

ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA



**ZHODNOTENIE ENERGETICKÉHO POTENCIÁLU
GEOTERMÁLNYCH VRTOV A REZERVOÁROVÉHO PROSTREDIA
NA LOKALITE PARTIZÁNSKE PRE ZÁMER SYSTÉMOV
CENTRÁLNEHO ZÁSOBOVANIA TEPLOM**

(GEOLOGICKÁ ŠTÚDIA)

Vypracoval:

Ing. Branislav Fričovský, M.S., PhD.

Spolupracovali:

doc. Ing. Ladislav Vizi, PhD.

Štatutár zhotoviteľ'a:

RNDr. Igor Slaninka, PhD.

Dátum vyhotovenia:

november 2023

Obsah

1	Vymedzenie úlohy a rozsah realizovaných prác.....	1
2	Stručný prehľad hydrogeotermálnej preskúmanosti	2
3	Geologické a hydrogeotermické pomery územia	5
3.1	Vymedzenie územia	5
3.2	Stručný prehľad geologickej stavby	5
3.3	Hydrogeologické pomery	12
3.3.1	Hydrogeologická funkcia horninového prostredia	12
3.3.2	Hydraulické parametre horninového prostredia	13
3.3.3	Koncepčná charakteristika obehových systémov	14
3.4	Geotermické prostredie	18
3.4.1	Geotermické pole	18
3.4.2	Vertikálna distribúcia teploty	22
4	Energetický potenciál hydrogeotermálnych vrtov na lokalite Partizánske.....	33
5	Energetický potenciál rezervoárového prostredia.....	38
5.1	Energetická bilancia rezervoárového prostredia	38
5.1.1	Celkový tepelno-energetický potenciál	38
5.1.2	Model odhadu udržateľnej rezervoárovej kapacity	43
5.1.3	Aktuálny stav využitia a využívania zdrojov geotermálnej energie v Bánovskej kotline	45
5.1.4	Potenciál rozvoja produkcie geotermálnej energie v Bánovskej kotline	46
5.2	Hydrogeotermická bilancia vymedzeného polygónu lokality Partizánske	47
5.3	Diskusia k potenciálu geologického prostredia v krížňanskom príkrove (fatriku)	52
6	Návrhy ďalších krokov v rozvoji lokality Partizánske	67
6.1	Návrhy ďalších geologických prác na lokalite Partizánske.....	68
6.2	Návrhy a vymedzenie potenciálnych prieskumných území	78
7	Zhrnutie.....	81

1 VYMEDZENIE ÚLOHY A ROZSAH REALIZOVANÝCH PRÁC

Energetické a rezervoárovo-inžinierske zhodnotenie existujúcich geotermálnych vrtov a rezervoárového prostredia na lokalite Partizánske vyplýva z hospodárskej zákazky, kde:

- objednávatel' prác: Priatelia Zeme – CEPA v spolupráci s mestom Partizánske
- zhotoviteľ prác: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra (Bratislava)

na základe osobnej a písomnej komunikácii dospeli k nasledovnému vymedzeniu prác:

- zhodnotenie hydrogeologických, hydraulických a tepelno-energetických potenciálov existujúcich vrtov
- zhodnotenie a analýza citlivosti inštalovaných výkonov geotermálnych vrtov v závislosti na výdatnosti a teplote na výstupe z výmenníkových schém
- bilančné zhodnotenie vyrovnaného tepelného toku v oblasti Partizánskeho
- zhodnotenie možných tepelných výkonov vo vzťahu ku udržateľnej rezervoárovej kapacite Bánovskej kotliny
- zhodnotenie tepelno-energetických parametrov a geometrie rezervoárového prostredia v relevantnom okolí lokality
- určenie krokov nevyhnutných k realizácii hydrodynamických skúšok na lokalite (workplan).

Predmetné zhodnotenie je postavené tak, aby tvorilo relevantný podklad pre prípravu projektu geologickej úlohy a projektovej dokumentácie vo vzťahu k nevyhnutným náležitostiam žiadostí o NFP z Fondu pre spravodlivú transformáciu, ktorej predmetom má byť návrh a realizácia systémov nízkotepelného centrálneho vykurovania mesta Partizánske s využitím zdrojov geotermálnej energie.

2 STRUČNÝ PREHLAD HYDROGEOTERMÁLNEJ PRESKÚMANOSTI

Lokalita Partizánske je situovaná v juhovýchodnej časti útvaru geotermálnych vôd Bánovská kotlina, ktorá bola ako severný výbežok Podunajskej panvy v prvom štádiu podrobená systematickému vyhľadávaniu uhľovodíkov, najmä s využitím hlbokých štruktúrnych vrtov respektíve geofyziky, napríklad:

- gravimetrické merania
- rádiometria a aeromagnetické merania
- reflexná a refrakčná seizmika
- geoelektrické merania
- termometrické merania na štruktúrnych geologických vrtoch (FRANKO – GAZDA, 1969; BRESTENSKÁ ET AL., 1975)

Prieskum celej oblasti za účelom overenia a zachytenia geotermálnych vôd, respektíve využitia geotermálnej energie dlhodobo stagnoval. Existencia minerálnych a termo-minerálnych prameňov v Bánovskej kotline bola dokumentovaná na lokalitách Malé a Veľké Bielice, respektíve Chalmová (TKÁČIK ET AL., 1969), čo tvorilo podklady pre prvú ucelenú štúdiu o možnostiach využitia geotermálnych vôd a ich parametroch v oblasti posúdením plytkých hydrogeologických vrtov a prameňov (FRANKO ET AL., 1983). Predovšetkým vrty **MB-3 Malé Bielice**, **MB-4 Malé Bielice** a **VB-3 Veľké Bielice** overili geotermálne vody s teplotami $T_{wh} = 39 - 40$ °C, a sumárnou overenou výdatnosťou aktuálne $Q = 18,8$ l.s⁻¹ (MARCIN ET AL., 2020).

Prvým hydrogeotermálnym vrtom konštruovaným za účelom overenia a zachytenia geotermálnej vody bol vrt **BnB-1 Bánovce nad Bebravou** na lokalite Biskupice (ČERMÁK – BONDARENKOVÁ, 1984), ktorý zistil mezozoické karbonáty v hĺbke 1 877 – 2 050 m priradené k chočskému príkrovu a overil geotermálne vody s teplotou $T_{wh} = 35 - 40$ °C s výdatnosťou prelivom 3 l.s⁻¹. Na vrte bola následne realizovaná hydrodynamická skúška (BONDARENKOVÁ ET AL., 1990), ktorou boli doporučené množstvá odberu geotermálnych vôd $Q = 9 - 11$ l.s⁻¹, pričom čerpaním došlo k zvýšeniu teploty geotermálnej vody na úroveň $T_{wh} = 45 - 49$ °C (JEZNÝ, 2013). Aktuálne schválené množstvá geotermálnych vôd pre vrt BnB-1 počítajú s produktivitou $Q = 17$ l.s⁻¹ (napr. MARCIN ET AL., 2016).

Prvá ucelená predstava o energetickom potenciáli z obdobia 1984 – 1985 (FENDEK ET AL., 1985, 1986) formulovala predstavu segmentácie pred-terciérneho podložia Bánovskej kotliny respektíve Topoľčianskeho zálivu so zreteľom na možnosti formovania obehových hydrogeotermálnych štruktúr, v rámci ktorej boli v smere sever – juh vyčlenené:

- Bánovská kotlina (vlastná) s ústrednou depresiou Ruskovce
- zóna čiastkových morfoštruktúrnych elevácií a depesií predneogénneho substrátu na línii Prašice – Partizánske
- Topoľčiansky záliv s ústrednou depresiou Veľké Ripňany
- severný okraj gabčíkovsko-rišňovskej depresie;

pričom pri očakávanej priemernej teplote rezervoárového prostredia $T_{\text{res}} = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ a referenčnej teplote $T_{\text{ref}} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ štúdia odhadla zásoby geotermálnej energie na úrovni 17,5 MWt, ak prognózne zdroje geotermálnych vôd dosahujú $66,6\text{ l.s}^{-1}$.

Hlboký vrt **FGTz-1 Topoľčany** (FENDEK ET AL., 1986) bol pôvodne realizovaný s cieľom overiť mezozoické súvrstvia chočského, respektíve krížňanského príkrovu v rámci topoľčianskeho zálivu. Vrtom ale boli zachytené stredotriasové karbonáty obalovej jednotky tatrika, ktoré overili geotermálne vody produkovateľné čerpaním s výdatnosťou $Q = 3 - 5\text{ l.s}^{-1}$ a teplotou na ústí $T_{\text{wh}} = 41 - 54\text{ }^{\circ}\text{C}$, čo je samo o sebe významné rozkolísanie.

Vrt **HGTP-1 Partizánske** (MÉRYOVÁ, 2000) overil geotermálne vody s teplotou $T_{\text{wh}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a výdatnosťou $Q = 12,8\text{ l.s}^{-1}$ viazané na stredotriasového karbonáty chočského príkrovu, ktorý nadväzoval na štúdiu zameranú na možnosti získavania a využívania geotermálnych vôd v okolí Partizánskeho.

Posledným realizovaným hydrogeotermálnym vrtom v území je **FGTz-2 Partizánske** (REMŠÍK ET AL., 2007), ktorý overil geotermálne vody s teplotou $T_{\text{wh}} = 33\text{ }^{\circ}\text{C}$ a výdatnosťou $Q = 12,5\text{ l.s}^{-1}$.

Rozsiahly geotermálny výskum topoľčianskeho zálivu, respektíve Bánovskej kotliny (REMŠÍK ET AL., 2007) vyčlenil dve základné štruktúry hydrogeotermálnych vôd viazané na karbonáty chočského príkrovu:

- bánovská hydrogeotermálna štruktúra v severnej časti územia
- závadsko-bielická hydrogeotermálna štruktúra v južnej časti územia.

Súčasťou hydrogeotermálneho hodnotenia bolo prehodnotenie množstiev a zásob geotermálnej energie na vtedy vymedzenú perspektívnu oblasť, s nasledujúcim rozlíšením:

- pre oblasť výskytu kolektorov geotermálnych vôd mimo vyčlenených štruktúr: na základe metódy energetickej bilancie (napr. [FENDEK ET AL., 2005](#)) je „množstvo geotermálnej energie“ stanovené na úrovni 15,167 MWt, čo zodpovedá „množstvu geotermálnej vody“ 191,97 l.s⁻¹ pri priemernej teplote 34 °C na ústí produkčných vrtov a referenčnej teplote 15 °C
- pre vyčlenenú bánovskú štruktúru:
 - bilančnou metódou (napr. [FENDEK ET AL., 2005](#)) stanovené „množstvo geotermálnej vody“ 63,99 l.s⁻¹, čomu zodpovedá „množstvo geotermálnej energie“ 6,65 MWt
 - USGS objemovou metódou (napr. [MUFFLER – CATALDI, 1978](#)) stanovené „exploataiteľné množstvo geotermálnej energie“ 32,7 MWt, zodpovedajúce „množstvu geotermálnej vody“ na úrovni 324,98 l.s⁻¹
- pre vyčlenenú závadsko-bielickú štruktúru:
 - bilančnou metódou (napr. [FENDEK ET AL., 2005](#)) stanovené „množstvo geotermálnej vody“ 77,69 l.s⁻¹, čomu zodpovedá „množstvo geotermálnej energie“ 5,8 MWt
 - USGS objemovou metódou (napr. [MUFFLER – CATALDI, 1978](#)) stanovené „exploataiteľné množstvo geotermálnej energie“ 30,85 MWt, zodpovedajúce „množstvu geotermálnej vody“ na úrovni 412,07 l.s⁻¹.

V predkladanom hydrogeotermálnom hodnotení ([REMŠÍK ET AL., 2007](#)) sa vychádzalo z predpokladu produkcie rezervoáru po dobu $t_{\text{prod}} = 30$ rokov a referenčnou teplotou $T_{\text{ref}} = 15$ °C, pričom v prípade využitia USGS objemovej metódy bol použitý koeficient dostupnosti na hladine $R_0 = 0,1$.

3 GEOLOGICKÉ A HYDROGEOTERMICKÉ POMERY ÚZEMIA

3.1 Vymedzenie územia

Lokalita Partizánske je súčasťou širšie vymedzeného útvaru geotermálnych vôd Bánovská kotlina s identifikátorom SK300090FK (MARCIN ET AL., 2016, 2020) s celkovou rozlohou $A_{UGV} = 557,964 \text{ km}^2$ (Obrázok 3.1). V rámci samotného útvaru geotermálnych vôd bolo rezervoárové médium overené (tzn. dokumentované geologickými / hydrogeotermálnymi vrtmi) v mezozoických karbonátoch (stredný a stredný-vrchný trias):

- hronika / chočského príkrovu (Obrázok 3.1), $A_{CHP} = 397 \text{ km}^2$
- obalovej jednotky tatrika (jedine vrt FGTz-1 Topoľčany; FENDEK ET AL., 1986);

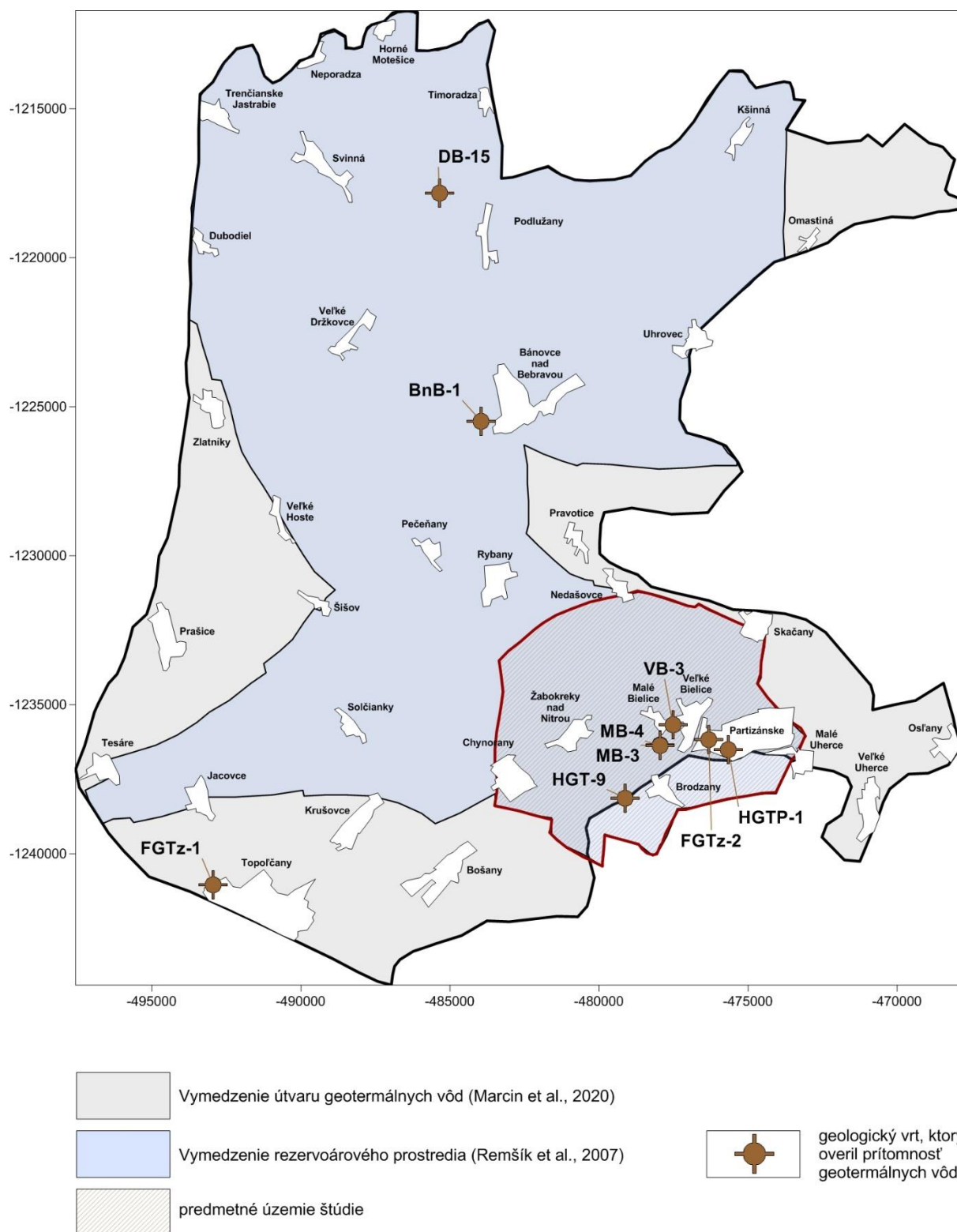
pričom v zmysle odhadov tektonickej mapy pred-terciérneho podložia je v celom útvare geotermálnych vôd s výnimkou JZ okraja možné predpokladať rozšírenie aj mezozoických formácií fatrika (syn. krížňanský príkrov) v podloží systémov hronika.

Lokalita Partizánske ako predmetné územie (Obrázok 3.1) bola vymedzená priestorovým dosahom strednotriasových karbonátov hronika z južnej a východnej strany, a tektonickým vymedzením na línii Chynorany – Rybany – Nedašovce, s celkovou plochou $A_{PTZ} = 55 \text{ km}^2$.

3.2 Stručný prehľad geologickej stavby

Na geologickej stavbe útvaru geotermálnych vôd a teda aj predmetného územia sa v idealizovanom vertikálnom slede podieľajú:

- kvartérne sedimentárne formácie
- sedimentárny neogén
- vnútrokarpatský paleogén
- tektonická jednotka hronika (chočský príkrov)



Obrázok 3.1: Vymedzenie študovaného územia na lokalite Partizánske vo vzťahu k celkovej rozlohe útvaru geotermálnych vôd a ploche očakávaného rozšírenia rezervoárového prostredia v mezozoických karbonátoch hronika

- tektonická jednotka fatrika (krížňanský príkrov)
- obalová jednotka tatrika
- kryštalikum tatrika.

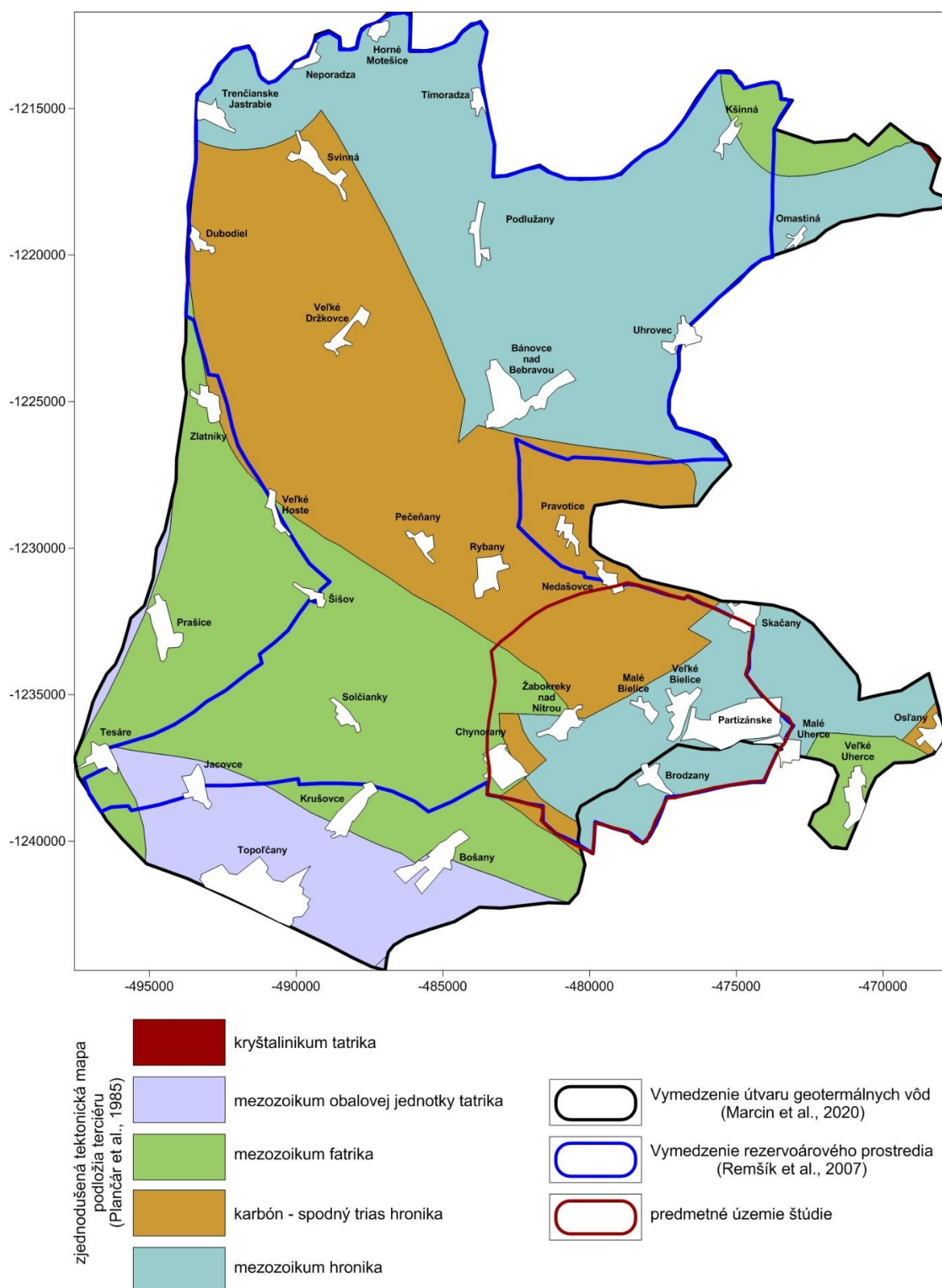
Kenozoický profil je tvorený neogénnymi formáciami s typickou siliciklastickou výplňou, v ktorej prevládajú pelitické frakcie, v podloží so sukcesiou vnútrokarpatského paleogénu (bánovskej kotliny), ktorý v smere báza – strop zastupuje bazálne borovské súvrstvie zlepecov a brekcií s prechodom do hutianskeho súvrstvia s prevahou ílovcov, a následne zubereckého, flyšoidného súvrstvia.

Názory na priestorovú stavbu **predterciérneho podložia** sa odlišujú (Obrázok 3.2). Kým v juhozápadnej časti boli vrtom FGTz-1 Topoľčany overené formácie obalovej jednotky tatrika, karbonáty fatrika v priamom podloží paleogénu, respektíve neogénu potvrdené vrtnými prácami neboli, preto aj regionálne hydrogeotermálne hodnotenie (REMŠÍK ET AL., 2007) predpokladá rozšírenie karbonátov hronika od línie Tesáre – Bošany k severovýchodu po spojnicu Kšinná – Omastiná.

Priamo na lokalite Partizánske pritom vrty HGTP-1 a FGTz-2 overili predpokladaný, ustálený vertikálny profil. Stratigraficko – litologické profile jednotlivých vrtov v relevantnej oblasti udáva Tabuľka 3.1.

Tabuľka 3.1: Vertikálne geologické profile vrtov v relevantnom okolí lokality Partizánske

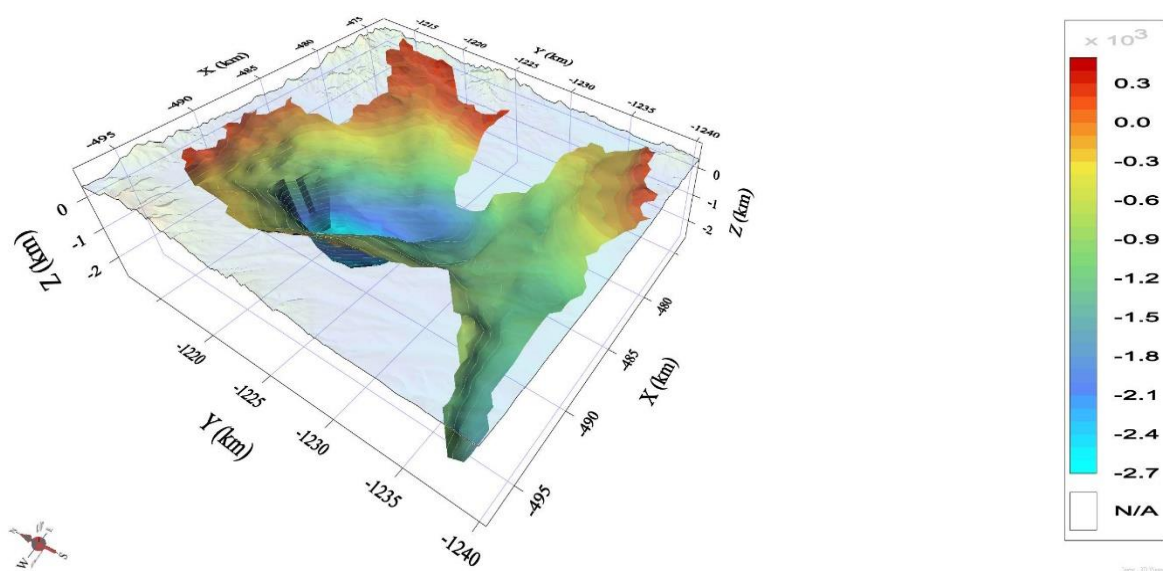
VB-1 Veľké Bielice 0 – 8,5 m ; kvartér 8,5 – 15,0 m ; neogén	VB-2 Veľké Bielice 0 – 13,0 m ; kvartér 13,0 – 96,0 m ; neogén 96,0 – 166 m ; paleogén 166 – 241 m ; stredný / vrchný trias (hronikum)
MB-1 Malé Bielice 0 – 11,2 m ; kvartér 11,2 – 15,5 m ; neogén	MB-3 Malé Bielice 0 – 8,2 m ; kvartér 8,2 – 100 m ; neogén
FGTz-2 Partizánske 0 – 12,0 m ; kvartér 12,0 – 97,0 m ; neogén 97,0 – 165 m ; paleogén 165 – 961 m ; stredný / vrchný trias (hronikum) 961 – 998 m ; spodný trias (hronikum)	HGTP-1 Partizánske 0 – 7,5 m ; kvartér 7,5 – 13,1 m ; neogén 13,1 – 196 m ; paleogén 196 – 500 m ; stredný / vrchný trias (hronikum)



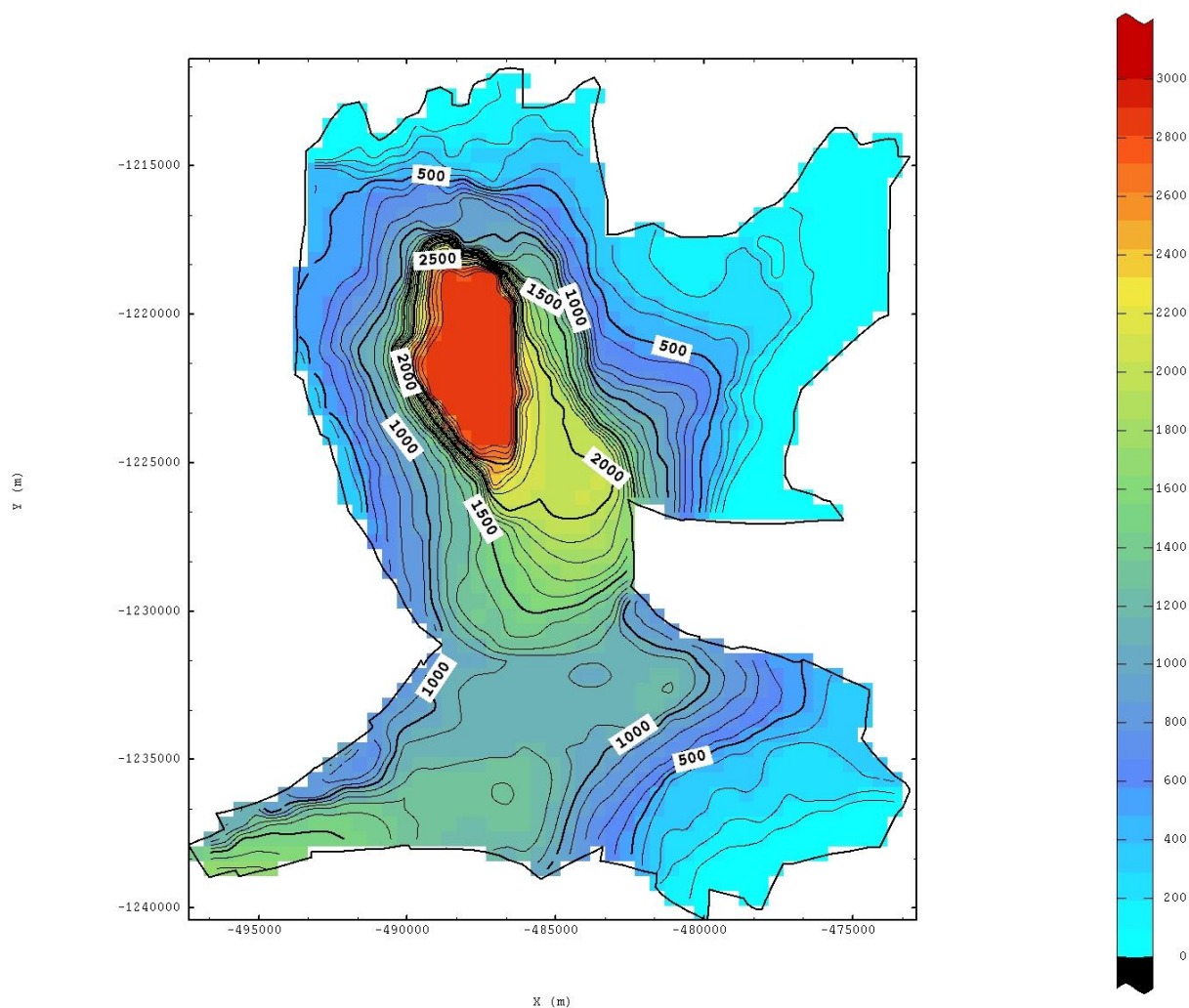
Obrázok 3.2: Schéma predpokladaného pred-terciérneho podložia. Upravené podľa: Plančár et al. (1985; Remšík et al., 2007)

Pre účely tejto štúdie je pod pojmom „**rezervoárové prostredie**“ označený **mezozoický, stredno-triasový až vrchnotriasový profil hronika / chočského príkrovu**, ktorý predstavuje priame podložie sedimentárnej výplne bánovskej kotliny.

Podľa geologického modelu, ktorý bol konštruovaný pre Bánovskú kotlinu v rámci geologickej úlohy „Analýza možností trvalo udržateľného využitia a využívania zdrojov geotermálnej energie na Slovensku – I. časť“ (FRIČOVSKÝ ET AL., 2024) klesá strop mezozoických karbonátov v smere JV – SZ na systémoch zlomov, čo z bezprostredného okolia lokality Partizánske vytvára elevovanú kryhu, kde je sumárna hrúbka kenozoika do 500 m (Obrázok 3.3 a 3.4), pričom ďalšie kryhy s osou JZ – SV upadajú v smere k severozápadu, na styku s morfoštruktúrou, kde je predpokladaný strop mezozoika 1000 – 1200 m, ktorá predstavuje výbežok Topoľčianskeho zálivu. Na línii Oslany – Uherce vystupuje mezozoikum priamo na povrch. Dominantnou štruktúrou je tzv. ruskovská / držkovská depresia, s odhadovanými hĺbkami stropu rezervoárového prostredia do 3000 – 3200 m, ktoré doteraz neboli spoľahlivo overené vrtnými prácami, a predstavujú tak výraznú neistotu. V smere k Strážovským vrchom (S) a Hornonitrianskej kotline (SV) sa opätovne rezervoárové prostredie vynára na líniiach zlomových systémov do hĺbok nepresahujúcich 200 – 500 m na okrajoch celej kotliny.

