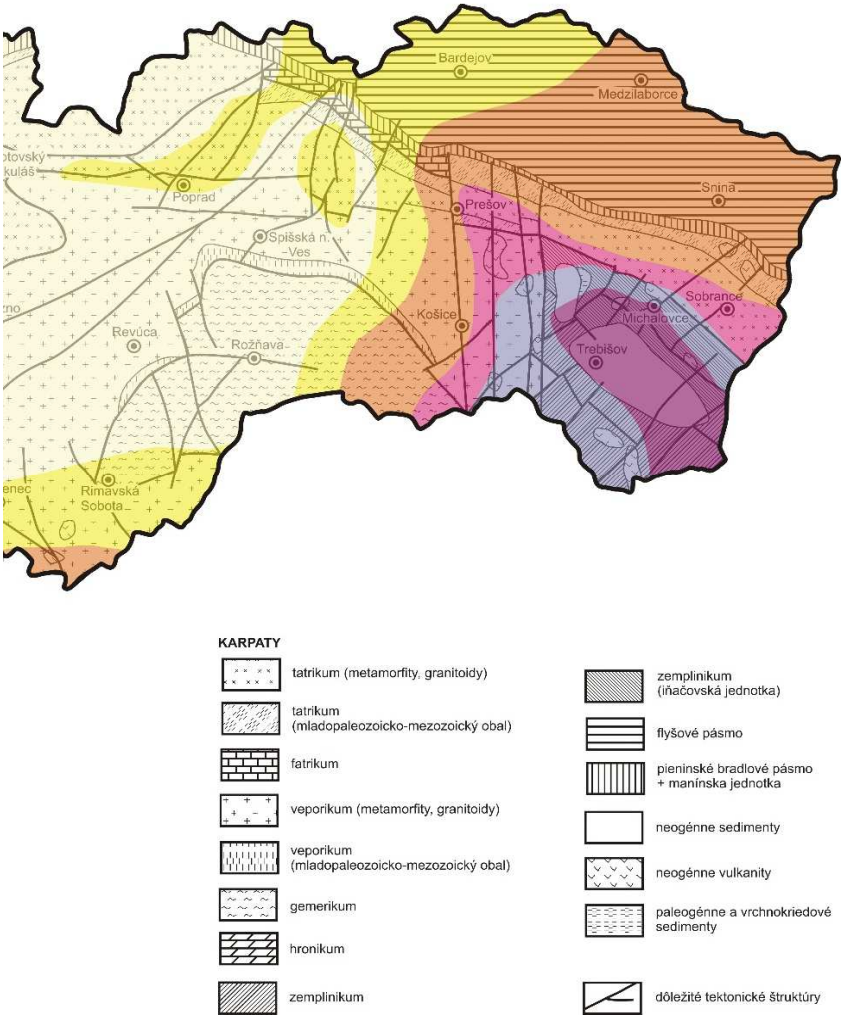

N
30 km
VI.
IV.
V.
I.
Čadca
Námestovo
Žilina
Martin
Ružomberok
Trenčín
Prievidza
Banská Bystrica
Senica
Partizánske
Žiar n. Hronom
Zvolen
Piešťany
Detva
Malacky
Banská Štiavnica
Trnava
Nitra
Krupina
Bratislava
Šaľa
Levice
Veľký Krtíš
Dunajská Streda
Nové Zámky
Komárno
Tepelný tok
10 20 30 40 50 60 70 80 mW · m-2

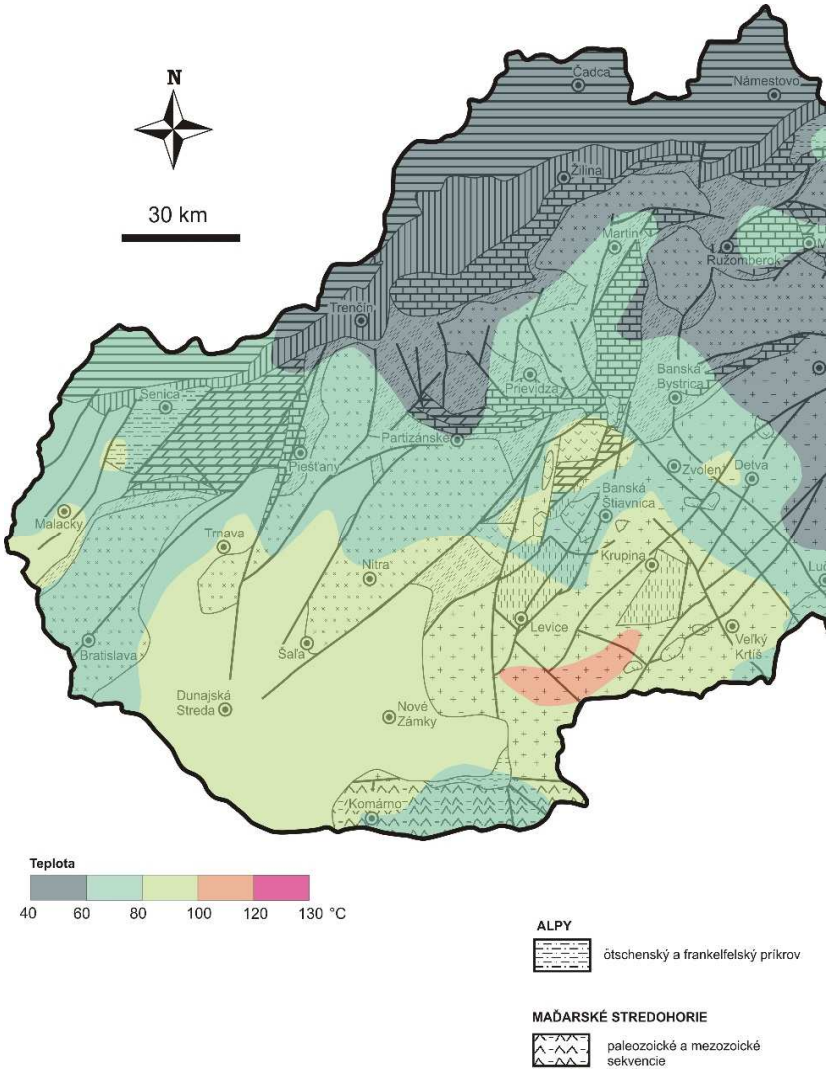


Obr. 31: Tepelný tok v území Slovenska na úrovni Mohorovičićovej (Moho) diskontinuity (podľa Franko et al. 1995).

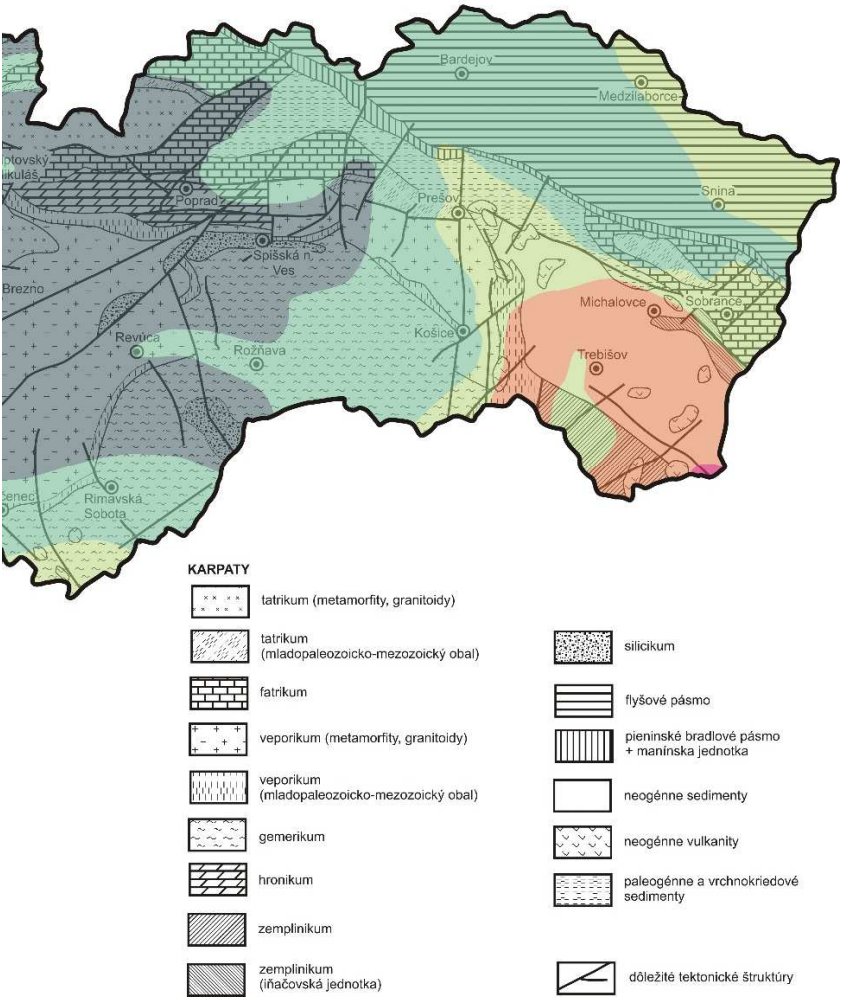


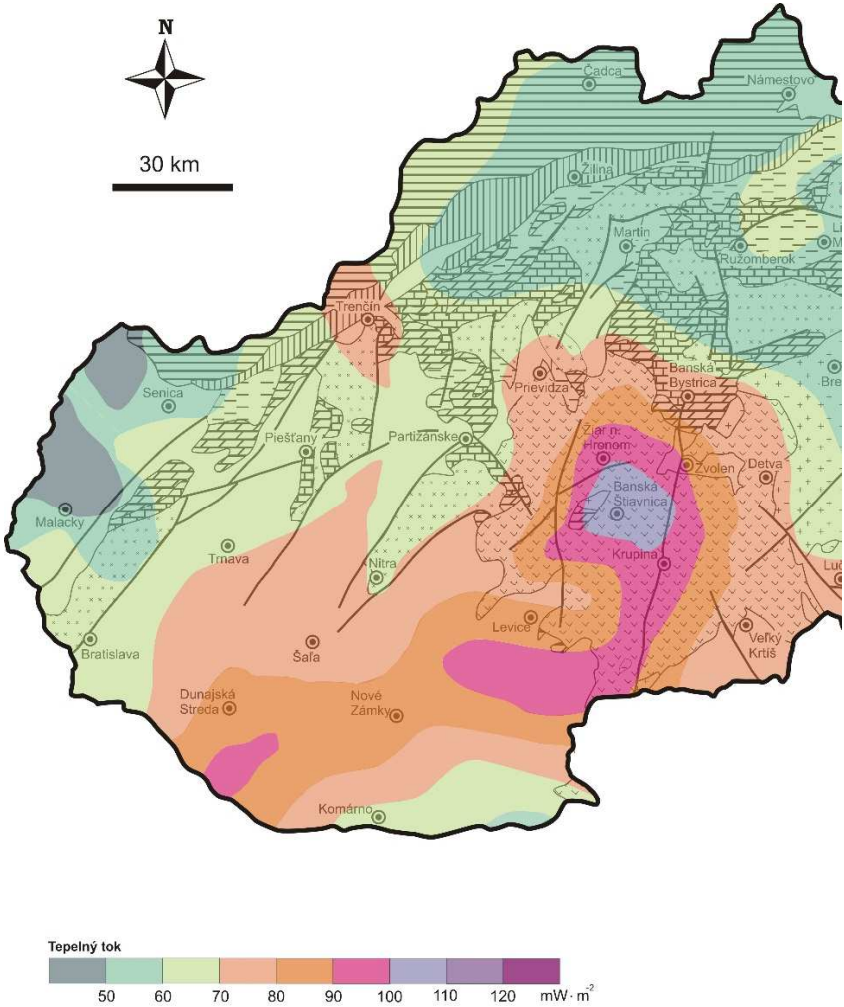
Obr. 32: Teplota zemskej kôry na Slovensku v hĺbkovej úrovni 5 km (podľa Franko et al., 1995).

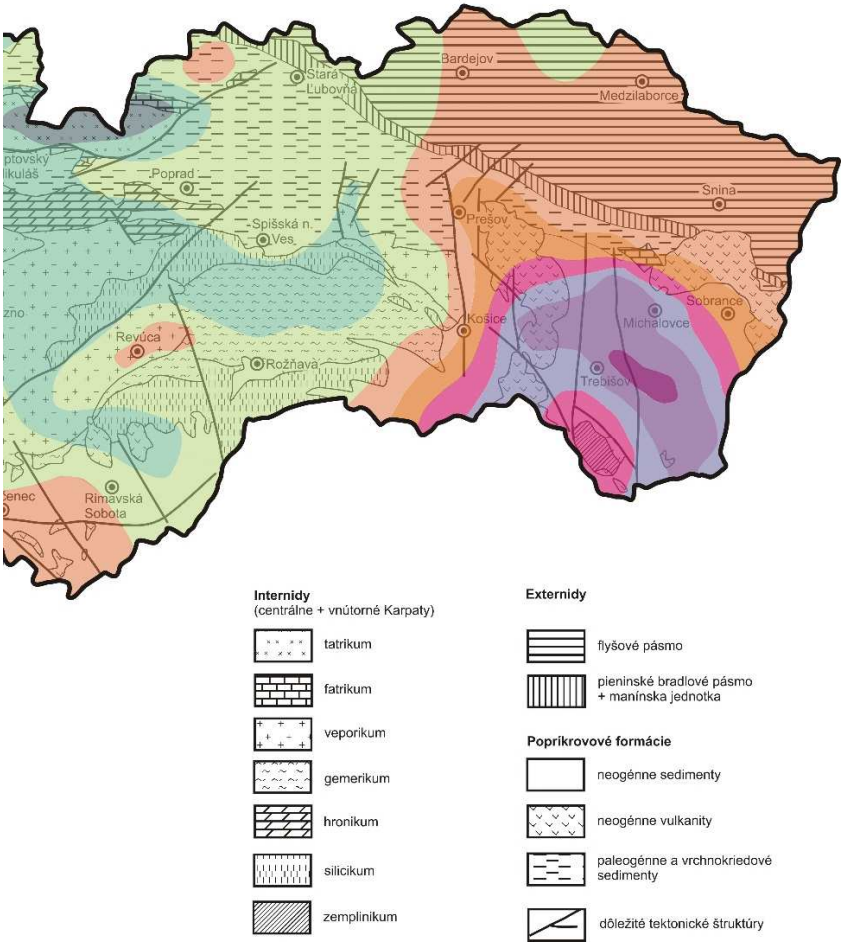

Bardejov
Medzilaborce
Poprad
Spišská n.
-Ves
Prešov
Snina
Sobrance
Michalovce
Košice
Revúca
Rožňava
Trebišov
Rimavská
Sobota
KARPATY
tatrikum (metamorfity, granitoidy)
tatrikum
(mladopaleozoicko-mezozoický obal)
fatrikum
veporikum (metamorfity, granitoidy)
veporikum
(mladopaleozoicko-mezozoický obal)
gemerikum
hronikum
zemplinikum
zemplinikum
(iňačovská jednotka)
flyšové pásmo
pieninské bradlové pásmo
+ manínska jednotka
neogénne sedimenty
neogénne vulkanity
paleogénne a vrchnokriedové
sedimenty
dôležité tektonické štruktúry



Obr. 33: Teplota zemskej kôry na Slovensku v hĺbkovej úrovni 2 km (podľa Franko et al. 1995).


Bardejov
Medzilaborce
Snina
Prešov
Poprad
Spišská n. Ves
Brezno
Revúca
Rožňava
Košice
Michalovce
Sobrance
Trebišov
Rimavská Sobota
KARPATY
tatrikum (metamorfity, granitoidy)
tatrikum (mladopaleozoicko-mezozoický obal)
fatrikum
veporikum (metamorfity, granitoidy)
veporikum (mladopaleozoicko-mezozoický obal)
gemerikum
hronikum
zemplinikum
zemplinikum (iňačovská jednotka)
silicikum
flyšové pásmo
pieninské bradlové pásmo + maníňska jednotka
neogénne sedimenty
neogénne vulkanity
paleogénne a vrchnokriedové sedimenty
dôležité tektonické štruktúry


N
30 km
Čadca
Námestovo
Žilina
Martin
Ružomberok
Trenčín
Banská Bystrica
Prievidza
Senica
Piešťany
Partizánske
Žiar n. Hronom
Zvolen
Detva
Banská Štiavnica
Malacky
Trnava
Nitra
Krupina
Levice
Veľký Krtíš
Bratislava
Šaľa
Dunajská Streda
Nové Zámky
Komárno
Tepelný tok
50
60
70
80
90
100
110
120
mW · m-2



Obr. 34: Hustota povrchového tepelného toku na Slovensku (podľa Franko et al. 1995).

Ako už bolo povedané, geotermálne pole sa v hĺbke do 3 km formuje v závislosti od kombinácie hydrogeologických, geomorfologických a štruktúrnogeologických pomerov v rôznych

častiach Slovenska. Porušenie homogenity geotermálneho poľa sa prejavuje rôznou intenzitou a rozdielnym hĺbkovým dosahom. Najvýraznejšie „chladné“ anomálie sa zistili v hydrogeologických štruktúrach, kde je geotermálne pole porušené infiltráciou studených povrchových vôd. Takéto štruktúry sa vyskytujú najmä v okrajových častiach vnútrohorských kotlín, kde na úpätiach hôr vystupujú na povrch dobre priepustné karbonátové horniny (vápence, dolomity).

Prevažnú časť externíd charakterizuje monotónny priebeh geotermálneho poľa, významnejšia tepelná anomália sa nachádza len vo východnej časti flyšového pásma (obr. 35).

