

Litologická a tektonická charakteristika oblastí Slovenska potenciálne vhodných na využívanie tepla suchých hornín

VLADIMÍR BEZÁK¹, JOZEF HÓK², MIROSLAV KRÁL³, ĽUDOVÍT KUCHARIČ⁴, FRANTIŠEK ŠIPKA⁵, MARTIN ŠUJAN⁵, RÓBERT VITÁLOŠ⁶, ANDREA VRANOVSKÁ⁶

¹ Ústav vied o Zemi, Slovenskej akadémie vied, Dúbravská cesta 9, Bratislava, Slovensko

² Prírodovedecká fakulta UK, Mlynská dolina, Ilkovičova 6, 842 48 Bratislava, Slovensko

³ Thermex, Bernolákova 5678/82A, Pezinok, Slovensko

⁴ Bieloruská 64, 821 06 Bratislava

⁵ ABGeo, Havlíčková 5, 811 04 Bratislava

⁶ HG Service, Exnárova 23, 821 03 Bratislava

Abstrakt

Z hľadiska využívania tepla suchých hornín boli vyčlenené na základe analýzy údajov z hlbokých vrtov, geofyzikálnych meraní a tektonických dát potenciálne najvhodnejšie oblasti Slovenska s možným priaznivým litologickým zložením v hĺbkach, kde prebieha izoterma 160 °C a ktoré sú technicky dostupné t.j. 4–5 km. Jedná sa hlavne o litologicky vhodné komplexy v priestore Východoslovenskej a Podunajskej panvy, a časti Viedenskej panvy, Žiarskej a Košickej kotliny. Pomerne priaznivo vychádza aj oblasť východoslovenského flyša. Z hľadiska technickej realizácie boli hodnotené aj menej priaznivé oblasti, kde je požadovaná izoterma 160 °C až v hĺbke medzi 5 a 6 km.

Kľúčové slová: litológia, tektonika, teplo suchých hornín, Slovensko

Úvod

Cieľom príspevku je posúdenie horninového prostredia na území Slovenska vhodného pre získavanie tepla suchých hornín v súčasnosti dostupných technických hĺbkach do cca 5 km, v niektorých oblastiach do 6 km. Ide o vyčlenenie litologicky najvhodnejších oblastí pre tieto hĺbky a tepelnú izográdu 160 °C. Pre tento účel bolo potrebné riešiť aj čiastkové ciele a to: spracovanie a doplnenie informácií o tektonickom vývoji Západných Karpát a okolitých jednotiek, spresnenie poznatkov o štruktúre a fyzikálnych parametroch vrchnej časti zemskej kôry Západných Karpát s dôrazom na hranice horninových komplexov vhodných pre vytváranie umelých hlbinných výmenníkov tepla – k tomu boli využité údaje z hlbokých vrtov a výsledky viacerých geofyzikálnych metód (hlavne seizmiky, magnetotelurických meraní, magnetometrie a gravimetrie).

Zvláštny dôraz bol kladený na analýzu aspektov ovplyvňujúcich teplotné pole ako je identifikácia funkcie významných zlomových systémov, vývoj hlbinných magmatitov, rozmiestnenie vysoko-metamorfovaných komplexov a vývoj neogénnej vulkanickej činnosti. Štruktúra litosféry bola riešená cez geologicko-geofyzikálne syntetické interpretácie s využitím výsledkov vyššie spomenutých geofyzikálnych metód.

Metodika

Východným podkladom pre danú problematiku sú mapy predterciérneho podložia vnútorných Západných Karpát ako vstupná informácia (základom je mapa *Fusán a kol., 1987* a potom ďalšie spresnené mapy orientované už na konkrétne oblasti). V ďalšom kroku boli komplexy predterciérneho podložia extrapolované na potrebné hĺbky pre izotermu 160 °C. Mapa hĺbok zodpovedajúca teplote 160 °C je prevzatá z najnovších výsledkov *Krála (Majcin a kol., 2015)*.

Vo východnej časti Slovenska je riešené územie ohraničené približne líniou západného vymedzenia moldavskej a prešovskej časti východoslovenskej panvy. Od Sabinova sa termoizobata stáča na SV smerom na Svidník. Na rozdiel od dunajskej panvy sa úroveň geoizotermy ≥ 160 °C v trebišovskej časti východoslovenskej panvy nachádza prevažne v hĺbkach menších ako 3,5 km, v malých častiach územia (najmä krajný JV) ide o hĺbky menšie než 3 km. V tejto časti územia bolo teda možné využiť aj vrtné údaje zasahujúce do záujmových hĺbok.

V oblasti centrálnej depresie dunajskej panvy sa geoizoterma ≥ 160 °C nachádza v hĺbkach okolo 4 km, resp. v jadre gabčíkovej depresie aj menej. V smere mimo panvu je oblasť riešenia vymedzená JV okrajom Malých Karpát, ďalej približne líniou Hlohovec – Topoľčany – Nitra – Zlaté Moravce – okraje Žiarskej kotliny s pokračovaním na Veľký Krtíš. Na juhu prebieha línia okrajom zakrytej elevácie jednotky Pelso, na západe sa nachádza ešte menšia plocha ako súčasť slovenskej časti viedenskej panvy. V prevažnej časti územia sa geoizoterma ≥ 160 °C nachádza v hĺbkach 4~5 km. Z uvedeného vyplýva, že pre konštrukciu mapy bolo možné využiť len veľmi malé množstvo priamych vrtných údajov o litológii hornín v záujmových hĺbkach. Celkove teda úroveň rezu pre zhodnotenie litologie sa pohybuje v rozmedzí 4~5 km pre dunajskú a viedenskú panvu, resp. 3~5 km pre východnú časť Slovenska.

Iná je situácia v ďalších oblastiach Slovenska, kde táto izoterma prebieha v hĺbke medzi 5 a 6 km. Tieto územia môžu mať často tiež význam z hľadiska využívania suchého tepla. Zaberá celé oblasti, alebo časti nasledovných území: všetky jadrové pohoria, kryštalinikum a paleozoikum veporika a gemerika, Biele Karpaty a Strážovskú vrchovinu, celý západný úsek flyša aj s bradlovým pásmom, západnú časť východného flyša, vnútrohorské kotliny, ako aj podtatranskú skupinu vnútrokarpatského paleogénu). Skúmaný hĺbkový interval 5 000 – 6 000 m je už takmer na hranici dosiahnuteľnosti pre bežné vrtné práce používané v súčasnosti a to okrem technických problémov hlavne pre ekonomické dôvody z toho vyplývajúce.

Za daného stavu sa nakoniec javí najschodnejším pre riešenie v týchto oblastiach využitie interpretácie potenciálových polí, a to v danom prípade gravimetrie. I keď je nepochybné, že aj v tomto prípade existujú určité obmedzenia, je to práve hustota meraní v mierke 1 : 50 000 (4–6 bodov na km²), ktorou je pokryté územie celého Slovenska (*Kubeš a kol., 2001*), zabezpečujúca určitú objektivitu v interpretácii, i keď je zřejmé, že variantné riešenia, alebo sporné oblasti existujú. Pre účely interpretácie sme použili postup filtrácie údajov prostredníctvom Rýchlej Fourierovej Transformácie (FFT – Fast Fourier Transformation), ktorá spracováva predmetné potenciálové pole vo frekvenčnej oblasti. Z množstva postupov sme po testovaní vybrali tzv. pásmový filter, umožňujúci pracovať so signálom určitej frekvencie príslušného poľa, ktorý približne zodpovedá signálu z požadovanej hĺbky. V našom prípade sme signál ohraničili nielen od povrchu (vysoké frekvencie), ale aj z hĺbky (frekvencie veľkých vlnových dĺžok), takže výsledná mapa podáva distribúciu príslušného poľa v približnej hĺbkovej úrovni medzi 5 000 a 6 000 metrami pod povrchom reliéfu terénu.