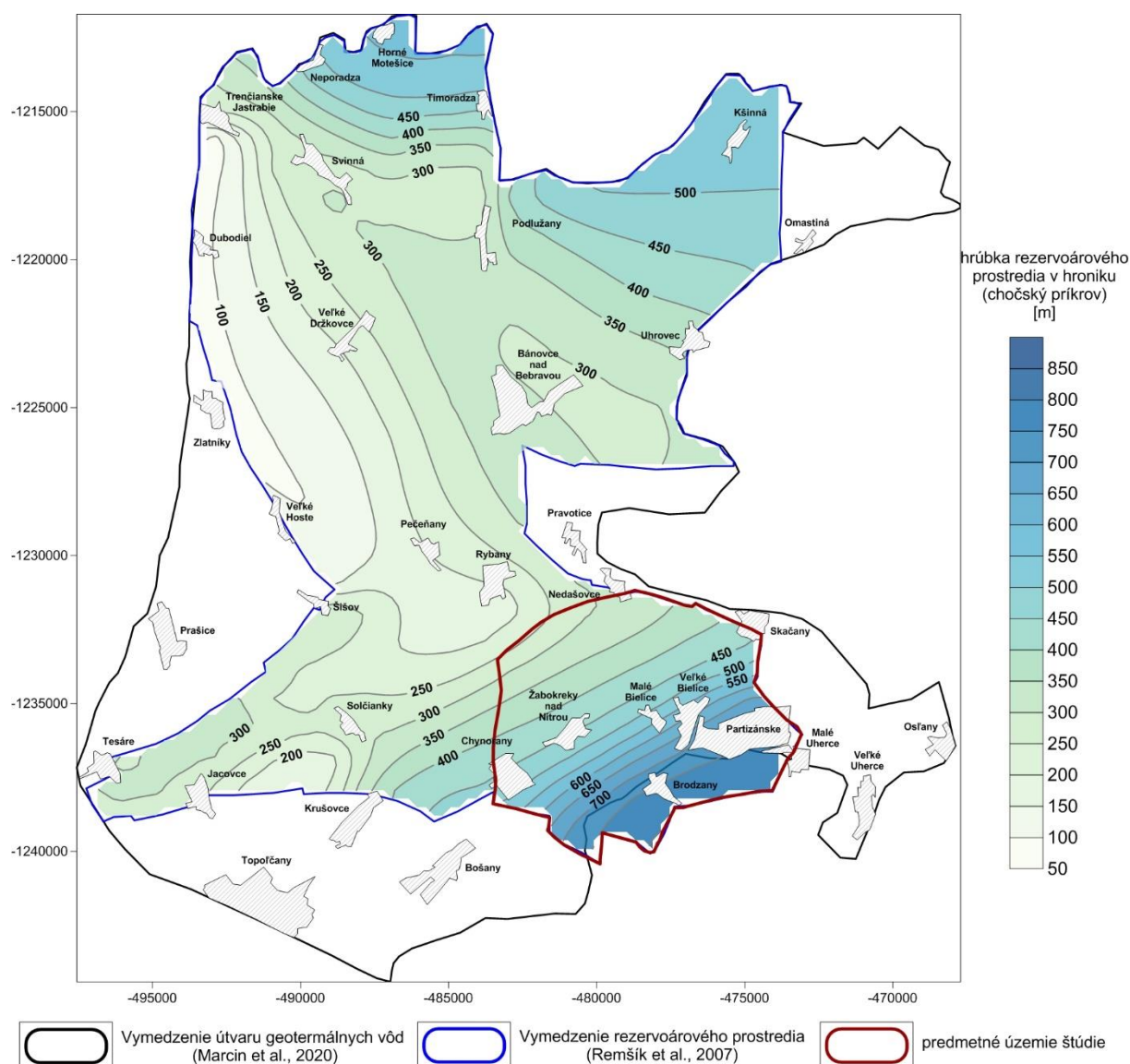


Obrázok 3.3: 3D pohľad na strop mezozoických karbonátov v Bánovskej kotline – pohľad z JZ (elevácia v km). Upravené podľa: Fričovský et al. (2024)



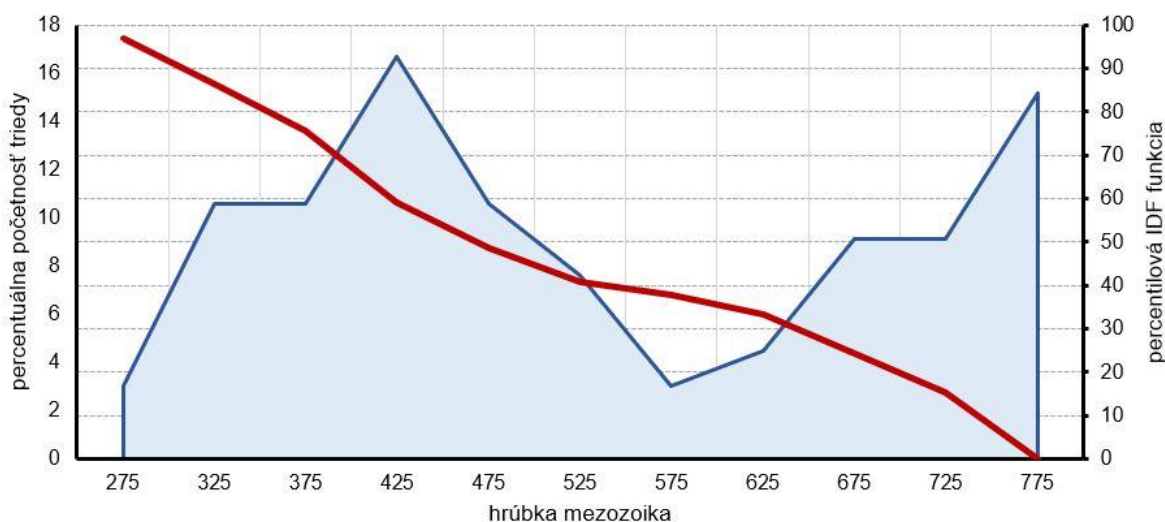
Obrázok 3.4: Mapa hrúbky terciérneho nadložia v m, predstavujúca vertikálnu hĺbku stropu mezozoika. Upravené podľa: Fričovský et al. (2024)

Hrúbka rezervoárového prostredia je druhým znakom jeho geometrie. Podľa modelového riešenia pre Bánovskú kotlinu (FRIČOVSKÝ ET AL., 2024) klesá odhadovaná hrúbka karbonátov generálne k depocentru útvaru geotermálnych vôd v smere JV – SZ a SV – JZ, vrátane generálneho poklesu zo západnej hranice, pričom celkový interval modelovanej hrúbky dosahuje 1 – 900 m, pričom práve v na lokalite Partizánské v smere k Brodzanom a Partizánskemu modelové riešenie predpokladá lokálne maximá (Obrázok 3.5 a 3.6). Modelované hodnoty boli pritom priamo overené vrtom FGTz-2 Partizánské (REMŠÍK ET AL., 2007), v ktorom hrúbka karbonátov, čiže rezervoárových hornín dosiahla 800 m a predstavuje úplný profil, nakoľko na báze vrt zachytil litotypy spodného triasu; a zároveň aj vrtom HGTP-1 (MÉRYOVÁ, 2000); ktorý na báze karbonátov s hrúbkou do 350 m overil stredno-vrchnotriasové lunzské vrstvy, t.j. ďalší profil karbonátov pod nimi je stále k dispozícii.



Obrázok 3.5: Model distribúcie hrúbky rezervoárového prostredia – karbonátov hronika. Upravené podľa: Fričovský et al. (2024).

Z distribúcie atektonického modelu hrúbky následne vyplýva odporúčanie projektovania rozsiahlejšieho vrtania na lokalite Partizánske, predovšetkým však zhodne v blízkosti výverovej oblasti (Veľké a Malé Bielice) do hĺbok zodpovedajúcich vrtu HGTP-1, nakoľko distribúcia karbonátov, ich geometria, a charakter prostredia (viď 3.4) môžu priniesť poznanie o rozdielnych, alebo len čiastočne prepojených obehových systémoch, ktoré by mohli následne ako podporiť celkové produkované množstvá geotermálnych vôd, tak v predpokladanom, rýdzo-konduktívnom prostredí, aj zvýšenie teploty produkovaných geotermálnych vôd ako funkciu hĺbky.



Obrázok 3.6: Histogram a IDF distribučná krivka modelu hrúbky rezervoárového prostredia na lokalite Partizánske.

3.3 Hydrogeologické pomery

3.3.1 Hydrogeologická funkcia horninového prostredia

Kolektorové / rezervoárové horniny v Bánovskej kotline predstavujú:

- vrchnotriasové karbonáty (tzv. hlavný dolomit) hronika (krasovo – puklinová sekundárna priepustnosť)
- stredotriasové karbonáty hronika (krasovo – puklinová sekundárna priepustnosť)
- stredotriasové karbonáty fatrika (krasovo – puklinová sekundárna priepustnosť)
- stredotriasové karbonáty obalovej jednotky tatrika (krasovo – puklinová sekundárna priepustnosť)
- zlepenec, brekcie a karbonatické pieskovce borovského súvrstvia paleogénu bánovskej kotliny (primárna medzizrnová priepustnosť, sekundárna puklinová priepustnosť).

Hoci prítomnosť fatrika bola vylúčená JZ od línie Tesáre – Bošany vrtom FGTz-1 Topoľčany (FENDEK ET AL., 1986), nie je dôvod ignorovať ich možnú prítomnosť v podloží stredotriasových karbonátov hronika, respektíve jeho vrchnokarbónskeho – spodnotriasového sledu ako v centrálnej časti kotliny, tak aj na lokalite **Partizánske** (REMŠÍK ET AL., 2007).

Znamená to, že v prípade realizovania hlbokého geologického / geotermického prieskumu je dôvod predpokladať prítomnosť minimálne jedného hlbokého rezervoárového prostredia pod v súčasnosti overeným prostredím viazaným na karbonatické sekvencie hronika. Hydraulická spojitosť rezervoárových prostredí viazaných na obe tektonické jednotky nie je doteraz jednoznačne preukázaná.

Kenozoický profil neogénnych a paleogénnych formácií je možné považovať za **hydrogeologický izolátor**, rovnako, ako súvrstvie lunzských vrstiev, ktoré boli overené vrtom HGTP-1 (MÉRYOVÁ, 2000), respektíve profil spodnotriasových sekvencií hronika, napríklad vo vrte FGTz-2 Partizánske (REMŠÍK ET AL., 2007). Veľmi podobne sa budú prejavovať prípadné vrchnotriasové, respektíve spodnotriasové sekvencie fatrika a obalovej jednotky tatrika.

Neovereným, ale predpokladaným **polo-izolátorom** až **izolátorom** v obehových systémoch bányvskej kotliny je aj vrchnotriasový – kriedový profil fatrika, ktorého predpokladaný výskyt je možné očakávať pod tektonickou jednotkou hronika.

Významnú funkciu vo filtračnom režime podzemných / geotermálnych vôd zohrávajú zlomové systémy vymedzujúce tektonické kryhy v bezprostrednom okolí lokality Partizánske. Opakovane (FRANKO ET AL., 1983; FRANKO – GAZDA, 1969; MÉRYOVÁ, 2000; REMŠÍK ET AL., 2007) bola potvrdená ich funkcia tranzitných zostupných, ako aj tranzitných výstupných ciest – v prípade lokality Partizánske na Z predpolí pohoria Trábeč, čo môže ovplyvňovať koncepčnú klasifikáciu obehovo / akumuláčnych systémov v Bányvskej kotline, respektíve v relevantnom okolí lokality (viď 3.3.2).

3.3.2 Hydraulické parametre horninového prostredia

Hydraulické parametre horninového prostredia boli overované na štyroch hydrogeotermálnych vrtoch (Tabuľka 3.2) – pričom ucelené prehľady všetkých relevantných parametrov v dostupnej literatúre chýbajú. Podľa sumarizačnej správy z výskumu Bányvskej kotliny sa koeficient absolútnej prietochnosti rezervoárového prostredia pohybuje v intervale $2,98 \cdot 10^{-13}$ až $2,78 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3$; koeficient prietochnosti sa pohybuje v rozsahu $6,7 \cdot 10^{-6}$ až $7,82 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, koeficient priepustnosti v rozpätí $1,42 \cdot 10^{-14}$ až $1,76 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$ a koeficient filtrácie dosahuje hodnoty $3,19 \cdot 10^{-7}$ až $2,25 \cdot 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. (REMŠÍK ET AL., 2007).

Keďže rezervoárové prostredie je definované krasovo – puklinovou priepustnosťou, sú hydraulické parametre kontrolované predovšetkým (čo platí aj pre lokalitu Partizánske):

- mierou rozšírenia paleo-krasových fenoménov s prirodzene vyššou priepustnosťou, než je puklinová (diskontinuitná) zložka
- mierou tektonického porušenia horninového komplexu karbonátov, pričom je prirodzene možné očakávať, že v okolí významných tektonických línií, na ktorých dochádzalo k výraznejším tektonickým (vertikálnym) posunom, je primárna tektonická línia podporená sprievodnými tektonickými zónami porušenia, čo zvyšuje priepustnosť v puklinovej zložke
- sporný je vplyv miery kompakcie – z Tabuľky 3.2 vyplýva významný pokles koeficientu absolútnej prietochnosti v hroniku medzi vrtmi v okolí Parizánskeho a vrtom BnB-1 Bánovce nad Bebravou (ČERMÁK – BONDARENKOVÁ, 1984), čo korešponduje s nárastom hĺbky výskytu rezervoárového prostredia

Tabuľka 3.2: Hydraulické parametre rezervoárového prostredia v Bánovskej kotline. Upravené podľa: Remšík et al. (2008)

parameter	koeficient absolútnej prietochnosti	koeficient prietochnosti	koeficient priepustnosti	koeficient filtrácie
označenie	T_p	T	k_p	k_f
jednotka	m^3	$m^2 \cdot s^{-1}$	m^2	$m \cdot s^{-1}$
FGTz-1	$2,98 \cdot 10^{-13}$	$6,7 \cdot 10^{-6}$	$1,42 \cdot 10^{-14}$	$3,19 \cdot 10^{-7}$
FGTz-2	$2,78 \cdot 10^{-10}$	$3,55 \cdot 10^{-3}$	$1,76 \cdot 10^{-11}$	$2,25 \cdot 10^{-4}$
HGTP-1	-	$7,82 \cdot 10^{-3}$	-	-
BnB-1	$4,3 \cdot 10^{-12}$	$6,38 \cdot 10^{-5}$	-	$2,55 \cdot 10^{-6}$

3.3.3 Konceptná charakteristika obehových systémov

Z pohľadu klasickej klasifikácie hydrogeologického režimu zdrojov geotermálnej energie sú v rámci útvaru geotermálnych vôd Bánovská kotlina identifikované dve základné obehové štruktúry (REMŠÍK ET AL., 2007):

- bánovská hydrogeotermálna štruktúra definovaná ako polo-otvorená, s infiltračnou oblasťou na južných svahoch Strážovských vrchov, z juhu zlomovými systémami na línii Velušovce – Prašice – Šišov – Pečeňany, kde generálny trend prúdenia podzemných / geotermálnych vôd je v smere S – J respektíve SSZ – JJV
- závodsko – bielická hydrogeotermálna štruktúra definovaná ako otvorená, severne tektonicky vymedzená voči bánovskej štruktúre, z juhu ohraničená masívom Tríbeča,

respektíve tektonicky voči rišňovskej depresii v okolí Topoľčian na styku hronika / fatrika a obalovej jednotky tatrika; s infiltračnou oblasťou v najjužnejších svahoch Strážovských vrchov, ale najmä na Z ohraničení pohoria Trábeč, s výverovou oblasťou v okolí Malých Bielíc a Veľkých Bielíc.

KONCEPČNÁ KLASIFIKÁCIA LOKALITY PARTIZÁNSKE

Lokalita Partizánské je priestorovo súčasťou závadsko-bielickej hydrogeotermálnej štruktúry. Bližšia špecifikácia hydrogeologického režimu na lokalite ([MÉRYOVÁ, 2000](#)) poukazuje na pomerne malej ploche kombinovanú hydrogeologickú funkciu zlomových systémov, na ktorých pravdepodobne dochádza k:

- zostupným trendom prúdenia v rámci tranzitnej-zostupnej filtračnej vetvy južne od Partizánskeho
- výstupným trendom prúdenia v rámci tranzitnej-vzostupnej filtračnej vetvy a výverovej oblasti SV od Partizánskeho v okolí Malých Bielíc a Veľkých Bielíc.

Z hľadiska koncepcnej klasifikácie ([MOECK, 2014](#)) je lokalita Partizánske – vrátane celej Bánovskej kotliny klasifikovaná ako prevažne-konduktívna koncepcia CD predoblúkových bazénov a orogénnych pásiem (CD2). Z regionálneho hľadiska ([FRIČOVSKÝ ET AL., 2024](#)) je možné považovať oblasť Bielice – Partizánské za hydrogeotermálny koncepčný podtyp CD2a : vnútrohorské panvy, ktorých základnými znakmi sú:

- prítomnosť obehových aj akumulčných hydrogeotermálnych systémov
 - v prípade akumulčných systémov nedochádza sensu-stricto k akumulácii geotermálnych vôd a dlhej dobe zdržania v rezervoárovom prostredí, pričom filtrácia geotermálnych vôd môže byť dlhodobo stabilná a ovplyvnená len hydrologickým režimom a dotáciou zrážkami; možnosť redukcie hydrogeotermálnych systémov na tzv. obehové štruktúry založené na zlomových líniah podporuje aj rozdielna funkcia zlomov na pomerne malej ploche a Ca-Mg-HCO₃ typ overených geotermálnych vôd v Malých Bieliciach, Veľkých Bieliciach, aj Partizánskom
 - obehové systémy sú extrémne náchylné na rýchly (jednotky rokov) postup hydraulického / teplotného frontu v prípade energetickej depletácie rezervoárov

v dôsledku rýchlej filtračnej rýchlosti postupu rezervoárového média a krátkej dobe zdržania

- v obehových systémoch zlyháva klasická kationová geotermometria v dôsledku rýchleho prúdenia a krátkeho času zdržania, z tohto dôvodu je nevyhnutné aplikovať komplexnú silikátovú geotermometriu a multikomponentovú geotermometriu pre účel monitorovania prejavov rezervoárovej odozvy
- klasické indikátory prieniku studeného frontu (napr. Mg^{2+} , SiO_2) sú výrazne potlačené prirodzeným chemizmom geotermálnych vôd, a nie je možné ich aplikovať spoľahlivo bez geotermometrických metód analýzy
- možné režimy prúdenia v prípade akumulčných systémov predstavujú najmä **štruktúry laterálnych prestupov** (schodové zostupné a vzostupné smery medzi jednotlivými čiastkovými tektonickými kryhami rezervoárového prostredia) respektíve **štruktúry bazénovej segmentácie** (násobné vertikálne zostupy a vzostupy medzi čiastkovými tektonickými kryhami rezervoárového prostredia pred výverom)
 - štruktúry laterálnych prestupov sa častokrát prejavujú nezhodou medzi hydrogeologickou a hydrologickou bilanciou územia a hydraulickou udržateľnosťou rezervoárového prostredia, pri pomerne málo variabilnej teplote produkovaného rezervoárového média
 - štruktúry bazénovej segmentácie sa prejavujú v prípade dlhodobej produkcie pomerne výraznejšími osciláciami rezervoárovej teploty počas dlhodobej produkcie bez výraznejšieho trendu (do fázy nástupu prieniku studeného frontu), pričom korelácia medzi hydraulickou udržateľnosťou a hydrogeologickou / hydrologickou bilanciou územia nebýva z dlhodobého hľadiska tak výrazne porušená
 - pomerne nízka mineralizácia do 2 g.l^{-1} rezervoárového média
 - spoľahlivým indikátorom rezervoárovej dynamiky sú takzvané termochemické metódy (termochemické mapovanie indikátorov zmiešavania a vertikálnej rezervoárovej dynamiky) v kombinácii so silikátovou – chalcedónovou a opálovou geotermometriou, a aplikovanie multikomponentovej geotermometrie

V rámci hydrogeotermálneho prieskumu lokality Partizánske tieto metódy výskumu, analýzy a interpretácie dynamiky zdrojov geotermálnej energie neboli využité.

Možnosti prítomnosti zdrojov geotermálnej energie viazaných na podložné stredotriasové karbonáty fatrika sú v dostupnej literatúre označené ako neurčité, respektíve diskutabilné (MÉRYOVÁ, 2000; REMŠÍK ET AL., 2007). Hydrogeotermálne vrty pritom overili geotermálne vody Ca-Mg-HCO₃ typu, ktorý je typický predovšetkým pre:

- obehové systémy stabilnej filtrácie v karbonátoch
- zdroje geotermálnej energie viazané na tektonickú jednotku hronika; alebo
- stratifikované rezervoárové systémy:
 - bez hydraulickej spojitosti (geotermálne vody fatrika majú štandardne Ca-SO₄, Ca-Mg-SO₄, respektíve Ca-Mg-HCO₃-SO₄ až Ca-Mg-SO₄-HCO₃ typ)
 - minimálnej hydraulickej spojitosti, pri ktorom pomer prírastku geotermálnych vôd z fatrika do hronika by mal byť na základe chemického zloženia zachytených geotermálnych vôd v hroniku prakticky zanedbateľný.

Z uvedenej „makrochemickej“ indikácie vyplýva, že v rámci lokality Partizánske:

- rezervoárové prostredia v hroniku a fatriku spolu pravdepodobne nekomunikujú
- realizácia hlbších geotermálnych vrtov by mohla priniesť zachytenie hydraulicky nezávislého rezervoárového prostredia, zrejme s inými filtračnými parametrami a iným koncepčným modelom geotermálnych vôd, avšak pravdepodobne pri vyšších teplotách
- komplexnú odpoveď na otázku hydraulickej spojitosti je nevyhnutné riešiť v rámci najbližších prieskumných úloh na lokalite, respektíve v rámci útvaru geotermálnych vôd s ohľadom na možnosti dlhodobu udržateľnej produkcie zdrojov geotermálnej energie.

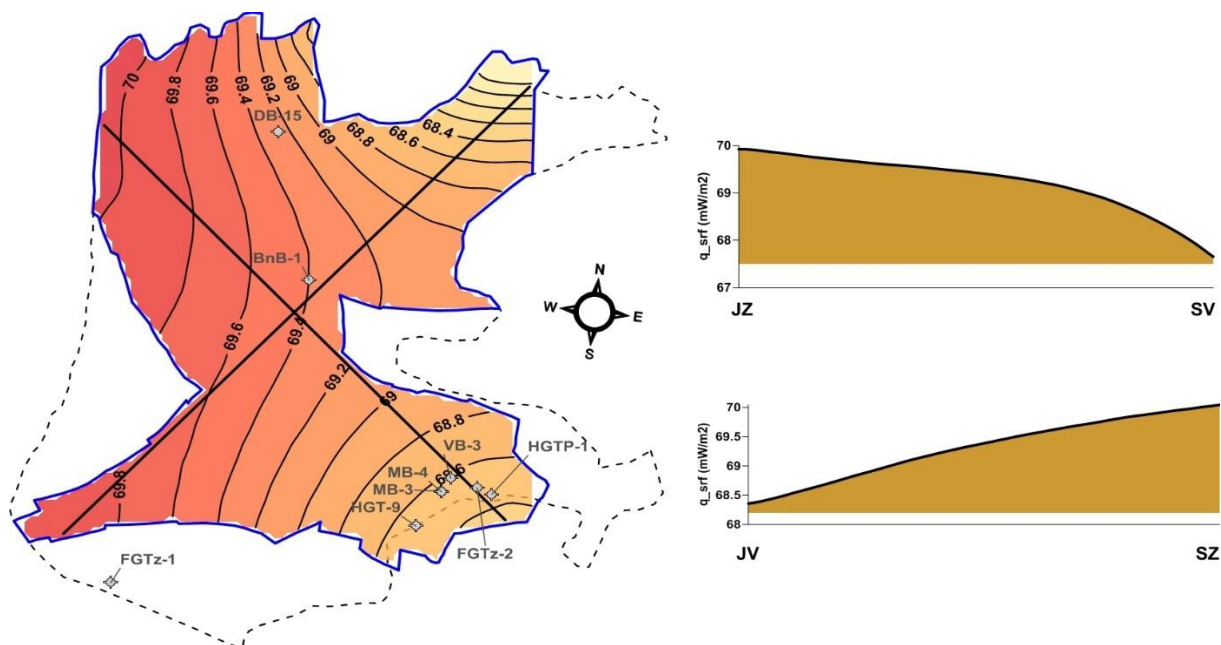
Uvedená analýza zároveň ale neodpovedá na otázku, či rezervoárové prostredie hronika dotuje potenciálne rezervoárové prostredie v tektonickej jednotke fatrika, respektíve, či skutočne obe rezervoárové prostredia môžu mať rovnakú infiltračnú, alebo spoločnú zostupnú tranzitnú oblasť. Objasnenie tohto je možné jedine v prípade, ak dôjde k overeniu zdrojov geotermálnej energie viazaných na podložné fatrikum, a následné modelovanie a analýzu termochemických a dynamických koncepčných vzťahov medzi oboma zachytenými jednotkami. V prípade, ak by časť geotermálnych vôd filtrujúcich cez, respektíve dotujúcich stredotriasové karbonáty hronika dotovala zároveň hlbšie zostupné trasy tranzitnej oblasti hydrogeotermálnych štruktúr viazaných na karbonáty fatrika, šlo by zároveň o jedno z rizík hydraulickej udržateľnosti dlhodobej produkcie zdrojov geotermálnej energie z overeného

rezerovárového prostredia vo fatriku, podľa ktorého by následne malo byť nevyhnutné optimalizovať produkčné stratégie, nakoľko potenciálne vyvolanie tlakovej depresie v otvorenom úseku fatrika by mohlo mať vplyv na mieru prirodzeného dopĺňania rezerovárového prostredia vo vyššej tektonickej jednotke.

3.4 Geotermické prostredie

3.4.1 Geotermické pole

Geotermické pole na území celého útvaru geotermálnych vôd (Obrázok 3.7) je možné na základe povrchovej hustoty tepelného toku považovať za významne monotónne, s generálnym nárastom geotermickej aktivity v smere západ – východ, čo môže byť odrazom termickej aktivity severných výbežkov (bazénov) Podunajskej nížiny a ich periférie v porovnaní s pomerne monotónnym geotermickým poľom v okolí jadrových pohorí (napr. Tríbeč na východnej hranici kotliny).

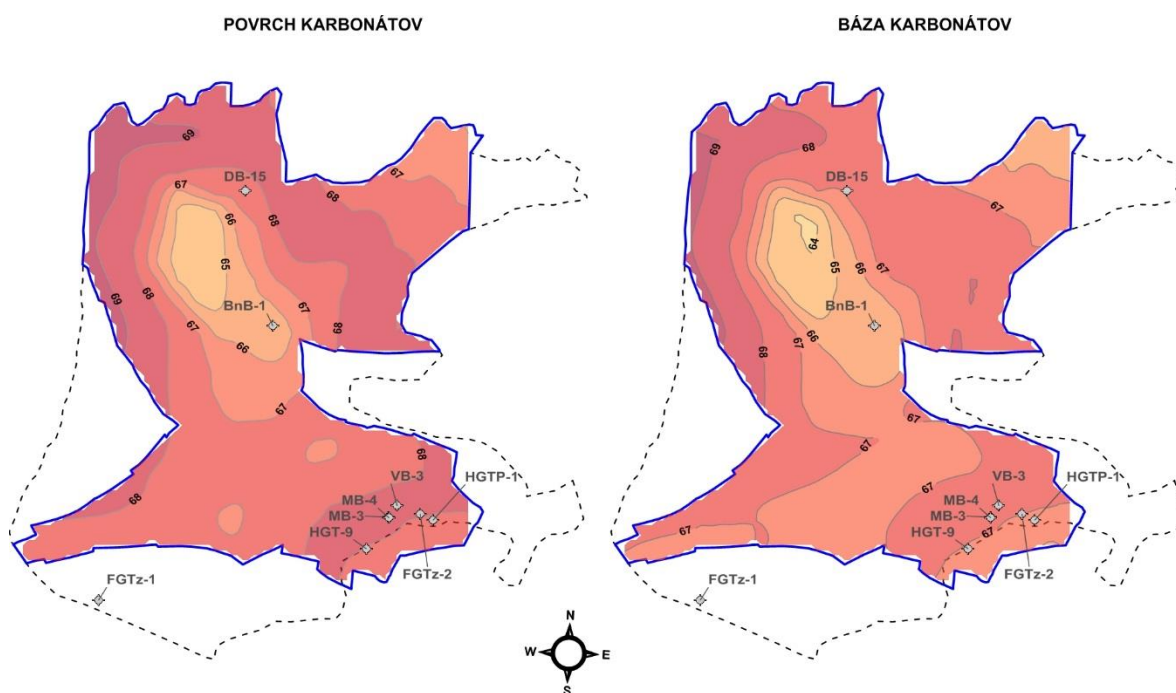


Obrázok 3.7: Priemet povrchovej hustoty tepelného toku vo vymedzenom rezervoárovom prostredí Bánovskej kotliny

V rámci konštrukcie stacionárneho geotermického modelu pre prostredie Bánovskej kotliny (FRIČOVSKÝ ET AL., 2024) je odhad rozsahu hustoty tepelného toku $67 - 70,1 \text{ mW.m}^{-2}$, čo platí pre vymedzenú kryhu rozšírenia karbonátov hronika, pričom stredná hodnota dosahuje $68,7 \text{ mW.m}^{-2}$. Na tomto mieste je ale potrebné zdôrazniť, že ide o **povrchovú hustotu tepelného toku**, t.j. množstvo tepla prechádzajúce na plochu 1 m^2 v rámci územia, a v rámci celého vertikálneho horninového profilu.

Z pohľadu hustoty tepelného toku vyjadrenej **na povrch karbonátov hronika** (FRIČOVSKÝ ET AL., 2024), ktorá bola v stacionárnom geotermickom modeli derivovaná z mapy povrchovej hustoty tepelného toku odčítavaním rádiogénnej zložky je evidentná zmena kvalitatívnej (priestorovej) distribúcie tepelného toku a absolútne porušenie trendov jej orientácie na povrchu (Obrázok 3.8). Z mapy je viditeľných niekoľko trendov:

- odstránením terciérneho sedimentárneho obalu, ktorý vzhľadom na litologické zloženie a hydrogeologickú funkciu predstavuje „tepelnú čiapku“ vzniká výrazný koncentrický trend (anomália) prudkého poklesu hustoty tepelného toku v smere k centrálnej časti Bánovskej depresie s pásmom hodnôt $65 - 67 \text{ mW.m}^{-2}$
- pásmo poklesu geotermickej aktivity SV od spojnice Timoradza – Uhrovec v smere na Hornonitriansku kotlinu, s hodnotami $66 - 68 \text{ mW.m}^{-2}$, t.j. s poklesávajúcim trendom aj napriek poklesu hrúbky nadložného terciéru



Obrázok 3.7: Priemet povrchovej hustoty tepelného toku vo vymedzenom rezervoárovom prostredí Bánovskej kotliny

- monotónne pásmo južnej časti Bánovskej kotliny, s ustálenou hustotou tepelného toku južne od spojnice Veľké Hoste – Pravotice s hodnotami $67 - 68 \text{ mW.m}^{-2}$, ktoré pokračuje do Topoľčianskeho zálivu a k Partizánskemu
- pásmo lokálnej prahovej – lineárnej anomálie v podobe ostrova geotermickej aktivity v polygóne Chynorany – Skačany – Partizánske – Brodzany s pomerne ustálenou hodnotou hustoty tepelného toku cca 68 mW.m^{-2} .

IMPLIKÁCIE GEOTERMICKÉHO POĽA PRE LOKALITU PARTIZÁNSKÉ

V regionálnom hydrogeotermálnom hodnotení Topoľčianskeho zálivu a Bánovskej kotliny (REMŠÍK ET AL., 2007) je pre relevantnú oblasť mesta Partizánske uvedené: „*tepelný tok nad 70 mW/m^2 bol zistený aj vo vrte FGTz-2 Partizánske ($74,2 \text{ mW/m}^2$). Táto hodnota pravdepodobne súvisí so zvýšeným výnosom tepla po tektonických líniah v okolí výverovej oblasti geotermálnych vôd pri Malých a Veľkých Bieliciach.*“, pričom však v samotnej analýze geotermickej aktivity je uvedené, že hodnoty tepelného toku pre vrt FGTz-2 boli vypočítané z teplotne neustáleného profilu a len z hĺbkového intervalu odpovedajúceho karbonátom, pričom analýza sa vzťahuje na kompletný vertikálny profil, t.j. mezozoikum + terciér. **Je potrebné zdôrazniť, že z pohľadu metodiky realizácie ide o nesprávny postup** (tzv. Fourierove počítanie hustoty tepelného toku by malo prebiehať s kompletných a ustálených teplotných kriviek, respektíve z intervalov kriviek zodpovedajúcich cieľným intervalom).

Z porovnania hustoty tepelného toku na povrchu, a na strope mezozoických karbonátov, vyplýva pre lokalitu Partizánske a jej okolie nasledovné:

- centrálna, koncentrická anomália hustoty tepelného toku, ktorá smerom na perifériu nadobúda nekorešpondujúci trend vo vzťahu k hrúbke terciérnej výplne panvy môže znamenať potenciál formovania obmedzenej rezervoárovej konvekcie, nakoľko modelovanie (FRIČOVSKÝ ET AL., 2024) predpokladá nárast teplôt v hroniku v tejto časti rezervoáru v intervale $80 - 115 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- v prípade, ak by došlo v priestore vymedzenej anomálii k formovaniu viacerých konvekčných buniek, je možné očakávať prejavy nerovnomerného rezervoárového prehrievania predovšetkým v smere na SV a JV, kde sú disproporcie medzi geometriou nepriepustného nadložia a rozdelením hustoty tepelného toku najvýraznejšie, ak ako porovnávacía rovina slúži povrchová hustota tepelného toku

- v prípade nerovnomerného rezervoárového prehrievania je možné, že lokalita Partizánske môže byť ovplyvnená rezervoárovou dynamikou zo severu, či už termicky, alebo hydraulicky, pričom očakávanými procesmi v podobnej situácii sú:
 - podpora nevynútenej vertikálnej filtrácie
 - distribúcia teploty stacionárneho, respektíve aj dynamického tepelného poľa; následne:
 - ovplyvnenie rezervoárovej dynamiky môže aj bez priamej hydraulickej kombinácie z dlhodobého hľadiska ovplyvniť – znížiť – rezervoárové teploty aj na lokalite Partizánske, pričom tento proces nemusí byť obojsmerný, t.j. ovplyvnenie stacionárneho poľa ochladením na lokalite Partizánske sa nemusí nevyhnutne prejaviť v centre lokálnej anomálie tepelného toku, avšak môže zmeniť geometriu a orientáciu konvekčných buniek viazaných (v prípade ich existencie) na perifériu anomálnej oblasti
- kombináciou redukcie rádiogénnej zložky tepla z povrchovej hustoty tepelného toku je zároveň zrejmé, že lokálna, líniová anomália tepelného toku môže platiť pri danej geometrii nadložia aj v priestore Partizánskeho – s rovnomerným vyznievaním od polygónu Chynorany – Skačany – Partizánske – Brodzany na SZ a JV
 - fakt, že nedochádza ku výrazným kontrastom ani v jednom z vymedzených smerov môže implikovať, že miera vertikálneho prestupu geotermálnych vôd v rezervoárovom prostredí je viazaná skôr na hlbšie rezervoárové pozície (možno pod vplyvom nerovnomerného prehrievania a doznievania nerovnomerného prehrievania zo severu) – anomália sa neprejavuje proporčne na hustote tepelného toku na povrchu
 - synchronne štruktúry líniových anomálií sú skôr typické pre rýchle, prevažne-cirkulačné systémy s obmedzenou akumulácnou oblasťou
 - v prípade prestupu geotermálnych vôd do plytkých pozícií, respektíve do paleogénnych bazálnych formácií, je miera narietovania intenzívna – čo by sa z hľadiska dlhodobého monitoringu malo prejaviť trendovými črtami Mg^{2+} , to znamená, že pre rezervoárové prostredie môže existovať významné riziko rýchleho prieniku hydraulického (studeného) frontu z nadložia v prípade intenzívnych zmien v tlakovom režime rezervoáru, respektíve režime efektívneho filtračného profilu, ak bude overená / potvrdená cirkulačná povaha hydrogeotermálneho systému.

3.4.2 Vertikálna distribúcia teploty

Teplotné pomery v rezervoárovom prostredí boli riešené pre stacionárne, prevažne-konduktívne prostredie v rámci geotermického modelu slúžiaceho ako podklad pre podmienený pravdepodobnostný model odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie a udržateľného rezervoárového potenciálu v rámci úlohy „Analýza možností trvalo udržateľného využitia a využívania zdrojov geotermálnej energie na Slovensku – I. časť“ (FRIČOVSKÝ ET AL., 2024). Získané výsledky je preto nevyhnutné vnímať z nasledovných pohľadov:

- teploty predstavujú modelovanú distribúciu teplôt v rezervoárovom prostredí, ktoré nie sú ovplyvnené prípadným prúdením
- predstavujú modelový odhad teplôt na základe geotermických a geofyzikálnych parametrov horninového prostredia
- rozdiely medzi modelovými a meranými teplotami v prípade, ak presahujú štandardizované chyby odhadu (10 %) môžu byť indikátormi rezervoárovej dynamiky a procesov prúdenia geotermálnych vôd, a predstavujú tak jeden z proxy-indikátorov interpretácie koncepčného modelu prúdenia – štandardne v spojitosti s geochemickými a termochemickými modelmi.

