

**MINISTERSTVO ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY
ŠTÁTNY GEOLOGICKÝ ÚSTAV DIONÝZA ŠTÚRA**



**HODNOTENIE STAVU GEOTERMÁLNYCH ÚTVAROV
PODZEMNÝCH VÔD NA ÚZEMÍ SLOVENSKEJ REPUBLIKY
GEOLOGICKÁ ŠTÚDIA**

Bratislava júl 2020

Výtlačok č.:

Objednávateľ: Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky,
Nám Ľ. Štúra č. 1, 812 35 Bratislava

Zhotoviteľ: Štátny geologický ústav Dionýza Štúra,
Mlynská dolina 1, 817 04 Bratislava

**HODNOTENIE STAVU GEOTERMÁLNYCH ÚTVAROV
PODZEMNÝCH VÔD NA ÚZEMÍ SLOVENSKEJ REPUBLIKY
GEOLOGICKÁ ŠTÚDIA**

Registračné číslo: 07 19

Zodpovedný riešiteľ: Mgr. Daniel Marcin, PhD.

Spoluriešitelia: RNDr. Katarína Benková
Ing. Branislav Fričovský, M.S., PhD.
RNDr. Dušan Bodiš, CSc.
Mgr. František Bottlík
RNDr. Jozef Kordík, PhD.
RNDr. Igor Stríček, PhD.

Zástupca zhotoviteľa: RNDr. Peter Malík, CSc.

Štatutár zhotoviteľa: RNDr. Igor Slaninka, PhD. - generálny riaditeľ

Dátum vyhodnotenia: 30. júl 2020

Rozdeľovník

MŽP SR, Sekcia vôd

MŽP SR, Sekcia geológie a prírodných zdrojov

ŠGÚDŠ Bratislava

OBSAH

1.	ÚVOD	1
2.	GEOTERMÁLNE ÚTVARY PODZEMNÝCH VÔD NA SLOVENSKU A ICH PROBLEMATIKA	2
2.1	Zásady vymedzenia útvarov podzemných vôd na Slovensku	4
2.2	Spôsob kódovania útvarov podzemných vôd na Slovensku.....	7
2.3	Problematika geotermálnych útvarov podzemných vôd	10
2.3.1	Vymedzenie geotermálnych útvarov podzemných vôd	10
2.3.2	Bilancia využívania geotermálnych vôd	14
2.3.3	Údaje o kvalite vôd geotermálnych útvarov podzemných vôd	18
2.3.3.1	Monitorovanie kvality geotermálnych vôd	18
3.	METODIKA HODNOTENIA KVANTITATÍVNEHO A CHEMICKÉHO STAVU GEOTERMÁLNYCH ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD	21
3.1	Hodnotenie kvantitatívneho stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd.....	21
3.1.1	Bilančné hodnotenie geotermálnych vôd	22
3.1.2	Trend časového vývoja kvantitatívneho stavu	24
3.1.3	Postup hodnotenia kvantitatívneho stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody 25	
3.1.4	Spôľahlivosť hodnotenia kvantitatívneho stavu.....	26
3.2	Hodnotenie chemického stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd	26
3.2.1	Hodnotenie stability chemického zloženia geotermálnych vôd	27
3.2.1.1	Faktory stability chemického zloženia geotermálnych vôd.....	27
3.2.1.2	Popisné a štatistické hodnotenie stability chemického zloženia.....	28
3.2.2	Trend časového vývoja chemického zloženia	30
3.2.3	Postup hodnotenia chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody .	31
3.2.4	Spôľahlivosť hodnotenia chemického stavu	32
3.3	Model trvalo udržateľného využívania zdrojov geotermálneho útvaru.....	32
3.3.1	Koncepcia trvalo udržateľnej rezervoárovej produkcie	33
3.3.2	Bilančný model odhadu trvalo udržateľného využívania zdrojov GTE.....	36
3.3.2.1	USGS objemová (volumetrická) metóda	36
3.3.2.2	Koeficient redukcie R_0	36
3.3.2.3	McKelveyova schéma – pravdepodobnostný model	38
3.3.2.4	Modifikovaný koeficient kapacity zásob	39
3.3.2.5	Vzťah modelu k praktickým aspektom hydrogeotermálneho hodnotenia útvarov, oblastí a štruktúr na Slovensku	41
4.	AKTUALIZÁCIA DATABÁZY GEOTERMÁLNYCH VÔD	43
5.	HODNOTENIE STAVU GEOTERMÁLNYCH ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD...	54

5.1	Útvar SK300010FK - Komárňanská vysoká kryha	54
5.1.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	54
5.1.2	Geotermálna charakteristika útvaru	58
5.1.3	Kvantitatívny stav útvaru	59
5.1.4	Chemický stav útvaru	61
5.1.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd	66
5.2	Útvar SK300020FK - Komárňanská okrajová kryha	68
5.2.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	68
5.2.2	Geotermálna charakteristika útvaru	69
5.2.3	Kvantitatívny stav útvaru	69
5.2.4	Chemický stav útvaru	69
5.2.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd	69
5.3	Útvar SK300030FK - Viedenská panva	70
5.3.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	70
5.3.2	Geotermálna charakteristika útvaru	73
5.3.3	Kvantitatívny stav útvaru	73
5.3.4	Chemický stav útvaru	74
5.3.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd	74
5.4	Útvar SK300040FK - Trnavský záliv	75
5.4.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	75
5.4.2	Geotermálna charakteristika útvaru	76
5.4.3	Kvantitatívny stav útvaru	76
5.4.4	Chemický stav útvaru	77
5.4.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd	77
5.5	Útvar SK300050FK - Piešťanský záliv	77
5.5.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	77
5.5.2	Geotermálna charakteristika útvaru	80
5.5.3	Kvantitatívny stav útvaru	80
5.5.4	Chemický stav útvaru	81
5.5.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd	87
5.6	Útvar SK300060FK - Trenčianska kotlina	88
5.6.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	88
5.6.2	Geotermálna charakteristika útvaru	88
5.6.3	Kvantitatívny stav útvaru	89
5.6.4	Chemický stav útvaru	89
5.6.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd	89
5.7	Útvar SK300070FK - Ilavská kotlina	90

5.7.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	90
5.7.2	Geotermálna charakteristika útvaru	91
5.7.3	Kvantitatívny stav útvaru	91
5.7.4	Chemický stav útvaru	92
5.7.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	98
5.8	Útvar SK300080FK - Žilinská kotlina	98
5.8.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	98
5.8.2	Geotermálna charakteristika útvaru	100
5.8.3	Kvantitatívny stav útvaru	100
5.8.4	Chemický stav útvaru.....	101
5.8.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	106
5.9	Útvar SK300090FK - Bánovská kotlina.....	106
5.9.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	106
5.9.2	Geotermálna charakteristika útvaru	108
5.9.3	Kvantitatívny stav útvaru	109
5.9.4	Chemický stav útvaru.....	109
5.9.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	110
5.10	Útvar SK300100FK - Hornonitrianska kotlina.....	111
5.10.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	111
5.10.2	Geotermálna charakteristika útvaru	114
5.10.3	Kvantitatívny stav útvaru	114
5.10.4	Chemický stav útvaru.....	116
5.10.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	123
5.11	Útvar SK300110FK - Turčianska kotlina	124
5.11.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	124
5.11.2	Geotermálna charakteristika útvaru	124
5.11.3	Kvantitatívny stav útvaru	125
5.11.4	Chemický stav útvaru.....	127
5.11.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	134
5.12	Útvar SK300120FK - Skorušinská panva.....	134
5.12.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	134
5.12.2	Geotermálna charakteristika útvaru	137
5.12.3	Kvantitatívny stav útvaru	137
5.12.4	Chemický stav útvaru.....	137
5.12.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	138
5.13	Útvar SK300130FK - Liptovská kotlina.....	139
5.13.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	139

5.13.2	Geotermálna charakteristika útvaru	141
5.13.3	Kvantitatívny stav útvaru	142
5.13.4	Chemický stav útvaru.....	143
5.13.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	144
5.14	Útvar SK300140FK - Levočská panva, západná a južná časť.....	149
5.14.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	149
5.14.2	Geotermálna charakteristika útvaru	152
5.14.3	Kvantitatívny stav útvaru	153
5.14.4	Chemický stav útvaru.....	155
5.14.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	160
5.15	Útvar SK300150FK - Levočská panva – severovýchodná časť	161
5.15.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	161
5.15.2	Geotermálna charakteristika útvaru	162
5.15.3	Kvantitatívny stav útvaru	162
5.15.4	Chemický stav útvaru.....	162
5.15.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	162
5.16	Útvar SK300160FK - Humenský chrbát.....	163
5.16.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	163
5.16.2	Geotermálna charakteristika útvaru	165
5.16.3	Kvantitatívny stav útvaru	165
5.16.4	Chemický stav útvaru.....	166
5.16.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	166
5.17	Útvar SK300170FK - Košická kotlina.....	168
5.17.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	168
5.17.2	Geotermálna charakteristika útvaru	171
5.17.3	Kvantitatívny stav útvaru	171
5.17.4	Chemický stav útvaru.....	171
5.17.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	172
5.18	ÚTVAR SK300180FK - Komjatická depresia	172
5.18.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	172
5.18.2	Geotermálna charakteristika útvaru	174
5.18.3	Kvantitatívny stav útvaru	174
5.18.4	Chemický stav útvaru.....	174
5.18.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	174
5.19	Útvar SK300190FK – Žiarska kotlina	175
5.19.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	175
5.19.2	Geotermálna charakteristika útvaru	177

5.19.3	Kvantitatívny stav útvaru	177
5.19.4	Chemický stav útvaru	179
5.19.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd	179
5.20	Útvar SK300200FK - Bátovská a rykynčická depresia	183
5.20.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	183
5.20.2	Geotermálna charakteristika útvaru	185
5.20.3	Kvantitatívny stav útvaru	185
5.20.4	Chemický stav útvaru	185
5.20.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd	186
5.21	Útvar SK300210FK - Levická kryha	186
5.21.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	186
5.21.2	Geotermálna charakteristika útvaru	188
5.21.3	Kvantitatívny stav útvaru	188
5.21.4	Chemický stav útvaru	189
5.21.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd	189
5.22	Útvar SK300220FK - Rimavská kotlina	190
5.22.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	190
5.22.2	Geotermálna charakteristika útvaru	191
5.22.3	Kvantitatívny stav útvaru	192
5.22.4	Chemický stav útvaru	192
5.22.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd	193
5.23	Útvar SK300230FP - Trebišovská panva	194
5.23.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	194
5.23.2	Geotermálna charakteristika útvaru	195
5.23.3	Kvantitatívny stav útvaru	195
5.23.4	Chemický stav útvaru	195
5.23.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd	195
5.24	Útvar SK300240PF - Centrálna depresia podunajskej panvy	196
5.24.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	196
5.24.2	Geotermálna charakteristika útvaru	199
5.24.3	Kvantitatívny stav útvaru	200
5.24.4	Chemický stav útvaru	201
5.24.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd	202
5.25	Útvar SK300250PF - Dubnícka depresia	203
5.25.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	203
5.25.2	Geotermálna charakteristika útvaru	204
5.25.3	Kvantitatívny stav útvaru	204

5.25.4	Chemický stav útvaru.....	204
5.25.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	204
5.26	Útvar SK3002600P - Hornostrehársko-trenčská prepadlina	205
5.26.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	205
5.26.2	Geotermálna charakteristika útvaru	206
5.26.3	Kvantitatívny stav útvaru	207
5.26.4	Chemický stav útvaru.....	208
5.26.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	208
5.27	Útvar SK30027FKP - Lučenecká kotlina	209
5.27.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	209
5.27.2	Geotermálna charakteristika útvaru	210
5.27.3	Kvantitatívny stav útvaru	210
5.27.4	Chemický stav útvaru.....	210
5.27.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	210
5.28	Útvar SK30028FKP – Turovsko – levická hrast'.....	212
5.28.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	212
5.28.2	Geotermálna charakteristika útvaru	212
5.28.3	Kvantitatívny stav využívania útvaru.....	213
5.28.4	Chemický stav útvaru.....	214
5.28.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	218
5.29	Útvar SK300290FK - Zvolenská kotlina	218
5.29.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	218
5.29.2	Geotermálna charakteristika útvaru	220
5.29.3	Kvantitatívny stav využívania útvaru.....	220
5.29.4	Chemický stav geotermálneho útvaru	221
5.29.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	228
5.30	Útvar SK300300FP- Podbeskydská brázda	228
5.30.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	228
5.30.2	Geotermálna charakteristika útvaru	229
5.30.3	Kvantitatívny stav využívania útvaru.....	230
5.30.4	Chemický stav geotermálneho útvaru	230
5.30.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	230
5.31	Útvar SK300310FP- Moldavská kotlina.....	231
5.31.1	Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru	231
5.31.2	Geotermálna charakteristika útvaru	232
5.31.3	Kvantitatívny stav využívania útvaru.....	232
5.31.4	Chemický stav geotermálneho útvaru	232

5.31.5	Množstvá geotermálnej energie a vôd.....	232
6.	SÚHRN HODNOTENIA GEOTERMÁLNYCH ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD	234
6.1	Kvantitatívny stav geotermálnych útvarov podzemných vôd	234
6.2	Stabilita chemického zloženia geotermálnych vôd	241
6.3	Energetická bilancia geotermálnych útvarov podzemných vôd	249
6.3.1	Pravdepodobnostný model McKelveyovej schémy	249
6.3.1.1	Špecifikácia lokálneho odhadu koeficientu redukcie R_0	249
6.3.1.2	Model odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie.....	251
6.3.2	Model odhadu udržateľného potenciálu zdrojov geotermálnej energie	259
6.3.2.1	Udržateľná energetická kapacita útvarov geotermálnych vôd.....	259
6.3.2.2	Udržateľnosť aktuálnej produkcie zdrojov geotermálnej energie.....	263
6.3.2.3	Udržateľnosť aktuálnej maximálnej produkcie geotermálnej energie	264
6.3.2.4	Udržateľnosť rozvoja produkcie zdrojov geotermálnej energie v ÚGV... ..	266
6.3.3	Charakteristika útvarov geotermálnych vôd vo vzťahu ku modelu trvalo udržateľného využívania zdrojov GTE	275
7.	EKONOMICKÝ PRÍNOS RIEŠENIA GEOLOGICKEJ ŠTÚDIE	279
8.	ZÁVERY A ODPORÚČANIA	281
9.	LITERATÚRA A POUŽITÉ ZDROJE.....	284

ZOZNAM TEXTOVÝCH PRÍLOH

- Príloha č. 1: Základné údaje o geotermálnych zdrojoch v útvaroch geotermálnych vôd Slovenska
- Príloha č. 2: Vybrané parametre o využívaní geotermálnych zdrojov v útvaroch geotermálnych vôd Slovenska
- Príloha č. 3: Štatistický prehľad základných údajov z geotermálnych zdrojov v jednotlivých útvaroch geotermálnych vôd Slovenska
- Príloha č. 4: Prehľad povolených množstiev geotermálnych vôd na odber a schválených využiteľných množstiev geotermálnych vôd v kategórii A, B a C v útvaroch geotermálnych vôd Slovenska
- Príloha č. 5: Porovnanie schválených využiteľných množstiev geotermálnych vôd v kategórii A, B a C a schválených prírodných množstiev geotermálnych vôd v útvaroch geotermálnych vôd Slovenska
- Príloha č. 6: Odobrané množstvá geotermálnych vôd z jednotlivých zdrojov v útvaroch geotermálnych vôd Slovenska za obdobie rokov 2011 – 2017 podľa nahlásených údajov na SHMÚ
- Príloha č. 7: Porovnanie odobraných množstiev geotermálnych vôd ($\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$) z jednotlivých zdrojov v útvaroch geotermálnych vôd Slovenska za obdobie rokov 2011–2015 a 2016–2017 podľa nahlásených údajov na SHMÚ
- Príloha č. 8: Porovnanie odobraných množstiev geotermálnych vôd ($\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$) z jednotlivých zdrojov v útvaroch geotermálnych vôd Slovenska za obdobie rokov 2011–2015 a 2016–2017 podľa nahlásených údajov na SHMÚ
- Príloha č. 9: Porovnanie povolených množstiev vodoprávnym orgánom, schválených množstiev komisiou MŽP a odobraných množstiev geotermálnych vôd podľa údajov SHMÚ z jednotlivých útvarov geotermálnych vôd Slovenska v roku 2015, 2016 a 2017
- Príloha č. 10: Prehľad využívaných množstiev geotermálnych vôd a počtu využívaných zdrojov v jednotlivých útvaroch geotermálnych vôd Slovenska v období 2011 – 2017
- Príloha č. 11: Prehľad využívaných množstiev geotermálnych vôd a počtu využívaných zdrojov v kúpeľoch Slovenska v období 2015 - 2017
- Príloha č. 12: Bilančný stav využívania geotermálnych vôd z jednotlivých zdrojov a útvarov geotermálnych vôd Slovenska v období 2015 – 2017

ZOZNAM MAPOVÝCH PRÍLOH

Príloha č. 1M: Geotermálne útvary podzemných vôd SR so zdrojmi geotermálnych vôd

Príloha č. 2M: Geotermálne útvary podzemných vôd SR so zdrojmi geotermálnych vôd –
detail západné Slovensko

Príloha č. 3M: Geotermálne útvary podzemných vôd SR so zdrojmi geotermálnych vôd –
detail stredné Slovensko

Príloha č. 4M: Geotermálne útvary podzemných vôd SR so zdrojmi geotermálnych vôd –
detail východné Slovensko

Príloha č. 5M: Geotermálne útvary podzemných vôd SR a hustota povrchového tepelného
toku

Príloha č. 6M: Kvantitatívny stav geotermálnych útvarov podzemných vôd SR 2015 - 2017

Príloha č. 7M: Chemický stav geotermálnych útvarov podzemných vôd SR 2015 - 2017

Príloha č. 8M: Geotermálne zdroje s kritickým a havarijným stavom v roku 2015

Príloha č. 9M: Geotermálne zdroje s kritickým a havarijným stavom v roku 2016

Príloha č. 10M: Geotermálne zdroje s kritickým a havarijným stavom v roku 2017

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 2.3.1.1 Geotermálne útvary podzemných vôd Slovenska v roku 2011 a 2019 (Marcin podľa podkladov Remšík et al., 2011)	11
Obr. 3.3.1.1 Koncepcia trvalo udržateľnej rezervoárovej produkcie (upravil Fričovský et al. 2017 podľa: Axelsson et al. 2001)	34
Obr. 3.3.2.3.1 Pravdepodobnostný model McKelveyovej schémy. Upravené podľa: Sanyal – Sarmiento (2005); Garg – Combs (2010, 2011, 2015); Grant (2014).....	38
Obr. 4.1 List „Info“ – identifikačné údaje zdroja geotermálnej vody, sumárne údaje o využívaní a likvidácii geotermálnej vody	44
Obr. 4.2 List „Vlastník“ – vlastnícke vzťahy	44
Obr. 4.3 List „Vrtanie“ – vrtaný profil vrtu.....	45
Obr. 4.4 List „Geologický profil“ – geologický profil vrtu.....	45
Obr. 4.5 List „Paženie“ – technický profil vrtu - paženie	46
Obr. 4.6 List „Cementácia“ – technický profil vrtu: cementácia	46
Obr. 4.7 List „Perforácia“ – technický profil vrtu: perforácia.....	47
Obr. 4.8 List „Intervaly“ – hydrogeologické údaje: odskúšané intervaly vrtu.....	47
Obr. 4.9 List „Úseky“ – hydrogeologické údaje: odskúšané úseky v rámci intervalov vrtu	48
Obr. 4.10 List „Karotáž“ – karotážne merania	48
Obr. 4.11 List „Skúška“ – hydrogeologické údaje: hydrodynamické skúšky	49
Obr. 4.12 List „Reometria“ – hydrogeologické údaje: rozloženie prítokov v odskúšanom intervale vrtu	49
Obr. 4.13 List „Analýza“ – Fyzikálno-chemické, izotopové zloženie, rádiologické analýzy geotermálnej vody, obsah a zloženie plynov	50
Obr. 4.14 List „Geotermický gradient“ – merania teploty (geotermický gradient)	50
Obr. 4.15 List „Využitie“ – využitie geotermálnej vody.....	51
Obr. 4.16 List „Právne“ – legislatívno-právne náležitosti.....	51
Obr. 4.17 Zobrazenie parametrov s príslušnými jednotkami na liste „Analýza“ a „karotáž“	52
Obr. 5.1.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300010FK a zdroje geotermálnej vody.....	55
Obr. 5.1.1.2 Prehľad odberov podzemných vôd na lokalitách v Maďarsku pre odvodnenie baní.....	56
Obr. 5.1.1.3 Geotermálne vody komárňanskej kryhy - klasifikačný diagram (Dzúrik a Roháčiková, 1995).....	57
Obr. 5.1.2.1 Hustota tepelného toku v západnej časti Slovenska (Marcin podľa Franko et al., 1995).....	58
Obr. 5.1.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) komárňanskej vysokej kryhy	59
Obr. 5.1.3.2 Vývoj tlaku na ústí vrtu FGKr-1 Kravany n. Dunajom.....	60
Obr. 5.1.3.3 Vývoj hladiny a teploty podzemnej vody vo vrte VN134-1 za obdobie 11/2017-11/2019	61
Obr. 5.1.4.1 Vývoj ukazovateľov na vrte FGKr-1 Kravany n. Dunajom.....	62
Obr. 5.1.4.4 Vývoj ukazovateľov na vrte VŠE Virt	65
Obr. 5.3.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300030FK a zdroje geotermálnej vody.....	72
Obr. 5.4.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300040FK a zdroje geotermálnej vody	76
Obr. 5.5.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300050FK a zdroje geotermálnej vody	78

Obr. 5.5.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) piešťanskeho zálivu	81
Obr. 5.5.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu VLU-3	82
Obr. 5.5.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-4A Hynie.....	83
Obr. 5.5.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-4A Hynie – len roky 2016 až 2019	84
Obr. 5.5.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-5 Trajan.....	85
Obr. 5.5.4.5 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-8 Torkoš	86
Obr. 5.5.4.5 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-8 Torkoš – len roky 2016 až 2019	87
Obr. 5.7.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300070FK a zdroje geotermálnej vody	91
Obr. 5.7.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu P-1 Príma.....	94
Obr. 5.7.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu TT-2 Tomáš.....	95
Obr. 5.7.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-2 Sina I.....	96
Obr. 5.7.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-3 Sina II.....	97
Obr. 5.7.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Ilavskej kotliny	93
Obr. 5.8.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300080FK a zdroje geotermálnej vody	99
Obr. 5.8.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu B-2 Ženský bazén II (Čestmír VIII).....	102
Obr. 5.8.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu B-2 Ženský bazén II (Čestmír VIII) – len roky 2016 až 2019	103
Obr. 5.8.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BJ-22 Kúpeľný.....	104
Obr. 5.8.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BJ-22 Kúpeľný – len roky 2016 až 2019	105
Obr. 5.8.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Žilinskej kotliny.....	101
Obr. 5.9.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300090FK a zdroje geotermálnej vody	108
Obr. 5.9.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Bánovskej kotliny	110
Obr. 5.10.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300100FK a zdroje geotermálnej vody	113
Obr. 5.10.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Hornonitrianskej kotliny.....	115
Obr. 5.10.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BR-1/1 Jesenius II	117
Obr. 5.10.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BR-1/1 Jesenius II – len roky 2015 až 2018	118
Obr. 5.10.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BR-2/2 Jazero.....	119
Obr. 5.10.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BR-2/2 Jazero – len roky 2015 až 2018	120
Obr. 5.10.4.5 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu Z-2 Starý prameň .	121
Obr. 5.10.4.6 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu Z-2 Starý prameň – len roky 2015 až 2018	122
Obr. 5.11.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300110FK a zdroje geotermálnej vody	125
Obr. 5.11.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Turčianskej kotliny	126
Obr. 5.11.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu B-2 Kollár	128
Obr. 5.11.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu B-2 Kollár – len roky 2014 až 2018	129
Obr. 5.11.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu TJ-3 Živena	130
Obr. 5.11.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu TJ-3 Živena – len roky 2014 až 2018	131

Obr. 5.11.4.5 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Modrý bazén	132
Obr. 5.11.4.5 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Modrý bazén – len roky 2013 až 2017	133
Obr. 5.12.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300120FK a zdroje geotermálnej vody	136
Obr. 5.12.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Skorušinskej kotliny	138
Obr. 5.13.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Liptovskej kotliny	143
Obr. 5.13.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BJ-101 Valentína..	145
Obr. 5.13.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BJ-101 Valentína – len roky 2016 až 2019	146
Obr. 5.13.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu HGL-3	147
Obr. 5.13.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu HGL-3 3 – len roky 2016 až 2019	148
Obr. 5.14.1.1 Vymedzenie geotermálnych útvarov podzemnej vody SK300140FK, SK300150FK a zdroje geotermálnej vody	151
Obr. 5.14.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Izabella	156
Obr. 5.14.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Izabella – len roky 2016 až 2019	157
Obr. 5.14.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode VR-2 Pri pošte	158
Obr. 5.14.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode VR-2 Pri pošte – len roky 2016 až 2019	159
Obr. 5.14.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) levočskej panvy - západná a južná časť..	154
Obr. 5.16.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300160FK a zdroje geotermálnej vody	164
Obr. 5.14.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) humenského chrbta	166
Obr. 5.17.1.1 Vymedzenie geotermálnych útvarov podzemnej vody SK300170FK, SK300310FP a zdroje geotermálnej vody	169
Obr. 5.18.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300180FK a zdroje geotermálnej vody	173
Obr. 5.19.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300190FK a zdroje geotermálnej vody	176
Obr. 5.19.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Banský	180
Obr. 5.19.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu ST-1 Zipser	181
Obr. 5.19.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu ST-2 Born.....	182
Obr. 5.19.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Žiarskej kotliny	178
Obr. 5.20.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300200FK a zdroje geotermálnej vody	184
Obr. 5.21.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300210FK a zdroje geotermálnej vody	187
Obr. 5.21.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) levicekej kryhy	188
Obr. 5.22.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300220FK a zdroje geotermálnej vody	191
Obr. 5.22.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Rimavskej kotliny	192
Obr. 5.24.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) centrálnej depresie podunajskej panvy ...	201
Obr. 5.25.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300250PF a zdroje geotermálnej vody	203
Obr. 5.26.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) hornostrehárske-trenčskej prepadliny	207
Obr. 5.27.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Lučeneckej kotliny	211
Obr. 5.28.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu S-3 Kúpeľný v Dudinciach	215

Obr. 5.28.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu S-3 Kúpeľný v Dudinciach – len roky 2016 až 2019.....	216
Obr. 5.28.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu B-3A v Santovke..	217
Obr. 5.28.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) turovsko-levickej hraste.....	214
Obr. 5.29.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300290FK a zdroje geotermálnej vody	219
Obr. 5.29.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Zvolenskej kotliny	221
Obr. 5.29.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu I.A Kúpeľný na Sliači	222
Obr. 5.29.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu I.A Kúpeľný na Sliači – len roky 2016 až 2019	223
Obr. 5.29.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Lenkey na Sliači	224
Obr. 5.29.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Lenkey na Sliači – len roky 2016 až 2019	225
Obr. 5.29.4.5 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu K-2 v Kováčovej ..	226
Obr. 5.29.4.6 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu K-2 v Kováčovej – len roky 2016 až 2019	227
Obr. 5.30.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300300FP a zdroje geotermálnej vody	229
Obr. 5.31.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300310FP a zdroje geotermálnej vody	231
Obr. 6.3.1.1.1 Distribúcia odhadu koeficientu redukcie R_0 v lokálne-špecifikovaných podmienkach útvarov geotermálnych vôd na Slovensku. Hnedá – útvary bez reinjektáže, zelená – útvary s uvažovanou reinjektážou.	250
Obr. 6.3.1.2.1 Odhad celkových zásob geotermálnej energie v útvaroch geotermálnych vôd v pravdepodobnostnom modeli (logaritmickej škála).	252
Obr. 6.3.1.2.2 Odhad celkových zásob geotermálnej energie v útvaroch geotermálnych vôd v pravdepodobnostnom modeli (lineárna škála).	253
Obr. 6.3.1.2.3 Krivky distribúcie odhadu H_0/t_{prod} v pravdepodobnostnom modeli McKelveyovej schémy ÚGV	254
Obr. 6.3.1.2.4 Odhad pravdepodobných zásob geotermálnej energie a podiel R_{pb} v celkových množstvách pravdepodobných zásob v jednotlivých útvaroch geotermálnych vôd	255
Obr. 6.3.1.2.5 Distribúcia odhadu pravdepodobných zásob geotermálnej energie v útvaroch geotermálnych vôd	255
Obr. 6.3.1.2.6 Vzťah vrtmi identifikovaných a modelom odhadovaných overených zásob geotermálnej energie	256
Obr. 6.3.1.2.7 Vzťah vrtmi identifikovaných a modelom odhadovaných overených zásob geotermálnej energie	257
Obr. 6.3.1.2.8 Vzťah medzi modelovým energetickým potenciálom a modelom energetického potenciálu na hladine spoľahlivosti 50 %..	257
Obr. 6.3.1.2.9 Pravdepodobnostný model odhadu geotermálnej energie v útvaroch geotermálnych vôd na Slovensku.....	258
Obr. 6.3.2.1.1 Odhad maximálneho udržateľného výkonu útvarov geotermálnych vôd na Slovensku.	260
Obr. 6.3.2.1.2 Porovnanie odhadu trvalo udržateľného potenciálu zdrojov GTE a celkového tepelno-energetického potenciálu zdrojov GTE na Slovensku	261
Obr. 6.3.2.1.3 Modelový odhad trvalo udržateľnej kapacity zdrojov geotermálnej energie v závislosti na bilančnej dobe hodnotenia.....	262
Obr. 6.3.2.1.4 Perspektíva útvarov na overenie zdrojov GTE.....	262

Obr. 6.3.2.2.1 Koeficient kapacity zásob $r_{cap(U)}$ – hodnotenie udržateľnosti aktuálnej produkcie útvarov geotermálnych vôd	264
Obr. 6.3.2.3.1 Odhad distribúcie koeficientu kapacity zásob pre udržateľnú produkciu pri inštalovanom výkone $r_{cap(U^*)}$	265
Obr. 6.3.2.4.1 Odhad distribúcie koeficientu udržateľnosti rozvoja produkcie GTE pri aktuálnom výkone $r_{cap(S)}$	267
Obr. 6.3.2.4.2 Vzťah $r_{cap(S)}$ a pomeru aktuálneho výkonu k udržateľnej kapacite ÚGV (vľavo); distribúcia udržateľného tepelného výkonu v modeli aktuálnej produkcie (vpravo)	268
Obr. 6.3.2.4.3 Model udržateľnosti rozvoja aktuálnej produkcie geotermálnej energie – podiel aktuálneho výkonu (P_{th}) a potenciálneho výkonu pre rozvoj produkcie $P_{th(D)}$	269
Obr. 6.3.2.4.4 Model udržateľnosti rozvoja aktuálnej produkcie geotermálnej energie – relatívny podiel aktuálneho výkonu (P_{th}) a potenciálneho výkonu pre rozvoj produkcie $P_{th(D)}$	270
Obr. . 6.3.2.4.5 Odhad distribúcie koeficientu udržateľnosti rozvoja produkcie GTE pri aktuálnom inštalovanom výkone $r_{cap(S^*)}$	271
Obr. . 6.3.2.4.6 Vzťah $r_{cap(S^*)}$ a pomeru inštalovaného výkonu k udržateľnej kapacite ÚGV (vľavo) - distribúcia udržateľného tepelného výkonu v modeli inštalovaného výkonu (vpravo).	272
Obr. 6.3.2.4.7 Model udržateľnosti rozvoja produkcie geotermálnej energie v prípade inštalovaného výkonu – podiel inštalovaného výkonu ($P_{th,inst}$) a potenciálneho výkonu pre rozvoj produkcie $P_{th(D^*)}$	273
Obr. 6.3.2.4.8 Model udržateľnosti rozvoja inštalovaného výkonu v produkcii geotermálnej energie – relatívny podiel inštalovaného výkonu ($P_{th,inst}$) a potenciálneho výkonu pre rozvoj produkcie $P_{th(D^*)}$	274

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 2.1.1 Perspektívne geotermálne oblasti geotermálnych vôd na Slovensku do roku 2007 – identifikácia a označenie	6
Tab. 2.2.1 Zoznam útvarov geotermálnych vôd Slovenskej republiky –NV č. 282/2010 Z. z.	8
Tab. 2.2.2 Zoznam útvarov geotermálnych vôd Slovenskej republiky - NV č. 452/2020	9
Tab. 2.3.1.1 Prehľad útvarov geotermálnych vôd Slovenska a stav ich zhodnotenia k 31.12.2017	13
Tab. 2.3.2.1 Rozšírenie geotermálnych vôd v útvaroch geotermálnych vôd Slovenska podľa teploty (doplnil Marcin podľa Remšík et al., 2011)	15
Tab. 2.3.2.2 Tepelno-energetický potenciál geotermálnej energie v geotermálnych útvaroch podzemných vôd Slovenska (Remšík et al., 2011)	16
Tab. 3.1.3 Spôsob hodnotenia kvantitatívneho stavu geotermálneho útvaru PzV	25
Tab. 3.2.3 Spôsob hodnotenia chemického stavu geotermálneho útvaru PzV	31
Tab. 3.3.2.3.1 Bilancovanie McKelveyovej schémy na základe pravdepodobnostného modelu a IDF distribúcie odhadu H0 respektíve HT. Upravené podľa: Sanyal – Sarmiento (2005), Grant (2014); Fričovský et al. (2019)	39
Tab. 3.3.2.4.1 Modifikovaná klasifikačná schéma udržateľnosti aktuálnej produkcie	41
Tab. 3.3.2.4.2 Modifikovaná klasifikačná schéma udržateľnosti inštalovaného výkonu....	41
Tab. 3.3.2.4.3 Modifikovaná klasifikačná schéma udržateľnosti rozvoja aktuálnej produkcie.....	41
Tab. 3.3.2.4.4 Modifikovaná klasifikačná schéma udržateľnosti rozvoja inštalovaného výkonu.....	41
Tab. 4.1 Počet geotermálnych vrtov realizovaných v geotermálnych útvaroch za obdobie rokov 2000-2010 a 2011-2017	53
Tab. 6.1.1 Kvantitatívny stav geotermálnych útvarov podzemných vôd SR	238
Tab. 6.1.2 Zoznam zdrojov v kritickom alebo havarijnom stave v období rokov 2015, 2016 a 2017	240
Tab. 6.2.1 Chemický stav geotermálnych útvarov podzemných vôd SR.....	242
Tab. 6.3.3.1 Klasifikácia útvarov geotermálnych vôd podľa perspektívnosti udržateľnej produkcie zdrojov geotermálnej energie a jej ďalšieho rozvoja	276
Tab. 6.3.3.2 Charakteristika útvarov geotermálnych vôd vo vzťahu ku modelu trvalo udržateľného využívania zdrojov GTE	278
Tab. 7.1 Čerpanie rozpočtu geologickej štúdie	280

1. ÚVOD

Štátny geologický ústav Dionýza Štúra (ŠGÚDŠ) v zmysle zákona č. 569/2007 zaradil do plánu hlavných úloh na rok 2019 geologickú úlohu č. 07 19 s názvom „Hodnotenie stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd na území Slovenskej republiky“, ktorej výsledky budú spracované formou geologickej štúdie.

Výstupom geologickej úlohy je dokument spracovaný v súlade s „Koncepciou geologického výskumu a prieskumu územia Slovenskej republiky za roky, ktorá bola 29. novembra 2017 schválená uznesením vlády SR č. 549/2017.

Geologická úloha vyplývala z platného zákona č. 364/2004, § 3, 4, 6 – spracovanie evidencie a hodnotenia stavu geotermálnych vôd, ako súčasti podzemných vôd Slovenska a uznesenia vlády č. 46/2004 k stratégii pre implementáciu Rámcovej smernice o vode v SR, v ktorom vláda uložila ministrovi životného prostredia, pôdohospodárstva, zdravotníctva, dopravy, pôšt a telekomunikácií vytvoriť podmienky vo svojich rezortoch a zabezpečiť plnenie úloh v zmysle stratégie pre implementáciu Rámcovej smernice o vode v SR.

Riešenie geologickej úlohy bolo zamerané na aktualizáciu vymedzenia geotermálnych útvarov, databázy vrtov geotermálnych vôd vrátane ich využívania, ako aj hodnotenie útvarov geotermálnych vôd Slovenska na základe údajov o odoberaných množstvách geotermálnych vôd, ktoré boli získané z SHMÚ Bratislava za obdobie rokov 2011 - 2017, ktoré eviduje nahlasované údaje od jednotlivých odberateľov geotermálnych vôd. Spracované boli podklady pre formovanie metodík na hodnotenie kvantitatívneho a chemického stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd. V rámci charakteristiky jednotlivých geotermálnych útvarov boli doplnené údaje o množstvách geotermálnej energie a vôd. Pre hodnotenie geotermálnych útvarov Slovenska bol spracovaný model trvalo udržateľného využívania zdrojov geotermálnej energie, cez ktorý sa hodnotilo využívanie geotermálnych vôd na základe rovnakých kritérií.

2. GEOTERMÁLNE ÚTVARY PODZEMNÝCH VÔD NA SLOVENSKU A ICH PROBLEMATIKA

V decembri 2000 vstúpila do platnosti Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a Rady (ďalej "RSV"), vydaná 23. októbra 2000, ktorá ustanovuje rámec pre činnosť Spoločenstva, týkajúceho sa politiky v oblasti vôd. Ustanovením smernice sa vytvára nadnárodný prístup v oblasti ochrany vôd a dochádza k výraznému posilneniu environmentálneho pohľadu v procese ich ochrany. Pre členské štáty EÚ, vrátane Slovenska, tak vzniká povinnosť v súlade s RSV postupne transponovať tieto legislatívne prístupy do národných hodnotení vôd a do ochrany vôd. Pre naplnenie týchto cieľov sa od členských a asociovaných štátov očakávalo v stanovenom časovom harmonograme vykonať v oblasti podzemných vôd:

- vymedzenie útvarov podzemných vôd,
- charakterizáciu útvarov podzemných vôd (geologickú, hydrogeologickú) a určenie vplyvov (tlakov), ktorými sú tieto útvary vystavené (zhodnotenie potenciálnych bodových a difúzných zdrojov znečistenia, odberov podzemných vôd), zhodnotenie nadložných vrstiev, z ktorých sa útvar podzemných vôd dopĺňa vrátane charakteristiky povrchových sedimentov a pôd, ako aj stanovenie terestrických ekosystémov závislých od podzemných vôd a suchozemských ekosystémov,
- určenie kvantitatívneho a kvalitatívneho stavu podzemných vôd,
- určenie „rizikových útvarov podzemných vôd" s ohľadom na dosiahnutie ich dobrého kvantitatívneho a kvalitatívneho stavu.

Základným prvkom hodnotenia vôd v súlade s RSV sa teda stáva hodnotenie stavu podzemných vôd. Tomu však muselo predchádzať určenie útvarov podzemných vôd - územných jednotiek, pre ktoré je možné vypracovať charakterizáciu vôd, vyhodnotiť ich stav a porovnať ich s požadovanými environmentálnymi cieľmi. Navyše vymedzené útvary vôd museli spĺňať i ďalšie kritérium, ktoré stanovuje, že nápravné opatrenia uskutočnené vo vnútri vymedzenej územnej jednotky, útvaru podzemnej vody, zabezpečia zvrátenie prípadného nepriaznivého stavu vôd vo vnútri útvaru. V súlade s RSV a nadväznými usmerneniami EÚ pre vymedzovanie útvarov podzemných vôd (Horizontálne usmernenie ES) bolo nevyhnutné pri tomto procese vychádzať z nasledovných požiadaviek:

- útvar podzemnej vody je vymedziteľný objem podzemnej vody vo zvodnenci,

- je nevyhnutné vymedziť všetky vodné útvary podzemných vôd, ktoré poskytujú alebo sa u nich počíta s odberom väčším ako $10 \text{ m}^3 \cdot \text{deň}^{-1}$ (t. j. $0,116 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$), resp. zásobujú viac ako 50 osôb,
- samostatne je nutné vymedziť vodné útvary podzemných vôd, ktoré presahujú hranice štátov,
- útvary podzemných vôd je nutné priradiť k oblastiam povodí, pretože práve oblasti povodí sa stávajú hlavným prvkom pri spracovávaní národných dokumentov – plánov povodí,
- útvary podzemných vôd by mali byť vymedzované na podklade geologických a hydrogeologických pomerov a hydraulických hraníc, nie je to však absolútne nevyhnutnou podmienkou,
- pri vymedzovaní útvarov podzemných vôd musí byť zohľadnený kvalitatívny aspekt podzemnej vody, ako aj jeho významné rozdielnosti.

2.1 ZÁSADY VYMEDZENIA ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD NA SLOVENSKU

S ohľadom na dlhodobé skúsenosti a informačnú databázu v oblasti hodnotenia podzemných vôd na Slovensku od roku 1974, budovaných v rámci hydrogeologickej rajonizácie SR (Šuba et al., 1984, v zmysle neskorších úprav z r. 1995) vychádzal proces vymedzenia útvarov podzemných vôd z národných špecifik. Takýto prístup však zároveň umožňuje jednoduchšie zabezpečiť hodnotenia požadované RSV, a to i napriek tomu, že pri porovnaní požiadaviek na vymedzenie útvarov podzemných vôd a cieľov: ktoré podmienili vznik hydrogeologickej rajonizácie Slovenska existujú značné rozdiely. Z tohoto dôvodu boli do postupu pre vymedzenie útvarov podzemných vôd zahrnuté nasledovné zásady:

- maximálne zohľadnenie hraníc platnej hydrogeologickej rajonizácie Slovenska z roku 1995 (t. j. zohľadnenie stratigrafickej príslušnosti kolektorov a bilancovateľnosť územia),
- s ohľadom na nadnárodný pohľad na hodnotenie podzemných vôd prípustné generalizovanie a zjednodušenie hydrogeologickej rajonizácie (napr. formou zlúčenia hydrogeologických rajónov, čiastkových rajónov) do takej miery, aby bol výsledok komparabilný s už prezentovanými návrhmi štátov EÚ s približne podobnými hydrogeologickými pomermi,
- s ohľadom na previazanosť podzemných vôd s povrchovými vodami zohľadnenie hraníc povodí povrchových tokov regionalizovaných v tzv. oblastiach povodí – v tomto ohľade využitie hraníc vyčlenených hydrogeologických subrajónov, rešpektujúcich rozvodnice povrchových vôd.

Pri snahe zohľadniť všetky vyššie spomenuté požiadavky a transponovať ich na prírodné podmienky Slovenska sme považovali za najpriateľnejšie riešenie vymedzenie útvarov podzemných vôd v troch úrovniach t. j. v troch samostatných "vrstvách".

Prvá najvrchnejšia "vrstva" predstavuje podzemné vody *plytkých zvodnencov* reprezentovaných významnými kvartérnymi sedimentmi.

Druhá "vrstva" je reprezentovaná podzemnými vodami *predkvartérnych zvodnencov*.

Tretiu (spodnú) "vrstvu" tvoria *hlboké zvodnence s geotermálnou vodou*.

Pri vymedzovaní útvarov podzemných vôd kvartérnych a predkvartérnych hornín sa vychádzalo výlučne z existujúcich hydrogeologických rajónov, čiastkových

hydrogeologických rajónov a subrajónov (Šuba et al., 1984, v zmysle neskorších úprav z r. 1995). V rámci útvarov podzemných vôd predkvartérnych hornín zároveň vzniklo niekoľko skupín útvarov s analogickým spôsobom obehu podzemných vôd (Kullman ml. et al., 2004):

- útvary s dominantnými krasovo-puklinovými podzemnými vodami Vnútorých Karpát,
- útvary puklinových a puklinovo-krasových podzemných vôd Vnútorých Karpát,
- útvary puklinových podzemných vôd flyšového pásma a podtatranskej skupiny (vonkajší flyš a vnútrokarpatský paleogén/podtatranská skupina),
- útvary puklinových a medzizrnových podzemných vôd neovulkanitov,
- útvary medzizrnových podzemných vôd panví a vnútrohorských depresíí.

Návrh vyčlenenia útvarov podzemných vôd bol v prvej fáze vytváraný bez zohľadnenia rozvodníc povrchových vôd (Kullman ml. et al., 2004). Vzhľadom na vzájomnú kompatibilitu hodnotení útvarov jednak povrchových vôd a jednak podzemných vôd však bolo následne potrebné zahrnúť do vyčlenenia útvarov podzemných vôd aj povrchové rozvodnice, a to napriek tomu, že vo viacerých prípadoch nemusia rešpektovať priebeh hydrogeologických rozvodníc.

V prípade zvlášť vymedzenej "vrstvy" útvarov podzemných vôd kvartérnych sedimentov bolo ich rozčlenenie v súlade s priebehom hlavných povodí – vzhľadom na takmer recentnú genézu kvartérnych zvodnencov geograficky koherentnú s rozsahom povodí - oveľa jednoduchšie.

Vymedzovanie útvarov podzemných vôd týchto dvoch "vrstiev" však zároveň zohľadňovalo aj súčasné poznatky o kvantitatívnom a chemickom stave podzemných vôd potrebné pre určenie "rizikových útvarov podzemných vôd" s ohľadom na dosiahnutie ich dobrého stavu v zmysle RSV.

Vymedzenie samostatnej "vrstvy" útvarov geotermálnych vôd vychádzalo zo špecifických vlastností a podmienok režimu geotermálnych vôd a je v súlade s požiadavkami RSV.

Prevažná časť geotermálnych vôd je viazaná na hlboké hydrogeologické štruktúry karbonátov mezozoika (triasu) v príkrovoch Vnútorých Západných Karpát, v menšej miere na neogénne sedimentárne a neovulkanické štruktúry. Pri vymedzení útvarov geotermálnych vôd sa vychádzalo z dovtedy známych poznatkov a skúseností a navrhlo sa vymedzenie 26

útvarov geotermálnych vôd plne odpovedajúcich perspektívnym oblastiam a hydrogeotermálnym štruktúram Slovenska (tab. 2.1.1) v súlade s prácami Franko et al. (1995) a Fendek et al. (2002).

Tab. 2.1.1 Perspektívne geotermálne oblasti geotermálnych vôd na Slovensku do roku 2007 – identifikácia a označenie

Číslo perspektívnej geotermálnej oblasti	Názov perspektívnej geotermálnej oblasti
1	Centrálna depresia podunajskej panvy
2	Komárňanská vysoká kryha
3	Komárňanská okrajová kryha
4	Viedenská panva
5	Levická kryha
6	Topoľčiansky záliv a Bánovská kotlina
7	Hornonitrianska kotlina
8	Skorušinská panva
9	Liptovská kotlina
10	Levočská panva - Z a J časť
11	Košická kotlina
12	Turčianska kotlina
13	Komjatická depresia
14	Dubnická depresia
15	Trnavský záliv
16	Piešťanský záliv
17	Stredoslovenské neovulkanity - SZ časť
18	Trenčianska kotlina
19	Ilavská kotlina
20	Žilinská kotlina
21	Stredoslovenské neovulkanity - JV časť
22	Hornostrhársko-trenčská prepadlina
23	Rimavská kotlina
24	Levočská panva - SV časť
25	Humenský chrbát
26	Štruktúra Beša-Čičarovce

2.2 SPÔSOB KÓDOVANIA ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD NA SLOVENSKU

Na území Slovenska bolo vymedzených **16** samostatných útvarov podzemných vôd v rámci významných kvartérnych sedimentov – tzv. **1. vrstva**, **59** útvarov v rámci predkvartérnych zvodnencov – tzv. **2. vrstva** a **26** útvarov geotermálnych vôd – tzv. **3. vrstva**.

Pre kódovanie (identifikáciu) útvarov bol použitý jednoznačný **10-miestny alfanumerický znak**. Pozostáva na začiatku z písmen **SK** (pre označenie Slovenskej republiky).

Číslo za písmenami SK charakterizuje **poradie "vrstvy"** útvarov podzemných vôd (1 - "kvartérne sedimenty"; 2 - "predkvartérne horniny"; 3 "útvary geotermálnych vôd").

Nasledujú **štyri číselné znaky** vyhradené pre **poradie útvaru v rámci "vrstvy"** a **tri alfanumerické znaky** pre označenie **typu priepustnosti**, pričom miesta nevyplnené písmenom sú obsadené nulou, Písmeno "F" tu značí prevažujúcu puklinovú priepustnosť ("fissure" permeability type), písmeno "P" medzizrnovú priepustnosť ("porous"), písmeno "K" krasovú priepustnosť ("karst"), pričom je možná ich vzájomná kombinácia.

Prehľadný zoznam útvarov geotermálnych vôd a ich označenia podáva tab. 2.2.1, ktorá je súčasťou prílohy č. 2 Časti C Nariadenia vlády č. 282/2010 Z. z. a platila do konca roka 2019. Od 1.1.2020 nadobudlo platnosť nové Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 452/2020 Z. z. zo 4. decembra 2019, ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 282/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú prahové hodnoty a zoznam útvarov podzemných vôd (tab. 2.2.2). V novom Nariadení vlády boli zakomponované nové poznatky o charaktere hydrogeotermálnych štruktúr, ktoré tvoria súčasť geotermálnych útvarov podzemných vôd vrátane hydrogeotermálnych štruktúr, ktorých vody patria v zmysle zákona č. 538/2005 o prírodných liečivých vodách, prírodných liečebných kúpeľoch, kúpeľných miestach a prírodných minerálnych vodách a o zmene a doplnení niektorých zákonov k prírodnej liečivej vode. Na území geotermálnych útvarov podzemných vôd SK300190FK Stredoslovenské neovulkanity (severozápadná časť) a SK300200FK Stredoslovenské neovulkanity (juhovýchodná časť) došlo k vyčleneniu nových útvarov na základe charakteru predterciérneho podložia a k čiastočnej úprave rozšírenia susedných geotermálnych útvarov podzemných vôd. Podrobný postup úpravy a vyčlenenia nových geotermálnych útvarov podzemnej vody je opísaný v kap. 2.3.

Tab. 2.2.1 Zoznam útvarov geotermálnych vôd Slovenskej republiky –NV č. 282/2010 Z. z.

kód útvaru	Názov útvaru	Oblasť povodia*)	Plocha [km ²]
SK300010FK	Komárňanská vysoká kryha	Dunaj	249,098
SK300020FK	Komárňanská okrajová kryha	Dunaj	312,549
SK300030FK	Viedenská panva	Dunaj	735,752
SK300040FK	Trnavský záliv	Váh	618,546
SK300050FK	Piešťanský záliv	Váh	234,518
SK300060FK	Trenčianska kotlina	Váh	81,345
SK300070FK	Ilavská kotlina	Váh	44,108
SK300080FK	Žilinská kotlina	Váh	405,997
SK300090FK	Bánovská kotlina	Váh	616,196
SK300100FK	Hornonitrianska kotlina	Váh	312,199
SK300110FK	Turčianska kotlina	Váh	411,793
SK300120FK	Skorušinská panva	Váh	433,855
SK300130FK	Liptovská kotlina	Váh	604,006
SK300180PF	Dubnická depresia	Váh	323,504
SK300240PF	Centrálna depresia podunajskej panvy	Váh	3436,336
SK300190FK	Stredoslovenské neovulkanity (severozápadná časť)	Hron	1507,388
SK300200FK	Stredoslovenské neovulkanity (juhovýchodná časť)	Hron	720,913
SK300210FK	Levická kryha	Hron	190,875
SK300220FK	Rimavská kotlina	Hron	549,729
SK300250FK	Komjatická depresia	Hron	857,056
SK300260FK	Hornosthrásko-trenčská prepadlina	Hron	157,094
SK300170FK	Košická kotlina	Hornád	877,978
SK300140FK	Levočská panva (západná a južná časť)	Dunajec a Poprad+Hornád	1809,369
SK300150FK	Levočská panva (severovýchodná časť)	Dunajec a Poprad+Hornád	981,618
SK300160FK	Humenský chrbát	Bodrog	988,636
SK300230FP	Beša – Čičarovce	Bodrog	142,233

*) Pri geotermálnych štruktúrach s veľmi hlbokým obehom podzemných vôd nie je možné jednoznačné priradenie útvarov geotermálnych vôd k oblastiam povodí.