Záverom možno povedať, že pre zhodnotenie horninového prostredia pre záujmové hĺbky sú základnými údajmi dáta z hĺbkových vrtov (napr. *Biela, 1978*). Okrem vrtných prác boli zdrojom informácií o stavbe a konfigurácii predkenozoických tektonických jednotiek aj interpretované seizmické profily, ktoré dokumentujú geologickú stavbu s relatívne veľkým hĺbkovým dosahom. Ďalšie údaje pre interpretáciu horninového zloženia v daných hĺbkach boli čerpané z geofyzikálnych meraní ďalšími metódami a to hlavne gravimetrie a magnetiky (údaje sú súborne spracované v práci *Kubeš a kol., 2001; Šefara a kol., 1987* a ďalších).

Dôležitým podkladom pre interpretáciu bola syntéza tektonického vývoja vyjadrená hlavne v Tektonickej mape SR (*Bezák a kol., 2004*).

Vyčlenenie perspektívnych oblastí

Východoslovenská panva

Z hľadiska termálnych podmienok je najperspektívnejšia Východoslovenská panva. Táto panva je geologicky veľmi dobre preskúmaná na základe stoviek prieskumných a výskumných vrtov s rôznym hĺbkovým dosahom. O jej geologickej a tektonickej stavbe existuje bohaté množstvo faktografického materiálu vo forme hľadiska termálnych čiastkových správ a publikácií vypracovaných po ukončení geologického, geofyzikálneho a vrtného prieskumu jednotlivých nafto a plynonádejných štruktúr (napr. *Rudinec, 1989*). Situácia horninových komplexov v hĺbkach na úrovni priebehu izotermy 160 °C je na obr. 1.

Najkomplexnejší pohľad na geologickú stavbu východoslovenskej nížiny prinášajú jej geologické mapy v mierkach 1 : 200 000, 1 : 100 000 a 1 : 50 000 a vysvetlivky k týmto mapám. Naším cieľom je však využitie tepelného potenciálu, ktorý je akumulovaný prevažne v horninách predterciérneho podložia Východoslovenskej panvy. Z tohto pohľadu má geologicko-tektonická stavba podložia panvy zásadný význam. Zhrnutie geologických poznatkov o stavbe predterciérneho podložia východoslovenskej panvy je uvedené v monografii *Fusán a kol. (1987)*. Súčasťou publikácie je aj tektonická mapa podložia terciéru vnútorných Západných Karpát obsahujúca hĺbku predterciérneho podložia a jeho geologickú stavbu. Novšiu mapu reliéfu a geologicko-tektonickej stavby predterciérneho podložia zostavil na základe gravimetrických máp v mierke 1 : 25 000 *Šefara a kol. (1987)*.

Pre poznanie hlbinej geologickej stavby východoslovenskej neogénnej panvy sú významné výsledky geofyzikálnych prác. Z geofyzikálnych meraní sú k dispozícii seizmické merania a plošné gravimetrické a magnetometrické merania. Výsledky geoelektrického prieskumu nemajú pre riešenie hlbinej geologickej stavby relevantný význam z dôvodu malého hĺbkového dosahu.

Tiažové merania ukazujú na geometriu stavby predterciérneho podložia v priestore východoslovenskej panvy. Centrálna časť panvy predstavuje grabenovú štruktúru s výraznou prepadlinou orientovanou v smere SZ-JV, ktorá je dominantným prvkom v štruktúrno-tektonickej stavbe predterciérneho podložia východoslovenskej panvy. Je tektonicky vymedzená hlboko založenými zlomami. Na základe gravimetrických profilov a hlbokých vrtov sme zostavili schému štruktúr podložia (obr. 2). Výrazná subsidencia bola sprevádzaná vulkanizmom, pričom prišlo k tektonickej diferenciacii podložia na jednotlivé neotektonické bloky. Na okraj grabenovej štruktúry v centrálnej

časti panvy sú viazané pochované stratovulkány v okolí Malčíc, Beše a Čičaroviec. Vulkanické centrá v rámci výplne panvy sú viazané na vulkano-tektonické zony SZ-JV smeru, ktoré sú vyznačené na Tektonickej mape SR (Bezák a kol., 2004).

V magnetickom poli (Kubeš a kol., 2001) sa výrazne prejavujú predovšetkým vulkanické pohoria Slanských vrchov a Vihorlatu. Okrem pochovaných stratovulkánov Malčice a Beša-Čičarovce je možné anomálne účinky produktov terciérneho vulkanizmu v mape intenzity magnetického poľa pozorovať aj v priestore medzi Kráľovským Chlmcom a Stredou nad Bodrogom a pozdĺž východného okraja Zemplínskych vrchov na línii Zemplín-Brehov-Sírnik.

Pomerne výrazne sa prejavuje aj anomália v okolí obce Zbudza a plošne rozsiahla kladná regionálna anomália na osi Sečovce-Trhovište-Stretava. Interpretáciou sečovskej magnetickej anomálie sa zaoberalo viacero autorov. Pospíšil a Filo (1977) určili ako zdroj anomálie bázické teleso v priamom podloží neogénnych sedimentov. Gnojek a kol. (1991) interpretuje sečovskú magnetickej anomáliu horizontom magnetických hornín s hrúbkou cca 1000 m nachádzajúcich sa v hĺbke približne 6 km pod povrchom. Podľa Kubeš a kol. (2001) sú zdrojom sečovskej magnetickej anomálie bázické až ultrabázické horniny nachádzajúce sa v hĺbke 8 km s predpokladanou hrúbkou až 3000 m.

Oblasť východoslovenskej neogénnej panvy je pomerne husto pokrytá sieťou seizmických meraní v dôsledku intenzívneho prieskumu ložísk uhľovodíkov. Významným výsledkom interpretácie seizmických meraní bolo upresnenie hĺbky predterciérneho podložia a vymedzenie významných tektonických línii. Seizmické merania potvrdili, že hrúbka neogénnych sedimentov bude v centrálnej časti panvy dosahovať 7000–8000 m (Čverčko a kol., 1983).

Východoslovenská panva je vyplnená neogénymi sedimentami, ktoré sa formovali súčasne s vrásnením flyšovej geosynklinály. Vývoj sedimentácie bol zložitý a pulzatívny. Počas niekoľkých samostatných sedimentačných cyklov sa v panve ukladal komplex terigénnych a morských sedimentov. Rýchlosť akumulácie sedimentov vo východoslovenskej panve dosahuje výrazné maximá v karpate, strednom bádene a spodnom sarmate. Okrem typických sedimentárnych hornín peliticko-psamitického charakteru (piesky, pieskovce, íly, ílovce, zlepenca, štrky) sa na sedimentárnej výplni panvy podieľajú aj horniny vulkanického pôvodu (kyslé a intermediárne extrúzie vulkanických hornín, ich pyroklastiká, tufy a tufity). Podiel hornín vulkanického pôvodu tvorí cca 25 % z celkovej horninovej výplne panvy. Neogénne súvrstvia sú väčšinou prekryté kvartérnymi sedimentami.

Predterciérne podložie má prepadlinový členitý charakter s viacerými morfoštruktúrnymi eleváciami a depresiami. Na jeho stavbe sa podieľajú horniny vnútrokarpatského paleogénu, mezozoika, paleozoika a kryštalinika. Pre stanovenie reliéfu a litologickej náplne horninových komplexov predterciérneho podložia východoslovenskej panvy sú najdôležitejšie výsledky hlbokých vrto v uhľovodíkového prieskumu, ktoré dosiahli podložie terciérnych sedimentov. Dôležité výsledky priniesli taktiež vrty, ktoré boli ukončené v terciérnej sedimentárnej výplni. Vzhľadom k hĺbke predterciérneho podložia v centrálnej časti panvy na úrovni okolo 7000 m sú jediným zdrojom relevantným informácií pre túto časť panvy údaje získané interpretáciou seizmických meraní. Ako doplnkové informácie slúžia gravimetrické modely.