Ako uvádzame vyššie, rezervoárové prostredie hronika v Bánovskej kotline je možné považovať za prevažne-konduktívne, t.j. kľúčovým spôsobom vertikálneho prenosu tepla v hroniku, respektíve k jeho báze a následne stropu, je kondukcia – platí to aj v prípade, ak by dochádzalo k formovaniu priestorovo izolovaných konvekčných buniek, najmä v centrálnej časti kotliny. Z tohto dôvodu je modelovaná teplota:

- funkciou priemetu geotermickej aktivity (hustoty tepelného toku) na povrchu
- funkciou modelovanej / výpočtovej hĺbky stropu rezervoáru (v závislosti na hrúbke nadložného kenozoického izolátora, t.j. paleogénu + neogénu) a bázy rezervoáru (v závislosti na hrúbke nadložia + hrúbke rezervoáru)
- funkciou geotermických parametrov horninových prostredí, ktoré boli s využitím matematických globálnych modelov štandardizovaných v geotermálnej praxi dynamicky prepočítavané v závislosti na geometrii (povrch, strop), hydraulike (pórovitosť), a hĺbke modelových bodov s využitím referenčných hodnôt získaných analýzou pevných vzoriek (Tabuľka 3.3).

Tabuľka 3.3: Geotermické parametre využité v konštrukcii stacionárneho geotermického modelu Bánovskej kotliny a na lokalite Partizánske. Upravené podľa: Remšík et al. (2008)

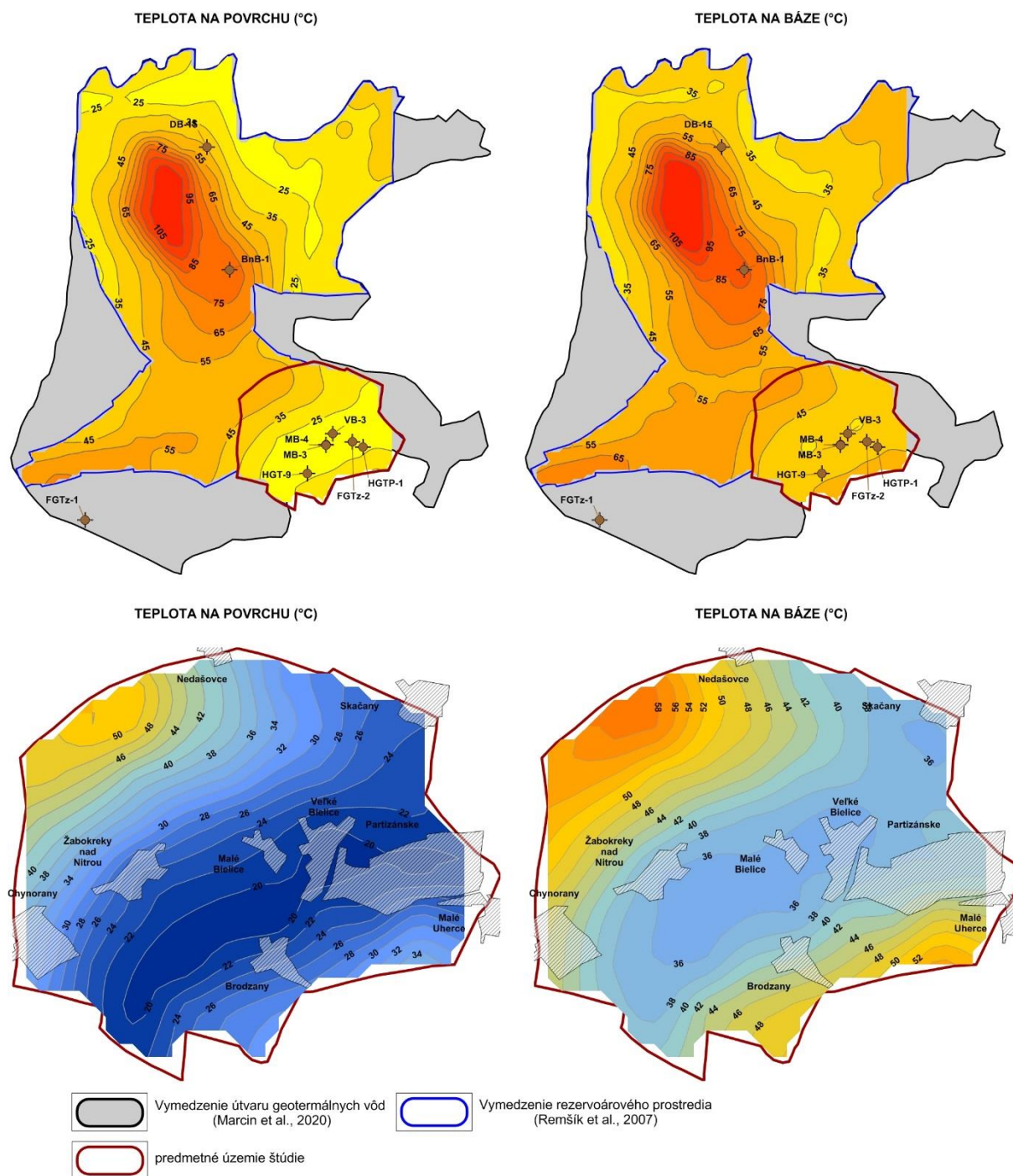
Litostratigrafia	objemová hustota	pórovitosť	tepelná vodivosť
	kg.m ⁻³	-	W.m ⁻¹ .K ⁻¹
kenozoická sedimentárna výplň kotliny			
piesky, pieskovce (Ng)	2 070	0,139	2,6
íly, ílovce (Ng)			1,77
zlepence (Pg)	2 370	0,127	2,73
mezozoikum			
karbonáty	2 750	0,03	3,36
ílovité bridlice	2 670	0,05	2,45

V priestore Bánovskej kotliny sa teploty na strope mezozoika chočského príkrovu pohybujú v intervale $T = 18 - 106\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Obrázok 3.8), ako charakteristická funkcia hĺbky uloženia povrchu karbonátov, čiže hrúbky nadložného terciéru; jedine na SV okraji kotliny, od spojnice Timoradza – Uhrovec, je možné predpokladať kombináciu hrúbky paleogénneho a neogénneho s pomerne intenzívnejším poklesom povrchovej hustoty tepelného toku. Teploty na báze mezozoika dosahujú rozpätie $T = 25 - 112\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Obrázok 3.8), ako výsledok distribúcie hrúbky karbonátov a prítomnosti lunzských vrstiev v ich komplexe. Teploty nad $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, ak distribúcia hĺbky a hrúbky rezervoárového prostredia zodpovedá, alebo sa približuje modelovému riešeniu, je možné očakávať na spojnici Veľké Držkovce – Svinná, v hĺbke pod 2000 m.n.m. Ide o významnú, a priestorovo ohraničenú anomáliu, ktorá je práve spôsobená lokálnou a priestorovo limitovanou depresiou.

DISTRIBÚCIA TEPLoty A IMPLIKÁCIE NA LOKALITE PARTIZÁNSKE

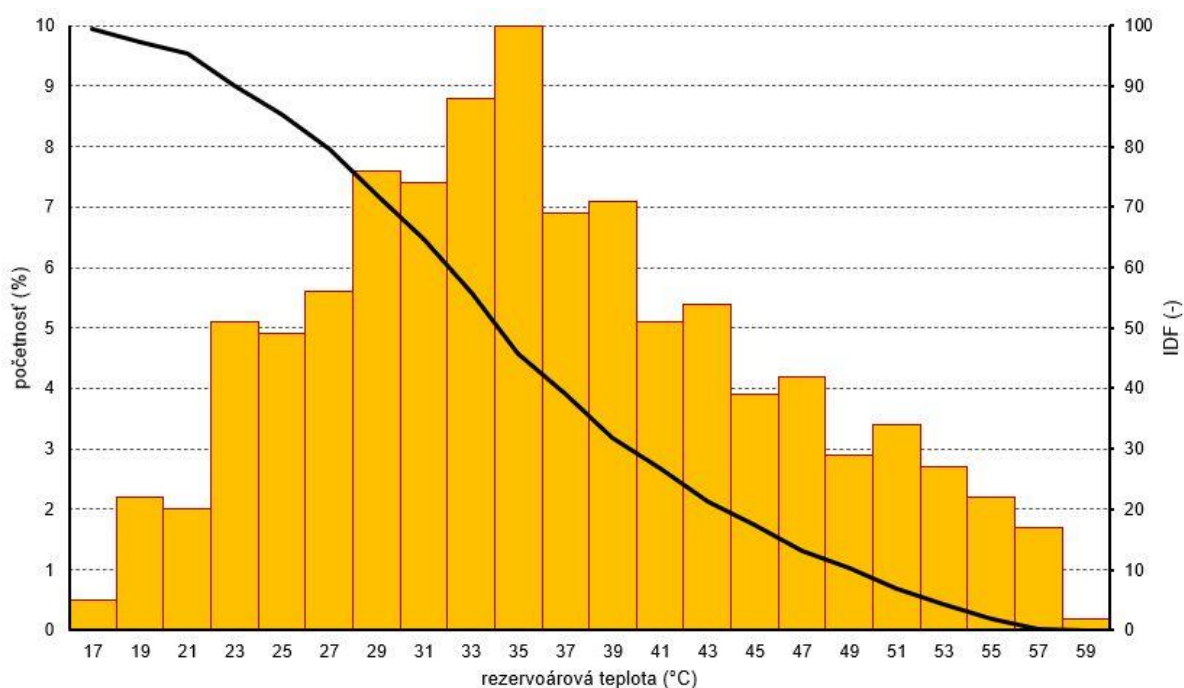
Pod vplyvom pomerne monotónnej distribúcie hustoty tepelného toku na povrchu, ktorá zodpovedá aj priemetu hustoty tepelného toku na strop karbonátov hronika v priestore vymedzeného polygónu Partizánske, zodpovedá priestorové rozloženie stacionárnej rezervoárovej teploty geometrii rezervoárového prostredia.

Pod vplyvom geometrie nadložia sa odhadovaná teplota na strope rezervoáru pohybuje v intervale $T = 18 - 52\text{ }^{\circ}\text{C}$, pričom pomerne súvislé minimá stacionárnych teplôt je možné predpokladať na tzv. bielickej línii, čiže v pásme redukcie nadložného kenozoika S a JZ od Partizánskeho, pričom v južnej časti územia ustálené teploty dosahujú na strope do $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, kým smerom k severnej hranici vymedzeného polygónu do $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obrázok 3.8: Distribúcia máp teploty na základe stacionárneho geologického a geotermického modelu.

Pod vplyvom geometrie samotných karbonátov a ich meniacej sa hrúbky, s výrazným trendom rastu k JV ohraničeniu vymedzeného polygónu sú teploty na báze rezervoáru modelované v rozpätí $T = 34 - 59\text{ }^{\circ}\text{C}$, pričom maximá sa medzi severným a južným okrajom sledovaného územia vyrovnávajú, keďže práve hrúbka karbonátov výrazne narastá k JV. Prehľad základných štatistických hodnôt rezervoárovej teploty udáva Tabuľka 3.4.



Obrázok 3.9: Funkčný histogram distribúcie stacionárnej teploty vo vertikálnom profile rezervoárového prostredia na lokalite Partizánske.

Tabuľka 3.3: Geotermické parametre využité v konštrukcii stacionárneho geotermického modelu Bánovskej kotliny a na lokalite Partizánske. Upravené podľa: Remšík et al. (2008)

parameter	strop karbonátov	báza karbonátov	model polygónu
minimum	18	34	18
maximum	52	59	59
priemer	30	43	41
medián	27	42	34
št. odchýlka	10	7	9

Vychádzajúc z geometrie geologického prostredia a geotermických parametrov územia (Tabuľka 3.2) je konduktívny gradient kenozoika (neogénny a paleogénny profil spolu) – čiže nadložného rezervoárového prostredia $\Gamma_{CD-Ng} = 34 - 38 \text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$ v celom vymedzenom polygóne, pričom v $1 \times 1 \text{ km}$ okolí vrtu FGTz-2 dosahuje $\Gamma_{CD-Ng} = 35,8 \text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$, a v okolí vrtu HGTP-1 $\Gamma_{CD-Ng} = 36,1 \text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$, pričom tieto hodnoty môžu reprezentovať stav neovplyvneného prostredia. Hodnoty konduktívneho gradientu v mezozoiku dosahujú vo vymedzenom polygóne širšieho okolia mesta Partizánske $\Gamma_{CD-Mz} = 23 - 27 \text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$, kým v oblasti $1 \times 1 \text{ km}$ od vrtu FGTz-2 dosahuje $\Gamma_{CD-Mz} = 25,9 \text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$, v okolí HGTP-1 $\Gamma_{CD-Mz} = 25,5 \text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$ (Obrázok 3.11 a 3.12).

Ak vychádzame z analógie vrtom FGTz-2 overených lunzských vrstiev oddeľujúcich vrchný a spodný karbonátový komplex v hroniku s hrúbkou 70 m (REMŠÍK ET AL., 2007), a predpokladáme platnosť modelového odhadu hrúbky mezozoika v bezprostrednom okolí vrtu HGTP-1, potom stacionárna teplota prostredia na báze mezozoického komplexu môže dosahovať $T = 37 - 39\text{ }^{\circ}\text{C}$ pri využitom gradiente teploty mezozoika. Ide o pomerne dobrú zhodu s predpokladom $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ v modelovom riešení vymedzenej lokality.

Interpretácia vertikálnych teplotných profilov vrtov na lokalite Partizánske je vzhľadom na podmienky ich konštrukcie sporná. Termicky ustálený profil je k dispozícii len z vrtu HGTP-1 Partizánske (Obrázok 3.10). Porovnaním modelovej krivky konduktívneho prostredia a vertikálneho profilu teploty v telese vrtu (MÉRYOVÁ, 2000) je možné interpretovať:

- výraznejšie teplotné anomálie boli pôvodne interpretované v hĺbkach: 131 m (paleogén), 145 m (paleogén), 200 – 205 m (rozhranie paleogén – mezozoikum), pričom hlavný prítokový interval bol identifikovaný v mezozoických dolomitoch v hĺbkovej úrovni 285 – 315 m; a teda:
- identifikovaná teplotná anomália paleogénu, t.j. rozdiel medzi meranou teplotou a modelovou teplotou profilu dosahuje $\Delta T \approx 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, je pravdepodobne výrazne hlbšia, ako pôvodná interpretácia, približne do hĺbky 160 m, a voči stabilizovanému profilu sa prejavuje teplotným impulzom; takže jedno z možných vysvetlení je pôvod pritekajúcich geotermálnych vôd, ktoré anomáliu teploty spôsobujú, z podložného mezozoika (hydraulická spojitosť paleogénu a mezozoika je pomerne častým javom vo vnútrohorských kotlinách a depresiách Západných Karpát); a to alebo pritekaním priamo do vrtu, alebo pritekaním do rezervoáru, kde dochádza k jeho zahrievaniu
- teplotná anomália v mezozoiku v hĺbke pod 280 m sa prejavuje zvýšením teploty oproti stacionárnemu prostrediu o $\Delta T \approx 1 - 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, pričom profil meranej teploty si zachováva vyššie hodnoty ako hodnoty stacionárneho prostredia; jedným z riešení môže byť ako chyba odhadu v rámci modelu, tak zároveň aj možnosť vertikálnej komunikácie spodného a vrchného karbonatického komplexu cez na báze vrtu identifikované lunzské vrstvy, napríklad filtráciou po zlomových systémoch
- uvedené možnosti predstavujú najjednoduchšie riešenia koncepčného modelu prúdenia vo vrte HGTP-1 respektíve v jeho okolí, na ich potvrdenie, alebo zmenu interpretácie, nie sú k dispozícii dostatočné údaje, predovšetkým z rozborov geotermálnych vôd, ktoré by bolo možné využiť pre modelovanie rezervoárovej dynamiky a zmiešavania,

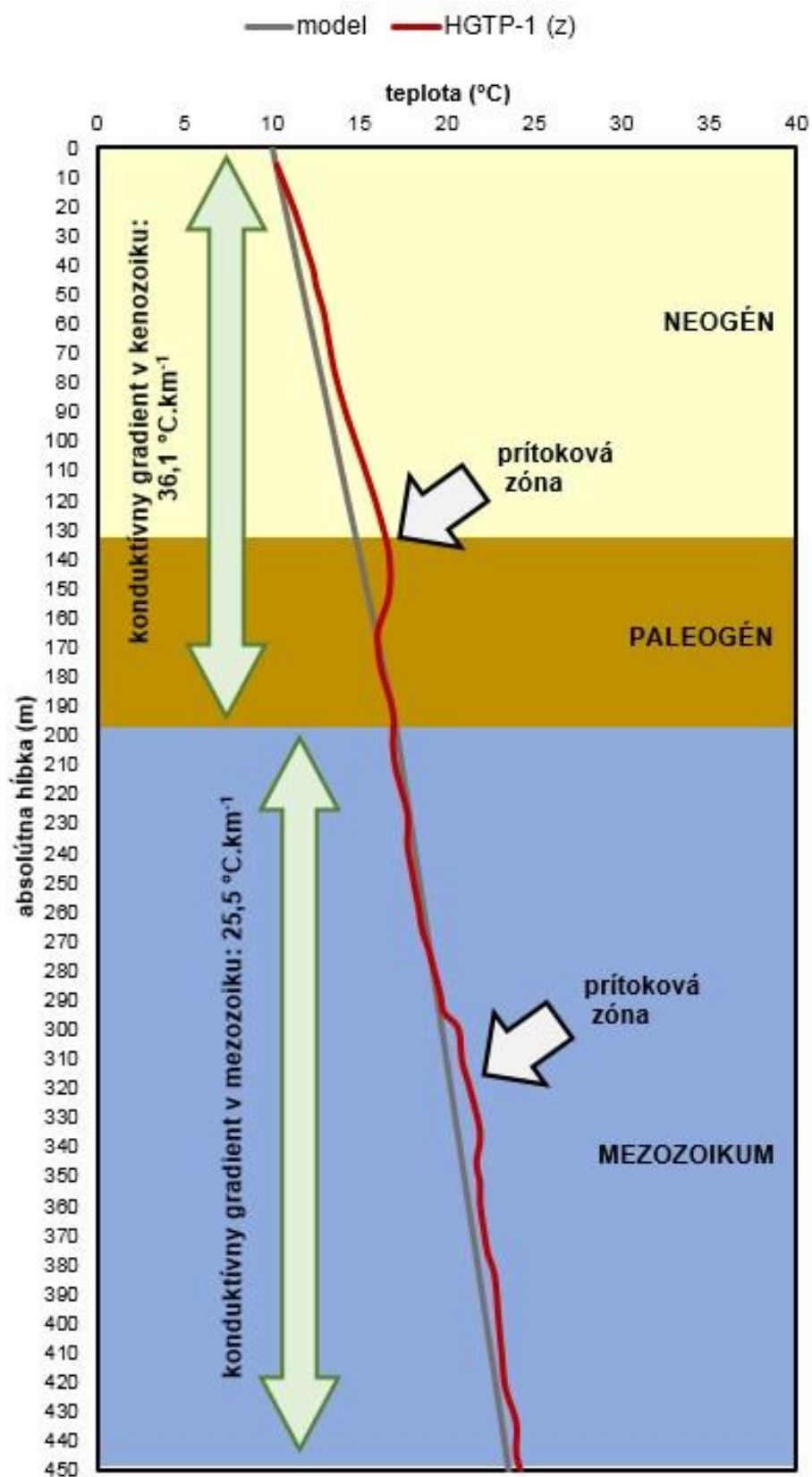
respektíve stanovenia koncepcnej histórie vzoriek, ktorá je schopná identifikovať hĺbky a teploty posledného termodynamického vyváženia.

Interpretácia vertikálneho profilu teploty vo vrte FGTz-2 je na základe jediného získaného teplotného profilu (Obrázok 3.11) náročnejšia, nakoľko namerané hodnoty nepredstavujú stabilizované geotermické prostredie. Pred realizáciou vertikálneho profilovania teploty bol spustený približne 30 minútový voľný preliv vrtu. Získaná krivka distribúcie teploty teda poskytuje záznam ovplyvnený pohybom geotermálnej vody vo vrte, predovšetkým z otvoreného (perforovaného) úseku vrtu (400 – 900 m), s následným konduktívnym chladením ešte v rámci vrtu vplyvom pomalého pohybu. Za teplotne ustálený profil referenčné hydrogeotermálne hodnotenie považuje úsek pod úrovňou 900 m (REMŠÍK ET AL., 2007), čo by znamenalo prítokovú zónu na báze mezozoických dolomitov. Zaujímavosťou je, že aj pri predpokladanom ustálenom stave je meraná teplota nižšia, ako modelový gradient teploty vychádzajúci z geometrie a geotermických parametrov rezervoárového prostredia a jeho nadložia. Rozdiel teploty predstavuje $\Delta T \approx 2 - 2,5$ °C. Modelové riešenie predpokladá na báze mezozoického profilu teploty v intervale $T = 38 - 39$ °C, modelovaná teplota priamo vo vrte 37 °C, meraná teplota vo vrte je $T = 34$ °C (Obrázok 3.11 a 3.12).

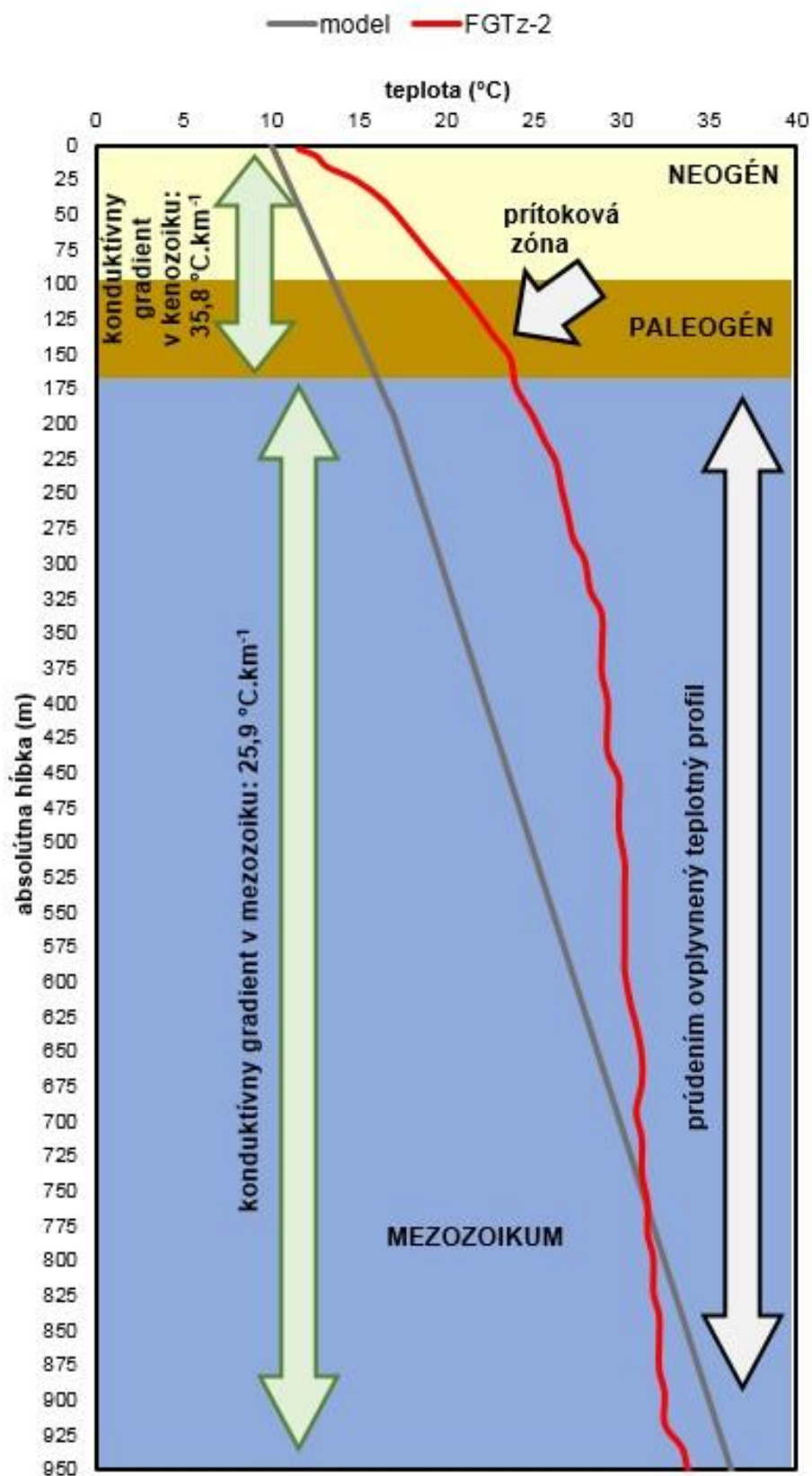
Vrt FGTz-2 je podľa tektonickej mapy podložia situovaný na okraji tektonickej kryhy lokálneho stacionárneho minima bielickej elevovanej kryhy. Nižšie merané teploty, ako teplota stacionárneho prostredia môžu poukazovať na efekt krátkeho zdržania geotermálnej vody v rezervoárovom prostredí a to:

- preferenčným viazaním obehových ciest na blízke zlomové línie
- neexistenciou akumuláčnej oblasti sensu-stricto, čo by následne potvrdzovalo jeden z možných scenárov takzvaného cirkulačného systému
- opakovaným zmiešavaním geotermálnych vôd a ich vertikálnymi alebo horizontálnymi prestupmi v rámci tektonických blokov v okolí vrtu.

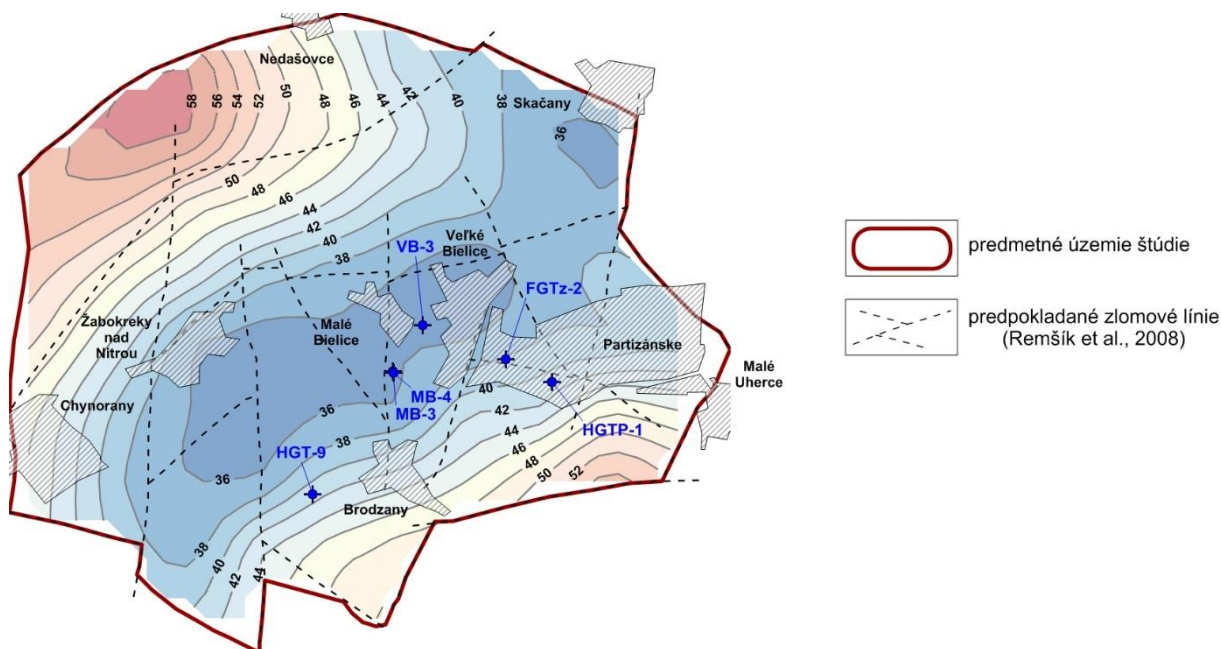
Tieto procesy, ktoré významne ovplyvňujú spôsob rezervoárovej odpovede na dlhodobú produkciu geotermálnej energie, je možné interpretovať jedine z komplexného hydrogeochemického monitoringu, respektíve získaných údajov z chemického zloženia, ktoré momentálne k dispozícii nie sú.



Obrázok 3.10: Interpretácia vertikálneho profilu teploty vo vrte HGTP-1 (Méryová, 2000) vo vzťahu k lokálnemu gradientu teploty



Obrázok 3.11: Interpretácia vertikálneho profilu teploty vo vrte FGTz-2 (Remšík et al., 2007) vo vzťahu k lokálnemu gradientu teploty



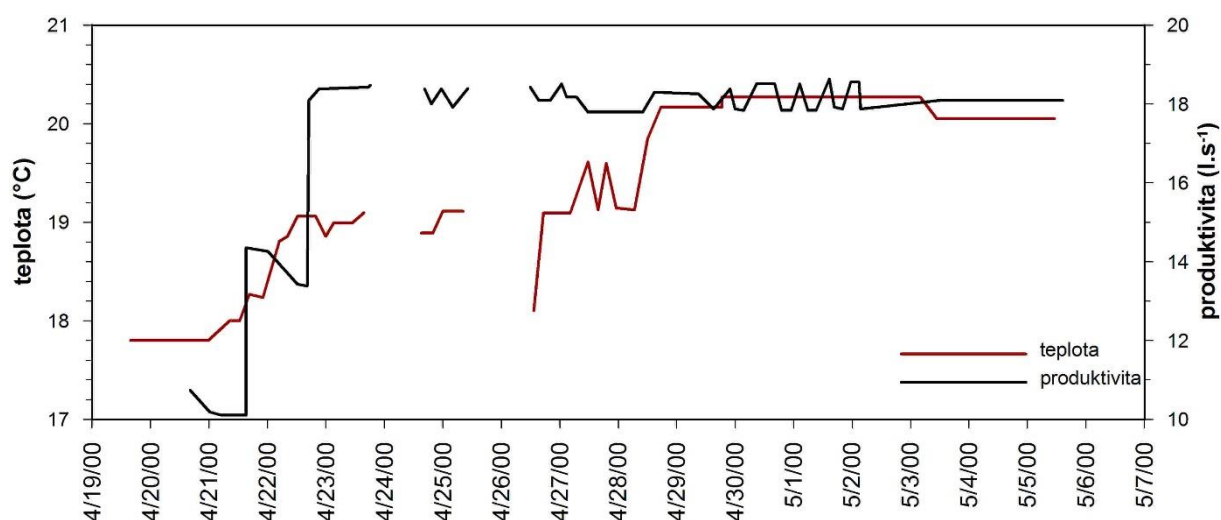
Obrázok 3.12: Priemet mapy teplôt (°C) na báze rezervoárového prostredia na predpokladané zlomové systémy polygónu lokality Partizánske

DYNAMICKE PREJAVY TEPLoty POČAS HYDRODYNAMICKÝCH SKÚŠOK A ICH IMPLIKÁCIE K OKOLIU

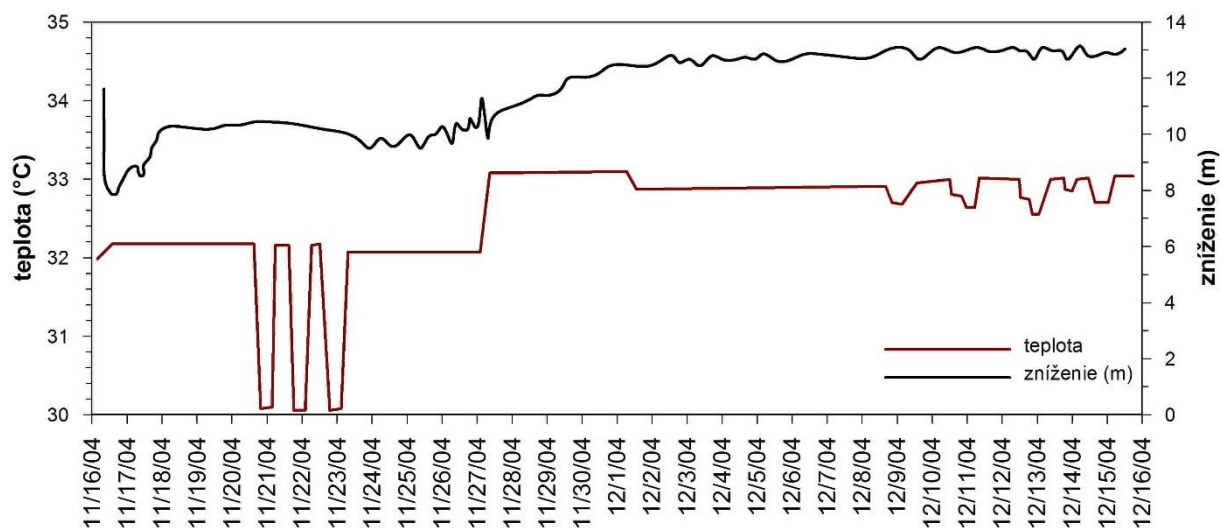
Na vrtoch HGTP-1 (Obrázok 3.12) a FGTz-2 (Obrázok 3.13) boli realizované hydrodynamické skúšky v trvaní aspoň základných 21 dní. Prakticky z oboch hydrodynamických skúšok je viditeľný nárast teploty s časom čerpania, čo je typické predovšetkým ak ide o formovanie tlakovej depresie vyvolanej čerpaním počas krokového zvyšovania produkcie, alebo v súvislosti s kontinuálnym poklesom tlaku pri udržiavaní konštantnej výdatnosti, čím dochádza k aktivácii prítokov z hlbších otvorených horizontov (ak sú prítomné). Tieto aktivácie prítokových horizontov sa postupom času vyrovnávajú, v závislosti na ich filtračných parametroch. V hydrogeologicky uzavretom prostredí, respektíve v prostredí, ktoré je situované v litologickej / stratigrafickej pasci bez funkčnej komunikácie s okolím, sú tieto teplotné trendy menej výrazné, a skôr dochádza k postupnému nárastu teploty s tým, ako sa postupne vyčerpáva rezervoárové prostredie a ako posledné sa aktivujú prítoky od bázy rezervoáru. Počas prerušenia čerpania (technické výpadky, respektíve stúpacie skúšky) sa postupne aktivujú plytké prítokové horizonty (tlak medzi telom vrtu a spodnými horizontmi sa vyrovnáva a prítoky ustávajú), a zároveň dochádza vo vrtach ku konduktívnemu ochladzovaniu geotermálnej vody, čo sa prejaví zvyčajne krátkodobým poklesom teploty ku

(kvázi) iníciaľným hodnotám. Aj z tohto dôvodu je podľa výsledkov hydrodynamických skúšok možné predpokladať, že rezervoárové prostredie je evidentne otvorené.