Nízke hodnoty tepelného toku sú typické v jadrových pohoriach a pre oblasť Slovenského Rudohoria. Anomália zvýšených teplôt sa nachádza len v širšom okolí Rochoviec, čo je oblasť styku gemerika a veporika (lubenícko-margecianska línia). Príčinou zvýšenej teplotnej aktivity je intrúzia rochoveckého granitu, ktorá sa v kriede umiestnila do oslabenej zemskej kôry v oblasti kontaktu gemerika a veporika (obr. 35). Rochovecký granit kriedového veku je relatívne extrémne rádioaktívny, s tepelnou produkciou 4,5 $\mu W \cdot m^{-3}$, čo zhruba dvakrát prevyšuje tepelnú produkciu ostatných (vrchnopaleozoických) granitov v slovenskej časti Karpát.

Pre vnútrohorské kotliny je charakteristický rozptyl hodnôt tepelného toku. Prejavuje sa to veľkým rozdielom teplôt nielen medzi jednotlivými kotlinami, ale aj v rámci jednej kotliny osobitne (medzi pomerne blízko lokalizovanými vrtmi). Zvýšená tepelná aktivita je zistená v Hornonitrianskej kotline, v južnej časti Turčianskej kotliny a v západnej časti Liptovskej kotliny. Zvýšená teplota je zistená aj v Skorušinskej panve a paleogéne Levočskej panvy. Nízka tepelná aktivita je charakteristická pre Žilinskú a Bánovskú kotlinu, východnú časť liptovskej kotliny a najjužnejšiu časť Slovenska, medzi Komárnom a Štúrovom (komárňanská vysoká kryha., obr. 35).

Stredoslovenské neovulkanity sú charakterizované všeobecne zvýšenou geotermálnou aktivitou, no zároveň výraznou variabilitou

geotermálneho poľa, predovšetkým v menších hĺbkach, čo je odrazom ich geomorfologickej stavby (obr. 34., 35). Najvyššie teploty boli zistené v južnej časti Štiavnických vrchov, Krupinskej planine, v Žiarskej a Zvolenskej kotline. Znížený tepelný tok je charakteristický napr. pre Vtáčnik, Kremnické vrchy a Poľanu.

Vo Viedenskej panve (Záhorská nížina) sa charakter geotermálneho poľa mení s hĺbkou. V hĺbkach do 2 – 3 km sú dominantné dve anomálie v oblasti lábskej a lakšárskej elevácie (obr. 34). Východne od týchto elevačných štruktúr teplota prudko klesá. Pokles je spôsobený ochladzovaním sedimentárnej výplne panvy chladnými vodami infiltrujúcimi zo SZ svahov Malých Karpát. V hĺbke pod 3-4 km je geotermálne pole pomerne stabilné s najvyššími hodnotami v centrálnej časti panvy (obr. 33).

V Podunajskej panve sú v hĺbkach do 3 km prítomné dve anomálie nižších teplôt lokalizované v centrálnej časti depresie (panvy) a v oblasti komárňanskej vysokej kryhy (hydrogeologické porušenie poľa chladnými infiltrujúcimi vodami). Naopak, anomália so zvýšenou teplotou je typická v oblasti Levickej kryhy vo východnej časti panvy (obr. 34). V hĺbke viac ako 3 km závisí rozloženie teplôt hlavne od hlbinnej stavby panvy. Najvyššie teploty sú typické pre centrálne časti panvy, s najväčšou hrúbkou neogénnych sedimentov (obr. 33).

Oblasť Juhoslovenskej panvy a jej okrajov charakterizuje generálne zvýšená, ale pomerne variabilná geotermálna aktivita a komplikované rozloženie teplotného poľa. Vyskytujú sa tu anomálie s lokálnym, ale i regionálnym významom.

Východoslovenská panva je geotermálne najaktívnejšou oblasťou na Slovensku. Najvyššie teploty boli zistené v jej centrálnej a juhovýchodnej časti. Oblasť zvýšených teplôt koreluje s výskytom pochovaných vulkanických telies. Znížené teploty zistené v okolí zemplínskeho ostrova súvisí s výzdvihom predneogénneho podložia sedimentárnej výplne panvy (obr. 35). Pozoruhodnou anomáliou je rozsiahle zníženie teplôt v štruktúre Beša – Čičarovce v hĺbke 1,5 – 4

km, čo je odrazom hydrogeologických pomerov tejto oblasti. Pokles teplôt možno badať v celej severnej a severovýchodnej časti panvy, zóna znížených teplôt charakterizuje aj styk s bradlovým pásmom. Vysoká geotermálna aktivita východoslovenskej panvy je zapríčinená najmä elevácioU Mohorovičićovej diskontinuity a prienikom plášťových hmôt do zemskej kôry (obr. 32).

Východoslovenské neovulkanity (spolu s Košickou kotlinou) predstavujú prechodnú oblasť medzi geotermálne významne aktívnou Východoslovenskou panvou a podstatne „chladnejším“ flyšom, sedimentmi paleogénnych paniev a Slovenským Rudohorím.

8.4 Geotermálne vody na Slovensku – ich vznik a rozšírenie

Slovensko nepatrí medzi krajiny, ktoré by oplývali výraznými povrchovými prejavmi geotermálnej energie ako je napr. vulkanizmus, emanácie horúcich plynov či gejzíry. Najvýznamnejší povrchový prejav energie Zeme u nás reprezentujú vývery termálnych vôd, na ktoré je Slovensko, vzhľadom na svoju rozlohu (cca 49 000 km^2) osobitne bohaté. Minerálne a termálne vody sú na našom území pomerne rovnomerne rozložené, pričom na každých 43 km^2 pripadá 1 prameň minerálnej, alebo termálnej vody (Franko a Melioris 2000).

Všeobecne, vývery termálnych vôd ako prejav geotermálnej energie, sa vyskytujú aj mimo aktívnych vulkanických oblastí, predovšetkým v mladých orogenetických pásmach ako sú napr. Alpy, Karpaty a pod., do ktorých patrí aj územie Slovenska.

Z hľadiska generálnej geologickej stavby slovenskej časti Karpát sú minerálne vody distribuované vo všetkých geologických jednotkách, zatiaľ čo výskyt termálnych vôd je obmedzený len na internidy a popríkrovové formácie. Geologický vývoj Západných Karpát vytvoril priaznivé podmienky pre vznik termálnych (a minerálnych) vôd (Franko a Melioris 2000):

- ***veľké rozšírenie karbonátov (vápence, dolomity) a evaporitov (sadrovec, anhydrit)*** spôsobuje vznik výdatných prameňov termálnych vôd a ich pomerne rovnomernú distribúciu v CZK (pásmo jadrových pohorí, veporské pásmo). Maximálna výdatnosť prameňov termálnych vôd sa pohybuje do 100 l/s. Z chemického hľadiska ide o Ca-Mg-HCO_3, Ca-Mg-HCO_3-SO_4 a Ca-Mg-SO_4 vody s mineralizáciou do 5 g/l. Ich zloženie je ovplyvnené priamo chemickým zložením pomerne dobre rozpustných karbonátov a evaporitov.

- ***rozšírenie treťohorných morských až sladkovodných sedimentov s výskytom evaporitov (halit) a kolektorskými vrstvami*** (kolektor = „vodič“ podzemnej vody) podmieňuje vznik a rovnomernú distribúciu termálnych vôd vo vnútrohorských kotlinách a mladotreťohorných panvách. Maximálna výdatnosť vrtov dosahuje do 20 l/s. Podľa chemického zloženia ide o Na-K-Mg-HCO_3, Na-HCO_3, Na-HCO_3-Cl a Na-Cl vody s mineralizáciou prevažne do 50 g/l (zriedkavejšie do 300 až 500 g/l).

-***alpinotypná (vrásová) tektonika*** vytvorila podmienky pre zostup vôd po uklonených vrásových štruktúrach do väčších hĺbok a tým vznik termálnych vôd. Vody prirodzených prameňov majú teplotu do 70 °C, teplota vody v druhohornom podloží vnútrohorských paniev (vrtný prieskum) sa pohybuje do 100 °C.

-***germanotypná (zlomová – najmä poklesy) tektonika*** treťohorných paniev spôsobila, že sa kolektorské horniny dostali do veľkých hĺbok, čo podmienilo prehriatie ich vôd. V prípade zatvorených hydrogeologických štruktúr si vody uchovali synsedimentárnu salinitu, metamorfovanú iba v systéme voda-hornina. Neogénne kolektory sa pri okrajoch pohorí lokálne dostali do väčších hĺbok, čím sa umožnilo ich prehriatie, na druhej strane sú dopĺňané a ochladzované a infiltráciou povrchovej vody zo svahov pohorí.

-***prítomnosť mladých, hlboko založených zlomových štruktúr*** (neotektonika) spôsobujú, že vody vystupujú na povrch v prirodzených prameňoch. Zlomy slúžia ako prirodzený kanál pre výstup prehriatych

vôd na povrch a vzájomná kombinácia tektonických štruktúr určuje distribúciu prirodzených výverov.

-neogénny vulkanizmus sa priaznivo podieľal na vytvorení podmienok pre vznik geotermálnych vôd (stenčenie zemskej kôry, pohyb magmatických hmôt). Pyroklastické horniny zároveň predstavujú veľmi dobrý kolektor podzemných vôd.

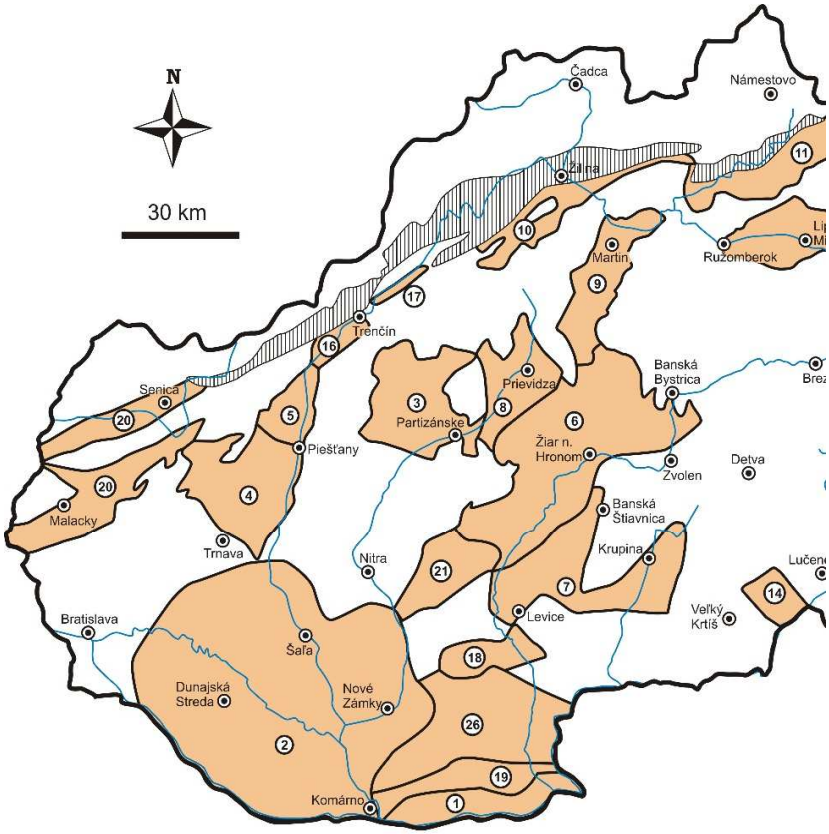
Z hľadiska rozšírenia a väzby na geologické jednotky sa termálne vody takmer vôbec nevyskytujú v externidách, naopak pomerne dobre sú rozšírené v CZK a IZK. Kryštalinikum (granitoidy + metamorfity) tatrika a veporika je vďaka pomerne hrubej zemskej kôre nevhodné pre výskyt termálnych vôd. Ojedinele boli navŕtané dusíkové, slabo mineralizované zásadité termálne vody s väzbou na permské (rádioaktívne) granity gemerika vo Vlachove a Čučme (Franko et al. 1995., Franko a Melioris 2000). Výdatnosť vrtov je však veľmi nízka (2 – 3 l/s).

Na telesá triasových vápencov a dolomitov rôznych tektonických jednotiek sú viazané studené i termálne vody. Na karbonáty hronika sa viažu vody s veľmi slabou až slabou mineralizáciou a teplotou nad 20 °C (Rajecké Teplice, Bojnice, Malé Bielice, Vyhne...). Na hronikum a fatrikum sú viazané vody v Kalinčiakove. Vody v Štúrove a Patinciach sú viazané na karbonáty maďarského stredohoria (obr. 34). Výdatnosť zdrojov geotermálnych vôd na uvedených lokalitách sa pohybuje v rozsahu 15-70 l/s a ich teplota varíruje v rozmedzí 20 – 48 °C. V karbonátoch fatrika sú viazané najmä slabo mineralizované sadrové vody (SO_4^{2-}) s rozšírením najmä v stredoslovenských neovulkanitoch (Sliač, Kováčová, Sklené Teplice, Kremnica, Chalmová). Výdatnosť žriediel sa pohybuje v rozsahu 4 – 40 l/s, teplota vôd je 33 – 53 °C. Termálne uhličité, slabo mineralizované vody sú známe v Liptovskom Jáne, Vyšných Ružbachoch, Banskej Bystrici a Turčianskych Tepliciach (výdatnosť 20 – 50 l/s, teplota 20 – 45 °C). V karbonátových komplexoch tatrického obalu sú známe slabo mineralizované sadrové geotermálne vody (výdatnosť 20 – 40 l /s, teplota 40 – 68 °C).

V sedimentoch paleogénnych paniev (centrálnokarpatský paleogén) prevládajú prevažne studené minerálne vody. Geotermálne, uhličité vody so strednou až silnou mineralizáciou boli vrtmi zistené v predpaleogénnom podloží týchto paniev, ktoré je tvorené triasovými karbonátmi a kryštalinikom (Plavnica, Šariš, Lipany).

V sedimentoch neogénnych paniev sú termálne vody viazané najmä na vrstvy bazálnych klastík a vrstvy pieskov a pieskovcov, ktoré sa striedajú s pelitmi. Termálne vody sú rozšírené jednak vo vnútrohorských kotlinách, ale aj v podunajskej, juhoslovenskej, východoslovenskej a viedenskej panve (Franko et al. 1995., Franko a Melioris 2000).

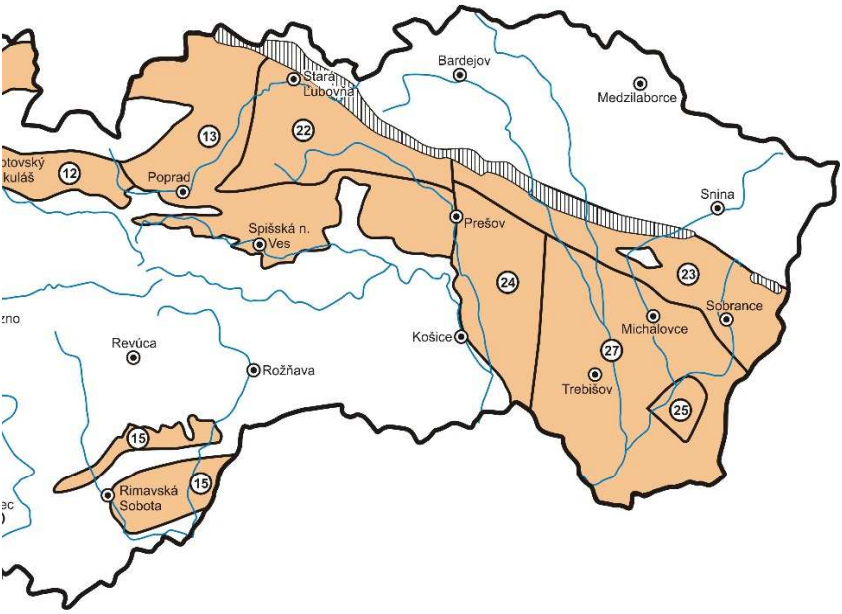
Charakter geotermálneho poľa (resp. tepelného toku) a distribúcia geotermálnych vôd sú základným stavebným kameňom pre vyčlenenie jednotlivých perspektívnych geotermálnych oblastí na Slovensku (obr. 36).



bradlové pásmo

ohraničenie geotermálnej oblasti

(14) označenie geotermálnej oblasti



1- komárňanská vysoká kryha
2- centrálna depresia podunajskej panvy
3- Bánovská kotlina a topoľčiansky záliv
4- trnavský záliv
5- piešťanský záliv
6- stredoslovenské neovulkanity (SZ časť)
7- stredolovenské neovulkanity (JV časť)
8- Hornonitrianska kotlina
9- Turčianska kotlina
10- Žilinská kotlina
11- skorušinská panva
12- Liptovská kotlina
13- levočská panva (Z a J časť)
14- hornostrhársko-trenčská priekopová prepadlina
15- Rimavská kotlina
16- Trenčianska kotlina
17- Ilavská kotlina
18- levická kryha
19- komárňanská okrajová kryha
20- viedenská panva
21- komjatická depresia
22- levočská panva (S časť)
23- humenský chrbát
24- Košická kotlina
25- štruktúra Beša-Čičarovce
26- dubnícka depresia
27- Východoslovenská panva

Obr. 35: Vyčlenené geotermálne oblasti na Slovensku (Franko et al., 1995).