Pre geologicko-tektonickú stavbu predterciérneho podložia východoslovenskej panvy má veľký význam hlboko založená slanská tektonická línia, ktorú zdefinoval Slávik (1974). Tiahne sa v severo-južnom smere popod Slanské vrchy a umožnila výstup vulkanického materiálu k povrchu. Stýkajú sa na nej jednotky gemerika a veporika vyskytujúce sa západne od slanskej tektonickej línie so

zemplínskou, pozdišovsko-iňačovskou, resp. iňačovsko- kričevskou a humenskou jednotkou, ktoré sa nachádzajú v predterciernom podloží východne od slanského zlomu. Situácia východne od slanského zlomového systému je geologicky a tektonicky komplikovaná. V severnej časti sa v podloží vulkanicko-sedimentárnej výplne nachádza fatrikum, ktoré lemuje južný okraj bradlového pásma a vystupuje na povrch so svojimi triasovými a kriedovými členmi v Humenských vrchoch. Bezprostredne na juh od fatrika sa v podloží neogénnych sedimentov predpokladá výskyt pozdišovsko-iňačovskej, resp. iňačovsko-kričevskej jednotky zloženej z veľmi slabo metamorfovaných jemnopiesčitých ílovitých bridlíc a zo sivých až sivozelených sericiticko-chloritických tmavých bituminózných bridlíc so šošovkami svetlosivých celistvých vápencov. Zistený bol výskyt hornín eocénneho veku (vrty Zbudza-1, Trhovište-26 a Pavlovce-1), prítomnosť karbonátov vrchného triasu a jury a pestré bridličnaté slabo metamorfované súvrstvie mladšieho paleozoika (perm – spodný trias) s vložkami karbonátov.

V južnej a JZ časti trebišovskej panvy je podložie neogénnych sedimentov budované horninovými komplexami zemplínskej tektonickej jednotky v zmysle *Slávika (1976)*. Sem sú začleňované aj povrchové výstupy paleozoika zemplínskeho ostrova a kryštalinika pri Byšte. Zemplínsky ostrov je charakteristický osobitným vývojom mladšieho paleozoika, ktorý sa vo vnútorných Západných Karpatoch nevyskytuje. Zemplinikum je štruktúrno-tektonická jednotka zložená z vysoko metamorfovaného kryštalinického jadra a z jeho karbónsko-permského a mezozoického obalu. Tektonická príslušnosť horninových komplexov zemplinika nie je dodnes úplne jasná.

Podunajská panva

Ďalšou veľmi perspektívnou oblasťou je Podunajská panva. Je to termálna extenzná panva, ktorá sa začala roztvárať na konci spodného a začiatku stredného miocénu. Hlavná časť synriftovej fázy prebehla počas stredného miocénu a postriftová alebo termálna fáza prebehla počas vrchného miocénu a v pliocéne. Sedimentáciu doprevádzal vulkanizmus, ktorého produkty budujú východný a severovýchodný okraj panvy a sú tiež pochované mladšou panvovou výplňou. Ich poloha je zachytená hlavne magnetickými meraniami a najväčšie výskyty sú znázornené v Tektonickej mape SR (*Bezák a kol., 2004*). Schéma horninových typov v hĺbke priebehu izotermy 160 °C je znázornená na obr. 3.

Produkty intermediárneho, bázického až ultrabázického magmatizmu sa v magnetických mapách zobrazujú kladnými, alebo zápornými anomáliami rôznej amplitúdy a rôzneho plošného rozsahu. Región Podunajskej nížiny sa vyznačuje relatívne veľkým počtom kladných anomálií. Podstatne menšie zastúpenie majú anomálie záporné. Zdroje anomálií sa nachádzajú nielen v sedimentárno-vulkanickom komplexe terciéru, ale aj v predterciernom podloží.

Zvýšené magnetické parametre vykazujú stredne až hrubozrnné vulkanoklastiká, brekcie, ale hlavne kompaktné vulkanické telesá, ak neboli postihnuté hydrotermálnymi procesmi. V podloží terciéru môžu byť zdrojom anomálií bázickejšie diferenciáty granodioritov, (granodiority, diority, tonality), bázické a ultrabázické horniny, amfibolity a niektoré typy metamorfovaných hornín (napr. svory). Hlavným zdrojom kladných magnetických anomálií v sedimentárno-vulkanickom komplexe sú produkty stredne až vrchnobadenského vulkanizmu s väčšou akumuláciou hrubozrnných vulkanoklastík a lávových prúdov s hrúbkou nad 1,5 km. Ich najväčšie rozšírenie predpokladáme v okolí Tešedíkova (hĺbka okolo 2,0–2,5 km), Palárikova (okolo 2,5 km), Šurian (1,8–2,0 km) a v území Branovo-Dubník (2,2–2,5 km). Záporné anomálie dávame do súvisu s reverzne namagnetizovanými vulkanickými horninami spodnobadenského veku. Výraznejšie anomálie boli zistené v okolí Vrakune a Šamorína, kde vrchný okraj vulkanického

komplexu interpretujeme v hĺbke 2–2,5 km. Na prítomnosť magnetických hornín v podloží poukazuje relatívne málo výrazná kladná anomália v okolí Galanty Jej zdrojom je pravdepodobne bázickejší diferenciat granitoidov (granodiorit, tonalit) v hĺbke cca 3,5 km (pokračovanie štruktúry Považského Inovca). V blízkosti magnetického telesa sú lokalizované vrty A-1 (Abrahám) s konečnou hĺbkou 2251 m a D-1 (Diakovce) s konečnou hĺbkou 3303 m. Vrty nepotvrdili prítomnosť vulkanických hornín v strednom a vrchnom bádene a v sarmate.

Plošne najrozsiahlejšia kladná magnetická anomália bola zistená v priestore Veľký Bar – Gabčíkovo. Táto anomália pokračuje aj na maďarské územie. V území Jahodná-Tešedíkovo interpretujeme magneticky aktívne horniny podložia v hĺbke 4,5 km až 5 km. Zdrojom anomálií sú hlavne bázickejšie diferenciaty granitoidov v kryštaliniku pohoria Tribeč. Podobný zdroj prisudzujeme aj anomálii v okolí Palárikova.

Nevýraznú, ale plošne rozsiahlu magnetickú anomáliu, koincidujúcu s intenzívnou kladnou tiažovou anomáliou v okolí Kolárova dávame do súvisu s mohutným intruzívnym bázickým telesom s horným okrajom v hĺbke 5,5 km. V novšom období pomocou gravimetrických modelov bola upresnená morfológia tohto rozsiahleho anomálneho telesa interpretovaného ako bázická subvulkanická intrúzia ([Prutkin a kol., 2010](#)).

V širšom okolí Bíne vystupuje magneticky aktívny komplex v hĺbke cca 4 km. Zdrojom môžu byť metamorfované horniny južného veporika (napr. svory s granátom), čomu by nasvedčovala aj orientácia anomálie JZ-SV, t.j. v smere štruktúry veporickej tektonickej jednotky.

Všetky magnetické anomálie sú interpretované a klasifikované v sumárnej práci [Kubeš a kol. \(2010\)](#).

Zhodnotenie ostatných oblastí Slovenska (aj s priebehom izotermy v hĺbkach medzi 5 000 a 6 000 m)

Analýza geologických a geofyzikálnych údajov sledovala vyčlenenie vhodných litologických telies pre využitie tepla suchých hornín (ruly, granitoidy, vulkanity, pieskovce, karbonáty...), ich predpokladaný rozsah a vyhodnotenie litologickej homogenity – priepustnosti a tektonickej porušenia. Pretože sa jedná o značné hĺbky a údajov je nedostatok, navyše distribúcia vrtovej je veľmi nerovnomerná, tak interpretácia je založená na extrapolácii údajov.