Vo vrte HGTP-1 (Obrázok 3.13) je nárast teploty evidentný počas prvého, krátkeho úseku krokovej stúpacej skúšky, ktorá sa prejavuje skokovými nárastmi produktivity (20.04 2000 – 24.04 2000). Za relevantný úsek je skôr možné považovať konštantný odber v období 27.04 2000 – 06. 05 2000. Práve tu je viditeľný postupný nárast teploty o $\Delta T \approx 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ pri konštantnej produkcii, s minimálnou osciláciou, čo rovnako implikuje možnosť aktivovania hlbších prítokových horizontov do vrtu. Tento trend je ale nevyhnutné overiť dlhodobým čerpaním.



Obrázok 3.13: Záznam hydrodynamickej skúšky na vrte HGTP-1 Partizánske. Upravené podľa: Měryová (2000).



Obrázok 3.14: Záznam hydrodynamickej skúšky na vrte FGTz-2 Partizánske. Upravené podľa: Remšík et al. (2008).

Podobná situácia je viditeľná na vrte FGTz-2 Partizánske (Obrázok 3.14), pričom čerpacia skúška bola realizovaná stratégiou konštantnej produkcie. Dlhodobým čerpaním, ktoré korešponduje s postupným nárastom zníženia (hladiny podzemnej vody) došlo k nárastu teploty o $\Delta T \approx 1$ °C. Opätovne sa tak aktivuje pravdepodobne hlbší prítokový horizont vo vrtoch, prípadne hlbšie prítoky, alebo teplejšie prítoky z okolia. Hydrodynamická skúška je ale z dlhodobého hľadiska nereprezentatívna.

Na základe distribúcie stacionárneho geotermického poľa, a zároveň podľa výsledkov krátkych hydrodynamických skúšok nie je úplne možné určiť režim zdrojov geotermálnej energie a komunikáciu medzi lokalitami Partizánske a Bielice. Oscilácia teploty pozorovaná ku koncu oboch čerpacích etáp preto môže indikovať niekoľko scenárov:

- dlhodobým čerpaním dôjde k stabilizovaniu produkovanej teploty s nárastom o $\Delta T \approx 1 - 2$ °C vtedy, keď nedôjde k prieniku studeného frontu, čo následne môže byť podporované komunikáciou s JV časťou polygónu v smere na Partizánske, kde sa očakávajú vyššie teploty
- dlhodobým čerpaním dôjde k stabilizovaniu produkovanej teploty na úrovni podobnej iniciálnemu štádiu, alebo k oscilácii teploty okolo pôvodnej (iniciálnej) teploty, čo znamená zachovanie stabilných, aktuálnych prítokových profilov
- dlhodobým čerpaním dôjde k poklesu produkovanej teploty, čo by znamenalo aktiváciu preferenčných plytkých prítokových horizontov, alebo komunikáciu s bielickou eleváciou a štruktúrou, a to aj v prípade, ak by nedošlo k zmene kvalitatívnych a kvantitatívnych parametrov produkovaných geotermálnych vôd na lokalite Bielice

Vplyv lunzských vrstiev na hydraulické parametre rezervoárového prostredia je vo vrte FGTz-2 nevýrazný. Vo vrte HGTP-1 však počas realizovaných 21 dní nedošlo, aspoň zo záznamu teploty, k výraznému nárastu teploty, ktorý by indikoval prítok zo spodného karbonátového komplexu v ich podloží.

Napriek tomu sa na základe vyhodnotenia hydrodynamickej skúšky domnievame, že pozorované, merané vertikálne profily teploty a teplotný záznam z hydrodynamickej skúšky môžu znamenať, že ako komplexne, tak aj čiastkovo vo vrchnom a spodnom súbore karbonátov hronika môže dochádzať k vertikálnej filtrácii geotermálnych vôd pred prítokom k vrtu, alebo počas produkcie, čo zodpovedá viacerým prítokovým horizontom následne.

4 ENERGETICKÝ POTENCIÁL HYDROGEOTERMÁLNYCH VRTOV NA LOKALITE PARTIZÁNSKE

Energetický potenciál hydrogeotermálnych vrtov na lokalite Partizánske bol počítaný vo vzťahu k referenčnej teplote regionálneho hydrogeotermálneho hodnotenia v pravdepodobnostnom modeli a bilančného hodnotenia dynamických množstiev geotermálnej energie podľa Tabuľky 4.1, s využitím bilančnej rovnice /4.1/

$$P_{th} = Q_{wh} \cdot c_{wh} \cdot (T_{wh} - T_{ref}) \quad /4.1/$$

kde: P_{th} – tepelno-energetický výkon (MWt), Q_{wh} – výdatnosť ($\text{l.s}^{-1} / \text{kg.s}^{-1}$), c_{wh} – špecifická tepelná kapacita ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$), T_{wh} – teplota na ústí produkčného vrtu ($^{\circ}\text{C}$), T_{ref} – referenčná teplota ($^{\circ}\text{C}$)

Tabuľka 4.1: Geotermické parametre využité v konštrukcii stacionárneho geotermického modelu Bánovskej kotliny a na lokalite Partizánske. Upravené podľa: Marcin et al. (2016, 2020)

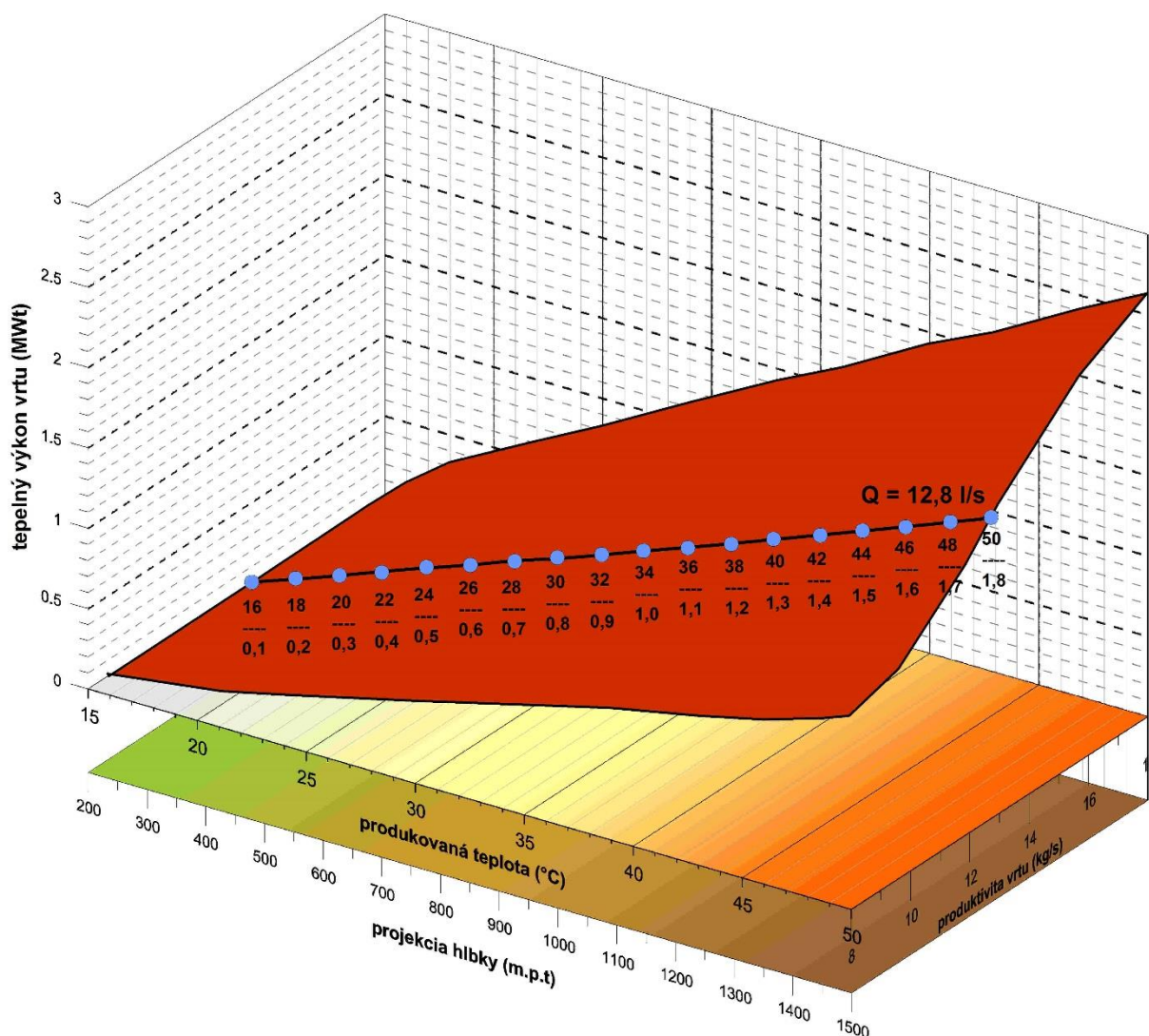
parameter	symbol	jednotka	HGTP-1	FGTz-2
overená produktivita	Q_{pv}	l.s^{-1}	12,8	12,5
overená produktivita	Q_{pv}	kg.s^{-1}	12,5	12,2
tepelná kapacita	c_{wh}	$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$	4119	4109
teplota produkovanej GT vody	$^{\circ}\text{C}$	MWt	20	33
referenčná teplota	$^{\circ}\text{C}$	MWt	15	15

Pri zachovaní teplôt, ktoré sú súčasťou podkladových databáz zdrojov geotermálnej energie na Slovensku (MARCIN ET AL., 2016, 2020), potom inštalovaný výkon geotermálneho vrtu HGTP-1 by zodpovedal $P_{th,inst} = 0,3 \text{ MWt}$, a inštalovaný výkon vrtu FGTz-2 by dosiahol $P_{th,inst} = 1,0 \text{ MWt}$ (Obrázok 4.1 a 4.2). Sumárny výkon oboch vrtov na strane vstupu do výmenníkového cyklu by teda predstavoval $P_{th,IN} = 1,3 \text{ MWt}$.

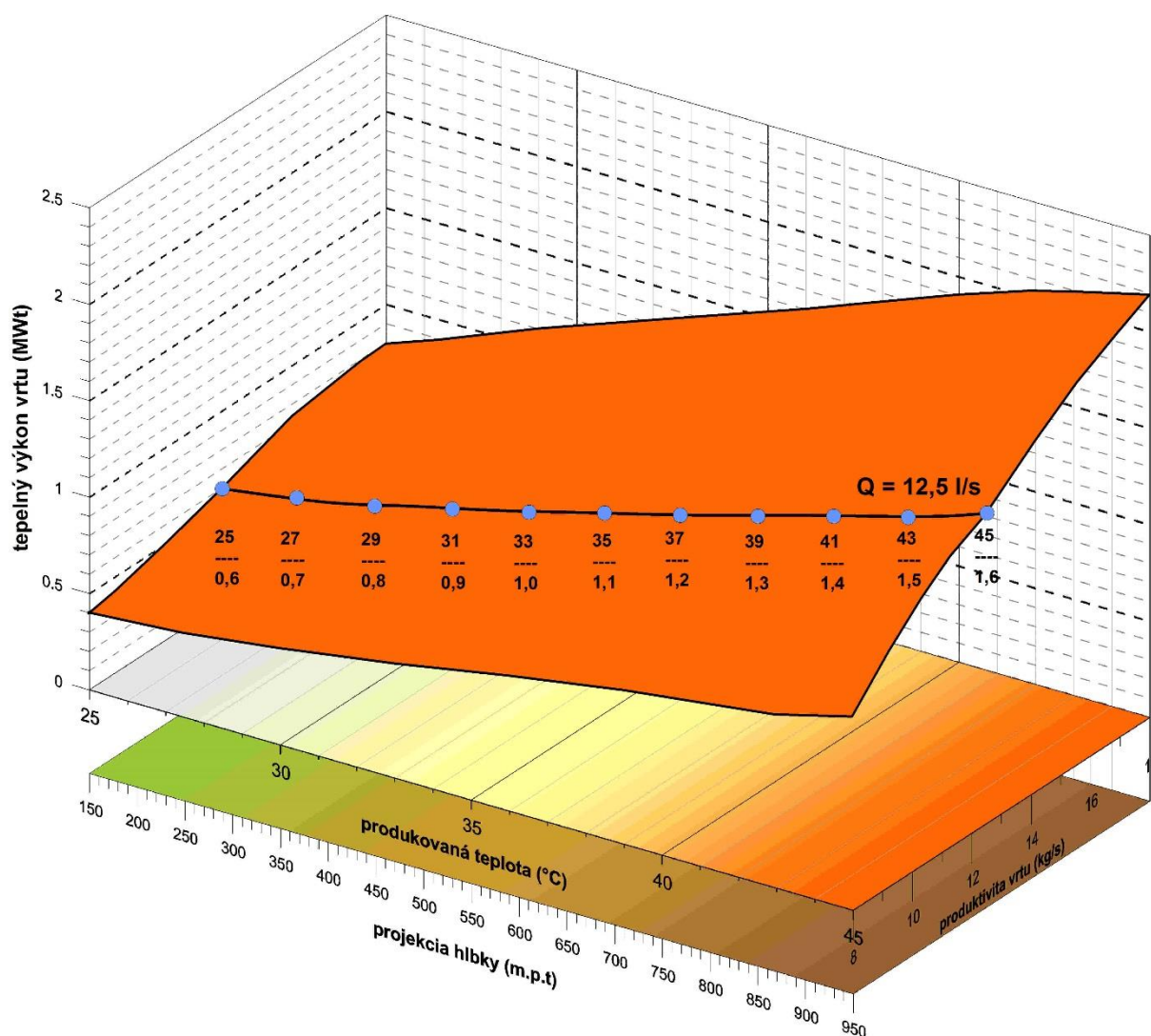
Prezentované vyjadrenie tepelno-energetických výkonov teda predstavuje čistý energetický potenciál zdrojov geotermálnej energie na vstupe do vykurovacieho cyklu, a nezohľadňuje termodynamickú a tepelnú účinnosť samotnej výmeny tepla, pričom je stále referencovaný na bilančnú teplotu prostredia $T_{ref} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Problémom takéhoto vyjadrenia tepelného výkonu je:

- hydrodynamické skúšky (Obrázok 3.13 a 3.14) na vrtoch HGTP-1 a FGTz-2 nie je v skutočnosti možné považovať za reprezentatívne, a je otázkou, nakoľko stabilizovaný je teplotný profil, ktorý bol skúškami zaznamenaný
- z hľadiska dlhodobej produkcie zdrojov geotermálnej energie a nie úplne objasnených priestorových vzťahov obehového systému v JV časti bányvskej kotliny, je otázne, ako sa pri n-ročnej produkcii zmenia prítokové pomery do geotermálnych vrtov a s tým aj potenciálne teploty na ústí produkčných vrtov pred vstupom do energetického cyklu
- na základe 21-dňovej / 30 dňovej hydrodynamickej skúšky nie sú dostatočne overené ani dlhodobé parametre samotnej produktivity / výdatnosti.



Obrázok 4.1: Analýza citlivosti tepelného – energetického výkonu vrtu HGTP-1 Partizánské podľa zmien produkovanej teploty a produkovaných množstiev geotermálnych vôd



Obrázok 4.2: Analýza citlivosti tepelného – energetického výkonu vrtu FGTz-2 Partizánske podľa zmien produkovanej teploty a produkovaných množstiev geotermálnych vôd

Pre geotermálne vrty HGTP-1 a FGTz-2 zostavené mapy citlivosti vývoja tepelno-energetického výkonu (Obrázok 4.1 a 4.2; Tabuľka 4.2 a 4.3) pre stanovenie hrubého inštalovaného výkonu v závislosti na variácii produktivity a produkovanej teploty. Zvolené teplotné rozsahy predstavujú odhady teploty dosiahnuteľné v rezervoárovom prostredí hĺbkového intervalu, respektíve bázy rezervoárového prostredia na základe geotermického modelu, pri zachovaní pravdepodobnej straty teploty počas prítoku k vrtu (vertikálne prestupy) a straty teploty priamo vo vrtoch. V prípade grafickej schémy citlivosti zobrazuje hladina „projekcia hĺbky“ aj približný hĺbkový interval, v ktorom je možné modelovanú teplotu geotermálnej vody v stacionárnom prostredí očakávať.

Tabuľka 4.2: Výpočet tepelno-energetického výkonu vrtu HGTP-1 vo vzťahu k referenčnej teplote $T_{ref} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

teplota ($^{\circ}\text{C}$)	produktivita ($\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$)										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
16	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
17	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
18	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
19	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
20	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
21	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
22	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6
23	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
24	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
25	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
26	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
27	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9
28	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1
29	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1	1.1
30	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1	1.1	1.1
31	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1	1.1	1.1	1.2
32	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1	1.1	1.1	1.2	1.3
33	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4
34	0.7	0.7	0.8	0.9	1	1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4
35	0.7	0.8	0.9	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5
36	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
37	0.8	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6
38	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
39	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
40	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
41	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
42	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
43	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2	2.1
44	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1
45	1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2	2.1	2.2
46	1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	1.9	2	2.2	2.3
47	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	2	2.1	2.2	2.4
48	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.8	1.9	2	2.2	2.3	2.4
49	1.1	1.3	1.4	1.5	1.7	1.8	2	2.1	2.2	2.4	2.5
50	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.9	2	2.1	2.3	2.4	2.6

Tabuľka 4.3: Výpočet tepelno-energetického výkonu vrtu FGTz-2 vo vzťahu k referenčnej teplote $T_{ref} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

teplota ($^{\circ}\text{C}$)	produktivita ($\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$)										
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
25	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8
26	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
27	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9
28	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1
29	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1	1.1
30	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1	1.1	1.1
31	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1	1.1	1.1	1.2
32	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	1	1.1	1.1	1.2	1.3
33	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4
34	0.7	0.7	0.8	0.9	1	1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4
35	0.7	0.8	0.9	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5
36	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
37	0.8	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6
38	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
39	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
40	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
41	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9
42	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
43	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2	2.1
44	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1
45	1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2	2.1	2.2

Veľmi dôležitou skutočnosťou v celom výpočte energetického potenciálu geotermálnych vrtov je aj fakt, že **produktivita oboch vrtov nebola doteraz overená spoločnou hydrodynamickou skúškou predpokladajúcou ich súbežnú produkciu**, čiže nedošlo k overeniu ich reálnej možnosti produkovať dlhodobo predpokladané / overené výdatnosti; a zároveň, že **produktivita oboch vrtov nebola doteraz overená ani spoločnou hydrodynamickou skúškou s aktuálne využívaným vrtom MB-3 Malé Bielice**, a to ani vo vzťahu k zachovaniu prirodzených pramenísk na lokalite. Z tohto dôvodu je nevyhnutné pristupovať k výsledkom energetickej bilancie, a bilancie energetickej citlivosti vrtov HGTP-1 a FGTz-2 orientačne do času, kým nedôjde k realizácii overovacích, prevádzkových hydrodynamických skúšok a monitoringu produkcie s nevyhnutnými modelovaniami vzájomného ovplyvnenia a modelovaniami rezervoárovej odozvy.

5 ENERGETICKÝ POTENCIÁL REZERVOÁROVÉHO PROSTREDIA

5.1 Energetická bilancia rezervoárového prostredia

Odhad celkového energetického potenciálu rezervoárového prostredia, t.j. vrchnotriasových (hlavný dolomit) a spodnotriasových karbonátov hronika bol riešený v rámci geologickej úlohy „Analýza možností trvalo udržateľného využitia a využívania zdrojov geotermálnej energie na Slovensku – I. časť“ (FRIČOVSKÝ ET AL., 2024) a to na dvoch paralelných úrovniach: z pohľadu energetickej bilancie rezervoáru (celkový energetický potenciál vs udržateľný energetický potenciál); a z pohľadu časovej zložky produkcie rezervoáru (dlhodobá – 100 rokov vs krátkodobá – 40 rokov produkcia geotermálnej energie).

5.1.1 Celkový tepelno-energetický potenciál

V zmysle globálneho modelu odhadu celkového a udržateľného energetického potenciálu zdrojov geotermálnej energie na Slovensku (FRIČOVSKÝ ET AL., 2024) bola pre stanovenie celkového množstva energie akumulovanej v rezervoárovom prostredí využitá USGS objemová metóda (MUFFLER – CATALDI, 1978; GRANT, 2014; GARG – COMBS, 2015) podrobená Monte Carlo pravdepodobnostnej simulácii /5.1/:

$$E_T = E_M + E_W + E_V \quad \left\{ \begin{array}{l} E_M = A_t \cdot \Delta z \cdot [\rho_m \cdot c_m \cdot (1 - \phi) \cdot (T_{res} - T_{ref})] \\ E_W = A_t \cdot \Delta z \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot \phi \cdot (T_{res} - T_{ref}) \cdot S_w \\ E_S = A_t \cdot \Delta z \cdot \rho_s \cdot c_s \cdot \phi \cdot (h_{res} - h_{ref}) \cdot (1 - S_w) \\ T_{ref} \in \langle T_{ref}; T_{inj} \rangle \\ S_w \in \langle 0; 1 \rangle \end{array} \right. \quad /5.1/$$

kde: **boldom** zvýraznené premenné sú v modeli podmienené pravdepodobnostnej simulácii podľa funkčných distribučných histogramov vychádzajúcich zo stacionárneho geotermického modelu, a podčiarknutím konštanty, zvyšné parametre predstavujú funkčné vzťahy k simulovaným veličinám;

a zároveň kde: E – množstvo energie (J), symboly M_m , W_w a V_v – značia horninové prostredie, vodnú zložku a parnú fázu (ak je v termodynamicky oddelenej forme), A_t – plocha rezervoáru (m^2), Δz – hrúbka rezervoárového prostredia korigovaná o simulovaný odhad hrúbky efektívneho profilu (m), ρ – špecifická objemová hustota ($kg.m^{-3}$), c – špecifická tepelná kapacita ($J.kg^{-1}.K^{-1}$), ϕ – pórovitosť (-), T_{res} – rezervoárová teplota, T_{ref} – referenčná teplota, h_{res} – špecifická entalpia parnej frakcie ($kJ.kg^{-1}$), h_{ref} – špecifická entalpia vodnej zložky pri referenčnej teplote ($kJ.kg^{-1}$), S_w – saturácia pórov vodnou zložkou (-);

a kde: ϕ predstavuje funkčný vzťah ku hĺbke definičného bodu $z_{(DP)}$ v strede rezervoárového prostredia, ktoré je simuláciou hĺbky stropu karbonátov a hrúbky karbonátov; p_w je funkčným vzťahom k T_{res} , ρ_m je funkčným vzťahom k ϕ , c_w je funkčným vzťahom ku teplote a c_m je funkčným vzťahom k ρ_m .

Výsledkom simulácie podľa /5.1/ je definícia celkového množstva tepla v rezervoárovom systéme, ktoré predstavuje tzv. energetickú bázu. Ide o modelovú distribúciu tepla v rezervoárovom prostredí, ktoré je hypoteticky akumulované vo vzťahu k danej referenčnej teplote. Následne dostupné množstvo tepla / dostupné množstvo geotermálnej energie E_0 /5.2/ vyjadruje množstvo tepla technicky a technologicky získateľné z rezervoárového prostredia (MUFLER – CATALDI, 1978; GRANT, 2014; GARG – COMBS, 2015):

$$E_0 = E_T \cdot R_0 \quad /5.2/.$$

Dostupné množstvo geotermálnej energie v domácej literatúre dlhodobo (nesprávne) označované ako „obnoviteľné množstvo geotermálnej energie“, keďže je funkciou koeficientu dostupnosti geotermálnej energie R_0 , ktorý bol (rovnako chybne) označovaný ako koeficient obnoviteľnosti (FRIČOVSKÝ ET AL., 2024); pričom ale nemá nič spoločné s obnoviteľnosťou a obnovovaním energetickej zložky rezervoárového prostredia, ale vyjadruje mieru možností získavania geotermálnej energie z rezervoárového prostredia pri daných geologických, geotermických, hydrogeologických a hydraulických pomeroch (napr. GRANT – BIXLEY, 2011; GRANT, 2014; GARG – COMBS, 2010, 2011, 2015; CIRIACO ET AL., 2020).

Koeficient dostupnosti geotermálnej energie R_0 predstavuje kritickú časť aplikácie USGS objemovej metódy. V referenčných hydrogeotermálnych hodnoteniach bola využitá konštanta $R_0 = 0,1$ (FENDEK ET AL., 1985; FENDEK ET AL., 2005; REMŠÍK ET AL., 2007) avšak bez širšieho vysvetlenia, na základe konvekcií využívania R_0 v regionálnych

hydrogeotermálnych hodnoteniach Slovenska (FRANKO ET AL., 1995; FENDEK ET AL., 2005), avšak bez reálnych koncepcných podkladov.

Pravdepodobnostný model (FRIČOVSKÝ ET AL., 2024) limituje riziká vyplývajúce z konštánt, a aplikovaním podmienenej pravdepodobnostnej Monte Carlo simulácie využíva dynamický odhad $R0$ na základe parametrov konkrétneho útvaru geotermálnych vôd. V prípade Bánovskej kotliny bola využitá metóda efektívneho rezervoárového objemu (SANYAL – BUTTLER, 2005; TESTER ET AL., 2006; WILLIAMS ET AL., 2008; FOX ET AL., 2014; FRIČOVSKÝ ET AL., 2023, 2024) /5.3/ vyjadrujúca množstvo geotermálnej energie dostupnej v energeticky perspektívnej časti rezervoáru:

$$R0 = \frac{A_e \cdot \Delta z_e \cdot \phi_e}{A \cdot \Delta z \cdot \phi_e} \cdot \frac{0,9 T_{res,ini}}{(T_{res,ini} - T_{ref})} = \frac{A_e \cdot \Delta z_e \cdot \phi_e}{A \cdot \Delta z \cdot \phi_e} \cdot \frac{T_{cool}}{(T_{res,ini} - T_{ref})} \quad /5.3/$$

kde: **boldom** zvýraznené premenné sú v modeli podmienené pravdepodobnostnej simulácii podľa funkčných distribučných histogramov vychádzajúcich zo stacionárneho geotermického modelu, a podčiarknutím konštanty, zvyšné parametre predstavujú funkčné vzťahy k simulovaným veličinám;

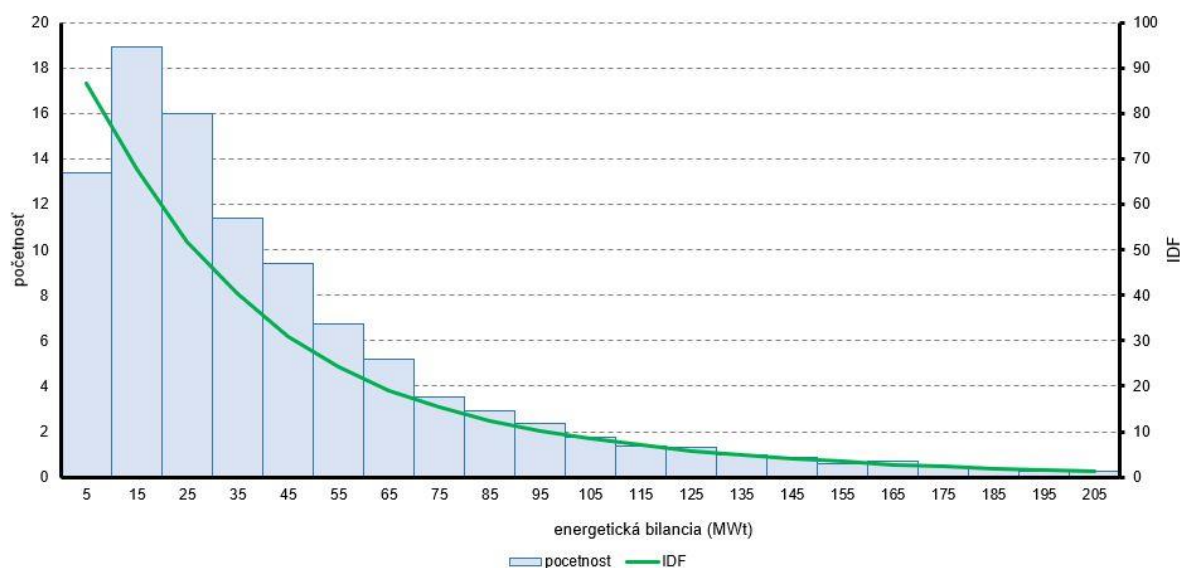
a kde symbol „e“ vyjadruje efektívnu / perspektívnu plochu útvaru, A – plocha rezervoárového prostredia (m^2), A_e – plocha efektívnej alebo perspektívnej oblasti (m^2), Δz – hrúbka rezervoárového prostredia korigovanú o efektívny profil (m), ϕ - pórovitosť (-), $T_{res,ini}$ – stacionárna rezervoárová teplota ($^{\circ}C$), T_{cool} – tolerovaná teplota ochladenia ($^{\circ}C$), t.j. 10 % voči iniciálnym podmienkam, T_{ref} – referenčná teplota ($^{\circ}C$).

Posledným krokom je prepočet množstva tepla na energetickú bilanciu prostredia podľa vzťahu /5.4/ (MUFFLER – CATALDI, 1978):

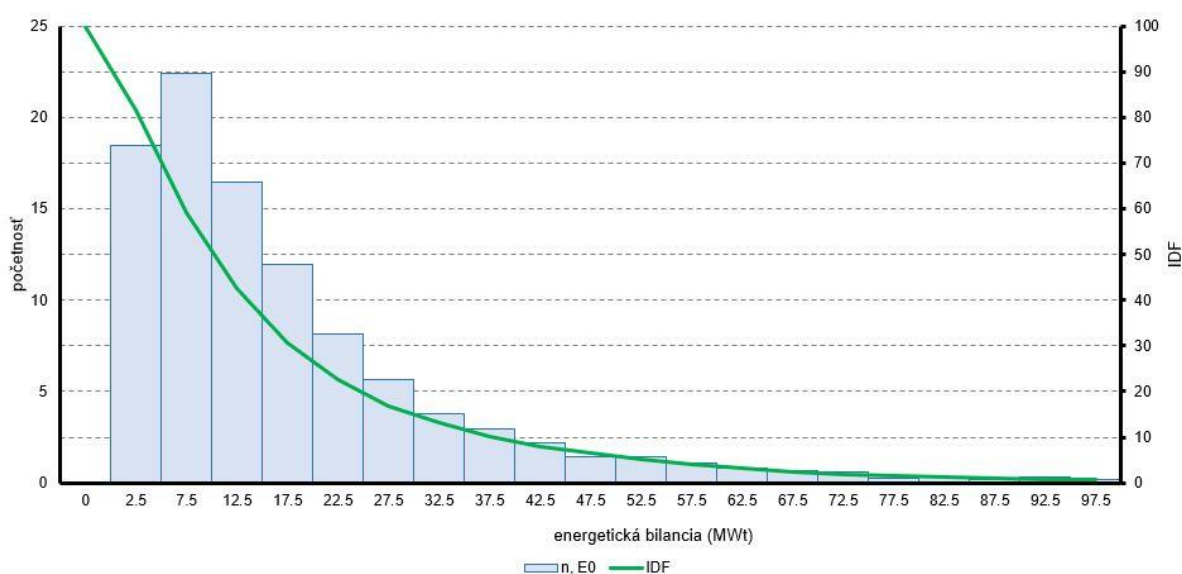
$$H_0 = \frac{E_T \cdot R0}{t_{prod}} = \frac{E_0}{t_{prod}}$$

kde: t_{prod} predstavuje bilančný čas produkcie, pre ktorý je energetická kapacita rezervoárového prostredia hodnotená (s, roky).

V zmysle konštrukcie pravdepodobnostných modelov odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie v globálnej praxi rezervoárového inžinierstva sú následne získané IDF distribučné krivky energetickej bilancie H_0 (Obrázok 5.1 a 5.2) využité pre stanovenie tried geologickej istoty, respektíve McKelveyovej schémy podľa Tabuľky 5.1 a 5.2 (SANYAL – SARMIENTO, 2005; WILLIAMS ET AL., 2010; CIRIACO ET AL., 2020).



Obrázok 5.1: Pravdepodobnostný model energetickej bilancie rezervoárového prostredia Bánovskej kotliny pre čas produkcie 40 rokov. Upravené podľa: Fričovský et al. (2024)



Obrázok 5.2: Pravdepodobnostný model energetickej bilancie rezervoárového prostredia Bánovskej kotliny pre čas produkcie 100 rokov. Upravené podľa: Fričovský et al. (2024)

Pravdepodobnostný model odhadu tepelno-energetického potenciálu pre hronikum Bánovskej kotliny sa v oboch prípadoch prejavuje výrazným zošikmením, čo je spôsobené predovšetkým anomáliami teploty v centrálnej depresii Bánovskej kotliny, ovplyvňujúcimi ako energetickú bilanciu rezervoáru, tak aj simulovanú distribúciu koeficientu dostupnosti geotermálnej energie R_0 (FRIČOVSKÝ ET AL., 2024).