8.5 Geochemická klasifikácia geotermálnych vôd Slovenska

Geotermálne vody slovenskej časti Karpát možno z hľadiska ich vzniku rozdeliť na tri základné typy (Bodiš a Franko 1986):

I. Geotermálne vody s marinogénnou mineralizáciou

a) reliktné morské vody, ktorých salinita zodpovedá paleosalinite (metamorfóza len v systéme voda-hornina)

b) v rôznom stupni biogénne a petrogénne infiltračne degradované morské vody

c) geotermálne vody s vysokou mineralizáciou (soľanky), vznikli rozpúšťaním halitu morskou vodou, alebo lokálnym zahustením morskej vody

II. Geotermálne vody s petrogénnou mineralizáciou. Vznikli hlbokým obehom meteorických vôd v zemskej kôre, ich celková mineralizácia je do 5 g/l. Mineralizácia týchto vôd závisí od petrograficko-mineralogického charakteru horninového prostredia ich obehu. Na základe prevládajúceho mineralizačného procesu možno tieto vody ďalej rozdeliť na: karbonátogénne, sulfátogénne, silikátogénne, sulfidogénne, halogénne, hydrosilikátogénne, prechodné a polygénne

III. Geotermálne vody so zmiešanou genézou a komplikovaných chemickým zložením

Podľa celkovej mineralizácie možno geotermálne vody rozčleniť na nasledujúce štyri skupiny (Franko et al. 1975):

-***slabo mineralizované*** s mineralizáciou do 5 g/l (Bánovská, Hornonitrianska, Turčianska, Liptovská kotlina, humenský chrbát, podunajská panva....)

-***stredno mineralizované***, s mineralizáciou 5 – 10 g/l (podunajská, viedenská levočská panva, humenský chrbát)

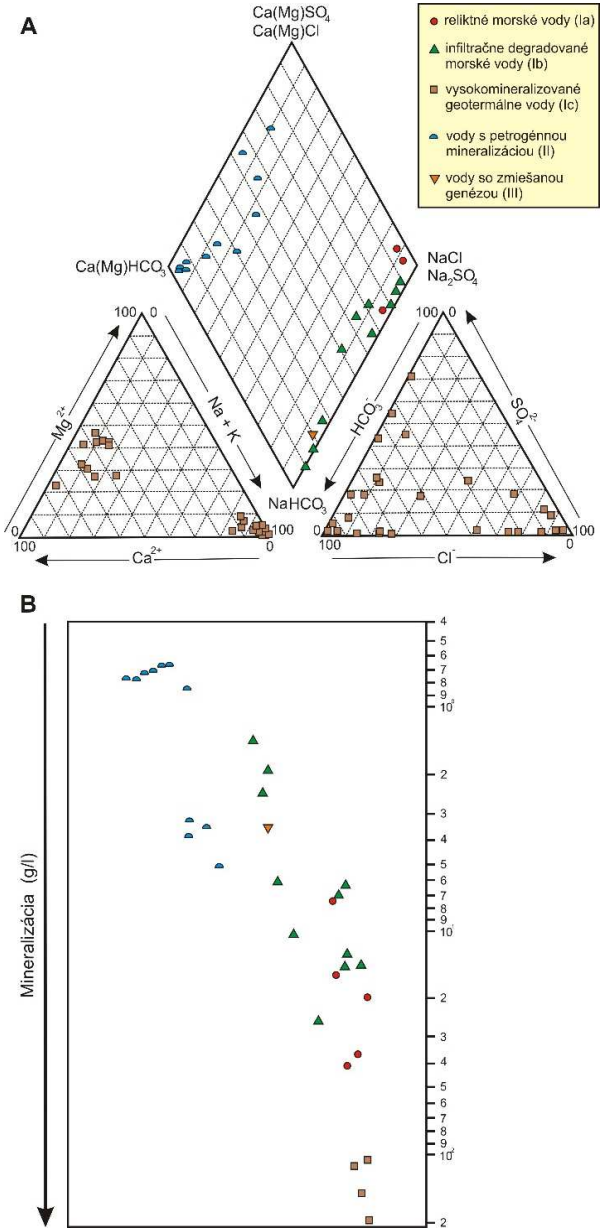
-***silno mineralizované***, s mineralizáciou 10 – 35 g/l (Košická kotlina, levická kryha, viedenská panva, štruktúra Beša-Čičarovce)

-veľmi silno mineralizované, s mineralizáciou > 35 g/l (viedenská panva, komjatická depresia)

Chemickú klasifikáciu vyššie uvedených typov geotermálnych vôd a údaje o ich celkovej mineralizácii ilustruje obrázok 37.

Reliktné morské vody (Ia) sú známe z centrálnej depresie Podunajskej nížiny, v lakšárskej elevácii, levickej a komárňanskej kryhe, južnej časti Košickej kotliny a východoslovenskej panve (štruktúra Beša-Čičarovce). Z hľadiska chemického zloženia sú to Na-Cl vody s minimálnym zastúpením Na-HCO_3 zložky. Pri metamorfóze reliktných geotermálnych vôd (systém voda-hornina) dochádza oproti pôvodnému zloženiu k znižovaniu obsahu iónov Mg^{2+} a k zvyšovaniu obsahu Ca^{2+}.

Reliktné morské vody sú obyčajne v rôznom stupni infiltračne degradované (Ib). Ich pôvodné zloženie sa vďaka zložitému geologickému vývoju paniev a v mnohých prípadoch i otvorenosti hydrogeologických štruktúr nemohlo zachovať. Typickou črtou infiltračnej degradácie je vzrast Na-HCO_3 zložky na úkor obsahu Na-Cl zložky vo vode. Najväčšmi degradované morské vody sú známe z trnavského zálivu, kde dochádza k infiltrácii zrážkových vôd cez povrchové východy podložných druhohorných karbonátov. V centrálnej depresii Podunajskej nížiny je degradácia morských vôd zapríčinená tým, že sú lokalizované v hydrogeologicky polootvorených štruktúrach. Infiltračne degradované vody boli zistené aj v strednej časti viedenskej panvy, kde sa rozpúšťaním sadrovcových horizontov zvyšuje vo vodách koncentrácia SO_4^{2-}, anomálne vysoký je tiež obsah H_2S. Geotermálne vody obdobného charakteru boli zistené aj v severnej časti Košickej kotliny a levočskej panvy (Franko et al., 1995).

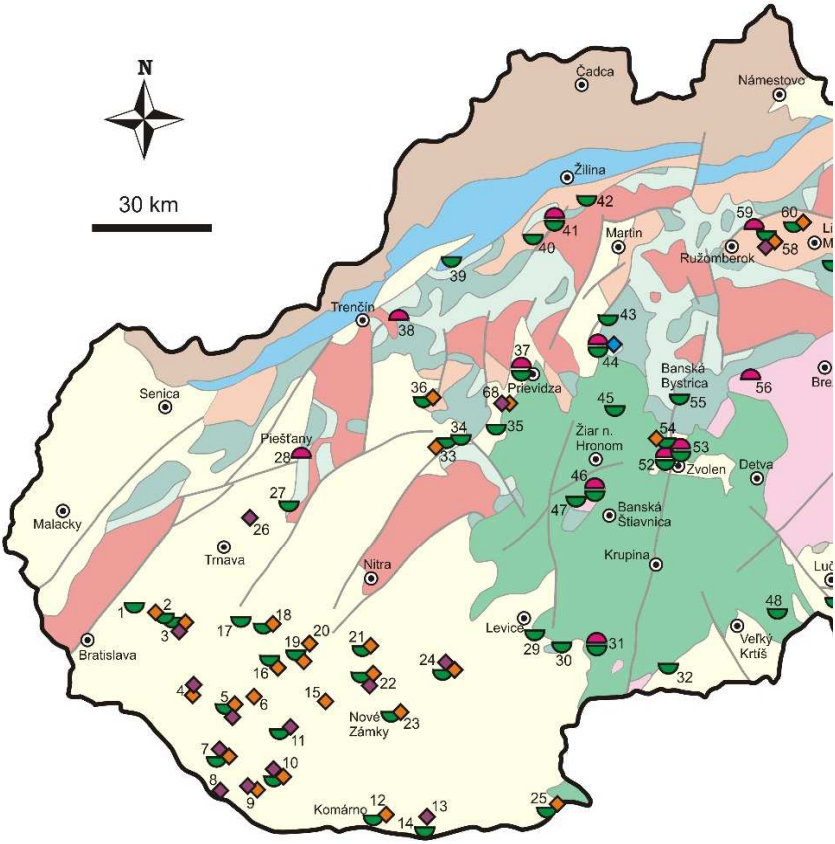


Obr. 36: Chemická klasifikácia geotermálnych vôd Slovenska. A) systematizácia vôd na základe chemického zloženia, B) mineralizácia rôznych genetických typov termálnych vôd (Franko et al. 1995).

Vysokomineralizované geotermálne vody – soľanky (Ic) sú výrazne Na-Cl chemického typu s mineralizáciou viac ako 50 g/l (obr. 37). V podunajskej a viedenskej panve sa predpokladá ich vznik lokálnym zahustením pôvodných panvových vôd pod kritický bod rozpustnosti NaCl. Vo východoslovenskej panve sú soľanky halogénneho pôvodu a vznikli rozpúšťaním halitu morskou vodou.

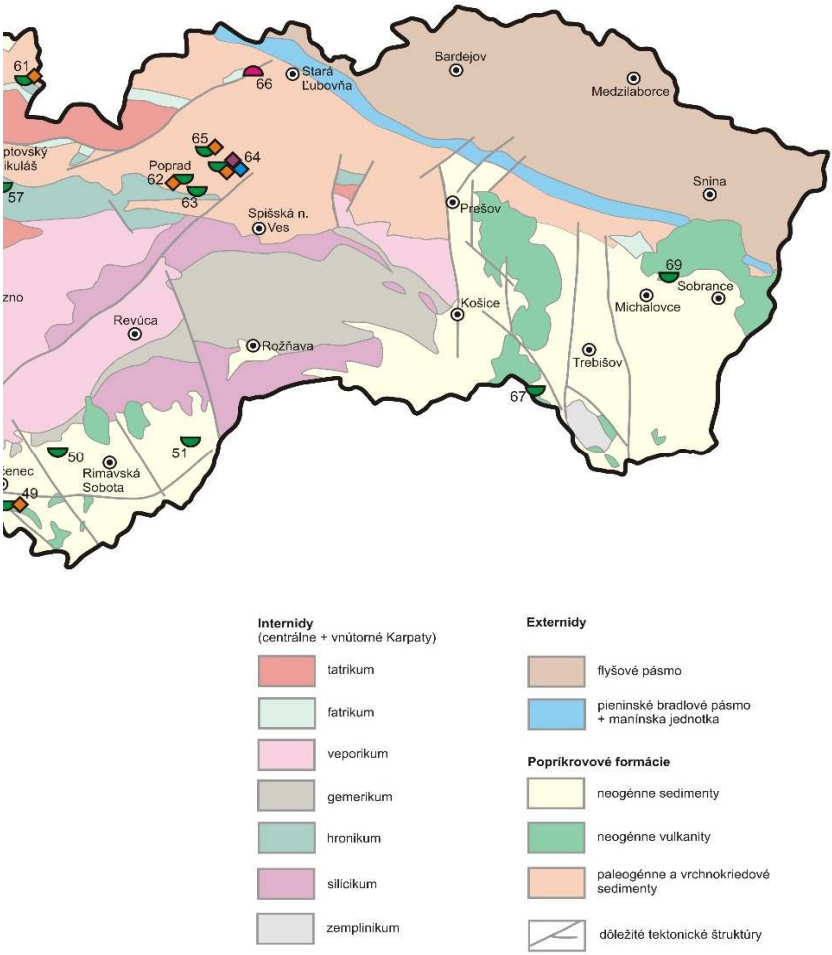
Pre geotermálne vody s petrogénnou mineralizáciou je všeobecne charakteristická ich veľmi nízka mineralizácia (tzv. akratotermy., obr. 37). Podľa chemickej klasifikácie ide prevažne o Ca-Mg-HCO_3 vody (typické karbonátogénne vody), lokálne sa uplatňuje aj SO_4^{2-} zložka. Hlavnými mineralizačnými procesmi tvorby chemického zloženia týchto vôd je rozpúšťanie vápenca (prevaha Ca), dolomitu (vysoký podiel Mg), sadrovca a anhydritu (zvýšený podiel SO_4^{2-}). Vody s petrogénnou mineralizáciou sú známe z oblasti komárňanskej vysokej kryhy, topoľčianskeho zálivu, Hornonitrianskej, Žilinskej a Liptovskej kotliny.

Geotermálne vody zmiešaného charakteru boli vrtne zistené iba v oblasti Komárna. Z genetického hľadiska ide o zmes vlastných karbonátovo-sulfátových vôd mezozoika (karbonáty) a infiltračne výrazne degradovaných morských vôd nadložných miocénnych sedimentov. Tieto prenikli do karbonátových komplexov najmä v začiatočnej fáze miocénnej morskej transgresie (Franko et al., 1995).



Využitie geotermálnej energie

- kúpele (liečba)
- kúpaliská, kryté bazény, prírodné bazény (relax a šport)
- vykurovanie budov, ohrev vody
- vykurovanie skleníkov (pestovanie poľnohospodárskych plodín)
- chov rýb



Obr. 38: Distribúcia lokalít s priamym využitím geotermálnych vôd na Slovensku v roku 2014 (údaje k mape čerpané z: Vozár a Káčer eds. 1998, Fáber et al. 2012, internetové zdroje 24, 25, 26).

8.6 Súčasné využitie geotermálnej energie na Slovensku

Geotermálna energia vo forme termálnych vôd je v našej krajine v súčasnosti (2014) využívaná na pomerne veľkom počte lokalít (obr. 38., tab. 8). Priame aplikácie geotermálnej energie na Slovensku predstavujú: kúpeľníctvo, relaxačno-športové zariadenia, vykurovanie budov a ohrev vody, vykurovanie skleníkov (pestovanie poľnohospodárskych plodín) a chov rýb. Využívanie geotermálnej energie na relaxačno-športové účely (46 %) a vykurovanie budov (25 %) je dnes na Slovensku jednoznačne najrozšírenejšie. Tepelné čerpadlá sú u nás, oproti iným európskym či svetovým krajinám, zatiaľ využívané iba v minimálnej miere. Vzájomný percentuálny pomer jednotlivých priamych aplikácií geotermálnej energie na Slovensku je ilustrovaný na obrázku 39.

Z geografického hľadiska je praktické využitie geotermálnej energie rozvinuté najmä na západnom a strednom Slovensku. Východné Slovensko, napriek obrovskému prirodzenému geotermálnemu potenciálu (obr. 35) v tomto ohľade výrazne zaostáva (obr. 38).

Športovo-relaxačné využitie geotermálnej energie sa odráža v značnom množstve vybudovaných termálnych aquaparkov, menších termálnych kúpalísk, či krytých bazénov v hotelových a wellness zariadeniach. Z praktického hľadiska ide hlavne o napĺňanie bazénov termálnou vodou. Významným faktorom je aj priaznivý vplyv niektorých termálnych vôd v kúpaliskách na zdravie človeka. Voda v kúpalisku Podhájska pomáha pri liečbe problémov so štítnou žľazou, dny, reumatizmu, kožných a cievnych ochorení, tiež má antibakteriálne účinky. Ozdravujúci vplyv na problémy pohybového ústrojenstva, ochorenia kĺbov a chrbtice majú termálne vody vo Veľkom Mederi, Patinciach a Dunajskej Strede (27). Vonkajšie športovo relaxačné zariadenia sú spravidla otvorené sezónne, kryté plavecké areály celoročne. Na Slovensku sú zariadenia takéhoto charakteru vybudované v 56 lokalitách (tab. 8). Termálne kúpaliská a bazény sú

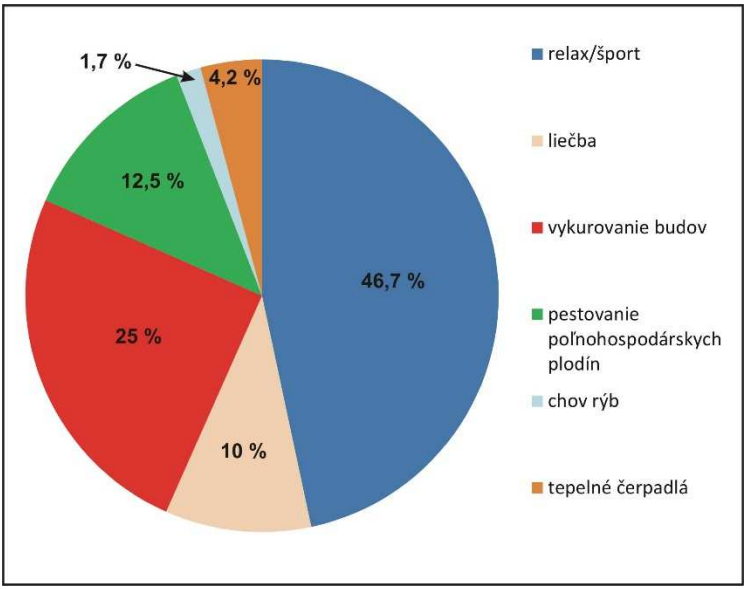
rozšírené hlavne v Podunajskej nížine, juhoslovenskej panve a v stredoslovenských neovulkanitoch. Veľký potenciál pre budovanie ďalších športovo-relaxačných centier v budúcnosti má aj Podtatranská kotlina, či južná časť východného Slovenska (obr. 38).