Predmetné územie je zobrazené na obr. 4 a je vymedzené izohypsami 5 000 a 6 000 m pre izográdu 160 °C, okrem časti Viedenskej panvy a východnú časť flyšového pásma na východnom Slovensku a Žiarskej kotliny, kde táto izoterma sa nachádza pod 5 000 m. Zaberá celé oblasti, alebo časti nasledovných území: všetky jadrové pohoria, kryštalinikum a paleozoikum veporika a gemerika, Biele Karpaty a Strážovská vrchovina, celý západný úsek flyša aj s bradlovým pásmom, západná časť východného flyša, vnútrohorské kotliny, ako aj podtatranská skupina vnútorného karpatského paleogénu.

Z celkového prehľadu geologickej stavby Slovenska vyplýva, že uvažovaná hĺbka poväčšine patrí horninovým komplexom kryštalinika a paleozoika. Výnimkou sú oblasti tvorené flyšovým pásmom, sčasti vnútrokarpatským paleogénom, ako aj oblasti najväčších neogénnych pánví, lemujúcich južný kraj

Slovenska. Na obr. 4 sú vyčlenené najperspektívnejšie oblasti z hľadiska litológie, nižšie uvádzame ich charakteristiku, čísla odpovedajú číslu na obr. 4.

1. Negatívna lineárna anomálna *zóna patriaca tiažovému karpatskému minimu*, prebiehajúca v smere vsv-zjz od Púchova cez Bytču, Kysucké Nové Mesto, Novú Bystricu, až do širšieho okolia Hruštína. Zóna dosahuje dĺžku takmer 100 km pri priemernej šírke okolo 10 km. V práci [Šefara a Bielik \(2009\)](#) sa predmetná zóna hodnotí ako účinok ľahších flyšových a molasových sedimentov, ktoré by teoreticky mohli mať dostatočnú priepustnosť pre geotermálnu vodu, hlavne ak bola ich permeabilita sekundárne zvýšená tektonickou činnosťou. Toto očakávame napr. v okolí zóny turzovského zlomu (sv. smeru), ako aj zlomov tzv. zázrivskej sigmoidy, ktoré by mali mať pokračovanie na sever do flyša.
2. Do tejto regionálnej anomálie môžeme z tiažového hľadiska zaradiť aj tiažové minimum, ktorým sa prezentuje *Skorušinská panva* smeru sv-jz, s dĺžkou okolo 30 km a šírkou do 10 km. Patrí už do podtatranskej skupiny vnútrokarpatského paleogénu. Od predošlej anomálie ho delí bradlové pásmo. V záujmovej hĺbke predpokladáme výskyt klastických sedimentov, nie karbonátov.
3. *Liptovská kotlina* je známym a intenzívne využívaným zdrojom termálnych vôd a z toho dôvodu je aj jej preskúmanosť hlbšími vrtmi vysoká. Paleogénna výplň kotliny je porušená množstvom zlomov. Predterciérne podložie tvorí hronikum a fatrikum (vrty FGL-1, ZGL-1, 2A). Zvodnencami geotermálnych vôd sú vápence a dolomity fatrika. Obalové mezozoikum môže byť tektonicky redukované a je predpoklad, že nedosahuje hĺbok nad 4 000 m. Tomuto faktoru naznačuje aj charakter tiažového poľa. Z toho dôvodu je reálny predpoklad, že v záujmovej hĺbke je vyvinuté už len kryštalikum – granitoidy a metamorfity.
4. Z hľadiska geomorfologického členenia zaberá vyčlenené územie č. 4 priestor *Popradskej kotliny a Levočských vrchov*. Vystupujú tu sedimenty paleogénu podtatranskej skupiny. Územie bolo rozlámávané do početného radu kryh (poklesy, prešmyky). Predmetná oblasť bola cieľom vyhľadávania uhľovodíkov a zdrojov geotermálnej energie, čomu zodpovedalo množstvo geologických prác. Výsledky vrtov v Starej a Novej Lesnej nasvedčujú, že v oblasti popradskej kotliny možno predpokladať v hĺbke nad 5 000 m vývoj kryštalinika a to ako vo forme granitoidov, tak aj metamorfítov. Ako sme skôr naznačili, celé územie je tektonicky prepracované, čo je pozitívny predpoklad ku kolektorským vlastnostiam podložia.
5. Dominantnou štruktúrou v priestore východného Slovenska je výrazná kladná anomália sz. smeru nachádzajúca sa v priestore Hanušovce n. Topľou – Brekov – Zemplínska Šírava – Vyšné Nemecké. Jej dĺžka je 80 km, so šírkou 15–20 km. Je zrejmé, že sa jedná o účinok karbonátového komplexu *humenského mezozoika*, ktoré vychádza na povrch v maxime tiažovej anomálie. Je preto veľmi reálne predpokladať rozšírenie tohto karbonátového komplexu v miestach diskutovanej tiažovej anomálie a v hĺbke nad 5 km teplotu 160 °C.
6. Výrazná tiažová anomália s centrom západne od Svidníka (Nízke Beskydy), by mohla zodpovedať *karbonátom v podloží akrečnej prizmy flyšových príkrovov*, resp. karbonátom umiestneným vo flyšovom komplexe, blízko bázy magurského príkrovu. Plocha na povrchu pomerne členitej anomálie je cca 600 km². Hlboké vrty Zborov-1 a Smilno-1, ktoré presiahli hĺbku 5 000 m sú prakticky mimo predmetnej anomálnej oblasti. Za predpokladu existencie karbonátov by tento tektonický prvok mohol byť priaznivým vstupom pre geotermálne hodnotenie predmetnej plochy.

7. Potenciálny výskyt karbonátov možno uvažovať aj v oblasti južnejšie od predmetnej anomálie, (južnejšie od Svidníka, smerom ku Stropkovu a Medzilaborciam), kde indikujeme ťažké hmoty v území, ktoré je mimo vyčlenenú izotermu. Tiažový obraz je tu deformovaný plytšími ležiacimi produktmi interpretovaného neogénneho vulkanizmu, ktoré by sa mali nachádzať v nadloží karbonátového komplexu ([Kucharič a kol., 2012](#)).
8. Zaujímavý je aj úsek zvýšených tiažových hodnôt v priestore *Šarišskej vrchoviny*, kde medzi obcami Hrabkov – Jaklovce – Kendice – Rokycany je detegovaná takmer izometrická kladná tiažová anomália. Podľa geologickej proveniencie by sa malo jednať o prejav karbonátových stredotriasových komplexov Čiernej hory, ktoré vychádzajú na povrch južnejšie od vyznačenej oblasti, prípadne hlbšie ležiaceho kryštalinika.
9. Anomálne pole v oblasti *Cerovej vrchoviny* – južne od Rimavskej Soboty. Toto si zasluhuje pozornosť hlavne z titulu existencie neskoro neogénnych a kvartérnych bazaltových subvulkanických telies. Anomália môže reprezentovať v záujmovej hĺbke súvrstvia staršieho paleozoika gemerika, ktoré tvorí hlavne súbor fylitov a lydítov s polohami karbonátov. V ich podloží predpokladáme podľa viacerých geologických, tektonických a geofyzikálnych indícií horniny kryštalinika neznámej príslušnosti. Mladá zlomová tektonika môže byť pozitívnym vkladom lokality ako potenciálne miesto pre získavanie tepla suchých hornín.
10. Výrazne dominujúcou anomálnou tiažovou zónou je oblasť *južného veporika* medzi Detvou a Lučencom. Tiažová anomália je v území, ktoré je tvorené prevažne granitoidnými horninami veporika, pravdepodobne ich „ťažšími“ bázickejšími varietami. Nachádza sa v najväčšom granitoidovom masíve Západných Karpát – Sihlianskom, ktorý pokračuje smerom na sv., kde hodnoty tiaže postupne klesajú. Granitoidy južného veporika v priestore Detva – Lučenec by mohli byť vhodných prostredím vzhľadom na uplatnenie zlomovej tektoniky, ktorá je v predmetnom priestore početne zastúpená – mýtniansky zlom, pohorelská, muránska a zdychavská línia a ďalšie.
11. *Žiarska kotlina* je síce na hraniciach nami skúmaného priestoru, ale venujeme jej pozornosť, pretože z geotermického hľadiska ide o vysoko aktívnu oblasť, pomerne dobre rozpracovanú. Značná časť predterciérneho podložia kotliny je možno považovať za perspektívnu z hľadiska získania vysokotermálnej vody a tiež aj suchého tepla vzhľadom na prítomnosť rozsiahlych subvulkanických intrúzií.
12. *Turčianska kotlina* predstavujúca hlboko zaklesnutú depresiu medzi kryštalinikom Žiaru a Lúčanskej Malej Fatry na západe a karbonátovými súbormi Veľkej Fatry na východe, s dĺžkou 50 km a šírkou 10-12 km má doteraz najväčšiu zistenú hĺbku predterciérneho podložia 3 km. V záujmovej hĺbke sa nachádzajú granitoidy a metamorfity Lúčanskej Malej Fatry, resp. granitoidy Žiaru a Veľkej Fatry. V tejto hĺbke je problematické rozlíšiť tieto horniny. V kotline je intenzívna zlomová tektonika poklesového charakteru smeru SSV–JJZ.
13. Pomerne zdanlivo málo rozsiahlou štruktúrou sa javí *tiažové maximum v Lúčanskej Malej Fatre*, kde vystupujú granitoidy a kryštalické bridlice tatrika. Tieto zrejme postupne poklesávajú smerom na Z a SZ do žilinskej kotliny. V sledovanej hĺbke ho možno očakávať jeho vývoj smerom ku Žiline, teda do žilinskej kotliny do priestoru obcí Lietavská Lúčka a Turie. Kryštalinikum je intenzívne tektonicky postihnuté, čoho dôkazom boli aj prieskumné práce pri hĺbení prieskumnej štôlne Dubná Skala – Višňové, kde boli granitoidy kataklazované širokými zlomovými zónami a dekomponované až do pieskovej substancie, za prítomnosti mohutného výveru vôd ([Matejček, 2006](#)). Vzhľadom k tomu, že prieskumná štôlna je v porovnaní s našim záujmovým horizontom je predsa len plytké dielo, predpokladáme ale, že aj v hĺbke 5 000 m môžu tektonické procesy i keď nie tak markantne, ale stále