Tab. 2.2.2 Zoznam útvarov geotermálnych vôd Slovenskej republiky - NV č. 452/2020

Kód útvaru	Názov útvaru	Správne územie povodia	Plocha [km ²]
SK300010FK	Komárňanská vysoká kryha	Dunaj	248,412
SK300020FK	Komárňanská okrajová kryha	Dunaj	311,691
SK300030FK	Viedenská panva	Dunaj	709,784
SK300040FK	Trnavský záliv	Dunaj	583,950
SK300050FK	Piešťanský záliv	Dunaj	242,075
SK300060FK	Trenčianska kotlina	Dunaj	47,975
SK300070FK	Ilavská kotlina	Dunaj	47,522
SK300080FK	Žilinská kotlina	Dunaj	305,517
SK300090FK	Bánovská kotlina	Dunaj	557,964
SK300100FK	Hornonitrianska kotlina	Dunaj	477,468
SK300110FK	Turčianska kotlina	Dunaj	492,925
SK300120FK	Skorušinská panva	Dunaj	419,602
SK300130FK	Liptovská kotlina	Dunaj	609,865
SK300140FK	Levočská panva (západná a južná časť)	Dunaj a Visla	1791,658
SK300150FK	Levočská panva (severovýchodná časť)	Dunaj a Visla	853,013
SK300160FK	Humenský chrbát	Dunaj	982,814
SK300170FK	Košická kotlina	Dunaj	846,858
SK300180FK	Komjatická depresia	Dunaj	322,645
SK300190FK	Žiarska kotlina	Dunaj	983,493
SK300200FK	Bátovská a rykynčická depresia	Dunaj	751,810
SK300210FK	Levická kryha	Dunaj	185,334
SK300220FK	Rimavská kotlina	Dunaj	529,699
SK300230FP	Trebišovská panva	Dunaj	141,859
SK300240PF	Centrálne depresie Podunajskej panvy	Dunaj	3426,870
SK300250PF	Dubnícka depresia	Dunaj	851,324
SK3002600P	Hornostrehársko-trenčská prepadlina	Dunaj	156,710
SK30027FKP	Lučenecká kotlina	Dunaj	77,109
SK30028FKP	Turovsko-levická hrast'	Dunaj	159,485
SK300290FK	Zvolenská kotlina	Dunaj	201,030
SK300300FP	Podbeskydská brázda	Dunaj	60,718
SK300310FP	Moldavská kotlina	Dunaj	260,888

Pri geotermálnych štruktúrach s veľmi hlbokým obehom podzemných vôd nie je možné jednoznačné priradenie útvarov geotermálnych vôd k správnym územiám povodí.“.

2.3 PROBLEMATIKA GEOTERMÁLNYCH ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD

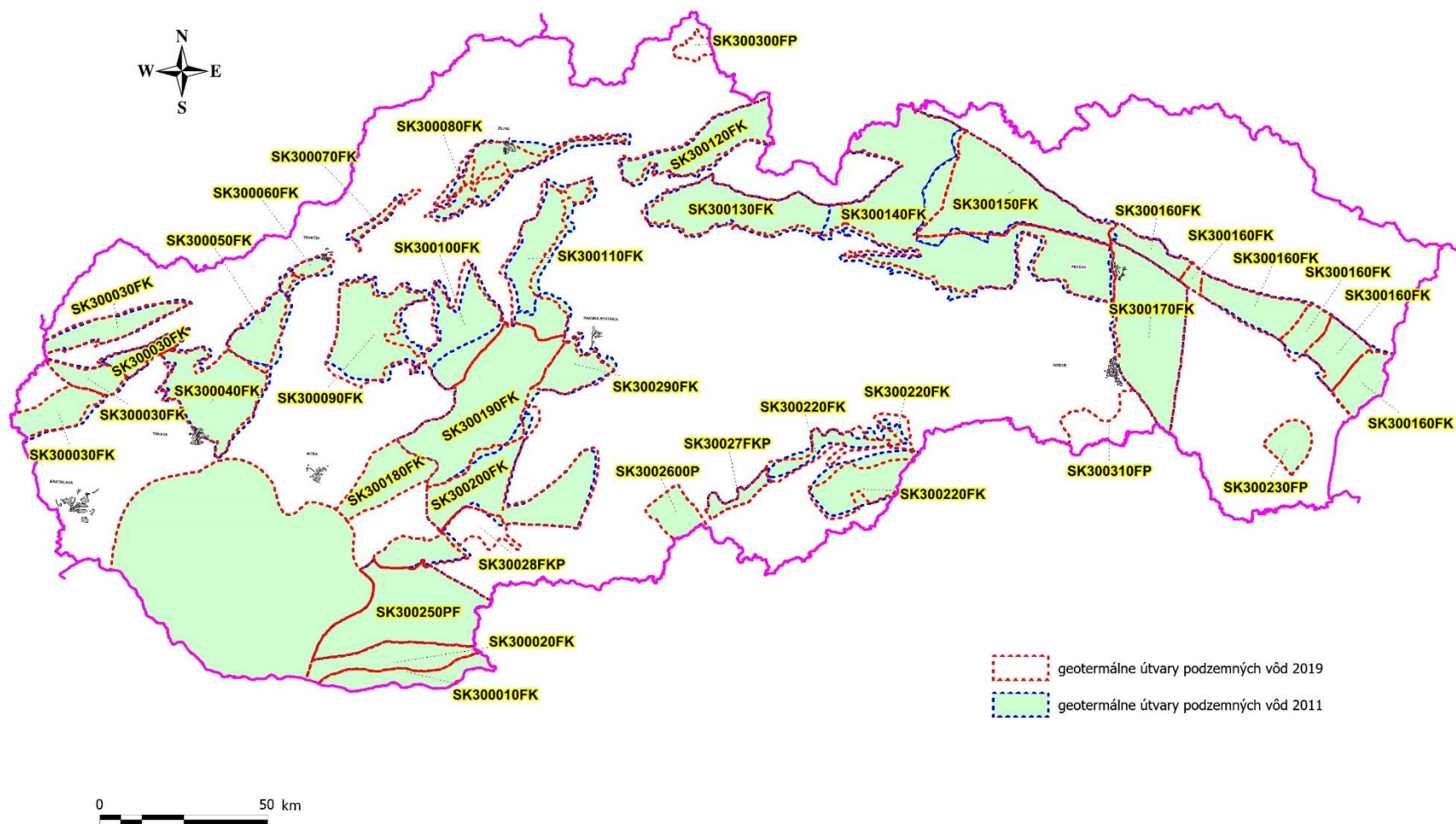
2.3.1 Vymedzenie geotermálnych útvarov podzemných vôd

V rámci aktualizácie geotermálnych útvarov podzemných vôd za obdobie rokov 2016-2020 bolo pri zohľadnení aj zdrojov geotermálnej vody patriacich k liečivým vodám v SÚP Dunaj vyčlenených **31** geotermálnych útvarov podzemných vôd, z toho 4 sú nové geotermálne útvary podzemných vôd: SK30028FKP Turovsko-levická hrast', SK300290FK Zvolenská kotlina, SK300300FP Podbeskydská brázda a SK300310FP Moldavská kotlina (obr. 2.3.1.1). Pri útvaroch SK300140FK a SK300150FK zaberajúcich súčasne plochu v povodí Dunaja a Visly rozhodovalo prevažujúce plošné zastúpenie a tak boli priradené k SÚP Dunaj.

V roku 2016 bola novo vyčlenená oblasť turovsko-levická hrast', ktorá získala kódové označenie SK30028FKP (Marcin et al. 2016) . Pri vyčleňovaní ďalších nových perspektívnych geotermálnych oblastí, resp. geotermálnych útvarov bola zohľadnená skutočnosť, že geotermálne vody pôvodných útvarov SK300190FK Stredoslovenské neovulkanity (severozápadná časť) a SK300200FK Stredoslovenské neovulkanity (juhovýchodná časť) sa formujú v depresnej časti predterciérneho podložia neovulkanitov. Z pôvodného geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300190FK Stredoslovenské neovulkanity (severozápadná časť) boli tak vyčlenené nové útvary SK300190FK Žiarska kotlina, SK300290FK Zvolenská kotlina a upravené boli hranice s útvarmi SK300100FK Hornonitrianska kotlina a SK300110FK Turčianska kotlina. Upravený bol aj kontakt medzi pôvodným útvarom SK300200FK Stredoslovenské neovulkanity (juhovýchodná časť) a to tak, že bol vyčlenený útvar SK300200FK Bátovská a rykynčická depresia s novým názvom a upravenými hranicami voči novým útvarom SK30028FKP Turovsko-levická hrast', SK300190FK Žiarska kotlina, SK300290FK Zvolenská kotlina.

Na východnom Slovensku bol pôvodný geotermálny útvar SK300230FP Beša-Čičarovce premenovaný na SK300230FP Trebišovská panva a jeho rozsah bol upravený len minimálne tak, aby pokrýval predovšetkým prítomnosť pochovaných neovulkanických hornín s prítomnosťou geotermálnych vôd v uvedenej panve.

V severnej časti Slovenska bol vyčlenený nový geotermálny útvar SK300300FP Podbeskydská brázda na základe prítomnosti geotermálnej vody v sedimentoch jednotky Obidowa-Slopnice-Zboj tvoriacich depresnú časť flyšového pásma v podloží bystrickej



Obr. 2.3.1.1 Geotermálne útvary podzemných vôd Slovenska v roku 2011 a 2019 (Marcin podľa podkladov Remšík et al., 2011)

jednotky magurského príkrovu. Vzhľadom na jej rozsah a priebeh kolektorov smerom k štátnej hranici medzi Poľskom a Slovenskom, nemožno vylúčiť jej pokračovanie na územie Poľska, čím tento útvar má potenciál byť cezhraničný útvarom.

V južnej časti Slovenska bol vyčlenený nový geotermálny útvar SK300310FP Moldavská kotlina, na základe overenia prítomnosti geotermálnej vody v sedimentoch neogénu (Kechnec, Šebastovce a Valaliky) a predpokladanej prítomnosti vôd v podložínych karbonátoch silicika.

V novo vyčlenených geotermálnych útvaroch podzemných vôd bola spracovaná ich geotermálna charakteristika, ktorá pokrývala inventarizáciu zdrojov geotermálnych vôd, vyčíslenie geotermálneho potenciálu, inventarizáciu schválených a využívaných množstiev geotermálnych vôd. Základná databáza informácií bola doplnená o najdôležitejšie hydrogeologické vlastnosti útvarov geotermálnych vôd (typ priepustnosti, litostratigrafické jednotky, hustota tepelného toku). V rámci regionálneho hodnotenia útvarov geotermálnych vôd Slovenska boli v niektorých útvaroch vyčlenené samostatné hydrogeotermálne štruktúry, ktoré tvoria ich súčasť. Takéto hydrogeotermálne štruktúry sa nachádzajú v nasledujúcich útvaroch:

- viedenská panva, (šaštínska elevácia s príľahlým poklesnutým pásmom, lakšárska elevácia, závodsko-studienske poklesnuté pásmo, lábsko-malacká elevácia s príľahlými poklesnutými kryhami),
- Bánovská kotlina (bánovská štruktúra, závadsko-bielická štruktúra),
- Hornonitrianska kotlina (bojnická hydrogeotermálna štruktúra),
- skorušinská panva (kapušianska hydrogeotermálna štruktúra, zlatnícka hydrogeotermálna štruktúra, mernícko-oreská hydrogeotermálna štruktúra, kalužská hydrogeotermálna štruktúra, sobranecká hydrogeotermálna štruktúra a sejkovská hydrogeotermálna štruktúra),
- Rimavská kotlina (stránska hydrogeotermálna štruktúra, oždiansko-skerešovská hydrogeotermálna štruktúra, oblasť karbonátov Hucín – Plešivec),
- humenský chrbát (kapušianska hydrogeotermálna štruktúra, zlatnícka hydrogeotermálna štruktúra, mernícko-oreská hydrogeotermálna štruktúra, kalužská hydrogeotermálna štruktúra, sobranecká hydrogeotermálna štruktúra a sejkovská hydrogeotermálna štruktúra), Lučeneckej kotline (rapovská hydrogeotermálna štruktúra).

Stav geotermálneho zhodnotenia geotermálnych útvarov resp. geotermálnych oblastí dokumentuje tab. 2.3.1.1.

Tab. 2.3.1.1 Prehľad útvarov geotermálnych vôd Slovenska a stav ich zhodnotenia k 31.12.2017

Kód útvaru	Číslo geotermálnej oblasti	Názov útvaru	Správne územie povodia*)	Plocha útvaru (km ²)	Zvodnenie geotermálnych vôd	Vek kolektora	Stav zhodnotenia útvaru
SK300010FK	2.	Komárňanská vysoká kryha	Dunaj	248,412	karbonáty	Jura - Trias	
SK300020FK	3.	Komárňanská okrajová kryha	Dunaj	311,691	karbonáty	Jura - Trias	
SK300030FK	4.	Viedenská panva	Dunaj	709,784	karbonáty	Jura - Trias	
SK300040FK	15.	Trnavský záliv	Dunaj	583,950	karbonáty	Mezozoikum	
SK300050FK	16.	Piešťanský záliv	Dunaj	242,075	karbonáty	Mezozoikum	zhodnotená iba piešťanská štruktúra
SK300060FK	18.	Trenčianska kotlina	Dunaj	47,975	karbonáty	Mezozoikum	
SK300070FK	19.	Ilavská kotlina	Dunaj	47,522	karbonáty	Mezozoikum	
SK300080FK	20.	Žilinská kotlina	Dunaj	305,517	karbonáty	Trias	
SK300090FK	6.	Bánovská kotlina	Dunaj	557,964	karbonáty	Trias	zhodnotený
SK300100FK	7.	Hornonitrianska kotlina	Dunaj	477,468	karbonáty	Mezozoikum	zhodnotený
SK300110FK	12.	Turčianska kotlina	Dunaj	492,925	karbonáty	Trias	zhodnotená iba turčianskoteplická štruktúra
SK300120FK	8.	Skorušinská panva	Dunaj	419,602	karbonáty	Trias	zhodnotený
SK300130FK	9.	Liptovská kotlina	Dunaj	609,865	karbonáty	Trias	zhodnotený
SK300140FK	10.	Levočská panva - (západná a južná časť)	Dunaj a Visla	1791,658	karbonáty	Trias	zhodnotená iba Popradská kotlina
SK300150FK	24.	Levočská panva - (severovýchodná časť)	Dunaj a Visla	853,013	karbonáty	Trias	
SK300160FK	25.	Humenský chrbát	Dunaj	982,814	karbonáty	Mezozoikum	Zhodnotený
SK300170FK	11.	Košická kotlina	Dunaj	846,858	karbonáty	Trias	zhodnotená iba oblasť d'urkovskej štruktúry
SK300180FK	13.	Komjatická depresia	Dunaj	322,645	karbonáty	Trias	
SK300190FK	17.	Žiarska kotlina	Dunaj	983,493	karbonáty	Mezozoikum – Trias	zhodnotená iba žiarska a sklenoteplická štruktúra
SK300200FK	21.	Bátovská a rykynčická depresia	Dunaj	751,810	karbonáty	Mezozoikum – Trias	
SK300210FK	5.	Levická kryha	Dunaj	185,334	karbonáty	Trias	
SK300220FK	23.	Rimavská kotlina	Dunaj	529,699	karbonáty	Mezozoikum – Trias	zhodnotený
SK300230FP	26.	Trebišovská panva	Dunaj	141,859	andezity a ich pyroklastiká	Neogén	
SK300240PF	1.	Centrálna depresia podunajskej panvy	Dunaj	3426,870	piesky, pieskovce a zlepenice	Neogén	zhodnotená iba oblasť galantskej priehlbne

Kód útvaru	Číslo geotermálnej oblasti	Názov útvaru	Správne územie povodia*)	Plocha útvaru (km ²)	Zvodnenie geotermálnych vôd	Vek kolektora	Stav zhodnotenia útvaru
SK300250PF	14.	Dubnická depresia	Dunaj	851,324	piesky, pieskovce a zlepenice	Neogén	
SK3002600P	22.	Hornostřásko-trenčská prepadlina	Dunaj	156,710	piesky	Neogén	
SK30027FKP	27.	Lučenecká kotlina	Dunaj	77,109	karbonáty, piesky	Mezozoikum, Neogén	
SK30028FKP	28.	Turovsko-levická hrast'	Dunaj	159,485	karbonáty, neovulkanity, piesky	Mezozoikum, Neogén	zhodnotená dudínsko-santovská štruktúra
SK300290FK	29.	Zvolenská kotlina	Dunaj	201,030	karbonáty	Mezozoikum	zhodnotená sliačska a kováčovská štruktúra
SK300300FP	30.	Podbeskydská brázda	Dunaj	60,718	pieskovce, tektonické brekcie	Paleogén	
SK300310FP	31.	Moldavská kotlina	Dunaj	260,888	karbonáty, piesky	Mezozoikum, Neogén	

2.3.2 Bilancia využívania geotermálnych vôd

V Komisii pre schvaľovanie množstiev podzemnej vody MŽP SR postupne prebieha schvaľovanie využiteľných množstiev prírodných vôd v kategórii B vrátane zdrojov termálnych vôd v pôsobnosti Inšpektorátu kúpeľov a žriedel MZ SR, ktoré sú uznané v zmysle zákona 538/2005 Z. z. V hodnotení geotermálnych útvarov podzemných vôd za obdobie rokov 2016-2020 boli začlenené aj zdroje v pôsobnosti Inšpektorátu kúpeľov a žriedel MZ SR, ktoré spĺňajú teplotné kritériá ($T_{\text{vody}} \geq 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

V útvaroch geotermálnych vôd sa nachádzajú nízkotepelné zdroje geotermálnej energie (teplota $< 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$), strednotepelné zdroje (teplota $100\text{-}150 \text{ }^{\circ}\text{C}$) a vysokotepelné zdroje geotermálnej energie (teplota $> 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$).

Nízkotepelné zdroje geotermálnej energie sa nachádzajú vo všetkých 31 útvaroch, v 16-ich z nich sa nachádzajú strednotepelné a iba v 5-ich sú podmienky pre výskyt vysokotepelných zdrojov geotermálnej energie. Výskyt nízkotepelných, strednotepelných a vysokotepelných zdrojov geotermálnej energie vo väzbe na jednotlivé útvary geotermálnych vôd na Slovensku dokumentuje tab. 2.3.2.1.

Do roku 2010 bolo na Slovensku evidovaných 144 vrtov, ktorými bolo zistené sumárne množstvo geotermálnych vôd **2 100,4 l.s⁻¹** s povrchovou teplotou vody $18\text{-}129 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ktorému odpovedá tepelný výkon $347,61 \text{ MW}_t$ (tab. 2.3.2.2). Sumárne vypočítané množstvo geotermálnej energie vymedzených geotermálnych útvarov Slovenska predstavovalo $6\,234 \text{ MW}_t$ (Remšík et al., 2011).

Tab. 2.3.2.1 Rozšírenie geotermálnych vôd v útvaroch geotermálnych vôd Slovenska podľa teploty (doplnil Marcin podľa Remšík et al., 2011)

Druh a teplota geotermálnej vody	Útvar geotermálnych vôd	Počet útvarov geotermálnych vôd
Nízkotepločné $T < 100\text{ }^{\circ}\text{C}$	Komárňanská vysoká kryha, komárňanská okrajová kryha, viedenská panva, trnavský záliv, piešťanský záliv, Trenčianska kotlina, Ilavská kotlina, Žilinská kotlina, Bánovská kotlina, Hornonitrianska kotlina, Turčianska kotlina, Skorušinská kotlina, Liptovská kotlina, levočská panva (Z+J časť), levočská panva (SV časť), humenský chrbát, Košická kotlina, komjatická depresia, Žiarska kotlina, bátovska a rykynčická depresia, levická kryha, Rimavská kotlina, trebišovská panva, centrálna depresia podunajskej panvy, dubnická depresia, hornosthrársko-trenčská prepadlina, Lučenecká kotlina, turovsko-levická hrast', Zvolenská kotlina, podbeskydská brázda, Moldavská kotlina	31
Strednotepločné $T = 100 - 150\text{ }^{\circ}\text{C}$	Komárňanská okrajová kryha, viedenská panva, trnavský záliv, piešťanský záliv, Trenčianska kotlina, Ilavská kotlina, Žilinská kotlina, Bánovská kotlina, Turčianska kotlina, Liptovská kotlina, levočská panva (SV časť), humenský chrbát, Košická kotlina, Žiarska kotlina, trebišovská panva, centrálna depresia podunajskej panvy,	16
Vysokotepločné $T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$	Viedenská panva, humenský chrbát, Žiarska kotlina, trebišovská panva, centrálna depresia podunajskej panvy	5

Geotermálna energia na Slovensku sa v rokoch 2011-2015 v porovnaní s obdobím 2000-2010 využívala v 48-ich lokalitách, pričom pribudlo 16 vrtov na 10 lokalitách, kde sú využívané geotermálne vrty pre rôzne účely. Kolektory geotermálnych vôd predstavujú mezozoické, najmä triasové vápence a dolomity, miestami bazálne paleogénne klastiká (brekcie, zlepenice, pieskovce) a neogénne piesky, prípadne štrky, pieskovce, zlepenice, menej andezity a pyroklastiká. Do roku 2015 bolo na Slovensku evidovaných **152** geotermálnych vrtov (bez vrtov v správe IKŽ MZ SR), z ktorých bolo 9 vrtov negatívnych resp. neboli dokumentované prítoky geotermálnych vôd z technických príčin. Tento počet predstavoval cca 6 %. Z uvedeného počtu vrtov bolo možné geotermálnu vodu získať iba za pomoci čerpadla pri 35 vrtoch, čo predstavovalo cca 23 %. Výdatnosť vrtov sa pohybuje v rozmedzí 1,5-100,0 l.s⁻¹. Sumárne zistené množstvo geotermálnych vôd z vrtov tvorí **2 120,10 l.s⁻¹** a sumárne množstvo geotermálnej energie tvorí **347,61 MW_t**. Teplota geotermálnych vôd na povrchu dosahuje 18-129 °C. Tepelný výkon vrtov sa pohybuje v rozmedzí 0,05-29,0 MW_t. Mineralizácia geotermálnych vôd sa pohybuje v rozmedzí 0,4-90,0 g.l⁻¹. Chemické zloženie geotermálnych vôd zastupujú typy

Ca-Mg-HCO₃, Ca-Mg- HCO₃-SO₄, Ca-Mg-SO₄, Na-HCO₃, Na-HCO₃-Cl a Na-Cl a zmiešané typy medzi nimi (Marcin et al. 2016).

Tab. 2.3.2.2 Tepelno-energetický potenciál geotermálnej energie v geotermálnych útvaroch podzemných vôd Slovenska (Remšík et al., 2011)

Útvar geotermálnych vôd	Druh	Vypočítané množstvá		Zistené množstvá		Zostávajúce množstvá na overenie	
		GV (l.s ⁻¹)	GE (MW _t)	GV (l.s ⁻¹)	GE (W _t)	GV (l.s ⁻¹)	GE (MW _t)
Komárňanská vysoká kryha	O	133,0	9,7	265,0	17,42	-	-
Komárňanská okrajová kryha	N		227,5	15,9	2,62		224,88
Viedenská panva (ŠE, LE, LME, ZSP)	N		511,0	37,0	9,5		501,5
Trnavský záliv	O		33,5	14,5	0,55		32,95
Piešťanský záliv	O		10,5	10,0	0,18		10,32
Trenčianska kotlina	O		4,6				4,60
Ilavská kotlina	O		1,1				1,10
Žilinská kotlina	O		13,2	57,4	2,95		10,25
Bánovská kotlina	O	141,7	12,469	68,8	5,26	72,9	7,209
Hornonitrianska kotlina	O	140,0	29,12	57,9	7,05	82,1	22,07
Turčianska kotlina	O		22,5	19,9	2,65		19,85
Skorušinská panva	O	166,0	24,0	135,0	18,29	31,0	5,71
Liptovská kotlina	O	248,0	34,589	121,4	20,36	126,6	14,229
Levočská panva (Z a J časť)	O	424,6	75,4	226,3	34,24	198,3	41,16
Levočská panva (SV časť)	N		1316,0	19,0	4,55		1311,45
Humenský chrbát	O	341,0	750,5	6,0	0,41	335,0	750,09
Košická kotlina	N		1276,4	207,4	78,88		1197,52
Dubnická depresia	N		808,3	36,0	3,70		804,60
Stredoslovenské neovulkanity (SZ časť)	O		82,6	80,6	9,47		73,13
Stredoslovenské neovulkanity (JV časť)	O		26,4	64,1	3,84		22,56
Levická kryha	N		126,0	81,0	20,74		105,26
Rimavská kotlina	O	284,74	21,121	61,3	1,76	223,44	19,361
Štruktúra Beša-Čičarovce	N		268,7				268,7
Centrálna depresia podunajskej panvy	O	731,0	150,0	488,7	101,11	242,3	48,89
Komjatická depresia	N		392,64				392,64
Hornostřásko-trenčská prepadlina	O		6,2	16,0	1,04		5,16
Rapovská štruktúra	N			11,20	1,04		
Spolu			6234,039	2100,4	347,61		5886,429

Vysvetlivky: GV-geotermálna voda, GE-geotermálna energia, O-obnoviteľné množstvo, N-neobnoviteľné množstvo, ŠE-šaštínska elevácia, LE-lakšárska elevácia, LME-lábsko-malacká elevácia s príslušným poklesnutým pásmom, ZSP-závodsko-studienske poklesnuté pásmo

V rámci II. plánovacieho obdobia (2016-2021) bola vykonaná aktualizácia geotermálnych útvarov a do hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd boli včlenené aj zdroje, ktoré boli využívané na kúpeľnú liečbu a sú v pôsobnosti IKŽ MZ SR.

Tým nastal v geotermálnych útvaroch stav, že nebolo možné porovnať bilančné hodnoty voči starším údajom. Vzhľadom k tomu, že neboli k dispozícii všetky údaje o chemickom zložení vôd, pristúpili sme k doplneniu údajov o odberoch (vrátane zdrojov v pôsobnosti IKŽ MZ SR) aj pre aktualizované geotermálne útvary spätne až do roku 2011. K dispozícii sú tak údaje, ktoré je možné porovnávať v ďalších nasledujúcich hodnoteniach kvantitatívneho stavu kde obdobie hodnotenia môže byť od 2011 do 2017.

Do roku **2017** bolo na Slovensku evidovaných **296** zdrojov geotermálnych vôd (vrátane zdrojov v správe IKŽ MZ SR), z ktorých sa využívalo **91** zdrojov. Z tohto počtu evidovaných zdrojov malo **9** zdrojov schválené využiteľné množstvá v kategórii A, **79** zdrojov schválené využiteľné množstvá v kategórii B a **29** zdrojov malo schválené využiteľné množstvá v kategórii C. Z uvedeného počtu zdrojov bola dokumentovaná sumárna overená výdatnosť zdrojov na úrovni **3 084,19 l.s⁻¹**, čo predstavuje sumárny tepelný výkon **465,15 MWt** (príl. č. 3).

Pri spracovaní údajov o kvantitatívnom stave geotermálnych útvarov podzemných vôd za obdobie rokov 2015-2017 sa hodnotili útvary geotermálnych vôd vrátane zdrojov, ktoré sú v pôsobnosti IKŽ MZ SR. V tejto geologickej štúdii boli tieto zdroje doplnené jednak do databázy, následne do prehľadu využívania vôd ako i do stavu ich klasifikácie. Pri hodnotení kvantitatívneho stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd je potrebné vychádzať aj z hydrogeotermálneho hodnotenia a prihliadať na získane údaje z geotermickej bilancie, tepelno-energetického potenciálu (TEP) a z modelu trvalo udržateľného využívania zdrojov geotermálneho útvaru.

Hodnotenie kvantitatívneho stavu geotermálnych útvarov vychádza z princípov schválenej národnej metodiky hodnotenia kvantitatívneho stavu útvarov podzemných vôd vypracovanej Slovenskou asociáciou hydrogeológov (SAH) v spolupráci s SHMÚ Bratislava v roku 2007. Metodika bola prerokovaná s členmi komisie na riadnom zasadnutí členov Komisie pre schvaľovanie množstiev podzemných vôd dňa 23.10.2008 a po zapracovaní pripomienok schválená protokolom č. 48922/2008. Nami predložená metodika hodnotenia kvantitatívneho stavu geotermálnych útvarov vychádza zo schválenej národnej metodiky hodnotenia kvantitatívneho stavu útvarov podzemných vôd Slovenska a predstavuje obecný návrh metodických postupov pre stanovenie kvantitatívneho stavu útvarov podzemných vôd, určenia ich nožnej kvantitatívnej rizikovosti a zároveň aj podkladom pre definovanie vodohospodársky problémových lokalít. Zo získaných

podkladov je možné následne stanoviť programy nápravných opatrení pre geotermálne útvary podzemných plánov v zlom stave resp. nápravných opatrení na zvrátenie trendu.

2.3.3 Údaje o kvalite vôd geotermálnych útvarov podzemných vôd

Kvalitatívny stav geotermálnych útvarov podzemných vôd nebol doteraz nijako hodnotený s výnimkou hydrogeotermálnych štruktúr, ktorých voda sa využíva pre kúpeľné účely. Stabilita chemického zloženia vôd u týchto zdrojov je podmienkou na získanie Rozhodnutia na využívanie vôd na kúpeľné účely. V rámci uvedených hydrogeotermálnych štruktúr bola hodnotená stabilita chemického zloženia geotermálnych vôd pri prehodnocovaní využiteľných množstiev zdrojov alebo stanovovaní ochranných pásiem zdrojov minerálnych vôd. Inšpektorát kúpeľov a žriedel MZ SR zhromažďuje údaje v databáze od majiteľov zdrojov minerálnych vôd s lokálnou monitorovacou sieťou, ktorá je súčasťou monitorovacieho systému MŽP SR v zmysle § 2 ods. 14 zákona č. 538/2005. Ten zabezpečuje jednak sledovanie parametrov kvality minerálnych vôd ako aj kvantitatívne využívanie zdrojov minerálnych vôd. Podrobne je monitorovanie kvality geotermálnych vôd popísané v nasledujúcej kapitole.

2.3.3.1 Monitorovanie kvality geotermálnych vôd

Monitorovanie kvality vody v zdrojoch geotermálnych útvarov podzemných vôd prebieha iba na zdrojoch, ktorú sú v pôsobnosti Inšpektorátu kúpeľov a žriediel Ministerstva zdravotníctva SR (IKŽ MZ SR) a ich zoznam uvádza tab. 2.3.3.1.1. Monitorované sú zdroje v 10 geotermálnych ÚPzV v pôsobnosti IKŽ MZ SR a bez monitoringu sa nachádza 8 geotermálnych ÚPzV, v ktorých prevádzkovatelia zdrojov nemajú legislatívou uloženú povinnosť dokladovať kvalitu využívanej vody v predpísaných časových intervaloch poverenému subjektu štátnej správy. V období rokov 2018 - 2019 prebiehal monitoring kvality zdrojov (FGKr-1 Kravany n. Dunajom, OPKS Štúrovo, SB-2 Patince a VŠE Virt) v geotermálnom útvare SK300010FK – Komárňanská vysoká kryha v rámci geologickej úlohy č. 08 17 01 (Marcin et al. 2020).

Rozsah sledovania fyzikálnych, chemických, mikrobiologických a biologických ukazovateľov (základná analýza alebo rozšírená analýza minerálnej vody) a početnosť analýz podľa vyhlášky č. 100/2006 Z. z., ktorou sa ustanovujú požiadavky na prírodnú liečivú vodu a prírodnú minerálnu vodu, podrobnosti o balneologickom posudku, rozdelenie, rozsah sledovania a obsah analýz prírodných liečivých vôd a prírodných

minerálnych vôd a ich produktov a požiadavky pre zápis akreditovaného laboratória do zoznamu vedeného Štátnou kúpeľnou komisiou je uvedený v tab. 2.3.3.1.2.

Odber vzoriek a analýzy vody vykonávajú akreditované laboratória, ktoré sú zapísané do zoznamu Štátnej kúpeľnej komisie Ministerstva zdravotníctva SR, ktoré vykonávajú rozbory geotermálnej vody akreditovanými skúškami. Rozsah a početnosť sledovania jednotlivých ukazovateľov sú pre každú lokalitu špecifické a riadia sa platnými rozhodnutiami Ministerstva zdravotníctva SR na využívanie zdroja (tab. 2.3.3.1.3).

Tab. 2.3.3.1.1 Zoznam lokalít a počet zdrojov zaradených do monitoringu

Kód útvaru	Lokalita	Zdroje ^a		
		uznaný	neuznaný	spolu
SK300050FK	Piešťany I (SLK)	11	0	11
SK300050FK	Piešťany II (VLÚ)	1	1	2
SK300050FK	Piešťany III (Magnólia)	1	0	1
SK300070FK	Trenčianske Teplice	6	2	8
SK300080FK	Rajecké Teplice	3	3	6
SK300100FK	Bojnice	4	10	14
SK300110FK	Turčianske Teplice	8	2	10
SK300130FK	Lúčky	3	4	7
SK300140FK	Vyšné Ružbachy	2	4	6
SK300190FK	Sklené Teplice	5	3	8
SK30028FKP	Dudince	2	3	5
SK30028FKP	Santovka	2	1	3
SK300290FK	Kováčová	1	4	5
SK300290FK	Sielnica	0	1	1
SK300290FK	Sliač	5	1	6
	Spolu	54	39	93

Zdroj údajov: Panák a Kosmálová v Poórová a kol. 2007

^a – uznané zdroje - zdroje, ktoré sú vyhlásené za liečivé prírodné zdroje, neuznané zdroje - zdroje, ktoré nie sú vyhlásené za liečivé prírodné zdroje.

Tab. 2.3.3.1.2 Rozsah ukazovateľov kvality vôd prírodných liečivých zdrojov a prírodných minerálnych zdrojov podľa vyhlášky MZ SR č. 100/2006 Z. z.

Základná analýza
a) všeobecné údaje:
1. identifikačné údaje laboratória, ktoré vzorku vody analyzovalo,
2. lokalita miesta odberu vzorky vody, názov prírodného zdroja a jeho registračné číslo,
3. dátum odberu vzorky vody,
4. teplota vzduchu pri odbere vzorky vody,
5. zmyslové vlastnosti pri odbere vzorky vody (zápach, chuť, farba a zákal),
b) fyzikálne ukazovatele:
1. teplota vody v °C pri odbere vzorky vody,
2. hodnota pH,
3. hodnota Eh (oxidačno-redukčný potenciál) v mV prepočítaná na teplotu 20 °C vzťahnutá na vodíkovú elektródu,
4. elektrická vodivosť v µS/cm prepočítaná na teplotu 20 °C,

c) chemické ukazovatele:		
1. obsah kationov lítia, sodíka, draslíka, amónia, horčíka, vápnika, stroncia, železa, mangánu, bária a celkového hliníka v mg/l,		
2. obsah aniónov fluoridov, chloridov, bromidov, jodidov, dusitanov, dusičnanov, síranov, hydrogenuhličitanov a fosforečnanov v mg/l,		
3. obsah nedisociovaných látok - kyseliny kremičitej, bóru stanoveného ako kyselina boritá v mg/l,		
4. obsah rozpustených tuhých látok – sušeného odparku pri teplote 180 °C, žíhaného odparku pri teplote 260 °C a výpočet celkovej mineralizácie v mg/l,		
5. obsah rozpustených plyných látok – oxidu uhličitého a sulfánu v mg/l,		
6. indexy Gazdovej klasifikácie,		
7. hydrogeochemický koeficient pomeru $\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$, $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$, Cl^-/Br^- , $\text{SO}_4^{2-}/\text{Mg}^{2+}$, Na^+/K^+ , Cl^-/Na^+ , vypočítaných zo súčinu látkovej koncentrácie a nábojového čísla okrem Cl^-/Br^- vypočítaného z mg/l,		
8. chemická spotreba kyslíka manganistanom v mg/l,		
d) mikrobiologické a biologické ukazovatele:		
1. Escherichia coli KTJ v 250 ml,		
2. koliformné baktérie KTJ v 250ml,		
3. enterokoky KTJ v 250 ml,		
4. celkový počet mikroorganizmov kultivovateľných pri 36 °C KTJ v 1ml,		
5. celkový počet mikroorganizmov kultivovateľných pri 22 °C KTJ v 1ml,		
6. Pseudomonas aeruginosa KTJ v 250 ml,		
7. anaeróbne sporujúce baktérie redukujúce siričitany KTJ v 50 ml,		
8. patogénne mikroorganizmy,		
9. mikroskopické huby - mikromycéty - jedince v 1ml,		
10. železité a mangánové baktérie – pokryvnosť poľa v percentách,		
11. počet živých organizmov -jedince v 1 ml,		
12. počet mŕtvych organizmov - jedince v 1ml.		
Rozšírená analýza		
Súbor parametrov stanovení základnej analýzy rozšírený o stanovenie parametrov:		
a) obsah stopových prvkov v mg/l, a to olova, chrómu, arzenu, ortuti, kadmia, zinku, medi, selénu, antimónu, niklu,		
b) obsah organických látok v µg/l:		
1. sumu polycyklických aromatických uhlíkovodíkov - PAU (benzo(a)pyrénu, fluoranténu, benzo(b)fluoranténu, benzo(k)fluoranténu, benzo(g,h,i)perylénu a indeno(1,2,3-c,d)pyrénu),		
2. prchavých organických uhlíkovodíkov - benzénu, 1,2-dichlóretánu, 1,1,2-trichlóretánu 1,1,2,2-tetrachlóretánu, monochlórbenzénu, 1,2-; 1,3-; 1,4-dichlórbenzénu, tetrachlórmetanu, chlórétánu, toluénu, xylénu a styrénu,		
3. pesticídov - hexachlórbenzénu, lindanu, p,pdichlór-difeny-trichlóretánu-DDT, heptachlóru a metoxychlóru,		
4. fenolov prchajúcich s vodnou parou -fenolový index v mg/l,		
5. celkového organického uhlíka - TOC v mg/l,		
6. aniónaktívnych tenzidov -MBAS v mg/l,		
7. kyanidov celkových v mg/l,		
c) rádiologické ukazovatele v Bq/l:		
1. celková objemová aktivita alfa,		
2. celková objemová aktivita beta,		
3. objemová aktivita ^{222}Rn (radónu),		
4. objemová aktivita ^{226}Ra (rádia),		
5. hmotnostná koncentrácia U_{nat} (uránu) v µg/l.		

Tab. 2.3.3.1.3 Frekvencia monitorovania kvality vôd prírodných liečivých zdrojov a prírodných minerálnych zdrojov podľa vyhlášky MZ SR č. 100/2006 Z. z.

Vrstva útvaru podzemnej vody		Frekvencia
Geotermálne vody	vonkajšia balneoterapia	1x / rok (základná analýza), 1x / 5 rokov (rozšírená analýza)
	vnútorná balneoterapia	2x / rok (základná analýza), 1x / 2 roky (rozšírená analýza)

3. METODIKA HODNOTENIA KVANTITATÍVNEHO A CHEMICKÉHO STAVU GEOTERMÁLNYCH ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD

3.1 HODNOTENIE KVANTITATÍVNEHO STAVU GEOTERMÁLNYCH ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD

Rámcová smernica o vode sa pri definovaní dobrého kvantitatívneho stavu podzemných vôd opierała výlučne o hodnotenie režimu hladiny podzemnej vody, ako primárneho indikátora možného ovplyvnenia útvaru podzemnej vody antropogénnym využívaním podzemných vôd (priamymi alebo nepriamymi odbermi). Nezohľadňovala možnosť využitia hodnotenia režimu prirodzene vystupujúcich podzemných vôd vo forme prameňov, ani komplexné bilančné hodnotenie celých útvarov podzemných vôd, alebo ich častí.

Pri hodnotení kvantitatívneho stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd budeme vychádzať z metodiky pre predkvartérne útvary podzemných vôd, pričom jej nastavenie bude modifikované a optimalizované pre potreby týchto útvarov.

Národná metodika hodnotenia kvantitatívneho stavu tieto kritériá zohľadňuje a využíva publikované údaje v ročne vydávaných dokumentoch:

- Vodohospodárska bilancia SR, Vodohospodárska bilancia množstva podzemnej vody za rok.

Využíva zároveň :

- údaje z monitoringu minerálnych vôd (IKŽ MZ SR), ktorý je súčasťou monitorovacieho systému MŽP SR v zmysle § 2 ods. 14 zákona č. 538/2005 o prírodných liečivých vodách, prírodných liečebných kúpeľoch, kúpeľných miestach a prírodných minerálnych vodách a o zmene a doplnení niektorých zákonov (*s ohľadom na momentálnu nedostupnosť relevantných podkladov a výsledkov z monitorovania minerálnych vôd, nemohli byť údaje o režime včlenené do predkladaného komplexného hodnotenia kvantitatívneho stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd*),
- výsledky realizovaných regionálnych geotermálnych hodnotení pre jednotlivé geotermálne útvary príp. hydrogeotermálne štruktúry v geotermálnych útvaroch ,
- hodnotenia kvantitatívneho stavu útvarov predkvartérnych útvarov podzemných vôd, ako možného indikátora významného zhoršenia kvantitatívneho stavu podzemných

vôd pri interakcii podzemných vôd predkvartérnych útvarov a geotermálnych útvarov podzemných vôd.

Hodnotenie kvantitatívneho stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd pozostáva z bilančného hodnotenia jednotlivých útvarov a identifikácie zdrojov, u ktorých počas sledovaného obdobia (2015-2017) dochádzalo pri využívaní podzemných vôd ku kritickému alebo havarijnému bilančnému stavu.

3.1.1 Bilančné hodnotenie geotermálnych vôd

Bilančné hodnotenie geotermálnych vôd je založené na porovnaní využiteľných množstiev podzemných vôd (vodohospodársky disponibilných množstiev podzemných vôd) a dokumentovaných odberov podzemných vôd v útvare podzemnej vody, ktoré sú dokumentované v Štátnej vodohospodárskej bilancii (ďalej ŠVHB). Využiteľné množstvá podzemných vôd tvoria maximálne množstvo podzemnej vody, ktoré možno odoberať z daného zvodneného systému na komerčné využívanie po celý uvažovaný čas exploatacie za prijateľných ekologických, technických a ekonomických podmienok bez takého ovplyvnenia prírodného odtoku, ktoré by sa pokladalo za neprípustné, a bez neprípustného zhoršenia kvality odoberanej vody (využiteľné množstvá vyčísľované na národnej úrovni v súlade so zákonom č. 569/2007 Z. z. o geologických prácach /geologický zákon/ a jeho vykonávacia vyhláška č. 51/2008 Z. z.).

Využiteľné množstvá geotermálnej vody sú zaradené do ôsmich kategórií na základe presnosti ich stanovenia a stupňa zabezpečenia pri ich možnom vodohospodárskom využívaní. Kategórie A, B, C, C1, C2 predstavujú využiteľné množstvá podzemných vôd schválené Komisiou pre schvaľovanie množstiev podzemných vôd. V kategóriách I, II, III, odhad sú zaradené doteraz komisiou neschválené množstvá podzemných vôd, zdokumentované na základe hydrogeologických prieskumov a výskumov a z expertných posúdení lokalít riešiteľom hydrogeologického rajónu na SHMÚ.

Pre bilančné hodnotenie geotermálnych vôd využívame údaje o odberoch geotermálnej vody z vodohospodárskej bilancie, ktorá hodnotí výsledok ovplyvnenia hydroekosystému ľudskou činnosťou, zaoberá sa vzťahom medzi odborne vyčíslenými existujúcimi vodnými zdrojmi (dlhodobé hodnoty sú kategorizované podľa stanoveného stupňa zabezpečenia a požiadavkami na vodu). Obsahuje objektívne a vecné hodnotenie skutočne realizovaných požiadaviek na vodu vo vzťahu k potenciálnym využiteľným množstvám vody v hydrogeologických rajónoch v konkrétnom roku.

Údaje o odberoch za jednotlivé roky pochádzajú z databázy odberov, ktorá sa naplňa údajmi na základe nahlasovacej a oznamovacej povinnosti organizácií/právnych subjektov odoberajúcich geotermálnu vodu a riadi sa podľa Zákona č. 51/2018, ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 364/2004 Z. z. o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon) a ktorým sa menia a dopĺňajú niektoré zákony a nadväznej vykonávacej Vyhlášky MŽP SR č. 412/2016 o vykonaní niektorých ustanovení vodného zákona. V zákone sa uvádza, že ten, kto odoberá povrchovú alebo podzemnú vodu z jedného zdroja v množstve nad 15 000 m³ ročne, alebo 1 250 m³ mesačne alebo využíva osobitné vody na podnikateľskú činnosť je povinný oznamovať Slovenskému hydrometeorologickému ústavu ročne údaje o týchto odberoch (sumárne mesačné odberné množstvá v m³ za mesiac).

Vzhľadom k tomu, že u ŠVHB je základnou hodnotiacou jednotkou hydrogeologický rajón, bolo potrebné pre kvantitatívne hodnotenie geotermálnych útvarov previesť údaje z hydrogeologických rajónov na geotermálne útvary podzemnej vody v zmysle Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 452 zo 4. decembra 2019.

Podobne ako je u kvartérnych a predkvartérnych útvarov podzemných vôd aj pre geotermálne útvary sme pre vzájomné porovnanie jednotlivých údajov použili transformovanú hodnotu využiteľných množstiev podzemných vôd pre každý geotermálny útvar, pričom sa zohľadňovala miera spoľahlivosti údajov jednotlivých kategórií nasledovne:

transformovaná hodnota využiteľných množstiev geotermálnych vôd (ďalej THVM) = (hodnota využiteľných množstiev kategórie A.1,0) + (hodnota využiteľných množstiev kategórie B.1,0) + (hodnota využiteľných množstiev kategórie C.0,80) + (hodnota využiteľných množstiev kategórie C1.0,75) + (hodnota využiteľných množstiev kategórie C2.0,70) + (hodnota využiteľných množstiev kategórie I.0,70) + (hodnota využiteľných množstiev kategórie II.0,50) + (hodnota využiteľných množstiev kategórie III.0,30) + (odhad.0).

Hodnota THVM geotermálnych vôd tak predstavuje vzájomne porovnateľný údaj o sumárnych využiteľných množstvách podzemných vôd jednak medzi jednotlivými geotermálnymi útvarmi, ale aj voči predkvartérnym útvarom podzemných vôd.

Výsledné bilančné hodnotenie množstiev podzemných vôd je možné vyjadriť faktorom bilančného stavu (Bs) na potreby hodnotenia kvantitatívneho stavu útvarov

podzemných vôd. Hodnota B_s predstavuje vzájomný pomer stanovených využiteľných množstiev a odberov geotermálnych vôd za hodnotený rok. Dobrý stav dokumentujú hodnoty B_s - dobrý ($3,33 < B_s$), B_s - uspokojivý ($1,43 < B_s \leq 3,33$) a B_s - napätý ($1,18 < B_s \leq 1,43$). Zlý stav v geotermálnom útvaru z pohľadu využívania vôd dokumentuje faktor B_s – kritický ($1,00 < B_s \leq 1,18$) a B_s – havarijný ($B_s \leq 1,00$). Pre porovnanie bilančného stavu útvaru v sledovanom období aj medzi útvarmi navzájom sa bude používať hodnota bilančného stavu so zohľadnením transformovaných využiteľných množstiev vyjadrená v % (**BsT**). B_sT vyjadríme ako pomer hodnoty odberu geotermálnej vody k hodnote THVM, ktorý vynásobíme 100. Medzná hodnota dobrého kvantitatívneho stavu (MH) bola stanovená podobne ako je to v prípade ostatných útvarov podzemných vôd na úrovni < 80 %. Pri grafickom hodnotení boli vyznačené tri úrovne označené farebnými líniami, ktoré reprezentujú: **PV**- plné využitie zdrojov (100 %), **MH**- medzná hodnota pre zlý kvantitatívny stav ($80 \% \leq$) a **UO** – uplatnenie opatrení na zvrátenie trendu (> 70 %).

Pri hodnotení kvantitatívneho stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd bolo zámerom určiť nielen celkové bilančné hodnotenie útvaru podzemnej vody, ale zabezpečiť i podklady pre definovanie vodohospodársky problémových lokalít vo vnútri jednotlivých útvarov. Na tento účel boli v hodnotiacej tabuľke útvaru podzemnej vody pre jednotlivé roky (2015 až 2017) indikované všetky lokality v prislúchajúcich útvaroch, u ktorých na základe hodnotení publikovaných v ŠVHB (2015 až 2017) dochádzalo pri využívaní podzemných vôd ku kritickému alebo havarijnému bilančnému stavu.

3.1.2 Trend časového vývoja kvantitatívneho stavu

Pri hodnotení trendu časového vývoja kvantitatívneho stavu geotermálnych útvarov vychádzame z bilančnej hodnoty útvaru vyjadrenej v %, ktorá odráža vzťah odoberaných množstiev vôd voči zohľadneným transformovaným hodnotám využiteľných množstiev. Časový vývoj kvantitatívneho stavu má pri útvaroch v dobrom stave skôr informačný charakter, ale pri útvaroch, kde bilančná hodnota útvaru sa nachádza v pásme 70 - 80 % hodnoty je potrebné stanoviť nápravné opatrenia na zvrátenie negatívneho trendu vo vývoji odberov vôd. Pri útvaroch v zlom kvantitatívnom stave je potrebné sledovať prínos jednotlivých nápravných opatrení. Pri výskyte minimálne jednej bilančnej hodnoty geotermálneho útvaru počas hodnoteného obdobia prevyšujúcej hodnotu > 70 % je potrebné vyjadriť znamienkami charakter vývoja kvantitatívneho stavu (-) – pokles, (+) – nárast a (=) stály stav.

3.1.3 Postup hodnotenia kvantitatívneho stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody

Pre hodnotenie kvantitatívneho stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody sa bude postupovať v tom zmysle, či v útvare sú alebo nie sú realizované geotermálne zdroje a či sa realizuje odber geotermálnej vody (tab. 3.1.3). V prípade, že v útvare sa nerealizoval geotermálny zdroj alebo sa nerealizuje odber geotermálnej vody z existujúceho zdroja bude tento hodnotený ako dobrý s poznámkou bez odberu vôd. Vychádzame pri tom z predpokladu, že kde sa nerealizuje odber vody nemôže dochádzať k ovplyvňovaniu jeho kvantitatívneho stavu.

Tab. 3.1.3 Spôsob hodnotenia kvantitatívneho stavu geotermálneho útvaru PzV

Geotermálny útvar bez odberu vody		Geotermálny útvar s odberom vody	
Metódy hodnotenia			
Bez hodnotenia		1. Bilančná hodnota geotermálneho útvaru BsT (%) 2.Trend časového vývoja kvantitatívneho stavu (-,+,=) 3. Analýza vodohospodársky problémových lokalít	
Hodnotenie kvantitatívneho stavu útvaru			
dobry	dobry	zlý	
	1. (bilančná hodnota geotermálneho útvaru BsT za sledované obdobie nesmie prekročiť hodnotu 80 %), 2. (trend vývoja hodnôt BsT < 70 % sa neznačí, pri BsT > 70 % značíme trend znamienkom) 3. Pri výskyte zdrojov s kritickým alebo havarijným bilančným stavom $Bs \leq 1,18$ – definovanie príčin	1. (bilančná hodnota geotermálneho útvaru BsT za sledované obdobie prekročí hodnotu 80 %), 2. (trend vývoja hodnôt BsT značíme znamienkom) 3. Identifikované zdroje s kritickým alebo havarijným bilančným stavom $Bs \leq 1,18$ – definovanie príčin a ich % podiel	
Opatrenia			
V poznámke bude uvedené, že v útvare nie je realizovaný odber vody – „bez odberu vody“.		Pri hodnote BsT > 70 % a < 80 % je potrebné navrhnúť opatrenia na zvrátenie nepriaznivého trendu.	
		Návrh nápravných opatrení podľa hydrogeologickej, hydrogeochemickej, technickej analýzy a sledovanie ich účinku.	

V geotermálnych útvaroch, v ktorých sa realizuje odber geotermálnej vody, sa bude hodnotiť kvantitatívny stav prostredníctvom bilančnej hodnoty BsT, pričom dôležitú úlohu bude zohrávať prítomnosť hodnôt > 80 %. Trend časového vývoja kvantitatívneho stavu

reprezentovaný hodnotou BsT bude sledovaný len v prípade, ak aspoň jedna hodnota prekročí hodnotu $BsT > 70 \%$, čo sa označí príslušným znamienkom. Prítomnosť zdrojov s kritickým alebo havarijným bilančným stavom $Bs \leq 1,18$ v geotermálnom útvare sa uvedie ako počet zdrojov na lokalite. Pri dobrom kvantitatívnom stave sa pri uvedených zdrojoch uvedie príčina tohto stavu. V prípade zlého kvantitatívneho stavu sa okrem príčiny tohto stavu uvedie aj % podiel jednotlivých zdrojov na tomto stave. Opatrenia pri dobrom kvantitatívnom stave sa budú realizovať len v prípade, ak sa v hodnotenom období objaví hodnota $70 \% < BsT < 80 \%$, pričom bude potrebné navrhnuť opatrenia na zvrátenie nepriaznivého trendu. Pri zlom kvantitatívnom stave bude potrebné navrhnuť nápravné opatrenia podľa hydrogeologickej, hydrogeochemickej, technickej analýzy a sledovať ich účinok.