p. č.	Názov lokality	Využitie	Teplota vody (°C)
1	Chorvátsky Grob	prírodný bazén	55
2	Senec	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	48
3	Kráľová pri Senci	termálne kúpalisko, vykurovanie budov, pestovanie poľnohospodárskych plodín	60
4	Horná Potôň	vykurovanie budov, pestovanie poľnohospodárskych plodín	72
5	Dunajská Streda	termálne kúpalisko, vykurovanie budov, pestovanie poľnohospodárskych plodín	99
6	Dunajský Klátov	vykurovanie budov	81
7	Gabčíkovo	termálne kúpalisko, pestovanie poľnohospodárskych plodín	66
8	Ňárad	pestovanie poľnohospodárskych plodín	88
9	Čiližská Radvaň	vykurovanie budov, pestovanie poľnohospodárskych plodín	90
10	Veľký Meder	termálne kúpalisko, vykurovanie budov, pestovanie poľnohospodárskych plodín	56,5-76,5
11	Topoľníky	termálne kúpalisko, vykurovanie budov, pestovanie poľnohospodárskych plodín	92
12	Komárno	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	51
13	Marcelová	pestovanie poľnohospodárskych plodín	65
14	Patince	termálne kúpalisko	26-27
15	Vlčany	vykurovanie budov	75
16	Horné Saliby	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	38., 67
17	Sládkovičovo	termálne kúpalisko	62
18	Galanta	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	69-85
19	Diakovce	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	72
20	Šaľa	vykurovanie budov	48., 70
21	Poľný Kesov	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	30,5., 50,5
22	Tvrdošovce	termálne kúpalisko, vykurovanie budov, pestovanie poľnohospodárskych plodín	74
23	Nové Zámky	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	69
24	Podhájska	termálne kúpalisko, vykurovanie budov, pestovanie poľnohospodárskych plodín	86
25	Štúrovo	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	42
26	Malženice	pestovanie poľnohospodárskych plodín	–
27	Koplotovce	termálne kúpalisko	25

p. č.	Názov lokality	Využitie	Teplota vody (°C)
28	Piešťany	kúpele	67-69
29	Kalinčiakovo	termálne kúpalisko	25
30	Santovka	termálne kúpalisko	26,7
31	Dudince	kúpele, termálne kúpalisko	28,5
32	Vinica	termálne kúpalisko	24
33	Malé Bielice	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	43,6
34	Partizánske	termálne kúpalisko	38
35	Bystričany	termálne kúpalisko	31-42
36	Bánovce n. Bebravou	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	48
37	Bojnice	kúpele, termálne kúpalisko	28-52
38	Trenčianske Teplice	kúpele	37,7-40
39	Nimnica	termálne kúpalisko	33-35
40	Rajec	termálne kúpalisko	27
41	Rajecké Teplice	kúpele, termálne kúpalisko	38
42	Stráňavy	termálne kúpalisko	26
43	Mošovce	termálne kúpalisko	27
44	Turčianske Teplice	kúpele, termálne kúpalisko, chov rýb	60
45	Kremnica	termálne kúpalisko	50
46	Sklené Teplice	kúpele, termálne kúpalisko	37-52,3
47	Vyhne	termálne kúpalisko	36,5
48	Dolná Strehová	termálne kúpalisko	24
49	Rapovce	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	38
50	Hrnčiarske Zalužany	termálne kúpalisko	22
51	Tornaľa	termálne kúpalisko	23
52	Kováčová	kúpele, termálne kúpalisko	48,5
53	Sliač	kúpele, termálne kúpalisko	22-33
54	Sielnica	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	33
55	Banská Bystrica	termálne kúpalisko	28-32
56	Brusno	kúpele	20., 26
57	Liptovský Ján	termálne kúpalisko	27-40
58	Bešeňová	termálne kúpalisko, vykurovanie budov, pestovanie poľnohospodárskych plodín	60,5
59	Lúčky, Kalameny	kúpele, prírodný bazén (Kalameny)	32., 37
60	Liptovský Trnovec	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	71
61	Oravice	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	56

p. č.	Názov lokality	Využitie	Teplota vody (°C)
62	Poprad	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	50
63	Gánovce	termálne kúpalisko	25
64	Vrbov	termálne kúpalisko, vykurovanie budov, pestovanie poľnohospodárskych plodín, chov rýb	62
65	Veľká Lomnica	termálne kúpalisko, vykurovanie budov	61,8
66	Vyšné Ružbachy	kúpele	20-24
67	Byšta	termálne kúpalisko	26
68	Nováky	pestovanie poľnohospodárskych plodín, vykurovanie budov	65
69	Kaluža	termálne kúpalisko	40

Tab. 8: Využitie geotermálnej energie na Slovensku (2014). Číselné označenie jednotlivých lokalít korešponduje s označením lokalít na obr. 38.



Obr. 37: Percentuálne podiely priameho využitia geotermálnej energie na Slovensku na základe distribúcie jednotlivých aplikácií na jednotlivých lokalitách (stav. v r. 2014).

Na ***liečebné účely*** (kúpeľná liečba) sú geotermálne vody Slovenska využívané v 12. lokalitách (obr. 38., tab. 8). Okrem samotných liečebných procedúr ponúkajú v súčasnosti jednotlivé kúpele aj wellness služby pre širokú verejnosť. Z prehľadu jednotlivých indikácií (tab. 9) vyplýva, že slovenské termálne vody blahodarne pôsobia najmä pri poruchách pohybového ústrojenstva a liečení nervových chorôb. V kúpeľoch Lúčky sú navyše liečebné procedúry orientované aj na prevenciu a podpornú liečbu osteoporózy.

Geotermálne vody na ***vykurovanie budov a ohrev vody*** pre centrálne systémy tepelného zásobovania sú používané v 30 lokalitách (tab. 8). V rámci tejto aplikácie ide o vykurovanie kancelárskych a technických priestorov, tiež aj hotelových priestorov. V Novákoch sa geotermálna voda využíva na vykurovanie šatní baníkov a na ohrev vetracieho vzduchu pre hnedouhoľné bane (Fáber et al. 2012). „Geotermálny“ ohrev vody pre systémy centrálneho kúrenia sa používa v Galante, Šali a Seredi.

Termálne vody sa pri ***chove rýb*** používajú na temperovanie chladnej vody, kvôli urýchleniu rastu rýb. V našej krajine je geotermálna voda pre tento účel využívaná iba na dvoch lokalitách, vo Vrbove a v Turčianskych Tepliciach. Vo Vrbove sa geotermálna voda využíva na kúpalisku, mimo kúpacej sezóny na chov rýb v rybníkoch. Na Slovensku sa takto chová pstruh, hlavátka, zubáč, lieň, šťuka, kapor, lipeň, podustva sumec a tilapia.

V poľnohospodárstve sa u nás termálne vody používajú na ***vykurovanie skleníkov*** pri produkcii urýchlenej zeleniny (uhorky, paradajky, paprika, baklažány...) a kvetov. Geotermálne vykurovanie skleníkov je používané v 15 lokalitách, predovšetkým v oblasti Podunajskej nížiny, ale i v Novákoch, Bešeňovej a Vrbove. Celková plocha tohto typu produkcie je asi 27 ha.

Tab. 9: Prehľad indikácií liečby v slovenských kúpeľoch využívajúcich geotermálne vody (na základe internetových zdrojov 25., 28).

	Bojnice	Brusno	Dudince	Kováčová	Lúčky	Piešťany	Rajecké Teplice	Sklené Teplice	Sliač	Trenčianske Teplice	Turčianske Teplice	Vyšné Ružbachy
onkologické ochorenia				X	X				X			X
kardiovaskulárne ochorenia			X						X			X
poruchy tráviaceho ústrojenstva		X									X	
poruchy dýchacieho ústrojenstva							X					X
poruchy obličiek a močových ciest	X										X	X
gynekologické choroby	X				X				X		X	X
poruchy pohybového ústrojenstva	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
choroby z povolania	X	X			X		X				X	X
choroby z poruchy látkovej výmeny a žliaz s vnútornou sekréciou		X				X	X					
nervové choroby			X	X	X	X	X	X		X	X	X
kožné choroby						X						

Tepelné čerpadlá využívajúce geotermálnu energiu sa u nás využívajú v Podhájskej, Bojniciach, Vyšných Ružbachoch, Gbelanoch a Rajeckých Tepliciach (Fáber et al. 2012).

V súčasnosti je badať všeobecne zvyšujúci sa trend využívania geotermálnej energie vo viacerých svetových krajinách. Pokrytie energetických potrieb Slovenska závisí predovšetkým na odbere energií a energetických surovín zo zahraničia (prevažne z Ruskej federácie). Z tohto dôvodu je potrebné zásadnejšie sa postaviť ku využívaniu domácich geotermálnych zdrojov (Bartko et al. 2014). Slovensko má vynikajúci potenciál na ďalšie budovanie zariadení využívajúcich termálne vody ktoré tu doposiaľ absentujú. Ide predovšetkým o rozvoj už existujúcich aplikácií, no s ohľadom na geotermálny potenciál by u nás mohli v budúcnosti fungovať aj aplikácie nové. V poľnohospodárstve by napríklad mohli byť vybudované lokálne malokapacitné sušiarne poľnohospodárskych plodín. Na Slovensku doposiaľ nebola geotermálna energia využitá na chladiarenské a mraziarenské účely. Elektrická energia by mohla lokálne byť produkovaná v geotermálnych elektrárňach s binárnym cyklom, pretože táto technológia výroby vyžaduje nižšie temperované vody.

Literatúra

Arevalo Jr. R., McDonough W.F., Luong M., 2009: The K/U ratio of the silicate Earth: Insights into mantle composition, structure and thermal evolution. Earth and Planetary Science Letters, 278, 3, 361–369.

Archer D., 2007: Global Warming: Understanding the Forecast. Blackwell,208 s.

Bartko L., Badida M., Horbaj P., Konkoly J., 2014: Využitie geotermálnej energie v podmienkach Slovenska. Transfer inovácií, 29., 304-3011.

Biely A., Bezák V., Elečko M., Gross P., Kaličiak M., Konečný V., Lexa J., Mello J., Nemčok J., Potfaj M., Rakús M., Vass D., Vozár J., Vozárová A., 1996: Vysvetlivky ku geologickej stavbe Slovenska, M 1 : 50 000. ŠGÚDŠ, Bratislava, 77.

Bodiš D., Franko O., 1986: Genéza geotermálnych vôd Slovenska vo vzťahu k ich exploatácii. Zb. ref. z ved. sem. "Geotermálna energia Slovenska a jej využitie". Konf., symp., sem., Geol. Úst. D. Štúra, Bratislava, 71 -79.

Boehler R., 1996: Melting temperature of the Earth's mantle and core: Earth's thermal structure. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 24, 1, 15-40.

Bouček B., Kodym O., 1954: Geologie I: Všeobecná geologie. Nakladatelství ČSAV, Praha, 557 s.

CANGEA 2014: Direct utilization of geothermal energy: Suitable applications and oportunities for Canada. Canadian Geothermal Association, Calgary, 229.

Cataldi R., 1999: The Year Zero of Geothermics. In: Cataldi, R., Hodgson S., Lund J., (eds.), Stories from a heated earth. Our geothermal heritage. GRC & IGA, Sacramento, Ca., 7-17.

Cataldi R., Burgassi P.D., 1999b: Flowering and thermal decline of bathing and other uses of natural heat in the Mediterranean Area, from the birth of Rome to the end of the 1st Millennium. In: Cataldi R.,

Hodgson S., Lund J. (eds.), Stories from a heated earth. Our geothermal heritage. GRC & IGA, Sacramento, Ca., 147-163.

Cehlár M., Varga P., Jurkasová Z, Pašková M., 2010: Geoterm a elektráreň na geotermálnu energiu – možnosti a podmienky. Acta Montanistica Slovaca, 15, 2, 132-138.

Davies J. H., Davies D. R., 2010: Earth's surface heat flux. Solid Earth, 1, 1, 5-24.

Dye S.T., 2012: Geoneutrinos and the radioactive power of the Earth. Reviews of Geophysics, 50, 3, RG3007.

Fáber A., et al., 2012: Atlas využívania obnoviteľných zdrojov energie na Slovensku. Energetické centrum Bratislava 317 s.

Fendek M., Bágelová M., Fendeková M., 2011: Geotermálna energia vo svete a na Slovensku. Podzemná voda, 17, 1, 74-83.

Fendek M., Bodiš D., Drozd V., Král M., Michalko J., Remšík A., Vika K., 1999: Geotermálna energia. UK

Bratislava, 122 s.

Franko O., Gazda S., Michalíček M., 1975: Tvorba a klasifikácia minerálnych vôd Západných Karpát. Geol. ústav D. Štúra Bratislava, 230 s.

Franko O., Remšík A., Fendek., M 1995: Atlas geotermálnej energie Slovenska. ŠGÚDŠ, Bratislava, 268 s.

Franko I., Melioris L., 2000: Minerálne a termálne vody Slovenska – vznik a rozšírenie. Podzemná voda, 6, 1, 5-28.

Fridleifsson I.B., 2000: Prospects for geothermal energy worldwide in the new century. In: Proceedings of the World Geothermal Congress 2000, Japan, 789-794.

Fridleifsson I.B., Bertani R., Huenges E., Lund J.W., Ragnarsson A., Rybach L., 2008: The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. In: Hohmeyer O., Trittin T., (eds.): IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources. Luebeck, Germany. Proceedings. 59–80.

Gando A., Dwyer D.A., McKeown R.D., Zhang C., 2011: Partial radiogenic heat model for Earth revealed by geoneutrino measurements. Nature Geoscience, 4, 9, 647–651.

Gudmundsson J.S., Freeston D.H., Lienau P.J. 1985: The Lindal Diagram. Transactions, Geothermal Resources Council, 9 (part 1), Davis, California, 15-19.

Haenel R., Staroste E., 1988: Atlas of geothermal energy in the Europian Community, Austria and Switzerland. Commission of the European Communities, Directorate-General for Science, Research and Development, Geothermal Energy Research, 74 s.

Hartinger L., 1976: Taschenbuch der Abwasserbehandlung, 1-Chemie, 2-Technik. Carl Hanser Verlag, München, 1160 s.

Hodgson S.F., 2013: Larderello to Las Vegas: 1818, 1944, 2013. GRC Bulletin, septemeber/october 2013, 26-31, www.geothermal.org (12. 11. 2014)

Hók J., Kahan Š., Aubrecht R., 2001: Geológia Slovenska. PRIF UK, Bratislava, 45.

Hók J., Šujan M., Šipka F., 2014: Tektonické členenie Západných Karpát – prehľad názorov a nový prístup. Ageos, 6, 2, 135-143.

Christopher H., Armstead H., 1981: La géothermie – exploration forage exploitation. Traduction du B. R. G. M. C. E. P. Éditions, Moniteur, Paris, 380 s.

Jirásek J., Sivek M., Láznička P., 2010: Ložiska nerostů. Interaktívna učebnica (cd nosič), VŠB-TU-Ostrava.

Kępińska B., 2004: Lectures on geothermal resources and utilization in Poland and Europe. Polish Academy of Sciences, 99 s.

Kováč M., Michalík J., Plašienka D., Maťo Ľ., 1993: Alpínsky vývoj Západných Karpát, Masarykova univerzita, Brno, 96.

Kováč M., Plašienka D., 2003: Geologická stavba oblasti na styku Alpsko-karpatsko-panónskej sústavy a priľahlých svahov Českého masívu. UK, Bratislava, 85.

Lund J.W., 1999: Historical impacts of geothermal resources on the people of North America. In: Cataldi R., Hodgson S., Lund, J. (eds.), Stories from a heated earth. Our geothermal heritage. GRC & IGA, Sacramento, Ca., 451-477.

Lund J.W., 2004: 100 years of geothermal power production. GHC Bulletin, 11-19.

Mareš S., Karous M., Landa I., Mazáč O., Müller K., Müllerová J., 1983: Geofyzikální metody v hydrogeologii a inženýrské geologii. SNTL, ALFA, Praha, 194 s.

Mareš S., Gruntorád, J., Hrách S., Karous M., Marek F., Matolín M., Skopec J., 1990: Úvod do užité geofyziky. SNTL, Praha, 677 s.

Matek B., 2013: Geothermal Power: International Market Overview. Geothermal Energy Association, 10-11.

Novotný B., Novotná M., Kovalčík R.M., 1991: Popradská kotlina v dávnej minulosti. Východoslovenské vyd., Košice, 66 s.

Özguler M.E., Kasap A., 1999: The geothermal history of Anatolia, Turkey. In: Cataldi R., Hodgson S., Lund J. (eds.), Stories from a heated earth. Our geothermal heritage. GRC & IGA, Sacramento, Ca., 451-477., 51-67.

Plašienka D., Grecula P., Putiš M., Kováč M., Hovorka D., 1997: Evolution and structure of the Western Carpathians: an overview. In: Grecula P., Hovorka D., Putiš M., (eds.): Geological evolution of Western Carpathians. Mineralia Slovaca-Monograph, Bratislava, 1-24.

Pollack H.N., Hurter S.J., Johnson J.R., 1993: Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set. Reviews of Geophysics, 31, 3, 267-280.

Pražská energetika, 2011: Tepelná čerpadla – rady, tipy, informace. Pražská energetika a. s., Praha, 32 s.

Rebro A., 1983: S Matejom Belom o kúpeľoch a minerálnych vodách. Alfa, Bratislava 211 s.

Rebro A., 1996: Vzácne a obdivované vody Slovenska. Balneologické múzeum Piešťany. 182 s.

Rybár P., Sasvári T., 1999: Zem a zemské zdroje. Vysokoškolské učebné texty. Štroffek, Košice.

Sekioka M., 1995: Geothermal energy in history. The case of Japan: Our common heritage. In: Proceedings of the World Geothermal Congress 1995, Florence, Italy, 395-399.