dostatočne ovplyvniť prienik podzemných vôd. Z toho dôvodu by lokalita mohla predstavovať potenciálneho zástupcu pre získavanie tepla suchých hornín, ak k takejto potrebe v budúcnosti dôjde.

14. Táto plocha by mohla do istej miery súvisieť s plochou č. 13 v *Žilinskej kotline*, ktorá má aj porovnateľnú rozlohu.
15. *Hornonitrianska kotlina* je pokračovaním topoľčianskeho zálivu podunajskej panvy smerom na sever. Okrem neogénnej výplne sa tu nachádza aj cca 1 000 m hrubá sekvencia paleogénu. Nepredpokladá sa, žeby sedimenty dosiahli hĺbku väčšiu ako 3 500 m. Požadované teploty už sa zrejme nachádzajú v hĺbkach, kde je s najväčšou pravdepodobnosť zastúpené kryštalikum Malej Magury.
16. *Oblasť Tribeča*, prejavujúca sa v predmetnej mape výrazne maximálnymi hodnotami tiaže, ktoré sú zrejme spôsobené karbonátovými sekvenciami a zrejme aj ťažšími granitoidovými varietami. V zmysle *Bezák a kol. (2014)* podobne ako v predchádzajúcom prípade by malo byť zastúpené v požadovanej hĺbke kryštalikum, vo vyčlenenom priestore hlavne vo forme granitoidov alebo hlbšie aj metamorfitov.
17. *Bánovská kotlina* vkliessená medzi Považský Inovec a Strážovskú hornatinu predstavuje takmer izometrickú tiažovú štruktúru, ktorá zodpovedá terciérnej výplni s hrúbkou do 2 600 m. Podľa odvodených údajov z geologickej stavby sa predpokladá, že vývoj mezozoických sedimentov nepresiahol hĺbku 4 000 m. V severnej časti sa predpokladá hronikum, kým južnejšie fatriku, ako aj ipoltická skupina. To by potom znamenalo opäť zastúpenie kryštalinika v hĺbkach 5 000 m pre požadovanú izotermu 160 °C.
18. Priestorovo veľmi ohraničená je *Trenčianska depresia*, medzi severným ukončením Považského Inovca a bradlovým pásmom s rozlohou cca 100 km². Pod plytkou pliocénou povrchovou vrstvou sa predpokladá paleogénny vývoj do hĺbky približne 1 000 m. Na konkrétne charakterizovanie podložia niet relevantných údajov, možno ale usudzovať, že predterciérne podložie je tvorené horninami bradlového pásma a manínskej jednotky, ktoré môže siahať až do hĺbky 5 000 m, ak uvažujeme tektonický štýl bradlového pásma. V tejto hĺbke je podľa magnetotelúrických meraní interpretovaný obal pieninského typu kôry (*Bezák a kol., 2014*). Do puklinovej priepustnosti môžu priaznivo prispievať účinky regionálneho považského zlomu (*Bezák a kol., 2004*).
19. Tiažová anomália *Považského Inovca* spôsobená karbonátmi mezozoika, sedimentami mladšieho paleozoika a kryštalinikom, pôsobí v sledovanej hĺbke ako bariéra medzi bánovskou kotlinou a okrajovými depresiami Dunajskej panvy – Blatnianskou a Piešťanskou. Na základe tiažového poľa možno predpokladať vývoj kryštalinika v hĺbke 5 000 m, ktoré sa v magnetotelúrickom profile prezentuje výrazným zvýšením zdanlivej rezistivity (*Bezák a kol., 2014*). Predpokladáme, že hlavne okrajové časti pohoria sú tektonicky deštruované (zo západu Považským zlomom, z východu Dubodielskym). Ale aj v centrálnej časti kryštalinika je vyvinutá výrazná tektonická zóna sv. smeru (medzi Hôrkou a Dubodielom) v metamorfitoch (prevažne svory), medzi ktorými sú umiestnené amfibolitové telesá v prostredí čiernych metapelitov. Z tohto hľadiska by bol v pohorí určitý potenciál pre získavanie tepla suchých hornín.
20. *Blatnianska a Piešťanská depresia*. Ide o depresie vyvinuté pozdĺž rieky Váh, ktoré sú v oblasti Piešťan prerušené vrtne overenou eleváciou predneogénneho podložia. Ohraničenie oboch kotlín voči lemujúcim pohoriam (Malé Karpaty na západe a Považský Inovec na východe) je tektonické. V blatnianskej depresii bolo realizovaných niekoľko vrtov v rámci uhľovodíkovej prospekcie s hĺbkou nad 3 000 m. Pod neogénou výplňou boli overené karbonáty hronika aj fatrika.

Je reálny predpoklad, že v súlade s karbonatickým vývojom v príľahlých pohoriach by tieto mohli siahať takmer do hĺbky 5 000 m. Tomu napovedá aj vlnový odraz seizmického profilu 7HR/87 (*Vozár a Šantavý, 1999*). Piešťanská časť depresie je oveľa plytšia (pozri tiažové pole) a aj keď je v terciérnom podloží overený výskyt karbonátov hronika a fatrika, predpoklad ich výskytu v hĺbke 5 000 m je oveľa menej preukázateľný. Z toho dôvodu predpokladáme, že v danej hĺbke bude geologické prostredie budované kryštalinikom Považského Inovca.