3.1.4 Spôľahlivosť hodnotenia kvantitatívneho stavu

Pre hodnotenie spoľahlivosti vyhodnotenia kvantitatívneho stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd boli použité 4 miery spoľahlivosti:

0 – bez informácií/bez odberu

1 – nízka miera spoľahlivosti – bez údajov z monitorovania alebo údaje sú z nízkeho počtu informačných bodov (< 3) alebo medzi údajmi je veľký časový rozdiel > 5 rokov

2 – stredná miera spoľahlivosti – obmedzené alebo nedostatočné údaje z monitorovania minimálne 3 informačných bodov (krátke časové obdobie < 5 rokov, významnú úlohu v hodnotení stavu zohráva expertné posúdenie),

3 – vysoká miera spoľahlivosti – spoľahlivé údaje z monitorovania 3 informačných bodov (za dlhšie časové obdobie ≥ 5 rokov) a model trvalo udržateľného využívania zdrojov geotermálneho útvaru.

3.2 HODNOTENIE CHEMICKÉHO STAVU GEOTERMÁLNYCH ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD

Pre hodnotenie chemického stavu kvartérnych a predkvartérnych ÚPzV boli stanovené prahové hodnoty, ktoré sú významným kritériom hodnotenia, lebo ak dochádza k ich prekročeniu pri významnom stúpajúcom trende, nasledujú nápravné opatrenia na zvrátenie tohto trendu. Samotné prahové hodnoty boli stanovené pre každý kvartérny a predkvartérny ÚPzV. Vychádzali z pozad'ových hodnôt a **referenčných hodnôt**, ktorými boli koncentrácie, ktorými sa stanovujú požiadavky na **vodu určenú pre ľudskú spotrebu**.

Tieto požadové, referenčné a prahové koncentrácie nie sú v žiadnom prípade vhodné pre hodnotenie chemického stavu geotermálnych ÚPzV z nasledovných dôvodov:

- geotermálne a minerálne vody sú viazané na špecifické hydrogeotermálne štruktúry, ktoré vo väčšine prípadov majú hlboký obeh podzemnej vody (tu dochádza k zvýšeniu teploty vody, ktorá sa obohacuje o rozpustené a plynné zložky).
- prakticky každá hydrogeotermálna štruktúra má iné chemické zloženie vody, dôležité je, že hodnota celkovej mineralizácie je výrazne vyššia, ako u obyčajnej podzemnej vody. Chemické zloženie má čisto prírodný pôvod a neobsahuje žiadne synteticky vyrábané organické látky.
- významnou vlastnosťou geotermálnej vody je jej dobrá časová stabilita chemického zloženia (hlavne vplyv času zdržania v horninovom prostredí).

Z hľadiska uvedených dôvodov je síce možné stanoviť požadové hodnoty aj pre geotermálne vody, ale **referenčná hodnota** by bola veľká neznáma, lebo tieto vody sa využívajú najmä na vykurovanie (kritériom je teplota vody), rekreáciu (kritériom je teplota vody). Prírodné liečivé vody majú kvalitatívne kritériá minimálnych koncentrácií napr. 1 000 mg.l⁻¹ oxidu uhličitého, 1 200 mg.l⁻¹ síranov, 1 mg.l⁻¹ fluoridového iónu apod. (Vyhláška č. 100/2006 Z. z.).

Významným faktorom hodnotenia chemického stavu geotermálnych vôd hlavne z hľadiska ich využívania je **stabilita ich chemického zloženia**, preto aj toto kritérium je najvýznamnejšie pre prípadné nápravné opatrenia pri jej narušení.

3.2.1 Hodnotenie stability chemického zloženia geotermálnych vôd

3.2.1.1 Faktory stability chemického zloženia geotermálnych vôd

Tvorba geotermálnych vôd nastáva len v hydrogeotermálnej štruktúre, kde sú vytvorené priaznivé geologicko-tektonických podmienky, ktoré reprezentuje zvodnené geologické prostredie, ktoré je schopné svojou medzizrnovou, puklinovou, alebo krasovo-puklinovou priepustnosťou transportovať vodu z miesta infiltrácie do miesta akumulácie a výstupu na zemský povrch prostredníctvom prírodných (pramene) alebo umelo vyvolaných podmienok (vrty). Ak sa zvodnené geologické prostredie nachádza vo väčších hĺbkach a je litologicky alebo tektonicky prepojené s povrchom terénu, tak sa na formovaní geotermálnej vody môžu zúčastňovať plyny a v niektorých prípadoch aj vody morského pôvodu. Geologické a tektonické podmienky a paleohydrogeologický vývoj Západných Karpát sú rozhodujúce pre tvorbu geotermálnych vôd rôznej genézy podľa toho, ktoré

z procesov tvorby ich chemického zloženia sa uplatňujú. Uvedenému zodpovedá veľká variabilita fyzikálno-chemických a biologických vlastností geotermálnych vôd Západných Karpát.

Geotermálne vody Západných Karpát sú bohaté na plyny. Najčastejšie sa vyskytujúce plyny v minerálnych vodách Západných Karpát sú CO₂, H₂S, CH₄, N₂, He a Rn. V závislosti od hydrostatických, hydrogeochemických a termodynamických podmienok v zvodnenom prostredí sa plyny v podzemnej vode nachádzajú v rozpustenej alebo čiastočne plynnej fáze. Prirodzený režim obsahu plynov spôsobuje nestabilitu celkovej mineralizácie, najčastejšie vplyvom CO₂ zložky karbonátovej rovnováhy.

Tieto procesy priamo, či nepriamo ovplyvňujú aj kvalitu geotermálnych vôd. Medzi faktory, ktoré priamo ovplyvňujú stabilitu, či nestabilitu fyzikálno-chemického zloženia geotermálnych vôd patrí v neposlednom rade aj spôsob zachytenia a určenia odberového množstva vody.

Optimalizácia priestorových a funkčných vzťahov pri technicko-hospodárskom využívaní územia upriamuje našu pozornosť na ďalšie aktivity, ktoré spôsobujú devastáciu geologického prostredia a môžu pôsobiť na nestabilitu fyzikálno-chemického zloženia minerálnych vôd. Sú to ťažba nerastných surovín, ťažba kvapalín a plynov, vodné hospodárstvo a hydrotechnická výstavba, dopravná, priemyselná a komunálna výstavba, poľnohospodárska činnosť, úložiská odpadov a i.

3.2.1.2 Popisné a štatistické hodnotenie stability chemického zloženia

Zo štatistického hľadiska možno povedať, že nestabilitu spôsobujú odlišné hodnoty ako ostatné v jednom dátovom súbore, ktorý predstavujú chemické analýzy z monitoringu kvality zdroja geotermálnej vody. Tieto odlišné hodnoty sú v štatistickom slova zmysle odľahlé hodnoty a upozorňujú na zmeny v danom systéme. Z pohľadu geotermálnej vody môžeme tieto body pokladať za najdôležitejšie, lebo môžu viesť až k zmenám chemického typu vody alebo k zmenám obsahu prvku/prvkov geotermálnej vody.

Odľahlé hodnoty môžu mať rôzne príčiny, môžu byť spôsobené chybou odberu, transportu a analýzy vzorky, jednoducho povedané chybou merania alebo záznamu. Ďalšou príčinou môže byť pozorovanie iného charakteru ako ostatné dáta, t. j. pozorovanie zapríčinené inými ako prírodnými podmienkami. Tieto môžu byť spôsobené čerpaním väčšieho množstva vody ako je stanovené využiteľné množstvo, technickým stavom vrtu, vplyvom nového vrtu v blízkosti zdroja a pod. Poslednou príčinou môže byť udalosť, ktorú

nevieme vysvetliť, ale hodnota je od ostatných výrazne odlišná. Takýto prípad sa vyskytuje zriedkavo.

Prístup k stanoveniu kritérií hodnotenia stability chemického zloženia minerálnych vôd štatistickými metódami vychádza z dvoch základných úvah:

- Charakteristikou stability je výskyt minimálneho počtu odľahlých hodnôt v danom súbore údajov časového radu, t. j. úlohou je identifikácia odľahlých hodnôt.
- Trend časového radu by nemal prekročiť stanovené kritériá pre stabilitu chemického zloženia minerálnej vody, t. j. interval koncentrácií, nad ktorým sa vyskytujú odľahlé hodnoty.

Na testovanie boli vybrané postupy na základe informácií z rešeršného spracovania danej problematiky, ako aj zo skúseností autorov z predchádzajúcich štúdií podobného charakteru. Vo všeobecnosti štatistické metódy hodnotenia charakterizujú distribúciu a identifikujú a eliminujú odľahlé hodnoty z originálneho dátového súboru. Štatisticky sú definované ako hodnoty patriace do inej populácie pozorovaní, pochádzajúce z iných procesov alebo zdroja, napr. odvodené z kontaminovanej/kontaminovaných časti/častí distribúcie (Hampel et al., 1986; Barnett et al., 1994).

Na základe viacerých prác (Reimann et al., 2005; Tukey, 1977; Erhardt et al., 1998; Matschullat et al., 2000; Helsel a Hirsch, 1992, 2002) uvedených v Bodiš a kol. (2010), ktorých autori sa zaoberali popisným a štatistickým hodnotením súborov dát, pre ich praktickú využiteľnosť bola pre hodnotenie chemickej stability geotermálnej vody vybraná metóda medzikvartilového rozpätia (IQR), ktorú pre výskum vodných zdrojov použili Helsel a Hirsch (1992, 2002). Pre určenie odľahlých hodnôt súboru dát je konvenčne uznaný 1,5 násobok medzikvartilového rozdielu (Tukey, 1977). Dolný a horný limit tejto hranice je vypočítaný podľa vzorcov:

$$\text{Dolný limit} = Q1 - 1,5 \cdot \text{IQR}$$

$$\text{Horný limit} = Q3 + 1,5 \cdot \text{IQR}.$$

kde $\text{IQR} = Q3 - Q1$

$Q1$ – dolný kvartil

$Q3$ – horný kvartil

Táto metóda spolu s metódou (medián + 2*MAD kde MAD je absolútna odchýlka mediánu) patria medzi rezistentné metódy hodnotenia rozdelenia, pričom metóda medzikvartilového rozpätia (IQR) má určitú benevolenciu, ktorá zohľadňuje prirodzený kvalitatívny režim.

3.2.2 Trend časového vývoja chemického zloženia

S ohľadom na trend časového vývoja chemického zloženia geotermálnych vôd je dôležitou otázkou určiť počiatočnú (štartovaciu) hodnotu, od ktorej by sa mali odvodzovať kritériá stability chemického zloženia geotermálnej vody. Do úvahy prichádza počiatočný bod monitoringu kvality na zdroji a od neho odvodené kritériá stability za určité časové obdobie. Výhodou tohto prístupu je najmä zohľadnenie rozsahu prirodzených zmien režimu, či už cyklického, alebo iného charakteru. Druhou možnosťou je stanovenie počiatočného stavu, ktorý je daný chemickou analýzou z odberu vzoriek v určitom čase a za určitých podmienok, napr. v priebehu hydrodynamickej skúšky, ktorá zohľadňuje rôzne odoberané množstvo vody. Od stanovených ukazovateľov by potom bolo možné do nasledujúceho obdobia sledovať kritériá stability chemického režimu geotermálnej vody. Neistotou druhého postupu je relatívne krátke obdobie hydrodynamickej skúšky, počas ktorého nemusí prísť k ustáleniu kvalitatívneho režimu.

Pri hodnotení stability chemického zloženia minerálnych vôd hrá dôležitú úlohu trend vývoja časového radu. Dôležitý je z toho hľadiska, že naznačuje na určitú nehomogenitu hydrogeologickej štruktúry a režimu kvality minerálnej vody aj v prípade, že nedôjde k prekročeniu kritérií stability na hodnotenom zdroji a navyše zohľadňuje časový faktor. Ak vývoj trendu prekročí dané kritické hodnoty, musí následne dôjsť k identifikácii príčin a opatreniam na zvrátenie nepriaznivého vývoja. Identifikácia príčin zmien je možná v prvom rade opakovaným vzorkovaním (v časovom rade však vzorkovanie neumožňuje vrátiť sa v čase späť) a dôkladnou analýzou potenciálnych prírodných a sekundárnych faktorov vplývajúcich na stabilitu chemického zloženia geotermálnej vody.

Z pohľadu trendu vývoja nestability jednotlivých komponentov chemického zloženia geotermálnej vody príslušného útvaru sa pri jeho hodnotení uvedie znamienkom < pokles príslušného ukazovateľa (napr. Cl <) alebo znamienkom > nárast (napr. Cl >).

Významným krokom hodnotenia stability režimu kvality geotermálnych vôd je hodnotiť dáta nielen štatistickými metódami, ale analyzovať situáciu aj z odborného hľadiska. Príkladom tohto hodnotenia sú zdroje v cezhraničnom geotermálnom útvare podzemnej vody SK300010FK Komárňanská vysoká kryha, kedy rozdelenie súboru dát na

sekvencie 1991-1993 a 2018-2019 je okrem štatistických kritérií podložené aj odbornou hydrogeologickou, hydrogeochemickou a technickou analýzou. Uvedené geotermálne útvary podzemnej vody boli v priebehu rokov 2018-2019 geotermálne hodnotené v rámci geologickej úlohy č. 07 17-01 Regionálne geotermálne zhodnotenie komárňanskej okrajovej kryha a komárňanskej vysokej kryha (Marcin et al., 2020).

Po sprístupnení údajov z monitoringu minerálnych vôd (IKŽ MZ SR) bol podobne hodnotený aj vývoju stability chemického zloženia uvedených zdrojov geotermálnych útvarov podzemných vôd vo vzťahu k ich prírodnému režimu a k spôsobu prevádzky.

3.2.3 Postup hodnotenia chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody

Pre hodnotenie chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody sa bude postupovať v tom zmysle, či v útvare sú alebo nie sú realizované geotermálne zdroje a či sa realizuje odber geotermálnej vody (tab. 3.2.3). V prípade, že sa v útvare neralizoval

Tab. 3.2.3 Spôsob hodnotenia chemického stavu geotermálneho útvaru PzV

Geotermálny útvar bez odberu vody		Geotermálny útvar s odberom vody	
Metódy hodnotenia			
Bez hodnotenia		1. Stabilita chemického zloženia (M, Ca, Mg, Na, Cl, HCO ₃ , SO ₄) - IQR 2.Trend časového vývoja chemického zloženia	
Hodnotenie chemického stavu útvaru			
dobrý	dobrý	zlý	
	1. (hlavné ukazovatele chemického typu vody sa nachádzajú medzi dolným a horným limitom rozptylu), 2. (trend vývoja komponentov chemického typu vody dosahuje rovnaký priebeh a jednotlivé odchýlky je možné popísať z režimu zdrojov)	1. (aspoň dva hlavné ukazovatele sa nachádzajú mimo dolného a horného limitu rozptylu), 2. (trend vývoja komponentov chemického typu vody ma rozdielny priebeh, čo môže smerovať až k jeho zmene – tieto zmeny sú spôsobené nesprávnym využívaním zdrojov)	
Opatrenia			
V poznámke bude uvedené, že v útvare nie je realizovaný odber vody – „bez odberu vody“.		Návrh nápravných opatrení podľa hydrogeologickej, hydrogeochemické a technickej analýzy.	

geotermálny zdroj alebo sa nerealizuje odber geotermálnej vody z existujúceho zdroja, bude tento hodnotený ako dobrý s poznámkou bez odberu vôd. Vychádzame pri tom z predpokladu, že kde sa nerealizuje odber vody, nemôže dochádzať k ovplyvňovaniu jeho chemického stavu.

V geotermálnych útvaroch, v ktorých sa realizuje odber geotermálnej vody, sa bude hodnotiť stabilita chemického zloženia pre jednotlivé zdroje v tých ukazovateľoch, ktoré charakterizujú chemický typ vody (mineralizácia, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-}). Ďalšou metódou je hodnotenie trendu vývoja uvedených ukazovateľov v jednotlivých zdrojoch geotermálneho útvaru. V prípade zistenia nestability niektorej zložky chemického zloženia vody v zdroji, je potrebné dokumentovať početnosť zmien a ich pôvod. Následne je potrebné expertne posúdiť, či sa jedná o vplyv antropogénny, alebo je to prirodzený jav spôsobený napr. klimatickou zmenou.

3.2.4 Spôľahlivosť hodnotenia chemického stavu

Pre hodnotenie spoľahlivosti vyhodnotenia chemického stavu geotermálneho útvaru boli použité 4 miery spoľahlivosti:

0 – bez informácií/bez odberu

1 – nízka miera spoľahlivosti – bez údajov z monitorovania alebo údaje sú z nízkeho počtu informačných bodov (< 3) alebo medzi údajmi je veľký časový rozdiel > 5 rokov

2 – stredná miera spoľahlivosti – obmedzené alebo nedostatočné údaje z monitorovania minimálne 3 informačných bodov (krátke časové obdobie < 5 rokov, významnú úlohu v hodnotení stavu zohráva expertné posúdenie),

3 – vysoká miera spoľahlivosti – spoľahlivé údaje z monitorovania minimálne 3 informačných bodov (za dlhšie časové obdobie ≥ 5 rokov).

3.3 MODEL TRVALO UDRŽATEĽNÉHO VYUŽÍVANIA ZDROJOV GEOTERMÁLNEHO ÚTVARU

Pri kvantitatívnom hodnotení geotermálnych útvarov podzemných vôd prihliadame nielen na hydrogeologickú bilanciu, ale je potrebné zohľadniť aj energetickú bilanciu, ktorá odráža overiteľné množstvo geotermálnej energie bilancovanej pre časové obdobie $t_{\text{prod}} = 100$ rokov, ktorej využitie by bolo možné bez ohľadu na riziká spojené s jej využívaním (ochladzovanie tranzitnej a akumulačnej oblasti čiastkových hydrogeotermálnych štruktúr,

případne zmenu chemického zloženia a chemicko-technologických parametrov geotermálnych vôd).

Energetická bilancia je do značnej miery závislá na množstve a kvalite údajov, ktoré do hodnotenia vstupujú. Z tohto dôvodu jej najväčší prínos môžeme očakávať pri geotermálnych útvaroch, kde miera spoľahlivosti vyhodnotenia kvantitatívneho stavu dosahuje vysokú mieru spoľahlivosti.

3.3.1 Koncepcia trvalo udržateľnej rezervoárovej produkcie

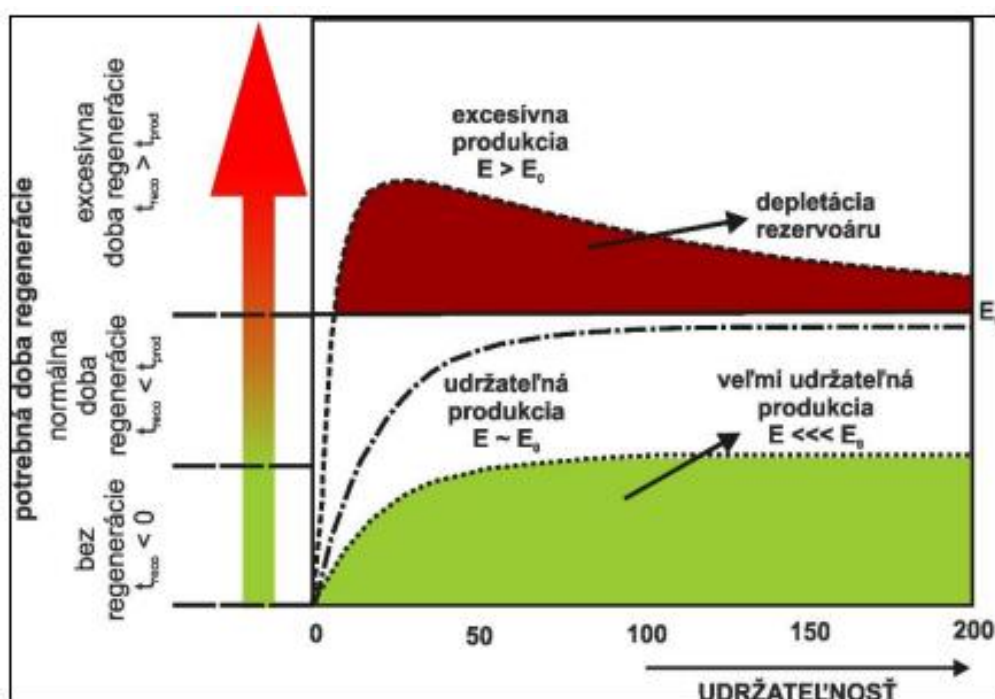
Napriek tomu, že zdroje geotermálnej energie sú konvenčne definované ako obnoviteľné a udržateľné, existujú príklady desiatok geotermálnych polí, systémov, alebo štruktúr, napríklad Cerro Prieto (Mexiko), Laugaland (Island), Pauzhetsky (Rusko), Matsukawa (Japonsko), The Geysers (USA) alebo Larderello v Taliansku (Flóvenz et al., 1995, 2010, 2012; ; Yasukawa – Sasada, 2015; Gutiérrez – Negrín, 2005; Sanyal – Egedy, 2011; Kaya et al., 2011; Svalova – Povalov, 2015), kde dlhodobá produkcia, nie nevyhnutne spojená s reinjektážou, viedla k zmenám v rezervoárových a produkčných podmienok s rôznou reverzibilitou, ako napríklad:

- zmena rezervoárovej alebo produkčnej entalpie a exergie média
- zmena povahy mobilnej fázy alebo strata parnej fázy v rezervoárovom prostredí
- zmena chemizmu rezervoárového a produkovaného média
- strata produktivity.

Tieto opakovane pozorované dôsledky dlhodobej produkcie potvrdili, že deklarovaná obnoviteľnosť, ako aj udržateľnosť zdrojov geotermálnej energie, je odrazom prirodzeného, alebo pred-produkčného stavu rezervoárového prostredia s termodynamicky kontrolovanou zvratnosťou prirodzených procesov, a stav rezervoárového systému je možné opísať ako uzavretý (Lee, 1996, 2001). Akýkoľvek technický a technologický zásah do rezervoárového prostredia spojený s testovacou alebo dlhodobou produkciou okamžite vedie k deštrukcii termodynamickej rovnováhy systému na rozhraní médium – prostredie, pričom dochádza k zmene termodynamického stavu prostredia na otvorený, v ktorom zvratnosť (reverzibilita) procesov je dynamickým, v čase nestabilným javom (Lee, 2001; DiPippo, 2005).

V snahe predchádzať čiastočne alebo úplne nezvratným zmenám v rezervoárovom prostredí a v podmienkach produkcie zdrojov GTE, t. j. v snahe zabezpečiť ich dlhodobu udržateľnú produkciu, bola Medzinárodnou geotermálnou asociáciou (IGA) prijatá definícia

konceptie trvalo udržateľnej rezervoárovej produkcie (obr. 3.3.1.1) vypracovanej Pracovnou skupinou III (IGA Working Group III), podľa ktorej „... pre každý geotermálny systém a pre ľubovoľný zvolený spôsob produkcie rezervoáru existuje určité, kritické množstvo energie E_0 , pod ktorého hranicou je možné dlhodobo (po dobu 100-300 rokov) udržiavať konštantnú produkciu energie. Produkciu rovnú, alebo nižšiu ako E_0 je možné označiť ako udržateľnú, kým produkcia vyššia ako E_0 je považovaná za depletačnú“ (Axelsson et al., 2001). Odporúčaná doba produkcie, ev. doba bilancie zdrojov geotermálnej energie, t. j. 100 rokov, reflektuje súlad medzi koncepciou trvalo udržateľnej rezervoárovej produkcie (TURP) a konceptom trvalo udržateľného rozvoja (TUR) predovšetkým zabezpečením dostatočnej časovej škály, ktorá by reprezentovala termín plurálu „budúcich generácií“ v koncepte TUR (Axelsson et al., 2002, 2004). Definícia jednoznačne zdôrazňuje technologický, energetický, antropogénny aspekt charakterizujúci pojem „udržateľnosť“ zdrojov geotermálnej energie (Axelsson et al., 2010).



Obr. 3.3.1.1 Konceptia trvalo udržateľnej rezervoárovej produkcie (upravil Fričovský et al. 2017 podľa: Axelsson et al. 2001)

Praktické aspekty aplikovania koncepcie TURP

V medzinárodnom hľadisku je koncepcia TURP prirodzene aplikovaná v sfére prieskumu, rozvoja, produkcie a využívania zdrojov geotermálnej energie rovnako ako aj vo fáze tvorby reportovacích schém (napr. Ungemach et al., 2007; Lund – Boyd, 2015; Feng et

al., 2019; Lund – Tóth, 2020). Najčastejšie akcentovanými aspektmi aplikácie koncepcie TURP v praxi sú predovšetkým:

- kontinuálny, technicky a technologicky dokumentovateľný a kvalitatívne reprezentatívny monitoring geochemických, hydraulických a geotermických parametrov rezervoárového prostredia a produkovaného rezervoárového média (Axelsson, 2009; Axelsson – Kristmansdottir, 2009);
- tvorba koncepčných modelov exploitovaných geotermálnych polí, systémov a štruktúr s dôrazom na kvantifikovanie koncových členov transportu tepla (Kjaran – Eliasson, 2008; Axelsson, 2009, 2012; Grant – Bixley, 2011)
- využitie pravdepodobnostných simulačných modelov odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie, energetického potenciálu a energetickej kapacity štruktúry s kontinuálnou rekalibráciou modelov odhadu na základe výsledkov pred-produkčného a dlhodobého produkčného monitoringu (Sanyal – Sarmiento, 2005; Grant, 2000, 2014; Tester et al., 2006; Sutter et al., 2011; Fox et al., 2013; Garg – Combs, 2010, 2011, 2015);
- prechod od nekalibrovaných 1D analytických, ku kalibrovaným lumpfit-modelovým a numerickým modelovým riešeniam odhadu rezervoárovej odozvy reflektovaním rozvoja monitorovacej siete a novými údajmi dlhodobého produkčného monitoringu (Stefansson – Axelsson, 2005; Axelsson – Kristmansdottir, 2009; Ascencio et al., 2014; Grant, 2000, 2014);
- využitie a kombinácia bilančných, socio-ekonomických a environmentálnych modelov hodnotenia udržateľnosti zvolených produkčných stratégií (Philips, 2010; Shortall et al., 2015a,b; Shortall – Davidsdottir, 2015);
- termodynamická analýza potenciálu, kvality, okrajových podmienok účinnosti a efektívnosti využívania a rozvoja produkcie geotermálnej energie (Ozgener et al., 2005, 2007; Utlu – Hepbasli, 2008; Gungor et al., 20011);
- realizovanie predovšetkým krokových, nie konštantných stratégií produkcie zdrojov geotermálnej energie (Stefansson – Axelsson, 2005; Axelsson, 2009).

Ani praktická aplikácia vyššie uvedených krokov nevedie automaticky k dlhodobosti, respektíve udržateľnosti produkcie zdrojov geotermálnej energie. Rešpektovanie koncepcie TURP v spojení s princípmi, na ktorých je rezervoárové inžinierstvo založené, môže ale výrazne prispieť k zníženiu rizika energetického kolapsu

štruktúry, ireverzibilných zmien rezervoárového chemizmu a mobilnej fázy, alebo straty produkcie (Axelsson, 2012).

3.3.2 Bilančný model odhadu trvalo udržateľného využívania zdrojov GTE

3.3.2.1 USGS objemová (volumetrická) metóda

Základným výpočtovým modelom stanovenia energetickej bázy je USGS objemová, alebo volumetrická metóda (Muffler – Cataldi, 1978; Williams, 2004; Clotworthy et al., 2006; Williams et al., 2008) založená na stanovení celkovej, akumulovanej energie v systéme H_T /1 a 2/, ktorá je viazaná na rezervoárové médium H_F a horninové prostredie H_M :

$$H_T = H_F + H_M = \left[A_t \cdot \Delta z \cdot (\varphi_e \cdot \rho_{w,res} \cdot c_{w,res}) \cdot (T_{res} - T_{inj}) \right] + A_t \cdot \Delta z \cdot [(1 - \phi_e) \cdot \rho_m \cdot c_m] \cdot (T_{res} - T_{inj}) \quad /1/$$

$$H_T = A_t \cdot \Delta z \cdot [\varphi_e \cdot \rho_{w,res} \cdot c_{w,res} + (1 - \phi_e) \cdot \rho_m \cdot c_m] \cdot (T_{res} - T_{ref}) \quad /2/.$$

Celková energia v systéme je zároveň kombináciou energie akumulovanej v rezervoárovom prostredí a energie prechádzajúcej systémom (Steingrímsson et al., 2006; Sarmiento et al., 2013). Preto len časť celkovej energie H_T môže byť prakticky exploatovaná – dostupná. Kritickým faktorom využitia USGS objemovej metódy je preto stanovenie koeficientu redukcie R_0 , ktorý definuje dostupné množstvo geotermálnej energie v systéme H_0 (Muffler – Cataldi, 1978; Williams, 2004) /3/:

$$H_0 = H_T \cdot R_0 \quad /3/.$$

3.3.2.2 Koeficient redukcie R_0

Prax hydrogeotermálneho hodnotenia PGO respektíve ÚGV na území Slovenska spočívala vo využívaní USGS objemovej metódy a následne aj koeficientu redukcie R_0 v podmienkach uzavretých hydrogeotermálnych systémov (Fendek et al., 2005), pričom pre otvorené systémy bola využívaná lokálne adaptovaná (Fendek, 1993, 1997) metóda tepelnej bilancie (White – Williams, 1975). Dopady tohto postupu v hydrogeotermálnom hodnotení sú uvedené nižšie. Ak aj bola využívaná USGS objemová metóda, šlo prakticky o využitie konštánt $R_0 = 0,1$ (napr. Franko et al., 1995; Fendek et al., 2005) a $R_0 = 0,075$ (napr. Bajo et al., 1988, 2004, 2007; Vranovská et al., 1999). Využitie konštánt pre parameter založený na špecifikácii geologických, hydrogeologických, geotermických alebo produkčných podmienok pritom predstavuje riziko výrazného skreslenia výsledkov ako samotného R_0 , tak

aj následného odhadu dostupného množstva geotermálnej energie (Grant, 2000, 2014; Garg – Combs, 2010). Bilančný model je založený na empirickom definovaní špecifického R_0 pre jednotlivé útvary geotermálnych vôd podľa ich lokálnych podmienok prostredníctvom Monte Carlo simulácie.

Pre ÚGV, pri ktorých existuje predpoklad asociácie otvorených hydrogeotermálnych štruktúr alebo systémov, a zároveň pri ktorých nepredpokladáme využitie reinjektáže, je odhad R_0 založený na metóde efektívneho rezervoárového objemu /4 až 6/ (Sanyal – Buttler, 2005; Williams, 2010; Williams et al., 2011):

$$\Phi_{res} = \frac{V_e}{V} = \frac{A_e \cdot \Delta z_e \cdot \phi_e}{A \cdot \Delta z \cdot \phi_e} \quad /4/$$

$$\Gamma_{R0} = \frac{T_{cool}}{T_{res,ini} - T_{ref}} = \frac{T_{res,ini} - 0,1T_{res,ini}}{T_{res,ini} - T_{ref}} = \frac{0,9T_{res,ini}}{T_{res,ini} - T_{ref}} \quad \left| \begin{array}{l} T_{ref} = 0^\circ C \\ T_{ref} = T_{inj} \end{array} \right. \quad /5/$$

$$R_0 = \Phi_{res} \cdot \Gamma_{R0} = \Phi_{res} \cdot \frac{T_{cool}}{T_{res,ini} - T_{ref}} \quad /6/.$$

Metóda vychádza z pomeru medzi objemom efektívnej plochy daného systému definovanej povrchovými prejavmi tepelnej anomálie na lokálnom pozadí V_e /4/ a celkovým objemom systému V vrátane tých častí, kde nie je predpoklad produkcie – napr. prítokové zóny (Tester et al., 2006). Podiel dostupného množstva geotermálnej energie /6/ je následne definovaný rozdielom medzi tzv. tolerovateľným ochladením štruktúry T_{cool} /5/ a geotermickým spádom systému, pričom tolerovateľné ochladenie predstavuje 10 % iniciálnych teplotných podmienok (Tester et al., 2006; Williams et al., 2011; Sutter et al., 2011; Fox et al., 2014). Evidentne ide o umelé určenie miery tolerovateľného ochladenia, plne v súlade s koncepciou TURP tak, aby boli minimalizované riziká predovšetkým vo vzťahu k zmene mobilnej fázy v systéme pri energeticky výhodnej produkcii.

Pre ÚGV, pri ktorých predpokladáme asociáciu uzavretých štruktúr a systémov spolu s využitím reinjektáže, model využíva metódu účinnosti rezervoárovej produkcie, dizajnovanú pre dubletové systémy (Antics et al., 2005; Ungemach et al., 2005, 2009). Metóda porovnáva dizajnované produkované množstvá média pri daných geotermických parametroch voči celkovému objemu systému (ÚGV) /7/ a vzťahu medzi technickým – produkčným a prirodzeným gradientom teploty /8/:

$$\eta_{prod} = \frac{Q_{prod}}{A_e \cdot \Delta z} \cdot \frac{\gamma_{w,wh}}{\gamma_t} \cdot t_{prod} \quad /8/$$

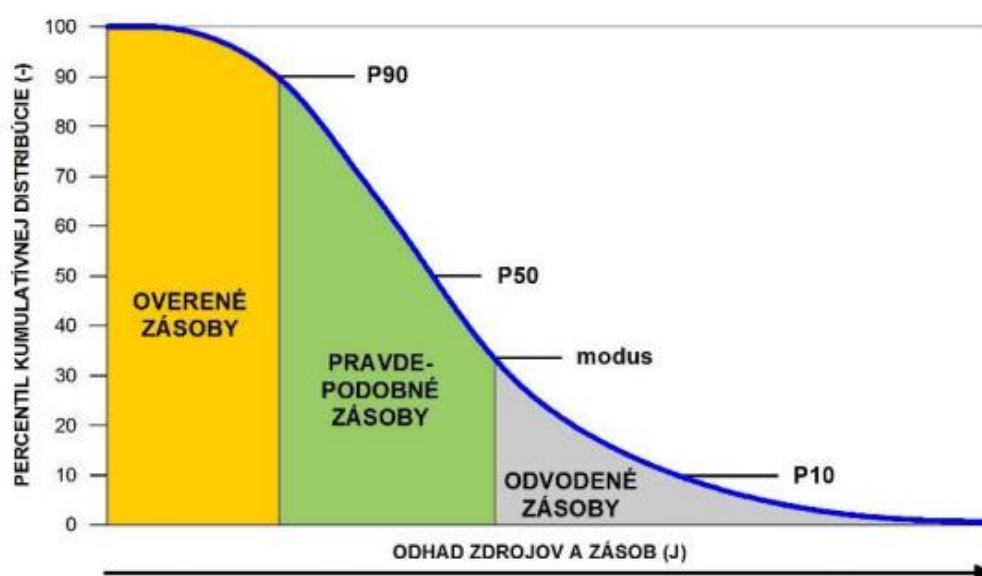
$$R_0 = \eta_{prod} \cdot \frac{T_{w,res} - T_{inj}}{T_{w,res} - T_0} = \eta_{prod} \cdot \frac{T_{w,res} - T_{ref}}{T_{w,res} - T_0} \quad /9/.$$

3.3.2.3 McKelveyova schéma – pravdepodobnostný model

Základom konštrukcie modifikovanej McKelveyovej schémy a jej pravdepodobnostného modelu (Williams et al., 2008, 2011) je využitie Monte Carlo simulácie (Rubinstein – Kroesse, 1991) pre definovanie R_0 a zároveň v kombinácii výrazov /2/ a výsledného odhadu R_0 v danom útvare geotermálnych vôd pre 10 000 iterácií.

Reprezentatívny odhad R_0 je následne definovaný výberom subpopulácie so šírkou $P90(R_0')$ až $P50(R_0')$ respektíve $Md(R_0')$, podľa miery zošikmenia primárnej populácie na výslednej IDF krivke distribúcie R_0 . Výsledná hodnota R_0 následne zodpovedá strednej hodnote – mediánu zvolenej subpopulácie, t. j. $R_0 = Md(<P90(R_0'); Md(R_0')>)$, respektíve, ak $P50(R_0') < Md(R_0')$, potom $R_0 = Md(<P90(R_0'); P50(R_0')>)$.

McKelveyova modifikovaná schéma vychádza z konceptu pravdepodobnostného odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie (Sanyal – Sarmiento, 2005; Garg – Combs, 2010, 2011, 2015; Grant, 2014). Získaná IDF krivka distribúcie dostupného množstva geotermálnej energie H_0 z primárnej populácie 10 000 iterácií (obr. 3.3.2.3.1) je bilancovaná (tab. 3.3.2.3.1) stanovenou dobou produkcie t_{prod} v jednotlivých triedach spoľahlivosti odhadu, ktoré zodpovedajú definíciám tried spoľahlivosti geologickej istoty v samotnej schéme.



Obr. 3.3.2.3.1 Pravdepodobnostný model McKelveyovej schémy. Upravené podľa: Sanyal – Sarmiento (2005); Garg – Combs (2010, 2011, 2015); Grant (2014)

Tab. 3.3.2.3.1 Bilancovanie McKelveyovej schémy na základe pravdepodobnostného modelu a IDF distribúcie odhadu H_0 respektíve H_T . Upravené podľa: Sanyal – Sarmiento (2005), Grant (2014); Fričovský et al. (2019)

Kategória	IDF podmienky
Zdroje geotermálnej energie	$RS_T = \frac{P10(H_T) - P10(H_0)}{t_{prod}}$
indikované / odvodené zásoby	$R_{inf} = \frac{P10(H_0) - Md(H_0)}{t_{prod}}$ ak $Md(H_0) < P50(H_0)$
	$R_{inf} = \frac{P10(H_0) - P50(H_0)}{t_{prod}}$ ak $Md(H_0) > P50(H_0)$
pravdepodobné zásoby	$R_{pb} = \frac{Md(H_0) - P90(H_0)}{t_{prod}}$ ak $Md(H_0) < P50(H_0)$
	$R_{pb} = \frac{P50(H_0) - P90(H_0)}{t_{prod}}$ ak $Md(H_0) > P50(H_0)$
overené zásoby	$R_{pv} = \frac{P90(H_0)}{t_{prod}}$

Pre účely bilančného modelu trvalo udržateľného využívania zdrojov geotermálnej energie je kritické stanovenie:

- triedy „overených“ zásob geotermálnej energie zodpovedajúcich odhadu s najväčšou priradenou geologickou istotou, t. j. pre bilancované množstvá geotermálnej energie $P90(H_0)$,
- triedy „pravdepodobných“ zásob geotermálnej energie, zodpovedajúcich odhadu s priradenou strednou hodnotou geologickej istoty, t. j. v intervale $P90(H_0) - P50(H_0)$ alebo $P90(H_0) - Md(H_0)$, podľa vzťahu $P50(H_0)$ a $Md(H_0)$.

3.3.2.4 Modifikovaný koeficient kapacity zásob

Bilančný model trvalo udržateľného využitia a využívania zdrojov GTE predstavuje síce najjednoduchší spôsob odhadu a klasifikácie udržateľnosti produkcie geotermálnej energie (Shortall et al., 2015a), zároveň ale predstavuje model s významnou hladinou spoľahlivosti vo vzťahu k minimu nevyhnutných aproximácií (Grant, 2014).

Kapacita zásob R_{cap} geotermálnej energie /10/ predstavuje rozdiel medzi aktuálne využívaným potenciálom geotermálnej energie (P_{th} = aktuálny výkon) a množstvom geotermálnej energie stanoveným odhadom ($R_{pb} + R_{pv}$). Následne základný koeficient kapacity zásob r_{cap} /11/ definuje podiel množstva geotermálnej energie prítomnej

v rezervoári pri jeho využívaní voči prítomnému energetickému potenciálu (Bjarnadottir, 2010; Fričovský et al., 2019):

$$R_{cap} = (R_{pb} + R_{pv}) - P_{th} \quad /10/$$

$$r_{cap} = \frac{R_{cap}}{R_{pb} + R_{pv}} = \frac{(R_{pb} + R_{pv}) - P_{th}}{(R_{pb} + R_{pv})} \quad /11/.$$

Podľa výsledného r_{cap} je možné definovať pomer energie prítomnej v rezervoári vo vzťahu k trvalo udržateľnej produkcii a možnostiam využívania geotermálnej energie z ÚGV, zo systému alebo zo štruktúry v budúcnosti. Kritická hranica udržateľnosti, t. j. $r_{cap} = 0,5$ zodpovedá polovici odhadovanému energetickému potenciálu štruktúry. Pri takto nastavenej produkcii je možné zabezpečiť trvalo udržateľné využitie zdroja geotermálnej energie pri dizajnovanej dobe produkcie s minimálnym stupňom rizika energetického kolapsu systému, ak sú rešpektované koncepčné a filozofické aspekty pravdepodobnostného odhadu. Maximálny udržateľný výkon ÚGV, systému alebo štruktúry je možné zapísať ako $P_{th(r_{cap}=0,5)}$ (Fričovský et al., 2020c).

Modifikáciou vzťahu /11/ je možné získať bilančný odhad a klasifikáciu:

- udržateľnosti aktuálnej produkcie geotermálnej energie podľa aktuálneho výkonu systému alebo miery jeho produkcie, $P_{th} - r_{cap(U)}$ /12/ (tab. 3.3.2.4.1),
- udržateľnosti inštalovaného výkonu systému podľa sumárneho, celkového inštalovaného výkonu geotermálnych vrtov, $P_{th,inst} - r_{cap(U^*)}$ /13/ (tab. 3.3.2.4.2),
- udržateľnosti rozvoja aktuálnej produkcie geotermálnej energie na základe aktuálneho a maximálneho udržateľného výkonu systému, $r_{cap(S)}$ /14/ (tab. 3.3.2.4.3),
- udržateľnosti rozvoja inštalovaného výkonu ÚGV alebo systému na základe vzťahu medzi maximálnym udržateľným výkonom a inštalovaným výkonom v danom systéme, t. j. $r_{cap(S^*)}$ /15/ (tab. 3.3.2.4.4):

$$r_{cap(U)} = \frac{R_{cap}}{R_{pb} + R_{pv}} = \frac{(R_{pb} + R_{pv}) - P_{th}}{(R_{pb} + R_{pv})} \quad /12/$$

$$r_{cap(U^*)} = \frac{R_{cap}}{R_{pb} + R_{pv}} = \frac{(R_{pb} + R_{pv}) - P_{th,inst}}{(R_{pb} + R_{pv})} \quad /13/$$

$$r_{cap(S)} = \frac{P_{th(rcap=0,5)} - P_{th}}{P_{th(rcap=0,5)}}$$

/14/

$$r_{cap(S^*)} = \frac{P_{th(rcap=0,5)} - P_{th,inst}}{P_{th(rcap=0,5)}}$$

/15/.

Tab. 3.3.2.4.1 Modifikovaná klasifikačná schéma udržateľnosti aktuálnej produkcie

interval r_{cap}	definícia produkcie	charakteristika produkcie
$r_{cap} < 0$	kritická depletácia	produkcia prekračuje odhad pravdepodobných zásob
$r_{cap} = 0 - 0,49$	depletácia	produkcia dosahuje odhad pravdepodobných zásob
$r_{cap} = 0,5 - 0,74$	udržateľná produkcia	produkcia nepresahuje polovicu pravdepodobných zásob
$r_{cap} = 0,75 - 1,0$	veľmi udržateľná produkcia	produkcia nepresahuje štvrtinu pravdepodobných zásob

Tab. 3.3.2.4.2 Modifikovaná klasifikačná schéma udržateľnosti inštalovaného výkonu

interval r_{cap}	definícia produkcie	charakteristika produkcie
$r_{cap(U^*)} < 0$	určite neudržateľný výkon	IV prekračuje odhad pravdepodobných zásob
$r_{cap(U^*)} = 0 - 0,49$	neudržateľný výkon	IV dosahuje odhad pravdepodobných zásob
$r_{cap(U^*)} = 0,5 - 0,74$	udržateľný výkon	IV nepresahuje polovicu odhadu pravdepodobných zásob
$r_{cap(U^*)} = 0,75 - 1,0$	určite udržateľný výkon	IV nepresahuje štvrtinu odhadu pravdepodobných zásob

Tab. 3.3.2.4.3 Modifikovaná klasifikačná schéma udržateľnosti rozvoja aktuálnej produkcie

interval r_{cap}	definícia rozvoja	charakteristika rozvoja produkcie
$r_{cap(S)} < 0$	neudržateľný rozvoj p.	vysoké riziko energetickej depletácie
$r_{cap(S)} = 0 - 0,49$	málo udržateľný rozvoj p.	nízke riziko energetickej depletácie
$r_{cap(S)} = 0,5 - 0,74$	udržateľný rozvoj p.	minimálne riziko energetickej depletácie
$r_{cap(S)} = 0,75 - 1,0$	veľmi udržateľný rozvoj p.	bez rizika depletácie

Tab. 3.3.2.4.4 Modifikovaná klasifikačná schéma udržateľnosti rozvoja inštalovaného výkonu

interval r_{cap}	definícia rozvoja	charakteristika rozvoja produkcie
$r_{cap(S^*)} < 0$	neudržateľný IV	vysoké riziko energetickej depletácie
$r_{cap(S^*)} = 0 - 0,49$	zrejme neudržateľný IV	nízke riziko energetickej depletácie
$r_{cap(S^*)} = 0,5 - 0,74$	udržateľný IV	minimálne riziko energetickej depletácie
$r_{cap(S^*)} = 0,75 - 1,0$	určite udržateľný IV	bez rizika depletácie

3.3.2.5 Vzťah modelu k praktickým aspektom hydrogeotermálneho hodnotenia útvarov, oblastí a štruktúr na Slovensku

Ako uvádzame vyššie, hodnotenie PGO, ÚGV alebo čiastkových hydrogeotermálnych štruktúr naráža na viaceré systematické rozdiely:

- využívanie USGS objemovej metódy a tepelnej bilančnej metódy pre rozdielne koncepčné modely systémov aj napriek skutočnosti, že v celosvetovej praxi je objemová metóda využívaná tak pre otvorené, tak aj uzavreté štruktúry, systémy

a polia (Kohl et al., 2003; Agemar et al., 2012, 2014; Sanyal et al., 2002; Williams, 2004; Doveri et al., 2010);

- využívanie rozdielnej bilančnej doby produkcie t_{prod} v jednotlivých časových obdobiach systematického prieskumu zdrojov geotermálnej energie v intervaloch $t_{\text{prod}} = 20$ až $t_{\text{prod}} = 40$ rokov (napr. Remšík et al., 1993; Bajo et al., 2007; Vranovská et al., 1999);
- využívanie rozdielnej referenčnej teploty pre prirodzený spád T_{ref} ako aj dizajnovanú reinjektáž T_{inj} , častokrát v intervaloch $T_{\text{ref}} = 15 - 25$ °C a $T_{\text{inj}} = 20 - 65$ °C (Bajo et al., 1998; Vranovská et al., 1999; Marcin et al., 2011).

Získané výsledky sú pritom reportované a súhrnne udávané v odhadoch celkového tepelno-energetického potenciálu Slovenska a v súhrnných schémach bez ohľadu na skutočnosť, že rozdielna doba bilancie a rozdielna spádová teplota v skutočnosti udávajú nie porovnateľné kvantitatívne odhady energetickej bilancie a z nich odvodené zdroje a zásoby geotermálnej energie pre PGO, ÚGV a čiastkové hydrogeotermálne štruktúry. Tento jav je ešte potvrdený rozdielnou metodikou hodnotenia bez zjavného koncepčného odôvodnenia.

Predkladaný model odhadu a kategorizácie udržateľnosti dlhodobej produkcie je zároveň pilotným projektom v snahe zjednotiť metodiku a bilančnú základňu hodnotenia, nakoľko:

- objemová USGS metóda je využitá bez ohľadu na koncepčný model systému a možnosti reinjektáže,
- otvorenosť a uzavretosť koncepčných modelov je vyjadrená zmenou odhadu R_0 v špecifických podmienkach jednotlivých ÚGV,
- je zjednotená referenčná teplota vzťahovania odhadu energetického potenciálu, pre ÚGV bez predpokladu reinjektáže na úrovni $T_{\text{ref}} = 15$ °C, pre ÚGV s plánovanou reinjektážou $T_{\text{inj}} = 40$ °C tak, aby boli čiastočne zohľadnené realistické možnosti reinjektáže vo vzťahu k možným zmenám chemicko-technologických parametrov reinjektovaného média,
- je zjednotená bilančná časová perióda pre všetky modely odhadu energetického potenciálu ÚGV v súlade s koncepciou TURP, t. j. $t_{\text{prod}} = 100$ rokov.

4. AKTUALIZÁCIA DATABÁZY GEOTERMÁLNYCH VÔD

V záverečnej správe „Hodnotenie útvarov geotermálnych vôd Slovenska“ (Remšík et al., 2011) bola vytvorená databáza geotermálnych vrtov. Uvedená databáza geotermálnych vrtov umožňuje prístup k detailnej informácii o realizovaných geotermálnych vrtoch a spôsobe ich využívania, v ktorej sú sumarizované údaje o:

- lokalizácii vrtov a ich pričlenení k príslušnej perspektívnej oblasti,
- technických parametroch vrtov,
- prevítanom litologicko-stratigrafickom profile,
- nameraných teplotách, termofyzikálnych parametroch hornín a vypočítaných tepelných tokoch – geotermické zhodnotenie,
- priebehu a výsledkoch hydrodynamických skúšok (výdatnosť, teplota, piezometrická výška, tlakové pomery, hydraulické parametre, výsledky chemických analýz zachytených geotermálnych vôd, obsah a zloženie plynov),
- tepelno-energetickom potenciáli exploatovaných geotermálnych vôd z využívaných geotermálnych vrtov.

Samotná centrálna databáza pozostáva z dvoch častí - z dátovej časti (tzv. back end), obsahujúcej samotné tabuľky s údajmi, indexy a relácie a z aplikačnej časti (tzv. front end), ktorá sprostredkuje údaje v dátovej časti prostredníctvom užívateľského rozhrania a vytvorenej aplikačnej nadstavby. Takouto konfiguráciou, pri ktorej sú dáta fyzicky oddelené od aplikačnej nadstavby, bola dosiahnutá vyššia bezpečnosť dát, jednoduchšia replikovateľnosť a ochrana pred technickými poruchami systému. Pre jednoduchosť práce s databázou a dostupnosť u všetkých užívateľov bol zvolený formát Microsoft Access Database 2003, pri ktorom sa na užívateľskej strane pre základnú prácu s databázou nevyžaduje inštalácia celého programu Microsoft Access, postačuje jeho zjednodušená a bezplatná verzia Microsoft Access Runtime.

Pre zadávanie a prezeranie údajov v databáze je vyvinutá aplikačná nadstavba, pozostávajúca z užívateľského rozhrania a programového aparátu, spájajúca všetky údaje obsiahnuté v databáze do jediného pracovného okna. Pracovné okno je rozdelené na viacero pracovných listov, každý obsahujúci konkrétnu podskupinu údajov. Na nasledujúcich obrázkoch 4.1 až 4.16 sú zobrazené jednotlivé listy s vysvetlením obsahu.

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Info Vlastník Vŕtanie Geol. profil Paženie Cementácia Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza

ID vrtu: 1288852792 Realizátor vrtu: IGHP Žilina, záv. Bratislava; VIKUV Množstvo GV: 15

ID_PodVod: 1752393536 Teplota GV: 74

Označ.: VDK-15 Druh: prieskumný hydrogeol. Tepelný výkon: 3.75

Lokalita: Dunajský Klátov Zameranie: hospodárske vykurovanie Spôs. likv. GV: priame vypúšťanie do povrchového toku

X súrad.: -531119.65 Hĺbka-projekt: 2500

Y súrad.: -1297835.33 Hĺbka-skutoč: 2500

Zdroj XY: geodetické zameranie Hĺbka-exploat: 2240

Výška ter.: 113.04 Tvar ústia: Objekt pre likv.: Malý Dunaj

Výška paž.: 114.34 Ústie-foto: Množs. TVGV: Teplota TVGV: Mineral. TVGV: Tepelná vod.: 1.96

Sitácia-mapa: Počet úsekov: Hrúb. úsekov: Teplotná vod.: 7.1E-07

Okres: Mapa: M-33-144-C-d Útvar GV: SK300240PF Mer. tep. kap.: 1137

Povodie: Dunaj HG rajón: Q 052 Tepel. tok: 0.0802

Projekt: Správa: Bondarenková Z. GT grad. priem: 0.0409

Realizácia-rok: 1990 Karotáž-správa: WP3 ? WP4 ? WP6 ?