Soják M., 2003: Stručné dejiny Spiša od najstarších čias po rozhranie letopočtov. In: Gładkiewicz R., Homza M., (eds.): Terra Scepusiensis, stav bádania o dejinách Spiša, Levoča, 115-145.

Stober I., Bucher K., 2013: Geothermal energy – from theoretical models to exploration and development. Springer, 291 s.

Suárez Arriaga M.C., 2005: A short story of the long relationship between the human race and geothermal phenomena. In: Proceedings World Geotrhermal Congress, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.

Svoboda J.F., (ed.), 1960: Naučný geologický slovník, I (A-M). Nakladatelství ČSAV, Praha, 700 s.

Turcotte D.L., Schubert G., 2002: Geodynamics (2 vyd.). Cambridge University Press, 456 s.

Varet J., 1980: Low entalphy geothermal fields, with reference to geothermal energy in France. Proceedings of the 2nd Course held at the School of Geophysics, „Ettore Majorana“ Inter. Centr. for Scientific Culture, Erice, Italy, 100-133.

Vozár J., Káčer Š., (eds.) 1998: Geologická mapa Slovenskej Republiky, M 1 : 1000 000. GSSR, Bratislava.

Vyhláška č. 100/2006 Z.z.

William G.E., 2010: Geothermal Energy: Renewable Energy and the Environment. CRC Press, 176 s.

Zákon č. 364/2004 Z.z., tzv. Vodný zákon

Zákon č. 538/2006 Z.z., tzv. Kúpeľný zákon

Zákon č. 569/2007 Z.z., tzv. Geologický zákon

Internetové odkazy

(1)http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance/page1.php - Climate and Earth`s energy budget. (23. 10. 2014)

(2)http://en.wikipedia.org/wiki/Earth%27s_internal_heat_budget#mediaviewer/File:Heat_flow_of_the_inner_earth.jpg (24. 10. 2014)

(3)http://geokult.com/2011/06/26/hasan-dag-and-catal-huyuk/ (7. 11. 2014)

(4)http://energy.gov/eere/geothermal/history-geothermal-energy-america (10. 11. 2014)

(5)http://www.geothermal-energy.org/geothermal_energy/what_is_geothermal_energy.html (10. 11. 2014)

(6)http://gpi.savba.sk/GPIweb/Projects/Thermes/index.php/sk/popularizacia-sk/item/294-hist%C3%B3ria-vyu%C5%BE%C3%ADvania-geoterm%C3%A1lnej-energie (10. 11. 2014)

(7)http://www.notaiocardarelli.it/polopoly_fs/1.1633023.1291361246!/httpImage/img.jpg (12. 11. 2014)

(8)http://digi.ub.uni-heidelberg.de/diglit/kircher1678bd2 (12. 11. 2014)

(9)http://www.unionegeotermica.it/esperimento_ginori_conti.asp (12. 11. 2014)

(10)http://www.slate.com/blogs/atlas_obscura/2013/09/10/erta_ale_ethiopia_s_smoking_mountain_is_home_to_two_lava_lakes.html (12. 11. 2014)

(11)http://natlib.govt.nz/ (12. 11. 2014)

(12)http://www.groundzerosoftware.net/Geo-energy-uses (26. 11. 2014)

(13)http://www.landinusa.info/farms-ranches/geothermal-water-fish-farm-tilapia-tropical-66.htm (26. 11. 2014)

(14)http://www.coloradogators.com (26. 11. 2014)

(15)https://earthenergyreader.wordpress.com/tag/mandalas/

(16)http://www.kmtp.lt/uploads/Renginiai/13%2010%2024%20Direct%20use%20of%20geothermal%20resources/Dr.%20Lolita%20RapalieneGeothermal%20resources%20for%20Balneology%20and%20recreation.pdf (26. 11. 2014)

(17)http://geodh.eu/about-geothermal-district-heating/ (10. 12. 2014)

(18)http://grsj.gr.jp/en/geothermalinJ/heat-use/main151.html#gaia (10. 12. 2014)

(19)http://www.tripadvisor.sk/Attraction_Review-g3929019-d2255973-Reviews-The_Geothermal_Energy_Exhibition-Hengill_South_Region.html (12. 1. 2015)

(20)http://energyalmanac.ca.gov/renewables/geothermal/types.html (13. 1. 2015)

(21)http://sk.wikipedia.org/wiki/Eutrofiz%C3%A1cia (13. 1. 2015)

(22)http://osmoza.sk/reverzna-osmoza/119-reverzna-osmoza-supreme.html (13. 1. 2015)

(23)http://www.nazeleno.cz/technologie-1/odsolovani-vody-destilace-vymrazovani-komprese-a-dalsi.aspx (13. 1. 2015)

(24)http://www.vuvh.sk/download/dok/Seminar_Problemy_ochrany_vod/10_Benkova_SGUDS_Hodnotenie_GTV.pdf (4.3. 2015)

(25)http://www.ask.sk/sk/liecebne_kupele.php (4.3. 2015)

(26)http://www.mojeslovensko.sk/termalne-kupaliska/ (4.3. 2015)

(27)http://www.mycentrope.com/sk/home/3177/termalne-kupaliska-letne-osviezenie-v-liecivej-vode

(28)http://www.kupeleslovenska.sk/kupele_searchind.php

Príloha: Hydrogeotermálna charakteristika vymedzených geotermálnych oblastí Slovenska

Náplňou tejto časti je podrobnejší opis jednotlivých perspektívnych geotermálnych oblastí na Slovensku (obr. 36), stavbe ich predterciérneho podložia, panvovej výplne, či charaktere geotermálnych vôd. Opis jednotlivých geotermálnych oblasti je čerpaný z doposiaľ najkomplexnejšieho diela, ktoré sa týka geotermálnej energie na Slovensku – Atlasu geotermálnej energie Slovenska (Franko et al. 1995). Geotermálna aktivita podľa hustoty tepelného toku jednotlivých oblastí je hodnotená podľa nasledujúceho kľúča (Franko et al. 1995), ktorý ilustruje tabuľka 10:

Tepelný tok ($mW \cdot m^{-2}$)	geotermálna aktivita
menej ako 10	veľmi nepatrná
10 - 20	nepatrná
20 - 30	dosť nepatrná
30 - 40	veľmi nízka
40 - 50	nízka
50 - 60	dosť nízka
60 - 70	priemerná
70 - 80	dosť zvýšená
80 - 90	zvýšená
90 - 100	veľmi zvýšená
100 - 110	dosť vysoká
110 - 120	vysoká
viac ako 120	veľmi vysoká

Tab. 10: Klasifikácia intenzity geotermálnej aktivity na základe hustoty tepelného toku (Franko et al. 1995).

Viedenská panva

Predterciérny reliéf slovenskej časti viedenskej panvy (Záhorská nížina) v súčasnosti predstavuje SZ svah Malých Karpát, klesajúci až do hĺbky 5600 m. Je výrazne narušený zlomovými štruktúrami (SV-JZ, V-Z smer). V morfológii reliéfu sa prejavuje viacero vrtne overených elevácií (lábska, malacká, štefanovská elevácia, lakšárska vysoká kryha). Geologická stavba predneogénneho podložia je veľmi komplikovaná, pretože sa na nej podieľajú západokarpatské aj východoalpské jednotky. Styčnú zónu predstavuje peripieninský lineament, ktorý od Starej Turej nepokračuje smerom na JZ v bradlovom pásme, ale prebieha V okrajom viedenskej panvy do Rakúska. V skutočnosti ide o širšie, tektonicky zošupinovatené pásmo. Neogénna výplň panvy má stratigrafický rozsah egenburg – ruman. Z litologického hľadiska ide prevažne o štrky, piesky, íly a ich spevnené formy. Lokálne sú vyvinuté uhoľné íly s málo významnými slojmi uhlia.

Geotermálna aktivita panvy je dosť nízka, geotermálne pole je pomerne nehomogénne. Teplotné minimum v oblasti Rohožníka spôsobujú chladné krasové vody z okraja Malých Karpát. Teplotné maximá sú spôsobené prehriatím morfologických elevácií (predterciérne podložie) vystupujúcimi geotermálnymi vodami. V hĺbke 1000-6000 m v ktorých sa vyskytujú kolektory geotermálnych vôd – triasové vápence a dolomity sa teplota horninového prostredia pohybuje v rozsahu 47-169 °C.

Prirodzené vývery geotermálnych vôd vo viedenskej panve neexistujú, overené boli vrtne pri Lakšárskej Novej Vsi a Šaštíne-Strážach. Geotermálne vody vyskytujú v lakšárskej elevácii, v šaštínskej elevácii a v priľahlých poklesnutých pásmach, v lábsko-malackej elevácii (s priľahnutými poklesnutými zónami) a závodsko-studienskom poklesnutom pásme. Hydrogeotermálne štruktúry sa nachádzajú v hĺbke 500-4500 m a vyskytujú sa v nich vody s ložiskovou teplotou 40-140 °C.

Hydrogeotermálna charakteristika vymedzených geotermálnych oblastí Slovenska

Geotermálne vody viedenskej panvy sú Na-Cl typu, s rôznym zastúpením ostatných zložiek (nie viac ako 25 ekv. % NaCl) a celkovou mineralizáciou 5 – 130 g/l. Výraznou zložkou geotermálnych vôd lakšárskej a šaštínskej elevácie je napr. H_2S (100-234 mg/l). Vody sú marinogénne, napriek tomu, že prešli metamorfózou v styku s horninovým prostredím zostali zachované, alebo zahustené, resp. degradované. V lábsko-malackej elevácii vznikli geotermálne soľanky, evaporáciou morskej vody. V hlbokých častiach lakšárskej elevácie zostali zachované „pôvodné“ morské vody, vďaka tomu, že ich od ostatných vôd vo vrchnej časti elevácie izoluje nepriepustné súvrstvie ílovitých bridlíc. V ostatných štruktúrach panvy ide o degradované morské vody.

Geotermálne vody zo zdrojov Lakšárska Nová Ves a Šaštín-Stráže sú z technologického hľadiska veľmi problematické. Majú výrazné inkrustačné vlastnosti a vysoký obsah H_2S (435 mg/l), tiež obsahujú vysoké koncentrácie Cl^-, SO_4^{2-} a voľného CO_2 (300 mg/l), čo sú korozívne látky. Na rekreačné účely by sa mohli používať až po spoľahlivej likvidácii H_2S.

Z povrchových tokov sú vhodnými recipientmi na zneškodňovanie prípadných odpadových geotermálnych vôd rieky Morava, Myjava, Chvojnica, Teplica a Rudava. Najvhodnejším spôsobom zneškodnenia odpadových vôd by bola ich reinjektáž do pôvodného kolektora, avšak za súčasného pridávania inhibítora korózie.

Prognózne neobnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie (lakšárska a šaštínska elevácia) sa hodnotí na 268 MWt. Pravdepodobné neobnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie v ostatných hydrogeotermálnych štruktúrach na 234 MWt.

Podunajská Panva

Ohraničená je riekou Dunaj, maďarskými pohoriami Gerecse a Pilis, Malými Karpatmi, Považským Inovcom, Tribečom, pohronským Inovcom, Štiavnickými vrchmi a Krupinskou planinou.

Od okrajov panvy klesá predterciérny reliéf pomerne rovnomerne dovnútra panvy, vytvárajúc tak rozsiahlu centrálnu depresiu (najhlbšia časť 7-8 km). Jednotlivé časti panvy sú od seba oddelené viacerými významnými zlomami. Dobrovodský zlom oddeľuje vynorenú časť elevácie Považského Inovca od časti ponorenej pod neogénnymi sedimentmi, na ňom sa končí aj hrasť Tribeča pod neogénnymi sedimentmi. Hurbanovský zlom sleduje hlbokú brázdu predterciérneho podložia a oddeľuje od seba jednotky veporika a maďarského stredohoria.

Najstaršie terciérne sedimenty podunajskej panvy sú reprezentované paleogénnymi horninami (pieskovce, brekcie, sladkovodné vápence, laterity, íly s uhoľnými slojmi) budínskeho vývoja (okolie Štúrova). Neogénne sedimenty sú stratigrafického rozsahu stredný miocén až Ruman. Charakteristický je postupný prechod z morskej sedimentácie do jazerného a riečneho typu sedimentácie. Litologicky je neogénna výplň panvy reprezentovaná zlepencami, ílovcami, pieskovcami a ich nespevnenými formami, riasovými vápencami. V JZ časti sú prítomné aj andezity a ich pyroklastiká. V mladších formáciách panvovej výplne (kontinentálny vývoj) sú prítomné aj ílovce s polohami lignitu.

Z hľadiska výskytu kolektorov geotermálnych vôd možno podunajskú panvu rozčleniť na nasledujúce hydrogeotermálne štruktúry: centrálna depresia, komárňanská kryha, levická kryha a komjatická depresia (obr. 36).

Predterciérne podložie ***centrálnej depresie*** tvorí kryštalinikum tatrika (granitoidy a metamorfované horniny), takže sa tu nepredpokladá

prítomnosť vhodných kolektorov geotermálnych vôd. Vhodnými kolektormi sú až neogénne piesky, pieskovce a pyroklastiká. Najvyššia hustota tepelného toku bola zistená v strede depresie (> 90 W · m^{-2}., obr. 35), čo nekorešponduje so zníženými hodnotami teploty (< 45 °C). Kým hodnoty tepelného toku od centra k okrajom depresie klesajú, hodnota teploty naopak stúpa. Je to spôsobené ochladením prostredia nádržou studených vôd s max. hrúbkou asi 460 m. V bádenských vulkanoklastických horninách, ktoré sú uložené cca v hĺbke 5-6 km, je možné v týchto kolektoroch overiť geotermálne vody s teplotami viac ako 200 °C. Ich ťažba je možná systémom reinjektáže. Nádrž geotermálnych vôd je zvrchu obmedzená rovinou v hĺbke okolo 1 km a zospodu nepriepustným podložím –ílmi. Vyskytujú sa tu geotermálne vody s teplotou 42-92 °C, viazané na neogénne piesky a pieskovce.

Z geochemického hľadiska patria geotermálne vody k Na-Cl (mineralizácia 3 – 126 g/l) a Na-HCO_3 (mineralizácia < 1 – 5 g/l) typom s rôznym zastúpením iných zložiek. Z plynných zložiek je vo vodách zastúpený CH_4, N_2 a CO_2. Geneticky ide o marinogénne vody (reliktné morské vody, infiltračne degradované morské vody a soľanky), alebo o vody s petrogénnou mineralizáciou. Reliktné morské vody sa vyskytujú v hlbších častiach depresie. Ich metamorfóza nastáva len v systéme voda-hornina, hlavným procesom je heteroionická zámena Ca^{2+}, Mg^{2+} a Na^{+} a vytesňovanie Ca^{2+} a Sr^{2+} z hornín. Infiltračne degradované morské vody sa sústreďujú v plytšie uložených sedimentoch (2 – 3 km). Ide o recentne infiltračne degradované vody vysladeného intrakontinentálneho mora. Soľanky vznikli lokálnym zahustením panvových vôd a uchované sú len v izolovaných štruktúrach menšieho rozsahu. Petrogénne vody sú charakteristické pre celý pliocénny profil centrálnej depresie. Ich mineralizácia je zapríčinená najmä výmenou iónov $Ca^{2+} \rightarrow 2Na^{+}$ a hydrolytickým rozkladom silikátových minerálov hornín.

Geotermálne vody zo zdrojov Kráľová pri Senci, Zlaté Klasy, Dvory n. Žitavou a Dunajská Streda majú výrazne inkrustačné vlastnosti.

Pri zdrojoch s vyšším obsahom Cl^- je potrebné rátať s chloridovou koróziou. Nízkym obsahom chloridov sa vyznačujú vody zo zdrojov Kráľová pri Senci, Čalovo, Diakovce, Čiližská Radvaň a Zemianska Oľča. Obsah sulfánu je všeobecne nízky, výnimku predstavujú zdroje pri Dunajskom Klátove (6,7 mg/l H_2S) a Hornej Potôni.

Vody centrálnej depresie sú generálne, veľmi vhodné na používanie. Nízky obsah solí Fe spôsobuje, že zákal v bazénoch termálnych kúpalísk sa prakticky nevyskytuje.

Vhodné recipienty pre zneškodnenie geotermálnych vôd centrálnej depresie predstavujú prirodzené toky: Dunaj, Malý Dunaj, Váh, Žitava, Hron, Čierna Voda a Ipeľ. Na zneškodnenie týchto vôd sa môžu čiastočne využiť aj kanály Dobrohošť-Kračany, Šulany-Jurová, Jurová-Čalovo, Čalovo-Holiare, Gabčíkovo-Topoľníky, Klátovský a Chotárny kanál. Veľká časť geotermálnych vôd, si pred vypustením do recipienta vyžaduje nariedenie čerpanou podzemnou vodou. Vypúšťaním do splaškovej kanalizácie možno zneškodňovať len vody zo zdrojov v Dunajskej Strede.

Prognózne obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie v centrálnej depresii podunajskej panvy je 150 MWt.

Komárňanská kryha predstavuje tektonicky obmedzený, poklesnutý blok severných častí maďarských pohorí Gerecse a Pilis (maďarské stredohorie). Predterciérny reliéf tu klesá od J (hĺbka asi 100 m pri Dunaji) k S, kde sa pri hurbanovskom zlome nachádza v hĺbke asi 3 km. Väčšina predterciérneho podložia je budovaná triasovými dolomitmi a vápencami, ktorých podložie tvorí súvrstvie spodnotriasových bridlíc. V SZ časti komárňanskej kryhy boli zistené sedimenty mladšieho i staršieho paleozoika (zlepence, pieskovce, droby, bridlice, vápence a lydity). Geotermálne vody sa viažu na triasové vápence a dolomity.