21. *Viedenská panva* patrí medzi najlepšie geotermicky preskúmané oblasti na území Slovenska. Teplotné pomery sú dobre známe do hĺbky 2 500 m, pod touto hĺbkou teplotných údajov rýchlo ubúda, čo je spôsobené absenciou hlbších vrstov, resp. údajov z nich. V hĺbkach nad 5 000 m môže byť vhodným prostredím pre zisk geotermálnych vôd vzhľadom na predpokladaný výskyt karbonátov či už západokarpatského alebo východoalpského pôvodu. V podstate sa jedná o závodsko-studienske poklesnuté pásmo, kde možno očakávať dosiahnutie žiadanej teploty 160 °C. Z južnej strany je ohraničené výraznou tektonickou zónou, prejavujúcou sa vo forme gradientu tiažového poľa. Predmetný tiažový gradient, lemujúci rozhranie medzi Malými Karpatmi a Záhorskou nížinou by mal zodpovedať prejavu regionálneho zlomu vedúcemu z údolia Mury v Rakúsku a prechádzajúcim cez Wiener Neustadt až do Viedenskej panvy. Predpokladáme, že účinok takejto regionálnej tektonickej štruktúry by mal zvýšiť puklinovú priepustnosť v hľadanej hĺbke.

Záver

Výsledkom našej analýzy bolo zostavenie máp horninového prostredia najperspektívnejších oblastí z hľadiska možného využívania tepla suchých hornín a to Východoslovenskej a Podunajskej panvy a časti Viedenskej panvy v technicky dostupných hĺbkach (4–5 km) a vyčlenenie úsekov s vhodnými horninovými komplexami. V ostatných oblastiach Slovenska, kde je požadovaná izoterma 160 °C až v hĺbke medzi 5 a 6 km, sú vytipované oblasti z možným priaznivým litologickým zložením. Z hľadiska použiteľných indícií o hlbinej stavbe, bolo možné v mapovom obraze principiálne vyčleniť tri skupiny litologicky vhodných horninových komplexov:

- paleozoické granitoidné a metamorfované komplexy tvoriace hlbinný fundament celého riešeného regiónu, ďalej vulkanity a vulkanosedimenty mladšieho paleozoika ipolitickej skupiny v podloží SV časti Podunajskej panvy, vo východnej časti územia spektrum metamorfovaných hornín paleozoika a mezozoika jednotiek iňačovsko-kričevskej a zemplínika,
- prevažne mezozoické komplexy príslušné obalovým skupinám, superficiálnym príkrovom a bradlovému pásmu reprezentované najmä karbonatickými horninami a siliciklastikami,
- prevažne miocénna sedimentárna výplň v hlbokých častiach centier hlavných depresí reprezentovaná najmä ílovcami a pieskovcami miestami so zastúpením vulkanogénnych hornín, vo východnej časti územia tiež paleogénne flyšové sedimentárne série.

Okrem uvedených podstatných členov hlbinej stavby Západných Karpát je na južnom okraji Podunajskej panvy vyčlenená zakrytá elevácia jednotky Pelso budovaná kryštalinikom a karbonátmi, prípadne siliciklastikami. Ďalej sú v mapách znázornené rajóny s možným výskytom telies neovulkanitov a vulkanických centier (prívodné aparáty).

Pre podrobné spracovanie navrhujeme v prvom rade tieto oblasti: *Trebišovská panva*, *Podunajská panva*, *Žiarska kotlina*, *Košická kotlina*. V druhom rade *Viedenská panva* a *východoslovenské flyšové pásma*. Tretia v poradí významnosti je skupina oblastí, kde izoterma 160 °C je v hĺbkach medzi 5–6 km. Z nášho prehľadu vychodí, že najväčší potenciál pre možné geotermálne zdroje v tejto úrovni sa nachádza vo flyšových vonkajších Karpatoch (flyš v západnej časti Slovenska a západná časť východoslovenského flyša). Vnútorne kotliny v požadovanej hĺbke sú takmer všetky tvorené kryštalinickými komplexami. Vývoj karbonátov v hĺbkach nad 5 000 m predpokladáme len v Žiarskej, Žilinskej a Trenčianskej kotline, ako aj v Blatnianskej depresii Podunajskej panvy. V Cerovej vrchovine by kolektorskými horninami mali byť epimetamorfity gemerika, v sihliaňskom masíve veporika granitoidy alebo pod nimi ležiace metamorfity. Väčšina južnejšie ležiacich masívov kryštalinika ako Považský Inovec a Tríbeč, ako aj južná časť Sihlianskeho masívu by podľa gravimetrie mali mať dostatočne hlboký dosah a tým aj potenciálne využitie pre získavanie tepla suchých hornín. Zo severnejších masívov priaznivo hodnotíme len oblasť Lúčanskej Malej Fatry.

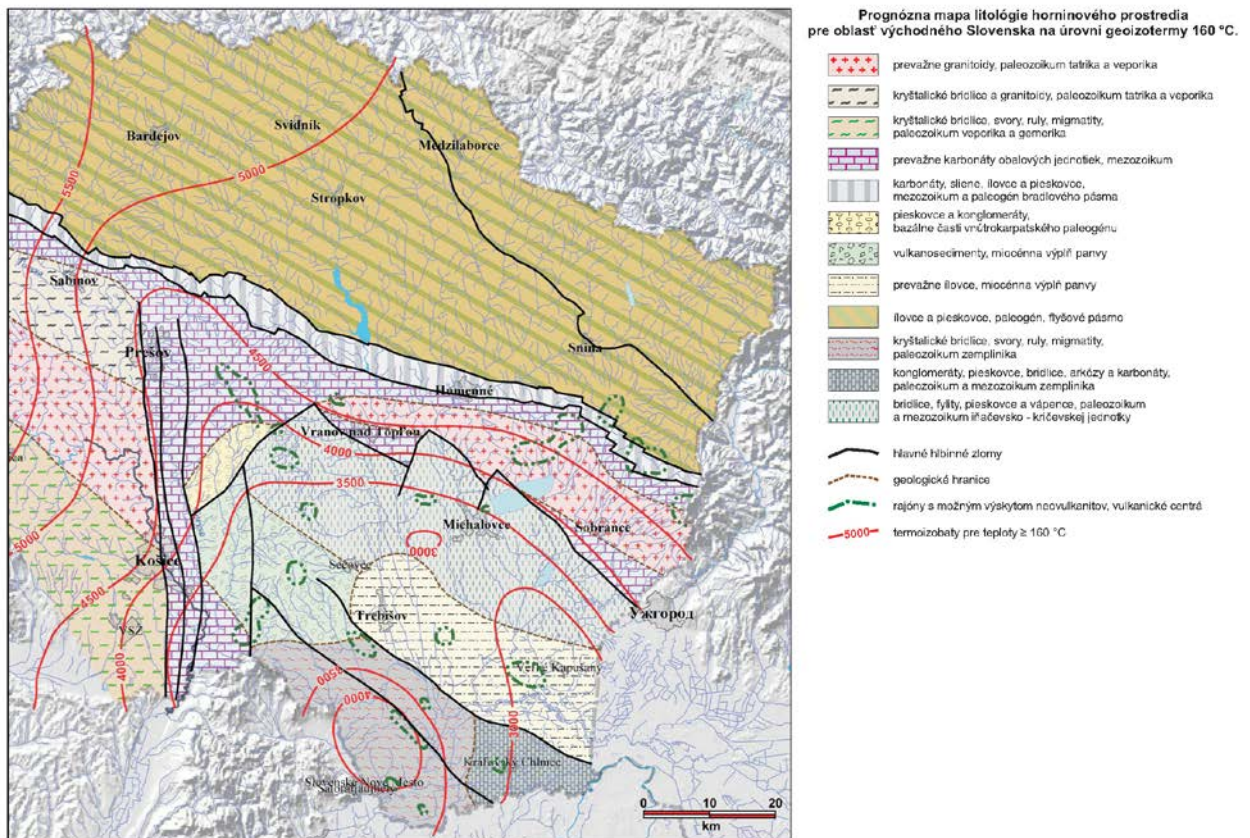
Podakovanie

Tento príspevok vznikol za podpory grantov APVV-0724-11 a VEGA 2/0091/15.