Reom.-správa: Skúška-správa:

Pridať: lokalitu druh vrtu veľičinu karotáž. metódu druh skúšky druh perforácie druh cementácie druh využitia spôsob likvid. druh analýzy citáciu

Vrt: VDK-15

Record: 209 of 294

Obr. 4.1 List „Info“ – identifikačné údaje zdroja geotermálnej vody, sumárne údaje o využívaní a likvidácii geotermálnej vody

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Info Vlastník Vŕtanie Geol. profil Paženie Cementácia Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza

Investor: Slovenský geologický úrad Bratislava

Majiteľ:

List. vl. majiteľa vrtu:

Obdobie zač.:

Obdobie kon.:

Užívateľ vrtu: ŠM Dunajský Klátov

Majiteľ pozemku:

List. vl. majit. pozemku:

Užívateľ pozemku:

Pridať: lokalitu druh vrtu veľičinu karotáž. metódu druh skúšky druh perforácie druh cementácie druh využitia spôsob likvid. druh analýzy citáciu

Vrt: VDK-15

Record: 1 of 1

Record: 209 of 294

Obr. 4.2 List „Vlastník“ – vlastnícke vzťahy

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Info Vlastník **Vrtanie** Geol. profil Paženie Cementácia Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza

Cólov + / = mm

Hĺbka od	Hĺbka do	Priemer diáta/korunky
	12.1	810
	24.2	713
	41.5	610
	57.4	510
	120	444.5
	155.7	377.83
	1002	311.15
	2003	215.9
	2500	152.4
*		

Pridať:

lokalitu

druh vrtu

veľičinu

karotáž. metódu

druh skúšky

druh perforácie

druh cementácie

druh využitia

spôsob likvid.

druh analýzy

citáciu

Vrt: **VDK-15**

Record: 209 of 294

Obr. 4.3 List „Vrtanie“ – vrtaný profil vrtu

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Info Vlastník **Vrtanie** Geol. profil Paženie Cementácia Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza

Hĺbka	Litológia	IDSRF
1.5	kvartér; Hĺbina	
150	ruman; Štrk striedaný do štrkom piesčitým, pieskom s prímiesou štrku	
173	Piesok	
1000	dák; Piesok, striedaný s polohami piesku ílovitého, jemnozrnného s ílor	
1995	pont; Piesok, strednozrnný striedaný polohami ílu vápnitého, od 1200m	
2500	panón; Pieskovec, striedaný s pieskovcom vápnitým s polohami ílovca	
*		

Pridať:

lokalitu

druh vrtu

veľičinu

karotáž. metódu

druh skúšky

druh perforácie

druh cementácie

druh využitia

spôsob likvid.

druh analýzy

citáciu

Vrt: **VDK-15**

Record: 209 of 294

Obr. 4.4 List „Geologický profil“ – geologický profil vrtu

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Info Vlastník Vŕtanie Geol. profil **Paženie** Cementácia Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza

Cólov + / = mm

	Hĺbka od	Hĺbka do	Priemer
▶	0	20.1	810
	0	28	713
	0	41.5	610
	0	57.4	510
	0	118	419
	0	146.85	339.73
	0	1002	244.48
	200.9	2003	177.8
	1959	2500	114.3
*			

Pridať:

lokalitu

druh vrtu

veľičinu

karotáž. metódu

druh skúšky

druh perforácie

druh cementácie

druh využitia

spôsob likvid.

druh analýzy

citáciu

Vrt: **VDK-15**

Record: 209 of 294

Obr. 4.5 List „Paženie“ – technický profil vrtu - paženie

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Info Vlastník Vŕtanie Geol. profil **Paženie** **Cementácia** Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza

	Hĺbka od	Hĺbka do	Cementácia-druh	Kvantita cem.
▶	0	20.1	plášťová	
	0	28	plášťová	
	0	41.5	plášťová	
	0	57.4	plášťová	spolu spot. 35 q
	0	118	plášťová	spotr. 55 q
	0	146.85	plášťová	spotr. 138 q
	0	1002	plášťová	spotr. 380 q
	200.9	2003	plášťová	spotr. 235 q
*				

Pridať:

lokalitu

druh vrtu

veľičinu

karotáž. metódu

druh skúšky

druh perforácie

druh cementácie

druh využitia

spôsob likvid.

druh analýzy

citáciu

Vrt: **VDK-15**

Record: 209 of 294

Obr. 4.6 List „Cementácia“ – technický profil vrtu: cementácia

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Info Vlastník Vrtanie Geol. profil Paženie Cementácia **Perforácia** Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza

Perforácia od	Perforácia do	Perforácia-druh	Veľkosť perf.
1425	1433	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1454	1467.5	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1476	1484	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1487	1496.5	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1508.5	1520	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1552	1555	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1560	1568	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1572	1584.5	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1603	1608	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1612	1624	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1732	1744	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1763	1776	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1784.5	1788	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1798	1816	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1827.5	1834	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1850	1853	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1863	1867.5	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1881	1886.5	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1903.5	1907.5	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1911	1921.5	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1927.5	1931	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1935	1938.5	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
1948	1954	jet perforácia (počet rán/m)	24 rán / m
2136.5	2041.5	predpripravená perforovaná pažnica	

Record: 209 of 294

Vrt: VDK-15

Pridať:

lokalitu

druh vrtu

veľičinu

karotáž. metódu

druh skúšky

druh perforácie

druh cementácie

druh využitia

spôsob likvid.

druh analýzy

citáciu

Obr. 4.7 List „Perforácia“ – technický profil vrtu: perforácia

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Info Vlastník Vrtanie Geol. profil Paženie Cementácia Perforácia **Intervaly** Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza

Hĺbka intervalu od	Hĺbka intervalu do	Využívaný?
1425	1954	<input type="checkbox"/>
1732	1954	<input type="checkbox"/>
1425	1624	<input type="checkbox"/>
1425	2222	<input checked="" type="checkbox"/>
1425	1954	<input type="checkbox"/>
2086	2443	<input type="checkbox"/>
1425	1954	<input type="checkbox"/>
1425	1954	<input type="checkbox"/>
1220	1339.5	<input type="checkbox"/>
2086	2443	<input type="checkbox"/>
2086	2443	<input type="checkbox"/>
1732	1954	<input type="checkbox"/>
1732	1954	<input type="checkbox"/>
1425	1624	<input type="checkbox"/>
1425	1954	<input type="checkbox"/>
1425	1624	<input type="checkbox"/>
*		<input type="checkbox"/>

Record: 1 of 16

Vrt: VDK-15

Pridať:

lokalitu

druh vrtu

veľičinu

karotáž. metódu

druh skúšky

druh perforácie

druh cementácie

druh využitia

spôsob likvid.

druh analýzy

citáciu

Record: 209 of 294

Obr. 4.8 List „Intervaly“ – hydrogeologické údaje: odskúšané intervaly vrtu

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Info Vlastník Vrtanie Geol. profil Paženie Cementácia Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza

Hĺbka intervalu od 1425 Hĺbka intervalu do 2222

Hĺbka úseku od	Hĺbka úseku do	Využívaný?
1425	1433	✓
1454	1467.5	✓
1476	1484	✓
1487	1496.5	✓
1508.5	1520	✓
1552	1555	✓
1560	1568	✓
1572	1584.5	✓
1603	1608	✓
1612	1624	✓
1732	1744	✓
1763	1776	✓
1784.5	1788	✓
1798	1816	✓
1827.5	1834	✓
1850	1853	✓
1863	1867.5	✓
1881	1886.5	✓
1903.5	1907.5	✓
1911	1921.5	✓
1927.5	1931	✓
1935	1938.5	✓

Record: 4 of 16

Vrt: VDK-15

Record: 209 of 294

Pridať:

lokalitu

druh vrtu

veľičinu

karotáž. metódu

druh skúšky

druh perforácie

druh cementácie

druh využitia

spôsob likvid.

druh analýzy

citáciu

Obr. 4.9 List „Úseky“ – hydrogeologické údaje: odskúšané úseky v rámci intervalov vrtu

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Info Vlastník Vrtanie Geol. profil Paženie Cementácia Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza

Dátum

Metóda meranie geotermických parametrov

Veľičina teplotná vodivosť

Hĺbka merania od	Hĺbka merania do	Čas merania	Hodnota
1231.2			0.43
1309			0.58
1309.5			0.67
1405.3			0.72
1506			0.85
1506.3			0.55
1598			0.86
1704			0.68
1704.7			0.86
1803.5			0.65
1905.7			0.71
1991			0.67
2105.8			0.59
2189.2			0.77
2319			0.99
2412.6			0.53
2495.4			1.01
*			

Record: 97 of 98

Vrt: VDK-15

Record: 209 of 294

Pridať:

lokalitu

druh vrtu

veľičinu

karotáž. metódu

druh skúšky

druh perforácie

druh cementácie

druh využitia

spôsob likvid.

druh analýzy

citáciu

Obr. 4.10 List „Karotáž“ – karotážne merania

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Info Vlastník Vŕtanie Geol. profil Paženie Cementácia Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza

Dátum začiatku 14.12.1988
Dátum konca 19.12.1988
Autor VIKUV, Budapešť
Interval 2086 do 2443
Hĺbka úseku od
Hĺbka úseku do
Druh skúšky meranie nástupu tlaku
Veličina Hĺbka merania 1500

Pridať:
lokalitu
druh vrtu
veličinu
karotáž. metódu
druh skúšky
druh perforácie
druh cementácie
druh využitia
spôsob likvid.
druh analýzy
citáciu

Čas	Poradie	Veličina:	Hodnota
14.12.1988		výdatnosť	18.75
14.12.1988 6:00:00		tlak	14050000
14.12.1988 6:01:00		tlak	14172000
14.12.1988 6:02:00		tlak	14291000
14.12.1988 6:03:00		tlak	14322000
14.12.1988 6:04:00		tlak	14343000
14.12.1988 6:05:00		tlak	14357000
14.12.1988 6:06:00		tlak	14376000
14.12.1988 6:08:00		tlak	14403000
14.12.1988 6:10:00		tlak	14420000
14.12.1988 6:15:00		tlak	14442000

Record: 2 of 55 Vrt: VDK-15

Record: 209 of 294

Obr. 4.11 List „Skúška“ – hydrogeologické údaje: hydrodynamické skúšky

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Info Vlastník Vŕtanie Geol. profil Paženie Cementácia Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza

Hĺbka intervalu od 1425 Hĺbka intervalu do 2222

Pridať:
lokalitu
druh vrtu
veličinu
karotáž. metódu
druh skúšky
druh perforácie
druh cementácie
druh využitia
spôsob likvid.
druh analýzy
citáciu

Dátum/čas	Hĺbka merania	Výdatnosť	% výdatnosti	Teplota	Tlak na ústí
	1425	0.27	1		
	1454	0.27	1		
	1476	0	0		
	1487	1.83	10		
	1508.5	0.33	2		
	1552	0	0		
	1560	2.03	11		
	1572	5.5	30		
	1603.5	0.47	3		
	1612	0.2	1		
	1732	1.25	7		
	1763	0.4	2		
	1784.5	0	0		
	1798	1.38	7		
	1827.5	0.17	1		
	1850	0	0		
	1863	0.37	2		
	1881	0	0		
	1903.5	0	0		
	1911	0.65	3		
	1927.5	0	0		

Record: 4 of 16 Vrt: VDK-15

Record: 209 of 294

Obr. 4.12 List „Reometria“ – hydrogeologické údaje: rozloženie prítokov v odskúšanom intervale vrtu

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Info Vlastník Vrtanie Geol. profil Paženie Cementácia Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria **Analýza**

Vzorka:

Dátum odobrania

Kto odobral vzorku

Interval

Hĺbka odberu

Analýza:

Číslo analýzy

Druh analýzy fyzikálno-chemický rozbor vody

Dátum analýzy 8.10.1990

Laboratórium IGHP Žilina

Veličina	Hodnota	Text
CO2 voľný	99.44	
NO2 ⁻	0.012	
mineralizácia	2604.7	
Ba ²⁺	2.6	
HCO3 ⁻	1330.4	
Ca ²⁺	9.02	
K ⁺	10	
Fe ²⁺	0.21	
Pb	0.001	
Cl ⁻	429.05	
SO4 ²⁻	5.76	
memá elektr	0.005	
Zn	0.022	
Na ⁺	748.9	

Record: 1 of 1

Record: 209 of 294

Vrt: VDK-15

Pridať:

lokalitu

druh vrtu

veličinu

karotáž. metódu

druh skúšky

druh perforácie

druh cementácie

druh využitia

spôsob likvid.

druh analýzy

citáciu

Obr. 4.13 List „Analýza“ – Fyzikálno-chemické, izotopové zloženie, rádiologické analýzy geotermálnej vody, obsah a zloženie plynov

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Paženie Cementácia Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza **Geoterm. grad.** Využitie Právne

Hĺbka od	Hĺbka do	GT. grad.
0	500	0.04
0	1000	0.0414
500	1000	0.0414
1000	1500	0.04
1000	2000	0.0413
1500	2000	0.0423
0	2500	0.0409
2000	2500	0.04
*		

Record: 1 of 8

Record: 209 of 294

Vrt: VDK-15

Pridať:

lokalitu

druh vrtu

veličinu

karotáž. metódu

druh skúšky

druh perforácie

druh cementácie

druh využitia

spôsob likvid.

druh analýzy

citáciu

Obr. 4.14 List „Geotermický gradient“ – merania teploty (geotermický gradient)

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Paženie Cementácia Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza Geoterm. grad. **Využitie** Právne

ID druhu: hospodárske využitie

Interval: do

Množstvo GV: 15

Teplota GV: 74

Množstvo GE [MW]:

Množstvo GE [GJ]:

Odpor, výdatnosť:

Spôsob exploatácie:

Hĺbka čerpadla:

Režim exploatácie:

Tepelný výkon: 3.75

Pridať:

lokalitu

druh vrtu

veľičinu

karotáž. metódu

druh skúšky

druh perforácie

druh cementácie

druh využitia

spôsob likvid.

druh analýzy

citáciu

Record: 1 of 1

Vrt: VDK-15

Record: 209 of 294

Obr. 4.15 List „Využitie“ – využitie geotermálnej vody

Databáza geoterm. vrtov v1.28

Paženie Cementácia Perforácia Intervaly Úseky Karotáž Skúška Reometria Analýza Geoterm. grad. **Využitie** Právne

Využ. množ.:

Č. rozhodnutia:

Dátum rozhodnutia:

Povolené množstvo:

Povolená teplota:

Vodohosp. orgán:

Č. povolenia:

Dátum povolenia:

Povolil:

Účel povolenia:

Platnosť povolenia:

Ochr. pás. 1.st.:

Ochr. pás.-autor:

Ochr. pás.-schválil:

Ochr. pás.-č.rozhod.:

Ochr. pás.-dátum rozl.:

Ochr. pás.-zodp. os.:

Ochr. pás.-platnosť:

Pridať:

lokalitu

druh vrtu

veľičinu

karotáž. metódu

druh skúšky

druh perforácie

druh cementácie

druh využitia

spôsob likvid.

druh analýzy

citáciu

Record: 1 of 1

Vrt: VDK-15

Record: 209 of 294

Obr. 4.16 List „Právne“ – legislatívno-právne náležitosti

V rámci celej databázy je dodržaná konzistentnosť fyzikálnych jednotiek, keďže každé numerické pole databázy má určenú jednotku, ktorá sa zobrazí v stavovom riadku pri prechode kurzorom na dané pole (napr. **Geotermický gradient [K/m]**) a každý číselný parameter (veličina) má takisto priradenú jednotku, ktorá sa zobrazí po rozbalení roletového menu výberu veličiny (obr. 4.17).

Mg ²⁺	2.2	
Fe ²⁺	0.35	
▶ Cu	0.002	
Názov	Skratka	Jednotka SI
Cu		mg/l
* Pb		mg/l
Cd		mg/l
Zn		mg/l
Cr celkom		mg/l
Cr6+		mg/l
V		mg/l
W		mg/l
Mo		mg/l
Be		mg/l
Ag		mg/l
Sn		mg/l
U		mg/l
anionaktívne tenzity		mg/l

Metóda	rozloženie prítokov - reometria		
Veličina	výdatnosť		
Hĺbka merania	Názov	Skratka	Jednotka SI
▶	vertikálna rýchlosť prúdenia		m/min
	vertikálny prítok	Q'	l/s
	vinylchlorid		µg/l
	vlastný potenciál	SP	V
	vodivosť		µS/cm-1
	vodivosť	vod	Ms/cm
	výdatnosť	Q	l/s
	výdatnosť l/min	Q	l/min
	výdatnosť max	Q	l/s
	výdatnosť min	Q	l/s
	výdatnosť vrtu		l/s
	vyššie organizmy		počet v ml
	W		mg/l
	xylény		µg/l
	zákal		ZF
	zápach vody pri 20°C		
	zápach vody pri 70 °C		
	zdanlivý merný odpor	ohmm	ohmm
	zmenšenie priemeru vrtu		mm
	Zn		mg/l
	zníženie	s	m
	zníženie tlaku	Δp	Pa

Obr. 4.17 Zobrazenie parametrov s príslušnými jednotkami na liste „Analýza“ a „karotáž“

Realizovaná databáza a výstupy z nej nám umožňujú charakterizovať zdroje geotermálnej vody, pričom o každom zdroji (pokiaľ takú informáciu obsahuje) vieme vytvoriť pasport zdroja, ktorý zahŕňa: rok realizácie vrtu, majiteľa vrtu, užívateľa vrtu, hĺbku vrtu, spôsob zabudovania vrtu – technický profil, geologický profil vrtu, termofyzikálne vlastnosti jednotlivých typov hornín, hydraulické vlastnosti odskúšaných

hydrogeologických kolektorov geotermálnej vody, spôsob exploatacie, prípadne hĺbku zapustenia čerpadla, hĺbku a typ perforácie v exploatovanom úseku, výdatnosť vrtu odporúčanú (na základe výsledkov realizovaných geologických prác), výdatnosť vrtu využívanú (aktuálne množstvo geotermálnych vôd), teplotu na ústí vrtu, tepelný výkon zodpovedajúci odporúčanej výdatnosti vrtu, fyzikálne vlastnosti a chemické zloženie exploatovanej geotermálnej vody, mineralizáciu geotermálnej vody, chemický typ geotermálnej vody, obsah plynov a ich zloženie, bod evázie plynov, technologické vlastnosti geotermálnej vody, spôsob využitia geotermálnej vody, množstvo vypúšťanej odpadovej geotermálnej vody, fyzikálne vlastnosti a chemické zloženie vypúšťanej odpadovej geotermálnej vody, spôsob likvidácie odpadovej geotermálnej vody, miesto likvidácie odpadovej geotermálnej vody.

Prehľad o novo realizovaných geotermálnych vrtoch za obdobie 2011-2017 vo vybraných útvaroch geotermálnych vôd podáva tab. 4.1. K niektorým vrtom ešte v čase aktualizácie databázy neboli dostupné údaje v Geofonde. Základné údaje o geotermálnych vrtoch z databázy prehľadne vyjadruje príl. č. 1 s názvom Základné údaje o geotermálnych zdrojoch v útvaroch geotermálnych vôd Slovenska.

Tab. 4.1 Počet geotermálnych vrtov realizovaných v geotermálnych útvaroch za obdobie rokov 2000-2010 a 2011-2017

Lokalita	Vrt	Rok realizácie	Hĺbka vrtu (m)	Počet vrtov v útvare za obdobie 2000-2010 podľa údajov Geofondu	Počet vrtov v útvare do roku 2017 podľa údajov Geofondu	Prírastok (ks)	Prírastok (%)
SK300100FK Hornonitrianska kotlina							
Prievidza - Púšť	Š1-NB IV	2016	2257	17	18	1	6
SK300120FK Liptovská kotlina				5	6	1	20
Bešeňová	FGTB-1	2011	1833				
SK300240PFCentrálna depresia Podunajskej panvy				46	52	6	13
Zemné	HGZ-1	2009	1500				
Zlatná na Ostrove (Ontopa)	GZ-1	2010	1200				
Sereď	SEG-1	2011	1800				
Kolárovo	HGK-1	2017	1506				
Poľný Kesov	FGPK-1	2015	1700				
Veľký Meder	VM-1	2016	2450				

V ďalších rokoch je potrebné pokračovať v aktualizácii databázy zdrojov geotermálnych vôd a to na základe ukončených novo realizovaných geologických prác a právoplatných povolení i súhlasov v rámci uskutočnených vodoprávných konaní.

5. HODNOTENIE STAVU GEOTERMÁLNYCH ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD

5.1 ÚTVAR SK300010FK - KOMÁRŇANSKÁ VYSOKÁ KRYHA

5.1.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Geologická jednotka komárňanská kryha ako celok sa nachádza v juhovýchodnej časti podunajskej panvy približne medzi Komáromom a Štúrovom. V území dominuje podunajská pahorkatina, podunajská rovina tvorí iba západnú časť kryhy.

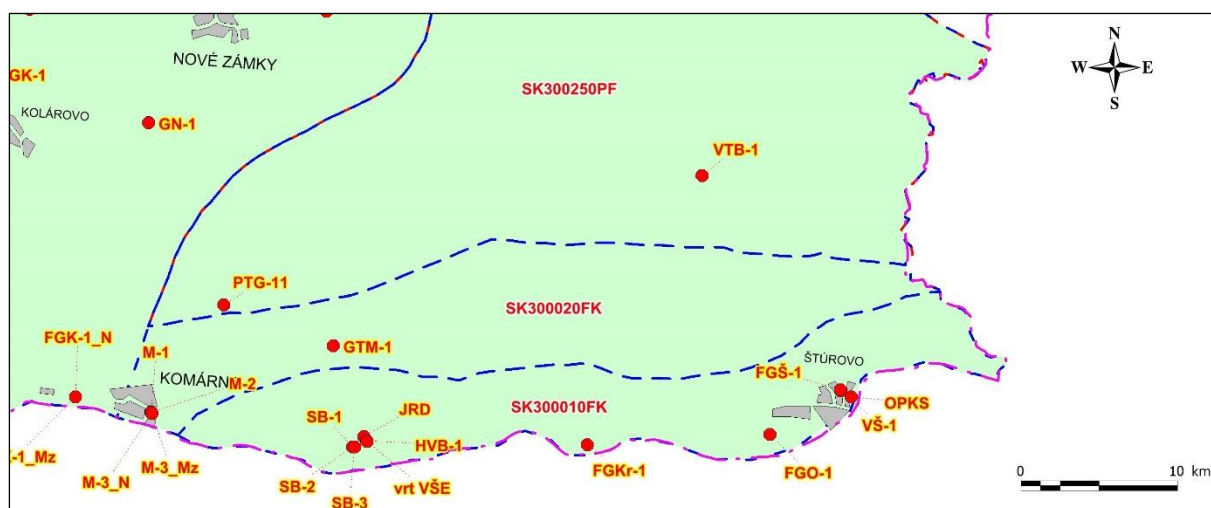
Z južnej strany je kryha lemovaná pohoriami Zadunajského stredohoria (Gerecse, Pilis), pričom prirodzenú južnú hranicu tvorí rieka Dunaj. Severnú hranicu tvorí línia z.-v. smeru, ktorá prechádza cez Hurbanovo a Kamenný most. Na východe územie ohraničuje pohorie Burda.

Z geologického hľadiska sa na stavbe kryhy podieľa mezozoikum Zadunajského stredohoria (hlavne triasové vápence a dolomity), ktoré je zakryté sedimentami paleogénu, neogénu a kvartéru. Kryha je výrazne porušená zlomovou tektonikou a v podloží terciéru tvorí morfológicky členitú štruktúru. Zo západu je oproti CDPP ohraničená systémom komárňanských zlomov, zo severu hurbanovským zlomom, smerom na východ prechádza pod neovulkanity pohoria Börzsöny a na juhu (pravá strana Dunaja) do mezozoického pohoria Gerecse a pod neovulkanity pohoria Pilis.

Zo štruktúro-hydrogeotermálneho hľadiska bola kryha v r. 1992 (A. Remšík et al., 1992) rozčlenená na:

- komárňanskú vysokú kryhu (KVK),
- komárňanskú okrajovú kryhu (KOK).

V útvare SK300010FK bolo v období **1959-2017** realizovaných **11** výskumných a prieskumných geotermálnych vrtov hlbokých 125-1021 m (príl. č. 1, 2, 3). Vrty boli situované na piatich lokalitách (Patince, Virt, Štúrovo, Obid a Kravany nad Dunajom). Ide o vrty **SB-1, SB-2, SB-3 Patince, vrt JRD Virt, HVB-1 Virt, vrt VŠE-1 Virt, FGŠ-1 Štúrovo, VŠ-1 Štúrovo, vrt OPKS Štúrovo, FGO-1 Obid, FGKr-1 Kravany nad Dunajom** (obr. 5.1.1.1).



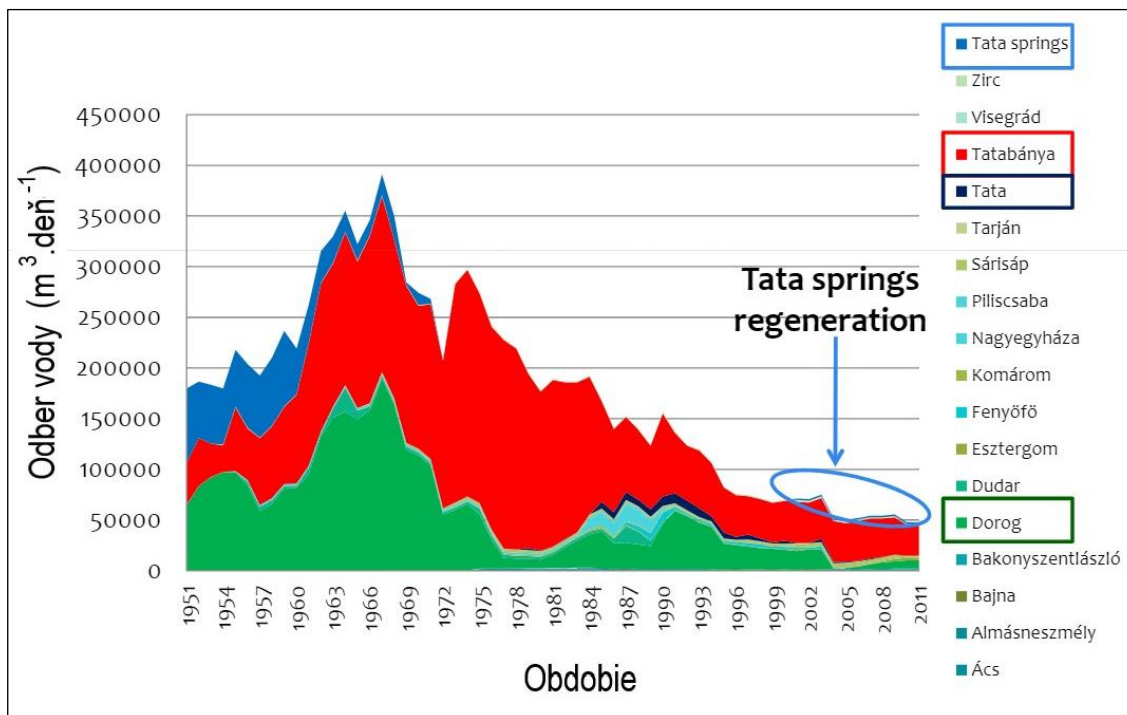
Obr. 5.1.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300010FK a zdroje geotermálnej vody

Geotermálne vody zachytené vrtmi majú otvorené úseky od 65 do 1 000 m, výdatnosť vrtov predstavovala $2,1 - 70,0 \text{ l.s}^{-1}$, s teplotou vody $20,0 - 40,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mineralizáciou vody $0,7 - 0,8 \text{ g.l}^{-1}$ a tepelným výkonom vrtov $0,05 - 7,33 \text{ MW}_t$. Overená sumárna výdatnosť vrtov v útware predstavuje $271,0 \text{ l.s}^{-1}$, čomu odpovedá tepelný výkon $19,29 \text{ MW}_t$ (príl. č. 3).

Akumulačná oblasť pre geotermálne vody západnej časti komárňanskej vysokej kryhy sa nachádza južne od Patiniec (patinská hydrogeotermálna štruktúra) a pre východnú časť komárňanskej vysokej kryhy je to územie severne od rieky Dunaj, pričom tranzitnú oblasť predstavuje zlomový systém dorogskej panvy. V tejto časti dochádza k poklesu predterciérneho podložia, čo sa prejavuje nárastom teploty geotermálnej vody v oblasti Štúrova. Infiltračná oblasť geotermálnej vody komárňanskej vysokej kryhy sa nachádza na území Maďarska v pohorí Zadunajského stredohoria (Gerecse, Pilis).

Režim geotermálnych vôd KVK závisí od kolísania hladiny vody v rieke Dunaj (Štúrovo, Obid) a do roku 1995 závisel aj od úrovne hladiny krasových vôd v území južne od rieky Dunaj, čo súviselo s odčerpávaním podzemnej vody v uhoľných baniach v Tatabányi a Dorogu (lokálne depresie v pohorí Gerecse a Pilis). Podrobné tento režim je dokumentovaný v prácach Franko a Remšík (1981), Remšík et al. (1992) a Dzúrik a Roháčiková (1995). Odvodňovanie banských diel pre ťažbu uhlia v krasovom prostredí Zadunajského stredohoria začalo od roku 1950 a počas obdobia 1960-1980 došlo k poklesu piezometrickej hladiny krasových termálnych vôd na slovenskom území až o 25 m a na maďarskom území až o 150 m, čo značne skomplikovalo využitie geotermálnych zdrojov na obidvoch stranách. Najväčšie odbery podzemnej vody boli dokumentované v rokoch 1967-1968, keď sa na niektorých lokalitách hodnota pohybovalo okolo $385\,000 \text{ m}^3$ za deň, t. j.

4 456 l.s⁻¹ (obr. 5.1.1.2). Odbery podzemnej vody na zníženie hladiny podzemnej vody sa realizovali na viac ako 130 odvodňovacích objektoch. V súčasnosti z horninového prostredia karbonátov sa realizujú odbery podzemnej vody na zásobovanie obyvateľstva v blízkosti rieky Dunaj v Tatabányi a Dorogu (Emese et al., 2013) <https://docplayer.net/4023868-Hydraulic-and-geothermal-modelling-on-sturovo-pilot-area-of-the-transenergy-project.html>).



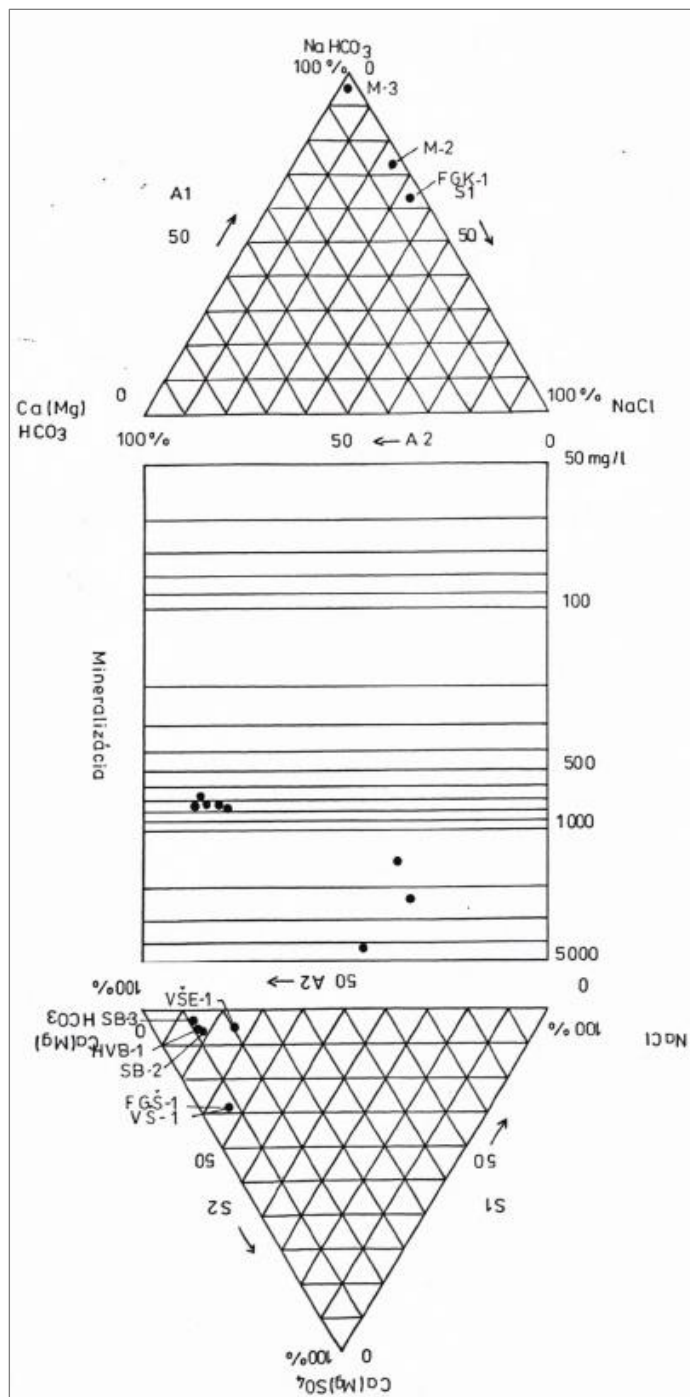
Obr. 5.1.1.2 Prehľad odberov podzemných vôd na lokalitách v Maďarsku pre odvedenie baní

Od začiatku 70-tych, ale hlavne na prelome 80-tych a 90-tych rokov dochádza k uzatvoreniu niektorých uhoľných baní, a tým aj k zníženiu banského odvodňovania na maďarskej strane. Obmedzením týchto zásahov dochádza k regenerácii zásob vôd v krasových rezervoároch. Za pozorovacie obdobie rokov 1991-1995 bol zistený regionálny vzostup piezometrickej hladiny krasových termálnych vôd na Slovensku a predpokladalo sa, že koncom roka 1993 došlo k stavu, ktorý bol pred rokom 1988 (Dzúrik a Roháčiková, 1995).

Z pohľadu chemického zloženia môžeme v KVK vyčleniť dva chemické typy geotermálnych vôd:

1. výrazný Ca-Mg-HCO₃ typ s mineralizáciou cca 0,7 g.l⁻¹, miestami s prítomnosťou H₂S, pomer HCO₃/Cl je vyšší ako 10,
2. nevýrazný Ca-Mg-HCO₃ typ so zvýšenou zložkou Ca-SO₄ s mineralizáciou cca 0,7 g.l⁻¹, pomer HCO₃/Cl je nad 10.

Vody Ca-Mg-HCO₃ typu sú petrogénne (karbonátogénne), ktoré sa formujú v horninovom prostredí karbonátov (Patince, Virt). Ak sa vody karbonátov dostanú do kontaktu s horninami s prítomnosťou sadrovcov alebo anhydritov, odrazí sa to aj na nárastom zložky Ca-SO₄ ako je to v prípade vôd zo Štúrova (obr. 5.1.1.3).



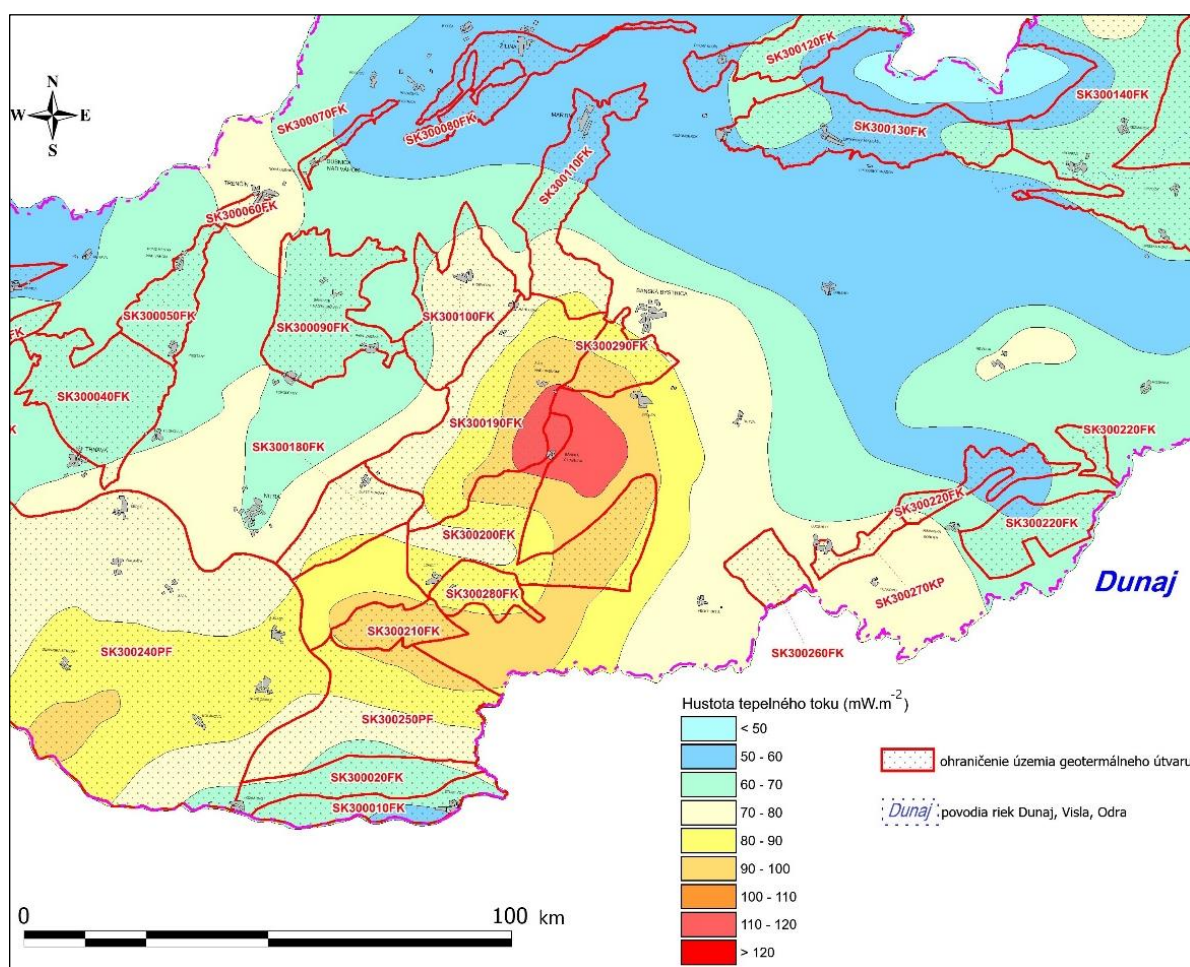
Obr. 5.1.1.3 Geotermálne vody komárňanskej kryhy - klasifikačný diagram (Dzúrik a Roháčiková, 1995)

5.1.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Geotermálna voda v útware SK300010FK je viazaná na triasové vápence a dolomity i jurské vápence terciérneho, resp. kriedového podložia. Z hľadiska teploty sa v nich nachádzajú iba nízko-teplotné zdroje.

Komárňanskú vysokú kryhu obmedzuje izobata 700 - 800 m kriedového karbonátového podložia, resp. tektonické línie prebiehajúce v blízkosti týchto izobát. Je to útvar s intenzívnou vodovýmenou, čo sa prejavuje značným ochladením vôd do hĺbky 600 - 800 m kde sa vyskytujú vody s teplotou 20 - 22 °C, do hĺbky 1 100 – 1 300 m vody s teplotou 24,5 - 26,5 °C a do hĺbky 3 000 m vody s teplotou okolo 40 °C. Vyššie teploty vody (40 °C) v Štúrove možno vysvetliť dlhšími prietokovými cestami zo severozápadu a západu (Franko et al., 1995).

Priemerný geotermický gradient pre hĺbkový interval 0 – 1 000 m dosahuje hodnotu 14,3 °C.km⁻¹ (Franko et al., 1995). Hustota zemského tepelného toku sa pohybuje od 50 do 60 mW.m⁻² (obr. 5.1.2.1).



Obr. 5.1.2.1 Hustota tepelného toku v západnej časti Slovenska (Marcin podľa Franko et al., 1995)

5.1.3 Kvantitatívny stav útvaru

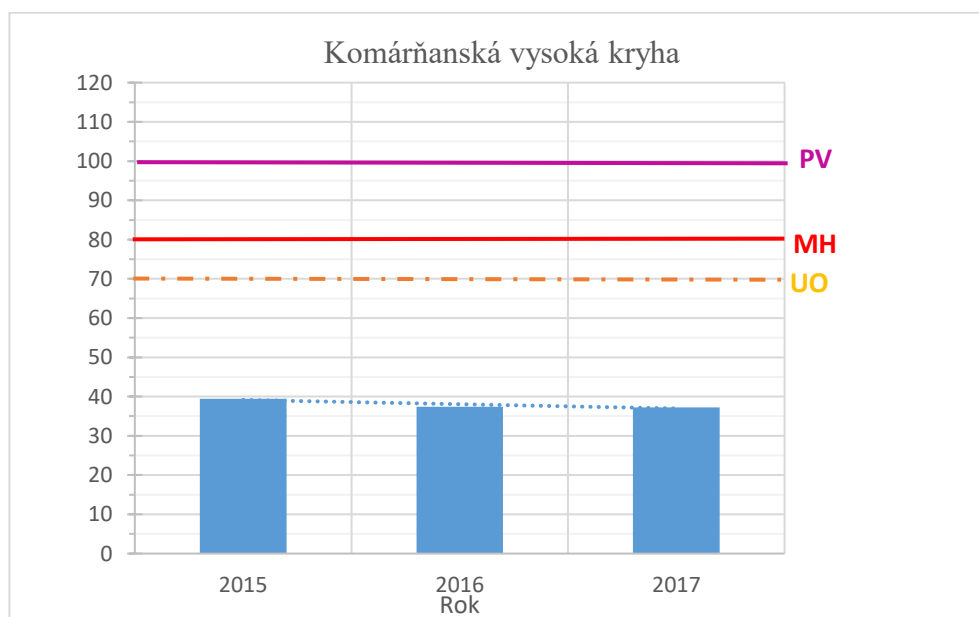
V útvare bolo v období **2011-2017** striedavo využívaných **7** geotermálnych vrtov na troch lokalitách (**Patince, Virt, Štúrovo**), z nich 4 vrty spadajú do nahlasovacej povinnosti o odberoch (1 vrt v Patinciach a 3 vrty v Štúrove), nakoľko odbery z 3 vrtov vo Virte nepresahujú 15 tis. m³ za rok (príl. č. 6, 7, 8).

V období **2016-2017** boli v zmysle nahlasovaných údajov o príslušných odberoch na SHMÚ využívané **3 vrty** - SB-2 Patince, FGŠ-1 Štúrovo a vrt OPKS Štúrovo.

Celkový odber geotermálnej vody z útvaru bol v období **2011-2015** vcelku vyrovnaný a kolísal v intervale **cca 640 tis. – 667 tis. m³ za rok**. V rokoch **2016-2017** tento odber mierne klesol na hodnoty **637 – 639 tis. m³ za rok** (príl. č. 8).

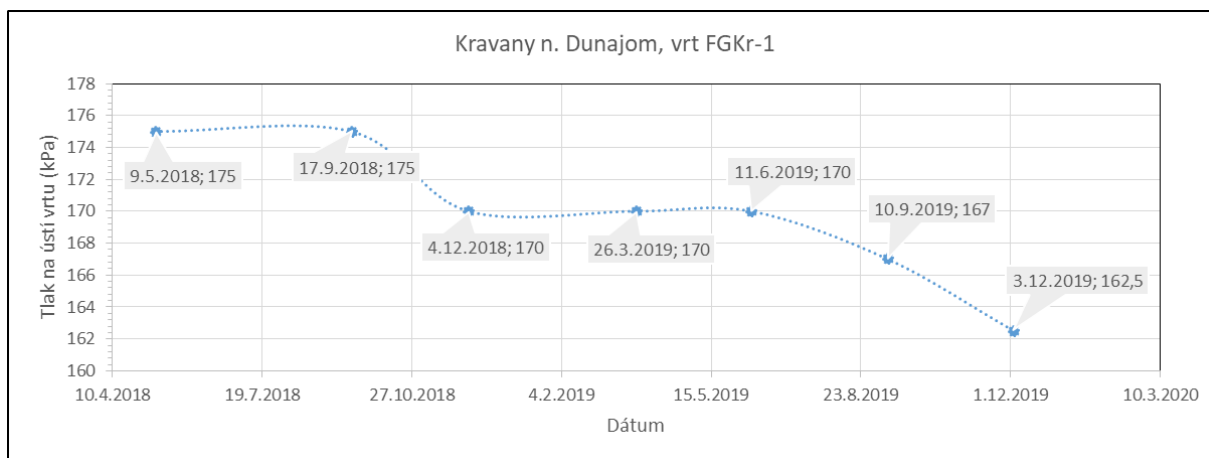
Najvyššie odbery v období 2016-2017 sú evidované z vrtu **FGŠ-1 Štúrovo** (cca **409 – 413 tis. m³ za rok**) a z vrtu SB-2 Patince (cca 203 tis. m³ za rok). Voda z vrtu FGŠ-1 Štúrovo je celoročne využívaná pre Termálne kúpalisko Vadaš Thermal Štúrovo. V Patinciach je geotermálna voda sezónne využívaná z vrtu SB-2 Patince pre potreby letného termálneho kúpaliska a celoročne pre rezort Wellnes Patince. Najnižšie odbery v období 2016-2017 sú evidované z vrtu **OPKS Štúrovo** (cca 22 – 24 tis. m³ za rok). Voda z tohto vrtu je využívaná sezónne pre potreby starého mestského letného kúpaliska Štúrovo neďaleko rieky Dunaj (príl. č. 6).

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.1.3) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/39,45 %; 2016/37,43 %; 2017/37,27 %) na základe strednej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1).



Obr. 5.1.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) komárňanskej vysokej kryhy

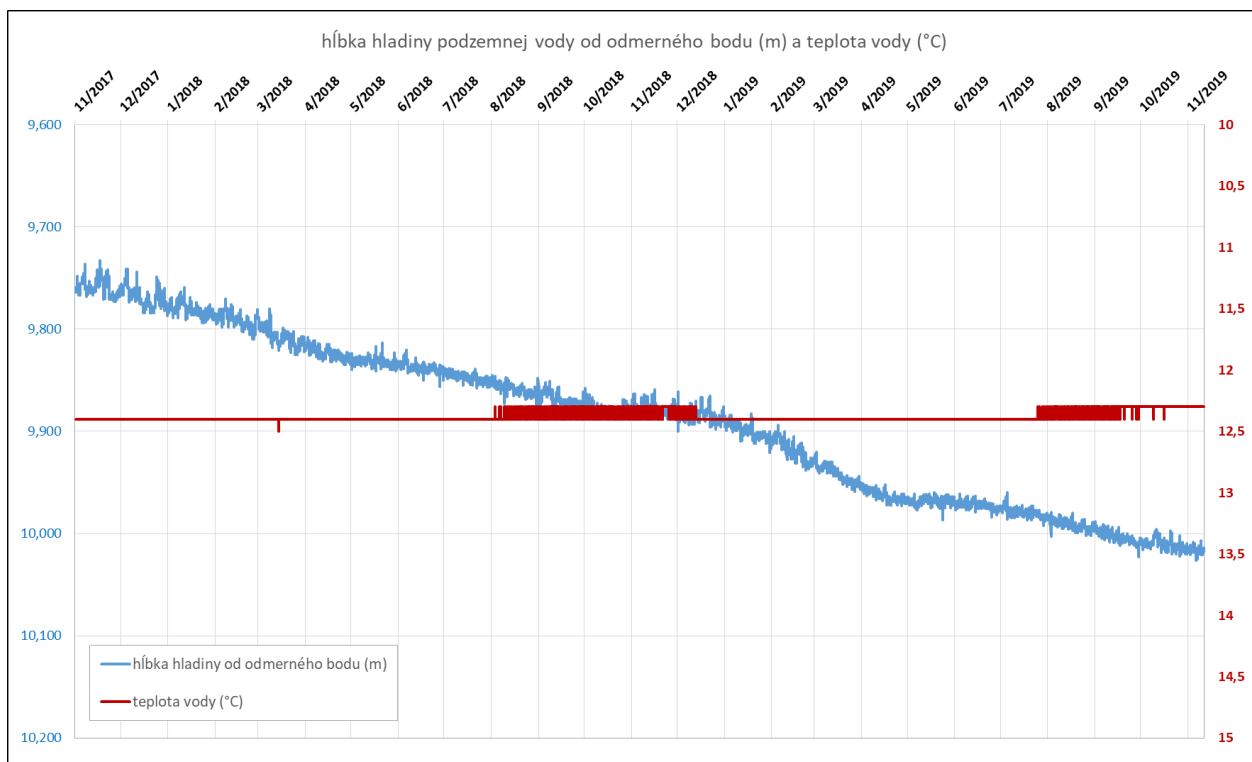
Bilančný stav geotermálneho útvaru SK300010FK so zohľadnením transformovaných využiteľných množstiev dosahoval v období 2015 – 2017 hodnoty na úrovni 39,45 %; 37,43 % a 37,27 %, čiže mimo pásma nutnosti realizovať opatrenia (> 70 %). Od roku 2015 do roku 2017 dokumentujeme pokles odberov, čo sa prejavuje v hodnote bilančného stavu útvaru. V rámci uvedeného útvaru boli identifikované zdroje (SB-2 Patince, OPKS a FGŠ-1 Štúrovo), na ktorých sa vyskytuje za uvedené obdobie kritický stav z dôvodu nízkeho zabezpečenia využiteľných množstiev geotermálnej vody (príl. č. 12 a príl. č. 8M, 9M, 10M). Vývoj tlakových pomerov v karbonátoch komárňanskej vysokej kryhy monitorovaných na vrte FGKr-1 Kravany n. Dunajom počas obdobia 2018-2019, dokumentuje mierny pokles tlaku z hodnoty 175 kPa na hodnotu 162,5 kPa (obr. 5.1.3.2).



Obr. 5.1.3.2 Vývoj tlaku na ústí vrtu FGKr-1 Kravany n. Dunajom

Tento pokles tlaku je v súlade s vývojom poklesu hladín podzemných vôd (kvartérny útvar SK1000600P: vrt VN134-1 Štúrovo – areál JCP, hladina 11/2017: 8,85 m p. t. a 11/2019: 9,2 m p. t.) ako reakcia na zrážkový deficit v uvedenom období (obr. 5.1.3.3).

Nízke zabezpečenie využiteľných množstiev geotermálnej vody pre uvedené zdroje v kritickom stave pominie, keď ich majitelia získajú nové rozhodnutia na využiteľné množstva geotermálnych vôd. Nové rozhodnutia získajú na základe realizácie geologických prác (2019-2020), ktorých cieľom je zvýšiť zabezpečenie využiteľného množstva na úroveň kategórie B. Spoľahlivosť hodnotenia kvantitatívneho stavu v geotermálnom útvare SK300010FK dosahuje strednú mieru spoľahlivosti na základe vyhodnotenia primeraného počtu zdrojov a sledovania tlakového režimu na vrte FGKr-1 Kravany n. Dunajom počas obdobia 2018-2019.