Z hľadiska distribúcie geotermálnej energie sa komárňanská kryha rozdeľuje na vysokú a okrajovú kryhu (obr. 36). Podľa hustoty

tepelného toku je zrejmé, že vysoká kryha má pomerne nízku a okrajová kryha priemernú (vyššiu) aktivitu (obr. 33., 35). Tento rozdiel je spôsobený ochladením teplotného poľa studenými krasovými vodami infiltrujúcimi zo S častí pohorí Gerecse a Pilis. Prirodzené prejavy geotermálnej energie predstavujú vývery termálnych vôd pri Štúrove (39 °C) a Patinciach (26 °C). Vo vysokej (chladnejšej) kryhe sa do hĺbky 600-800 m vyskytujú vody s teplotou 20-22 °C, do hĺbky 1100-1300 m vody s teplotou 25-27 °C a do hĺbky 3 km vody teplé okolo 40 °C. Režim geotermálnych vôd tu priamo závisí od kolísania hladiny rieky Dunaj (korelačný koeficient 0,805) V okrajovej kryhe sú akumulované vody s teplotou vyššou ako 40 °C (max. 68 °C).

Geotermálne vody komárňanskej kryhy možno z geochemického hľadiska zaradiť medzi Ca-Mg-HCO_3 typy s lokálnou prítomnosťou H_2S a Ca-SO_4 (mineralizácia okolo 0,7 g/l). Prítomné sú tiež prechodné resp. zmiešané Na-Ca-HCO_3-Cl (mineralizácia okolo 0,8 g/l) a vody s prevahou Ca-SO_4 (kontakt so sadrovcom) a zvýšeným obsahom Na-Cl zložky (mineralizácia 2,2-3,8 g/l). Geneticky ide o zmes vlastných sulfátovo-karbonátogénnych vôd mezozoika a infiltračne výrazne degradovaných morských vôd nadložných miocénnych sedimentov, ktoré zasiakli do karbonátových komplexov počas morskej transgresie.

Z hľadiska praktického využitia a škodlivých účinkov sú vody komárňanskej kryhy dosť odlišné. Voda zo zdrojov v Štúrove je nenáročná na technologickú úpravu, s pomerne nevýraznými korozívnymi vlastnosťami a výhodným chemickým zložením. Inkrustačné vlastnosti majú geotermálne vody zo zdrojov v Komárne, Marcelovej a Dolnom Peteri (vyšší obsah Ca). Vody z posledných dvoch menovaných lokalít majú navyše zvýšený obsah Fe (tvorba zákalu v bazénoch-vznik $Fe(OH)_3 \cdot nH_2O$) a zvýšená koncentrácia Cl^- môže spôsobovať chloridovú koróziu.

Medzi povrchové toky využiteľné ako recipienty využitých geotermálnych vôd patria toky Dunaja, Váhu, Žitavy, Hrona a Ipľa.

Prognózne obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie vysokej časti komárňanskej kryhy je 9,7 MWt. V okrajovej časti kryhy sa pravdepodobné neobnovované množstvo geotermálnej energie určilo na 228 MWt.

Predterciérny reliéf ***levickej kryhy*** stúpa z hĺbky cca 3 km v oblasti hurbanovského zlomu na 500-600 m pri Leviciach. Južnú časť tohto tektonického bloku tvoria metamorfity a granitoidy veporika, predpokladá sa, že severná časť je tvorená mezozoickými sekvenciami veporického obalu. Geotermálna aktivita levickej kryhy je zvýšená a približuje sa k veľmi zvýšenej (obr. 35).

Geotermálne vody sa viažu na bazálne neogénne (báden) klastické sedimenty a triasové karbonáty (menej na kremence triasu) v hĺbke 1-2 km (overené vrtmi pri Podhájskej, Brutoch a Želiezovciach). Ich ložisková teplota dosahuje zväčša 70-80 °C.

Vody sú Na-Cl typu s celkovou mineralizáciou 12-20 g/l. Okrem chloridov je charakteristická aj prítomnosť síranov. Predstavujú pôvodné morské vody, ktoré počas bádenu vsiakli do dna sedimentačného priestoru neogénneho mora (triasové karbonáty). Vplyv meteorických infiltračných vôd sa na geotermálnych vodách neprejavuje, resp. je veľmi malý, ako to dokazuje štúdium izotopov kyslíka.

Geotermálne vody zo zdrojov levickej kryhy majú výrazné inkrustačné vlastnosti, ktoré sú preukázané na dlhodobo využívanom zdroji v Podhájskej. Vysoký obsah Cl^- a SO_4^{2-} môže spôsobovať chloridovú/síranovú koróziu. Koncentrácia Fe 1-15 mg/l môže spôsobovať zákal v bazénoch kúpalísk.

Medzi povrchové toky vhodné na zneškodňovanie odpadových geotermálnych vôd patrí Žitava, Ipeľ a Hron. Prevažná časť využitých vôd vyžaduje pred vypúšťaním do recipientu nariedenie podzemnou vodou, resp. zvýšenie prietoku recipienta poľnohospodárskymi zásahmi. Vzhľadom na vysoký obsah solí je potrebná reinjektáž.

Neobnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie pre celú levickú kryhu sa hodnotí asi na 126 MWt.

Komjatická depresia zaberá tektonicky obmedzený priestor medzi Tribečom a Pohronským Inovcom. Predterciérne podložie sa nachádza v hĺbkach cca 2,5-3 km. Geologicky je tvorené granitoidmi veporického i tatrického kryštalinika, arkózovými pieskovcami (perm) a mezozoickými karbonátmi ich obalu (obr. 33., 34). V priestore depresie prebieha veporský zlom a čertovická línia, pozdĺž ktorej je veporikum nasunuté na tatrikum. V severovýchodnej časti sú zastúpené mladopaleozoické horniny hronika. Z tektonického hľadiska je teda stavba komjatickej depresie zložitá, s príkrovovým a šupinovitým charakterom.

Geotermálna aktivita územia je zvýšená (obr. 35). Termálne vody sú viazané na obalové karbonáty tatrika (dolomity navŕtané v hĺbke okolo 2,5 km). Majú Na-Cl charakter, celkovú mineralizáciu 57-82 g/l a ložiskovú teplotu 110 °C. Geotermálne vody neogénnych pieskov/pieskovcov boli pri Komjaticiach vrtne overené v hĺbke 1,5-1,7 km. Voda je na ústí vrtu teplá 78 °C, Na-Cl typu, s celkovou mineralizáciou okolo 20 g/l. Vďaka vysokému obsahu Ca majú výrazné inkrustačné vlastnosti.

Na ich zneškodnenie možno využiť tok Žitavy. Odpadové vody je potrebné pred vypustením nariediť, resp. zvýšiť prietok recipienta. Vzhľadom na vysoký obsah solí je potrebná reinjektáž.

Pravdepodobné neobnovované využiteľné množstvo geotermálnej energii sa v komjatickej depresii hodnotí na 393 MWt.

Bánovská kotlina a topoľčiansky záliv

Topoľčiansky záliv územie predstavuje výbežok podunajskej panvy, medzi Považským Inovcom a Tribečom. Na severe prechádza do

Bánovskej a Hornonitrianskej kotliny. Od Považského Inovca a Tribeča je toto územie oddelené tektonicky.

Predterciérne podložie topoľčianskeho zálivu je budované viacerými geologickými prvkami. Na západných a južných svahoch Tribeča sa zistili tatrické granitoidy s obalovým mezozoikom. Vrty pri Obdokovciach a Topoľčanoch zachytili súvrstvia spodnotriasového až vrchnokriedového veku ktoré sa interpretujú ako fatrikum. V Bánovskej kotline buduje predterciérne podložie najmä tektonická jednotka hronika, zastúpená mezozoickými dolomity a mladopaleozoickými sekvenciami (pieskovce, zlepence, bridlice paleobazalty a ich tufy).

Samotná výplň kotliny je reprezentovaná horninami paleogénu a neogénu. Paleogén je zastúpený bazálnou litofáciou (zlepence, brekcie) a nadložným flyšoidným vývojom (rytmické striedanie sa pieskovcov a ílovcov). Neogén je zastúpený zlepencami, pieskovcami, ílovcami až prachovcami v ktorých sú polohy kyslých tufitov. Vyššie časti neogénnej výplne majú flyšoidný vývoj, v sedimentoch sú prítomné aj okruhliaky andezitov, rovnako aj pelitické sedimenty obsahujú vulkanogénnu prímes. Najmladšiu výplň panvy reprezentujú piesky a štrky.

Geotermálna aktivita oblasti sa na povrchu prejavuje prirodzenými vývermi termálnych vôd (Malé a Veľké Bielice). Hustota tepelného toku aj teplota klesajú od juhu na sever a zo stredu oblasti smerom k jej okrajom (ochladenie studenými meteorickými vodami).

Geotermálne vody sú viazané na triasové karbonáty fatrika, resp. na karbonáty obalu tatrika a karbonáty hronika. Karbonátové súvrstvia sa nachádzajú v maximálnej hĺbke okolo 4 km. Ložisková (nádržová) teplota vôd sa pohybuje v rozmedzí 105-125 °C. V karbonátoch hronika sa vyskytujú vody Ca(Mg)-HCO_3 typu (mineralizácia 0,66 – 0,78 g/l), vo fatriku a obale tatrika vystupujú viac mineralizované vody Na-HCO_3, resp. Na-HCO_3-SO_4 typu (mineralizácia 4,52—5,98 g/l). Vody v Topoľčanoch a Bánovciach n. Bebravou majú rozdielne technologické vlastnosti. V Bánovciach n. Bebravou (vrt BnB-1) majú vody priaznivé

vlastnosti vzhľadom na inkrustáciu a koróziu, neobsahujú ani sulfán. Topoľčianska voda (vrt FGTZ-1) je veľmi problémová (zvýšený obsah sulfánu CO_2, SO_4^{2+} a Fe^{2+}), má korozívne účinky, vysoký obsah Fe môže spôsobiť zákal v bazénoch.

Na zneškodňovanie odpadových geotermálnych vôd môžu byť využité toky Bebravy, Nitrice a Chotiny. Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie sa hodnotí na 17,3 MWt.

Hornonitrianska kotlina

Topoľčiansky záliv prechádza pri Partizánskom úzkym hrdlom do Hornonitrianskej kotliny, ktorá sa na severe vkliňuje medzi pohoria Žiar a Malá Magura, resp. medzi Malú Maguru a Suchý. Voči týmto pohoriam má zlomové obmedzenie. Na východe je ohraničená vulkanickým pohorím Vtáčnik. predterciérne podložie je v južnej časti oblasti zastúpené mladopaleozoickými horninami hronika, v strednej časti mezozoickými karbonátmi hronika a na severe najmä karbonátmi fatrika a tatrickým obalom. Hĺbkový dosah mezozoických karbonátov kolíše asi v rozmedzí 1-3,5 km.

Na v nadloží mezozoika ležia paleogénne horniny (brekcie, zlepence, pieskovce, ílovce), tvoriace komplex až 1065 m hrubý. Neogén je reprezentovaný zlepencami, ílovcami, pieskovcami a ich nespevnenými ekvivalentmi. Prítomné sú tiež produkty neogénneho vulkanizmu (andezitové tufy) V okolí Handlovej a Novák sú vyvinuté sloje hnedého uhlia. Medzi najmladšie sedimenty panvovej výplne patria sladkovodné vápence.

Geotermálna aktivita panvy je oproti predošle opísanej oblasti citeľne zvýšená (obr. 35). Prirodzené prejavy geotermálnej aktivity reprezentujú vývery termálnych vôd pri Chalmovej (39 °C) a v Bojniciach (45 °C). Geotermálne vody sú viazané na komplexy

mezozoických karbonátových hornín, a ich ložisková hĺbka sa pohybuje v rozsahu asi 40 – 100 °C. Vody viazané na karbonáty hronika sú Ca(Mg)-HCO_3 typu (celková mineralizácia do 1 g/l) a vody v karbonátoch fatrika Ca(Mg)-SO_4 typu (mineralizácia okolo 1,31 g/l).

Dobre preskúmaný je režim geotermálnych vôd pri Bojniciach. Oneskorenie výdatnosti prameňa Starý Kúpeľ za meteorickými zrážkami v infiltračnej oblasti trvá 9 mesiacov. Oproti tomu trvá zdržanie vody, resp. vyprázdnenie nádrže geotermálnych vôd asi 11 000 rokov. Voda z vrtu NB-1 pri Bojniciach má asi 18 000 rokov a voda z nováckej depresia asi 45 000 rokov (viac menej stagnácia pohybu geotermálnych vôd).

Voda v oblasti Laskára má korozívne (uhličitanová a síranová korózia) vlastnosti. Odplynením môže nadobudnúť aj inkrustačné vlastnosti. Vzhľadom na zvýšený obsah Fe je potrebné počítať s tvorbou zákalu v bazénoch.

Medzi vhodné recipienty patrí len malý úsek horného toku Nitry (po prítok Handlovej) a tok Nitrice. Veľká časť vôd tejto oblasti vyžaduje pred vypustením do recipienta nariedenie čerpanou podzemnou vodou a v niektorých prípadoch aj zneškodnenie reinjektážou.

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie sa hodnotí na 19,6 MWt.

Trnavský a piešťanský záliv

Záliv sa tiahne severovýchodným smerom medzi Sencom a Novým Mestom n. Váhom. Trnavský záliv je od piešťanského zálivu oddelený tzv. piešťanskou eleváciou predterciérneho podložia. Obmedzenie zálivu voči Malým Karpatom a Považskému Inovcu je tektonické. V strednej časti zálivu (Suchá n. Parnou - Veľké Kostoľany) je vyvinutá výrazná trnavská depresia s hĺbkou až okolo 4 km.

Predterciérne podložie je budované mezozoickými sekvenciami fatrika, obalom tatrika, mladopaleozoickými a mezozoickými komplexmi hronika. Mezozoické karbonáty zasahujú do hĺbky až 5 km. Neogénna výplň panvy je reprezentovaná viacerými súvrstviami (egenburg-dák), litofaciálne ide o ílovce, siltovce, pieskovce, zlepence a tufitické sedimenty.

Geotermálna aktivita územia je priemerná, v regionálnom tepelnom poli narastá smerom k východu a juhovýchodu. Teplotná aktivita stúpa od okraja pohorí do stredu zálivu, resp. smerom do podunajskej panvy.

Prirodzené vývery geotermálnych vôd sa nachádzajú v Piešťanoch (70 °C) a Koplotovciach (24 °C). Zvodnence termálnych vôd (mezozoické karbonáty) sú uložené v hĺbke 1-5 km, resp. v bazálnych neogénnych pieskovcoch. Z geochemického hľadiska sa v tejto oblasti vyskytuje niekoľko typov vôd. Vody Ca(Mg)-SO_4 typu (mineralizácia 1,3-2,83 g/l) sú známe z Piešťan a z Trenčianskych Teplíc. Ca(Mg)HCO_3 vody (mineralizácia okolo 1,8 g/l) sa nachádzajú v Belušských Slatinách. Pri Koplotovciach sú vody ovplyvnené studenými krasovými vodami a predstavujú prechodný typ Ca(Mg)-HCO_3-SO_4 (mineralizácia asi 2,6-2,9 g/l). Zmiešané typy vôd Ca(Mg)-Na-SO_4-HCO_3-Cl (mineralizácia 1,5-5,9 g/l) sú známe z Piešťan i z Trakovíc. Geneticky ide o morské vody zasiaknuté do karbonátových komplexov, ktoré boli neskôr degradované.

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie v trnavskom zálive sa hodnotí na 33,5 MWt a v piešťanskom zálive 10,5 MWt.

Trenčianska kotlina

Tento celok sa rozkladá medzi severným okrajom Považského Inovca a pieninským bradlovým pásmom. Geofyzikálny prieskum indikuje hĺbku kotliny až 1,5 km. Geologická stavba predterciérneho podložia, ako aj neogénnej výplne kotliny je v súčasnosti na nízkom stupni poznania. Báza neogénnej výplne panvy (hlavne zlepence a ílovce) sa predpokladá v hĺbke 1 km. Od tejto úrovne do podložia sa predpokladajú sedimenty paleogénu. Predterciérne podložie je tvorené prevažne jednotkami bradlového pásma a manínskeho príkrovu ktoré zasahujú do hĺbky až 5 km. Pri východnom okraji tvoria predterciérne podložie aj prvky obalovej série tatrika, fatrikum a pri povrchu aj troska hronika. V hĺbke 3 km sa objavujú aj metamorfity tatrického kryštalinika, ktoré s hĺbkou nadobúdajú väčší rozsah. Všetky tektonické jednotky budujúce predterciérne podložie sú veľmi strmo uložené. Tektonická stavba podložia je teda veľmi komplikovaná.

Podľa intenzity tepelného toku sa geotermálna aktivita trenčianskej kotliny pokladá za priemernú. Prirodzené pramene geotermálnych vôd v tejto kotline nevyvierajú. Geotermálne vody sú pravdepodobne viazané na triasové karbonáty hronika, fatrika a obalu tatrika. V týchto horninách sa v hĺbke 1-3 km teplota pohybuje v rozsahu 30-85 °C. Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie sa hodnotí na 4,6 MWt.