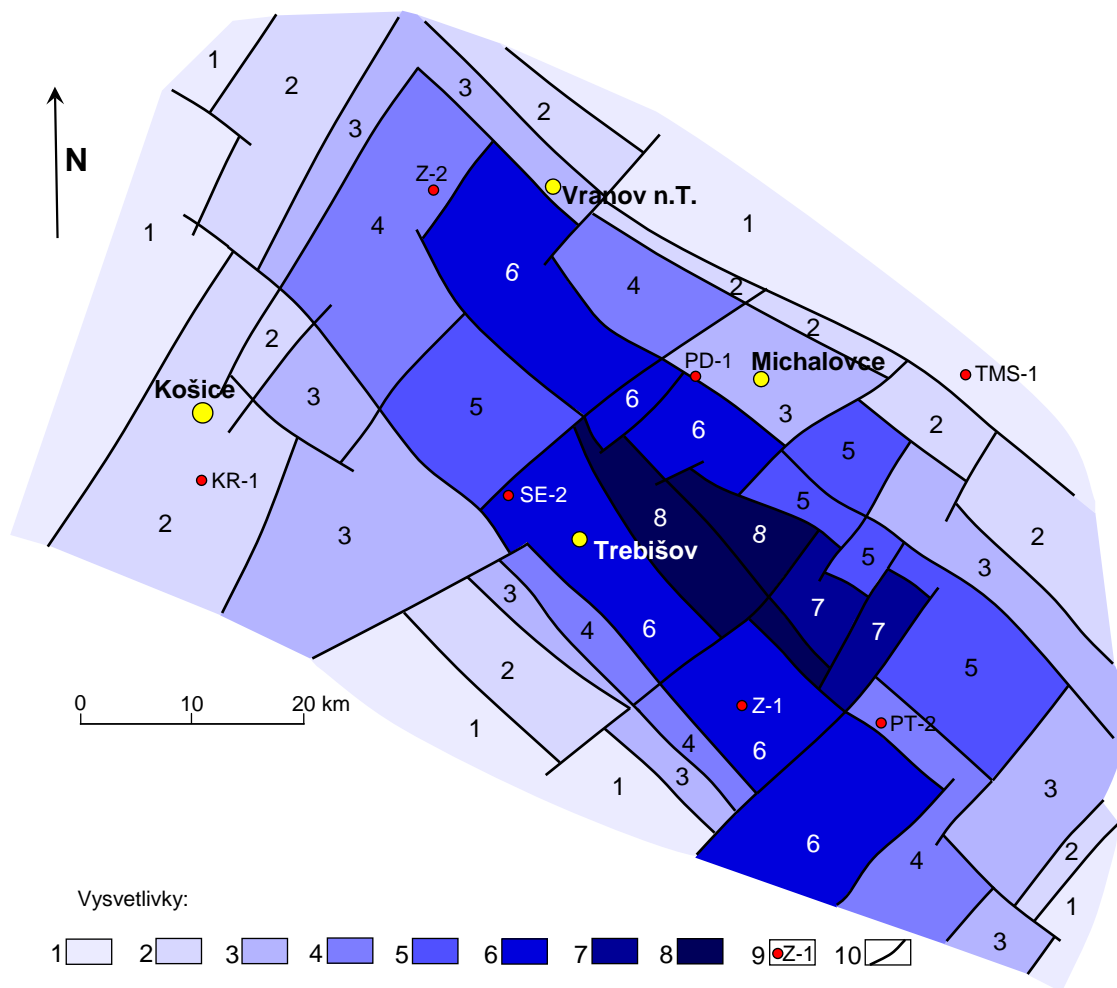
Literatúra

- Bezák V., Broska I., Ivanička J., Reichwalder P., Vozár J., Polák M., Havrila M., Mello J., Biely A., Plašienka D., Potfaj M., Konečný V., Lexa J., Kaličiak M., Žec B., Vass D., Elečko M., Janočko J., Pereszlényi M., Marko M., Maglay J. and Pristaš J., 2004: Tektonická mapa Slovenskej republiky. Vydavateľstvo ŠGÚDŠ, Bratislava.
- Bezák V., Pek J., Vozár J., Bielik M., Vozár J., 2014: Geoelectrical and geological structure of the crust in Western Slovakia. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 04, 58
- Biela A., 1978 : Hlboké vrty v zakrytých oblastiach vnútorných Západných Karpát. *Regionálna geológia Západných Karpát*, 10, GÚDŠ, Bratislava, 224 s.
- Biela A., 1978 : Hlboké vrty v zakrytých oblastiach vnútorných Západných Karpát. *Regionálna geológia Západných Karpát*, 11, GÚDŠ, Bratislava, 224 s.
- Čverčko J., Magyar J., Rudinec R., Jung F., Lunga S., Očovský J., Varga M., Mořkovský M., Lukášová R., 1983: Záverečná správa o hlbokom vyhľadávacom prieskume na živice vo východoslovenskom neogéne. Úloha: Hlboký vyhľadávací prieskum na ropu a zemný plyn. *MS Geofond Bratislava*.
- Fusán O., Biely A., Ibrmajer J., Plančár J., Rozložník L., 1987: Podložie terciéru vnútorných Západných Karpát. *GÚDŠ Bratislava*, 123 s.
- Gnojek I., Hovorka D., Pospíšil L., 1991: Sources of magnetic anomalies in the Pre-Tertiary basement of Eastern Slovakia. *Geologica Carpathica*, 3/42, 169–180.