Tabuľka 5.1: Energetická bilancia rezervoárového prostredia hronika Bánovskej kotliny. Upravené podľa: Fričovský et al. (2024)

kategória McKelveyovej schémy	jednotka	symbol	40 rokov	100 rokov
overené zásoby	MWt	R_{pv}	5,6	5,6
pravdepodobné zásoby	MWt	R_{pb}	23	9
predpokladané zásoby	MWt	R_{inf}	70	28
zásoby geotermálnej energie	MWt	RE_T	98	43
zdroje geotermálnej energie	MWt	RS_T	1389	552
technický TEP	MWt	TTP	29	15
pravdepodobný TEP	MWt	$TPP_{(p)}$	31	13

Tabuľka 5.2: Princípy konštrukcie pravdepodobnostného modelu McKelveyovej schémy. Upravené podľa: Sanyal – Sarmiento (2005), Grant (2014)

kategória	geologicko-geotermická charakteristika	pravdepodobnostná charakteristika
zdroje geotermálnej energie	- energia akumulovaná v systéme - obmedzená technická a technologická dostupnosť - najnižšia trieda pravdepodobnosti	$RS_T < P10(E)$
indikované / odvodené zásoby	- bez preukázania vrtnými prácami - solídne indície podľa analógie s overenými systémami a štruktúrami - teplotné, geofyzikálne, geochemické indície alebo prejavy - vysoká pravdepodobnosť prehodnotenia pri realizácii vrtných prác alebo zvyšovaní kvality vstupných parametrov	$R_{inf} = P10(E) - Md(E) \text{ ak } Md(E) < P50(E)$ $R_{inf} = P10(E) - P50(E) \text{ ak } Md(E) > P50(E)$
pravdepodobné zásoby	- preukázané na základe obhájiteľných výsledkov numerického, geofyzikálneho a geochemického modelovania - indikované priamymi alebo nepriamymi povrchovými a podpovrchovými príznakmi - blízkosť geotermálnych vrtov	$R_{pb} = Md(E) - P90(E) \text{ ak } Md(E) < P50(E)$ $R_{pb} = P50(E) - P90(E) \text{ ak } Md(E) > P50(E)$
overené zásoby	- úspešne overená časť zásob geotermálnej energie vrtnými prácami a dostačujúcim monitoringom - vrtné, monitorovacie a testovacie práce nebudú mať výrazný vplyv na rekalibráciu odhadovaného množstva overených zásob - prakticky predstavujú inštalovaný výkon geotermálneho vrtu, respektíve sumu inštalovaného výkonu geotermálnych vrtov v rámci hodnoteného GT poľa	$R_{pv} > P90(E)$

Podľa Tabuľky 5.2 predstavuje **pravdepodobný tepelno-energetický potenciál $TTP_{(p)}$** definovaný na hladine odhadu $E = H_0$ (podľa /5.4/) maximálne množstvo geotermálnej energie viazané na rezervoárové prostredie, ktoré je možné overiť s pravdepodobnosťou 50 %, čo zároveň zodpovedá kritickej hranici tolerovateľného rizika /5.5/

$$TTP_{(p)} = R_{pb} + P90(H_0) \quad /5.5/$$

Pravdepodobný tepelno-energetický potenciál je následne využitý v modeli odhadu udržateľnej rezervoárovej kapacity.

5.1.2 Model odhadu udržateľnej rezervoárovej kapacity

V zmysle Koncepce trvalo udržateľného rezervoárového manažmentu ([AXELSSON ET AL., 2001](#)) predstavuje udržateľná rezervoárová kapacita množstvo geotermálnej energie, ktoré je prítomné v rezervoárovom prostredí, a ktoré je možné produkovať pre dané časové obdobie tak, aby bolo minimalizované riziko jeho kvantitatívnej a kvalitatívnej depletácie.

Model odhadu udržateľnej rezervoárovej kapacity vychádza z metódy koeficientu kapacity zásob /5.6/, ktorý v pôvodnej verzii ([BJARNADOTTIR, 2010](#)) vyjadruje mieru využívaných množstiev energie voči diskkrétne stanovenému množstvu zásob geotermálnej energie v rezervoári:

$$r_{cap} = \frac{R_{pb} - R_{pv}}{R_{pb}} \quad /5.6/$$

kde: r_{cap} – koeficient kapacity zásob (-), R_{pb} – množstvo geotermálnej energie v rezervoári (MWt), R_{pv} – overené / produkované množstvo geotermálnej energie (MWt).

Pôvodná metóda bola následne modifikovaná do tvaru všeobecného zápisu /5.7/ ([FRIČOVSKÝ ET AL., 2020, 2024](#); [MARCIN ET AL., 2020](#)), ktorý zohľadňuje výsledky pravdepodobnostného modelu vo vzťahu ku množstvu geotermálnej energie, ktoré je možné odoberať zo systému:

$$r_{\text{cap(U)}} = \frac{TTP_{(p)} - P_{\text{th,ref}}}{TTP_{(p)}} = \frac{TTP_{(p)} - \sum_{i=1}^n P_{\text{th,ref(i)}}}{TTP_{(p)}} = \frac{P50(H_0 / t_{\text{prod}}) - \sum_{i=1}^n P_{\text{th,ref(i)}}}{P50(H_0 / t_{\text{prod}})} \quad /5.7/$$

kde: $P_{\text{th,ref}}$ predstavuje množstvo geotermálnej energie odoberanej zo systému pri referenčnej teplote T_{ref} (MWt); symbol (U) znamená referencovanie koeficientu kapacity zásob voči aktuálnemu využívaniu.

V oboch modifikáciách metódy koeficientu kapacity zásob je kritická udržateľná rezervoárová kapacita $P_{\text{th(S)}}$ /5.8/ rovná koeficientu kapacity zásob $r_{\text{cap}} = 0,5$ (BJARNADOTTIR, 2010; FRIČOVSKÝ ET AL., 2024); a predstavuje tak maximálne 50 % pravdepodobného tepelno-energetického potenciálu:

$$P_{\text{th(S)}} = 0,5.TTP_{(p)} = 0,5 \cdot \left[\frac{(P50(H_T)) \cdot R0}{t_{\text{prod}}} \right] = 0,5 \cdot P50 \left(\frac{H_0}{t_{\text{prod}}} \right) \quad /5.8/$$

Dosadením výsledkov odhadu $TTP_{(p)}$ je následne možné odhadnúť:

- pre obdobie produkcie 40 rokov: $P_{\text{th(S,40)}} = 15 \text{ MWt}$
- pre obdobie produkcie 100 rokov: $P_{\text{th(S,100)}} = 7 \text{ MWt}$

Následne, množstvo geotermálnej energie, ktoré je k dispozícii pre využívanie pri jej aktuálnej produkcii, je možné vyjadriť cez udržateľný potenciál rozvoja aktuálnej produkcie geotermálnej energie $P_{\text{th(D)}}$ /5.9/, ktorý v zmysle definície znamená množstvo geotermálnej energie, ktoré je dostupné v rezervoárovom prostredí pri jeho aktuálnej úrovni využitia bez toho, aby bola ohrozená jeho udržateľná energetická kapacita $P_{\text{th(S)}}$:

$$P_{\text{th(D)}} = P_{\text{th(S)}} - P_{\text{th,ref}} = 0,5.TTP_{(p)} - P_{\text{th,ref}} = 0,5 \cdot \left[P50 \left(\frac{H_0}{t_{\text{prod}}} \right) \right] - [Q_{\text{act}} \cdot c_{\text{wh}} \cdot (T_{\text{wh}} - T_{\text{ref}})] \quad /5.9/$$

5.1.3 Aktuálny stav využitia a využívania zdrojov geotermálnej energie v Bánovskej kotline

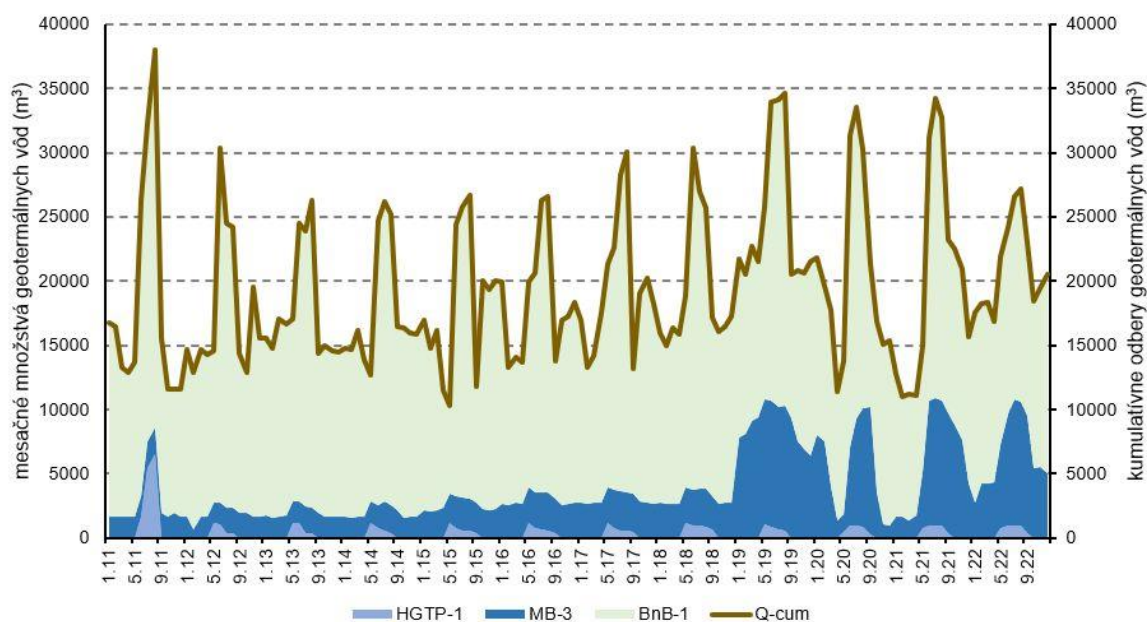
Podľa aktuálnych dlhodobých aktuálnych údajov sa zdroje geotermálnej energie v Bánovskej kotline (FRIČOVSKÝ ET AL., 2023) využívajú na 3 lokalitách za rekreačným účelom (Malé Bielice, Partizánske, Bánovce nad Bebravou). Keďže $P_{th(D)}$ je funkciou takzvaného tepelného referenčného výkonu (t.j. množstvo geotermálnej energie odoberanej z rezervoáru voči referenčnej teplote) $P_{th,ref}$ /5.10/ boli využité údaje zo sledovaného obdobia 2011 – 2022 (MARCIN ET AL., 2016, 2020; FRIČOVSKÝ ET AL., 2024) o množstvách odoberaných geotermálnych vôd:

$$P_{th,ref} = Q_{act} \cdot c_{wh} \cdot (T_{wh} - T_{ref}) \left| \begin{array}{l} T_{ref} = 15^{\circ}\text{C} \\ Q_{act} \in \langle 0; Q_{pv} \rangle \end{array} \right. \quad /5.10/$$

kde: Q_{act} – aktuálne mesačné produkované geotermálnych vôd ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$), c_{wh} – merná tepelná energetická kapacita geotermálnej vody na ústí produkčného vrtu ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), T_{wh} – teplota geotermálnej vody na ústí vrtu ($^{\circ}\text{C}$), T_{ref} – referenčná teplota prostredia ($^{\circ}\text{C}$)

Kumulatívne množstvá geotermálnych vôd sa v sledovanom období pohybovali v intervale $Q = 0,21 - 0,23 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, čo zodpovedá ročným kumulatívnym priemerom $Q = 6,9 - 9,6 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Detailnú produkciu množstiev geotermálnych vôd udáva Obrázok 5.3.

Pre referenčnú teplotu $T_{ref} = 15^{\circ}\text{C}$ dosahovali referenčné tepelné výkony, zodpovedajúce teda množstvu odoberanej geotermálnej energie z rezervoáru voči rovnakej referenčnej teplote ako energetická kapacita prostredia v celej kotline $P_{th,ref} = 0,3 - 1,1 \text{ MWt}$ (Obrázok 5.4).



Obrázok 5.3: Priebeh odoberaných množstiev geotermálnych vôd v Bánovskej kotline za obdobie 01/2011 až 12/2022

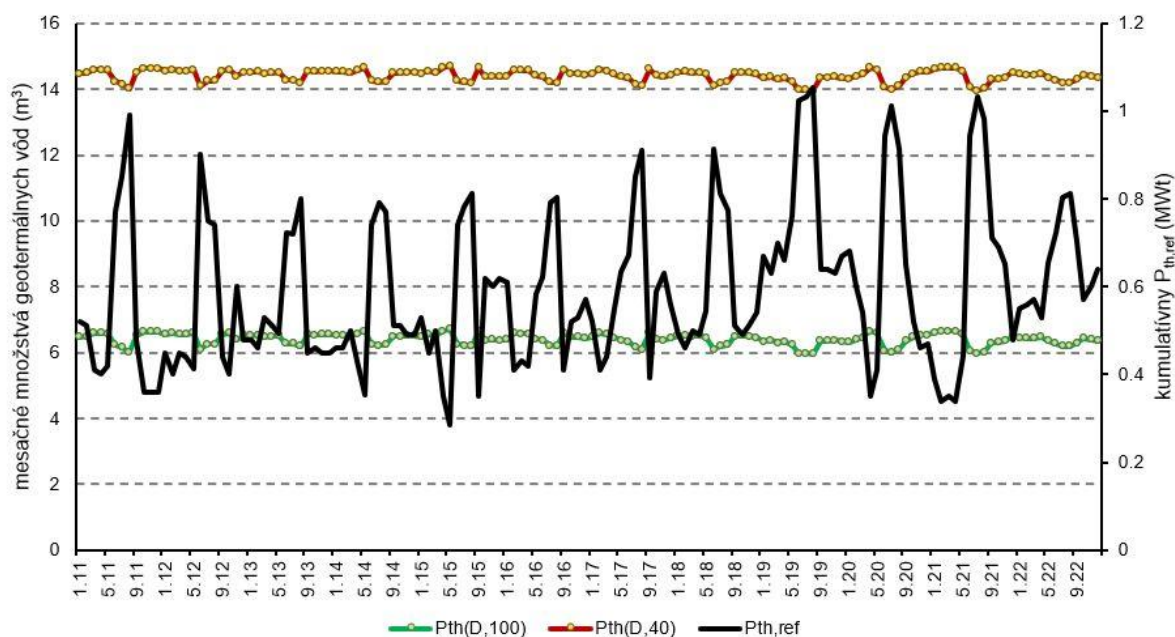
5.1.4 Potenciál rozvoja produkcie geotermálnej energie v Bánovskej kotline

Pri priemernej mesačnej variabilite referenčného tepelného výkonu $P_{th,ref} = 0,3 - 1,1$ MWt (Obrázok 5.4) je v sledovanom období 01/2011 až 12/2022 možné po dosadení do výrazu /5.9/ očakávať, že k dispozícii bolo stále:

- $P_{th(D)} = 13,9 - 14,8$ MWt pre krátkodobý horizont produkcie, respektíve
- $P_{th(D)} = 5,9 - 6,7$ MWt pre dlhodobý horizont produkcie;

čo znamená, že k dispozícii bolo stále 92 – 98 % udržateľnej energetickej kapacity pre krátkodobý horizont produkcie, alebo 40 – 45 % udržateľnej energetickej kapacity pre dlhodobý horizont produkcie.

Z oboch uvedených modelov pre krátkodobý a dlhodobý horizont produkcie vyplýva, že **z pohľadu energetickej bilancie rezervoárového prostredia je možné pokračovať v rozvoji produkcie geotermálnej energie z karbonátov hronika, a to vrátane lokality Partizánske**. Množstvo geotermálnej energie dostupnej na lokalite Partizánske je však podmienená jej hydrogeologickou bilanciou v prípade, ak produkcia nebude založená na využití dubletov.



Obrázok 5.4: Vývoj kumulatívnych množstiev odoberanej geotermálnej energie vo vzťahu k udržateľnému potenciálu rozvoja v Bánovskej kotline za obdobie 01/2011 až 12/2022

5.2 Hydrogeotermická bilancia vymedzeného polygónu lokality Partizánske

Metóda hydrogeotermickej bilancie je využitá pre stanovenie množstiev geotermálnych vôd, ktorých produkcia by mala byť v súlade s množstvom tepla prechádzajúceho rezervoárovým systémom tak, aby nebola narušená jeho geotermická rovnováha; avšak jej využitie pre stanovenie „prognózných množstiev“ alebo „dynamických množstiev“ geotermálnej energie je sporné, nakoľko je založená na parametrických a koncepčných modelov konvektívnych, vulkanických systémov (WHITE – WILLIAMS, 1975; FENDEK ET AL., 2005; FRIČOVSKÝ ET AL., 2024).

$$Q_{\text{dyn}} = \sum_{i=1}^n \frac{A \cdot q_0}{(T_{\text{res}} - T_s) \cdot c_w \cdot \rho_w} \quad /5.11/$$

kde: Q_{dyn} – dynamické, rovnvážne množstvá geotermálnych vôd ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), A – plocha príslušnej hladiny hustoty tepelného toku (m^2), q_{top} – hustota tepelného toku na povrchu sledovaného horizontu ($\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}$), T_{res} – priemerná teplota stacionárneho modelu v danom horizonte ($^{\circ}\text{C}$), T_s – povrchová teplota ($^{\circ}\text{C}$), c_w – špecifická tepelná kapacita rezervoárového média pri danej

teploty ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$), ρ_w – špecifická objemová hustota rezervoárového média pri danej teplote (kg.m^{-3})

Štandardnou a zaužívanou chybou pri využití tejto metódy v podmienkach Slovenska je jej referencovanie k povrchovej hustote tepelného toku, čo pravdepodobne vyplýva z prevzatia metódy v hydrotermálnych systémoch, kde konvektívne prúdenia opakovane doliehajú k povrchu, respektíve konvektívne prírastky k celkovej hustote tepelného toku z rezervoárového prostredia prekrývajú rádiogénnu zložku produkcie tepla v nadloží. V prevažne-konduktívnom prostredí hydrogeotermálnych systémov na Slovensku tento postup je nevyhnutné korigovať pre **hustotu tepelného toku na povrchu cieľového rezervoárového prostredia**, v tomto prípade karbonátov hronika.

Druhou opakovanou chybou je využitie priemernej hodnoty hustoty tepelného toku a priemernej teploty za celú štruktúru. V oboch prípadoch ide o výraznú chybu, nakoľko tento prístup zanedbáva rozloženie potenciálnych anomálií geotermickej aktivity a rozdielnu geometriu rezervoárového prostredia, ktorá v prevažne-konduktívnom prostredí ovplyvňuje aj distribúciu geotermicky stabilnej (stacionárnej) rezervoárovej teploty.

Bilancia bola pre porovnanie aplikovaná ako v priestore vymedzenej kryhy karbonátov hronika (REMŠÍK ET AL., 2007), tak aj pre definovaný polygón okolia lokality Partizánske. Dosadením hodnôt z Tabuľky 5.3 do vzťahu /5.11/ je možné získať nasledovné výsledky (Obrázok 5.5):

- $Q_{\text{dyn}} = 237 \text{ kg.s}^{-1}$ respektíve $Q_{\text{dyn}} = 250 \text{ l.s}^{-1}$ pre vymedzené rezervoárové prostredie karbonátov hronika v celej Bánovskej kotline
- $Q_{\text{dyn}} = 30 \text{ kg.s}^{-1}$ respektíve $Q_{\text{dyn}} = 32 \text{ l.s}^{-1}$ pre vymedzené rezervoárové prostredie polygónu lokality Partizánske.

Tabuľka 5.3A: Reprezentatívne parametre využité v hydrogeotermickej bilancií rezervoárového prostredia hronika Bánovskej kotliny

$Q_{\text{top,min}}$	$Q_{\text{top,max}}$	$A_{(q,i)}$	T_{res}	β_{vw}	ρ_w	c_w	$Q_{\text{dyn,i}}$	$Q_{\text{dyn,i}}$	$Q_{\text{dyn,i}}$
mW.m^{-2}	mW.m^{-2}	km^2	$^{\circ}\text{C}$	$1.\text{K}^{-1}$	kg.m^{-3}	$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$	kg.s^{-1}	l.s^{-1}
69	70	21,1	29	0,0003	954,4	4215	0,027	25	27
68	69	126,1	34	0,0003	951,4	4218	0,113	107	113
67	68	169,1	48	0,0005	945,9	4212	0,086	82	86
66	67	46,2	62	0,0006	944,2	4192	0,016	16	16
65	66	22,2	86	0,0008	949,6	4125	0,005	5	5
64	65	12,5	108	0,001	964,1	4026	0,002	2	2

Tabuľka 5.3B: Reprezentatívne parametre využité v hydrogeotermickej bilancii rezervoárového prostredia polygónu lokality Partizánske

$Q_{top,min}$	$Q_{top,max}$	$A_{(q,i)}$	T_{res}	β_{vw}	ρ_w	c_w	$Q_{dyn,i}$	$Q_{dyn,i}$	$Q_{dyn,i}$
$mW.m^{-2}$	$mW.m^{-2}$	km^2	$^{\circ}C$	$1.K^{-1}$	$kg.m^{-3}$	$J.kg^{-1}.K^{-1}$	$m^3.s^{-1}$	$kg.s^{-1}$	$l.s^{-1}$
67	68	169,1	29	0,0003	954,1	4216	0,003	3	3
66	67	46,2	40	0,0004	948,6	4217	0,019	18	19
65	66	22,2	55	0,0005	944,6	4205	0,011	10	11

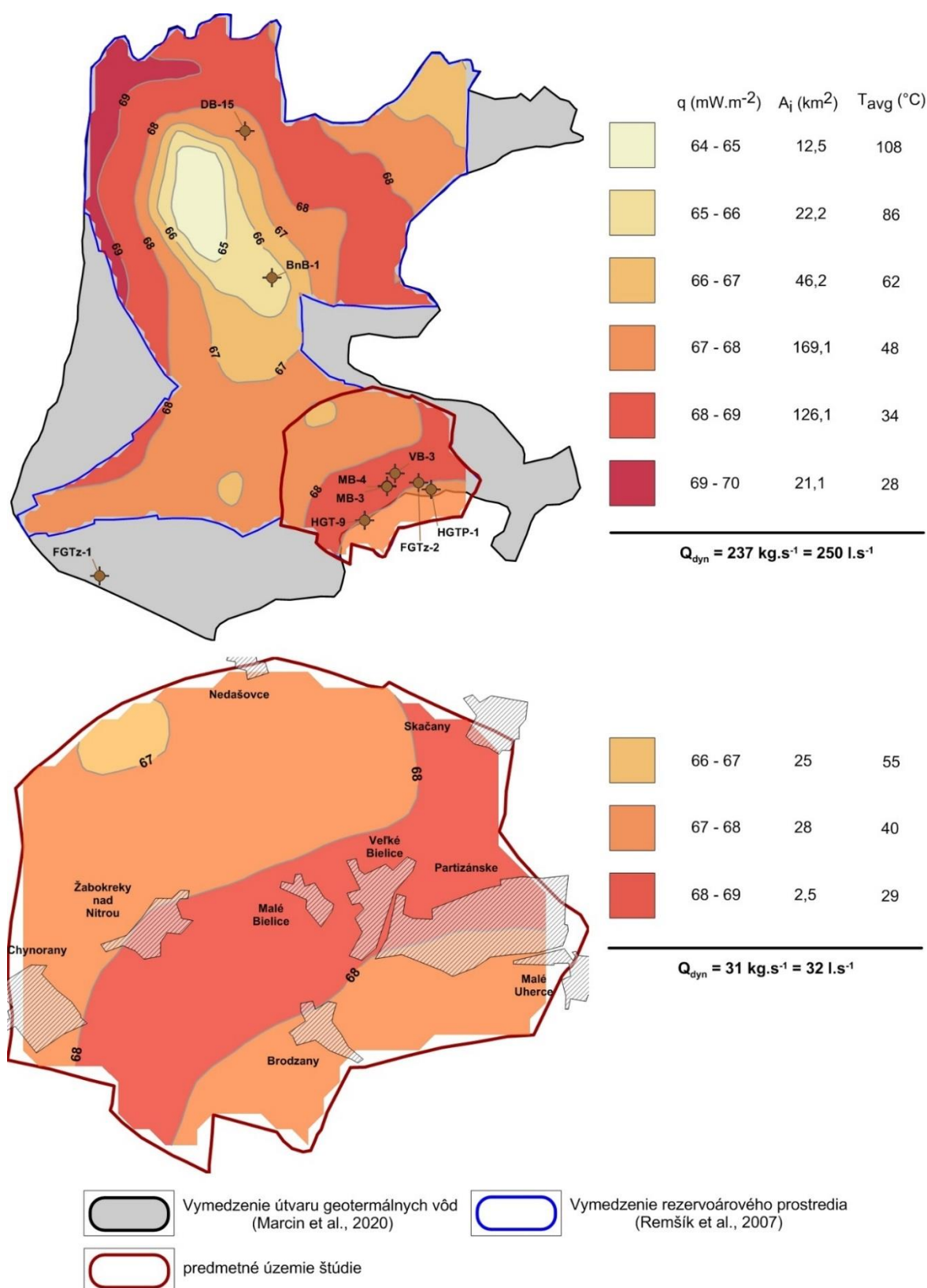
Vstupné parametre sú získané zo stacionárneho geotermického modelu Bánovskej kotliny v rámci konštrukcie jej pravdepodobnostného modelu. Je potrebné zdôrazniť, že získané **dynamické množstvá geotermálnych vôd sa vzťahujú na vymedzený polygón lokality Partizánske, a tieto množstvá sa ako funkcia plochy a hustoty tepelného toku menia, preto je ich potrebné vnímať ako orientačné, a následne overiť hydrodynamickými skúškami.**

Pre korekciu rovnovážnych množstiev, ktoré teoreticky pripadajú do úvahy pri zvyšovaní systémov centrálného zásobovania teplom mesta Partizánske je nevyhnutné z energetickej bilancie odpočítať overenú produktivitu geotermálnych vôd vo vrte MB-3, ktorý je momentálne jediný využívaný /5.12/

$$Q_{bal} = Q_{dyn} - Q_{MB-3,pv} = 32 - 8,5 = 23,5 [l.s^{-1}] \quad /5.12/.$$

Rovnovážne množstvá by mali zabezpečiť energetickú rovnováhu v prípade súbežnej produkcie na lokalite Malé Bielice a na lokalite Partizánske. **Tieto množstvá ale nepredstavujú hydraulickú rovnováhu medzi oboma lokalitami, ktorú je nevyhnutné overovať režimovými meraniami, hydrodynamickými skúškami a kontinuálnym monitoringom.** Podľa energetickej bilancie je zhoda medzi $Q_{bal} = 23,5 l.s^{-1}$ a $Q_{pv,FGTz-2} = 12,5 l.s^{-1}$, respektíve $Q_{pv,HGTP-1} = 12,8 l.s^{-1}$, ktoré boli na oboch vrtoch overené (REMŠÍK ET AL., 2007). Ak je priemerná teplota stacionárneho rezervoárového prostredia v polygóne Partizánske $T_{res} = 41^{\circ}C$ podľa stacionárneho geotermického modelu a ako reprezentatívnu produktivitu za ideálneho stavu budú dosadené modelované rovnovážne množstvá geotermálnych vôd Q_{bal} do vzťahu pre výpočet tepelno-energetického výkonu /5.13/, potom za predpokladu ich overenia:

$$\begin{aligned} P_{th,BAL} &= Q_{bal} \cdot c_{wh} \cdot (T_{wh} - T_{ref}) \\ \Rightarrow P_{th,BAL} &= 23,5 \times 4102 \times (41 - 15) \\ \Rightarrow P_{th,BAL} &= 2,5 [MWt] \end{aligned} \quad /5.13/.$$



Obrázok 5.5: Výpočtové parametre pre hydrogeotermálnu bilanciú rezervoárového prostredia tektonickej jednotky hronika (hore) a vymedzeného polygónu lokality Partizánske (dole)

Vo výsledku potom v prípade, ak je hydrogeologický režim ohraničený rozložením zlomových systémov, ktoré oddeľujú východnú časť bielickej hydrogeotermálnej štruktúry tak, ako ju vymedzujú Remšík et al. (2008) – čo je nevyhnutné overiť hydrodynamickými skúškami, tak maximálny bilančný tepelný výkon môže predstavovať $P_{th,BAL} = 2,5 \text{ MWt}$, čo by zodpovedalo, vzhľadom na overené množstvá geotermálnej energie, približne ich maximálnej produktivite pri súbežnom čerpaní.

Pri aktuálnom stave poznania geotermických, hydrogeologických a hydraulických pomerov rezervoáru, kedy chýba spoločná hydrodynamická (prevádzková, polo-prevádzková) dlhodobá skúška, je v energetických výpočtoch odporúčané počítať s maximálnou produkciou geotermálnych vôd na úrovni úrovni $Q_{bal} = 23,5 \text{ l.s}^{-1}$, čo zodpovedá **bilančnému tepelnému výkonu** $P_{th,BAL} = 2,5 \text{ MWt}$, ktorý pravdepodobne nebude presiahnutý. Vo výsledku potom:

- ak dlhodobou hydrodynamickou skúškou dôjde k opätovnému overeniu geotermálnych vôd na úrovni ich terajšieho stavu, t.j. so sumárnym výsledkom $Q_{pv} = 25,3 \text{ l.s}^{-1}$, bude nevyhnutné aktualizovať monitorovací plán medzi vrtmi operujúcimi v rámci projektu Partizánske a Malými Bielicami, vrátane zachytených prameňov v lokálnom pramenisku tak, aby:
 - sa zvýšila istota, že produkované množstvá geotermálnych vôd bilančne neovplyvňujú svoje okolie hydraulicky (zmeny tlakového režimu)
 - sa zvýšila istota, že vymedzený polygón definovaný na tektonických líniách nekomunikuje s okolím
 - produkčný systém nízkoteplotného centrálneho zásobovania teplom bude z pohľadu produktivity geotermálnych vôd stabilný
 - sa zvýšila možnosť predčasnej identifikácie nepriaznivých prejavov rezervoárovej odozvy v prípade, ak z dlhodobého hľadiska dôjde k zmenám obehových, filtračných, chemických, alebo termických parametrov rezervoárového prostredia a rezervoárového média
- ak dlhodobou hydrodynamickou skúškou nedôjde k opätovnému overeniu geotermálnych vôd na vrtoch HGTP-1 a FGTz-2 na úrovni $Q_{pv} = 25,3 \text{ l.s}^{-1}$ (samostatne overené) respektíve $Q_{bal} = 23,5 \text{ l.s}^{-1}$ (bilančné); pričom ale dôvodom neoverenia bude nedostatočná výdatnosť, potom je na zváženie voľba krokov, ako:
 - realizácia doplnkového vrtania v rezervoárovom prostredí hronika s cieľom dosiahnuť aspoň bilančné, rovnovážne množstvá geotermálnych vôd
 - realizácia doplnkového vrtania v rezervoárovom prostredí fatrika s odlišnými bilančnými, filtračnými a obehovými vlastnosťami

- ak dlhodobou hydrodynamickou skúškou nedôjde k opätovnému overeniu geotermálnych vôd a ich produktivity na vrtoch HGTP-1 a FGTz-2 na úrovni $Q_{pv} = 25,3 \text{ l.s}^{-1}$ respektíve $Q_{bal} = 23,5 \text{ l.s}^{-1}$; pričom dôvodom bude ovplyvnenie prameniska a výdatností, respektíve kvalitatívneho stavu podzemných vôd / termálnych vôd na lokalite Malé Bielice, potom je na zváženie:
 - dlhodobou hydrodynamickou skúškou overiť produktivitu na lokalite Partizánské, ktorou by bol zachovaný kvantitatívny a kvalitatívny stav vôd na bielickej lokalite, a to za cenu zníženia produktivity na lokalite Partizánske (čo bude nevyhnutné)
 - realizovať stopovacie, na overenie stavu produkcie a komunikácie geotermálnych vôd spodnej časti rezervoáru v podloží lunzských vrstiev, alebo manažmentom dlhodobého čerpania aj s extrémnym znížením overiť priamo v spodnom horizonte hronika možnosti hydraulikkej komunikácie medzi oboma horizontmi
 - v prípade pozitívnych výsledkov, ktoré by overili hydraulickú samostatnosť spodného horizontu chočského príkrovu realizovať doplnujúce vrtanie alebo prehľbovanie existujúceho vrtu na úroveň spodného horizontu
 - zvážiť realizáciu prieskumného hlbokého vrtania s cieľom identifikovať rezervoárové prostredie v podložnej tektonickej jednotke – krížňanskom príkrove (fatrikum).

5.3 Diskusia k potenciálu geologického prostredia v krížňanskom príkrove (fatriku)

Jedným z riešení situácie na lokalite Partizánske je možnosť komplexného hydrogeotermálneho prieskumu lokality s cieľom identifikovať, alebo overiť **rezervoárové prostredie spodnej tektonickej jednotky viazanej na krížňanský príkrov - fatrikum**. Mapa predterciérneho podložia (FUSÁN ET AL., 1985; REMŠÍK ET AL. 2007) predpokladá rozloženie sekvencií fatrika priamo v podloží kenozoického profilu medzi spojnicami Žabokreky nad Nitrou – Zlatníky a Bošany – Tesáre, respektíve severne od línie Kšinná – Omastiná na SV okraji Bánovskej kotliny. Z analógií medzi Bánovskou kotlinou a inými vnútrohorskými kotlinami, napríklad Levočskou panvou (DANIEL ET AL., 1998), Liptovskou kotlinou (REMŠÍK ET AL., 1998) alebo susednou Hornonitrianskou kotlinou (FENDEK ET AL., 2004) ale

predpokladáme, že sekvencie fatrika sú prítomné na väčšine územia kotliny aj pod profilom hronika, ktorý zastupuje ako stredno – vrchnotriasový súbor karbonátových komplexov, tak aj rozšírenie tzv. ipoltickej skupiny, čiže siliciklastických sedimentov (kremence, bridlice, ílovce) spodného triasu a permskej melafýrovej série. Hneď v úvode je nevyhnutné zdôrazniť, že **krížňanský príkrov** v území vymedzenom pre lokalitu Partizánske, **overený vrtmi, rovnako ako vo zvyšku kotliny, ešte nebol.**

Ak predpokladáme zachovanie overeného profilu vrtmi na lokalite Partizánske (kvartér až spodný karbonátový komplex hronika), a následne vrstvové sledy pozorované vo vnútrohorských kotlinách, potom idealizovaný celkový profil by vyzeral nasledovne:

- kvartérne sedimenty (kvôli hrúbke zanedbateľné)
- neogénne sedimenty (zvyčajne íly až ílovce s prevahou nad pieskami a pieskovcami)
- paleogénne sedimenty (na báze karbonatické zlepenice a brekcie prechádzajúce ku kontaktu s neogénnymi sedimentmi do prevažne-ílovcových vrstiev)
- vrchný karbonátový komplex hronika – vrchný trias (dolomity)
- lunzské vrstvy hronika – stredný/vrchný trias (ílovce, ílovité bridlice)
- spodný karbonátový komplex hronika – stredný trias (dolomity, vápnité dolomity, vápence, dolomitické vápence)
- ipoltická skupina hronika – perm až spodný trias (ílovce, bridlice, ílovité bridlice, kremence, melafýrové série)
- vrchnotriasový až kriedový vývoj fatrika (ílovce, ílovité vápence, organogénne vápence, detritické vápence, slieňovce, slienité vápence)
- strednotriasový vývoj fatrika (vápence, dolomitické vápence, dolomity, vápnité dolomity; karbonátový komplex s výraznou prevahou vápencov)
- spodnotriasový vývoj fatrika (ílovce, ílovité bridlice, bridlice, kremence, zriedka pieskovce).

Z uvedeného vyplýva, že existujú dve výrazné neistoty z pozície geologickej stavby územia, ktoré sú v rámci prieskumu pre overenie rezervoárového prostredia v karbonatickom komplexe fatrika kľúčové:

- hrúbka ipoltickej skupiny vystupujúcej pod karbonátmi hronika
- hrúbka vrchnotriasového až kriedového vývoja fatrika v nadloží karbonátov fatrika.