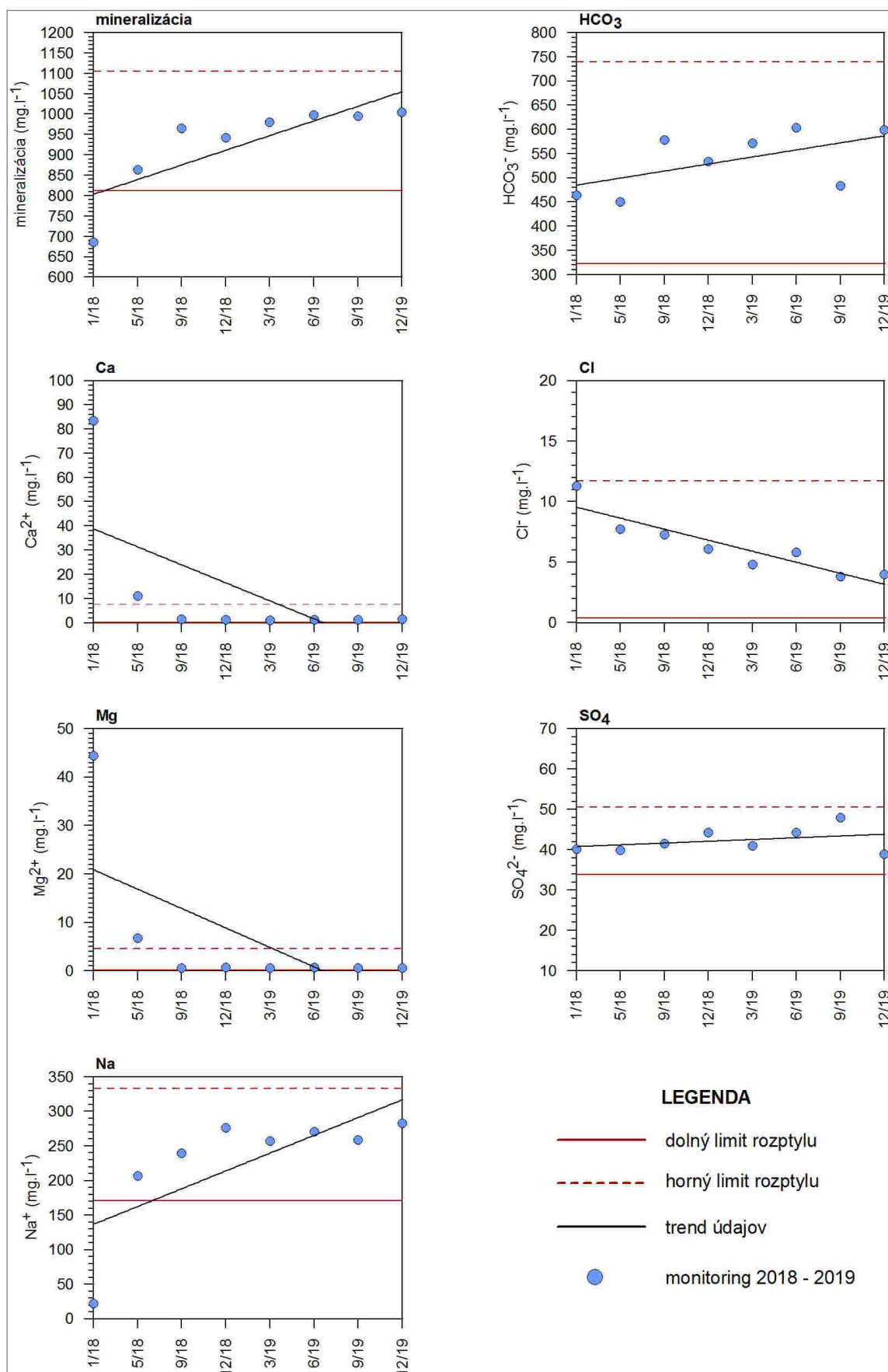


Obr. 5.1.3.3 Vývoj hladiny a teploty podzemnej vody vo vrte VN134-1 za obdobie 11/2017-11/2019

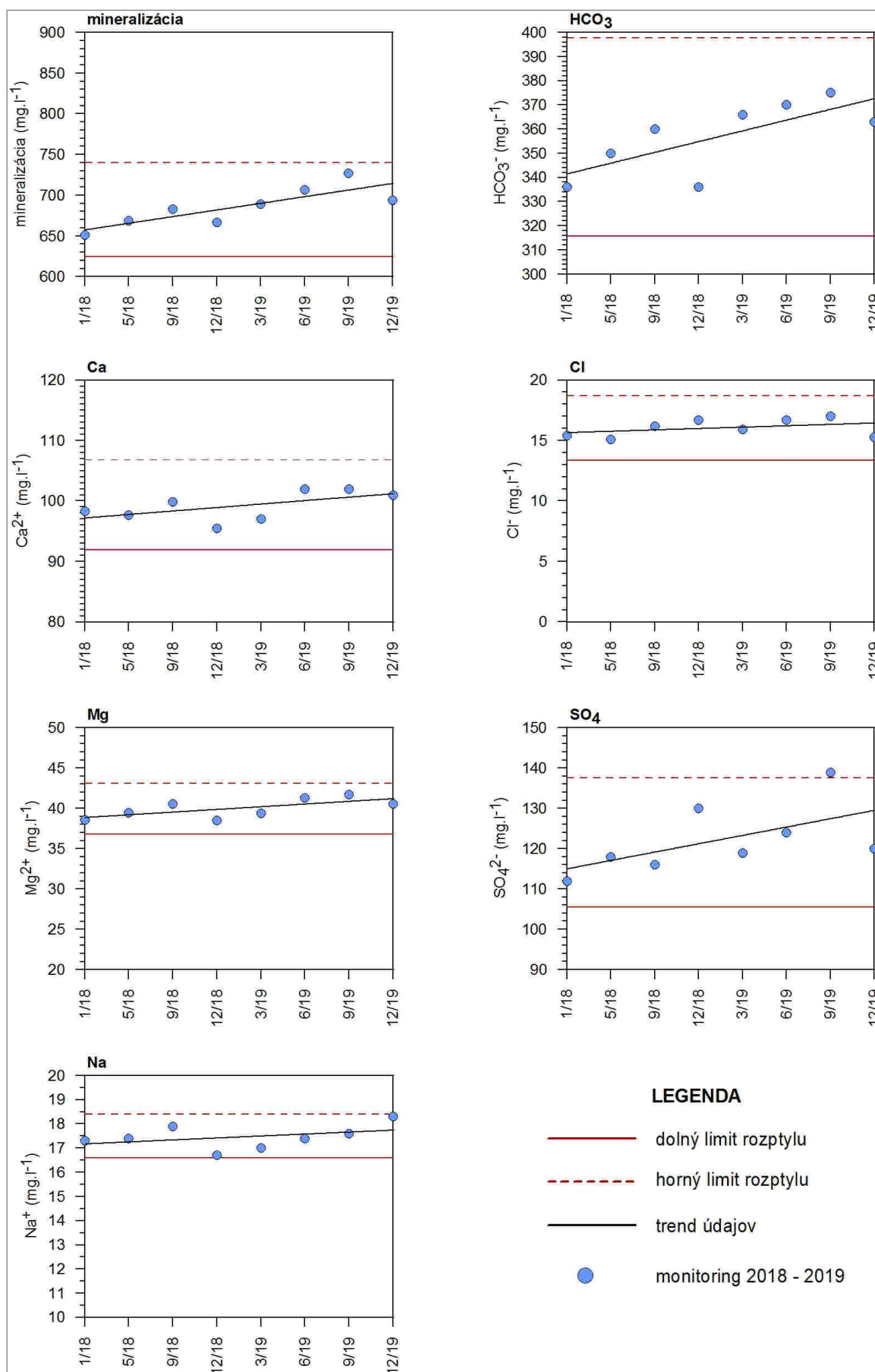
5.1.4 Chemický stav útvaru

Hodnotenie chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300010FK bolo realizované na základe metódy medzikvartilového rozpätia (IQR) a trendu časového vývoja chemického zloženia geotermálnej vody na štyroch zdrojoch (OPKS Štúrovo, FGKr-1 Kravany n. Dunajom, SB-2 Patince, VŠE Virt). Monitorovanie chemického zloženia vôd na uvedených zdrojoch bolo realizované v rámci geologickej úlohy č. 08 17-01 Regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie komárňanskej okrajovej a komárňanskej vysokej kryhy financovanej MŽP SR. Počas tohto monitoringu sa na uvedených zdrojoch realizovalo 8 odberov vôd pre základnú chemickú analýzu. Pre porovnanie stability chemického zloženia vôd dokumentovaných zdrojov boli použité aj údaje zo zdrojov VŠE Virt a SB-2 Patince z obdobia 1991-1993 (Dzúrik a Roháčiková, 1995). V týchto rokoch dochádzalo k postupnej obnove pôvodných prírodných podmienok v infiltračnej a tranzitnej oblasti Dorog a Tata (Maďarsko) a výverovej oblasti Patince-Virt (Slovensko). Vrtý VŠE a SB-2 sa odlišujú rozdielnym režimom využívania – prvý sa využíva sezónne a druhý je využívaný celoročne.

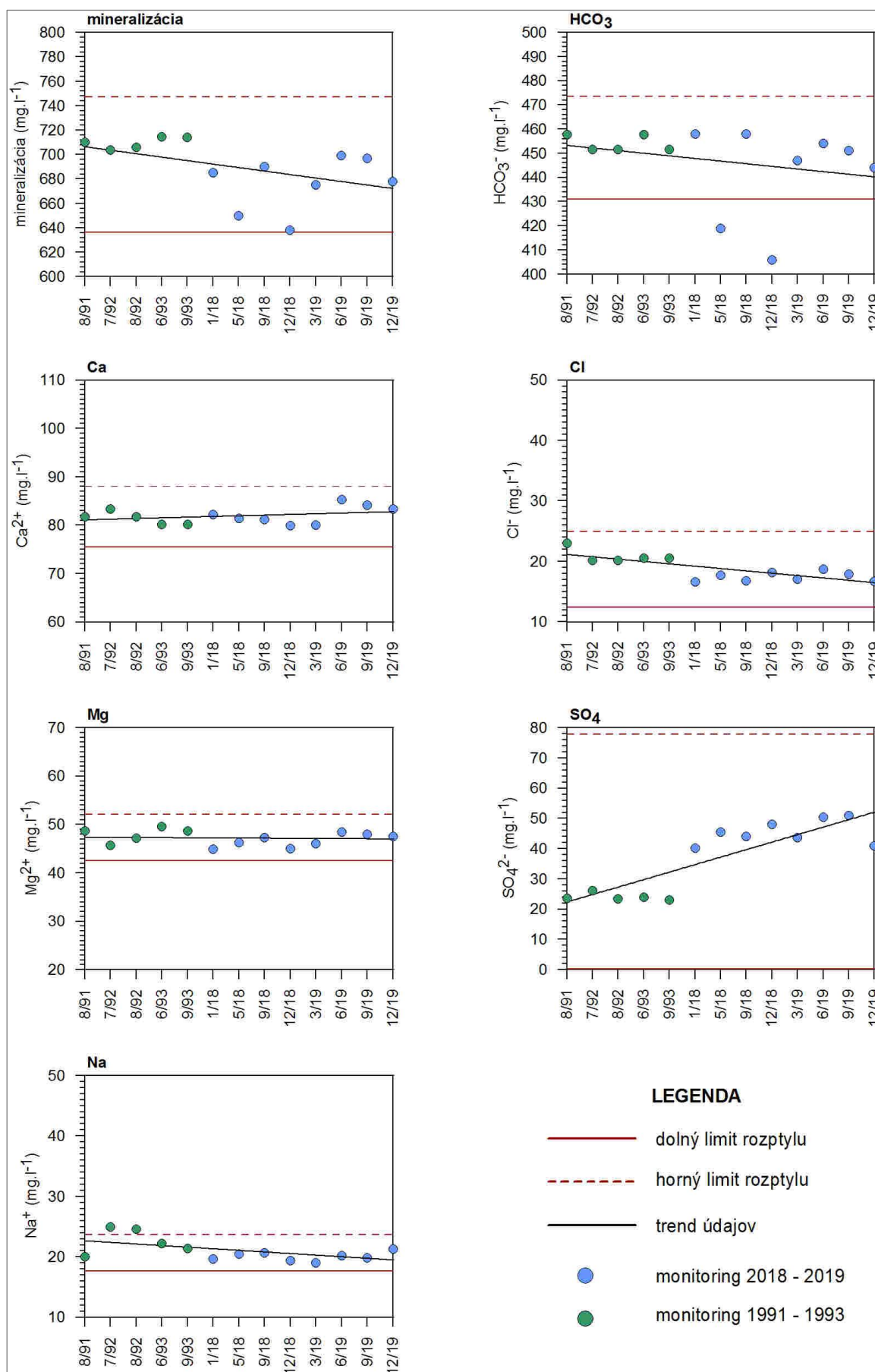
Stabilita chemického zloženia vody z vrt OPKS Štúrovo (obr. 5.1.4.2), ktorý je sezónne využívaný (VII. – VIII.) čerpaním, vykazuje stabilitu vo všetkých parametroch. Na sezónne využívanom vrte OPKS Štúrovo bol sledovaný vplyv stavu rieky Dunaj



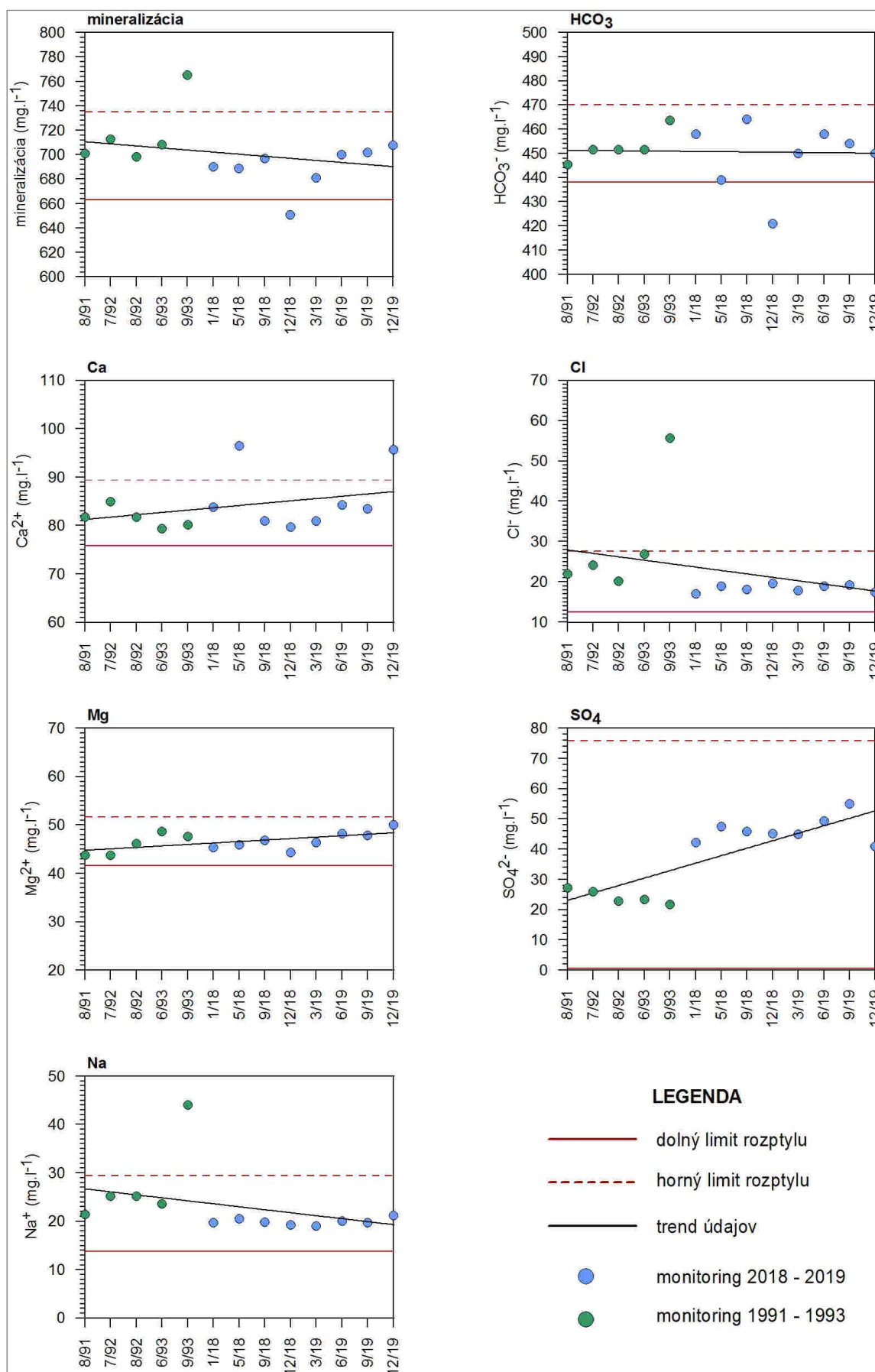
Obr. 5.1.4.1 Vývoj ukazovateľov na vrte FGKr-1 Kravany n. Dunajom



Obr. 5.1.4.2 Vývoj ukazovateľov na vrte OPKS Štúrovo



Obr. 5.1.4.3 Vývoj ukazovateľov na vrte SB-2 Patince



Obr. 5.1.4.4 Vývoj ukazovateľov na vrte VŠE Virt

na hladinu geotermálnej vody vo výverovej oblasti štúrovskej hydrogeotermálnej štruktúry. Na vrte FGKr-1 Kravany n. Dunajom máme zdokumentovanú zmenu chemického zloženia vody podľa režimu využívania (obr. 5.1.4.1). Pri prelive ($Q=8 \text{ l.s}^{-1}$) voda mala chemický typ Ca-Mg-HCO₃ (M: 686 mg.l⁻¹; pH: 7,6) a po uzatvorení vrtu postupne dochádzalo k nárastu zložky Al a mineralizácie, až voda dosiahla chemický typ Na-HCO₃ (M: 1 005 mg.l⁻¹; pH: 9,24). Táto zmena dokumentuje prenikanie vody z flyšoidných sedimentov kriedy do triasových karbonátov v prirodzenom režime. Pri vrtoch SB-2 Patince (obr. 5.1.4.3) a VŠE Virt (obr. 5.1.4.4) boli k dispozícii údaje z dvoch časových sekvencií (1991-1993, 2018-2019). Prvá sekvencia reprezentuje obnovu tlakových pomerov po ukončení ťažby uhlia v Maďarskej republike a druhá monitorovanie chemického stavu v trojmesačnom intervale počas obdobia 2018-2019 (obr. 6.2.3., 6.2.4). V obidvoch prípadoch pozorujeme pri porovnaní jednotlivých časových sekvencií jednak pokles hodnôt (M, Cl⁻, Na⁺), ale aj nárast (SO₄²⁻). V rámci jednotlivých časových sekvencií môžeme pozorovať stabilné hodnoty, ale pri odberoch 5/2018 a 12/2018 sledujeme pri oboch vrtoch pokles hodnôt (Ca²⁺, HCO₃⁻) mimo dolný limit bez ohľadu na spôsob využívania vrtov SB-2 Patince (preliv) a VŠE Virt (sezónne využívanie VII. – VIII. - čerpaním). Tento jav pravdepodobne súvisí s nízkym vodným stavom rieky Dunaj, kedy vzrástol podiel vôd z vrchnej hydrogeotermálnej štruktúry Patince - Tata s plytkým obehom a kratšou dobou zdržania v kolektore podzemných vôd, čo bolo doprevádzané poklesom mineralizácie a teploty vody v geotermálnych vrtoch.

Geotermálne útvary SK300010FK hodnotíme z pohľadu chemického stavu v dobrom stave a z pohľadu spoľahlivosti hodnotenia chemického stavu je to stredná miera spoľahlivosti (2).

5.1.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

V útvare KVK bolo prognózne obnovované množstvo geotermálnych vôd vypočítané ako prirodzený dynamický prietok útvárom, ktoré predstavuje **133 l.s⁻¹** vôd s teplotami 20 – 40 °C. Využiteľné množstvo geotermálnej energie je **9,7 MWt**. Výsledky hydrodynamickej bilancie tu potvrdili zhodu s výsledkami geotermickej bilancie.

Pri porovnaní vyššie uvedených množstiev geotermálnych vôd komárňanskej vysokej kryhy a ich energie so zistenou sumárnou výdatnosťou vrtov 271,0 l.s⁻¹ s odpovedajúcim tepelným výkonom 19,29 MWt je zrejmé, že v komárňanskej vysokej kryhe boli zistené vyššie množstvá geotermálnych vôd a ich energie, ako bolo vypočítané prognózne obnovované množstvo geotermálnych vôd a ich energie. Tento rozdiel

predstavuje množstvo vôd 138 l.s^{-1} , resp. tepelný výkon $9,59 \text{ MWt}$. Treba však podotknúť, že uvedený rozdiel je v skutočnosti nižší, lebo niektoré vrty, ako zdroje geotermálnej vody, už nefungujú pre nevyhovujúci technický stav alebo sa nevyužívajú, resp. sú zlikvidované (SB-1, vrt JRD, FGKr-1, FGO-1). Preto uvedený rozdiel v množstve vôd a ich energie predstavuje $88,7 \text{ l.s}^{-1}$, resp. $7,25 \text{ MWt}$. V skutočnosti aj toto množstvo je nižšie, lebo z väčšiny vrtov sa neexploatuje geotermálna voda mimo letnej sezóny (Remšík et al., 1979).

Komárňanská vysoká kryha vo vzťahu k modelu trvalo udržateľného využívania zdrojov GTE predstavuje útvar geotermálnych vôd viazaných na stredotriasové karbonáty, s aktuálnym inštalovaným výkonom $P_{\text{th}} = 2,16 \text{ MWth}$ a inštalovaným výkonom $P_{\text{th,inst}} = 16,4 \text{ MWth}$ vysoko prevyšujúcim modelový odhad pravdepodobných zásob GTE $R_{\text{pb}} = 2,25 \text{ MWth}$ a udržateľnú kapacitu $P_{\text{th}(r_{\text{cap}}=0,5)} = 1,1 \text{ MWth}$.

Indikátory udržateľnosti využitia a potenciálu rozvoja využívania zdrojov geotermálnej energie sú negatívne ($r_{\text{cap}(U)} = 0,04$, $r_{\text{cap}(U^*)} = -6,29$, $r_{\text{cap}(S)} = -0,91$, $r_{\text{cap}(S^*)} = -13,51$), t. j. aj pri súčasnom využívaní geotermálnej energie existuje riziko energetickej depletácie rezervoáru pri danej dobe bilancie ($t_{\text{prod}} = 100$ rokov). Pri aktuálnom modelovom riešení tak nie je predpoklad rozvoja produkcie zdrojov GTE, ktorý by vyhovoval podmienkam TURP. Z bilančného hľadiska zároveň stav overených zdrojov GTE ($R_{\text{pv}} = 19,21 \text{ MWth}$) prevyšuje overené zásoby. Pre KVK preto odporúčame do budúcnosti prehodnotiť modelové riešenie bilančného pravdepodobnostného odhadu zdrojov a zásob GTE.

Zistené výsledky z hodnotenia hydrodynamickej a geotermickej bilancie, ako aj podľa modelu trvalo udržateľného využívania zdrojov GTE dokumentujú prevyšujúce overené množstvá geotermálnej vody a jej energie oproti vypočítaným prognóznym obnoviteľným množstvám geotermálnej vody a jej energie. Na základe týchto skutočností je zjavné, že všetky metódy hodnotenia uvažujú pri výpočtoch len s územím komárňanskej vysokej kryhy iba na území Slovenska. V skutočnosti tranzitná a infiltračná oblasť uvedenej kryhy sa nachádza na území Maďarskej republiky a je potrebné pri výpočtoch uvažovať aj s touto časťou Zadunajského stredohoria. Táto kryha predstavuje cezhraničný geotermálny útvar podzemnej vody, a preto overené množstvá geotermálnej vody a jej energie prevyšujú vypočítané množstvo.

5.2 ÚTVAR SK300020FK - KOMÁRŇANSKÁ OKRAJOVÁ KRYHA

5.2.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Geologická jednotka komárňanská kryha ako celok sa nachádza v juhovýchodnej časti podunajskej panvy približne medzi Komáromom a Štúrovom. V území dominuje podunajská pahorkatina, podunajská rovina tvorí iba západnú časť kryhy.

Z južnej strany je kryha lemovaná pohoriami Zadunajského stredohoria (Gerecse, Pilis), pričom prirodzenú južnú hranicu tvorí rieka Dunaj. Severnú hranicu tvorí línia z.-v. smeru, ktorá prechádza cez Hurbanovo a Kamenný most. Na východe územie ohraničuje pohorie Burda.

Z geologického hľadiska sa na stavbe kryhy podieľa mezozoikum Zadunajského stredohoria (hlavne triasové vápence a dolomity), ktoré je zakryté sedimentami paleogénu, neogénu a kvartéru. Kryha je výrazne porušená zlomovou tektonikou a v podloží terciéru tvorí morfológicky členitú štruktúru. Zo západu je oproti CDPP ohraničená systémom komárňanských zlomov, zo severu hurbanovským zlomom, smerom na východ prechádza pod neovulkanity pohoria Börzsöny a na juhu (pravá strana Dunaja) do mezozoického pohoria Gerecse a pod neovulkanity pohoria Pilis.

V útvare SK300020FK boli v období **1967-2017** realizované **4** výskumné a prieskumné geotermálne vrty do hĺbky 1184 – 1970 m. Vrty boli situované na troch lokalitách (Komárno-kúpalisko, Komárno – Nová Stráž a Marcelová). Ide o vrt **M-1 Komárno**, **M-3 Komárno**, **FGK-1 Komárno-Nová Stráž**, **GTM-1 Marcelová** (príl. č. 1, 2). Geotermálne vody boli zachytené v úsekoch 1 037 – 1 964 m, výdatnosť vrtov bola 1,6 – 6,0 l.s⁻¹, s teplotou vody 42,0 – 64,0 °C, mineralizáciou vody 2,2 – 90,0 g.l⁻¹ a tepelným výkonom vrtov 0,18 – 1,02 MW_t (príl. č. 3). Overená sumárna výdatnosť vrtov v útvare predstavuje **15,9 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **2,62 MW_t** (príl. č. 3). Koeficient absolútnej prietochnosti karbonátov v hĺbkach 700 – 2 000 m predstavuje 1,9.10⁻¹² - 2,1.10⁻¹¹ m³ a s hĺbkou jeho hodnota klesá.

V útvare KOK sa vyskytujú tri chemické typy geotermálnych vôd:

1. *prechodný Na-Ca-HCO₃-Cl typ* - s mineralizáciou cca 0,8 g.l⁻¹, pomer HCO₃/Cl je 1,2,
2. *zmiešaný typ* - s prevahou Ca-SO₄ zložky a so zvýšeným obsahom Na-Cl s mineralizáciou 2,2 - 3,8 g.l⁻¹, pomer HCO₃/Cl je menší ako 1,
3. *výrazný Na-Cl typ* - s mineralizáciou okolo 15 g.l⁻¹ (soľanky), pomer HCO₃/Cl je okolo 0,1.

Prechodný typ vody (napr. v oblasti Modran) reprezentujú vody zmiešanej genézy. Ide o zmes vlastných sulfátovo-karbonátogénnych vôd mezozoika a infiltračne výrazne degradovaných marinogénnych vôd nadložného miocénu, ktoré zasiakli do karbonátových komplexov hlavne v počiatočnej fáze jeho morskej transgresie. Vyššia prítomnosť síranov vo vodách v oblasti Komárna poukazuje na ich kontakt so sadrovcom, vody v oblasti Modran svedčia o jeho absencii v horninovom prostredí. Výrazný Na-Cl typ v oblasti Marcelovej predstavuje marinogénne vody.

5.2.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Útvar SK300020FK - Komárňanská okrajová kryha (KOK) vystupuje po obvodě vysokej kryhy - obkolesuje ju zo západnej, severnej a východnej strany. Geotermálna voda v útvare je viazaná na triasové vápence a dolomity i jurské vápence terciérneho, resp. kriedového podložia. Z hľadiska teploty sa v ňom nachádzajú iba nízko teplotné zdroje.

Ide pravdepodobne o zatvorenú hydrogeotermálnu štruktúru (má len akumuláciu oblasti). Geotermický gradient sa tu pohybuje v rozmedzí 32,2 - 35,8 °K.km⁻¹ (pre hĺbkový interval 0 – 2 000 m). V útvare sú akumulované vody s teplotou nad 40 °C. Hustota zemského tepelného toku sa pohybuje od 50 do 60 mW.m⁻² (obr. 5.1.2.1).

5.2.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období **2011-2017** neboli v útvare SK300020FK vzhľadom na charakter využívania zdrojov geotermálnej vody realizované žiadne odbery geotermálnej vody. V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd je útvár v dobrom stave na základe nerealizácie odberov vody (tab. 6.1.1).

5.2.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300020FK nie sú realizované žiadne odbery vôd, a preto tento útvár hodnotíme v dobrom chemickom stave, ale s nulovým stupňom spoľahlivosti (tab. 6.2.1).

5.2.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

V komárňanskej okrajovej kryhe sú akumulované statické zásoby geotermálnych vôd. Pravdepodobné neobnovované množstvo geotermálnej energie pre exploatáciu v systéme reinjektáže predstavuje 227,5 MWt (Remšík et al., 2011).

Pri porovnaní vyššie uvedeného tepelno-energetického potenciálu geotermálnej energie s tepelným výkonom **2,62 MW_t**, ktorý odpovedá množstvu geotermálnych vôd so zistenou sumárnou výdatnosťou vrtov **15,9 l.s⁻¹** (príl. č. 1, 2) vidno, že v komárňanskej okrajovej kryhe sú značné rezervy na overenie ďalších množstiev geotermálnej energie (224,88 MW_t). Zistená sumárna výdatnosť vrtov je relatívne aktuálna a v čase sa postupne znižuje, čo súvisí so zatvorenosťou hydrogeotermálnej štruktúry. Preto aj získavanie geotermálnej energie z tejto štruktúry, ktorá ešte disponuje značným tepelno-energetickým potenciálom (224,88 MW_t), je potrebné realizovať systémom reinjektáže.

Komárňanská okrajová kryha predstavuje útvar s rezervoárovým prostredím v strednotriasových karbonátoch a model odhadu energetického potenciálu odhaduje celkový TTP = 110 MW_{th}, ak $R_{pv} = 3,13$ MW_{th} a odhadované $R_{pb} = 106,4$ MW_{th}, s pravdepodobnosťou overenia 92 %. Podľa koeficientu kapacity zásob maximálna udržateľná kapacita štruktúry predstavuje $P_{th(r_{cap}=0,5)} = 53,2$ MW_{th} (obr. 6.3.2.4.3).

Aktuálne v rámci útvaru nedochádza k využívaniu geotermálnej energie, t. j. $P_{th} = 0$ MW_{th} a $P_{th,inst} = 0$ MW_{th}, a teda $r_{cap(U)} = 1$, $r_{cap(U^*)} = 1$, $r_{cap(S)} = 1$ a $r_{cap(S^*)} = 1$, podľa čoho $P_{th(r_{cap}=0,5)} = P_{th(D)} = P_{th(D^*)}$. Pravdepodobnosť overenia udržateľného potenciálu je podľa modelu 98 %. Pri aktuálnom stave poznatkov model predpokladá možnosť ďalšieho overenia 50,1 MW_{th} (obr. 6.3.2.4.7). Útvar sa z pohľadu možností prieskumu a rozvoja javí ako perspektívny.

5.3 ÚTVAR SK300030FK - VIEDENSKÁ PANVA

5.3.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Viedenská panva (slovenská časť viedenskej panvy) patrí k predoblúkovým panvám Západných Karpát. Rozprestiera sa zhruba v území medzi pohorím Malých Karpát a riekou Moravou. Staršia spodnomiocénna stavba vznikla v kompresnom alebo transpresnom režime nesená na chrbtoch flyšových príkrovov. Mladšia, stredno a vrchnomiocénna stavba, vznikla v transtenznom režime s uplatnením horizontálnych posunov a poklesov. Predterciérny reliéf viedenskej panvy, na stavbe ktorého sa zúčastňujú západokarpatské a východoalpské prvky, predstavuje dnes v podstate morfológicky členitý svah Malých Karpát, ktorý na západe klesá až do hĺbky okolo 6000 m. Je výrazne narušený zlomami SV - JZ a Z - V smeru, ktoré podmienili vznik morfoštruktúr vhodných pre vznik a rozšírenie geotermálnych vôd. Majú príkrovovú stavbu a budujú ich príkrovy vyššie ako fatrikum (najmä triasové členy).

Štruktúry geotermálnych vôd vo viedenskej panve (slovenská časť viedenskej panvy) sa nachádzajú v podloží terciérnych (hlavne neogénnych) sedimentov. Geotermálne vody sa tu vyskytujú v štyroch štruktúrach (Remšík et al., 1985, 1990), a to (obr. 1, 2):

- v lakšárskej elevácii,
- v šaštínskej elevácii s príľahlým juhozápadným a severovýchodným poklesnutým pásom,
- v závodsko-studienskom poklesnutom pásme,
- v lábsko-malackej elevácii s príľahlými poklesnutými kryhami.

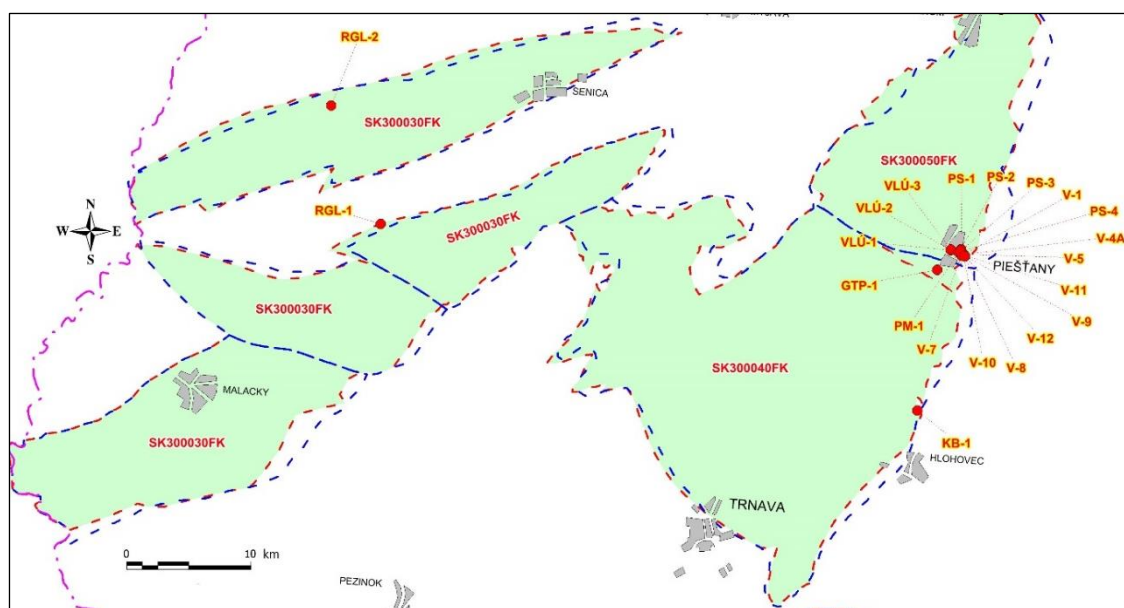
Geotermálne vody sú viazané na triasové dolomity (hlavne vrchnotriasový hauptdolomit) chočského a vyšších príkrovov, ale aj na egenburské klastiká a v južnej časti územia (lábsko-malacká elevácia) na karpatské pieskovce a piesky. Štruktúry geotermálnych vôd sa nachádzajú v hĺbke 500 – 4 500 m, vyskytujú sa v nich vody s rezervoárovou teplotou 40 – 140 °C. Z hľadiska teploty sa tu vyskytujú nízko a strednoteplotné zdroje a v hĺbkach väčších ako 4500 m aj vysokoteplotné zdroje.

Lakšárska elevácia tvorí netypickú otvorenú hydrogeotermálnu štruktúru (nepatrné odvodňovanie v sírovodíkových prameňoch na okraji Malých Karpát - Plavecký Peter, Plavecký Mikuláš a tiež v Smrdákoch), resp. polootvorenú hydrogeotermálnu štruktúru (existuje infiltračná a tranzitno-akumulačná oblasť).

Ďalšie štruktúry, a to závodsko-studienske poklesnuté pásmo a lábsko-malacká elevácia s príľahlými poklesnutými kryhami, tvoria zatvorené hydrogeotermálne štruktúry (majú len akumulčné oblasti). Vo viedenskej panve boli realizované dva výskumné geotermálne vrty, hlboké 2 100-2 605 m, ktoré overili geotermálne vody v lakšárskej a šaštínskej elevácii. V ostatných štruktúrach neboli realizované žiadne geotermálne vrty.

V lakšárskej elevácii boli geotermálne vody (obr. 5.3.1.1) zachytené vrtom **RGL-1 Lakšárska Nová Ves**, v hĺbke 1 242 – 2 065 m, výdatnosť vrtu pri voľnom prelive predstavovala 25,0 l.s⁻¹, s teplotou vody 78,0 °C, mineralizáciou vody 6,8 g.l⁻¹ a tepelným výkonom vrtu 6,59 MW_t.

V šaštínskej elevácii boli geotermálne vody zachytené vrtom **RGL-2 Šaštín-Stráže** v hĺbke 2 005 – 2 570 m, výdatnosť vrtu pri voľnom prelive bola 12,0 l.s⁻¹, s teplotou vody 73,0 °C, mineralizáciou vody 10,9 g.l⁻¹ a tepelným výkonom vrtu 2,91 MW_t. Sumárna výdatnosť oboch vrtov pri voľnom prelive tvorí **37,0 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **9,5 MW_t** (príl. č. 1, 2, 3).



Obr. 5.3.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300030FK a zdroje geotermálnej vody

Koeficient absolútnej prietoknosti kolektorov geotermálnych vôd (triasové karbonáty) predstavuje hodnotu $T_p = 8,2 \cdot 10^{-12} \text{ m}^3$ (RGL-2, šaštínska elevácia) a $T_p = 9,2 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$ (RGL-1, lakšárska elevácia).

Viedenskú panvu charakterizujú geotermálne vody s nasledujúcim chemickým zložením:

- výrazný, resp. nevýrazný Na-Cl typ s mineralizáciou 5 - 7 g.l⁻¹, pomer HCO₃/Cl 0,1 – 0,26, vyskytuje sa v najvyšších partiách lakšárskej elevácie,
- výrazný, resp. nevýrazný Na-Cl typ s mineralizáciou 7 - 15 g.l⁻¹, pomer HCO₃/Cl 0,1 – 0,7, vyskytujú sa v šaštínskej elevácii s príľahlým juhozápadným a severovýchodným poklesnutým pásom,
- výrazný Na-Cl typ s mineralizáciou 15 - 25 g.l⁻¹, pomer HCO₃/Cl 0,06 – 0,22, vyskytuje sa v závodsko-studienskom poklesnutom pásme,
- výrazný Na-Cl typ s mineralizáciou 35 - 45 g.l⁻¹, pomer HCO₃/Cl pod 0,1, nachádza sa v hlbokých partiách lakšárskej elevácie,
- výrazný Na-Cl typ s mineralizáciou 90 - 130 g.l⁻¹, pomer HCO₃/Cl pod 0,1, vyskytuje sa v lábsko-malackej elevácii s príľahlými poklesnutými kryhami.

Všeobecne možno uviesť, že geotermálne vody viedenskej panvy sú Na-Cl typu s rôznym zastúpením ostatných zložiek (nie vyšším ako 25 mval %) a s mineralizáciou

od 5 - 130 g.l⁻¹. Podrobnejšie rozčlenenie týchto vôd podľa chemického zloženia vyplýva z ich genetickej príbuznosti a výskytu v jednotlivých štruktúrach.

Geotermálne vody viedenskej panvy sú marinogénne, ktoré popri metamorfóze s horninovým prostredím (napr. vody lakšárskej a šaštínskej elevácie sú metamorfované stykom s anhydritmi) zostali zachované alebo boli zahustené, resp. degradované. Evaporáciou morskej vody vznikli v lábsko-malackej elevácii geotermálne soľanky. V hlbokých partiách lakšárskej elevácie zostali zachované „pôvodné“ morské vody, ktoré od vôd vo vrchných častiach štruktúry izoluje nepriepustné súvrstvie ílovitých bridlíc. V ostatných štruktúrach viedenskej panvy ide o degradované morské vody. Nejasná je genéza vôd v najvyššej časti lakšárskej elevácie. Podľa chemického zloženia to môžu byť degradované marinogénne vody, ale podľa izotopových analýz kyslíka a vodíka môže byť pôvod týchto vôd meteorický - išlo by teda o petrogénne vody.

Výraznou zložkou geotermálnych vôd lakšárskej a šaštínskej elevácie je sírovodík, ktorý tu bol zistený v množstve 100,1 - 234,0 mg.l⁻¹ (vrt RGL-1, 2). Jeho vznik je spojený s biochemickou redukciou síranov, ktoré sa nachádzajú v geotermálnych vodách.

5.3.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Geotermálna aktivita tohto útvaru je relatívne nízka. Tepelné i teplotné pole je variabilné; najvyššie hodnoty hustoty tepelného toku $> 65 \text{ mW.m}^{-2}$ (príl. č. 5M) a teploty (viac ako 60 °C v hĺbke 1000 m) charakterizujú lakšársku eleváciu (v lábsko-malackej elevácii v hĺbke 1000 m je teplota viac ako 50 °C), najnižšie hodnoty boli zistené v oblasti Rohožníka ($q < 45 \text{ mW.m}^{-2}$, v hĺbke 1000 m teplota menej ako 35 °C). Vo vrchnej časti lakšárskej elevácie je teplotné pole porušené konvektívnym prenosom tepla, dochádza tu k výnosu tepla a vzniku pozitívnej teplotnej anomálie; v hĺbke 3000 m sa tento efekt už neuplatňuje, naopak v oblasti Rohožníka prestupujúce krasové vody z Malých Karpát toto prostredie ochladzujú a vzniká tu negatívna teplotná anomália. Priemerná hodnota geotermického gradientu v intervale 0-1000 m vo viedenskej panve je 34 °C/km a s hĺbkou klesá.

5.3.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období 2011-2017 nebol žiaden geotermálny vrt v tomto útvare využívaný (príl. č. 6). V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd je útvár v dobrom stave na základe nerealizácie odberov vody (tab. 6.1.1).

5.3.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útware SK300030FK nie sú realizované žiadne odbery vôd, a preto tento útvar hodnotíme v dobrom chemickom stave, ale s nulovým stupňom spoľahlivosti (tab. 6.2.1).

5.3.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Vo všetkých štruktúrach viedenskej panvy bolo množstvo geotermálnej energie hodnotené pre exploatáciu systémom reinjektáže, a to pomocou modelového riešenia.

Prognózne neobnovované množstvo geotermálnej energie v lakšárskej a šaštínskej elevácii predstavuje 268 MWt (sieť vrtov so vzdialenosťou 2 km, exploatované a reinjektované množstvo 25 - 50 l.s⁻¹, ochladenie na exploatačnom vrte sa prejaví za 50 - 110 rokov, teplota vody 75 - 83 °C, teplotný spád pri využívaní 60 - 68 °C).

V ostatných štruktúrach viedenskej panvy bolo množstvo geotermálnej energie hodnotené na 243 MWt, (sieť so vzdialenosťou vrtov 2 km, exploatované a reinjektované množstvo 25 - 30 l.s⁻¹, ochladenie na exploatačnom vrte za 65 - 105 rokov, teplota vody 83 - 100 °C, teplotný spád pri využívaní 68 - 85 °C).

Sumárne množstvo geotermálnej energie pre všetky štruktúry viedenskej panvy predstavuje 511 MWt.

Pri porovnaní vyššie uvedeného tepelno-energetického potenciálu geotermálnej energie s tepelným výkonom 9,5 MWt, ktorý odpovedá množstvu geotermálnych vôd so zistenou sumárnou výdatnosťou vrtov 37,0 l.s⁻¹ (príl. č. 2) vidno, že vo viedenskej panve sú veľmi vysoké rezervy na získanie, resp. overenie ďalších množstiev geotermálnej energie (501,5 MWt). Vzhľadom k tomu, že obidva geotermálne vrty (RGL-1, RGL-2) sú zakonzervované, je tepelno-energetický potenciál geotermálnej energie viedenskej panvy zatiaľ nedotknutý.

Exploatáciu geotermálnych vôd kvôli chemickému zloženiu vôd, vyššej mineralizácii a zatvorenosti niektorých hydrogeotermálnych štruktúr je tu potrebné realizovať systémom reinjektáže (Remšík et al., 1989).

Viedenská panva vo vzťahu k modelu trvalo udržateľného využívania zdrojov GTE predstavuje útvar geotermálnych vôd s rezervoárovým prostredím viazaným na stredotriasové karbonáty s TTP = 232,5 MWth a 97 % pravdepodobnosťou overenia, z čoho overené zásoby predstavujú $R_{pv} = 9,5$ MWth a modelom odhadované pravdepodobné zásoby $R_{pb} = 223$ MWth. Pri udržateľnej kapacite $P_{th(rcap=0,5)} = 111,5$ MWth

s pravdepodobnosťou overenia 99 % (obr. 6.3.2.1.1) ostáva na prieskumné práce 102 MW_{th} (obr. 6.3.2.1.4).

Útvar nie je využívaný, preto $P_{th} = 0$ MW_{th} a $P_{th,inst} = 0$ MW_{th}, a teda $r_{cap(U)} = 1$, $r_{cap(U^*)} = 1$, $r_{cap(S)} = 1$ a $r_{cap(S^*)} = 1$, podľa čoho $P_{th(r_{cap}=0,5)} = P_{th(D)} = P_{th(D^*)}$. Z pohľadu dlhodobej udržateľnej produkcie geotermálnej energie sa útvar javí ako perspektívny. Vysoký predpoklad možností overenia energetického potenciálu zvyšujú perspektivitu útvaru na prieskumné práce.

5.4 ÚTVAR SK300040FK - TRNAVSKÝ ZÁLIV

5.4.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Geotermálny útvar Trnavský záliv predstavuje časť severného výbežku Podunajskej nížiny, približne medzi mestami Trnava a Piešťany. Jeho územie sa rozprestiera medzi pohoriami Malých Karpát a Považského Inovca. Od piešťanského zálivu na severe je oddelený priečnou piešťanskou eleváciou predterciérneho podložia.

Útvar tvorí depresiu, ktorá je vyplnená hlavne neogénnymi sedimentami, v severnej časti územia sú v podloží neogénnych sedimentov prítomné aj paleogénne sedimenty. Predterciérne podložie je budované tektonickými jednotkami - hlavne fatrikum a hronikum, ktoré sem pokračujú z Malých Karpát, resp. z Považského Inovca. V oblasti Trnavy podložie dosahuje hĺbku až cca 4000 m a tvorí ho kryštalinikum s horninami mezozoického obalu. (Franko et al., 1995).

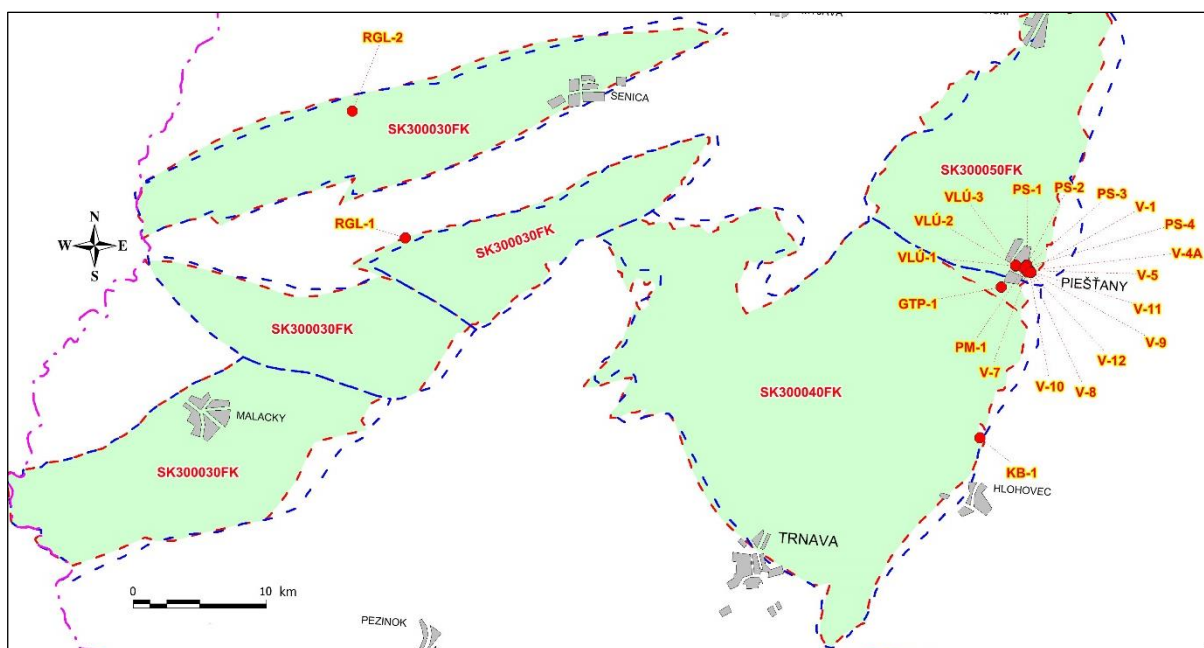
V útvare sú geotermálne vody známe z prirodzených prameňov (Koplotovce) a vrtov. Viazané sú hlavne na triasové dolomity a vápence fatrika a hronika v podloží terciérnych sedimentov.

V tomto geotermálnom útvare doteraz **neboli overené geotermálne vody pomocou hlbokých geotermálnych vrtov**. Bol tu realizovaný jeden vrt, a to **KB-1 v Koplotovciach** (obr. 5.4.1.1), hlboký 118 m, ktorý zachytil geotermálnu vodu v triasových karbonátoch fatrika v hĺbke 78 – 108 m, s výdatnosťou **14,5 l.s⁻¹**, teplotou vody 24 °C a tepelným výkonom vrtu **0,55 MW_t** (príl. č. 1, 2, 3).

Významné indície o geotermálnych vodách prinášajú vrty na uhl'ovodíky (napr. **Dubové-1,2, Krupá-1, Trakovice-1** a i.). Vrt Trakovice-1 zistil geotermálnu vodu s prelivom v triasových dolomitoch krížňanského príkrovu v hĺbke 1835 – 1845 m.

Z hydrogeochemického hľadiska bola v útvare vrtom KB-1 overená geotermálna voda Ca-Mg-HCO₃-SO₄ typu s hodnotou celkovej mineralizácie 2,52 g.l⁻¹ a teploty 24 °C

a vrtom Trakovice-1 geotermálna voda $\text{Ca}(\text{Mg})\text{-Na-HCO}_3\text{-Cl-SO}_4$ typu s mineralizáciou 5,9 g.l⁻¹.



Obr. 5.4.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300040FK a zdroje geotermálnej vody

5.4.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Geotermálna aktivita územia útvaru je priemerná. Teplota v hĺbke 1000 m sa pohybuje v rozmedzí 35 až 50 °C, v hĺbke 2000 m 65 až 85 °C, v hĺbke 3000 m okolo 90 až 110 °C a stúpa v smere zo severu na juh. Teplota na predterciérnom podloží sa pohybuje v rozmedzí 25-100 °C a narastá smerom do stredu depresie, čo súvisí s hĺbkou predterciérneho podložia. Hustota tepelného toku v rámci regionálneho tepelného poľa sa pohybuje v rozmedzí 60,0 – 70,0 mW.m⁻² (príl. č. 5M).

5.4.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období **2011-2017** nebol v zmysle nahlasovacej povinnosti o odbere geotermálnej vody žiaden geotermálny vrt v tomto útvare využívaný (príl. č. 6).

Na základe údajov z revízie registrácie minerálnych zdrojov (Dzúrik a kol., 2016) **vrt KB-1 Koplotovce** (spolu s blízkym vrtom R-1) je v letnej sezóne využívaný pre potreby miestneho kúpaliska bez nahlasovania údajov o odbere. Je predpoklad, že odber vody z nich pravdepodobne nepresahuje hodnotu 1 250 m³ mesačne.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd je útvár v dobrom stave na základe nerealizácie odberov vody, ktoré by presiahli hodnotu 1 250 m³ mesačne (tab. 6.1.1).

5.4.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300040FK bol realizovaný odber vody, ten ale dosahuje také parametre, ktoré nie sú relevantné pre hodnotenie kvantitatívneho stavu a preto tento útvár hodnotíme v dobrom chemickom stave, ale s nulovým stupňom spoľahlivosti (tab. 6.2.1).

5.4.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie trnavského zálivu je hodnotené na 33,5 MWt (Franko et al., 1995).

Pri porovnaní vyššie uvedeného množstva geotermálnej energie so zisteným tepelným výkonom (0,55 MW_t) vidno, že prakticky celé množstvo geotermálnej energie v útvare (32,95 MW_t) ešte zostáva na overenie (Remšík et al., 2011).

Trnavský záliv reprezentuje útvár s geotermálnymi vodami viazanými na strednotriasové karbonáty a pravdepodobnostný model odhadu zdrojov a zásob GTE odhaduje TTP = 47,2 MW_{th}, z čoho R_{pv} = 0,6 MW_{th} a R_{pb} = 46,6 MW_{th}, s modelovanou pravdepodobnosťou overenia 90 %. Udržateľná kapacita rezervoáru predstavuje P_{th(rcap=0,5)} = 23,3 MW_{th}, s pravdepodobnosťou overenia 98 % (obr. 6.3.2.1.1), v útvare ostáva na overenie 22,7 MW_{th}.