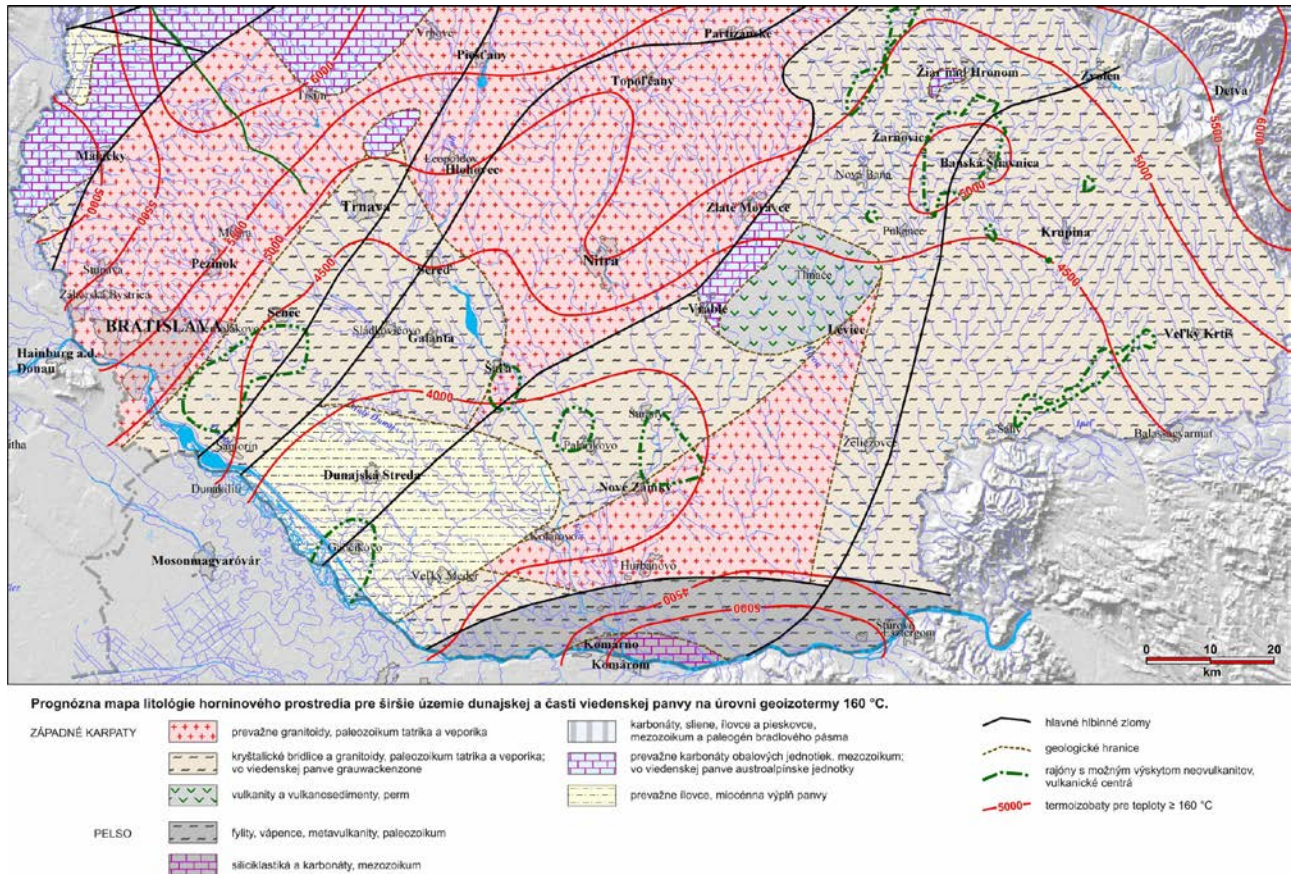
- Kubeš P., Kubeš P., Bielik M., Daniel S., Čížek P., Filo M., Gluch A., Grand T., Hrušecký I., Kucharič, Ľ., Medo S., Pašteka R., Smolárová H., Šefara J., Tekula B., Ujpál Z., Valušiaková A., Bezák V., Dublan Š., Elečko M., Határ J., Hraško Ľ., Ivanička J., Janočko J., Kaličiak M., Kohút M., Konečný V., Mello J., Polák M., Potfaj M., Šimon L., Vozár J. 2001: Atlas geofyzikálnych máp a profilov. Manuskript, Geofond, ŠGÚDŠ Bratislava.
- Kubeš P., Bezák V., Kucharič Ľ., Filo M., Vozár J., Konečný V., Kohút M. and Gluch A., 2010. Magnetic field of the Western Carpathians (Slovakia): reflection structure of the crust. *Geol. Carpath.*, **61**, 437-447.
- Kucharič Ľ., Bezák V., Majcin D., Vozár J., 2012: Carbonate complexes underlying Flysch belt and subsurface Neogene volcanic in the NE part of Slovakia - a potential for geothermal energy and raw materials In: Contributions to Geophysics and Geodesy. - ISSN 1335-2806. - Roč.42, epc c.4. - Bratislava: *Geophysical Institute, Slovak Academy of Sciences*, 283–294.
- Majcin D., Král M., Šujan M., Kutas R.I., Bilčík D., 2015: Tepelné charakteristiky zdrojov tepla suchých hornín na území Slovenska. In: Bezák V. et al. (Eds.): Structure and thermal state of the West Carpathian lithosphere: hot dry rock energy sources potential of Slovakia. Earth Science Institute, SAS, Bratislava, 107-124
- Matejček A., 2006: Riziká pri realizácii stavby tunela Višňové. In: Konferencia Podzemné stavebníctvo, Bojnice, 2006.
- Pospíšil L., Filo M., 1977: Výsledky interpretácie geofyzikálnych anomálií v strednej časti Potiskej nížiny. *Geologický průzkum 3*, roč. XIX, 270–272.
- Prutkin I., Vajda P., Bielik M., Bezák V., Tenzer R., in press. Joint interpretation of gravity and magnetic data in the Kolárovo anomaly region by separation of sources and the inversion method of local corrections. *Geologica Carpathica*, 65/2, 163–174.
- Rudinec R., 1989 : Zdroje ropy, zemného plynu a geotermálnej energie na Východnom Slovensku. *ALFA, Bratislava*, 162 s.
- Slávik J., 1974: Vulkanizmus, tektonika a nerastné suroviny neogénu východného Slovenska a pozícia tejto oblasti v Neoeurópe. *Doktorská dizertačná práca. MS GÚDŠ Bratislava*.
- Slávik J., 1976: Zemlinikum – možná nová tektonická jednotka centrálnych Karpát. *Geologické práce, Správy 65*, 7–19.
- Šefara J., Bielik M., 2009: Geofyzikálny obraz Západných Karpát a ich okolia. Geologická interpretácia geofyzikálnych meraní regionálneho a hlbinného charakteru. *Univerzita Komenského, Bratislava*, 171 s.
- Šefara J., Bielik M., Bodnár J., Čížek P., Filo M., Gnojek I., Grecula P., Halmešová S., Husák Ľ., Janoščík M., Král M., Kubeš P., Kurkin M., Leško B., Mikuška J., Muška P., Obernauer D., Pospíšil L., Putiš M., Šutora A., Velich, 1987: Štruktúrno-tektonická mapa vnútorných Západných Karpát pre účely prognózovania ložísk – geofyzikálne interpretácie. *Záverečná správa. MS Geofond Bratislava*, 267 s.
- Vozár J., Šantavý J. (eds.) et al., 1999: Atlas hlbinných seizmických profilov SR. Archív ŠGÚDŠ.



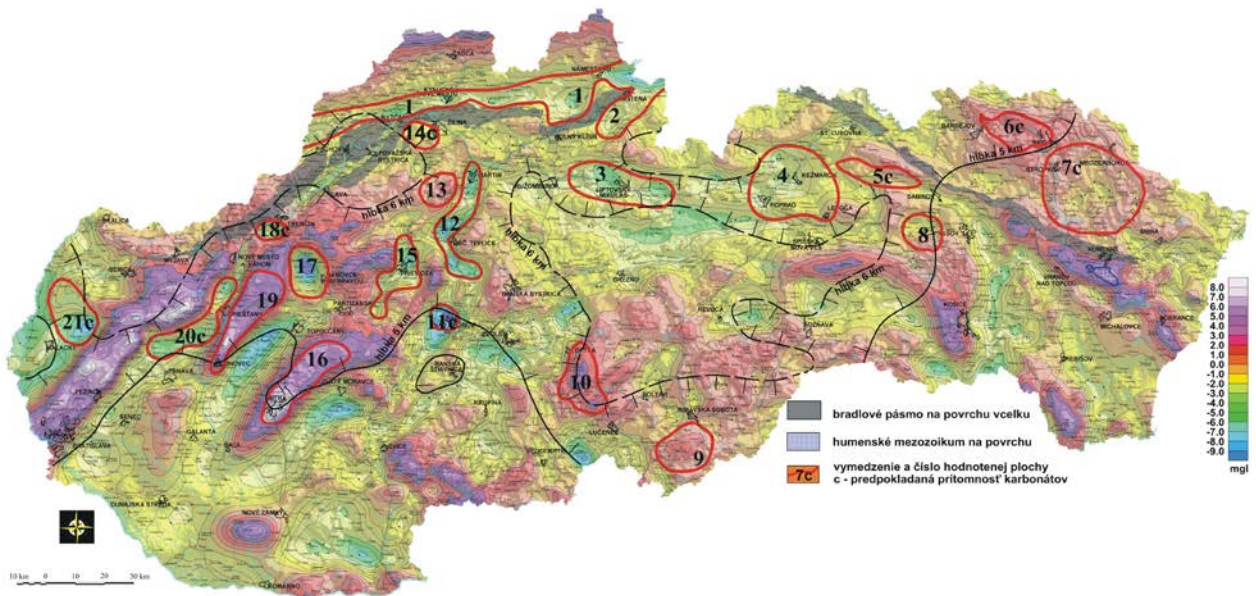
Obr.1. Prognózná litologická mapa pre oblasť východného Slovenska na úrovni izotermy 160 °C.



Obr.2. Tektonická schéma Východoslovenskej panvy. Hĺbka podložia: 1- na povrchu, 2- do 1 km, 3- 1-2km, 4- 2-3km, 5- 3-4km, 6 – 4-5km, 7- 5-6km, 8- 6-7km. 9-hlboké vrty, 10-zlomy.



Obr.3. Prognóza litologická mapa Podunajskej a Viedenskej panvy na úrovni izotermie 160 °C.



Obr.4. Mapa ÚBA v hĺbkach 5 – 6 km s vymedzením potenciálne vhodných území (okrem oblastí uvedených na obr. 1 a 3) pre využívanie tepla suchých hornín.