Pre celkový obraz o rizikách, ktoré by overenie rezervoárového prostredia v križňanskom príkrove, museli byť zohľadnené z pohľadu cenotvorby hlbokého hydrogeotermálneho vrtu, alebo jeho plánovania, je využitý nasledovný postup:

1) STANOVENIE MIESTA PROFILU

Miesto hypotetického profilu je stanovené podľa vrtu FGTz-2 Partizánske (REMŠÍK ET AL., 2007), keďže vrtom sa podarilo overiť kompletný profil kenozoika a zároveň spodného a vrchného karbonátového komplexu, pričom zachytenie spodnotriasovej sekvencie na báze vrtu zároveň potvrdzuje predpoklad vývoja ipolitickej skupiny v podloží spodného karbonátového komplexu hronika. Tento profil bude zároveň využitý pre počítanie idealizovanej hĺbky a zároveň teploty podložia.

Z geologickej úlohy „Analýza možností trvalo udržateľného využitia a využívania zdrojov geotermálnej energie na Slovensku – I. časť“ (FRIČOVSKÝ ET AL., 2024) boli pre konštrukciu modelového profilu využité štruktúrne histogramy hrúbky ipolitickej skupiny a vrchnotriasového – kriedového vývoja fatrika. Tieto histogramy vznikli modelovaním oboch horizontov v útvaroch geotermálnych vôd, kde k ich rozšíreniu boli k dispozícii údaje relevantnej kvality. Rovnako sme pre ďalšie kroky analýzy možností realizácie hlbokého vrtania využili štatistické / distribučné funkcie pre stanovenie stacionárneho geotermického gradientu v profile ipolitickej skupiny a podložného vrchnotriasového – kriedového komplexu križňanského príkrovu (syn. fatrika).

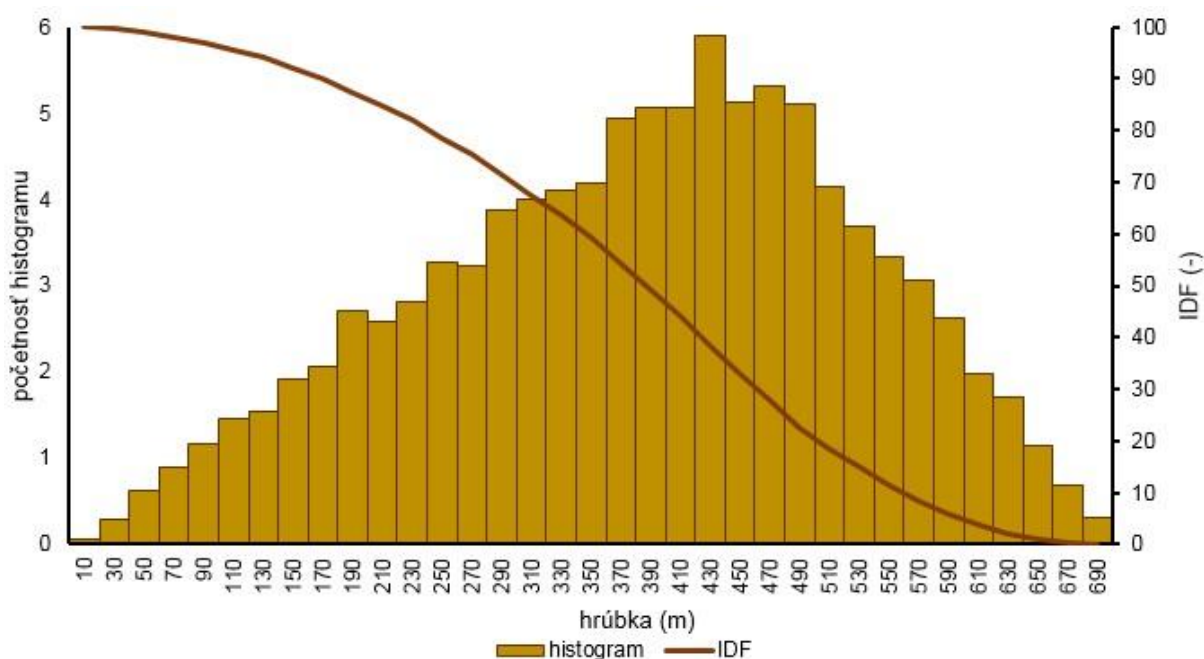
Následne, v rámci štúdie, využívame konkrétne percentilové prípady analogickej distribúcie oboch komplexov, čo považujeme za reprezentatívnejšie, ako vyjadrenia diskretných hodnôt. Stále však platí, že ide o idealizované profily, a realita sa môže od modelovanej situácie výrazne odlišovať.

2) VERTIKÁLNE VYMEDZENIE IPOLTICKEJ SKUPINY

Overená pozícia ipolitickej skupiny v podloží karbonátov hronika umožňuje predpokladať jej hrúbku na základe analogického princípu z prostredia Západných Karpát. Podľa jej pravdepodobnostnej distribúcie (Obrázok 5.6) je výrazne negatívne (vľavo) zošikmená. Vychádzajúc z geologického profilu vrtu FGTz-2 potom platí, že báza ipolitickej skupiny sa pre zvolené hodnoty $\Delta z_{(IPO)}$ v intervale $P25(\Delta z_{(IPO)}) - P75(\Delta z_{(IPO)})$ (Tabuľka 5.4) pohybuje

pravdepodobne v intervale $z_{IPO,b} = 1243 - 1452$ m podľa percentilového rozsahu simulovaných hrúbok profilu:

$$\begin{aligned}
 z_{IPO,b} &= z_{CHP,b} + \Delta z_{(IPO)} \\
 &= 961 + \Delta z_{(IPO)} \left| \begin{array}{l} \Delta z_{(IPO)} = 282m(P75(\Delta z_{(IPO)})) \\ \Delta z_{(IPO)} = 397m(P50(\Delta z_{(IPO)})) \\ \Delta z_{(IPO)} = 491m(P25(\Delta z_{(IPO)})) \end{array} \right. \\
 &= \langle 1243; 1452 \rangle m
 \end{aligned}$$



Obrázok 5.6: Štruktúrny histogram hrúbky tzv. ipoltickej skupiny hronika (permický až spodnotriasový vývoj) v podloží karbonátov hronika na základe tzv. globálneho geologického modelu ipoltickej skupiny. Upravené podľa: Fričovský et al. (2024).

3) GRADIENT TEPLoty A PRÍRASTOK TEPLoty V IPOLTICKEJ SKUPINE

Nasledujúcim krokom je stanovenie prírastku teploty v profile ipoltickej skupiny. Ten počítame od teploty stacionárneho, konduktívneho prostredia v karbonátoch hronika, lokalizovanej na ich báze (Obrázok 3.6), t.j. $T_{CHP,b} = 37$ °C. Prírastok je počítaný ako funkcia gradientu teploty na vertikálny profil ipoltickej skupiny (Obrázok 5.7, Tabuľka 5.4). Ten má v podmienkach Slovenska výrazne bimodálny charakter, pravdepodobne v intervale $\Gamma_{CD,IPO} = 24 - 35$ °C.km⁻¹ (v rozsahu 25-teho až 75-teho percentilu).

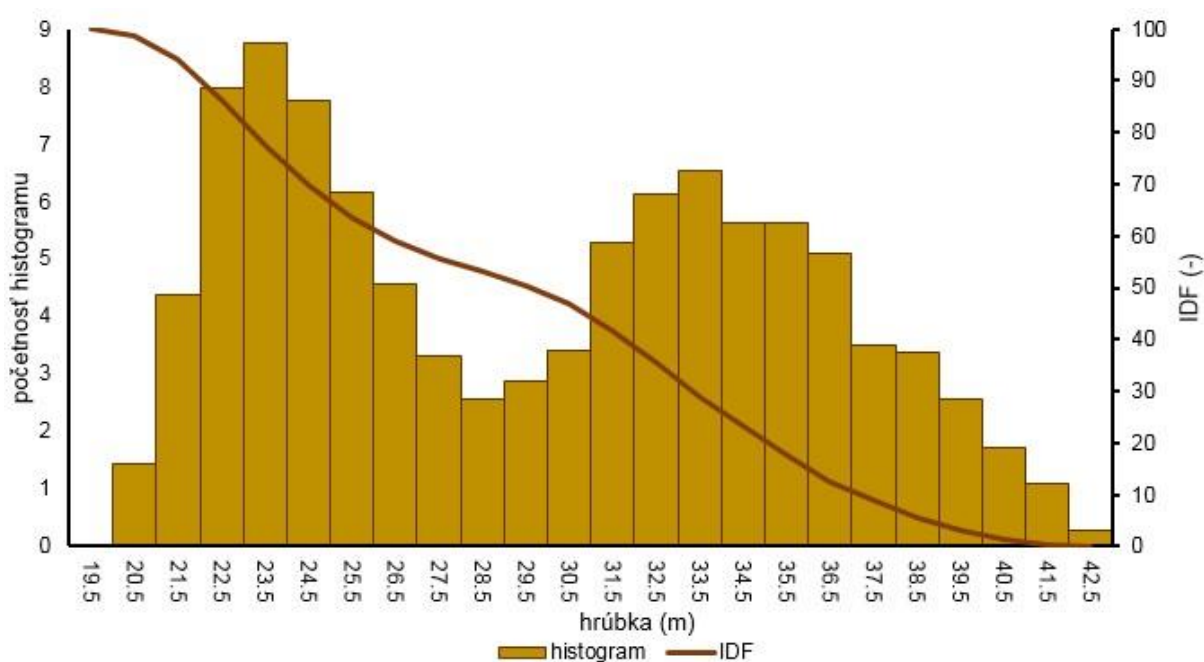
Vo výsledku potom je predpokladaná teplota vyjadrená v škále $T_{IPO,b} = 43 - 53 \text{ }^{\circ}\text{C}$, podľa vzťahu:

$$T_{IPO,b} = T_{CHP,b} + (\Delta z_{(IPO)} \cdot \Gamma_{CD,IPO})$$

$$= 36 + \Delta z_{(IPO)} \left| \begin{array}{l} \Delta z_{(IPO)} = 282m \left(P75(\Delta z_{(IPO)}) \right) \\ \Delta z_{(IPO)} = 397m \left(P50(\Delta z_{(IPO)}) \right) \\ \Delta z_{(IPO)} = 491m \left(P25(\Delta z_{(IPO)}) \right) \end{array} \right. \Gamma_{CD,IPO} \left| \begin{array}{l} \Gamma_{CD,IPO} = 24^{\circ}\text{C.km}^{-1} \left(P75(\Gamma_{CD,IPO}) \right) \\ \Gamma_{CD,IPO} = 30^{\circ}\text{C.km}^{-1} \left(P50(\Gamma_{CD,IPO}) \right) \\ \Gamma_{CD,IPO} = 35^{\circ}\text{C.km}^{-1} \left(P25(\Gamma_{CD,IPO}) \right) \end{array} \right.$$

$$= \langle 43; 53 \rangle ^{\circ}\text{C}$$

Vzhľadom na bimodalitu rozšírenia a pre prehľadnosť kombinácií, ktoré rozvádzaním pravdepodobnostnej simulácie na základe percentilových podielov vznikajú, však pre ďalšie výpočty využijeme len strednú hodnotu simulovaného súboru gradientu ipoltickej skupiny, t.j. $\Gamma_{CD,IPO} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$; a výsledné teploty na predpokladanej škále bázy ipoltickej skupiny ako $T_{IPO,b} = 45 - 51 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Vo výsledku teda predpokladáme, že rozdiel teploty môže dosahovať na báze celého komplexu hronika $\Delta T = 9 - 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ vo vzťahu ku báze karbonátom hronika.



Obrázok 5.7: Štruktúrny histogram konduktívneho gradientu tzv. ipoltickej skupiny hronika (permský až spodnotriasový vývoj) v podloží karbonátov hronika na základe tzv. globálneho geologického modelu ipoltickej skupiny. Upravené podľa: Fričovský et al. (2024).

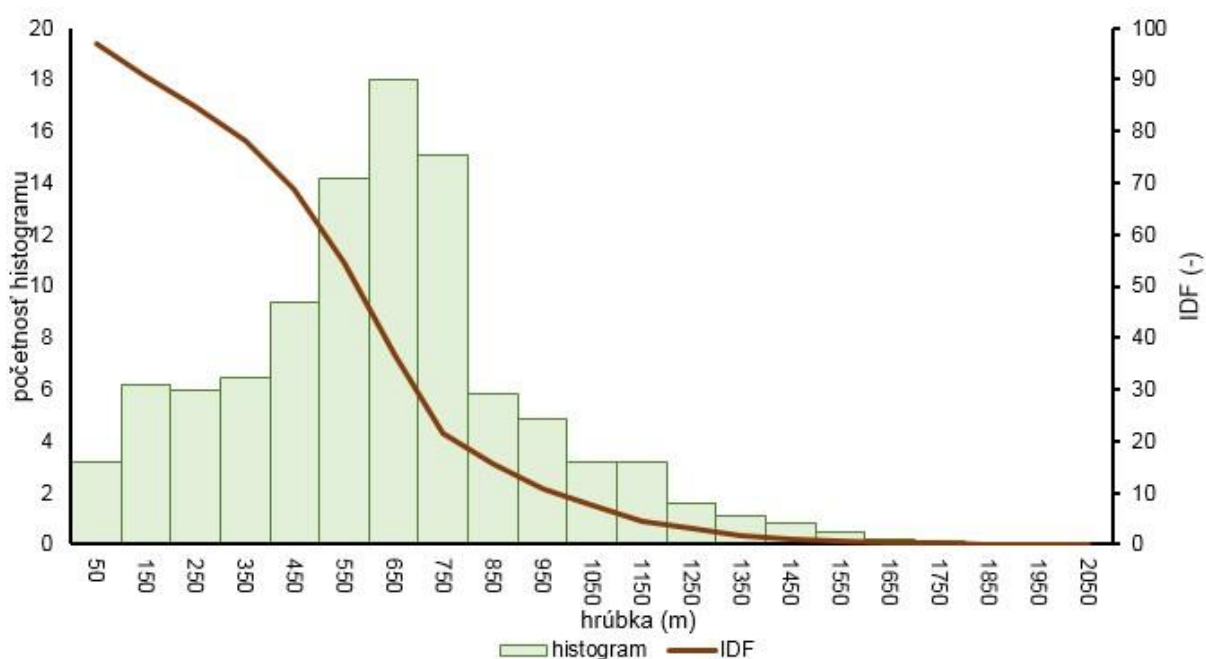
4) VERTIKÁLNE VYMEDZENIE IZOLÁTORA FATRIKA

Z dôvodu zjednodušenia a vychádzajúc z analogických hydraulických parametrov vrchnotriasového až kriedového komplexu fatrika budeme v ich popise využívať označenie „**izolátor fatrika**“, nakoľko je štandardne celý komplex v podmienkach Slovenska extrémne málo produktívny, respektíve neproduktívny, a všeobecne je považovaný za takzvaný izolátor regionálneho významu, pričom sa môže podieľať na transporte podzemných, alebo geotermálnych vôd v prípade jeho významného porušenia tektonikou, respektíve inými štruktúrnymi poruchami. Vo vnútrohorských kotlinách tento profil dosahuje hrúbky $\Delta z_{KN,izo} = 33 - 2100$ m (Obrázok 5.8), v rámci P25 až P75 rozdelenia hrúbku $\Delta z_{KN,izo} = 446 - 784$ m. Znamená to, že pri zachovaní 25-teho až 75-teho percentilu, je možné očakávať bázu izolátora fatrika v hĺbke $z_{KNizo,b} = 1689 - 2236$ m podľa vzťahu:

$$z_{KNizo,b} = z_{CHP,b} + \Delta z_{(IPO)} + \Delta z_{(KN,izo)}$$

$$= 961 + \Delta z_{(IPO)} \left| \begin{array}{l} \Delta z_{(IPO)} = 282m(P75(\Delta z_{(IPO)})) \\ \Delta z_{(IPO)} = 397m(P50(\Delta z_{(IPO)})) \\ \Delta z_{(IPO)} = 491m(P25(\Delta z_{(IPO)})) \end{array} \right. + \Delta z_{(IPO)} \left| \begin{array}{l} \Delta z_{(KN,izo)} = 282m(P75(\Delta z_{(KN,izo)})) \\ \Delta z_{(KN,izo)} = 397m(P50(\Delta z_{(KN,izo)})) \\ \Delta z_{(KN,izo)} = 491m(P25(\Delta z_{(KN,izo)})) \end{array} \right.$$

$$= \langle 1689; 2236 \rangle m$$



Obrázok 5.8: Štruktúrny histogram hrúbky izolátora fatrika v podloží karbonátov hronika a ipoltickej skupiny na základe tzv. globálneho geologického modelu vrchnotriasového až kriedového vývoja fatrika. Upravené podľa: Fričovský et al. (2024).

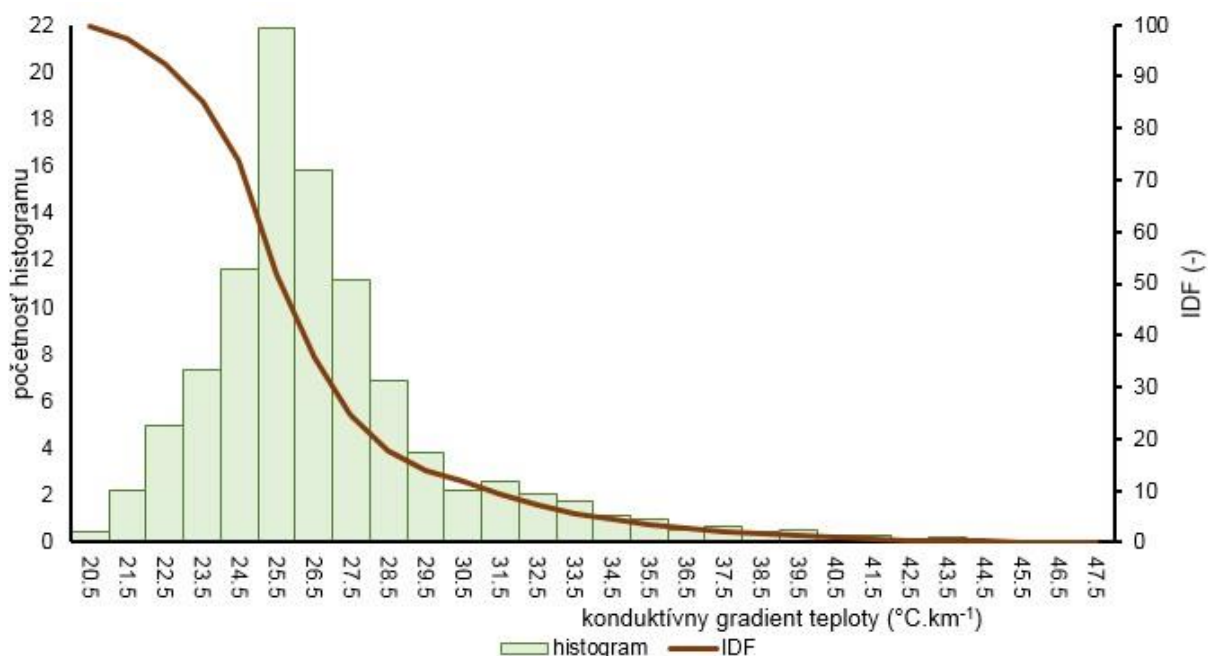
5) GRADIENT TEPLoty A PRÍRASTOK TEPLoty V IZOLÁTORE FATRIKA

Z globálneho modelov konduktívneho gradientu v profile izolátora fatrika, ktorý bol zostrojený v útvaroch geotermálnych vôd s jeho známym výskytom vyplýva jeho výrazne lognormálna distribúcia (Obrázok 5.9) v intervale $\Gamma_{CD(KN,izo)} = 20 - 48 \text{ } ^\circ\text{C.km}^{-1}$, pričom v štandardnom percentilovom rozsahu P25 – P75 nadobúda hodnoty $\Gamma_{CD(KN,izo)} = 20 - 48 \text{ } ^\circ\text{C.km}^{-1}$. Keďže gradient je výrazne lognormálny, pre ďalšie odhady je využitá jeho modálna hodnota $\Gamma_{CD(KN,izo)} = 25,5 \text{ } ^\circ\text{C.km}^{-1}$, takže prírastok teploty vyjadrený ako funkcia gradientu na vertikálny krok (hrúbku) je s modálnou hodnotou gradientu odhadovaný v rozpätí $T_{(KN,izo)} = 10 - 18 \text{ } ^\circ\text{C}$. Teplota na báze izolátora fatrika teda predstavuje súčet teploty na báze ipolitickej skupiny a teplotný prírastok, takže odhadovaná teplota predstavuje $T_{KN,izo,b} = 56 - 70 \text{ } ^\circ\text{C}$ podľa vzťahu:

$$T_{KN,izo,b} = T_{CHP,b} + (\Delta z_{(IPO)} \cdot \Gamma_{CD,IPO}) + (\Delta z_{(KN,izo)} \cdot \Gamma_{CD(KN,izo)})$$

$$= 36 + T_{IPO,b} + \Delta z_{(IPO)} \left| \begin{array}{l} \Delta z_{(KN,izo)} = 282m(P75(\Delta z_{(KN,izo)})) \\ \Delta z_{(KN,izo)} = 397m(P50(\Delta z_{(KN,izo)})) \cdot \Gamma_{CD(KN,izo)} \Big| \Gamma_{CD(KN,izo)} = 25,5^\circ\text{C.km}^{-1} \\ \Delta z_{(KN,izo)} = 491m(P25(\Delta z_{(KN,izo)})) \end{array} \right.$$

$$= \langle 56; 80 \rangle ^\circ\text{C}$$



Obrázok 5.9: Štruktúrny histogram konduktívneho gradientu izolátora fatrika v podloží karbonátov hronika a ipolitickej skupiny na základe tzv. globálneho geologického modelu vrchnotriasového až kriedového vývoja fatrika. Upravené podľa: Fričovský et al. (2024).

Uvedený prírastok $\Delta T = 20 - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ predstavuje nárast teploty medzi bázou karbonátov hronika, ktoré je možné považovať za plytký, alebo vrchný rezervoár, a stropom stredotriasových karbonátov fatrika, ktoré je možné považovať za hlboký, alebo spodný rezervoár, pri modelovanej hĺbke $z_{\text{KNizo,b}} = 1689 - 2236\text{ m}$.

Tabuľka 5.4: Reprezentatívne parametre globálneho modelu ipoltickej skupiny a izolátora fatrika využité pri simulácii odhadu teploty na povrch karbonátov v okolí mesta Partizánske. Upravené podľa: Fričovský et al. (2024)

parameter	hrúbka ipoltickej skupiny	konduktívny gradient ipoltickej skupiny	hrúbka izolátora fatrika	konduktívny gradient v izolátore fatrika
minimum	8	20	33	20
maximum	698	43	2122	48
priemer	384	30	628	27
medián	397	30	630	26
P25	491	35	784	28
P50	397	30	630	26
P75	282	24	446	25

6) DISKUSIA K STROPU REZERVOÁRU VO FATRIKU

Z uvedeného príkladu je možné orientačne, a pre potreby ekonomickej štúdie vyvodit' závery o rozsahoch potrebnej hĺbky pre realizovanie v'rtania tak, aby sa overil strop stredotriasových karbonátov fatrika v prípade zváženia relevantných možností. Modelovaná hĺbka bázy stredotriasových karbonátov fatrika vychádza z modelových riešení, pričom odchýlka reality od modelu sa môže menit' rovnako priaznivo (optimistickým scenárom by boli reálne overené menšie hrúbky nadložia spodného rezervoáru s vyššími teplotami, ak by skutočné gradienty teploty v ipoltickej skupine a izolátore fatrika boli vyššie ako zvolená stredná a modálna hodnota) ako aj nepriaznivo (negatívnym scenárom by boli reálne overené väčšie hrúbky nadložia spodného rezervoáru s nižšími teplotami, ak by skutočné gradienty teploty v ipoltickej skupine a izolátore fatrika boli menšie, ako zvolená stredná a modálna hodnota). Uvedené neistoty sú ale štandardnou súčasťou hlbokého hydrogeotermálneho prieskumu a nie je ich možné vylúčiť. Jediným spôsobom zníženia rizika je v tomto prípade voľba vhodných povrchových geofyzikálnych metód prieskumu (najmä odporové profilovanie, respektíve seizmika) – ako uvádzame v Kapitole 6.

Výsledky modelovaného odhadu stropu očakávaného spodného triasu je možné zhrnúť v Tabuľke 5.5 a 5.6.

Tabuľka 5.5: Model odhadu stropu spodného rezervoáru (strednotriasové karbonáty fatrika = križňanského príkrovu). Zvýraznené hodnoty v tabuľke sú následne využité pre stanovenie od-do rozsahu teplôt vo fatriku.

konštantná hladina povrchu = 0 m				
konštantná hrúbka kenozoického nadložia = 165 m podľa FGTz-2				
konštantná hrúbka strednotriasového až vrchnotriasového profilu hronika = 796 m podľa FGTz-2				
orientačný model odhadu stropu spodného rezervoáru (m)		simulovaná hrúbka izolátora fatrika (vrchno-triasový až kriedový vývoj fatrika)		
		P25($\Delta z_{KN,izo}$) = 784 m	P50($\Delta z_{KN,izo}$) = 630 m	P75($\Delta z_{KN,izo}$) = 446 m
simulovaná hrúbka ipoltickej skupiny	P25(Δz_{IPO}) = 491 m	2236	2082	1898
	P50(Δz_{IPO}) = 397 m	2142	1988	1804
	P75(Δz_{IPO}) = 282 m	2027	1873	1689

Tabuľka 5.6: Model odhadu teploty na strope rezervoáru (strednotriasové karbonáty fatrika = križňanského príkrovu). Zvýraznené hodnoty v tabuľke sú následne využité pre stanovenie od-do rozsahu teplôt vo fatriku.

konštantná teplota na povrchu = 10 °C				
konštantná teplota na báze karbonátov hronika (konduktívny profil vrtu FGTz-2) = 36 °C				
orientačný model odhadu teploty na strope spodného rezervoáru (°C)		simulovaná hrúbka izolátora fatrika (vrchno-triasový až kriedový vývoj fatrika); vyjadrenie teploty s gradientom teploty v izolátorovom komplexe fatrika 25,5 °C.km ⁻¹		
		P25($\Delta z_{KN,izo}$) = 784 m	P50($\Delta z_{KN,izo}$) = 630 m	P75($\Delta z_{KN,izo}$) = 446 m
simulovaná teplota na báze ipoltickej skupiny s gradientom teploty 30 °C.km ⁻¹	P25($T_{IPO,b}$) = 51 °C	71	67	62
	P50($T_{IPO,b}$) = 48 °C	68	64	59
	P75($T_{IPO,b}$) = 45 °C	64	61	56

7) DEFINÍCIE VYBRANÝCH SCENÁROV

Z bodu 6 vyplýva, že pri zachovaní konštantných hodnôt, ktoré boli na lokalite overené vrtom FGTz-2 Partizánske, je z modelu pri zodpovedajúcej hladine pravdepodobnosti stanoviť takzvaný:

- minimálny scenár zodpovedajúci $z_{KN,izo,b} = 1\,689\text{ m}$ a $T_{KN,izo,b} = 56\text{ °C}$, s pravdepodobnosťou, že hrúbky nadložia budú väčšie ako modelované 75 %

- maximálny scenár zodpovedajúci $z_{KN,izo,b} = 2\,236\text{ m}$ a $T_{KN,izo,b} = 71\text{ °C}$ s pravdepodobnosťou, že hrúbky nadložia budú väčšie ako modelované 25 %;

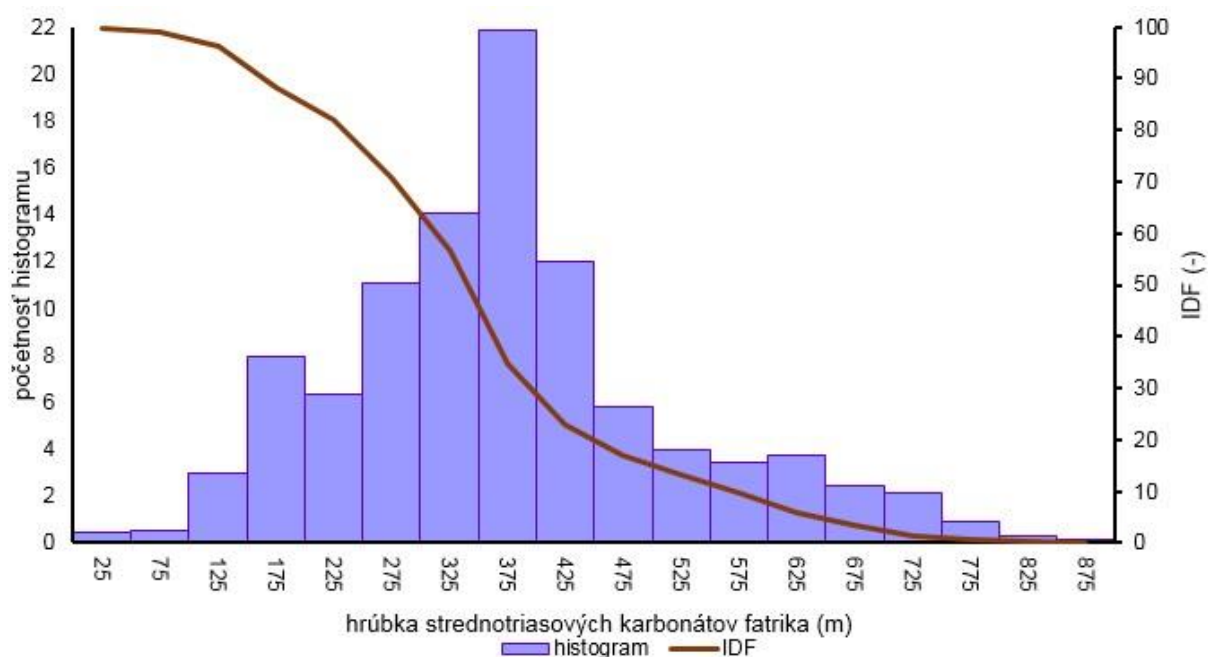
pričom stále model počíta s vyjadrenými modelmi konduktívneho gradientu v nadloží rezervoárov podľa strednej hodnoty v iplotickej skupine a modálnej hodnoty v izolátore fatrika.

8) ODHAD VERTIKÁLNEJ DISTRIBÚCIE TEPLoty V KARBONÁTOCH FATRIKA PRE KONDUKTÍVNE (NEOVPLYVNENÉ) PROSTREDIE

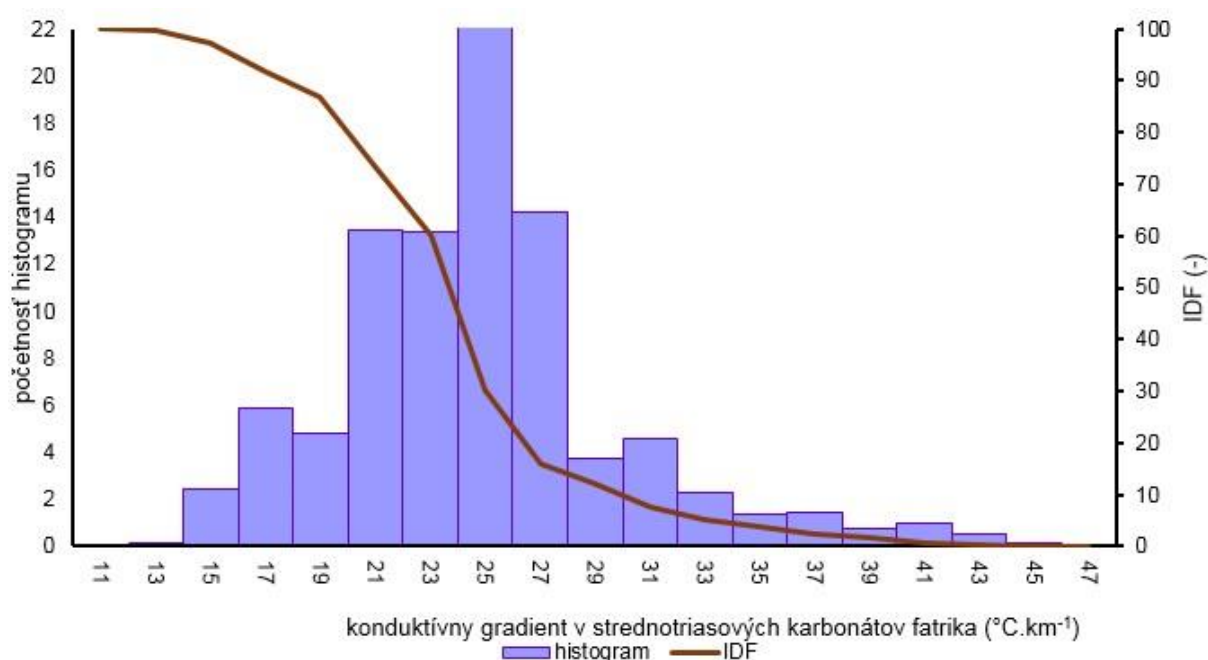
Pre odhad vertikálnej distribúcie teploty v spodnom rezervoári využívame rovnaké princípy kalkulácie vertikálneho kroku a prírastku, ako pri stanovení jeho stropu. Z globálneho modelu strednotriasových karbonátov fatrika / krížňanského príkrovu, ktorý predstavuje na lokalite možné hlboké rezervoárové prostredie (FRIČOVSKÝ ET AL. 2024) vyplýva jeho kvázi-zošíkmenie vpravo, pričom karbonáty dosahujú hrúbky v modelovom riešení $\Delta z_{KN,res} = 35 - 860\text{ m}$ (Obrázok 5.10; Tabuľka 5.7). Pre modelovanie minimálneho a maximálneho scenára preto využijeme hrúbkový interval do 500 m s hrúbkou kroku 100 m.

Hodnoty konduktívneho gradientu v prostredí strednotriasových karbonátov (Obrázok 5.11; Tabuľka 5.7) sa pohybujú v globálnom modeli krížňanského príkrovu pre rezervoárové prostredie Západných Karpát v rozpätí $\Gamma_{CD,KN,res} = 12 - 46\text{ °C.km}^{-1}$, pričom majú veľmi podobné, zošíkmené rozdelenie, ako ich distribúcia hrúbky. Na rozdiel od predchádzajúcich výpočtov, keďže ide o odhad možného teplotného intervalu v spodnom rezervoári, budú využité hodnoty zodpovedajúce $P25(\Gamma_{CD,KN,res}) = 27\text{ °C.km}^{-1}$ a $P75(\Gamma_{CD,KN,res}) = 22\text{ °C.km}^{-1}$.