Využívanie GTE je charakterizované P_{th} = 0,06 MW_{th} a P_{th,inst} = 0,55 MW_{th}. Bilančný model udržateľnosti potom odhaduje r_{cap(U)} = 1, r_{cap(U*)} = 0,99, r_{cap(S)} = 1 a r_{cap(S*)} = 0,98. Potenciál rozvoja aktuálneho P_{th(D)} = 23,3 MW_{th} a inštalovaného P_{th(D*)} = 22,8 MW_{th} (obr. 6.3.2.1.4) výkonu predstavuje 99 % resp. 98 % udržateľnej produkcie. Využívanie zdrojov GTE je možné klasifikovať ako udržateľné s nízkym rizikom rozvoja produkcie pre dlhodobú udržateľnosť. Útvár z pohľadu rozvoja produkcie geotermálnej energie hodnotíme ako perspektívny.

5.5 ÚTVAR SK300050FK - PIEŠŤANSKÝ ZÁLIV

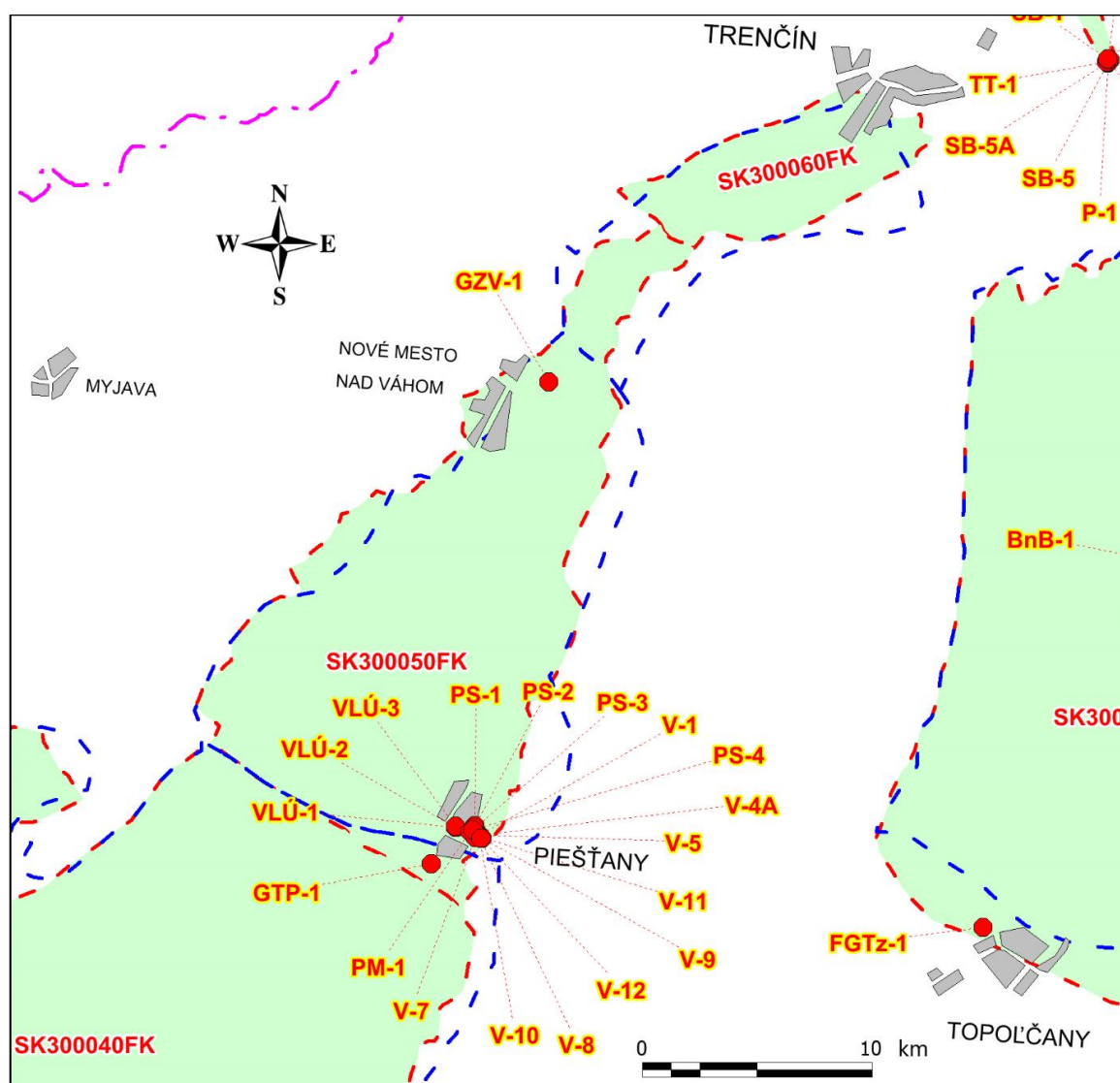
5.5.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Útvár geotermálnej vody Piešťanský záliv je pokračovaním útvaru Trnavského zálivu smerom na sever, v území približne medzi mestami Piešťany a Nové Mesto

nad Váhom. Nachádza sa medzi pohoriami Brezovských i Čachtických Karpát a Považského Inovca.

Tvorí depresiu, ktorá je vyplnená hlavne neogénnymi sedimentami, a v ich podloží aj paleogénnymi sedimentami. Predterciérne podložie je budované tektonickými jednotkami (hlavne hronikum), ktoré sem pokračujú z Brezovských i Čachtických Karpát a Považského Inovca. Maximálna hĺbka podložia (depresia severne od Piešťan) dosahuje okolo 1000 m. V severnej časti zálivu na geologickej stavbe podložia participujú aj mezozoické formácie tatrika a fatrika.

V piešťanskom zálive sú geotermálne vody známe z prirodzených prameňov a vrtov v **Piešťanoch** a z vrtu v **Novom Meste n. Váhom**. Viazané sú hlavne na triasové dolomity a vápence fatrika resp. hronika v podloží terciérnych sedimentov (obr. 5.5.1.1).



Obr. 5.5.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300050FK a zdroje geotermálnej vody

Geotermálne vody v Piešťanoch vystupujú v prirodzených výveroch (do kvartéru Váhu) a najvýdatnejšie z nich boli zachytené na Kúpeľnom ostrove v centrálnej časti výverovej oblasti.

V oblasti Piešťan boli v minulosti realizované viaceré hydrogeologické prieskumné práce, z ktorých zostalo zachovaných 18 vrtov (príl. č. 1, 2, 3) a 1 studňa Trajan, pričom v súčasnosti sú 4 zdroje využívané (**V-1 Cmunť**, **V-4A Hynie**, **V-5 Trajan**, **V-8 Torkoš**) akciou spoločnosťou SLK Piešťany. Hĺbka zdrojov sa pohybuje od 11,2 do 55,2 m, ostatné vrty sú rezervné **V-10**, resp. pozorovacie (**V-7**, **9** – za obtokovým ramenom Váhu) s hĺbkou od 16,0 do 81,7 m.

V roku 2010 bol realizovaný geotermálny vrt **GTP-1 Piešťany** o hĺbke 1 200 m, ktorý dokumentoval prítomnosť termálnej vody s mineralizáciou vody 1,5 g.l⁻¹ (chemický typ vody Ca-SO₄), teplotou vody 61,4 °C, výdatnosťou 1,5 l.s⁻¹ a tepelným výkonom 0,286 MW_t (Marcin et al., 2017).

V okrajovej časti výverovej oblasti mimo Kúpeľného ostrova na pravom brehu Váhu sa nachádzajú pozorovacie vrty **PS-1, 2, 3, 4** o hĺbke 282 – 650 m, ktorých vlastníkom sú SLK a. s., Piešťany. Pre bývalý Vojenský liečebný ústav (dnes HOREZZA a. s., Piešťany) sú využívané exploatačné vrty **VLÚ-2 a VLÚ-3** o hĺbke 220 m a 635 m (Vandrová et al., 2014). Zdroje geotermálnej vody v Piešťanoch, ktorých vlastníckmi sú SLK Piešťany a HOREZZA a. s., Piešťany, patria medzi prírodné liečivé vody, ktoré spadajú pod správu IKŽ MZ SR v zmysle zákona č. 538/2005 Z. z.. Na pravej strane Váhu bol v Piešťanoch vybudovaný do hĺbky 300 m vrt **PM-1 (Magnólia)**, ktorý v súčasnosti nie je využívaný, a preto plní funkciu pozorovacieho objektu (Dzúrik a Tomana, 2002).

Z pohľadu obehu a režimu môžeme v Piešťanoch vyčleniť centrálnu časť výverovej oblasti a okrajovú. V centrálnej časti prúdi voda v sedimentoch mezozoika pomerne rýchlo (doba zdržania vody v kolektore je 5 600 -7 600 rokov), naproti tomu v okrajovej časti je to podstatne viac (11 000 rokov). Teplota vody v centrálnej časti dosahuje vyššie hodnoty (60 – 70 °C) ako je teplota v okrajovej časti (40 °C), pričom smer prúdenia v sedimentoch mezozoika je od severu k juhu. Sedimenty neogénu vytvárajú v centrálnej časti výverovej oblasti druhotnú akumuláciu geotermálnych vôd (doba zdržania vody v kolektore je 26 000 – 28 000 rokov), v ktorej voda prúdi pomalšie ako v sedimentoch mezozoika (Marcin et al., 2017).

Geotermálnu vodu mimo oblasti Piešťan zachytil na pravej strane Váhu geotermálny vrt **GZV-1 Nové Mesto nad Váhom** (Vrana et al., 2009). Týmto vrtom hlbokým 1 206 m

bola dokumentovaná prítomnosť geotermálnej vody v mezozoických karbonátoch v hĺbke 985 – 1155 m, s výdatnosťou $10,0 \text{ l.s}^{-1}$, teplotou vody $19,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mineralizáciou vody $1,41 \text{ g.l}^{-1}$ (chemický typ vody Mg-Ca-SO_4) a tepelným výkonom vrtu $0,18 \text{ MW}_t$ (príl. č. 1, 2, 3).

Keďže predterciérne podložie piešťanského zálivu tvoria najmä karbonáty hronika, geotermálne vody sú tu prevažne Ca(Mg)-HCO_3 typu s celkovou mineralizáciou okolo $1,0 - 1,6 \text{ g.l}^{-1}$.

5.5.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Geotermálna aktivita územia útvaru je priemerná. Teplota vody sa v hĺbke 1 000 m pohybuje v rozmedzí 35 až $37 \text{ }^{\circ}\text{C}$, v hĺbke 2 000 m 60 až $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$, v hĺbke 3000 m okolo $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota na predterciérnom podloží sa pohybuje v rozmedzí $10-25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a narastá smerom do stredu depresie, čo súvisí s hĺbkou predterciérneho podložia (Franko et al., 1995).

Hustota tepelného toku v rámci regionálneho tepelného poľa sa pohybuje v rozmedzí $60,0 - 70,0 \text{ mW.m}^{-2}$ (príl. č. 5M).

5.5.3 Kvantitatívny stav útvaru

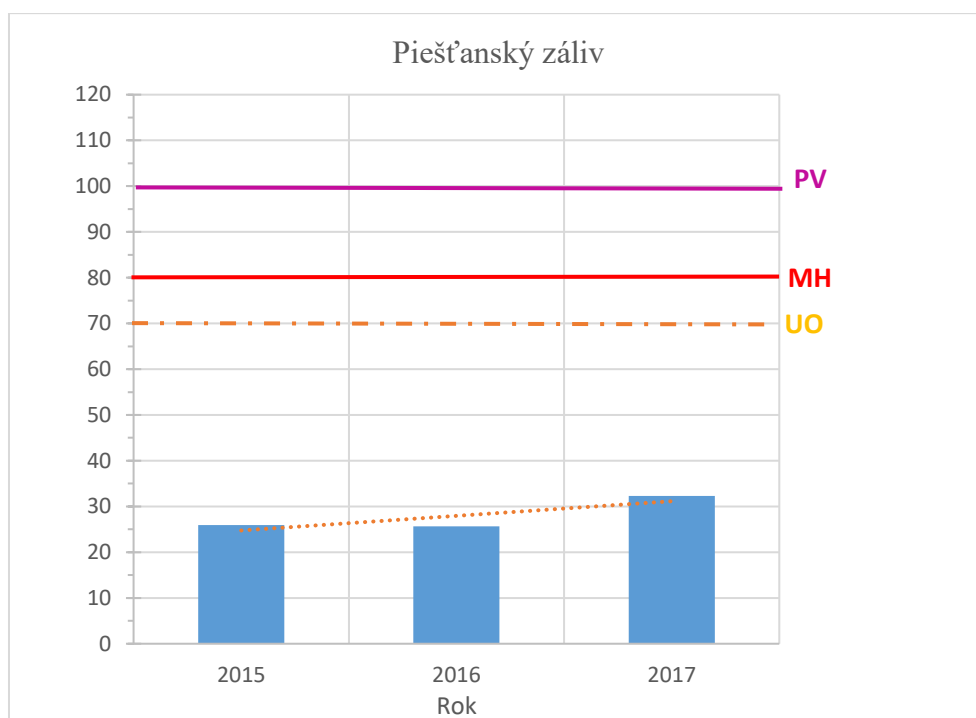
Na základe nahlásených údajov o odbere geotermálnej vody na SHMÚ bolo v období **2011-2015** z vrtov na **Kúpeľnom ostrove v Piešťanoch** sumárne odoberaných ročne **cca 661 tis. – 716 tis. m^3** geotermálnej vody za rok, t. j. sumárne to činilo množstvo v intervale **cca 20,9 – 22,7 l.s^{-1}** (príl. č. 6, 7, 8).

V období **2016-2017** tento odber mierne vzrástol na **cca 684 tis. – 773 tis. m^3** geotermálnej vody za rok, t. j. sumárne v intervale **21,6 – 24,5 l.s^{-1}** (príl. č. 6).

Od roku 2017 boli evidované odbery z vrtov **VLÚ-2 a VLÚ-3** o celkovom množstve **cca 106 tis. m^3** geotermálnej vody za rok, t. j. **3,37 l.s^{-1}** (príl. č. 6). U ostatných vrtov v útvare neboli evidované odberné množstvá geotermálnej vody.

Sumárna dokumentovaná výdatnosť vrtov v útvare tvorí **152,44 l.s^{-1}** , čomu odpovedá tepelný výkon **27,92 MW_t** (príl. č. 3).

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.5.3.1) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/25,90 %; 2016/25,65 %; 2017/32,30 %) na základe strednej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1).



Obr. 5.5.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) piešťanskeho zálivu

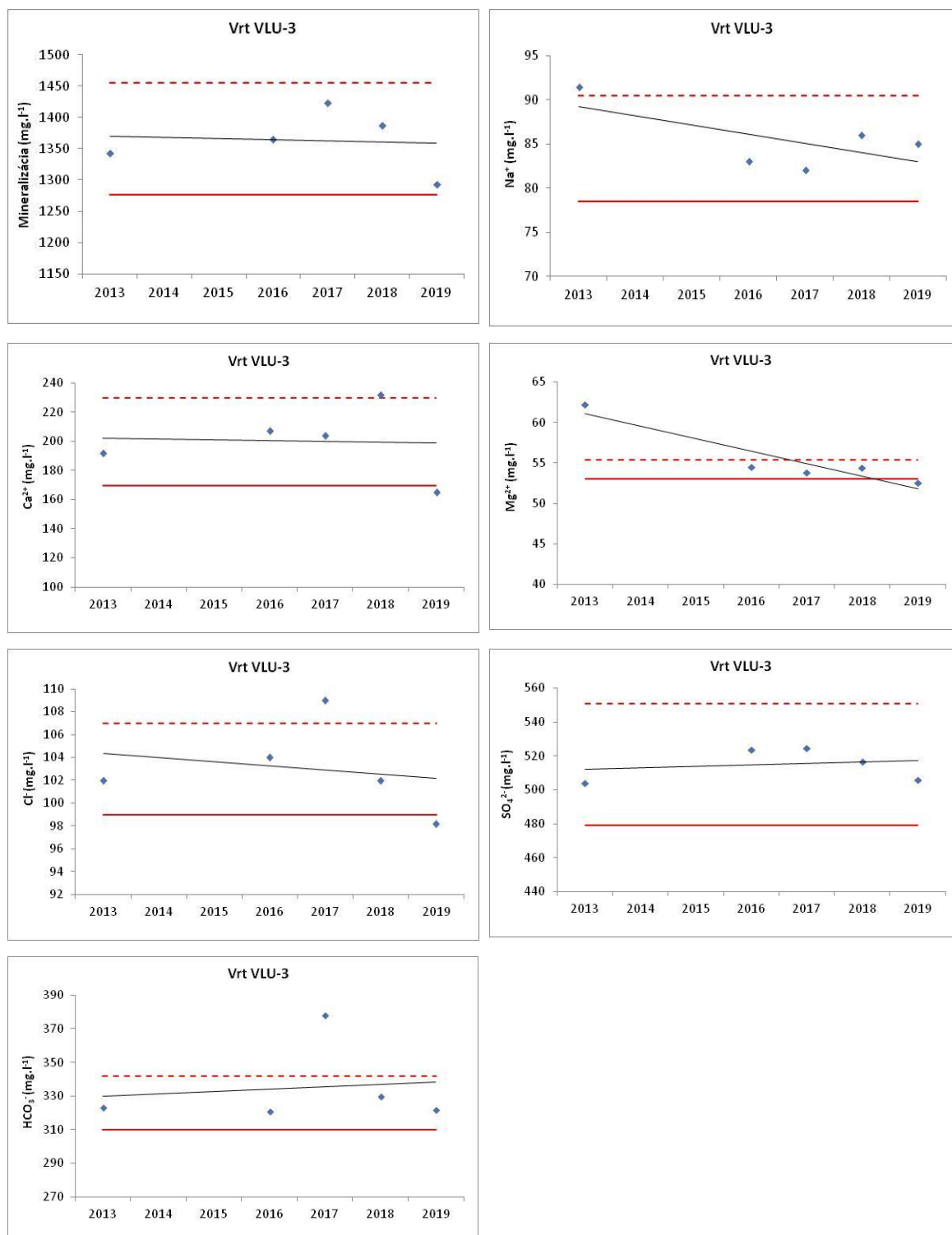
5.5.4 Chemický stav útvaru

Hodnotenie chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300050FK bolo realizované na základe metódy medzikvartilového rozpätia (IQR) a trendu časového vývoja chemického zloženia geotermálnej vody na štyroch vrtoch v Piešťanoch (VLU-3, V-4A Hynie, V-5 Trajan a V-8 Torkoš).

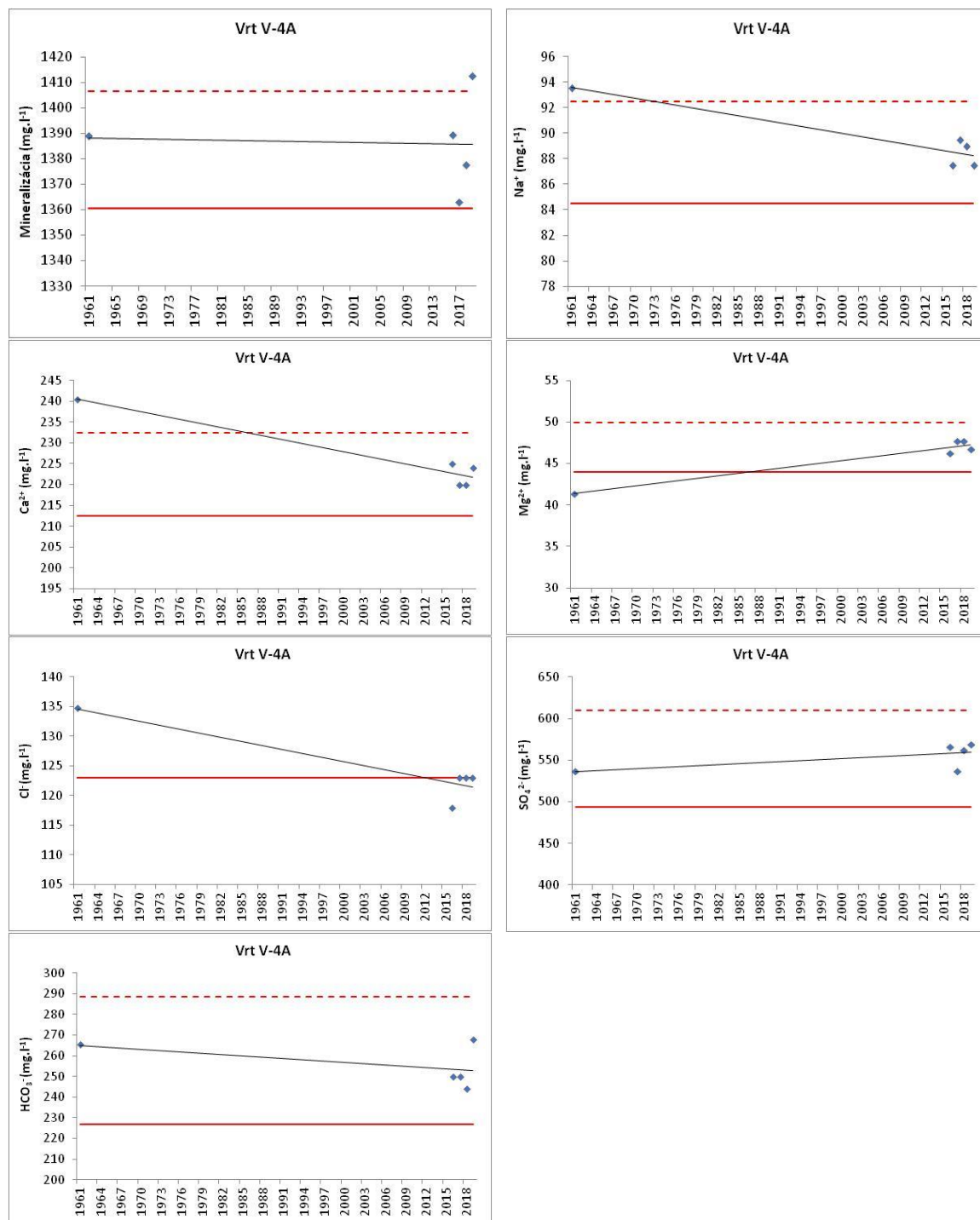
V prípade vrtu VLU-3 boli k dispozícii analýzy z obdobia rokov 2013 až 2019. Chemické zloženie vody z vrtu VLU-3 vykazuje v zásade stabilitu vo väčšine parametrov. V dvoch prípadoch boli zaznamenané odľahlé merania – obsah Mg^{2+} na úrovni $62,3 \text{ mg.l}^{-1}$ (3.12.2013) a obsah HCO_3^- na úrovni 378 mg.l^{-1} (15.12.2017). Určitá variabilita koncentrácií je z grafov na obr. 5.5.4.1 zrejماً v prípade Ca^{2+} (165 až 232 mg.l^{-1}) a Cl^- ($98,2$ až 109 mg.l^{-1}), ktorá pravdepodobne súvisí s režimom využívania tohto zdroja.

V prípade vrtov V-4A, V-5 a V-8 boli k dispozícii údaje z dvoch časových období – staršie analýzy z rokov 1961 (V-4A), 1968 (V-5) a 1965 (V-8), resp. analýzy z obdobia rokov 2016 až 2019 (obr. 5.5.4.2 až 5.5.4.6).

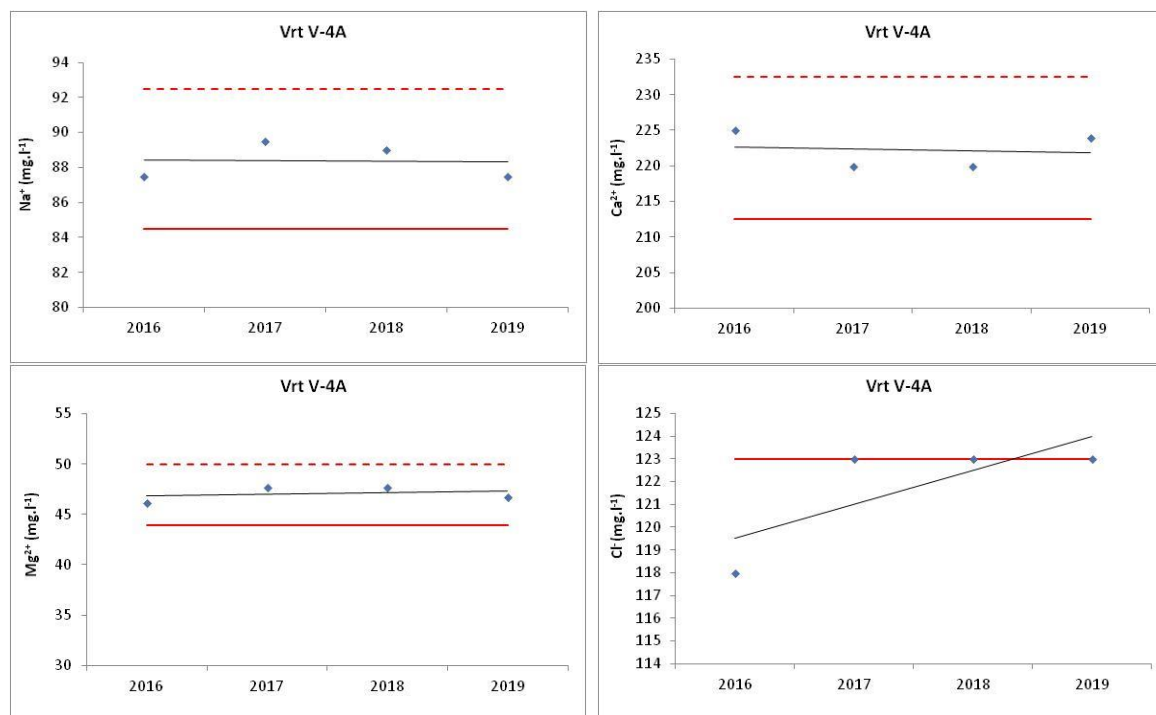
Vo vzorke z vrtu V-4A (Hynie) odobranej 9.8.1961 boli zaznamenané odľahlé koncentrácie pre viaceré parametre – Na^+ ($93,6 \text{ mg.l}^{-1}$), Ca^{2+} ($240,48 \text{ mg.l}^{-1}$),



Obr. 5.5.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu VLU-3



Obr. 5.5.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-4A Hynie

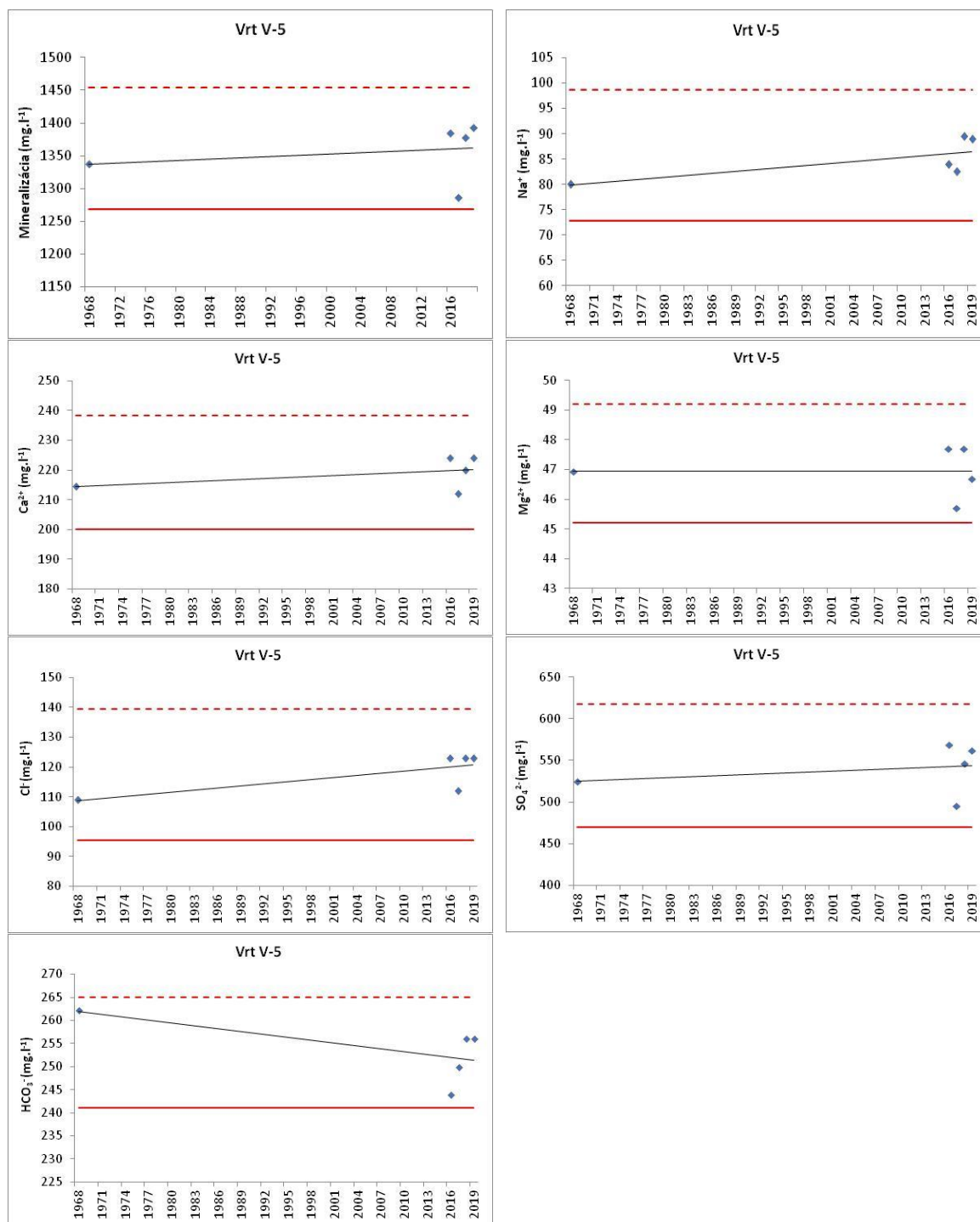


Obr. 5.5.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-4A Hynie – len roky 2016 až 2019

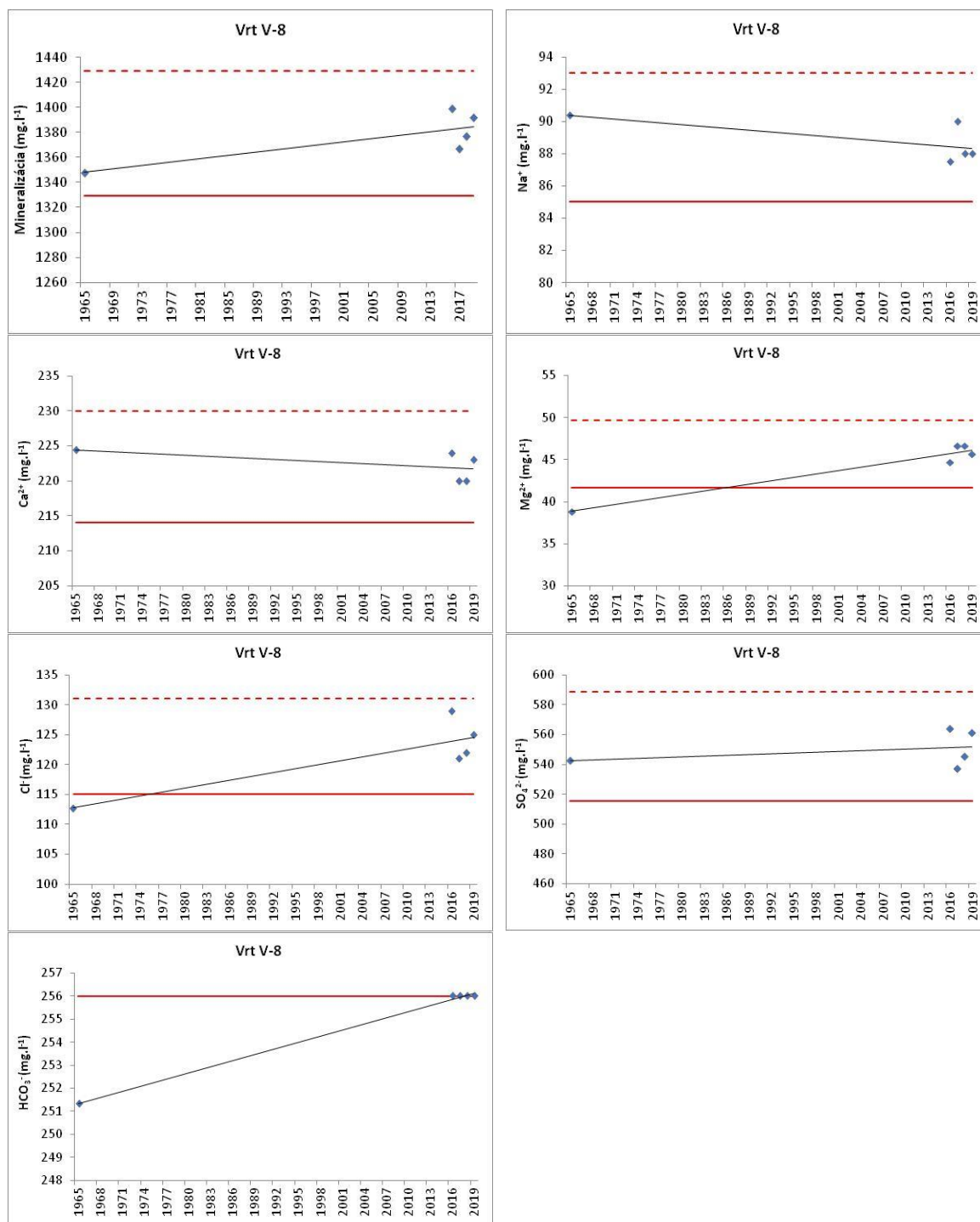
Mg²⁺ (41,34 mg.l⁻¹) a Cl⁻ (134,73 mg.l⁻¹) (obr. 5.5.4.2). Ako však naznačujú grafy na obr. 5.5.4.3, v rokoch 2016 až 2019 boli zistené veľmi stabilné koncentrácie týchto ukazovateľov. Odľahlé koncentrácie v roku 1961 by mohli súvisieť so spôsobom exploatacie zdroja v období 60-tych rokov minulého storočia, s odlišnými metódami laboratórneho spracovania vzoriek v danom čase, príp. inou príčinou.

Podobne ako v prípade vrtu V-4A, aj vo vzorke z vrtu V-8 (Torkoš) odobranej 9.8.1965 boli zistené odľahlé koncentrácie pre Mg²⁺ (38,91 mg.l⁻¹) a Cl⁻ (112,72 mg.l⁻¹) (obr. 5.5.4.5). Ako však naznačujú grafy na obr. 5.5.4.6, v rokoch 2016 až 2019 boli zaznamenané veľmi stabilné koncentrácie týchto ukazovateľov.

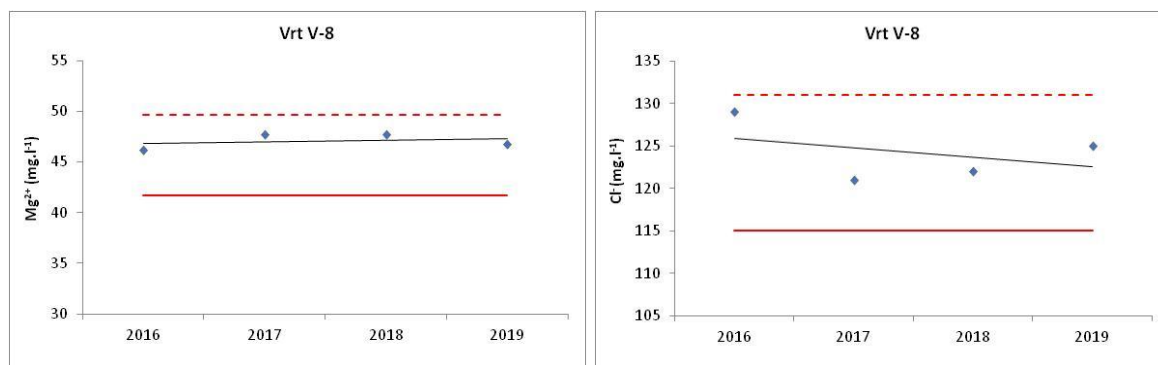
Chemické zloženie vody z vrtu V-5 (Trajan) vykazuje stabilitu pre všetky parametre, a to aj pri zohľadnení výsledkov analýzy z roku 1968 (obr. 5.5.4.4).



Obr. 5.5.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-5 Trajan



Obr. 5.5.4.5 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-8 Torkoš



Obr. 5.5.4.5 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-8 Torkoš – len roky 2016 až 2019

Geotermálny útvar SK300050FK hodnotíme z pohľadu chemického stavu v dobrom stave a z pohľadu spoľahlivosti hodnotenia chemického stavu je to vysoká miera spoľahlivosti (3).

5.5.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie piešťanského zálivu bolo hodnotené na 10,5 MW_t (Franko et al., 1995).

Pre piešťanskú hydrogeotermálnu štruktúru s plochou 135,7 km², ktorá zasahovala do Považského Inovca (zahrňovala výverovú, tranzitno-akumulačnú a infiltračnú oblasť), bola realizovaná geotermická bilancia, ktorá stanovila množstvo vody okolo 40 l.s⁻¹ (min. 35 l.s⁻¹, max. 45 l.s⁻¹) termálnej vody bez porušenia bilancie (Marcin et al., 2008). Tepelno-energetický potenciál hydrogeologickej štruktúry v Piešťanoch pri uvedených teplotných podmienkach ($T_{rezerv.} = 75\text{ °C}$, $T_{ústie} = 68\text{ °C}$, $T_{ref.} = 15\text{ °C}$, $T_{n.zony} = 7\text{ °C}$) bol stanovený na hodnotu okolo 8,5 MW_t (min. 7,4 MW_t; max. 9,5 MW_t).

E. Méryová a kol. (2011) numerickým modelom pre územie výverovej oblasti na Kúpeľnom ostrove stanovila celkové prírodné zdroje na úrovni 128,77 l.s⁻¹, pričom za prírodných podmienok prestupuje z kolektorov neogénu minerálna voda do kolektorov kvartéru v množstve 108,85 l.s⁻¹ a prostredníctvom zdrojov V-1, V-4a a V-8 vystupuje množstvo minerálnej vody 19,91 l.s⁻¹ z triasových karbonátov krížňanského príkrovu. Po zohľadnení navrhovaného množstva minerálnej vody potrebného pre tvorbu liečivého bahna (84,2 l.s⁻¹) z hodnoty preukázaných prírodných zdrojov štruktúry (128,77 l.s⁻¹) využiteľné množstvo minerálnej vody predstavuje 44,6 l.s⁻¹ v kategórii C.

Piešťanský záliv asociuje štruktúry s rezervoárovým prostredím v strednotriasových karbonátoch a neogénnych siliciklastikách. Aktuálne overené zásoby $R_{pv} = 19,4\text{ MWth}$ sú

vyššie ako modelom odhadované pravdepodobné zásoby $R_{pb} = 11,2 \text{ MWth}$, v dôsledku čoho pravdepodobnosť overenia $TTP = 30,6 \text{ MWth}$ je len 43 %. Odhad udržateľnej kapacity geotermálnych vôd útvaru $P_{th(r_{cap}=0,5)} = 5,6 \text{ MWth}$ má pravdepodobnosť overenia 92 %.

Útvar je intenzívne využívaný, nakoľko $P_{th} = 11,4 \text{ MWth}$ a $P_{th,inst} = 14,9 \text{ MWth}$. Pri pomere energetickej bilancie a intenzity využívania je súčasný stav možné hodnotiť ako neutržateľný ($r_{cap(U)} = -0,02$, $r_{cap(U^*)} = -0,33$) bez potenciálu udržateľného rozvoja produkcie ($r_{cap(S)} = -1,04$ a $r_{cap(S^*)} = -1,67$). V rámci útvaru a podľa výsledkov modelu neodporúčame overovanie ďalších zásob geotermálnej energie a rozvoj produkcie, kým rekalibrácia modelov odhadu neoverí ich bilančnú udržateľnosť. V opačnom prípade dlhodobú produkciu hodnotíme ako rizikovú.

5.6 ÚTVAR SK300060FK - TRENČIANSKA KOTLINA

5.6.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Útvar geotermálnej vody Trenčianska kotlina patrí svojou rozlohou (cca $47,9 \text{ km}^2$) k najmenším útvarom GTV na Slovensku. Rozprestiera sa medzi pohoriami Bielych Karpát, Strážovských vrchov a Považského Inovca.

Táto depresia je vyplnená neogénnymi a paleogénnymi sedimentami hrubými cca do 1500 (1600) m. Predterciérne podložie má na pomerne malej plošnej rozlohe zložitú geologickú stavbu budovanú formáciami vnútrokarpatských tektonických jednotiek (fatrikum, hronikum), manínskej jednotky a bradlového pásma.

V Trenčianskej kotline nie sú známe prirodzené vývery geotermálnych vôd. Geotermálne vody tu doteraz neboli overené ani pomocou žiadneho geotermálneho vrtu (obr. 5.5.1.1). Geologický vrt **SBM-1 pri Soblahove** dosiahol hĺbku 1 800 m a okrem geologických a teplotných údajov nepriniesol žiadne údaje o geotermálnych vodách.

Výskyt geotermálnych vôd sa predpokladá v triasových karbonátoch vnútrokarpatských tektonických jednotiek, ktoré sa nachádzajú v podloží terciérnych sedimentov.

5.6.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Z geotermického hľadiska možno Trenčiansku kotlinu charakterizovať ako geotermicky priemerne aktívnu oblasť. Teplota v hĺbke 1000 m predstavuje okolo $34 \text{ }^{\circ}\text{C}$, v hĺbke 2000 m je to cca $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota na predterciérnom podloží sa pohybuje okolo

25 °C. Hustota tepelného toku v rámci regionálneho tepelného poľa sa pohybuje okolo hodnôt 60-70 mW.m⁻² (príl. č. 5M).

5.6.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období 2011-2017 nebol žiaden geotermálny vrt v tomto útvare využívaný (príl. č. 6). V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd je útvár v dobrom stave na základe nerealizácie odberov vody (tab. 6.1.1).

5.6.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300060FK nie sú realizované žiadne odbery vôd, a preto tento útvár hodnotíme v dobrom chemickom stave, ale s nulovým stupňom spoľahlivosti (tab. 6.2.1).

5.6.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie útvaru je hodnotené na **4,6 MWt** (Franko et al., 1995) a celé zostáva na overenie.

Trenčianska kotlina s geotermálnymi vodami viazanými na strednotriasové karbonáty predstavuje vyčlenený útvár bez overených zásob geotermálnej energie ($R_{pv} = 0$ MWth) a modelom definovanými pravdepodobnými zásobami $R_{pb} = 1,36$ MWth s 98 % pravdepodobnosťou overenia. Kritický cut-off daný 50 % pravdepodobnosťou je 7,1 MWth. Udržateľný potenciál je modelom odhadovaný na úrovni $P_{th(rcap=0,5)} = 0,68$ MWth. Ak $R_{pv} = 0$, potom pre overenie odporúčame v tomto štádiu udržateľnú kapacitu, čomu je zároveň rovný aj udržateľný potenciál rozvoja, t. j. $P_{th(D)} = 0,67$ MWth a $P_{th(D^*)} = 0,68$ MWth. Perspektivita overovania a rozvoja produkcie geotermálnej energie je otázna s ohľadom na relatívne nízku energetickú bilanciu útvaru. Keďže geotermálna energia nie je využívaná, ukazovatele udržateľného využívania a rozvoja nadobúdajú maximálne hodnoty ($r_{cap(U)} = 1$, $r_{cap(U^*)} = 1$, $r_{cap(S)} = 1$ a $r_{cap(S^*)} = 1$).

5.7 ÚTVAR SK300070FK - ILAVSKÁ KOTLINA

5.7.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Útvar geotermálnej vody s názvom Ilavská kotlina je svojou rozlohou (cca 47,5 km²) najmenším útvarom GTV na Slovensku. Rozprestiera sa medzi pohoriami Bielych Karpát a Strážovských vrchov, približne medzi mestami Trenčín a Považská Bystrica.

Depresia je vyplnená neogénnymi a kvartérnymi sedimentami s hrúbkou vrstiev cca do 400-500 m. Predterciérne podložie je budované horninami bradlového pásma, manínskej jednotky a na východnom okraji fatrikom a hronikom.

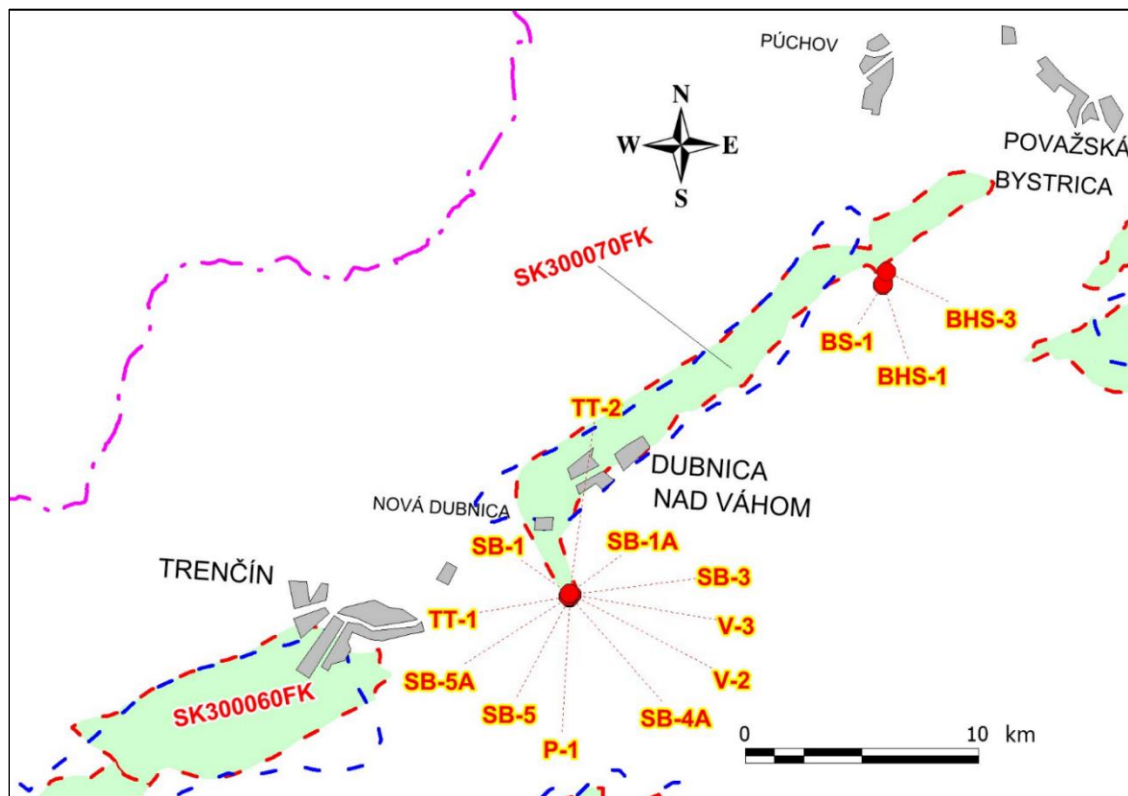
Prirodzené vývery geotermálnych vôd sú známe na východnom okraji kotliny v **Beluškých Slatinách**, kde boli zachytené aj prostredníctvom vrtov **BS-1** a **BHS-1**, **BHS-2**, ktorých hĺbka bola 58,5 m, 226 m a 501 m. Vody majú teplotu okolo 22 °C (príl. č. 1, 2). Do hĺbky 1 761 m tu bol realizovaný hydrogeologický vrt **BHS-3 Belušké Slatiny**, ktorý však nezastihol kolektory geotermálnej vody a nebola dokumentovaná prítomnosť geotermálnych vôd (Šindlár et al., 1990).

V útvare boli na lokalite **Trenčianske Teplice** zachytené prirodzené vývery niekoľkými vrtmi, z ktorých sa v súčasnosti využíva **6 vrtov (SB-5, V-3, TT-2, SB-3, V-2 a P-1)** v miestnych kúpeľoch (obr. 5.7.1.1).

Kolektorom výskytu geotermálnych vôd v Ilavskej kotline sú triasové karbonáty fatrika a hronika, ktoré sa nachádzajú v podloží neogénnych sedimentov, pričom sedimenty hronika vystupujú na východnom okraji kotliny na úpätí Strážovských vrchov. V súčasnosti na základe vyhodnotenia geologických, hydrogeologických a hydrogeochemických poznatkov existuje predstava, že hydrogeotermálna štruktúra Trenčianskych Teplíc sa nachádza medzi kúpeľmi (výverová oblasť) a infiltračnou oblasťou pri Čiernej Lehote (Hanzel et al., 2007). Voči tejto predstave vystupuje neprítomnosť depresnej časti podložia mezozoika, kde by mohlo dôjsť k požadovanému nárastu teploty podzemnej vody. Vzhľadom ku komplikovanej geologickej stavbe v okolí Trenčianskych Teplíc, kde sa stýka viacero tektonických jednotiek (Fatrikum – krížňanský príkrov, fatrikum - beliansky príkrov, hronikum) je potrebné uvažovať pri hydrogeotermálnych hodnoteniach aj s inými potenciálnymi infiltračnými oblasťami.

Z geochemického hľadiska boli v predmetnom útvare na lokalite Trenčianske Teplice zaznamenané prírodné termálne slabo mineralizované vody, síranové, vápenato horečnaté so zvýšeným obsahom fluóru, stroncia, hypotonické, vlažné až teplé s celkovou

mineralizáciou 2,59 - 2,79 g.l⁻¹. Geotermálna voda v Beluškých Slatinách je chemického typu Ca-HCO₃-(SO₄) až Ca-Na-HCO₃-SO₄ s celkovou mineralizáciou 1,66 -1,87 g.l⁻¹.



Obr. 5.7.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300070FK a zdroje geotermálnej vody

5.7.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Z geotermického hľadiska útvar predstavuje nízko aktívnu až priemernú oblasť. Teplota v hĺbke 1000 m predstavuje okolo 33 °C, v hĺbke 2000 m je to cca 57-58 °C. Teplota na predterciérnom podloží sa pohybuje v rozmedzí 10-20 °C a narastá smerom do stredu depresie, čo súvisí s hĺbkou predterciérneho podložia. Hustota tepelného toku v rámci regionálneho tepelného poľa sa pohybuje okolo hodnôt 55-65 mW.m⁻² (Franko et al., 1995)

5.7.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období 2011-2017 mali odbery na lokalite **Trenčianske Teplice** vyrovnaný charakter.

Na základe nahlásených údajov o odbere geotermálnej vody na SHMÚ bolo v období **2011-2015** z vrtov v **Trenčiansky Tepliciach** sumárne odoberaných ročne priemerne **cca 574 tis. m³** geotermálnej vody, t. j. sumárne to činilo priemerné množstvo cca **18,2 l.s⁻¹**. Odborné množstvo z jednotlivých exploatačných objektov kolísalo v intervale cca 0,15 – 9,2 l.s⁻¹ (príl. č. 6, 7, 8).

V období **2016-2017** tento odber v priemere mierne klesol na hodnotu cca **566 tis. m³** geotermálnej vody za rok, t. j. sumárne na **17,9 l.s⁻¹**.

Najvyššie výdatnosti boli v rokoch 2016-2017 zaznamenané z vrtu **V-3** - v priemere cca **289 tis. m³** za rok, čo bolo cca **9,18 l.s⁻¹** a z vrtu P-1 – cca **146 tis. m³** za rok, čo bolo cca **4,6 l.s⁻¹**.

Sumárna výdatnosť vrtov v predmetnom útvare tvorí **57,51 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **3,85 MWt** (príl. č. 3).

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.7.3.1) je útvary v zlom stave (Bs% - 2015/97,86 %; 2016/98,79 %; 2017/98,60 %) na základe strednej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1). Trend časového vývoja kvantitatívneho stavu má rastúci charakter. Percentuálny podiel jednotlivých zdrojov na zlom stave: P-1 Prima (26 %), V-2 Sina (8 %), V-3 Sina II (51 %), SB-5 Wernher (5 %) a TT-2 Tomáš (9 %).