Ilavská kotlina

Kotlina dosahuje hĺbku asi 400 m. Terciérnu výplň tejto kotliny pravdepodobne tvoria hlavne pliocénne sedimenty, menej egenburgské zlepence. Predterciérne podložie (známe predovšetkým z geofyzikálneho prieskumu) tvoria najmä horniny pieninského bradlového pásma a priliehajúceho manínskeho príkrovu (až do hĺbky 5

km). Na východnom okraji kotliny sú zastúpené aj horniny fatrika a hronika, v hĺbke 2,5 km sa pravdepodobne objavujú elementy obalového mezozoika tatrika, tatrické kryštalinikum sa objavuje v hĺbke 4 km. Všetky tektonické jednotky sú veľmi strmo uložené, čo je typické pre pribradlové pásmo.

Prirodzené vývery termálnych vôd priamo v Ilavskej kotline nie sú známe, na geotermálnu aktivitu však poukazujú vývery vôd v jej širšom okolí (Trenčianske Teplice, Belušské Slatiny). Geotermálna aktivita územia je dosť nízka až priemerná. Vo východnej časti kotliny sa v hĺbke 0,5-4 km (predpoklad výskytu triasových karbonátov) pohybuje od 20 do 108 °C. Geotermálne vody sú pravdepodobne viazané na vápence a dolomity manínskeho príkrovu. Predpokladá sa ich rovnaký geochemický charakter ako na lokalitách Trenčianske Teplice a Belušské Slatiny v prípade vôd trnavského a piešťanského zálivu (viď. vyššie).

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie sa v prípade Ilavskej kotliny hodnotí na 1,1 MWt.

Žilinská kotlina

Kotlina je ohraničená Malou Fatrou, Strážovskými vrchmi a bradlovým pásmom. Terciérna výplň kotliny je reprezentovaná paleogénnymi sedimentmi (zlepence, pieskovce, ílovce). Predterciérne podložie je mierne zvlnené a nachádza sa v hĺbke 250-600 m. Uprostred kotliny vychádza na povrch v podobe ostrovov spod paleogénnych sedimentov (tzv. Skalky). Medzi Skalkami a Malou Fatrou je vyvinutá malá, ale výrazná depresia, kde sa predterciérne podložie nachádza až v hĺbke 1,75 km. Budujú ho manínsky príkrov a jednotky fatrika a hronika. Obalové sedimenty tatrika sa predpokladajú asi od hĺbky 1,5 km a v hĺbke 2,5 km aj tatrické kryštalinikum (granitoidy a metamorfity).

Geotermálna aktivita územia je dosť nízka. V hĺbke 1-2,5 km sa predpokladá výskyt triasových karbonátov hronika a fatrika, ktoré predstavujú zvodnence geotermálnych vôd. Prirodzené vývery geotermálnych vôd sa nachádzajú pri Rajeckých Tepliciach, kde sú viazané na triasové karbonáty hronika a ich teplota (v mieste výveru) sa pohybuje v rozsahu 33,4-38,2 °C. V dolomitoch hronika sú geotermálne vody (do 38 °C) overené vrtmi pri Višňovom a Kamennej Porube. V paleogénnej výplni kotliny sú geotermálne vody navŕtané v Rajci a v Pekline (do 27 °C).

Geotermálne vody viazané na obe litologické prostredia predstavujú Ca(Mg)-HCO_3 typ, s celkovou mineralizáciou 0,39-0,68 g/l). Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie kotliny sa hodnotí na 13,2 MWt.

Turčianska kotlina

Kotlina tvorí hlbokú tektonickú depresiu medzi Veľkou a Malou Fatrou. predterciérne podložie vytvára tri čiastkové depresie (od J na S): martinská depresia (hĺbka 2,4 km), ivančická depresia (hĺbka cca 1 km) a hornoštubnianska depresia (hĺbka cca 1,4 km). Predterciérne podložie je na východnom okraji budované vápencami, a dolomitmi hronika, ich podložie tvoria slienité vápence fatrika. Pod fatrikom boli vrtmi zachytené pravdepodobne sedimenty obalu tatrika (mezozoikum až perm) a v hĺbke približne 2,4 km mylonitizované granitoidy tatrického kryštalinika. V nadloží predterciérneho podložia sú zachované paleogénne sedimenty zastúpené bazálnym súvrstvím brekcií a zlepencov, nad ktorým je vyvinuté ílovcové súvrstvie. Neogénna výplň panvy má vekový rozsah egenburg-pliocén a reprezentovaná je zlepencami, pieskovcami, ílovcami (a ich nespevnenými ekvivalentmi), organodetritickými vápencami. Lokálne sú zastúpené aj vulkanoklastiká a polohy uhoľných ílov so slojkami lignitu.

Geotermálna aktivita územia je priemerná. Tepelná aktivita klesá z juhu (blízkosť neovulkanitov) na sever, podobne od centra panvy smerom k jej okrajom. V Turčianskej kotline sa nachádzajú aj prirodzené vývery geotermálnych vôd v Turčianskych Tepliciach (45 °C) a v Mošovciach (23 °C). V hĺbke 2500 m sa teplota geologického prostredia pohybuje okolo 75-80 °C.

Geotermálne vody Turčianskej Kotliny sa viažu na dve geologicky kontrastné prostredia. Ide o triasové karbonáty fatrika/hronika a neogénne bazálne štrky/zlepence. Vody v oboch prostrediach (neogénne horniny a karbonáty hronika) predstavujú ten istý geochemický typ (Ca-Mg-HCO_3), vody neogénnych klastík sú však vyššie mineralizované (1,7-1,8 g/l) ako vody triasových karbonátov hronika (0,98-1,36 g/). Odlišné sú vody karbonátov fatrika, ktoré sú Ca(Mg)-HCO_3-SO_4 typu, s celkovou mineralizáciou okolo 1,5 g/l.

Voda v Turčianskych Tepliciach (zdroj TTŠ-1) má korozívne vlastnosti, po odplynení nadobúda aj inkrustačné vlastnosti, obsahuje sulfán a rozpustené Fe spôsobuje pri styku so vzduchom zákal.

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie v Turčianskej kotline sa hodnotí na 22,5 MWt.

Skorušinská panva

Táto panva sa nachádza medzi Chočskými vrchmi, Tatrami a bradlovým pásmom. Predterciérne podložie sa nachádza v max. hĺbke až 2 km a je tvorené horninami fatrika a troskami dolomitov hronika. V západnej časti kotliny vystupuje v hĺbke 1,5 km obal tatrika a v hĺbkach 2-3 km aj tatrické kryštalinikum.

Prirodzené vývery geotermálnych vôd sú známe v Oraviciach (teplota v oblasti výveru do 18,5 °C) Vrtne sa v hĺbke 600 m overili vody

s teplotou 28,5 °C a v hĺbke asi 1600 m vody s teplotou 56 °C. Geotermálna aktivita panvy je priemerná (obr. 35).

Vody pri Oraviciach sú viazané na triasové karbonáty fatrika. Ide o vody Ca(Mg)-SO4 typu s celkovou mineralizáciou 1,26-1,47 g/l. Vody majú výrazný inkrustačné vlastnosti, zvýšený obsah Fe spôsobuje zákal vody a resp. tvorbu hnedých sedimentov.

Medzi vhodné recipienty pre zneškodňovanie odpadových geotermálnych vôd patria toky Oravy a Oravice. Zneškodňovacia kapacita týchto tokov je však malá. Kvôli obsahu sulfánu a ropných látok je potrebné počítať s úpravou vody pred jej vypustením do recipienta.

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie skorušinskej panvy sa hodnotí na 17,1 MWt.

Liptovská kotlina

Kotlina sa rozkladá medzi Vysokými Tatrami, Nízkymi Tatrami a Chočskými vrchmi. Voči Popradskej kotline je ohraničená pomerne málo výrazným štrbským chrbtom. Predterciérne podložie sa tu nachádza v rôznej hĺbke. V západnej časti sa nachádza ivachnovská depresia hlboká viac ako 1 km, v strednej časti sa nachádza depresia Liptovskej Mary (hĺbka cca 1,6 km) a vo východnej časti depresia Liptovskej Kokavy (hĺbka cca 1,3 km). V západnej časti kotliny vystupuje v predterciérnom reliéfe výrazná bešeňovská hrasť (hĺbka podložia 96 m). Podložie kotliny je tvorené fatrikom a hronikom. Obalové mezozoikum tatrika sa objavuje v hĺbke okolo 2 km a v hĺbke 2,5 km už buduje asi väčšiu časť podložia kotliny. Vo východnej časti kotliny sa v hĺbke 2,5 km vyskytuje kryštalinikum a obalové sedimenty veporika. V hĺbke 4 km už celé podložie kotliny pravdepodobne buduje kryštalinikum tatrika a veporika (granitoidy a metamorfity). Výplň panvy je reprezentovaná paleogénnymi zlepencami/brekciami,

pieskovcami a ílovcami vo flyšoidnom vývoji a organodetritickými vápnitými pieskovcami resp. piesčitými vápencami.

Liptovská kotlina je zo všetkých vnútrohorských kotlín preskúmaná, pokiaľ ide o geotermálnu energiu najlepšie. Ide o územie s priemernou geotermálnou aktivitou. Z bešeňovskej hraste klesá hustota tepelného toku západným aj východným smerom. Generálne klesá jeho hodnota od stredu kotliny smerom k okrajom. Bešeňovská hrasť je prehrievaná výstupom geotermálnych vôd z hĺbky viac ako 1,5 km (tepelná konvekcia). Okraje kotliny sú ochladené okrajmi pohorí a v oblasti Liptovskej Kokavy aj studenými krasovými vodami. Zvodnencami geotermálnych vôd sú triasové karbonáty, ktorých hĺbka uloženia sa pohybuje v rozmedzí 3,5 - 4 km (ložiskové teploty vôd 100 – 115 °C).

Geotermálna aktivita územia bola známa oddávna. Pozornosť človeka priťahovali prirodzené vývery termálnych vôd v kotline a v okolitých pohoriach: Bešeňová, Liptovská Štiavnica, Liptovské Sliače, Liptovský Ján, Lúčky. Tieto vody sú viazané na triasové karbonáty fatrika. Hlbokými vrtmi boli geotermálne vody overené v Bešeňovej, Liptovskom Trnovci a Liptovskej Kokave. Vody sú viazané na triasové karbonáty prevažne v triasových karbonátoch hronika.

Vody s väzbou na karbonáty hronika predstavujú Ca(Mg)-HCO_3 typ s celkovou mineralizáciou 0,36 g/l a Ca(Mg)-SO_4 typ (mineralizácia 2,9 - 3,5g/l). Lokálne vysoký obsah chloridov a síranov indikuje zasiaknutie marinogénnych vôd paleogénneho mora do mezozoického podložia.

Geotermálne vody Liptovskej kotliny sa väčšinou vyznačujú vysokým obsahom Ca^{2+}, teda po odplynení sa z vôd vyzrážavajú iknrusty. Inkrusty sú sfarbené vplyvom Fe^{3+} a malého množstva H_2S do hneda až hnedočierna. Pri tlakovom spôsobe využívania sa prejavuje síranová a uhličitanová korózia.

Vhodným recipientom pre vypúšťanie odpadových geotermálnych vôd je tok Váhu a dolné toky je ho obojstranných prítokov. Kvôli obsahu H_2S (Liptovský Trnovec, Liptovská Kokava) je nevyhnutná predúprava vôd, alebo ich reinjektáž.

Prognózne obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie v Liptovskej kotline je 34,3 MWt.

Levočská panva

Táto oblasť je ohraničená bradlovým pásmom, Vysokými a Nízkymi Tatrami, Slovenským Rudohorím a Čiernou horou. Od Košickej kotliny je oddelená tektonicky (hornádsky zlom), hranicu s Liptovskou kotlinou tvorí štrbský chrbát.

Panvovú výplň tvorí paleogén podtatranskej skupiny, s bazálnym zlepencovým súvrstvím, v ktorého nadloží sa nachádza flyšoidný vývoj zastúpený pieskovcami a ílovcami. Maximálna hrúbka paleogénnych súvrství dosahuje viac ako 4 km. Predterciérne podložie paleogénnej výplne kotliny vystupuje na povrch v okolí Ružbách (tzv. ružbašský ostrov). Medzi Vysokými Tatrami a ružbašským ostrovom sa tiahne elevácia. Podobná elevácia sa tiahne v južnej časti, medzi Dúbravou (predtým Vikartovský chrbát) a Braniskom. Medzi eleváciami klesá reliéf predterciérneho podložia od štrbského chrbta do oblasti okolo Starej Ľubovne (hĺbka 2,5 km), odtiaľ pozdĺž bradlového pásma opäť klesá (úzky pruh) až ku Prešovu (hĺbka 4 km). Medzi Dúbravou, Nízkymi Tatrami a Slovenským Rudohorím je vyvinutá pomerne plytká hornádska brázda. Podložie panvy klesá od Čiernej hory smerom ku bradlovému pásmu, od Vysokých Tatier a ružbašského ostrova, klesá reliéf severozápadným smerom do hĺbky 2 km.

V južnej časti kotliny je predterciérne podložie budované paleozoickými elementmi gemerika a mezozoickými komplexmi

silicika. Okolo Dúbravy (Vikartovský chrbát) vystupujú horniny vrchnopaleozoického veku tektonickej jednotky hronika. Mezozoické karbonáty Hronika budujú podložie severne od Dúbravy a smerom na východ siahajú takmer po Branisko. Podložie v oblasti Šarišskej vrchoviny je budované permsko-mezozoickými sekvencia obalu tatrika. V oblasti Spišskej Magury, Levočských vrchov a okolia bradlového pásma (až k Prešovu) vystupuje pod paleogénnymi sedimentmi fatrikum. Hlbšie časti panvy (pod vyššie uvedenými jednotkami) buduje na juhu mezozoický obal veporického kryštalinika, strednú a severnú časť panvy obalové mezozoikum tatrika.

Geotermálna aktivita oblasti je hodnotená ako priemerná. Stúpa od okrajov pohorí smerom k depresiám predterciérneho podložia. Zvodnence geotermálnych vôd predstavujú triasové karbonáty tatrika, veporika, hronika a fatrika. Nachádzajú sa v hĺbkach 1 – 4 km, kde sa nádržové teploty vody pohybujú v rozsahu 61 – 109 °C.

Prirodzené vývery geotermálnych vôd sú známe v Gánovciach, Baldovciach, Lipovciach a Vyšných Ružbachoch. Vody v Baldovciach vyvierajú z obalových karbonátov tatrika resp. veporika. Vody vo vyšných Ružbachoch sú viazané na karbonáty fatrika a vody v Gánovciach a Lipovciach vyvierajú z karbonátov hronika. Hlbokými vrtmi boli geotermálne vody overené v Klčove, Lúčke, Plavnici, Lipanoch a Šariši, vo Vrbove, Poprade a Veľkej Lomnici.

Geotermálne vody viazané na karbonáty silicika sú Ca-(Mg)-HCO_3 typu s celkovou mineralizáciou 0,6-1,28 g/l). V karbonátoch hronika sa nachádzajú vody toho istého typu, ale vyššie mineralizované (2,85 – 4,29 g/l). Vody prirodzene vyvierajúce z karbonátov fatrika sú Ca-(Mg)-HCO_3 typu z mineralizáciou okolo 1,85 g/l, vody z hlbokých vrtov predstavujú Na-Ca-(Mg)-HCO_3-Cl-SO_4 a Na-Cl typu (mineralizácia 8,67 až 11,95 g/l). Vody viazané na obalové karbonáty tatrika a veporika sú Ca-(Mg)-HCO_3 typu (mineralizácia 3,49-7,92 g/l).

Geneticky ide o atmosférogénne vody s petrogénnou mineralizáciou. Okrem vôd v Gánovciach a Vyšných Ružbachoch (prirodzené vývery) obsahujú všetky vody levočskej panvy podiel morskej vody, ktorá zasiakla do mezozoického podložia z paleogénneho mora. Voda z vrtu pri Šariši (vrt Šariš-1) je marinogénneho pôvodu.

Pre vody z levočskej panvy je charakteristická tvorba inkrustov. Vody z lokality Plavnica majú vysoký obsah síranov a voľného CO_2, takže majú korozívne účinky na časti zariadení, ktoré nie sú pokryté inkrustom. Vody z Plavnice majú tiež zvýšený obsah sulfánu a rádioaktívnych látok. Zvýšená koncentrácia Fe spôsobuje vznik hnedého zákalu v prípade použitia v bazénoch.

Na zneškodňovanie odpadových geotermálnych vôd možno použiť časť toku Hornádu, Popradu a horný tok Torysy. Podzemné vody oblasti majú strednú až veľkú zneškodňovaciu kapacitu, takže sú rovnako vhodné na zneškodňovanie reinjektážou. Geotermálne vody je potrebné pred vypustením do recipienta nariediť čerpanými podzemnými vodami.

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie sa v južnej a západnej časti hodnotí na 75,4 MWt a pravdepodobné neobnovované v severnej časti na 1316 MWt.

Stredoslovenské neovulkanity

Morfológia preterciérneho podložia neovulkanitov stredného Slovenska je veľmi členitá, charakterizovaná striedaním elevačných a depresných štruktúr s veľkými výškovými rozdielmi. Toto je zapríčinené výrazným porušením územia zlomami s prevažne vertikálnou zložkou pohybu (hrasťovo-prepadlinová stavba). Najvýraznejšie zlomové systémy sú orientované v smere SZ-JV, SV-JZ a S-J. Pri západnom okraji územia sa tiahne elevácia santovsko-

túrovského chrbta (niekoľko výstupov podložia neovulkanitov na povrch). Inými výraznými eleváciami sú je rudniansky chrbát (Pukanec-Hronský Beňadik), hodrušsko-štiavnický hrasť a handlovský chrbát. Z depresných štruktúr je najvýznamnejšia Žiarska kotlina, kremnický graben, vulkanotektonické depresie stratovulkánov Javoria a Poľany, bzovícka a bacúrovská depresia. V južnej časti územia (oblasť Krupinskej planiny) je predterciérny reliéf pomerne málo členitý, výnimku predstavuje hornostrhársko-trenčská prepadlina.