Minimálny scenár na základe variácie konduktívneho gradientu prostredia predpokladá, že výsledné teploty v karbonátoch fatrika by sa mohli pohybovať v intervale $T_{res} = 58 - 59\text{ °C}$ pre hĺbkovú úroveň 100 m profilu karbonátov ($z_{res} = 1689 + 100 = 1789\text{ m}$) až $T_{res} = 69 - 70\text{ °C}$ pre hĺbkovú úroveň 500 m profilu karbonátov ($z_{res} = 1689 + 500 = 2189\text{ m}$). **Maximálny scenár** očakáva pre konduktívne prostredie teploty $T_{res} = 73 - 74\text{ °C}$ pre hĺbkovú úroveň 100 m profilu karbonátov ($z_{res} = 2236 + 100 = 2336\text{ m}$), respektíve do $T_{res} = 82 - 85\text{ °C}$ pre hĺbkovú úroveň 500 m ($z_{res} = 2236 + 500 = 2736\text{ m}$). Výsledný rozdiel oproti konduktívnemu profilu karbonátov plytkého rezervoáru v hroniku by tak predstavoval $\Delta T = 33 - 49\text{ °C}$. Výsledky sú uvedené v Tabuľke 5.8. Orientačné, idealizované geologické profily a k nim zhotovené vertikálne profily teploty stacionárneho poľa sú následne na Obrázku 5.12 a 5.13. Je nevyhnutné zdôrazniť, že ide o **modelové riešenie**, a zároveň, že ide o **odhad teplôt v rámci konduktívneho prostredia**, vrátane predchádzajúcich aproximácií.



Obrázok 5.10: Štruktúrny histogram hrúbky strednotriasových karbonátov fatrika na základe tzv. globálneho geologického modelu strednotriasového vývoja fatrika vo vnútrohorských kotlinách Západných Karpát. Upravené podľa: Fričovský et al. (2024).



Obrázok 5.11: Štruktúrny histogram konduktívneho gradientu v strednotriasových karbonátoch fatrika na základe tzv. globálneho geologického modelu strednotriasového vývoja fatrika vo vnútrohorských kotlinách Západných Karpát. Upravené podľa: Fričovský et al. (2024).

Tabuľka 5.7: Parametre strednotriasových karbonátov fatrika na základe globálneho geologického modelu strednotriasového vývoja fatrika vo vnútrohorských kotlinách Západných Karpát. Upravené podľa: Fričovský et al. (2024).

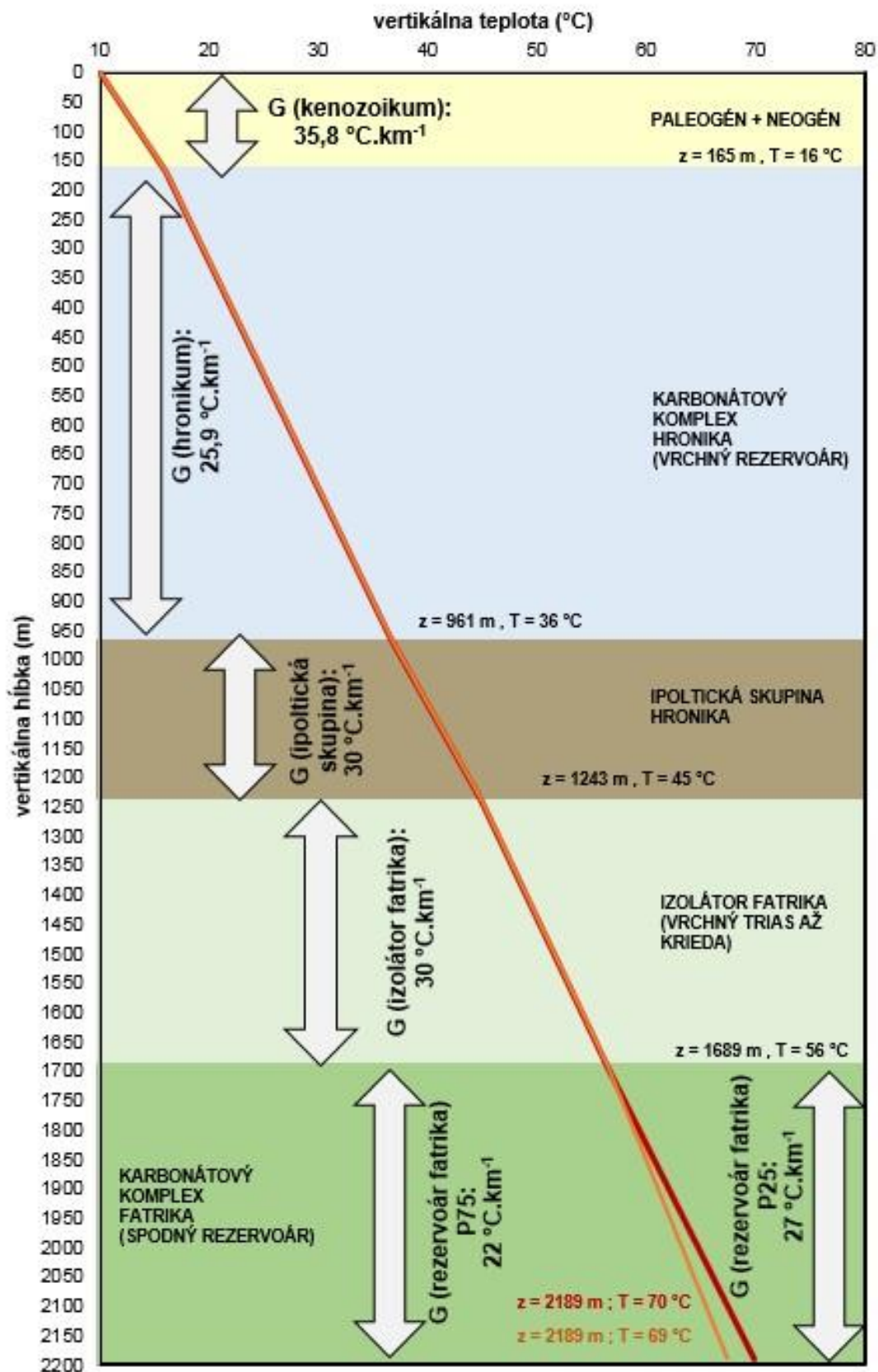
parameter	hrúbka strednotriasových karbonátov fatrika	konduktívny gradient strednotriasových karbonátov fatrika
minimum	36	12
maximum	860	46
priemer	376	25
medián	367	25
P25	436	27
P50	367	25
P75	286	22

Uvedené profily vrtov a vertikálneho rozloženia jednotlivých litostratigrafických horizontov, respektíve vertikálnej distribúcie teploty, je nevyhnutné vnímať ako modelové, alebo orientačné. Na skutočný profil vrtu vplyvajú lokálne podmienky, predovšetkým:

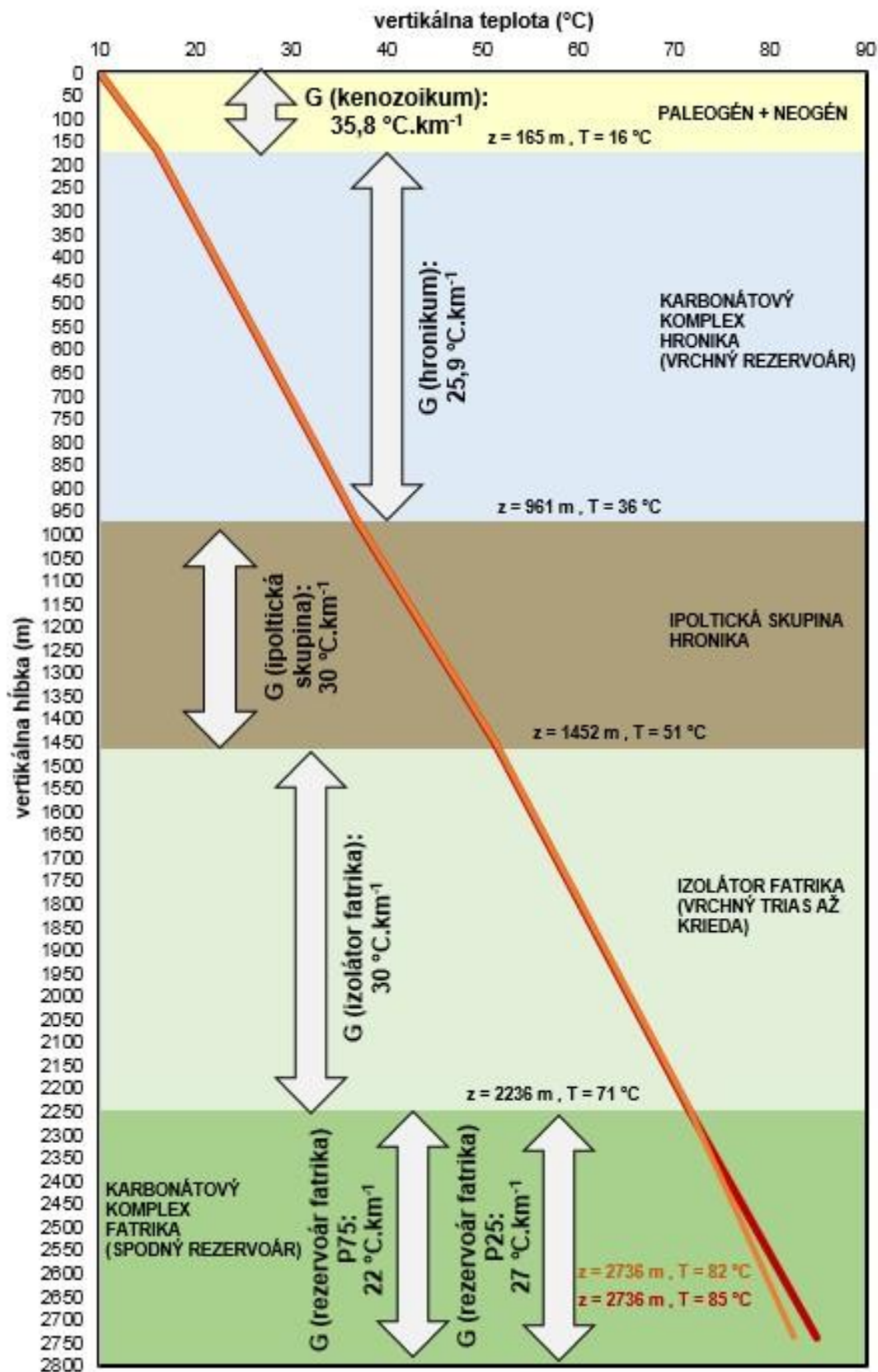
- blízkosť mesta Partizánske ku hydrogeologickému masívu pohoria Trábeč, čo súvisí s výraznou segmentáciou podložia, výraznou tektonikou častokrát s vertikálnymi skokmi rádovo v 10-tkách, prípadne 100-vkách metrov
- možnosťou redukcie geologických jednotiek a jednotlivých súvrství v rámci hronika, respektíve podložného fatrika, ktoré modely nie sú schopné zachytiť, keďže neexistuje hlboký geologických / štruktúrny / prieskumný / hydrogeotermálny vrt v relevantnom okolí v rovnakej situácii
- model stále predstavuje distribúciu stacionárneho, prúdením neporušeného geotermického poľa, znamená to, že nezohľadňuje prítomnosť podzemných alebo geotermálnych vôd, pričom lokalita sa nachádza stále blízko k predpokladanej infiltračnej oblasti
 - v prípade výskytu rezervoárového prostredia v podloží nie je možné úplne vylúčiť jeho hydraulickú / hydrogeologickú komunikáciu po zlomových systémoch s povrchom, respektíve s infiltračnou oblasťou, a výsledné, aj intenzívne zkeslenie teplotných podmienok v rezervoári, predovšetkým s negatívnym trendom (teploty dynamického rezervoárového prostredia majú tendenciu s približovaním sa ku zostupným tranzitným oblastiam a infiltračným oblastiam byť nižšie o percentá, respektíve desiatky percent oproti distribúcii neporušeného teplotného poľa); všetky tieto skutočnosti je nutné overiť.

Tabuľka 5.8: Model takzvaného minimálneho a maximálneho scenára hĺbky výpočtových uzlov fatrika a vertikálnej distribúcie teploty vo fatriku pre konduktívne prostredie.

povrchová teplota $T_S = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$						
báza kenozoického izolátora $z_{IZO} = 165\text{ m}$ podľa FGTz-2						
hrúbka kenozoického izolátora $\Delta z_{IZO} = 165\text{ m}$ podľa FGTz-2						
gradient v kenozoickom izolátore $\Gamma_{IZO} = 35,8\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$ (konduktívny profil vrtu FGTz-2)						
teplota na stropě hronika $T_{IZO,b} = 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ (konduktívny profil vrtu FGTz-2)						
hrúbka karbonátov hronika $\Delta z_{CHP} = 796\text{ m}$ podľa FGTz-2						
báza karbonátov hronika $z_{CHP,b} = 961\text{ m}$ podľa FGTz-2						
konduktívny gradient v karbonátoch hronika $\Gamma_{CD,CHP} = 25,9\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$ (konduktívny profil vrtu FGTz-2)						
teplota na báze karbonátov hronika $T_{CHP,b} = 36\text{ }^{\circ}\text{C}$ (konduktívny profil vrtu FGTz-2)						
konduktívny gradient ipoltickej skupiny $\Gamma_{CD,IPO} = 30\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$						
konduktívny gradient izolátora fatrika $\Gamma_{CD,KN,izo} = 25,5\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$						
scenár	minimálny			maximálny		
	hrúbka ipoltickej skupiny $\Delta z_{IPO} = 282\text{ m}$			hrúbka ipoltickej skupiny $\Delta z_{IPO} = 491\text{ m}$		
	báza ipoltickej skupiny $z_{IPO,b} = 1243\text{ m}$			báza ipoltickej skupiny $z_{IPO,b} = 1452\text{ m}$		
	teplota na báze ipoltickej skupiny $T_{IPO,b} = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$			teplota na báze ipoltickej skupiny $T_{IPO,b} = 51\text{ }^{\circ}\text{C}$		
	hrúbka izolátora fatrika $\Delta z_{KN,izo} = 446\text{ m}$			hrúbka izolátora fatrika $\Delta z_{KN,izo} = 784\text{ m}$		
	báza izolátora fatrika $z_{KN,izo,b} = 1689\text{ m}$			báza izolátora fatrika $z_{KN,izo,b} = 2\,236\text{ m}$		
	teplota na stropě rezervoáru fatrika $T_{KN,izo,b} = 56\text{ }^{\circ}\text{C}$			teplota na stropě rezervoáru fatrika $T_{KN,izo,b} = 71\text{ }^{\circ}\text{C}$		
hĺbka (m)	z (m.p.t)	P25($\Gamma_{CD,KN,res}$) $= 27\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$	P75($\Gamma_{CD,KN,res}$) $= 22\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$	z (m.p.t)	P25($\Gamma_{CD,KN,res}$) $= 27\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$	P75($\Gamma_{CD,KN,res}$) $= 22\text{ }^{\circ}\text{C.km}^{-1}$
100	1 789	59	58	2 336	74	73
200	1 889	61	61	2 436	76	75
300	1 989	64	64	2 536	79	78
400	2 089	67	66	2 636	82	80
500	2 189	70	69	2 736	85	82



Obrázok 5.12: Idealizovaný geologický a stacionárny-geotermický profil hlbokého vrtu pre overenie rezervoáru v krížňanskom príkrove – výsledky tzv. minimalistického scenára.



Obrázok 5.13: Idealizovaný geologický a stacionárny-geotermický profil hlbokého vrtu pre overenie rezervoáru v krížňanskom príkrove – výsledky tzv. maximalistického scenára.

6 NÁVRHY ĎALŠÍCH KROKOV V ROZVOJI LOKALITY PARTIZÁNSKE

Z analýzy doterajších údajov o rezervoárovom prostredí, a pri zohľadnení podkladových geologických, geotermických a pravdepodobnostných modelov vo vzťahu ako ku Bánovskej kotline, tak aj k samotnej vymedzenej lokalite Partizánske, t.j. mesto a jeho relevantnému okoliu, je možné konštatovať:

- stav hydrogeologickej a hydraulickej spojitosti medzi rezervoárovým prostredím v tektonických blokoch okolo mesta Partizánskeho, v ktorých sú situované hydrogeotermálne vrty HGTP-1 a FGTz-2, a výverovou oblasťou bielickej štruktúry v Bieliciach, nebol doteraz spoľahlivo preukázaný dlhodobými (polo-prevádzkovými alebo prevádzkovými) hydrodynamickými skúškami; pričom **riešením neistoty hydraulickej a hydrogeologickej spojitosti** je vo vzťahu k možnej dlhodobej produkcii geotermálnej energie v Partizánskom:
 - realizácia spoločnej hydrodynamickej skúšky vrtov HGTP-1 a FGTz-2 pri kontinuálnom monitorovaní vrtov a pramenných výverov v Bieliciach
 - realizácia doplnkovej stopovacej skúšky
- za neistý je možné považovať aj koncepčný model lokality, predovšetkým z pohľadu prúdenia geotermálnych vôd (priestorového a vertikálneho) a obehovo-akumulačného charakteru hydrogeotermálnych štruktúr – vo vzťahu k vertikálnym alebo horizontálnym prestupom, jednoduchému alebo opakovanému premiešavaniu, funkcii zlomových systémov a samotných prestupov geotermálnych vôd z okolia; pričom **riešením neistoty koncepčného modelu** je vo vzťahu k možnej dlhodobej produkcii geotermálnej energie v Partizánkom:
 - intenzívny geochemický a termochemický monitoring geotermálnych vôd pred aj po realizácii hydrodynamických skúšok, a zároveň periodicky aj počas dlhodobej produkcie zdrojov geotermálnej energie; a to ako na lokalite Partizánske, tak aj na lokalite Bielice
 - cielený geofyzikálny prieskum, predovšetkým so zameraním na odporové alebo magnetotelurické monitorovanie (head-on, schlumberger)
- otázka možnosti zvýšenia produkcie zdrojov geotermálnej energie na lokalite sa viaže aj na možnosť zachytenia, a overenia zdrojov geotermálnej energie v takzvanom spodnom rezervoári, ktorý je spojený so strednotriasovými karbonátmi krížňanského

příkrovu, ktoré však overené v relevantnom okolí neboli; pričom riziko neoverenia je nevyhnutné vnímať vo vzťahu k možnosti rozšírenia ako produkovaných množstiev geotermálnych vôd, tak aj energetického potenciálu, pri ktorom je možné dosiahnuť vyššie teploty, pri pomerne nízkom riziku hydraulického ovplyvňovania bielickej výverovej oblasti; a **neistota kvantitatívnych a kvalitatívnych parametrov spodného rezervoáru** môže byť čiastočne znížená:

- realizovaním geofyzikálneho prieskumu – geoelektrického profilovania v kombinácii so seizmickým profilovaním vo vybraných polygónoch
- realizovaním prieskumného / výskumného hlbokého geotermálneho vrtu.

6.1 Návrhy ďalších geologických prác na lokalite Partizánske

Za kľúčové geologické práce, ktoré je na lokalite Partizánske nevyhnutné realizovať, s cieľom minimalizovať (nie eliminovať) kvalitatívne a kvantitatívne riziká spojené s dlhodobou produkciou zdrojov geotermálnej energie, považujeme:

1) HYDRODYNAMICKÉ SKÚŠKY

Hydrodynamické skúšky boli realizované doteraz len separátne pre vrty HGTP-1 a FGTz-2, pričom za pozorovacie objekty boli zvolené vrty v rámci lokality Bielice a pramenné vývery, avšak, nakoľko vrty vznikali v rôznom období, nebola realizovaná ich spoločná hydrodynamická skúška. Získané výsledky nie je objektívne možné považovať za reprezentatívne, nakoľko:

- 21 dňová HDS medzi Partizánskym a Bielicami v dynamickom obehovom systéme nemusí preukázať významné ovplyvnenia mimo bežného rámca kolísania v režime prúdenia geotermálnych vôd
- nepovažujeme za objasnený režim / možnosť hydraulickej komunikácie medzi Bielicami a Partizánskym
- nepovažujeme za objasnený ani režim hydraulickej komunikácie efektívnych filtračných profilov medzi samotným vrtom HGTP-1 a FGTz-2, ktoré by mali tvoriť základ nízkoteplotného centralizovaného systému zásobovania teplom.

Z tohto dôvodu preto navrhujeme:

- realizovanie spoločnej hydrodynamickej skúšky na vrtoch HGTP-1 a FGTz-2 v trvaní aspoň 90 dní v prvej etape, pričom testované by mali byť doteraz overené množstvá geotermálnych vôd, vrátane:
 - **konštantného čerpania doteraz overených množstiev po dobu 60 dní** (cieľ hydrodynamickej skúšky: overiť doteraz existujúce overené množstvá geotermálnej energie z krátkodobých hydrodynamických skúšok a komunikáciu medzi vrtmi pri spoločnej produkcii, a zároveň komunikáciu medzi lokalitou Partizánske a lokalitou Bielice); respektíve prispôsobovanie sa a optimalizovanie odoberaných množstiev vzhľadom na aktuálne výsledky
 - **skúšky krokového zvyšovania produkcie po dobu 30 dní**, čo by malo simulovať možnú krokovú stratégiu rezervoárového manažmentu; a to v prípade, ak by to bolo podľa výsledkov predchádzajúcej etapy možné
 - geochemického monitoringu a vzorkovania odoberaných geotermálnych vôd v etape aspoň 1x týždenne na produkovaných vrtoch, pramenných výveroch, a produkovanom vrte MB-3 Malé Bielice
 - termometrický a barometrický monitoring s kontinuálnym zapisovaním teploty, tlaku, a produktivity 2x denne na všetkých monitorovacích objektoch
 - v prípade technickej možnosti realizácia vertikálnych termometrických a barometrických profilov 1x týždenne (optimálne) respektíve 1x za dva týždne

2) STOPOVACIE SKÚŠKY

Stopovacie skúšky sú pomerne nevyužívanou metódou v rámci výskumu a prieskumu zdrojov geotermálnej energie na Slovensku, a to prevažne z dôvodu veľkej vzdialenosti medzi realizovaným vrtom a relevantnými pozorovacími bodmi v okolí. V tomto prípade vzdialenosť medzi vrtmi HGTP-1 a FGTz-2 predstavuje približne 800 – 900 m vzdušnou čiarou, respektíve podobnú vzdialenosť je možné odhadnúť pre vzťah vrtov FGTZ-2 a MB-3. Znamená to, že možnosti zachytenia stopovačov pred ich rozkladom, aj vzhľadom na predpokladané filtračné parametre horninového prostredia, by realizáciu stopovacej skúšky podporovali. V tomto prípade by stopovacie skúšky mali byť realizované s aspoň 2 individuálnymi stopovačmi, špecificky pre FGTz-2 a špecificky pre HGTP-1, čo by zabránilo prekryvaniu výsledkov. Cieľom skúšky by mali byť výsledky vyvracajúce, potvrdzujúce, alebo kvantifikujúce mieru

hydraulickej komunikácie medzi Partizánskym a Bielicami, Partizánskym a okolím, prípadne v rámci samotného rezervoárového prostredia v rámci vertikálnych prúdení po zlomových systémoch. Ďalšou z možností stopovacích skúšok by bola ich aplikácia do plytkých hydrogeologických vrtov južne od Partizánskeho s cieľom overiť filtračné kanály, alebo zostupové a vzostupné prúdenia po otvorených zlomových líniah v smere ku obom sledovaným lokalitám, a tak overiť mieru podielu blízkej infiltračnej oblasti na formovaní hydrogeotermálneho obehového systému.

3) HYDROGEOCHEMICKÝ A TERMOCHEMICKÝ MONITORING

V prípade, ak by došlo ku realizácii doplnkových hydrodynamických skúšok, je v zmysle zaužívanej praxe nevyhnutné odoberať vzorky produkovanej geotermálnej vody pri každom budovaní tlakovej depresie (cieľené zvyšovanie produkcie) respektíve aspoň 3 vzorky počas celého priebehu hydrodynamickej skúšky. Tieto požiadavky sú vzhľadom na komplexnosť hydrogeotermálnych systémov absolútne nedostatočné, a výrazne zaostávajú za princípmi monitorovania a režimového sledovania zdrojov geotermálnej energie v globálnej praxi. Zároveň málokedy dochádza k pokračovaniu monitorovacích prác po realizácii hydrodynamickej skúšky a pred otvorením samotnej produkcie, čo môže predstavovať rámec týždňov, respektíve mesiacov, alebo rokov. Napriek skutočnosti, že zvyšovanie frekvencie monitoringu, cieľov monitoringu a realizovaných metód zvyšuje ekonomické náklady projektu, je realizácia komplexného a reprezentatívneho monitorovania kľúčová pri interpretácii koncepčných modelov systémov prúdenia geotermálnej vody v rezervoárovom prostredí a širšom okolí lokality, identifikuje možné zmeny v rezervoárovej dynamike a rezervoárových procesov, a v predstihu umožňuje interpretovať procesy súvisiace s prienikom hydraulického (tlakového) alebo studeného frontu. Zároveň monitoring a jeho interpretácia spoľahlivo odpovedá na otázky procesov prehrievania, zmiešavania, nariedovania, zahrievania a podobne. Pri navrhutej hydrodynamickej skúške preto odporúčame zvážiť:

- odber vzoriek 1x týždenne na všetkých monitorovacích objektoch pre rozšírený rozbor; pričom sledovať pH, EC, TDS, Ca, Mg, Na, K, HCO₃, Cl, SO₄, Al, Fe, H₂SiO₄ / SiO₂, B, F, Li, voľné CO₂; vzácne prvky a ďalšie kovy s frekvenciou v zmysle zákona; vrátane rozboru plynov
- súčasťou monitoringu by malo byť periodické vyhodnocovanie trendov, zmien, časových radov a závislostí s vyhodnocovaním:

- tzv. hydrochemických faciálnych diagramov: Stifflerov, Schoellerov, Piperov, Δ CFB diagram (Cl-F-B)
- tzv. diagramov geochemickej vyrovnanosti: Δ CFB diagram (Cl-F-B), Δ CSH (Cl-SO₄-HCO₃), Δ BCL diagram (B-Cl-Li), Giggenbachov diagram, Na-K-Mg-Ca geoindikátor, MI-geoindikátor, K-Mg-Ca geoindikátor,
- tzv. dynamických mapovacích modelov naried'ovania, zmiešavania, rezervoárového adiabatického varu, prehrievania: X-Sh model (SiO₂ vs entalpia), X-SC model (SiO₂ vs voľné CO₂), X-HC model (HCO₃ vs Cl), X-Ch model (Cl vs entalpia)
- konvenčná silikátová a kationová geotermometria, vrátane dynamických / systémových diagramov (Na-K, K-Mg, Na-K-Ca)
- multikomponentová geotermometria: metóda CEQ (teplota komplexného vyváženia), metóda TSI (teplota celkového vyváženia), metóda TSI/TCA (analýza typových kriviek) a metóda RMED (klastrová mediánová multikomponentová geotermometria), metóda TCLM (metóda trojfázového systémového zmiešavania)
- odber vzoriek na začiatku a na konci hydrodynamickej skúšky na izotopovú analýzu

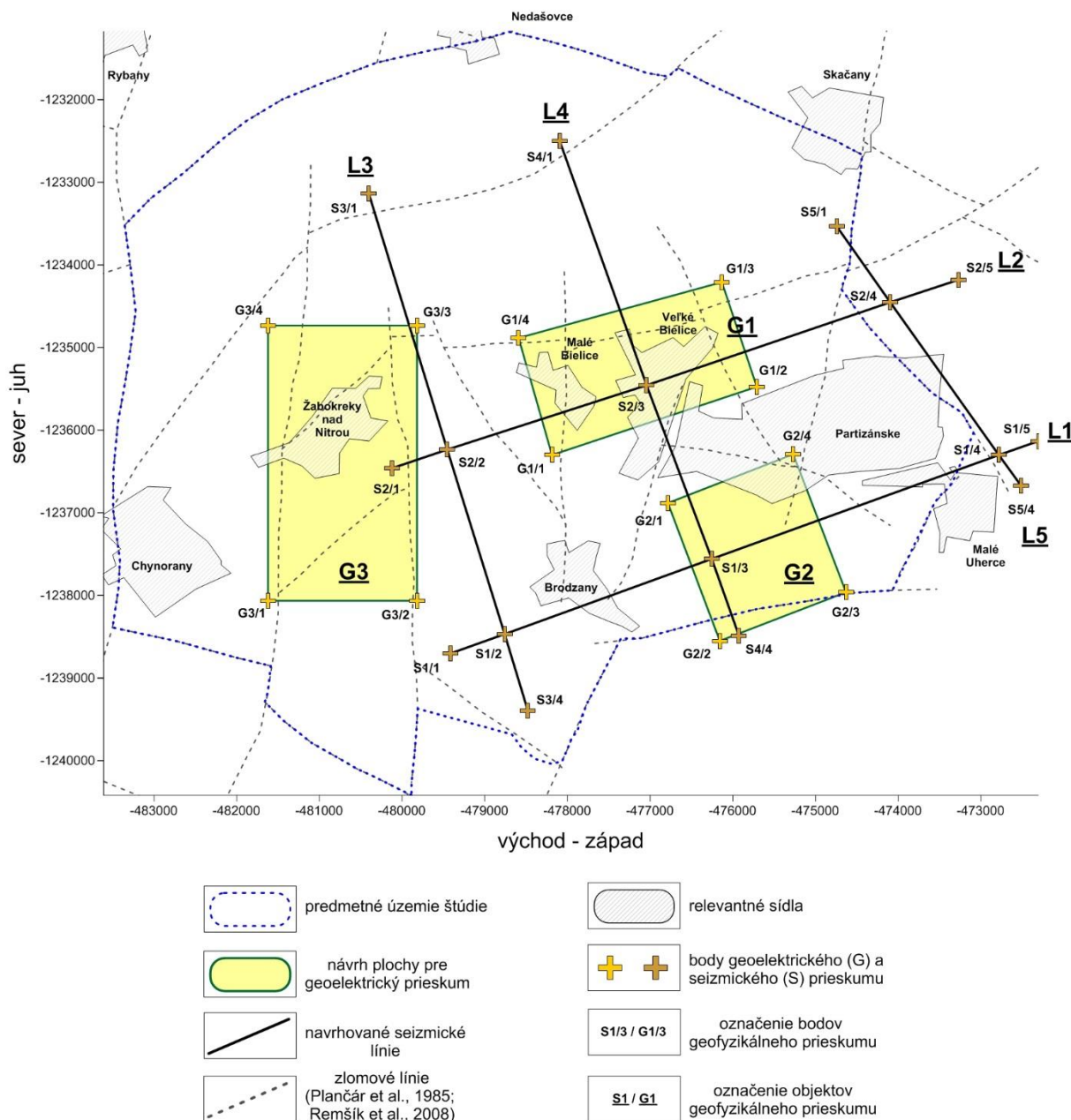
Napriek určite zvýšeným ekonomickým nárokom ale považujeme dôsledný systémový monitoring a jeho interpretáciu, a to vrátane vrtov na lokalite Bielice a prirodzených pramenísk, za nevyhnutný, pri tvorbe koncepčného modelu lokality, a pri nastavovaní iniciálnych, a následne kalibrovaných modelov rezervoárovej odozvy.

4) ORIENTOVANÝ SEIZMICKÝ PRIESKUM

Seizmický prieskum – reflexný, patrí objektívne medzi najdrahšie povrchové geofyzikálne metódy. Napriek tomu vzhľadom na nevyhnutnosť upresnenia geologickej stavby relevantného okolia mesta Partizánske, respektíve bielickej výverovej zóny, ako aj vzhľadom na blízkosť takzvaných hydrogeologických masívov (Tríbeč) predstavujúcich infiltračné zóny, a predpokladaný význam zlomových systémov pri transporte a prúdení geotermálnych vôd považujeme za nevyhnutné realizovať na celkom území niekoľko seizmických profilov (Obrázok 6.1), ktorých navrhovaná pozícia (Tabuľka 6.1) odráža ich predpokladaný význam:

- **profilová línia s L1** s dĺžkou 7,65 km je situovaná južne od vrtov FGTz-2 a HGTP-1, pričom sa približuje okraju kotliny a severným výbežkom pohoria Tríbeč – cieľom

navrhovanej línie je overiť tektonickú stavbu a prítomnosť predovšetkým J – S alebo S – J orientovaných zlomových systémov v smere predpokladaných zostupných trendov prúdenia podzemnej vody; a zároveň hlbokú geologickú stavbu východne od Brozdian, kde pod vplyvom nárastu hrúbky kenozoickej sedimentárnej výplne kotliny predpokladáme zvýšené teploty stacionárneho geotermálneho poľa, a zároveň nárast hrúbky karbonátov hronika (vrchného / plytkého) rezervoáru



Obrázok 6.1: Situácia a priestorová orientácia navrhovaných objektov povrchového geofyzikálneho prieskumu v rámci rozvoja produkcie geotermálnej energie na lokalite Partizánske.

- **profilová línia L2** s dĺžkou 7,2 km prechádza interpretovanou bielickou výverovou oblasťou a v jej vymedzení zachytáva niekoľko predpokladaných zlomových systémov vhodnej S – J alebo J – S orientácie, ktorá najmä pri pretínaní sa so zlomami generálne V – Z a Z – V smeru môžu predstavovať významné filtračné trasy geotermálnych vôd; cieľom navrhovaného profilu je ako overiť a identifikovať významné tektonické línie, ktorých úloha sa predpokladá v rámci systémov prúdenia podzemných / geotermálnych vôd, tak aj hlbokú geologickú stavbu v okolí výverovej zóny, priestorovo vo vzťahu k južnej časti Bánovskej kotliny, a zároveň k lokalite Partizánske
- **profilová línia L3** s dĺžkou 6,6 km prechádza západne od Brodzian, pričom je navrhnutá tak, aby pretínala línie L1 a L2, a zachovala si pozíciu v jednej z predpokladaných, segmentovaných tektonických krýh Z od Partizánskeho a JZ od bielickej výverovej zóny, v ktorej sa predpokladá zostupná tranzitná oblasť pre podzemné / geotermálne vody veľmi plytkého obehu; cieľom línie je overiť ako hlbokú geologickú stavbu, tak aj tektonické pomery na západnom okraji sledovaného územia, a podporiť interpretácie vzťahu medzi hydrogeologickým masívom severného / severozápadného okraja Tríbča, a bielickou / partizánskou obehovou štruktúrou
- **profilová línia L4** s dĺžkou 6,4 km prechádza v smere SZ – JV cez bielickú výverovú oblasť a svojim priebehom pokrýva ako oblasť spájajúcu túto zónu s hydrogeotermálnymi štruktúrami Bánovskej kotliny, tak aj SZ okrajom hydrogeologického masívu Tríbča; pričom úlohou seizmického profilu je overiť prítomnosť tektonických línií, ktoré by mohli slúžiť ako komunikačné trasy oboch lokalít s ich širším okolím, ako aj hlbokú geologickú stavbu v smere na predpolie Tríbča, a to aj vo vzťahu ku geologickej stavbe predpokladaných transportných alebo infiltračných ciest podporujúcich lokálne režimy a sub-režimy prúdenia
- **profilová línia L5** s dĺžkou 3,9 km je situovaná západne od mesta Partizánske a navrhnutá tak, aby spoločne s líniami L4, L1 a L2 vytvárali ortogonálnu sieť seizmických línií ohraničujúcich mesto Partizánke a pravdepodobné lokality, kde by bolo možné situovať, v prípade potreby alebo možností, hlboký prieskumný geotermálny vrt cielený na zachytenie a overenie spodného rezervoáru v krížňanskom príkrove, pričom v súlade s predošlými líniami, je prvoradou úlohou seizmického profilu overiť priebeh alebo pokračovanie tektonických línií, a zároveň prispieť k obrazu o hlbokéj geologickej stavbe v podloží karbonátov hronika, respektíve jeho permsko-spodnotriasového vývoja (ipoltickej skupiny).