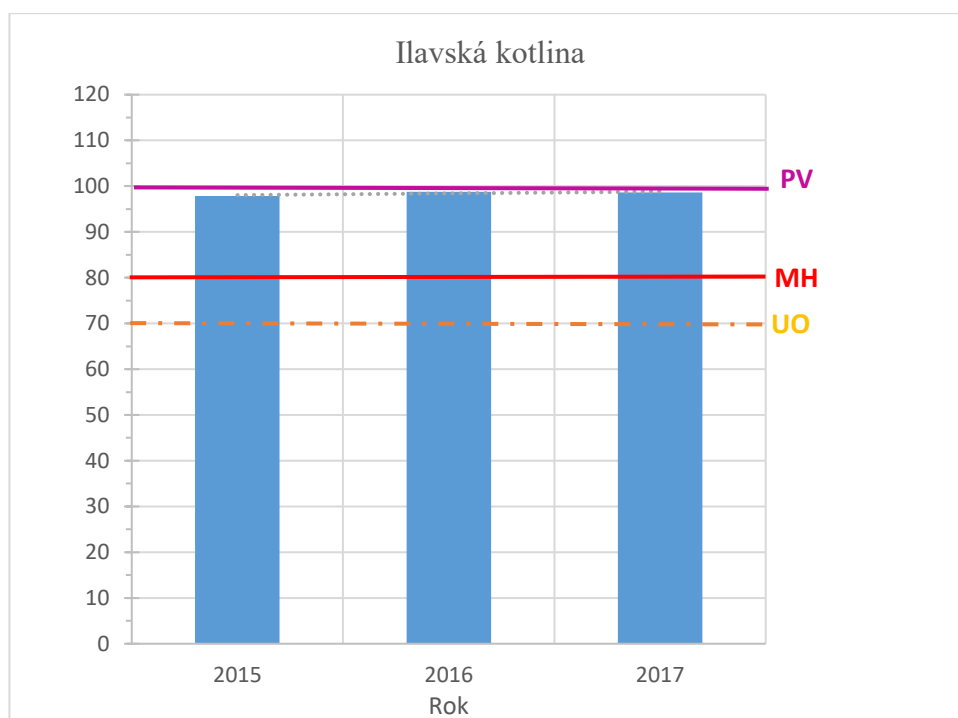
V období rokov 2015-2017 (príl. č. 12) boli v tomto útvare dokumentované nasledujúce zdroje Trenčianskych Teplíc v havarijnom stave (tab. 6.1.2): P-1Prima, V-2 Sina, V-3 Sina II, SB-5 Wernher a TT-2 Tomáš.

Nápravné opatrenia na odstránenie zlého kvantitatívneho stavu sú uvedené v podkapitole 6.1.

5.7.4 Chemický stav útvaru

Hodnotenie chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300070FK bolo realizované na základe metódy medzikvartilového rozpätia (IQR) a trendu časového vývoja chemického zloženia geotermálnej vody na štyroch vrtoch (P-1 Príma, TT-2 Tomáš, V-2 Sina I a V-3 Sina II).

K dispozícii boli údaje z dvoch časových období – staršie analýzy z rokov 1967 (P-1), 1994 (TT-2), 1968 (V-2) a 1960 (V-3), resp. analýzy z obdobia rokov 2016 až 2019 (obr. 5.7.4.1 až 5.7.4.4).



Obr. 5.7.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Ilavskej kotliny

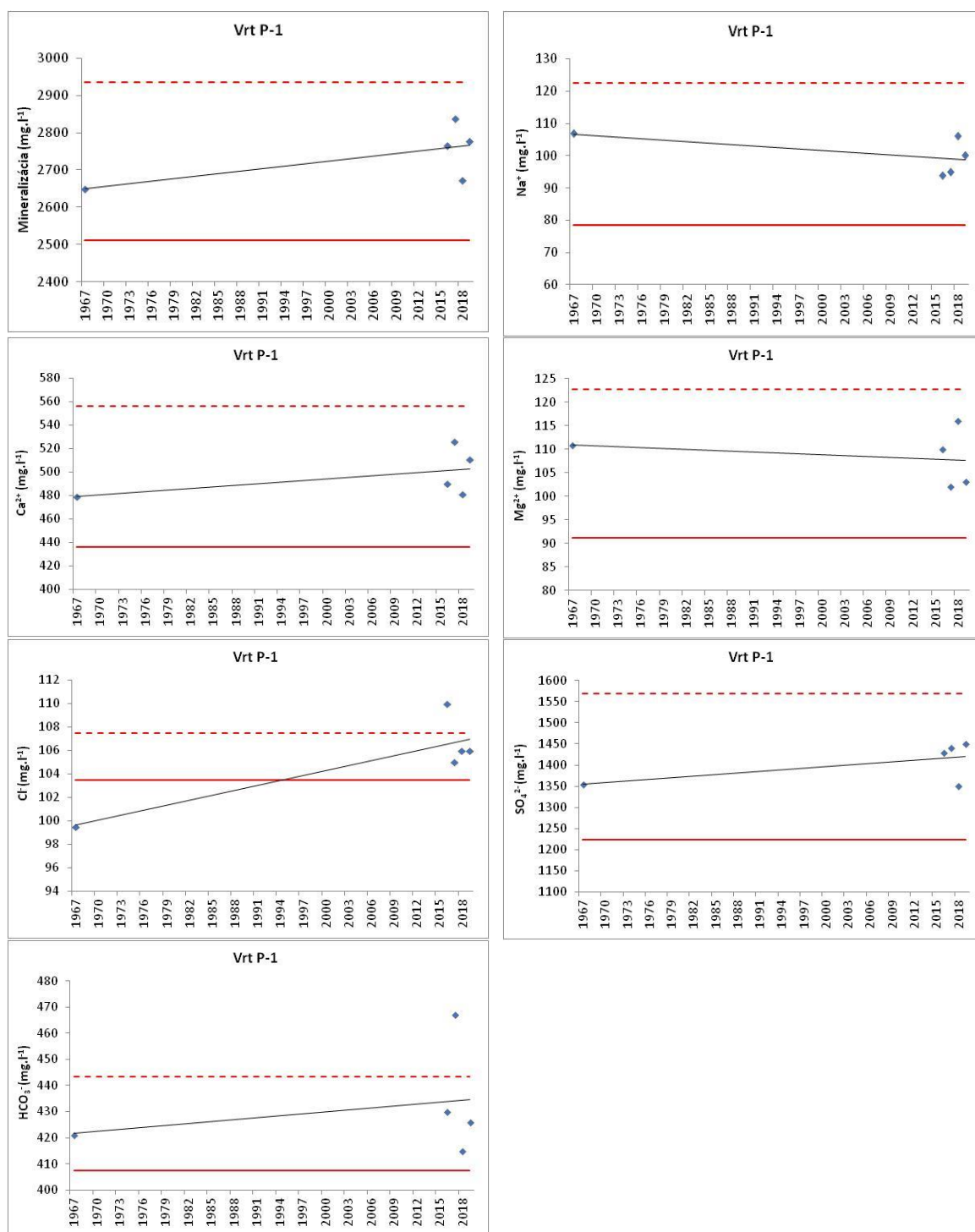
Vo vzorke z vrtu P-1 odobranej 12.6.1967 bola zaznamenaná odľahlá koncentrácia pre Cl^- ($99,5 \text{ mg.l}^{-1}$) (obr. 5.7.4.1). Ďalšie odľahlé merania boli zistené pre Cl^- na úrovni 110 mg.l^{-1} (14.7.2016) a HCO_3^- na úrovni 467 mg.l^{-1} (29.6.2017).

Podobný trend bol zistený v podzemnej vode vrtu V-2 (obr. 5.7.4.3), v ktorom odľahlé merania boli zistené tiež pre Cl^- na úrovni 121 mg.l^{-1} (14.7.2016) a HCO_3^- na úrovni 467 mg.l^{-1} (29.6.2017).

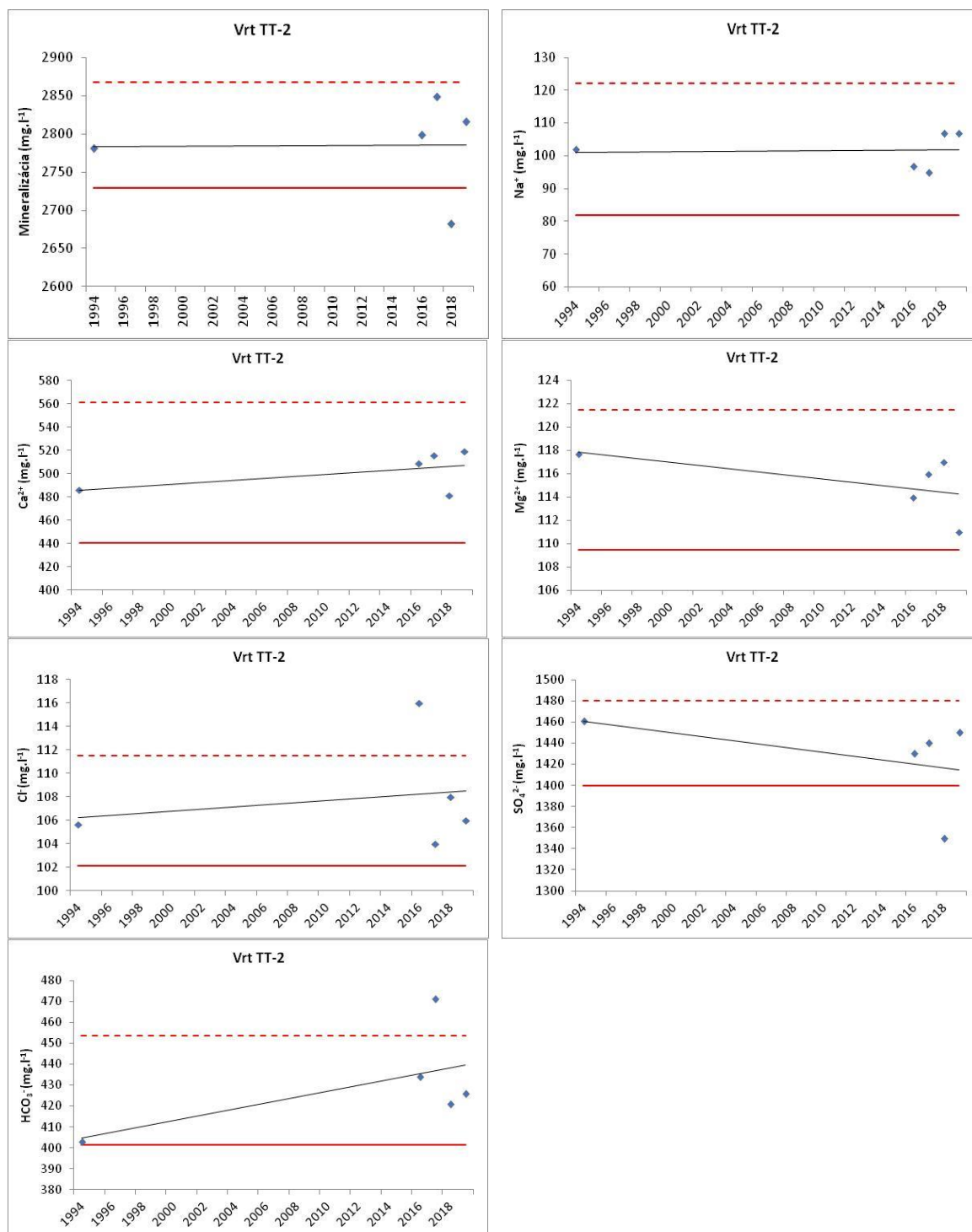
V podzemnej vode vrtu TT-2 boli zistené odľahlé koncentrácie pre viaceré parametre – mineralizácia (2682 mg.l^{-1} zo dňa 11.6.2018), Cl^- (116 mg.l^{-1} zo dňa 14.7.2016), SO_4^{2-} (1350 mg.l^{-1} zo dňa 11.6.2018) a HCO_3^- (471 mg.l^{-1} zo dňa 29.6.2017) (obr. 5.7.4.2).

Chemické zloženie vody z vrtu V-3 vykazuje stabilitu pre všetky parametre, výnimkou je odľahlá koncentrácia Cl^- ($98,5 \text{ mg.l}^{-1}$ zo dňa 12.6.1967) (obr. 5.7.4.4).

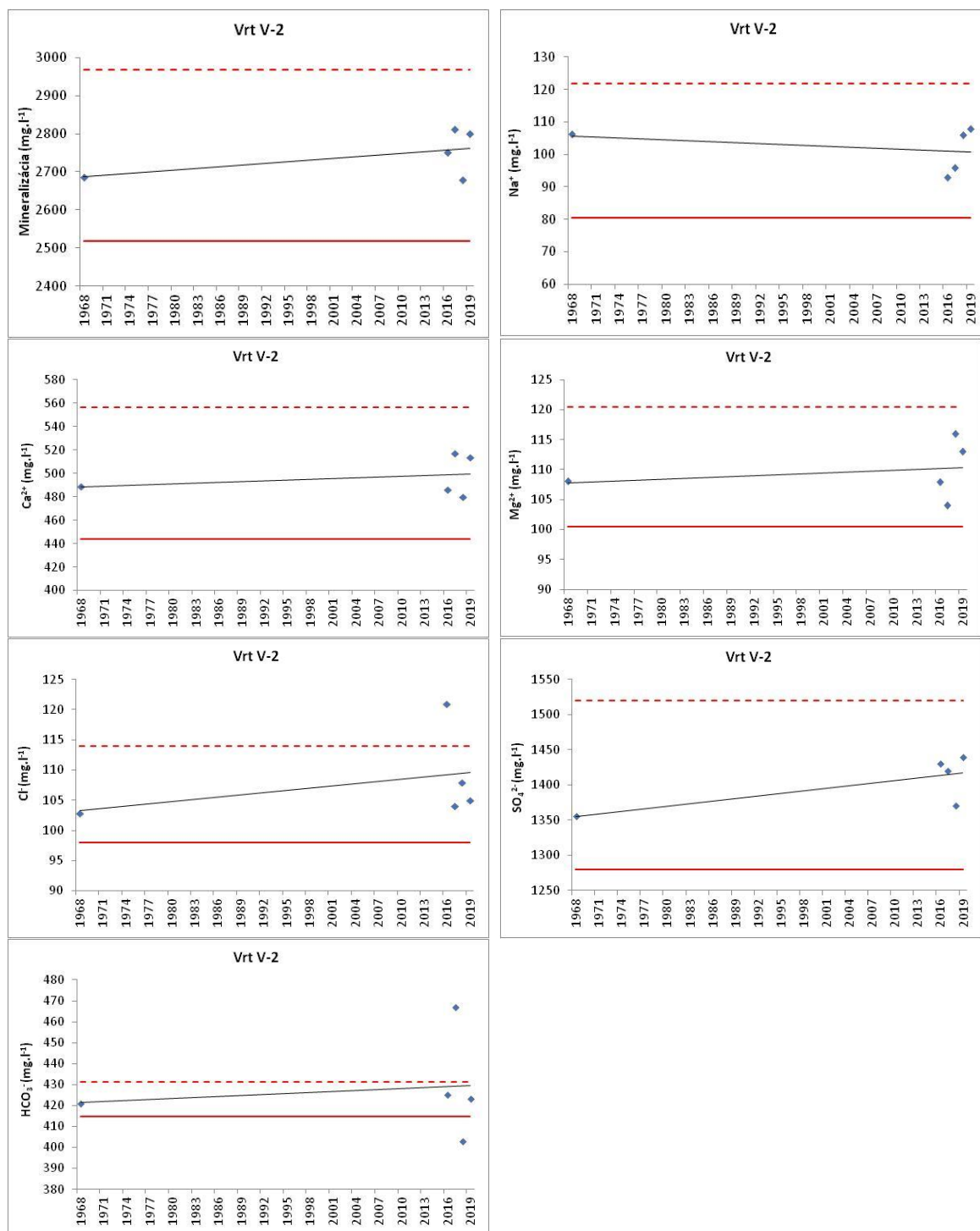
Z vyššie uvedeného textu vyplýva, že chemické zloženie podzemných vôd v Trenčianskych Tepliciach je v zásade stabilné. Určitá variabilita chemického zloženia pravdepodobne súvisí s režimom vôd vo výverovej oblasti, príp. režimom využívania týchto zdrojov.



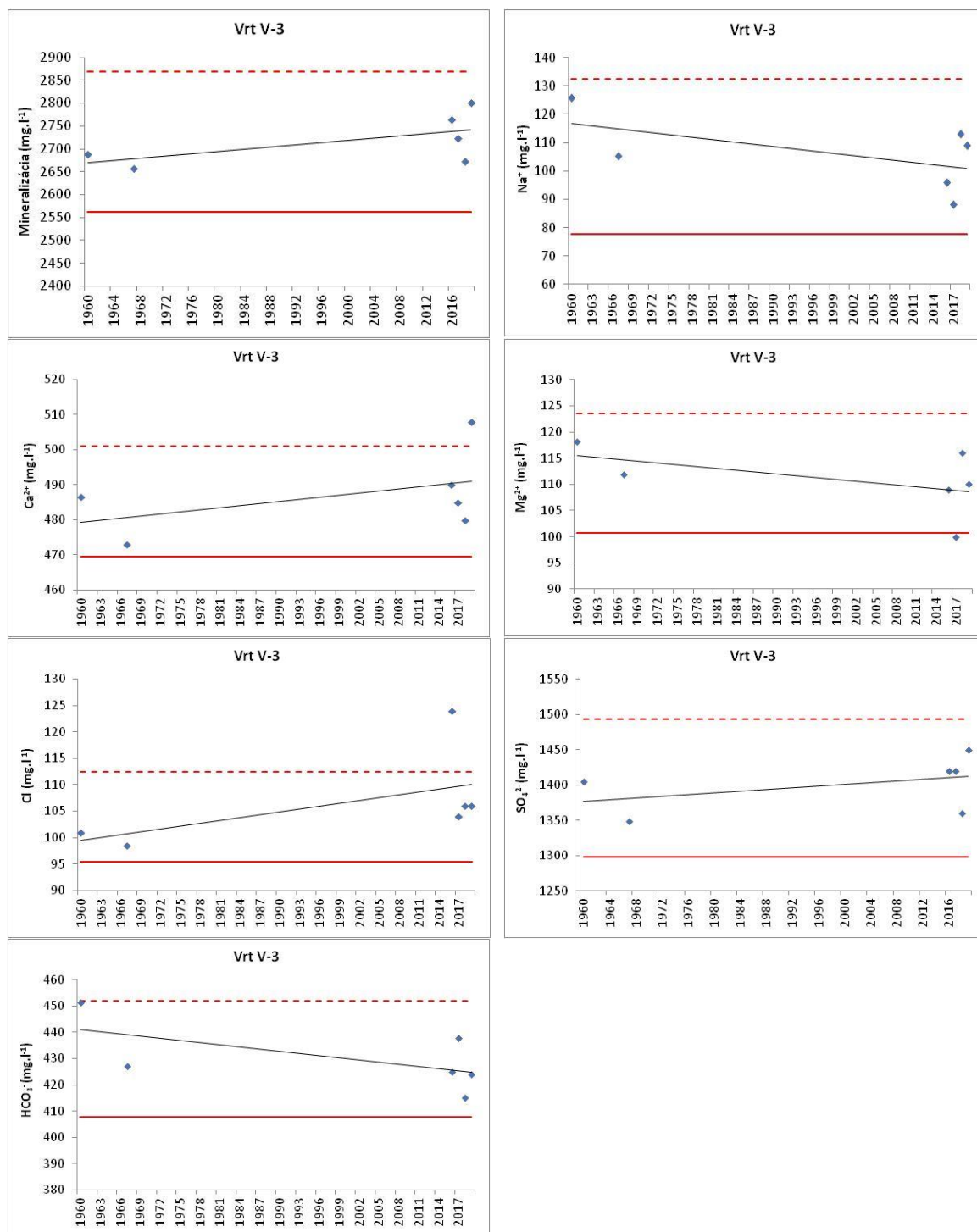
Obr. 5.7.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu P-1 Príma



Obr. 5.7.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu TT-2 Tomáš



Obr. 5.7.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-2 Sina I



Obr. 5.7.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu V-3 Sina II

Geotermálny útvar SK300070FK hodnotíme z pohľadu chemického stavu v dobrom stave a z pohľadu spoľahlivosti hodnotenia chemického stavu je to stredná miera spoľahlivosti (3).

5.7.5 Množstvo geotermálnej energie a vôd

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie v Ilavskej kotline bolo hodnotené na 1,1 MWt (Franko et., 1995)

Ilavská kotlina je útvaram s rezervoármi v stredotriasových karbonátoch. Model odhadu zdrojov a zásob GTE definuje celkové $TTP = 5,02$ MWth, z čoho $R_{pb} = 2,1$ MWth a $R_{pv} = 2,92$ MWth, pričom pravdepodobnosť overenia TTP je len 17 %.

Stav využívania GTE viazanej na útvary je opísaný $P_{th} = 1,35$ MWth a $P_{th,inst} = 2,01$ MWth. Ak udržateľný výkon je odhadovaný na úrovni $P_{th(r_{cap}=0,5)} = 1,05$ MWth, s pravdepodobnosťou overenia 75 %, ukazovatele udržateľnosti produkcie ($r_{cap(U)} = 0,35$, $r_{cap(U^*)} = 0,04$) a rozvoja produkcie ($r_{cap(S)} = -0,29$ a $r_{cap(S^*)} = -0,91$) klasifikujú produkciu útvaru pri aktuálnom alebo inštalovanom výkone ako neudržateľnú a zároveň bez možnosti udržateľného rozvoja produkcie. Pri danom stave pravdepodobnostného modelu ak nedôjde k jeho rekalibrácii alebo k overeniu (potvrdeniu), neodporúčame rozvoj produkcie geotermálnej energie v útvaroch, pričom podľa hodnoty $r_{cap(U)}$ je aj aktuálna produkcia z dlhodobého hľadiska riziková, ak berieme do úvahy možné ohrozenie energetickej bilancie útvaru.

5.8 ÚTVAR SK300080FK - ŽILINSKÁ KOTLINA

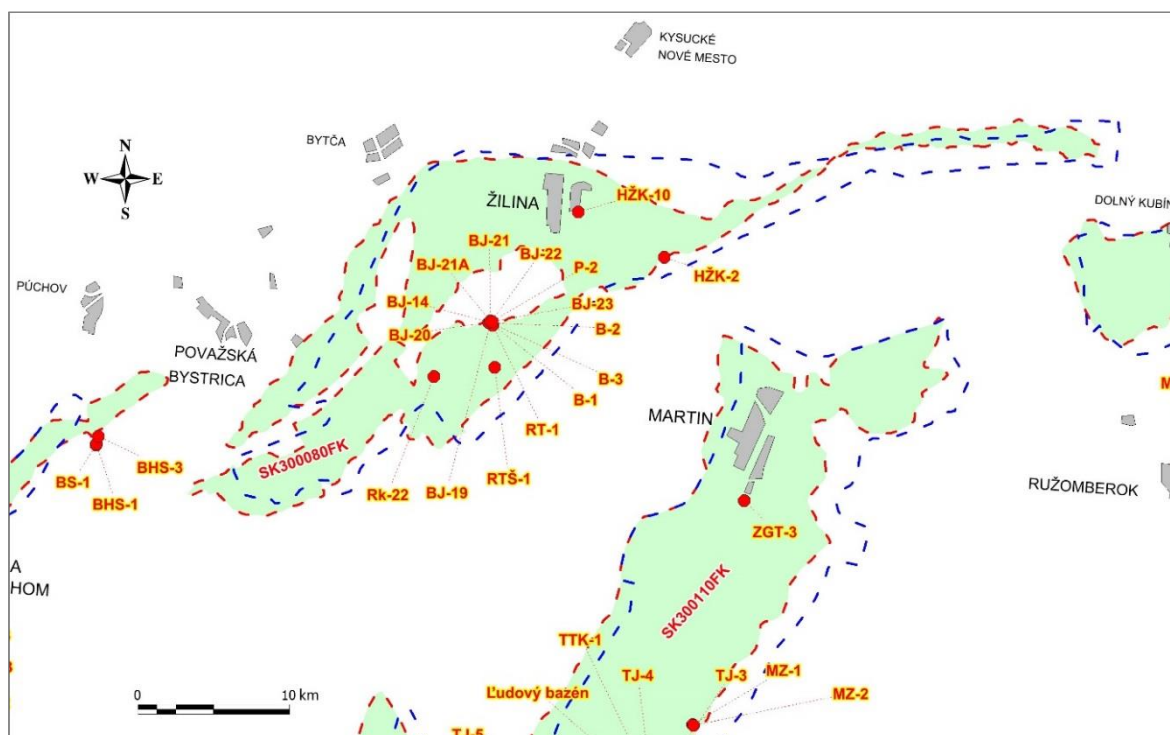
5.8.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Útvary Žilinská kotlina s rozlohou cca 305,52 km² sa nachádza v severozápadnej časti Slovenska medzi pohoriami Súľovských vrchov, Strážovských vrchov, Malej Fatry a Kysuckej vrchoviny.

Kotlina je vyplnená paleogénnymi sedimentami podtatranskej skupiny, na ktorých ležia kvartérne sedimenty. Uprostred nej vystupuje z paleogénnej výplne ostrov predterciérneho podložia, ktorý tvorí fatrikum s malými troskami hronika. Predterciérne podložie je budované formáciami manínskej jednotky, fatrika a hronika. Reliéf predterciérneho podložia je prevažne mierne zvlnený a pohybuje sa v hĺbke od 250 do 600 m, len v oblasti Rajca, resp. Rajeckej kotliny je vyvinutá výrazná depresia s hĺbkou podložia 1750 m. V podloží terciérnych sedimentov, resp. v hlbšej príkrovovej stavbe kotliny sa nachádzajú hydrogeotermálne štruktúry, kde sú geotermálne vody viazané hlavne na triasové dolomity a vápence hronika a fatrika, ako aj na bazálne paleogénne zlepenice, brekcie a pieskovce, ak tieto ležia priamo na triasových karbonátoch tektonických jednotiek, ale aj nepriamo v superpozícii na tektonických jednotkách.

Geotermálne vody v Žilinskej kotline sú známe z prirodzených prameňov (**Rajecké Teplice**) a z vrtov (obr. 5.8.1.1). Boli tu realizované štyri vrty hlboké 600-2258 m. Geotermálne vody boli v nich zachytené v hĺbkach 339-1814 m, výdatnosť vrtov predstavovala 13,4-22,0 l.s⁻¹ s teplotou vody na povrchu 24,0-41,0 °C a tepelným výkonom vrtov 0,60-1,51 MWt (príl. č. 1, 2).

V útvare boli okrem 16-tich vrtov v kúpeľoch **Rajecké Teplice** geotermálne vody overované štyrmi vrtmi. Ide o vrt **Rk-22 Rajec**, **ŽK-2 Stráňavy**, **RTŠ-1 Kamenná Poruba** a **HŽK-10 Žilina**. Sumárna výdatnosť troch úspešných vrtov predstavuje 57,4 l.s⁻¹, čomu odpovedá tepelný výkon 2,95 MWt. Vrtom HŽK-10 Žilina, ktorý bol realizovaný do hĺbky 2258 m, nebola zistená prítomnosť geotermálnych vôd z dôvodu absencie kolektorov geotermálnych vôd. V ostatných vrtoch o hĺbke 600 – 1 814 m boli geotermálne vody zachytené v hĺbkach 339 – 1 814 m, výdatnosť vrtov predstavovala 13,4-22,0 l.s⁻¹ s teplotou vody na povrchu 24,0 - 41,0 °C a tepelným výkonom vrtov 0,60-1,51 MWt (príl. č. 1, 2).



Obr. 5.8.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300080FK a zdroje geotermálnej vody

Z chemického hľadiska boli v útvare zistené vody hlavne Ca-Mg-HCO₃ a Ca-Mg-HCO₃-SO₄ typu s mineralizáciou 0,4-0,5 g.l⁻¹.

Termálna voda v Rajeckých Tepliciach je prírodná liečivá voda, slabo mineralizovaná, hydrogenuhličitanová, vápenato-horečnatá, slabo alkalická, vlažná, hypotonická, s celkovou mineralizáciou 0,68 – 0,84 g.l⁻¹, s obsahom plynu CO₂ 0,091 – 0,18 g.l⁻¹ a teplotou vody 32,0 – 38,0 °C.

5.8.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Geotermická aktivita útvaru je dosť nízka. Teplota v hĺbke 1000 m dosahuje 27-35 °C, v hĺbke 2000 m je to 50-60 °C. Teplota na predterciálnom podloží sa pohybuje v rozmedzí 10-40 °C; v depresii Rajeckej kotliny narastá smerom do stredu depresie, čo súvisí s hĺbkou predterciálneho podložia. Hustota tepelného toku v rámci regionálneho tepelného poľa sa pohybuje okolo hodnoty 60 mW.m⁻² (Franko et al., 1995).

5.8.3 Kvantitatívny stav útvaru

Z realizovaných vrtov v útvare bol v sledovanom období 2011-2017 v zmysle nahlasovania údajov okrem vrtov v kúpeľoch využívaný iba vrt **Rk-22 Rajec**. Z neho bolo v rokoch **2011-2015** v letnej sezóne (máj – august) pre potreby Termálneho kúpaliska Veronika odoberaných v priemere cca **31 tis. m³ (2,69 l.s⁻¹)**. V období 2016-2017 tento priemerný ročný odber v letnej sezóne mierne klesol na hodnotu cca **27 tis. m³ (2,37 l.s⁻¹)**.

Z vrtov v pôsobnosti IKŽ je v útvare na lokalite kúpele **Rajecké Teplice** využívaných sedem objektov – **BJ-19, BJ-21A, BJ-22 a B-1,2,3**.

V období **2011-2015** bolo z nich priemerne sumárne ročne odoberaných cca **133,7 tis. m³** geotermálnej vody, t. j. sumárne to činilo priemerné množstvo **4,57 l.s⁻¹**. Odborné množstvo z jednotlivých exploatačných objektov kolísalo v intervale cca 0,14 – 4,68 l.s⁻¹ (príl. č. 6).

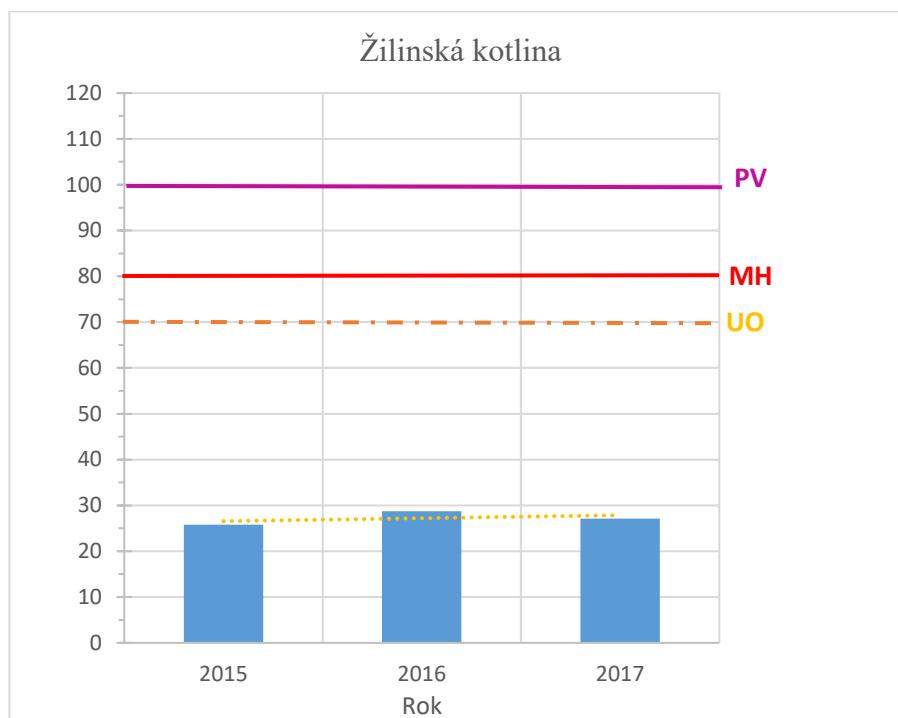
V období **2016-2017** tento odber v priemere stúpol na hodnotu cca **182,5 tis. m³** geotermálnej vody za rok, t. j. sumárne na **5,78 l.s⁻¹** (príl. č. 7, 8).

Najvyššie výdatnosti boli v rokoch 2016-2017 zaznamenané z vrtu **BJ-21A** – v priemere cca **147 tis. m³** za rok, čo bolo cca **4,66 l.s⁻¹** a najmenej z vrtu BJ-22 – cca **7,3 tis. m³** za rok, čo bolo cca **0,23 l.s⁻¹**.

V útvare je na základe údajov z revízie registrácie minerálnych zdrojov (Vandrová a kol., 2015) sezónne využívaný aj geotermálny vrt **HŽK-2 Stráňavy** pre miestne termálne Kúpalisko Stráňavy bez nahlasovania údajov o odbere.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.8.3.1) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/25,79 %;

2016/28,75 %; 2017/27,09 %) na základe strednej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1). V období rokov 2015-2017 (príl. č. 12) boli v tomto útvare dokumentované nasledujúce zdroje Rk-22 Rajec a BJ-21A Rajecké Teplice v kritickom stave (tab. 6.1.2). V prípade vrtu Rk-22 ide o nízku mieru zabezpečenia využiteľných množstiev (Odhad III.) a pri vrte BJ-21A o zlý manažment odberu vôd v rámci zdrojov kúpeľov.



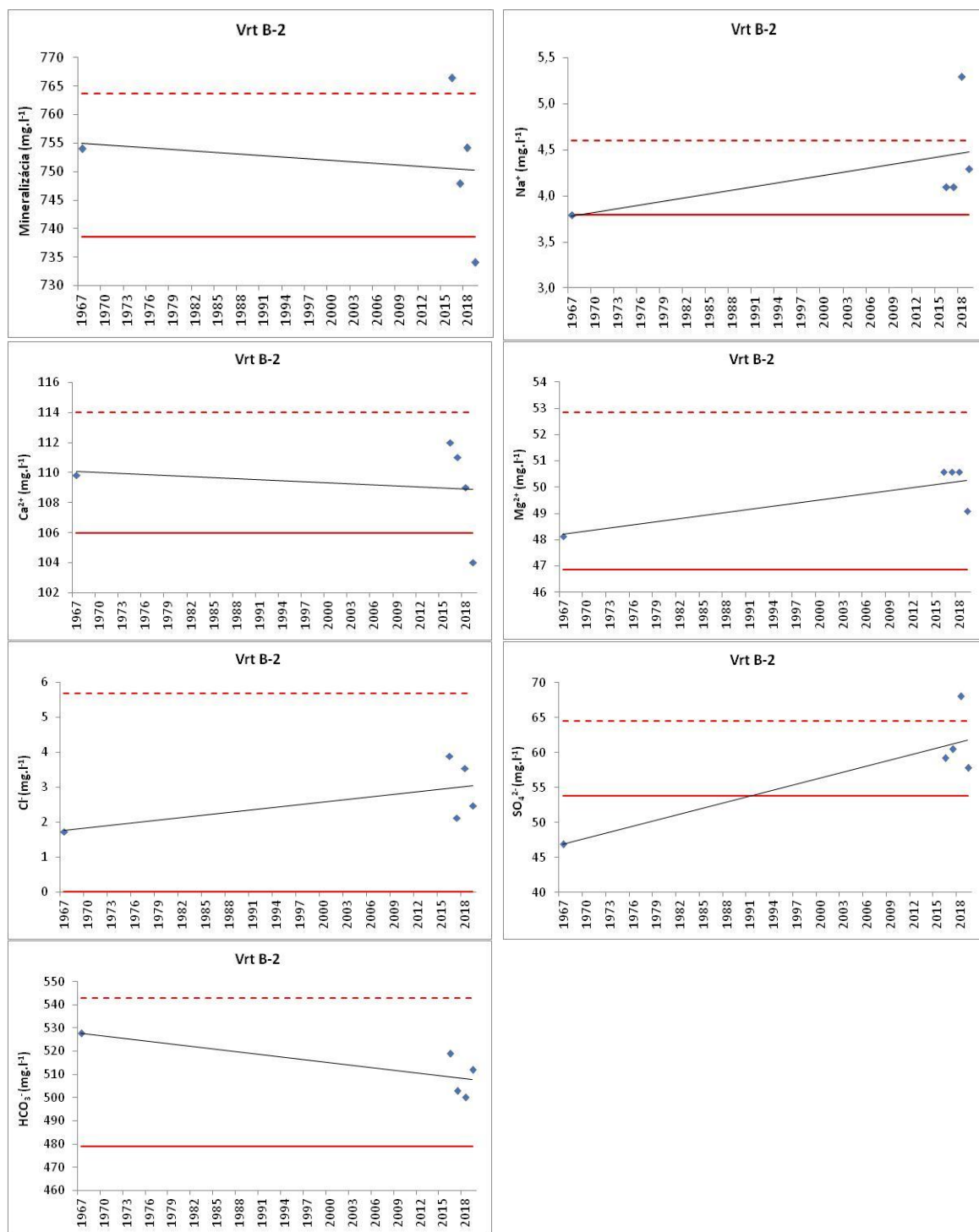
Obr. 5.8.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Žilinskej kotliny

5.8.4 Chemický stav útvaru

Hodnotenie chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300080FK bolo realizované na základe metódy medzikvartilového rozpätia (IQR) a trendu časového vývoja chemického zloženia geotermálnej vody na dvoch vrtoch v Rajeckých Tepliciach (B-2 Ženský bazén II (Čestmír VIII) a BJ-22 Kúpeľný).

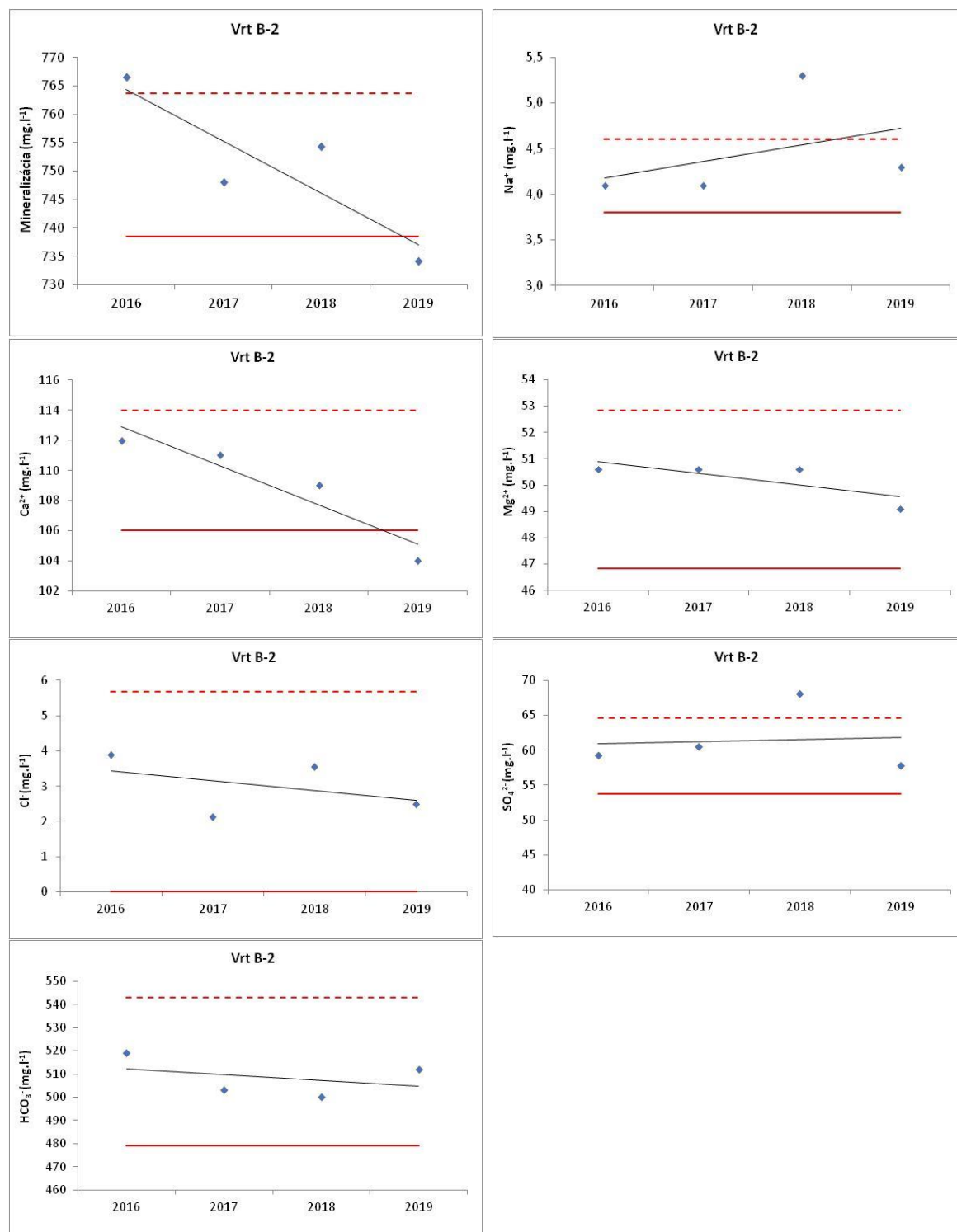
K dispozícii boli údaje z dvoch časových období – staršie analýzy z rokov 1967 (vrt B-2) a 1973 (vrt BJ-22, resp. analýzy z obdobia rokov 2016 až 2019 (obr. 5.8.4.1 až 5.8.4.2).

Vo vzorke z vrtu B-2 odobranej 14.11.1967 boli zistené odľahlé alebo rozdielne koncentrácie pre viaceré parametre – Na^+ (3,8 mg.l^{-1}), Ca^{2+} (240,48 mg.l^{-1}), Mg^{2+} (48,15 mg.l^{-1}), SO_4^{2-} (46,91 mg.l^{-1}) a HCO_3^- (527,65 mg.l^{-1}) (obr. 5.8.4.1). Ako však naznačujú grafy na obr. 5.8.4.2, v rokoch 2016 až 2019 boli zaznamenané v zásade stabilné



Obr. 5.8.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu B-2 Ženský bazén II (Čestmír VIII)

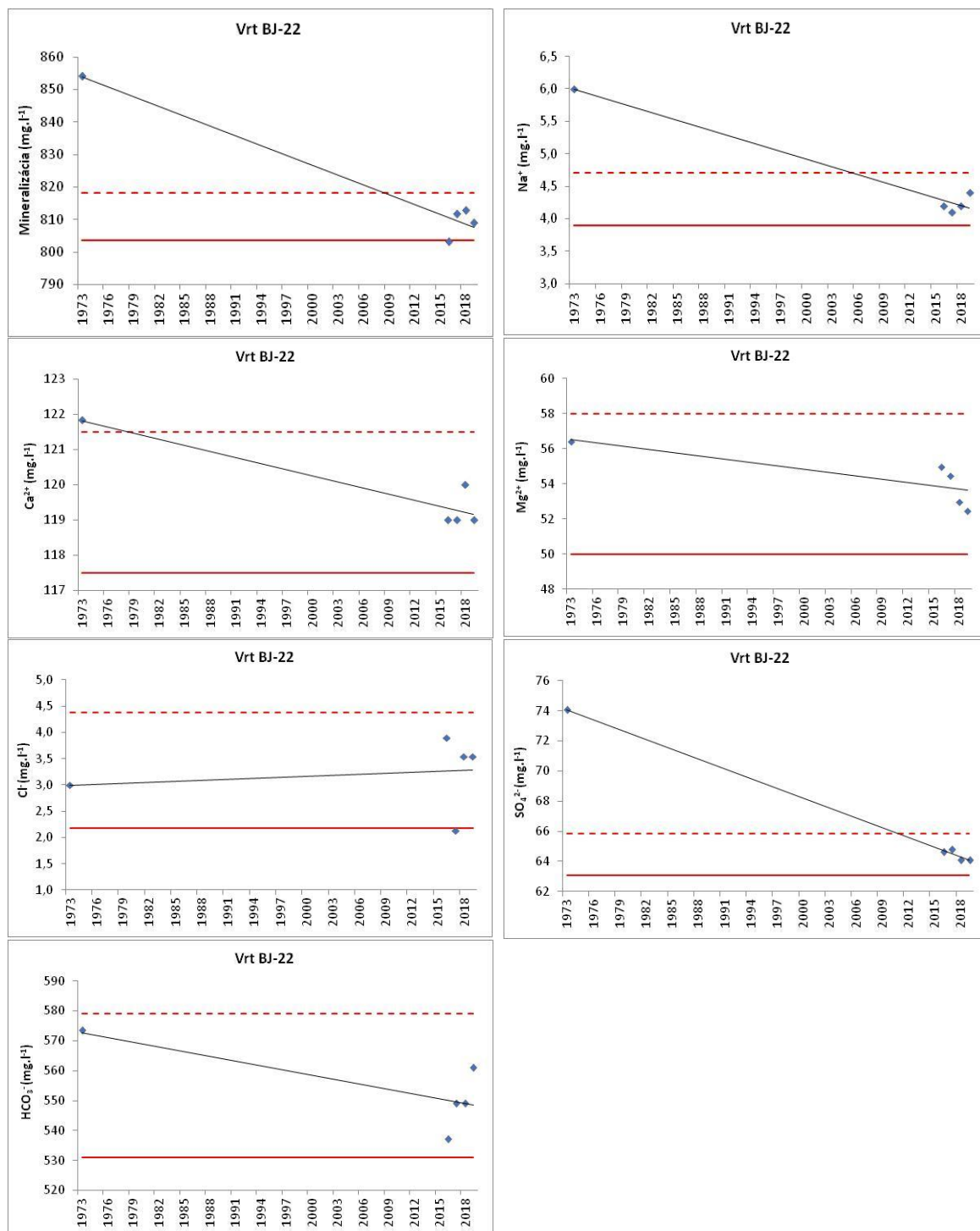
koncentrácie posudzovaných ukazovateľov (viac ako 80 % meraní je situovaných v rámci 1,5 násobku medzikvartilového rozpätia hodnôt, do pásma odľahých meraní je zaradených 5 stanovení).



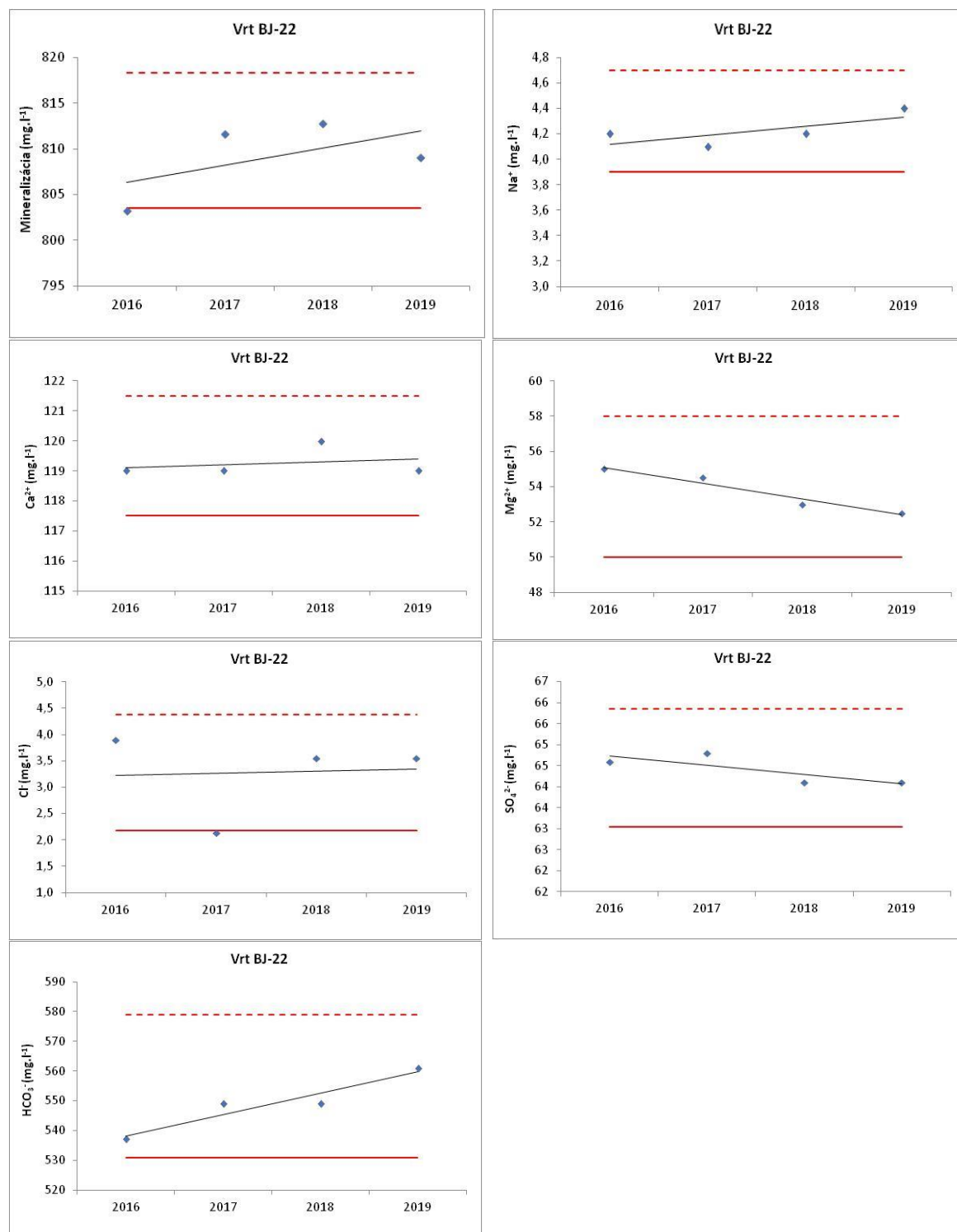
Obr. 5.8.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu B-2 Ženský bazén II (Čestmír VIII) – len roky 2016 až 2019

Vo vzorke z vrtu BJ-22 odobranej 20.4.1973 boli podobne ako v prípade vrtu B-2, zistené odľahlé alebo rozdielne koncentrácie pre väčšinu parametrov – mineralizácia (854 mg.l^{-1}), Na^+ ($6,0 \text{ mg.l}^{-1}$), Ca^{2+} ($121,84 \text{ mg.l}^{-1}$), Mg^{2+} ($56,42 \text{ mg.l}^{-1}$), SO_4^{2-} ($74,07 \text{ mg.l}^{-1}$) a HCO_3^- ($573,6 \text{ mg.l}^{-1}$) (obr. 5.8.4.3). Ako však naznačujú grafy

na obr. 5.8.4.4, v rokoch 2016 až 2019 boli zaznamenané stabilné koncentrácie posudzovaných ukazovateľov (do pásma odľahlých meraní sú zaradené len 2 stanovenia).



Obr. 5.8.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BJ-22 Kúpeľný



Obr. 5.8.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BJ-22 Kúpeľný – len roky 2016 až 2019

Odfahlé koncentrácie v roku 1967 (vrt B-2), resp. 1973 (vrt BJ-22) by mohli súvisieť so spôsobom exploatacie zdrojov v období 60-tych, resp. 70-tych rokov minulého storočia, príp. inou príčinou.

Geotermálny útvar SK300080FK hodnotíme z pohľadu chemického stavu v dobrom stave a z pohľadu spoľahlivosti hodnotenia chemického stavu je to nízka miera spoľahlivosti (1).

5.8.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie v tomto útvare je hodnotené na **13,2 MWt** (Franko et., 1995).

Pri porovnaní vyššie uvedeného množstva geotermálnej energie so zisteným tepelným výkonom (**5,89 MWt**) vidno, že v tomto útvare je overená iba menšia časť množstva geotermálnej energie a jeho väčšia časť (7,31 MWt) ešte zostáva na overenie.

Žilinská kotlina predstavuje útvar s rezervoármi viazanými na strednotriasové karbonáty a paleogénne zlepenice, brekcie. Pri overených zásobách GTE $R_{pv} = 6,3$ MWth a odhadovaných pravdepodobných zásobách GTE $R_{pb} = 4,8$ MWth platí odhad $TTP = 11,1$ MWth s 99 % pravdepodobnosťou overenia. Podľa bilancie R_{pb} potom $P_{th(rcap=0,5)} = 2,4$ MWth.