Z geologického hľadiska je väčšia časť podložia budovaná elementmi veporika – kryštalinikum (granity, metamorfity) a veporický permsko-mezozoický obal (arkózy, bridlice, kremence., perm-spodný trias). V depresiách boli vrtmi zistené aj karbonáty stredného a vrchného triasu a jury. Paleozoikum gemerika sa vyskytuje len v oblasti západne od Lučenca. V podloží neovulkanitov je pomerne rozšírené hronikum. Mladopaleozoická ipoltická skupina hronika (pieskovce, bridlice, zlepence, bázické vulkanity a ich pyroklastiká) je rozšírená medzi Levicami a hodrušsko-vyhnianskym ostrovom, v Pohronskom Inovci, Vtáčniku a Žiarskej kotline. Trosky hronika sa nachádzajú v Kremnických vrchoch a v oblasti Hornej Nitry. Fatrikum sa nachádza v oblasti Kremnických vrchov, Vtáčnika a Hornej Nitry. V jeho podloží sa predpokladá prítomnosť tatrického obalu i kryštalinika.

Samotné vulkanity sú reprezentované najmä produktmi intermediárneho - andezitového vulkanizmu, menej sú rozšírené produkty ryolitového (kyslého) a bázického (bazalty) vulkanizmu. Z intruzívnych hornín sú v neovulkanitoch prítomné diority, granodiority a kremitodioritové porfýry. V centrálnych a proximálnych častiach jednotlivých veľkých aj menších vulkánov sú vulkanické komplexy charakterizované striedaním sa lávových prúdov, lávových brekcií, a hrubých epiklastických brekcií (stratovulkanická stavba). V distálnych častiach vulkánov sú prítomné predovšetkým vulkanické brekcie, konglomeráty a pieskovce, ktoré prechádzajú do vulkanosedimentárnych komplexov výplne depresií.

Puklinová a medzizrnová priepustnosť vulkanických hornín je malá, teda cirkuláciu vôd v tomto prípade priaznivo ovplyvňujú tektonické štruktúry súvisiace s hrasťovo-prepadlinovou stavbou územia.

Geotermálna aktivita územia je veľmi zvýšená. Tepelné pole ma relatívne symetrickú stavbu s maximom hustoty tepelného toku v jeho strede (oblasť Banskej Štiavnice., obr. 35). V hĺbke 1 km a viac sú zvýšené hodnoty hustoty tepelného toku viazané na oblasti depresií, tepelne menej aktívne sú práve elevácie predterciérneho podložia (obr. 33., 34). Nádržové teploty geotermálnych vôd v hĺbkach1- 6 km (výskyt mezozoických karbonátov-kolektorov) sa pohybujú v rozsahu 45 – 187 °C.

Geotermálna aktivita oblasti stredoslovenských neovulkanitov je známa z mnohých prirodzených výverov termálnych vôd (20-53 °C): Vyhne, Sklené Teplice, Sliač, Badín, Banská Bystrica, Kalinčiakovo, Santovka, Dudince, Malé Krškany, Mačkáš. Prirodzené vývery sa nachádzajú v dvoch štruktúrnych pásmach (severozápadné a juhovýchodné), ktoré sú oddelené rudnianskym chrbtom. Vo väčšom priblížení možno konštatovať, že vývery sa viažu na výrazné morfologické elevácie mezozoického podložia veporika (Dudince, Santovka), hronika (Sklené Teplice, Sliač, Badín, Banská Bystrica, Malé Krškany) a fatrika (Vyhne, Kalinčiakovo, Mačkáš). V baniach sa geotermálne vody zistili v Handlovej a Banskej Štiavnici, kde sú termálne vody viazané na mezozoikum fatrika. Vrtmi sa výskyt termálnych vôd potvrdil v Kováčovej, Kremnici, Zlatne, Sklených Tepliciach a Topoľčiankach (karbonáty fatrika). Geotermálne vody (25-26 °C) s väzbou na samotné vulkanogénne horniny sa vrtmi potvrdili v Cerove a Zvolene. Termálne vody (20-35 °C) sa tiež potvrdili v neogénnych pieskoch v hornostrhársko-trenčskej prepadline.

Vody viazané na obalové mezozoikum veporika sú prechodného Ca(Mg)-Na-HCO_3-Cl-SO_4 typu, s celkovou mineralizáciou 5,6 – 6,25 g/l). Geotermálne vody fatrika sú Ca(Mg)-SO_4 typu (celková

mineralizácia 1,59 – 4,65 g/l). Mezozoické karbonáty hronika produkujú vody Ca(Mg)-HCO_3 typu s výrazne slabšou mineralizáciou (okolo 1 g/l). V neogénnych vulkanoklastikách sú viazané termálne vody Na-HCO_3 typu (mineralizácia 0,34 g/l) a Ca(Mg)-HCO_3 (mineralizácia 3,55 g/l). Vody neogénnych pieskov sú Ca(Mg)-HCO_3 typu s mineralizáciou 0,18 g/l a Na-HCO_3 (0,3-0,6 g/l).

Pravdepodobné obnovované množstvo geotermálnej energie v severozápadnej časti územia sa hodnotí na 82,6 MWt a na 32,6 MWt v juhozápadnej časti.

Lučenská a Rimavská kotlina

Predterciérny reliéf je mierne sklonený k juhu, od úpätia Slovenského Rudohoria, do hĺbky 2 km na štátnej hranici s Maďarskom.

V Lučenskej kotline je predterciérne podložie tvorené najmä paleozoickými horninami gemerika (fylity, pieskovce, porfyroidy, diabázy a ich pyroklastiká). Severnú časť buduje kryštalinikum veporika zastúpené metamorfitmi a granitoidmi, na ktorom leží mladopaleozoicko-mezozoický (sp. trias) obal (arkózy, kremence). Mladšie karbonátové komplexy veporického obalu sa pravdepodobne nachádzajú v hlbších častiach kotliny, v podloží gemerika. Podložie Rimavskej kotliny je budované prevažne mezozoikom silicika, lokálne aj meliatika a turnaika (vápence, dolomity, bridlice). V hĺbke 1,5 km je celé podložie kotliny tvorené paleozoikom gemerika a turnaika.

Výplň kotliny je tvorená sedimentárnymi horninami paleogénu (oligocén), ktoré sú reprezentované brekciami, zlepencami, pieskovcami, ílmi prachovcami a bezvýznamnými slojkami hnedého uhlia. V nadloží sa nachádzajú súbory neogénnych hornín stratigrafického rozsahu eger-pont (pieskovce vápence, prachovce). V priebehu spodného bazénu nadobúdajú v rámci kotlinovej výplne

význam produkty andezitového vulkanizmu. V pliocéne až kvartéri sú v oblasti Cerovej vrchoviny zastúpené aj produkty bázického vulkanizmu (bazalty a ich pyroklastiká).

Geotermálna aktivita územia je priemerná. Tepelný tok na povrchu narastá juhozápadným a juhovýchodným smerom. V hĺbke 1 km naopak teplota narastá zo severu na juh (35-50 °C), v hĺbke1,5 km sa pohybuje teplota v rozsahu 45-70°C.

Prirodzené vývery geotermálnych vôd sa nachádzajú len v Rimavskej kotline, v Králiku pri Tornali a v Hrnčiarskych Zalužanoch. Tieto vody sú viazané na triasové karbonáty silicika. Plytkými vrtmi sa potvrdili geotermálne vody (17 – 18,5 °C) aj v Tornali, bezvýznamné množstvá tiež pri Cakove a Bátke (karbonáty silicika). Malé množstvo termálnych vôd (22-24 °C) sa vrtne zistilo v bazálnych neogénnych klastikách v Lučenci a v Nitre nad Ipľom.

Geotermálne vody s väzbou na karbonáty silicika predstavujú Ca(Mg)-HCO_3 typ, s celkovou mineralizáciou 1,3-2,64 g/l. Vody viazané na klastické sedimenty neogénu sú Na-HCO_3 typu (mineralizácia 4,96 g/l) a Na-Cl typu (9,54 g/l).

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie v Rimavskej kotline, viazané na karbonáty silicika je zhruba 26 MWt.

Východoslovenská panva

Východoslovenská panva, resp. jej predterciérne podložie je tvorená elementmi, ktoré predstavujú rozhranie medzi Východnými a Západnými Karpatmi. Predterciérny reliéf panvy je veľmi členitý, spod panvovej výplne na povrch vychádza vo výrazných eleváciách Humenských a Zemplínskych vrchov. V západnej časti panvy je tvorený gemerikom a veporikom, ktoré sa z oblasti

Slovenského Rudohoria a Čiernej hory stupňovite ponárajú pod neogénne sedimenty Košickej kotliny a vulkanity Slanských vrchov. Najvýraznejší morfologický prvok predterciérneho podložia tvorí trebišovská depresia, s hĺbkou až 7 km.

Geologická stavba predterciérneho podložia nie je v súčasnosti celkom uspokojivo doriešená, nakoľko ide o štruktúrne veľmi zložitú oblasť, v ktorej sa stýkajú západokarpatské i východokarpatské prvky. Kryštalinikum a sedimentárne horniny permsko-mezozoického obalu veporika budujú západnú časť panvy, v priestore severne od Košíc a v oblasti Slanských vrchov. Gemerikum (fylity, bridlice, pieskovce zlepence, diabázy a ich pyroklastiká) tvorí podložie panvy v priestore južne od Košíc. V juhozápadnom cípe Košickej kotliny tvoria podložie terciéru mezozoické karbonáty silicika a bázické intruzíva (peridotity). Fatrikum vystupuje na povrch v Humenských vrchoch a predpokladá sa, že v podloží tejto štruktúry sa nachádza obalové mezozoikum a kryštalinikum tatrika. Zemplínske vrchy v južnej časti panvy predstavujú eleváciu zemplinika, ktoré je v rámci regionálnogeologického členenia Slovenska doposiaľ problematickou jednotkou. Je budované karbónskymi a permskými sedimentmi s kontinentálnym vývojom (antracitové sloje). Mezozoické horniny reprezentujú spodnotriasové kremence a strednotriasové karbonáty-dolomity a vápence. Z východokarpatských prvkov tvorí predterciérne podložie východoslovenskej panvy iňačovsko-kričevská jednotka (bridlice, šošovky vápenca) mladopaleozoicko-mezozoického veku.

Neogénna výplň východoslovenskej panvy je reprezentovaná sedimentárnymi horninami, vulkanitmi a vulkanoklastikami v stratigrafickom rozmedzí egenburg – dák). Neogénne sedimenty sú reprezentované morskými, v malej miere kontinentálnymi (sloje uhlia) fáciami. Významným litologickým prvkom sedimentárnej výplne sú evaporitové horizonty (ložiská halitu) v okolí Prešova a Zbudze. Produkty neogénneho vulkanizmu (egenburg-spodný panón) sú prevažne andezitového zloženia. Menej sú zastúpené produkty kyslého

ryolitovo-ryodacitového zloženia. Výrazné morfologické prvky vulkanitov predstavujú Slanské vrchy, Vihorlat a Popriečny. Vulkanické horniny sú však aj pochované pod neogénnou panvovou výplňou.

Vhodnými tokmi pre zneškodňovanie odpadových geotermálnych vôd v oblasti východoslovenskej panvy sú Hornád, Torysa, Ondava Laborec a Bodrog so strednou až veľkou zneškodňovacou kapacitou.

Z hľadiska geotermálnej energie je východoslovenská panva najaktívnejším územím na Slovensku. Významné kolektory geotermálnych vôd (triasové karbonáty a neogénne vulkanity) sa nachádzajú v humenskom chrbte, Košickej kotline a v štruktúre Beša-Čičarovce.

Humenský chrbát sa tiahne pozdĺž bradlového pásma, medzi Levočskou panvou a Popriečnym a je tvorený sedimentmi fatrika a obalu tatrika. Predpokladaná hrúbka oboch jednotiek je do 2 km, a geotermálne vody sú viazané na triasové karbonáty oboch tektonických jednotiek.

Geotermálna aktivita územia je zvýšená, rovnomerne stúpa smerom do vnútra panvy. V hĺbke 0,5-6 km, kde sa predpokladajú zvodnence geotermálnych vôd sa teplota pohybuje cca od 25 do 225 °C.

Prirodzené vývery geotermálnych vôd (19,5-29,5 °C) sa nachádzajú v Sobraneckých kúpeľoch a viazané sú na karbonáty fatrika. Geotermálne vody vo vápencoch a dolomitoch boli vrtne zistené pri Podskalke v hĺbke 897-1719 m.

Geotermálne vody v oblasti humenského chrbta reprezentujú viaceré geochemické typy. Vody z triasových karbonátov, ktoré nie sú zakryté neogénnymi horninami sú zmiešaného Ca(Mg)-Na-SO_4-HCO_3-Cl typu, s celkovou mineralizáciou 0,83 g/l. V karbonátoch zakrytých neogénnymi horninami sú Na-Cl typu (mineralizácia 10,6-13,2 g/l). Obsah CO_2 vo vode sa pohybuje v rozsahu 0,55-0,9 g/l a obsah H_2S v rozmedzí 5,68-49 mg/l. Voda z lokality Podskalka obsahuje karbonátovo-sulfátogénnu mineralizáciu, ktorá je zmiešaná zo

zasiaknutou morskou vodou (podiel marinogénnej mineralizácie). Vody v Sobraneckých kúpeľoch sú vlastnými vodami neogénu s významným podielom halogénnej mineralizácie.

Pravdepodobné neobnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie je hodnotené na 821,69 MWt. Geotermálne vody možno exploatovať systémom reinjektáže.

Geotermálne vody v ***Košickej kotline*** sa viažu na triasové karbonáty tatrika a veporika, a sčasti aj na spodnotriasové kremence ich obalu.

Geotermálna aktivita je veľmi zvýšená. Hustota tepelného toku postupne narastajú od západu, juhovýchodným smerom, s maximom v oblasti Ďurkova. Kolektory termálnych vôd sa nachádzajú v hĺbke 0,5-4 km, kde sa teplota pohybuje v rozmedzí 29-178 °C.

Geotermálne vody prirodzene vyvierajú v Ťahanovciach pri Košiciach, ich kolektory predstavujú triasové dolomity a fylonity (retrográdne metamorfované horniny) permského veku. Voda z Ťahanoviec má teplotu (vo vrte) 26 °C, a je Ca(Mg)-HCO_3 typu, s mineralizáciou 4,52 g/l. V triasových karbonátoch boli geotermálne vody zistené v hlbokých ropných vrtoch v Ďurkove, Kecerovských Pekľanoch a Prešove. Vody z Prešova sú Na-HCO_3 typu (mineralizácia 10,9 g/l), vody z Ďurkova a Kecerovských Peklian predstavujú Na-Cl typ, s celkovou mineralizáciou 26,8-33,4 g/l.

Geneticky ide o vody s marinogénnou mineralizáciou, zasiaknutou do morského dna, ktoré sú rôznej miere degradované infiltrujúcimi zrážkovými vodami. Najvyšší stupeň degradácie vykazujú geotermálne vody na Z okraji kotliny (Ťahanovce) a najmenej degradované vody sú v centrálnej časti kotliny (Ďurkov, Kecerovské Pekľany). Voda z Prešova má stredný stupeň degradácie.

Pravdepodobné neobnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie (exploatácia systémom reinjektáže) je hodnotené na 1276,4 MWt.

Štruktúra Beša-Čičarovce predstavuje andezitový stratovulkán (sarmat) pochovaný neogénnymi sedimentmi v priestore Malčice-Beša-Čičarovce. Vrcholové partie stratovulkánu sa nachádzajú v hĺbke 300-400 m, od nich klesá vulkán smerom okrajom až do hĺbok 2,5 – 1,5 km. Hrúbka stratovulkánu dosahuje v centrálnych častiach 3 – 4 km, na okrajoch do 0,5 km.

Geotermálna aktivita územia je vysoká. Hustota tepelného toku stúpa v štruktúre z juhovýchodu na severozápad. V hĺbke 0,5 – 4 km, kde sa predpokladajú kolektory geotermálnych vôd (andezity a ich pyroklastiká) sa teplota pohybuje v rozsahu 38 – 200 °C, v hĺbke 5 km dosahuje teplota horninového prostredia 230 °C.

Termálne vody sa v tejto oblasti zistili hlbokými ropnými vrtmi pri Čičarovciach a Stretave. Sú Na-Cl typu vôd s mineralizáciou kolísajúcou v rozsahu 13,8-20 g/l. Mineralizácia je marinogénna, teda ide o morské vody zasiaknuté v období sarmatu do andezitov a ich pyroklastík.

Pravdepodobné neobnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie (exploatácia systémom reinjektáže) sa hodnotí na 268,72 MWt.

Názov diela: **Geotermálna energia a jej využitie**

Autor: Štefan Ferenc

Vydavateľ: Vydavateľstvo Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici Belianum

Počet strán: 154 strán (text 4,4 AH)

Náklad: 100 kusov

Vydanie: prvé

Formát: A5

Rok vydania: 2015

Tlač: EQUILIBRIA, s. r. o.

© Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, 2015

ISBN 978-80-557-0955-0

9 788055 709550 >