Tabuľka 6.1: Súradnicový systém bodov seizmického a geoelektrického / magnetotelurického prieskumu v okolí mesta Partizánske

označenie bodu	X-súradnica (S-JTSK03)	Y-súradnica (S-JTSK03)
L1/1	-479416.554	-1238703.38
L1/2	-478759.766	-1238468.82
L1/3	-476254.57	-1237558.693
L1/4	-472782.955	-1236301.401
L1/5	-472304.449	-1236132.503
L2/1	-480120.261	-1236460.905
L2/2	-479454.095	-1236235.716
L2/3	-477042.722	-1235456.936
L2/4	-474096.532	-1234452.99
L2/5	-473270.868	-1234180.88
L3/1	-480401.758	-1233139.406
L3/4	-478478.283	-1239397.711
L4/1	-478093.586	-1232501.367
L4/4	-475926.169	-1238487.584
L5/1	-474743.956	-1233533.47
L5/4	-472510.85	-1236676.701
G1/1	-478187.423	-1236301.401
G1/2	-475710.361	-1235475.7
G1/3	-476132.585	-1234209.037
G1/4	-478590.876	-1234884.604
G2/1	-476785.148	-1236882.262
G2/2	-476157.911	-1238550.987
G2/3	-474631.363	-1237962.15
G2/4	-475269.381	-1236292.008
G3/1	-481621.511	-1238065.363
G3/2	-479820.022	-1238065.363
G3/3	-479820.022	-1234734.471
G3/4	-481621.511	-1234734.471

5) ORIENTOVANÝ GEOELEKTRICKÝ PRIESKUM

V kombinácii so seizmickým prieskumom navrhujeme v rámci ďalšieho prieskumu a rozvoja produkcie zdrojov geotermálnej energie aj aplikovanie líniového, alebo plošného

geoelektrického, alebo magnetotelurického prieskumu. Jeho výhodou je možnosť dobrej korelácie so seizmikou vo vzťahu ku hlbínnej geologickej stavbe prostredia, a zároveň možnosť identifikovania rôznej teploty podzemných / termálnych vôd, ktoré sa v rámci „jednotkového“ geologického prostredia prejavujú pod vplyvom rozdielnej teploty rozdielnymi odporovými / vodivostnými charakteristikami. Pre podporu výskumu režimov prirodzeného prúdenia podzemných / geotermálnych vôd, alebo vynúteného prúdenia vplyvom vynútenej infiltrácie, alebo reinjektáže, je geoelektrický prieskum jednou z najčastejšie volených povrchových metód alebo prieskumu, alebo monitoringu. Situácia prieskumných polygónov na Obrázku 6.1 je následne podporená ich priestorovými koordinátami v Tabuľke 6.1:

- polygón G1 (6km²) navrhujeme cielene západne od seizmických línií na jeho východnom okraji, v okolí obce Žabokreky nad Nitrou, pričom okrem cieleného výskumu hlbínnej geologickej stavby je snaha o interpretáciu výrazných rozdielov v teplote rezervoárového média (podzemnej / geotermálnej) vody voči svojmu okoliu, čo môže výrazným spôsobom prispieť ku koncepčnému modelu celej oblasti, vrátane identifikovania možných tranzitných zón a filtračných profilov, predovšetkým v plytkom rezervoárovom protredí hronika (spodný a vrchný komplex karbonátov)
- polygón G2 (2,9 km²) navrhujeme v bielickej výverovej oblasti ako jeden zo spôsobov podpory výskumu prúdenia a komunikácie celej bielickej hydrogeotermálnej štruktúry s okolím, v tomto prípade južným okrajom hydrogeotermálnych štruktúr bánovskej kotliny, pričom aplikácia bodového alebo líniového prieskumu v mieste výverovej oblasti môže prispieť k interpretáciám režimov vertikálnych, alebo laterálnych prestupov geotermálnych a podzemných vôd rozdielnej teploty pred ich predpokladaným zmiešavaním a samotným výverom
- polygón G3 (6,0 km²) je naopak situovaný na juhozápadnom okraji mesta Partizánske, na línii medzi vrtmi FGTz-2 / HGTP-1 a predpolím hydrogeologického masívu Tríbeča, kde sa opakovane predpokladá lokalizácia zostupných tranzitných ciest, ktoré by mali ovplyvňovať stacionárne geotermické pole plytkého rezervoárového prostredia, pričom získané interpretácie môžu priniesť podklady pre interpretáciu orientovania a intenzity možných vertikálnych alebo laterálnych prestupov v rámci rezervoárového protredia hronika v jeho spodnom aj vrchnom karbonátovom komplexe, a v prípade zachytenia zlomových línií aj prispieť k overeniu / vylúčeniu konkrétnych zlomových systémov na dotovaní lokality Partizánske, alebo tzv. bielickej výverovej oblasti.

6) NÁVRHY OSTATNÝCH VHODNÝCH METÓD PRIESKUMU V OKOLÍ MESTA PARTIZÁNSKE

Vyššie uvedené metódy patria medzi v praxi najvyužívanejšie spôsoby povrchového overovania tektonickej štruktúry, respektíve hlbkej geologickej stavby ešte pred spustením samotného vrtného prieskumu. Geoelektrika, pri adekvátnom korelačnom podklade z vzorkovania, alebo dlhodobých pozorovaní a dát hydrogeotermálneho, alebo plytkého hydrogeologického prieskumu, je zároveň vhodnou pre sledovanie alebo odhady priestorového prúdenia podzemných / geotermálnych vôd s rozdielnou hustotou, napríklad, aj vplyvom teploty alebo celkovej mineralizácie, ktorá odráža dĺžku alebo hĺbku obehu, respektíve rezidenčný čas geotermálnej / podzemnej vody v geologickom prostredí. Okrem vyššie uvedených, do úvahy prichádzajú aj ďalšie metódy povrchového prieskumu, ktorých realizácia môže byť menej ekonomicky náročná:

- **plytká termometria** sa realizuje zvyčajne sondami do 1 – 2 m, v ktorých sa meria distribúcia teploty a jej odchýlky od normálu vplyvom lokálnych teplotných / tepelných anomálií; preto má význam najmä na rozhraní predpokladanej výverovej oblasti s jej okolím, nakoľko môže priniesť indikácie priestorového rozšírenia výstupu geotermálnych vôd k povrchu – z tohto dôvodu je významná S a SZ od Partizánskeho v smere na výverovú oblasť bielickej štruktúry
- **pôdne sondovanie toku CO₂** sa realizuje štandardne 10 – 50 cm pôdnymi sondami – v tomto prípade môže byť využité pre sledovanie rozšírenia anomálií pôdneho CO₂ v dôsledku výstupu geotermálnych vôd do plytkých rezervoárových polôh ako v rámci výverovej oblasti bielickej štruktúry, tak aj v líniových profiloch v smere k vrtom FGTz-2 respektíve HGTP-1; prípadne v okolí vytypovaných zlomových línii, ktoré by mali slúžiť ako filtračné trasy podzemných / geotermálnych vôd, predovšetkým vo fáze ich výstupu k povrchu, kedy k uvoľňovaniu CO₂ dochádza v dôsledku straty tlaku.

7) MODELOVACIE PRÁCE

Modelovacie práce sú neoddeliteľnou súčasťou praxe rezervoárového inžinierstva, pričom ich prínos je predovšetkým rozširovanie znalostí o hydrogeotermálnej štruktúre, respektíve jej reakcií na krátkodobú, alebo, cielene, dlhodobú produkciu. Hlavným znakom modelovacích prác je ich kontinuita a kalibrácia, zakaždým z výsledkov predchádzajúcich etáp prieskumu. Pri dlhodobej produkcii zdrojov geotermálnej energie na lokalite Partizánske, vzhľadom na jej

citlivé okolie hydrogeologického masívu Trúbča a blízkosť výverovej oblasti bielickej štruktúry preto odporúčame v rámci dlhodobej produkcie zvážiť:

- kontinuálne prehodnocované hydrodynamické numerické priestorové modelovanie (pre jeho reprezentatívnosť je nevyhnutné zároveň realizovať lokálne hydrogeologické mapovanie s cieľom stanoviť hydrogeologickú bilanciu územia) založené na dlhodobom a frekvenčnom monitorovaní
- dynamické lumpfitové alebo pseudo-lumpfitové modelovanie rezervoárovej odozvy (historická časť) a predikcie rezervoárovej odozvy (modelovanie blízkej budúcnosti) na základe teplotného a tlakového monitorovania produkovaných vrtov a monitorovacích objektov
- dynamické lumpfitové alebo pseudo-lumpfitové modelovanie teplotnej rezervoárovej odozvy (historická časť) a predikcie rezervoárovej odozvy (modelovanie blízkej budúcnosti) vo funkčnom vzťahu k výsledkom hydraulických lumpfit modelov alebo kalibrovaným numerickým priestorovým modelom, pri zvážení rezervoárovej dynamiky (prestupy, prítoky, odtoky geotermálnych vôd do a z rezervoárového prostredia)
- kontinuálne geotermometrické a termochemické modelovanie;
- a zároveň modelovanie numerických indikátorov tzv. spontánnej alebo vynútenej rezervoárovej konvekcie a nerovnomerného rezervoárového prehrievania, ktorého výsledky môžu podporiť / kalibrovať modely termickej odozvy, jasne definujúce režim a variabilitu transportu tepla v rezervoárovom systéme; respektíve
- priebežné geologické modelovanie na základe existujúcich údajov, respektíve cielené geologické modelovanie z dát aktuálne realizovaného geofyzikálneho prieskumu.

Ako opakovane uvádzame vyššie, realizácia doplnkových prieskumných prác, komplexného a frekvenčne stabilného monitoringu, ako aj modelovania získaných výsledkov, predovšetkým pri ich kalibrácii voči „archívnym“ údajom, môže výraznou mierou v zmysle globálnej praxe prispieť k redukcii rizík hydraulickej (množstvá geotermálnych vôd) ale najmä tepelno-energetickej depletácie rezervoárového prostredia a rezervoárového média. V konečnom dôsledku, predovšetkým vďaka dlhodobému a komplexnému monitoringu, ktorým je následne podporené aktualizované a kalibrované modelovanie, je častokrát možnosť predvídať ďalší vývoj rezervoárovej odozvy a optimalizovať produkčnú stratégiu a rezervoárový manažment tak, aby v prípade nepriaznivého vývoja nemuselo dôjsť k ukončeniu produkcie a projektu.

6.2 Návrhy a vymedzenie potenciálnych prieskumných území

Všetky vyššie uvedené práce, ktoré sa týkajú realizácie geotermického prieskumu, respektíve vrtných prác, musia byť v zmysle platnej legislatívy realizované v rámci prieskumného územia. Prieskumné územie sa viaže na vymedzenie priestorovo presne definovanej oblasti, v ktorej je možné, po jeho schválení, realizovať zásahy do geologického prostredia, pričom sa zároveň v zmysle legislatívneho rámca prieskumné územia pre rovnaké účely nemôžu prekrývať.

Zo všetkých vyššie uvedených záverov vyplýva, že považujeme pri danej znalosti geologických, hydrogeologických, hydraulických, a geotermických pomerov, realizovanie komplexného a doplnkového hydrogeotermálneho prieskumu ako priamo na lokalite Partizánske, tak aj v jej relevantnom okolí. Pre tento účel sú nateraz orientačne vymedzené dve prieskumné územia, výrazne odlišné v plošnom rozsahu (Obrázok 6.2 a Tabuľka 6.2), ktoré odrážajú špecifický zámer a vychádzajú z rozdielnych predpokladov.

Prvý variant prieskumného územia PÚ1 prakticky korešponduje s celým polygónom Partizánskeho tak, ako bol hodnotený aj v celej predkladanej štúdii. Jeho rozloha a vymedzenie umožňujú v plnom rozsahu realizovanie navrhovaných metód geofyzikálneho prieskumu, respektíve vrtné práce v prípade ich potreby, alebo uváženia, a zároveň hydrodynamické skúšky na všetkých vrtoch. Rozmedzie prieskumného územia zároveň vytvára aj ďalšie možnosti sledovania vzťahu ako bielickej výverovej zóny, tak aj rezervoárového prostredia v okolí Partizánskeho s okolím – či hydrogeologickým masívom Tríbča, alebo so štruktúrami v samotnej Bánovskej kotline. V súvislosti s jeho rozlohou tak prichádzajú na rad aj možnosti výskumu hydrogeologickej komunikácie na hranici vymedzeného územia, kde sa predpokladá zmena členitosti predterciérneho podložia, aj jeho reliéfu, predovšetkým postupný nárast kenozoickej výplne kotliny.

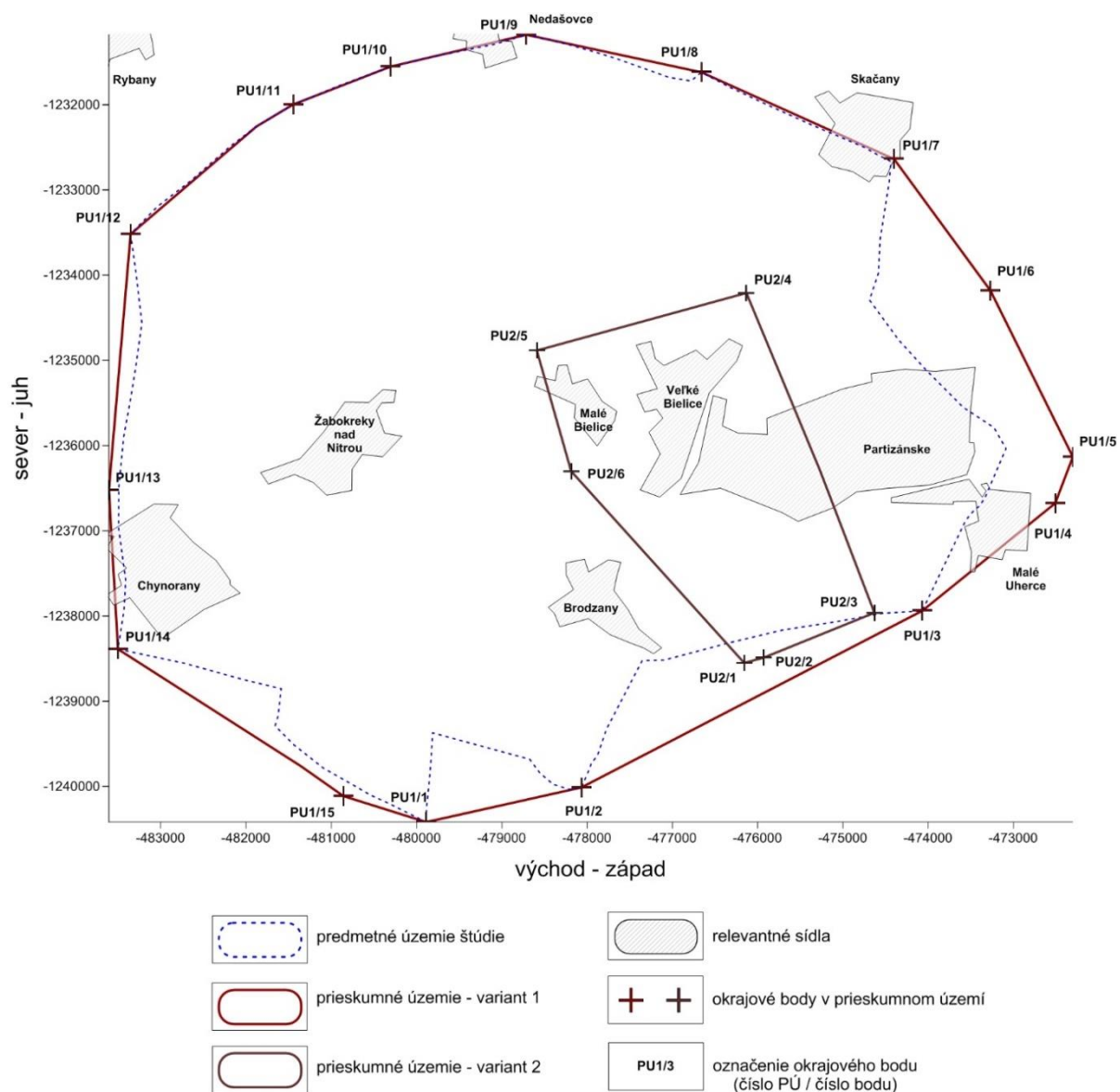
Druhý variant prieskumného územia PÚ2 je priestorovo značne limitovaný a vzťahuje sa na bezprostredné okolie Partizánskeho, existujúcich hydrogeotermálnych vrtov FGTz-2 a HGTP-1, a pri menších ekonomických nákladoch na jeho správu tak umožňuje realizáciu hydrodynamických skúšok, vrátane výskumu a prieskumu vzťahu k bielickej výverovej zóne, rovnako ako sa priestorovo (porovnaním Obrázkov 6.1 a 6.2) prekrýva s líniami seizmických profilov a navrhovaných oblastí realizovania geoelektrického (líniového alebo plošného –

bodového) prieskumu, avšak s výrazne priestorovo obmedzenými informáciami. Prieskumné územie ale zároveň zasahuje do oblasti, v ktorých geologický model zostrojený pre Bánovskú kotlinu v celku, ako útvar geotermálnych vôd, predpokladá aj nárast hrúbky terciéru v smere na juh od systému tektonických kryh v okolí Bielic, tak aj nárast hrúbky karbonátov hronika, stále s podložnou ipoltickou skupinou.

Voľba prieskumného územia je však stále na zvážení, a mala by odrážať aj reálne ekonomické možnosti projektu, a preto prezentované dva návrhy je možné vnímať len ako orientačné a k ďalšej diskusii.

Tabuľka 6.2: Súradnicový systém prieskumných území v okolí mesta Partizánske

označenie bodu	X-súradnica (S-JTSK03)	Y-súradnica (S-JTSK03)
PU1/1	-479886,851	-1240418,56
PU1/2	-478066,882	-1240011,869
PU1/3	-474070,241	-1237939,133
PU1/4	-472510,85	-1236676,701
PU1/5	-472304,449	-1236132,503
PU1/6	-473270,868	-1234180,88
PU1/7	-474400,133	-1232637,632
PU1/8	-476660,34	-1231618,466
PU1/9	-478713,088	-1231178,39
PU1/10	-480304,039	-1231552,028
PU1/11	-481446,35	-1231996,115
PU1/12	-483354,535	-1233518,539
PU1/13	-483608,312	-1236519,523
PU1/14	-483502,406	-1238389,046
PU1/15	-480859,164	-1240113,132
PU2/1	-476157,911	-1238550,987
PU2/2	-475926,169	-1238487,584
PU2/3	-474631,363	-1237962,15
PU2/4	-476132,585	-1234209,037
PU2/5	-478590,876	-1234884,604
PU2/6	-478187,423	-1236301,401



Obrázok 6.2: Situácia a priestorová orientácia navrhovaných objektov povrchového geofyzikálneho prieskumu v rámci rozvoja produkcie geotermálnej energie na lokalite Partizánske.

7 ZHRNUTIE

Z výsledkov realizovanej štúdie, ktorej zámerom je posúdiť vhodnosť lokality na dlhodobú produkciu zdrojov geotermálnej energie v systémoch nízkoenergetického / nízko-teplotného centralizovaného systému zásobovania teplom podľa zistených, alebo modelovaných skutočností vyplýva:

- zdroje geotermálnej energie sú viazané – ich overená časť – na rezervoárové prostredie pravdepodobne plytkého rezervoáru v strednotriasovom komplexe (spodná časť) a vrchnotriasovom komplexe (vrchná časť) hronika
- pravdepodobnostný model odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie pre útvar geotermálnych vôd Bánovská kotlina udáva pravdepodobný celkový tepelno-energetický potenciál – t.j. s pravdepodobnosťou overenia a reálnej energetickkej kapacity rezervoárového prostredia 50 % - úroveň odhadu $TTP_{(p)} = 31 \text{ MWt}$ pre obdobie produkcie 40 rokov a $TTP_{(p)} = 13 \text{ MWt}$ pre obdobie produkcie 100 rokov v zmysle koncepcie trvalo udržateľného rezervoárového manažmentu
- pri využití bilančnej metódy koeficientu kapacity zásob potom kritická udržateľná rezervoárová kapacita hronika predstavuje $P_{th(S)} = 15 \text{ MWt}$ respektíve $P_{th(S)} = 7 \text{ MWt}$ pre krátkodobý, respektíve dlhodobý horizont produkcie
- súčasný stav celkovej produkcie geotermálnej energie z rezervoárového prostredia Bánovskej kotliny dosahuje $P_{th} = 0,3 - 1,1 \text{ MWt}$, čo znamená, že **vo vzťahu ku celkovej udržateľnej kapacite rezervoárového prostredia je naďalej možné rozvíjať produkciu geotermálnej energie ako z dlhodobého, tak aj krátkodobého hľadiska**
- ak potenciál udržateľného rozvoja produkcie geotermálnej energie predstavuje rozdiel medzi udržateľnou kapacitou a úrovňou aktuálnych odberov geotermálnej energie, čiže tepelných výkonov aktívnych vrtov, potom pre krátkodobý horizont produkcie je naďalej k dispozícii $P_{th(D)} = 13,9 - 14,8 \text{ MWt}$ a pre dlhodobý horizont produkcie $P_{th(D)} = 5,9 - 6,7 \text{ MWt}$ v rámci rezervoárového prostredia v hroniku Bánovskej kotliny, čo predstavuje aj z pohľadu lokality Partizánske zaujímavý potenciál
- v rámci vymedzeného polygónu, výpočet bilančných dynamických množstiev udáva $Q_{dyn} = 32 \text{ l.s}^{-1}$
- rovnovážne množstvá geotermálnych vôd, korigované o produktivitu v Bieliciach, dosahujú $Q_{bal} = 23,5 \text{ l.s}^{-1}$, čo pri priemernej teplote $44 \text{ }^{\circ}\text{C}$ predstavuje tepelno-

energetický výkon $P_{th,bal} = 2,5 \text{ MWt}$ s referenčnou teplotou $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$; pričom tieto množstvá geotermálnych vôd a geotermálnej energie by mali byť overené ako prvoradá v hydrodynamických skúškach

- samostatne už overené množstvá geotermálnych vôd predstavujú sumárne za vrty FGTz-2 a HGTP-1 $Q_{pv} = 25,3 \text{ l.s}^{-1}$; ktoré je nevyhnutné overiť spoločnou hydrodynamickou skúškou
- krátkodobé hydrodynamické skúšky realizované v rôznych časových obdobiach na vrtoch HGTP-1 Partizánske a FGTz-2 Partizánke nepredpokladajú hydraulickú komunikáciu medzi ich bezprostredným okolím a výverovou oblasťou v okolí Bielic, avšak je potrebné zdôrazniť, že:
 - realizované skúšky prebehli v rôznych časových intervaloch
 - získané výsledky nie je vzhľadom na dĺžku ich trvania možné považovať za výpovedné
 - nebola realizovaná spoločná hydrodynamická skúška, ani spoločná hydrodynamická skúška vo vzťahu k bielickej výverovej oblasti
- ako možné riešenia situácie vzhľadom na pomerne nízke energetické výkony existujúcich hydrogeotermálnych vrtov, a aj vzhľadom na možnosť hydraulickej komunikácie lokality s bielickou výverovou oblasťou, alebo hydrogeologickým masívom Tríbeča prichádza do úvahy:
 - **prehlbovanie existujúceho vrtu HGTP-1** na úroveň spodného karbonátového komplexu hronika (stredný trias hronika), ktorý by bol tak spoločný pre vrty FGTz-2 a HGTP-1
 - **realizovanie hlbokého prieskumného / hydrogeotermálneho vrtu** s cieľom identifikovať a overiť rezervoárové prostredie a zdroj geotermálnej energie v strednotriasových karbonátoch nižšej tektonickej jednotky – fatriku; pričom je nevyhnutné pochopiť charakteristické neistoty, ktoré sú s podobnými situáciami (predovšetkým enormný nedostatok údajov z územia) spojené
- **model idealizovaného vertikálneho profilu vrtov** referencovaného na okolie vrtu FGTz-2 Partizánke predpokladá distribúciu stropu rezervoáru v strednotriasových karbonátoch fatrika v hĺbke 1600 – 2200 m s teplotou na strope $T = 56 - 71 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pre konduktívne, stacionárne prostredie, a teplotou $T = 65 - 89 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pre následný hĺbkový krok 500 m v rezervoárovom prostredí; pričom doterajšie výsledky analýz existujúcich vrtov implikujú, že tieto dve rezervoárové prostredia spolu nekomunikujú

- v rámci plánovaného rozvoja produkcie zdrojov geotermálnej energie **dôrazne odporúčame realizovať orientovaný geofyzikálny prieskum, a v rámci hydrodynamických skúšok realizovať ich komplexný a frekvenčne intenzívny monitoring**, ktorý by dokázal zohľadniť a zachytiť možnú dynamiku rezervoárového prostredia vo vzťahu ku blízkej infiltračnej a tranzitnej – zostupovej oblasti, s následným periodickým modelovaním a vyhodnocovaním rezervoárovej odozvy s cieľom **minimalizovať riziká pre dlhodobu udržateľnú rezervoárovú produkciu.**

Aj na základe získaných výsledkov sa domnievame, že **lokalita Partizánske má potenciál pre rozvoj dlhodobej produkcie zdrojov geotermálnej energie pre nízкотеплотné / nízkoenergetické centralizované zásobovanie teplom a je nevyhnutné pokračovať v jej systematickom prieskume, a následne aj monitorovaní s cieľom minimalizovať riziká pre prípadnú dlhodobú udržateľnosť produkcie.**

8 ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- Axelsson, G., Gudmundsson, A., Steingrímsson, B., Palmason, G., Armannsson, H., Tulinius, H., Flovenz, O.G., Björnsson, S., Stéfansson, V., 2001a: Sustainable production of geothermal energy: suggested definition. *International Geothermal Association News Quaterly*, **43** (1), 1-2.
- Bjarnadottir, R., 2010: *Sustainability evaluation of geothermal systems in Iceland. Indicators for sustainable production* [manuskript – Master's Thesis], Reykjavik Energy Graduate School of Sustainable Systems, Reykjavik.
- Bondarenková, Z., Michalič, J., Fendek, M., 1990: *Termálny vrt Bánovce nad Bebravou – hydrodynamická skúška*. manuskript – záverečná správa] IGHP, Žilina, 87 s.
- Brestenská, E., Marková, M., Franko, O., Brestenská, E., Kullmanová, A., 1975: *Záverečná správa o vrte DB-15 Horňany v Bánovskej kotline*. [manuskript – čiastková záverečná správa] ŠGÚDŠ, Bratislava, 200 s.
- Ciriaco, A.E., Zarrouk, J.J., Zakeri, G., 2020: Geothermal resource and reserve assessment methodology: overview, analysis and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **119**, 1-31.
- Čermák, V., Bondarenková, Z., 1984: *Záverečná vrtno-geologická správa o ťažobnom vrte Bánovce nad Bebravou – 1*. [manuskript – záverečná správa] NAFTA, Gbely, 40 s.
- Daniel, J., Fendek, M., Novotný, I., Šefara, J., Grand, T., Lučivjanský, L., Matúš, J., Vika, K., Michalko, J., Král, M., Peruňský, I., 1998: *Popradská kotlina – regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie, vyhladávací hydrogeologický prieskum* [Manuskript – Záverečná správa]. URANPRES, Archív, Geofond, Bratislava, 195 s.
- Fendek, M., Bodiš, D., Havrila, M., Kohút, M., 1985: *Geotermálna energia severovýchodnej časti topolčianskeho zálivu – prognózne zásoby*. [manuskript – čiastková záverečná správa] ŠGÚDŠ, Bratislava, 74 s.
- Fendek, M., Bodiš, D., Havrila, M., Kohút, M., Priechodská, Z., Vozárová, A., Král, M., Jančí, J., Franko, J., 1986: *Správa o výskumnom geotermálnom vrte FGTz-1 Topolčany*. [manuskript – čiastková záverečná správa] ŠGÚDŠ, Bratislava, 327 s.
- Fendek, M., Hanzel, V., Bodiš, D., Nemčok, J., 1992: Hydrogeotermálne pomery Popradskej kotliny. In: *Západné Karpaty – séria Hydrogeológia a inžinierska geológia*, **10**, ŠGÚDŠ, BA, 99-129.
- Fendek, M., Havrila, M., Šimon, L., Hók, J., Žecová, K., Michalko, J., Bajtoš, P., Obernauer, D., Fendeková, M., Ženišová, Z., Král, M., Grand, T., Dzuppa, P., Komon, J., 2004a: *Regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie Hornonitrianskej kotliny* [Manuskript – Záverečná správa]. Geofond, Archív.
- Fendek, M., Remšík, A., Fendeková, M., 2005: Metodika vyhľadávania, hodnotenia a bilancovania množstva geotermálnej vody a geotermálnej energie. *Mineralia Slovaca*, **37** (2), 117-123.

- Franko, O., Gazda, S., 1969: *Základný hydrogeologický výskum termálnych vôd v Malých a Veľkých Bieliciach a v Chalmovej*. manuskript – záverečná správa] ŠGÚDŠ, Bratislava, 236s.
- Franko, O., Fendek, M., Bodiš, D., Havrila, M., Zbořil, L., 1983: *Geologické zhodnotenie topolčianskeho zálivu a Bánovskej kotliny pre výskum geotermálnych zdrojov*. [manuskript – čiastková záverečná správa] ŠGÚDŠ, Bratislava, 93 s.
- Franko O., Remšík, A., Fendek, M., 1995: *Atlas geotermálnej energie Slovenska*. ŠGÚDŠ, Bratislava.
- Fričovský, B., Vizi, L., Marcin, D., Černák, R., Blanárová, V., Ujjobbágyová, Z., Bodiš, D., Benková, K., Pelech, O., Fordinál, K., 2020c: Geothermal energy utilization in Slovakia: First insights from sustainability perspective. *Proceedings World Geothermal Congress 2020+1*, Reykjavik, Iceland, 1-12.
- Fričovský, B., Vizi, L., Marcin, D., Benková, K., Černák, R., Fordinál, K., Bottlík, F., Bahnová, N., 2024: *Analýza možností trvalo udržateľného využitia a využívania zdrojov geotermálnej energie na Slovensku – I. časť*. [manuskript - záverečná správa]. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, nestr.
- Garg, S.K. , Combs, J., 2010: Appropriate use of USGS volumetric “heat in place” method and Monte Carlo simulations. In: *Proceedings 34th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, California, 1-8.
- Garg, S.K., Combs, J., 2011: A reexamination of USGS volumetric Heat In Place method. In: *Proceedings 36th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, CA, 1-5.
- Garg, S.K., Combs, J., 2015: A reformulation of USGS volumetric „heat in place“ resource estimation method. *Geothermics*, **55**, 150-158.
- Grant, M.A., 2014a: Stored-heat assessments: a review in the light of field experience. *Geothermal Energy Science*, **2**, 49-54.
- Grant, M.A., Bixley, P.F., 2011: *Geothermal Reservoir Engineering, 2nd Edition*. Elsevier – Academic Press, Amsterdam, NL, 359.
- Jezný, M., 2013: *Bánovce nad Bebravou – geotermálny vrt BnB-1, zhodnotenie kvality podzemnej vody, hydrogeologický posudok*. [manuskript – záverečná správa] PROGEO, Žilina, 33 s.
- Marcin, D., Benková, K., Fričovský, B., 2016: *Hodnotenie útvarov geotermálnych vôd Slovenska – aktualizácia*. [manuskript - záverečná správa]. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 56 s.
- Marcin, D., Benková, K., Fričovský, B., Bodiš, D., Bottlík, F., Kordík, J., Stríček, I., 2020: *Hodnotenie stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd na území Slovenskej republiky*. [manuskript - záverečná správa]. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 312 s.
- Méryová, E., 2000: *Partizánke – hydrogeotermálny vrt HGTP-1*. [manuskript – záverečná správa] ŠGÚDŠ, Bratislava, 168 s.
- Moeck, I.S., 2014: Catalog of geothermal play types based on geologic controls. *Geothermics*, **37**, 867-882.
- Muffler, L.P.J., Cataldi, R., 1978: Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*, **7 (1)**, 53-89.

Remšík, A., Fendek, M., Mello, J., Král, M., Bodiš, D., Michalko, J., Maďar, D., Vika, K., 1998: *Liptovská kotlina – regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie* [Manuskript – Záverečná správa]. Archív, Geofond, Bratislava, 94 s.

Remšík, A., Polák, M., Fordinál, K., Boorová, D., Vaněková, H., Bajtoš, P., Malík, P., Bodiš, D., Michalko, J., Černák, R., Fendek, M., Džuppa, P., Grand, T., Varga, G., Šefara, J., Král, M., Šivo, A., Peruňský, I., Brichta, R., Ujpál, M., Hodák, Ľ., 2007: *Hydrogeotermálne zhodnotenie Topoľčianskeho zálivu*. [manuskript – záverečná správa] ŠGÚDŠ, Bratislava, 168 s.

Sanyal, S.K., Sarmiento, Z.F., 2005: Booking geothermal energy reserves. *Geothermal Resource Council Transactions*, **29**, 467-474.

White, D. E., Williams, D.L., 1975: *Assessment of geothermal resources of the United States 1975*. U.S. Geological Survey Circular 726, 155 s.

Williams, C.F., Lawless, J.V., Ward, M.A., Holgate, F.L., Larking, A., 2010: A code for geothermal resources and reserves reporting. *Proceedings world geothermal congress 2010*, Bali, Indonesia, 1-7.