Model udržateľnosti vychádza zo vzťahu aktuálneho tepelného výkonu $P_{th} = 0,68$ MWth a inštalovaného výkonu $P_{th,inst} = 3,2$ MWth voči energetickej bilancii. Definičné parametre udržateľnosti a potenciálu udržateľného rozvoja boli stanovené nasledovne: $r_{cap(U)} = 0,86$, $r_{cap(U^*)} = 0,34$, $r_{cap(S)} = 0,72$ a $r_{cap(S^*)} = -0,32$. Produkciu je možné teda považovať za udržateľnú, s potenciálom rozvoja pri aktuálnych podmienkach, kedy $P_{th(D)} = 1,74$ MWth. Pri maximálnom využití inštalovaného výkonu ale hrozí riziko energetickej depletácie rezervoáru z pohľadu dlhodobej produkcie ($t_{prod} = 100$ rokov), a teda bez možnosti ďalšieho rozvoja. V rámci útvaru v tomto štádiu navrhujeme neprekračovať súčasnú produkciu, alebo inštalovať nový výkon, ktorý by presahoval bilančne stanovenú udržateľnú kapacitu $P_{th(rcap=0,5)} = 2,4$ MWth, kým nedôjde k rekalibrácii alebo potvrdeniu bilančného modelu.

5.9 ÚTVAR SK300090FK - BÁNOVSKÁ KOTLINA

5.9.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Bánovská kotlina sa rozkladá medzi pohoriami Považský Inovec, Strážovské vrchy a Tribeč, pričom smerom na jz. prechádza do topoľčianskeho zálivu gabčíkovskej depresie podunajskej panvy.

Z hľadiska reliéfu predterciérneho podložia môžeme topoľčiansky záliv rozčleniť na niekoľko častí. Stredná časť zálivu je charakterizovaná výraznou pretiahnutou rišovskou

depresiou s hĺbkou okolo 3 800 m. Topoľčiansky záliv na severe prechádza do Bánovskej a Hornonitrianskej kotliny. Tento záliv je od nich oddelený sedlom medzi obcami Prašice a Veľké Bielice, ktoré sa nachádza v hĺbke od 800 do 1 000 m. Od Považského Inovca a Tribča je ohraničený zlomami, pričom západný svah zálivu je veľmi strmý, východný mierny.

Bánovská kotlina je na západe voči severnej časti Považského Inovca ohraničená uvedeným s.-j. zlomom, zo severu a východu ju lemujú Strážovské vrchy. Aj východné ohraničenie kotliny je tektonické, zlomom prebiehajúcim cez kotlinu sz.-jv. smerom.

Na stavbe predterciérneho podložia tohto útvaru sa zúčastňujú granitoidy, mezozoikum obalovej jednotky, karbonáty krížňanského a chočského príkrovu. V priestore medzi Bánovcami nad Bebravou a Považským Inovcom je v predterciérnom podloží, budovanom hlavne paleozoicko-mezozoickými horninami hronika, vyvinutá hlboká depresia s maximálnou hrúbkou terciérnych hornín 2 800-2 900 m; južne od depresie, v závadsko-bielickej hrasti, je hrúbka terciérnych hornín do cca 1 200 m.

Výplň kotliny tvoria neogénne sedimenty, pod ktorými ležia paleogénne horniny, zastúpené bazálnou litofáciou (zlepence, brekcie) a nadložným flyšovým súvrstvím.

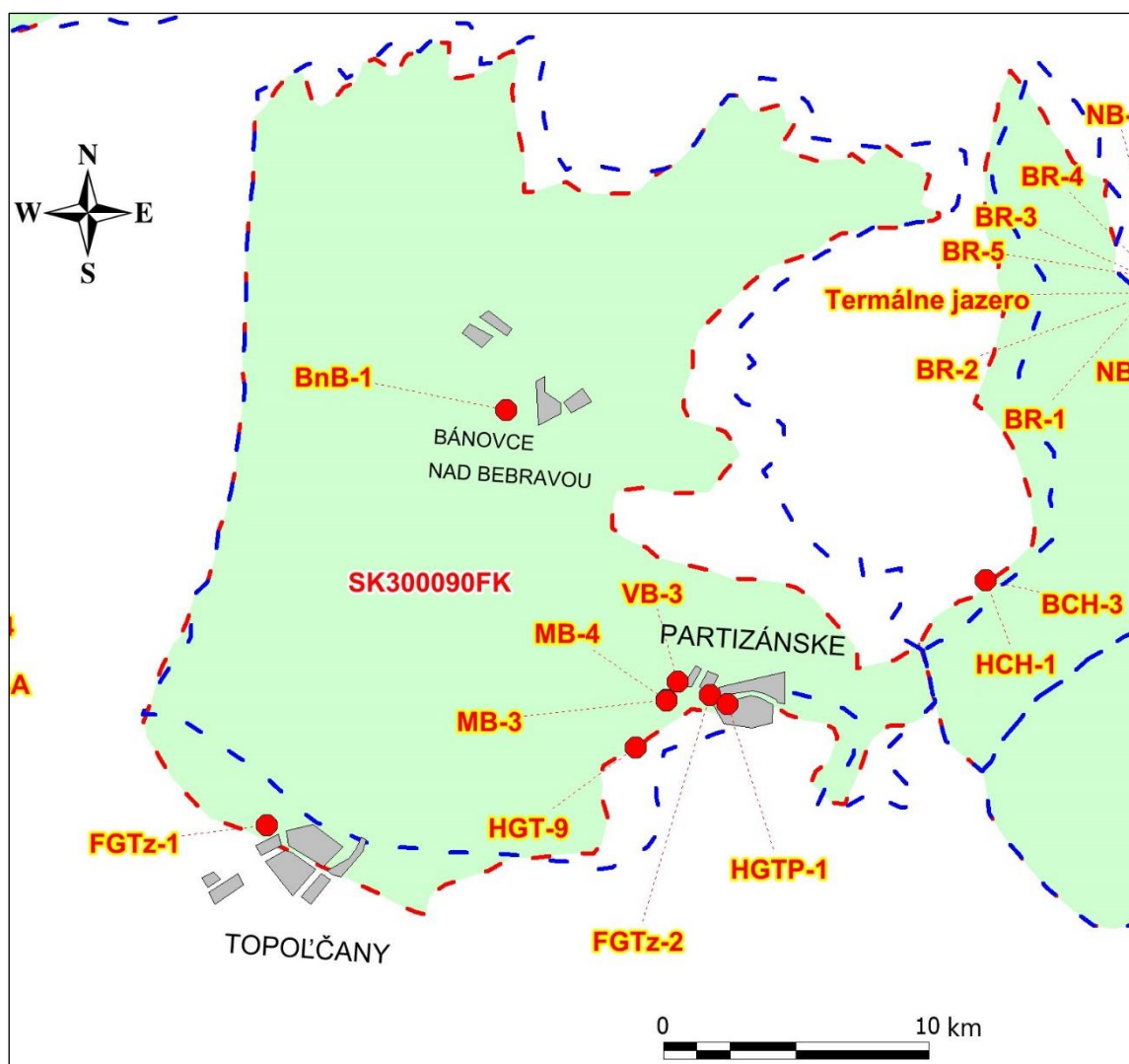
Geotermálne vody sú tu známe z prameňov a vrtov. Viazu sa predovšetkým na triasové karbonáty hronika v podloží terciérnych hornín (obr. 5.9.1.1).

V útvare bolo realizovaných 7 vrtov na 6 lokalitách (**MB-3 Malé Bielice, VB-3 Veľké Bielice, HGT-9 Brodzany, FGTz-1 Topoľčany, FGTz-2 Partizánske, HGTP-1 Partizánske, BnB-1 Bánovce nad Bebravou**), ktorých hĺbka bola 102 – 2 106 m (príl. č. 1, 2). Geotermálne vody boli v nich zachytené v úrovni 27 – 2 025 m, výdatnosť vrtov predstavovala 1,7 - 18,8 l.s⁻¹ s teplotou vody na povrchu 20 - 55,0 °C a tepelným výkonom vrtov 0,12 - 1,78 MWt. Sumárna výdatnosť vrtov tvorí **70,80 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **5,46 MWt** (príl. č. 3).

Chemické zloženie geotermálnych vôd tu reprezentuje prevažne Ca-Mg-HCO₃ typ s mineralizáciou okolo 0,7-5,9 g.l⁻¹.

V území topoľčianskeho zálivu a Bánovskej kotliny sú vymedzené dve hydrogeotermálne štruktúry (Remšík et al., 2007b).

Bánovská štruktúra tvorí depresiu a kryje sa s rozšírením hlavne triasových karbonátov hronika. Jej povrch sa nachádza v hĺbke cca 400-500 m až 2800-2900 m, kde je teplota od 20 °C do cca 80 °C (Ruskovce).



Obr. 5.9.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300090FK a zdroje geotermálnej vody

Závadsko-bielická štruktúra tvorí hrast' a tiež sa kryje s rozšírením hlavne triasových karbonátov hronika. Jej povrch (mimo výverovej oblasti bielických teriem) sa nachádza v hĺbke okolo 350-400 m až cca 1500 m, kde je teplota (mimo výverovej oblasti bielických teriem) v rozmedzí 20 až cca 50 °C.

Zo štruktúrneho hľadiska ide o polootvorenú a otvorenú hydrogeotermálnu štruktúru, kde sa nachádzajú obnoviteľné zdroje geotermálnych vôd, resp. geotermálnej energie.

5.9.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Geotermálna aktivita územia sa prejavovala vo forme prirodzených výverov geotermálnych vôd v **Malých a Veľkých Bieliciach** s teplotami okolo 38 °C. Teploty v hĺbke 1000 m pod povrchom sa v priestore Bánovskej kotliny a v severnej časti

topoľčianskeho zálivu pohybujú na úrovni 25-45 °C, v hĺbke 2000 m 45-70 °C a v hĺbke 3000 m pod povrchom sa pohybujú na úrovni 75-95 °C. Teplota na povrchu predterciérneho podložia sa zvyšuje s narastajúcou hrúbkou terciérnych hornín od okrajov do stredu územia až na cca 80 °C (Remšík et al., 2007b).

Hustota tepelného toku dosahuje hodnoty 55,1-74,2 mW.m⁻², s priemerom 63,5 ± 7,6 mW.m⁻² (Franko et al., 1995). Pokles teploty i hustoty tepelného toku z J na S a zo stredu útvaru k jeho okrajom súvisí s ochladzujúcim efektom pohorí studenými krasovými vodami, ktoré v nich cirkulujú.

5.9.3 Kvantitatívny stav útvaru

V hodnotenom období 2011-2017 boli v útvare využívané 3 vrty. Ide o vrt **BnB-1 Bánovce nad Bebravou**, **MB-3 Malé Bielice** a **HGTP-1 Partizánske**.

V rokoch 2011-2015 bolo z útvaru prostredníctvom uvedených vrtoz odoberaných cca **215 tis. m³ za rok/7,22 l.s⁻¹** (Príloha č. 6). V období rokov 2016-2017 tento odber mierne stúpol na hodnotu cca **227,7 tis. m³ za rok/7,37 l.s⁻¹** (Príloha č. 7, 8).

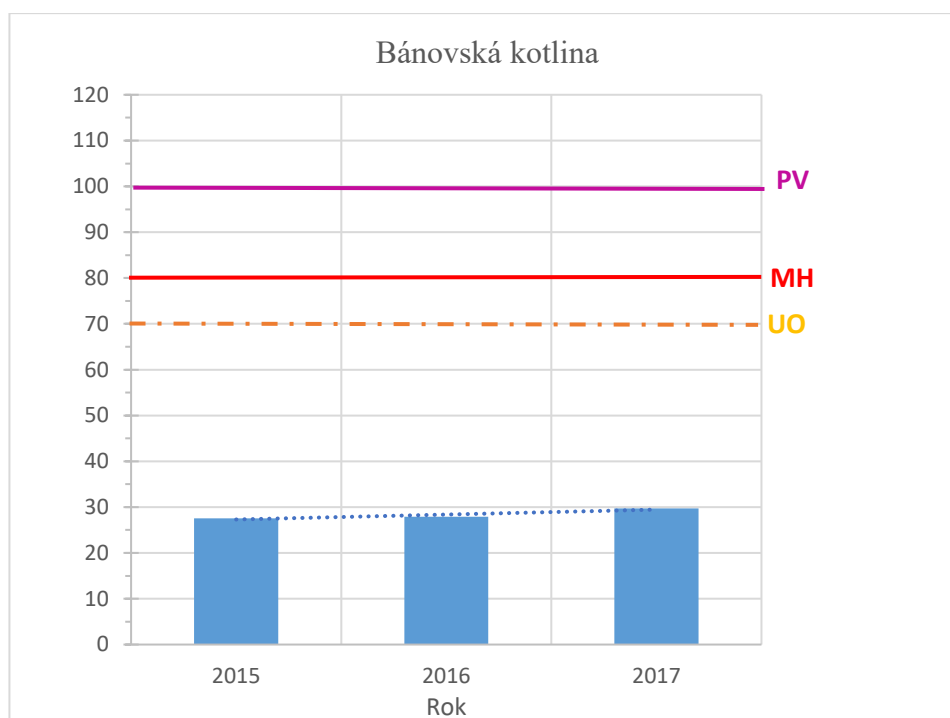
Najväčší priemerný ročný odber v rokoch 2016-2017 bol v vrtu **BnB-1 Bánovce nad Bebravou** - cca **190 tis. m³ za rok (6,04 l.s⁻¹)**. Voda z vrtu BnB-1 je využívaná celoročne na energetické a rekreačné účely (vykurovanie bytov, plnenie bazénov v plavárni a na kúpalisku Pažiť). Geotermálna voda z vrtu **MB-3 Malé Bielice** je celoročne využívaná pre účely aquaparku AQUALAND Malé Bielice. Geotermálna voda z vrtu **HGTP-1 Partizánske** je sezónne využívaná pre účely letného kúpaliska Dúha v Partizánskom.

V zmysle správy „Výsledky revízie registrácie minerálnych zdrojov – Trnavský kraj“ (Dzúrik et. al., 2016) bol v roku 2016 využívaný aj vrt **FGTz-1 Topoľčany** na plnenie bazéna na súkromnom pozemku bez nahlasovania údajov o odbere.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.9.3.1) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/27,55 %; 2016/27,87 %; 2017/29,70 %) na základe strednej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1).

5.9.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300090FK boli realizované odbory vôd v období 2015 – 2017. Tento útvár patrí k tým 8 geotermálnym útvarom, u ktorých neboli k dispozícii aktuálne chemické analýzy. Vzhľadom k uvedenej skutočnosti nebol pre tento útvár hodnotený chemický stav (tab. 6.2.1).



Obr. 5.9.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Bánovskej kotliny

5.9.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Merný tepelno-energetického potenciál prírodného množstva geotermálnej energie pre triasové karbonáty hronika týchto štruktúr kolíše od $0,5 \text{ GJ.m}^{-2}$ (okraje územia) do $5,5 \text{ GJ.m}^{-2}$ (centrálnej časť bánovskej depresie - Ruskovce a výverová oblasť bielických teriem).

Prírodné množstvo geotermálnej vody v bánovskej a závadsko-bielickej štruktúre vyčíslil Remšík a kol. (2007) na 64 l.s^{-1} a $77,7 \text{ l.s}^{-1}$, sumárne $141,7 \text{ l.s}^{-1}$ ($T_{\text{rez.}} = 35\text{--}42 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ústie}} = 33\text{--}40 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{ref.}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$) a množstvo geotermálnej energie na $6,653 \text{ MW}$ a $5,816 \text{ MW}$, sumárne $12,469 \text{ MW}$.

Pri porovnaní vyššie uvedených množstiev geotermálnych vôd a ich energie so zistenou sumárnou výdatnosťou vrtov **$70,8 \text{ l.s}^{-1}$** a odpovedajúcemu tepelnému výkonu **$5,46 \text{ MWt}$** vidno, že na území topoľčianskeho zálivu a Bánovskej kotliny sú ešte rezervy na získanie, resp. overenie ďalších množstiev geotermálnych vôd a ich energie ($70,9 \text{ l.s}^{-1}$, resp. $7,009 \text{ MWt}$ / Remšík et al., 2011).

Bánovská kotlina je útvarom s geotermálnymi vodami viazanými na stredotriasové karbonáty a paleogénne zlepenice / brekcie. Pravdepodobnostný model odhaduje $TTP = 22,7 \text{ MWth}$, z čoho $R_{\text{pb}} = 17,4 \text{ MWth}$ a vrtmi overené zásoby GTE $R_{\text{pv}} = 5,3 \text{ MWth}$, s pravdepodobnosťou overenia 85 %. Podľa bilančného modelu je

udržateľná kapacita útvaru $P_{th(r_{cap}=0,5)} = 8,7$ MWth (97 % pravdepodobnosť overenia), k dodatočnému overeniu preto ostáva 3,5 MWth.

Podľa parametrov produkcie $P_{th} = 0,59$ MWth a inštalovaného výkonu $P_{th,inst} = 3,04$ MWth model odhaduje ukazovatele $r_{cap(U)} = 0,97$, $r_{cap(U^*)} = 0,83$, $r_{cap(S)} = 0,93$ a $r_{cap(S^*)} = 0,65$. Produkciu pri aktuálnom, aj inštalovanom výkone je možné aj pre bilančné obdobie $t_{prod} = 100$ rokov hodnotiť ako udržateľnú, s nízkym rizikom pre energetickú kapacitu útvaru, a zároveň s nízkym rizikom udržateľného rozvoja produkcie, t. j. $P_{th(D)} = 8,13$ MWth a $P_{th(D^*)} = 5,68$ MWth. V útvare tak existuje potenciál pokračovať v inštalácii tepelného výkonu aj pri maximálnom využívaní GTE na súčasných lokalitách, podľa čoho útvary hodnotíme ako perspektívny.

5.10 ÚTVAR SK300100FK - HORNONITRIANSKA KOTLINA

5.10.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Útvary Hornonitrianska kotlina leží medzi jadrovými pohoriami Strážovských vrchov, Tribeča, Žiaru a vulkanitmi Vtáčnika, voči ktorým má prevažne zlomové obmedzenie. Je to vnútrohorská depresia vyplnená terciárnymi a kvartérnymi horninami.

V južnej časti kotliny predterciérne podložie tvoria horniny ipolitickej skupiny, v strednej časti sú to karbonáty hronika a v severnej časti karbonáty fatrika spolu s obalovým mezozoikom. Hĺbkový dosah mezozoických súborov kolíše od severu na juh v rozmedzí 1000 – 3500 m. Na mezozoiku leží bazálny paleogén (brekcie, zlepenice) a v jeho nadloží paleogén vo flyšoidnom vývoji. Neogénne súvrstvia (egenburg – pont, resp. pliocén) sú zastúpené klastickými (zlepenice, pieskovce, štrky, piesky) a ílovitými (piesčité íly, íly) súvrstviami, doprevádzané produktami vulkanickej aktivity. horninami (andezitové zlepenice, pieskovce a siltovce, s uhoľnými slojmi – starší báden). V handlovskom a nováckom súvrství, ktoré reprezentujú tmavosivé íly, tufity, uhoľné íly a uhoľné sloje (vrchný báden – spodný sarmat), sa ťaží uhlie v miestnych baniach v Handlovej, Cígli a Novákoch.

V Hornonitrianskej kotline bola na základe geologickej stavby predterciérneho podložia Rudnianskej kotliny a priľahlého územia vyčlenená **bojnická hydrogeotermálna štruktúra**, ktorá pozostáva z dvoch čiastkových otvorených hydrogeologických štruktúr, ktoré majú spoločnú výverovú oblasť (Marcin et al., 2011).

Prvá otvorená hydrogeologická štruktúra bola vymedzená v **bojnickej vysokej kryhe**, kde formovanie geotermálnej vody prebieha v prostredí borovského súvrstvia a karbonátov

hronika. Vody tu zostupujú do hĺbky okolo 500 m, kde dosiahnu teplotu 30 °C, časť z nich vystupuje na západnej žriedlovej línii a zostávajúca časť zostupuje do hĺbky cca 1 000 m, kde tlakovo pôsobí na teplejší front východnej žriedelnej línii.

Druhá otvorená hydrogeologická štruktúra je vymedzená v oblasti **Rudnianskej a Prievdzkej kotliny**, kde formovanie geotermálnej vody prebieha v prostredí karbonátov hronika a fatrika. Geotermálne vody Rudnianskej kotliny s teplotou 50 až 60 °C prestupujú na čiastočnej bariére lelovského zlomu k SV do bojnickej vysokej kryhy, kde vystupujú na východnej žriedelnej línii. V oblasti lelovského zlomu dochádza aj k prestupu geotermálnych vôd z karbonátov fatrika do karbonátov hronika.

V Hornonitrianskej kotline sú geotermálne vody známe z prameňov a vrtov (Príloha č. 1, 2, 3). Teploty vôd sa pohybujú v závislosti od zdroja v oblasti bojnickej vysokej kryhy v rozmedzí 30 – 51,2 °C, v centrálnej časti Hornonitrianskej kotliny pri vrte **Nováky Š1-NB II** na hodnote 63 °C, v **Chalmovej** okolo 39,5 °C.

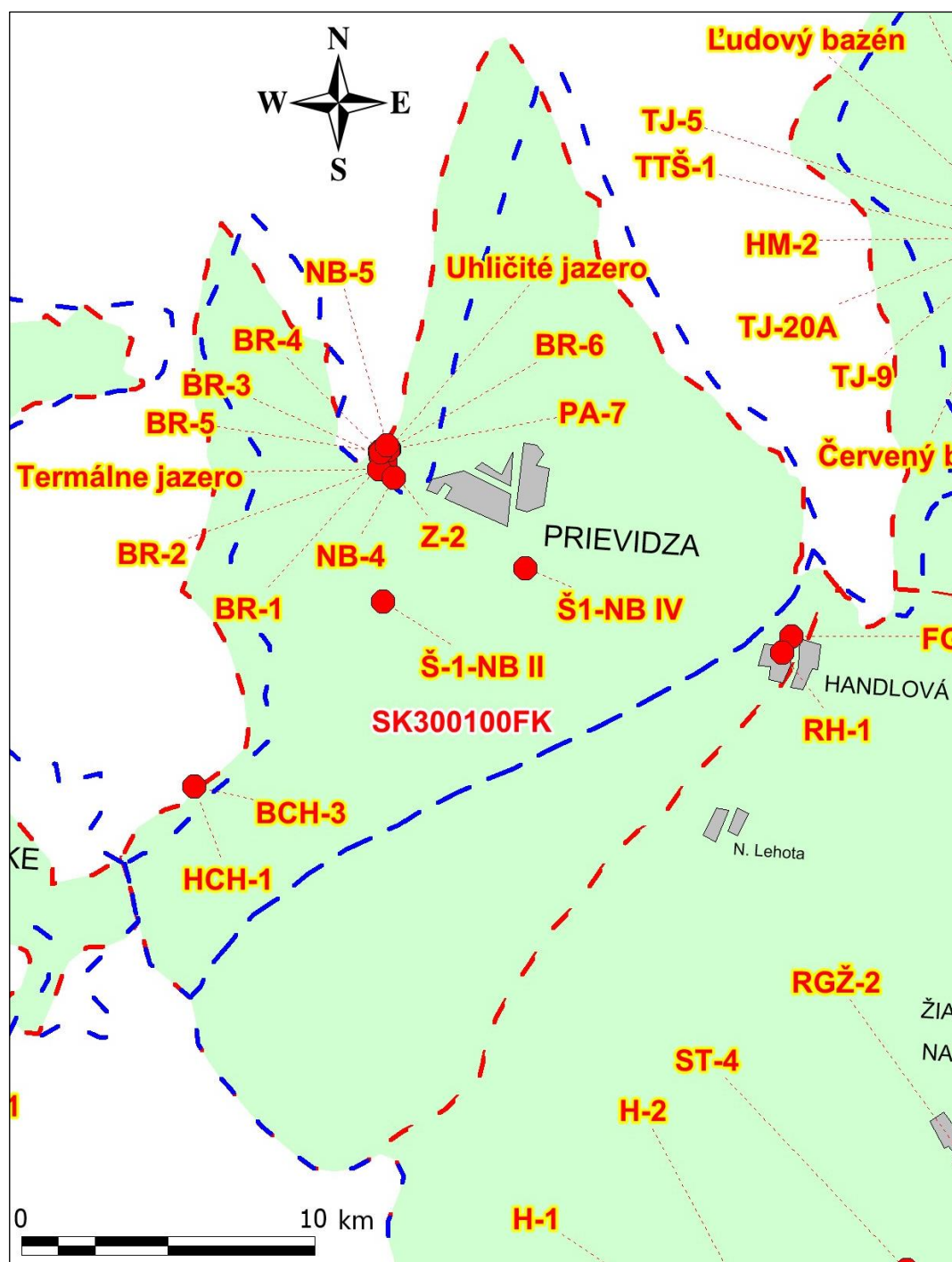
V geotermálnom vrte **FGHn-1 v Handlovej**, hlbokom 470 m (Fendek et al. 2004), sú geotermálne vody (výdatnosť 2,17 l.s⁻¹, hladina vody v hĺbke 110,15, teplota vody 19,4 °C) viazané na preplavené, tektonicky silno porušené dolomity chočského príkrovu (dolomitovú múčku).

Hydrogeologický vrt **RH-1 v Handlovej**, hlboký 1 201 m (Remšík a Černák, 2011), zistil geotermálne vody v mezozoických vápencoch a dolomitoch v hĺbke 862,0 – 1 201,3 m. Výdatnosť vrtu RH-1 bola 15,0 l.s⁻¹, teplota vody 37,5 °C.

V Hornonitrianskej kotline bolo okrem vrtov v pôsobnosti IKŽ MZ SR realizovaných 5 vrtov na troch lokalitách (**Š1-NBII Nováky-Laskár**, **BCH-3 Chalmová**, **HCH-1 Chalmová**, **FGHn-1 Handlová**, **RH-1 Handlová**), hlbokých 150-1 851 m. Geotermálne vody boli v nich zachytené v hĺbkach 30-1 851 m, výdatnosť vrtov predstavovala 2,5-22,2 l.s⁻¹ s teplotou vody na povrchu 19-59,0 °C, mineralizáciou vody 0,4-1,9 g.l⁻¹ a tepelným výkonom vrtov 0,05-4,08 MW_t (Príloha 1, 2). Sumárna výdatnosť vrtov tvorí 57,9 l.s⁻¹, čomu odpovedá tepelný výkon 7,05 MW_t.

Vrty v pôsobnosti IKŽ sú situované na lokalite **Bojnice** (Dzúrik a Tomana, 2016), kde bolo v roku 2016 zaregistrovaných 20 existujúcich zdrojov termálnej minerálnej vody a časť je zobrazená na obr. 5.10.1.1.

Chemické zloženie geotermálnych vôd odráža ich väzbu na karbonáty fatrika alebo hronika. Vody z karbonátov hronika sú Ca(Mg)-HCO₃ typu s celkovou mineralizáciou do 1 g.l⁻¹ a vody z fatrika Ca(Mg)-SO₄ typu s celkovou mineralizáciou do 1,31 g.l⁻¹.



Obr. 5.10.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300100FK a zdroje geotermálnej vody

Chemické zloženie geotermálnych vôd na bojnickej vysokej kryhe sa pohybuje od chemického typu Ca-Mg-HCO_3 až k typu $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$. V sedimentoch paleogénu na bojnickej vysokej kryhe sú prítomné aj vody chemického typu $\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4$. V Prievdzskej kotline boli dokumentované chemické typy $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$ a $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$. Na bojnickej vysokej kryhe sa mineralizácia geotermálnych vôd pohybuje v rozmedzí 0,64-

0,98 g.l⁻¹ a v Prievidzskej kotline 0,9-1,1 g.l⁻¹. V Rudnianskej kotline možno očakávať geotermálne vody Ca-HCO₃-SO₄ typu s mineralizáciou 0,8-1,0 g.l⁻¹.

5.10.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Z hľadiska geotermických pomerov dosahujú teploty v útware v hĺbkach 500 – 3 000 m pod povrchom maximálne hodnoty v centrálnej časti kotliny v priestore medzi Novákmi a Prievidzou a smerom k okrajom kotliny hodnoty teplôt klesajú. V hĺbke 500 m pod povrchom sú teploty 22,5 – 32,5 °C, v hĺbke 1 000 m 35 – 50 °C, v hĺbke 1 500 m 50 – 65 °C, v hĺbke 2 000 m 60 – 80 °C, v hĺbke 2 500 m 70 – 90 °C a v hĺbke 3 000 m pod povrchom teploty dosahujú 80 – 100 °C.

Hustota tepelného toku bola v Hornonitrianskej kotline určená v 11 vrtoch s hodnotami v rozmedzí 70,2 – 84,4 mW.m⁻² so štatistickým priemerom 79,2 ± 4,6 mW.m⁻².

Z plošného rozloženia hustoty tepelného toku je zrejmé, že najvyššie tepelné toky nad 75 mW.m⁻² sú typické pre centrálnu časť kotliny medzi Novákmi a Prievidzou, čo pravdepodobne súvisí s geodynamikou jej vzniku. Smerom k okrajom kotliny hustota tepelného toku klesá pod 70 mW.m⁻². Výnimku tvorí styk Hornonitrianskej kotliny s vulkanitmi Vtáčnika (Franko et al., 1995).

5.10.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období 2011-2017 boli v útware využívané geotermálne vrty na troch lokalitách - **Nováky, Chalmová a Bojnice** (Príloha č. 6).

V rokoch 2011-2015 ((Príloha č. 7, 8) bolo z útvaru sumárne odobraných ročne v priemere cca **959 tis. m³ za rok (33,3 l.s⁻¹)**. V období rokov 2016-2017 tento odber mierne klesol na hodnotu cca **847 tis. m³ za rok (31,8 l.s⁻¹)**.

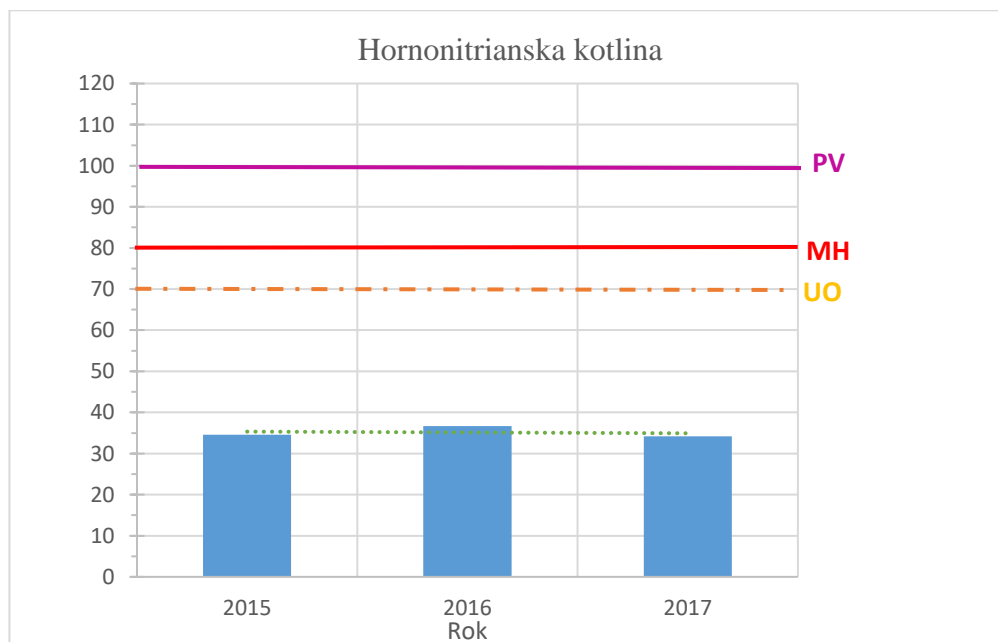
Na lokalite **Chalmová** sú sezónne pre potreby letného Kúpaliska Chalmová – Bystričany využívané dva vrty - **HCH-1 a BCH-3** s priemernými sumárnymi odbermi v rokoch 2011-2015 cca **22 tis. m³ za rok (1,2 l.s⁻¹)** a v rokoch 2016-2017 s mierne nižšou hodnotou cca **20,8 tis. m³ za rok (1,18 l.s⁻¹)**.

Najvyššie odbery z útvaru sú realizované z vrtu **Š1 NBII** na lokalite **Nováky – Laskár** s priemernými sumárnymi odbermi v rokoch 2011-2015 cca **290 tis. m³ za rok (9,2 l.s⁻¹)** a v rokoch 2016-2017 s mierne nižšou hodnotou cca **252,7 tis. m³ za rok (8,0 l.s⁻¹)**. Geotermálna voda je celoročne využívaná pre potreby ohrevu vetracieho vzduchu pre Hornonitrianske bane Prievidza a pre vykurovanie skleníkov.

V kúpeľoch **Bojnice** sú využívané 4 vrty (**BR-1, BR-2, BR-3, Z-2**) a pozorovaná je výdatnosť na krasovo-puklinovom prameni **Termálne jazero**. Z týchto zdrojov bolo v období 2011-2015 sumárne odobraných ročne v priemere cca **622 tis. m³ (19,8 l.s⁻¹)**. V rokoch 2016-2017 tento odber mierne poklesol na priemerný ročný odber cca **538,8 tis. m³ (17,4 l.s⁻¹)**. Najväčšie odbery sú realizované z vrtov BR-1, Z-2 a voda z prepadu prameňa Termálne jazero odteká do rieky Nitry.

V Bojniciach sú pre potreby kúpaliska Čajka využívané dva vrty – **PA-7 a BR-6**. Z týchto vrtov bolo v období 2011-2015 sumárne odobraných ročne v priemere cca **24,5 tis. m³ (3,07 l.s⁻¹)**. V rokoch 2016-2017 tento odber 1,7-násobne stúpol na priemerný ročný odber **34,8 tis. m³ (5,22 l.s⁻¹)**.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.10.3.1) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/34,57 %; 2016/36,66 %; 2017/34,16 %) na základe strednej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1). V období rokov 2015-2017 (Príloha č. 12) boli v tomto útvare dokumentované nasledujúce zdroje PA-7 Bojnice, BR-2 Bojnice a Termálne jazero v havarijnom stave (tab. 6.1.2). V prípade vrtov PA-7 a BR-2 ide o 1-rázový výskyt, čo môže znamenať zlý manažment odberu vôd v rámci zdrojov kúpaliska Čajka a zdrojov kúpeľov, ale na krasovo-puklinovom prameni Termálne jazero je dokumentovaný uvedený stav počas celého obdobia, čo je spôsobené nízkou mierou zabezpečenia množstiev vôd na prepade (Odhad III.).



Obr. 5.10.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Hornonitrianskej kotliny

5.10.4 Chemický stav útvaru

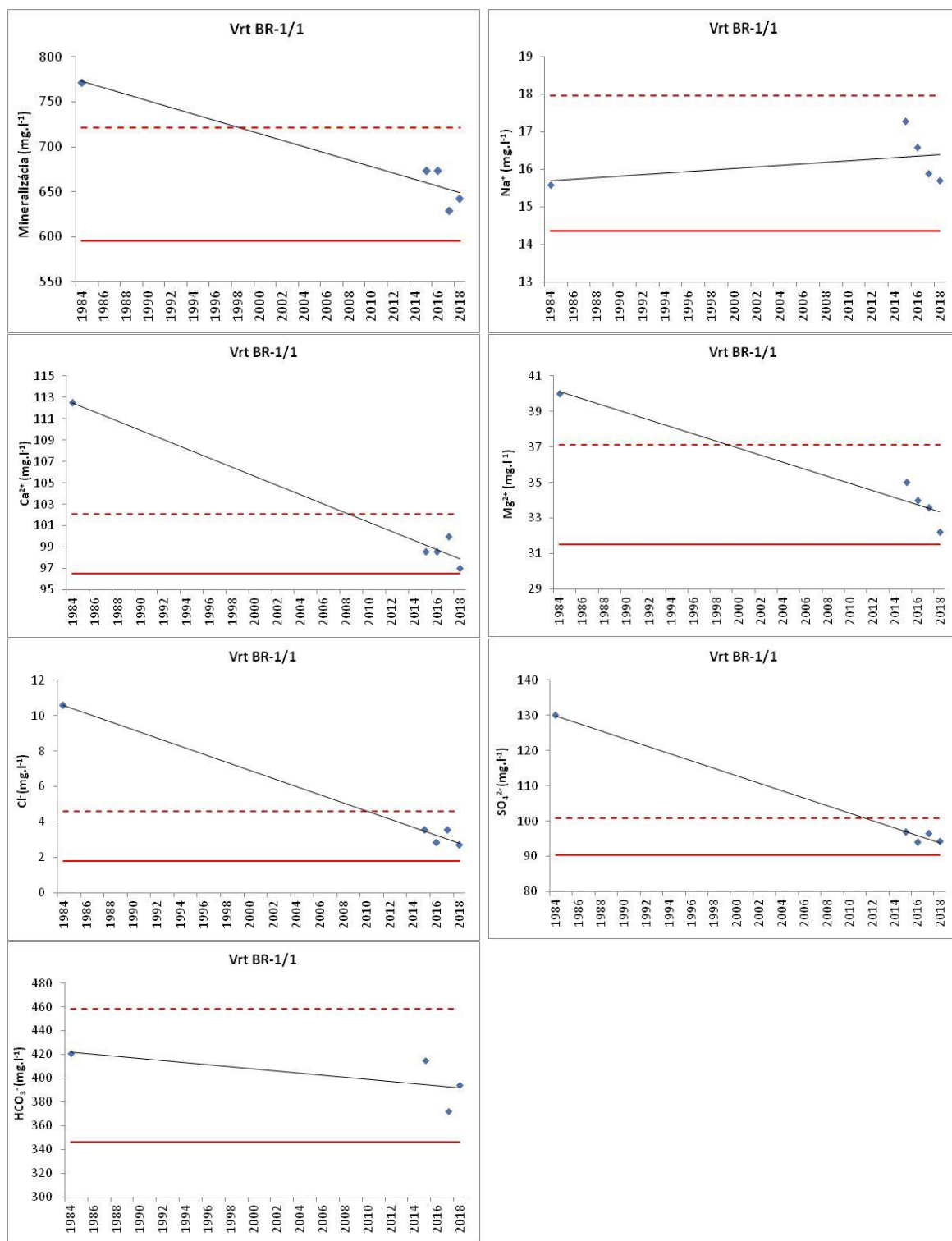
Hodnotenie chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300100FK bolo realizované na základe metódy medzikvartilového rozpätia (IQR) a trendu časového vývoja chemického zloženia geotermálnej vody na 3 vrtoch v Bojniciach (BR-1/1 Jesenius II, BR-2/2 Jazero, Z-2 Starý prameň). Na základe uvedených údajov spoľahlivosť hodnotenia chemického stavu v geotermálnom útvare SK300100FK dosahuje strednú mieru spoľahlivosti (tab. 6.2.1).

V prípade všetkých hodnotených vrtov boli k dispozícii údaje z dvoch časových období – staršie analýzy z rokov 1984 (BR-1/1 Jesenius II), 1986 (BR-2/2 Jazero) a 1975 (Z-2 Starý prameň), resp. analýzy z obdobia rokov 2015 až 2018 (obr. 5.10.4.1 až 5.10.4.6).

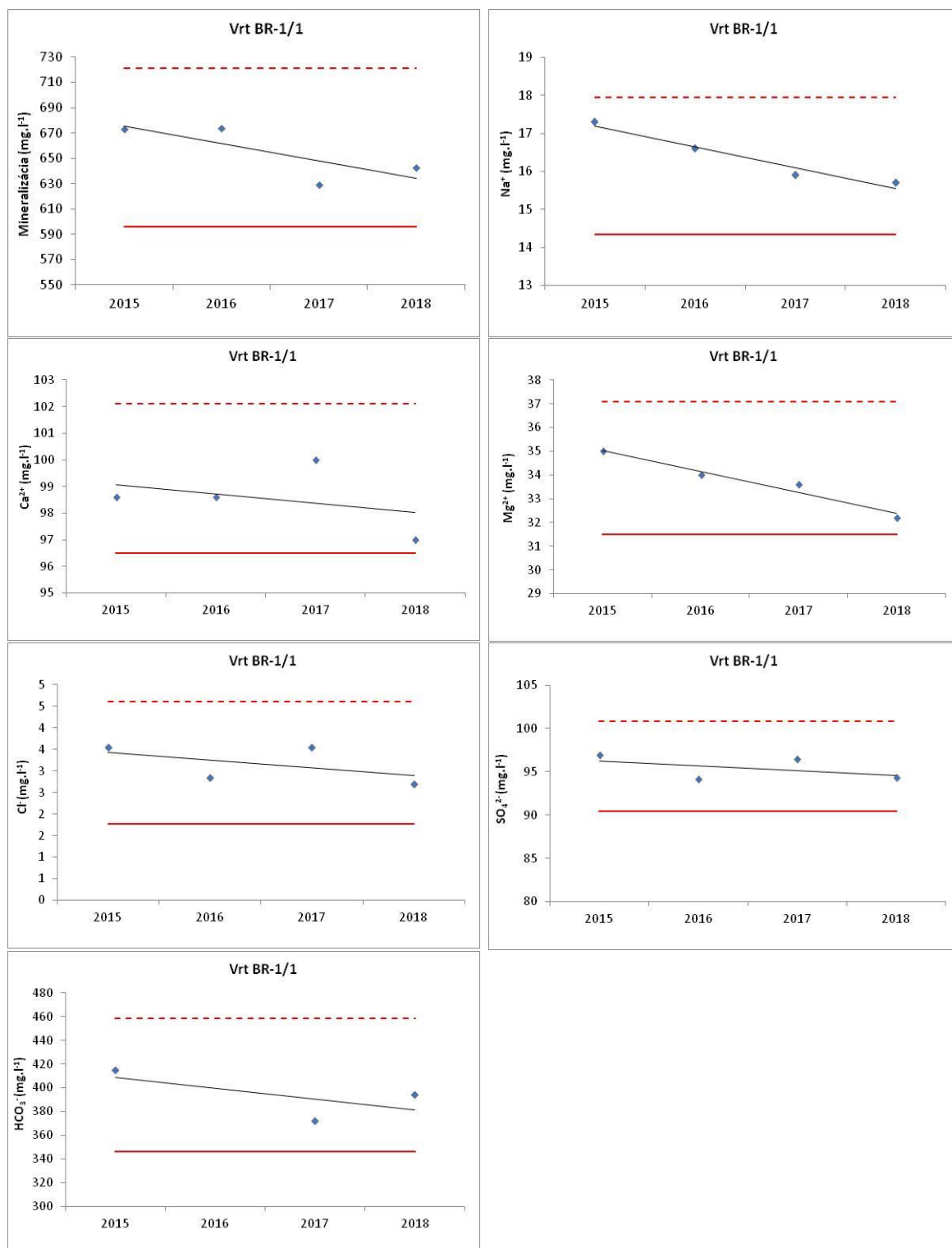
Vo vzorke vody z vrtu BR-1/1 Jesenius II odobranej 18.5.1984 boli zistené odľahlé koncentrácie pre viaceré parametre – mineralizácia ($771,81 \text{ mg.l}^{-1}$), Ca^{2+} ($112,5 \text{ mg.l}^{-1}$), Mg^{2+} ($40,0 \text{ mg.l}^{-1}$), Cl^{-} ($10,6 \text{ mg.l}^{-1}$) a SO_4^{2-} ($130,0 \text{ mg.l}^{-1}$) (obr. 5.10.4.1). Ako však naznačujú grafy na obr. 5.10.4.2, v rokoch 2015 až 2018 boli zaznamenané veľmi stabilné koncentrácie všetkých ukazovateľov. Odľahlé koncentrácie v roku 1984 by mohli súvisieť so spôsobom exploatacie zdroja v období 80-tych rokov minulého storočia, príp. inou príčinou.

Chemické zloženie vody z vrtu BR-2/2 Jazero vykazuje v zásade stabilitu sledovaných parametrov. Hoci z grafov na obr. 5.10.4.3 a 5.10.4.4 sú zrejmé v niektorých prípadoch obsahy mimo 1,5 násobok medzikvartilového rozpätia (Na^{+} , Ca^{2+} , SO_4^{2-}), tieto hodnoty sú aj napriek tomu veľmi blízke ostatným hodnotám. V prípade Na^{+} je rozdiel medzi minimálnou a maximálnou hodnotou len $3,7 \text{ mg.l}^{-1}$, v prípade Ca^{2+} len $3,39 \text{ mg.l}^{-1}$ a v prípade SO_4^{2-} len $10,09 \text{ mg.l}^{-1}$. Predpokladáme, že takéto rozdiely súvisia skôr s prirodzeným režimom tvorby chemického zloženia v hydrogeologickej štruktúre.

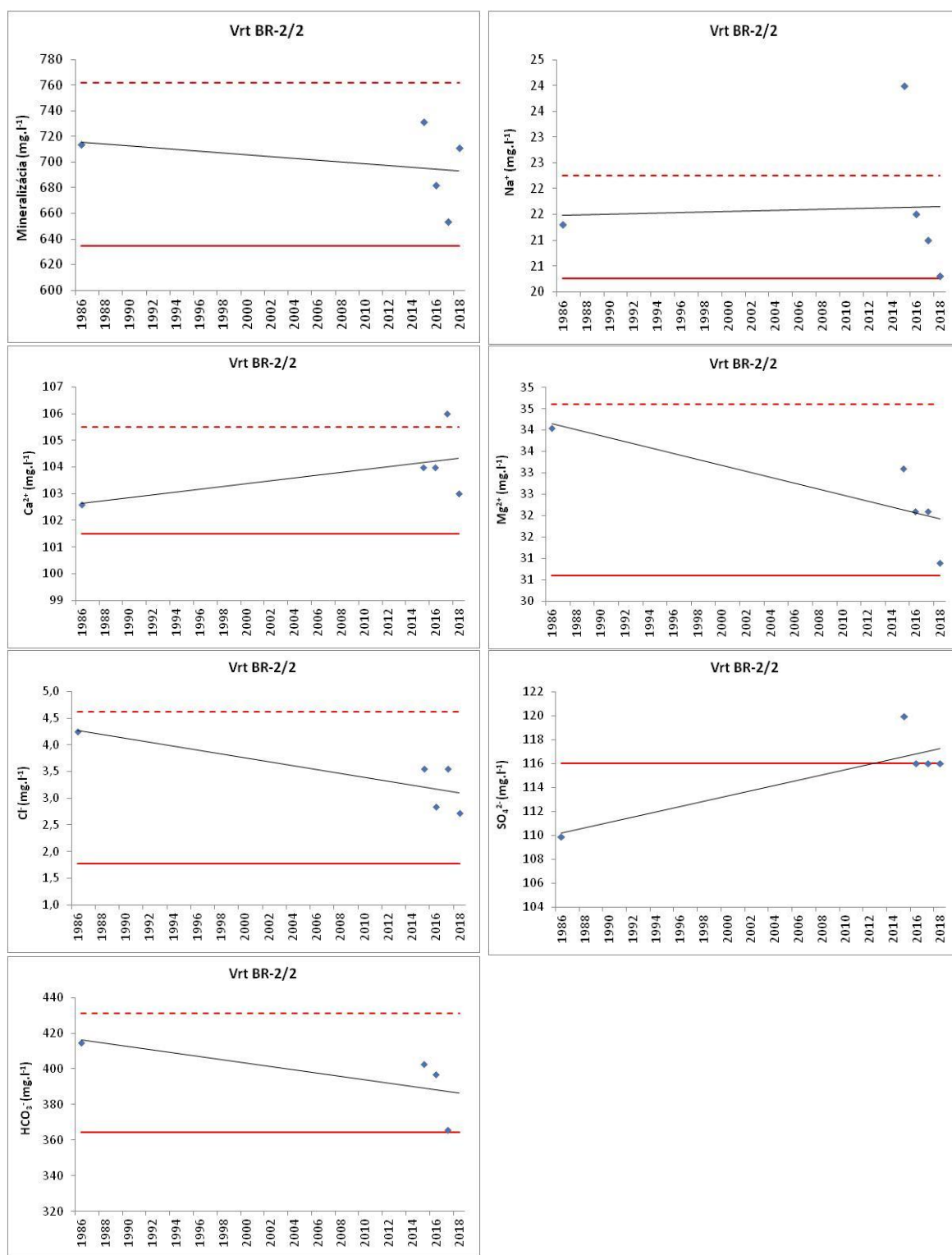
Podobné zistenia ako v prípade vody z vrtu BR-2/2 Jazero boli zistené aj pre zdroj Z-2 Starý prameň, ktorého voda vykazuje v zásade stabilitu sledovaných parametrov. Hoci z grafov na obr. 5.10.4.5 a 5.10.4.6 sú zrejmé v niektorých prípadoch obsahy mimo 1,5 násobok medzikvartilového rozpätia (Ca^{2+} , Cl^{-} , SO_4^{2-}), tieto hodnoty sú aj napriek tomu veľmi blízke ostatným hodnotám. V prípade Ca^{2+} je rozdiel medzi minimálnou a maximálnou hodnotou len $3,81 \text{ mg.l}^{-1}$, v prípade Cl^{-} len $0,85 \text{ mg.l}^{-1}$ a v prípade SO_4^{2-} len $6,8 \text{ mg.l}^{-1}$. Predpokladáme, že takéto rozdiely súvisia s prirodzeným režimom tvorby chemického zloženia v hydrogeologickej štruktúre.



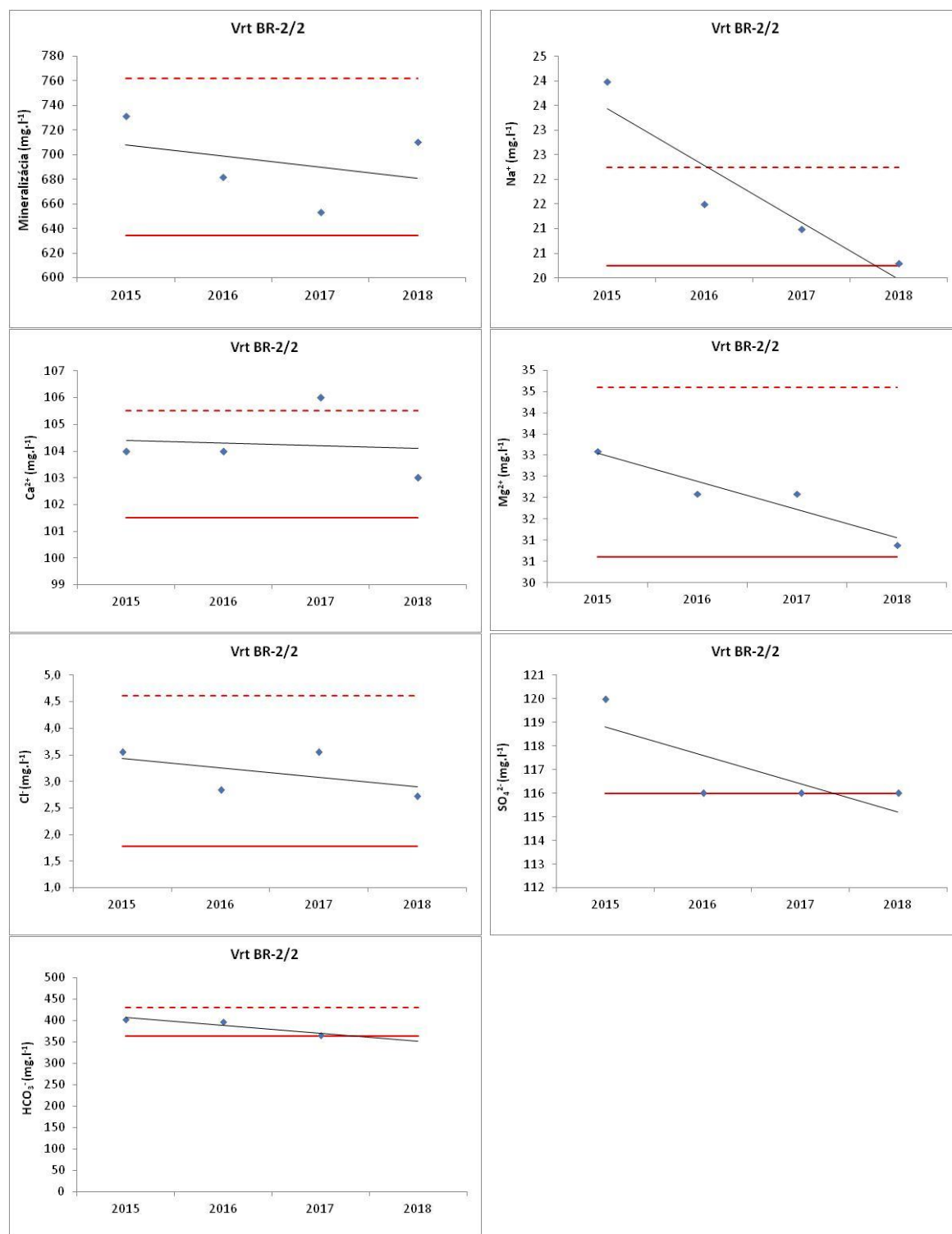
Obr. 5.10.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BR-1/1 Jesenius II



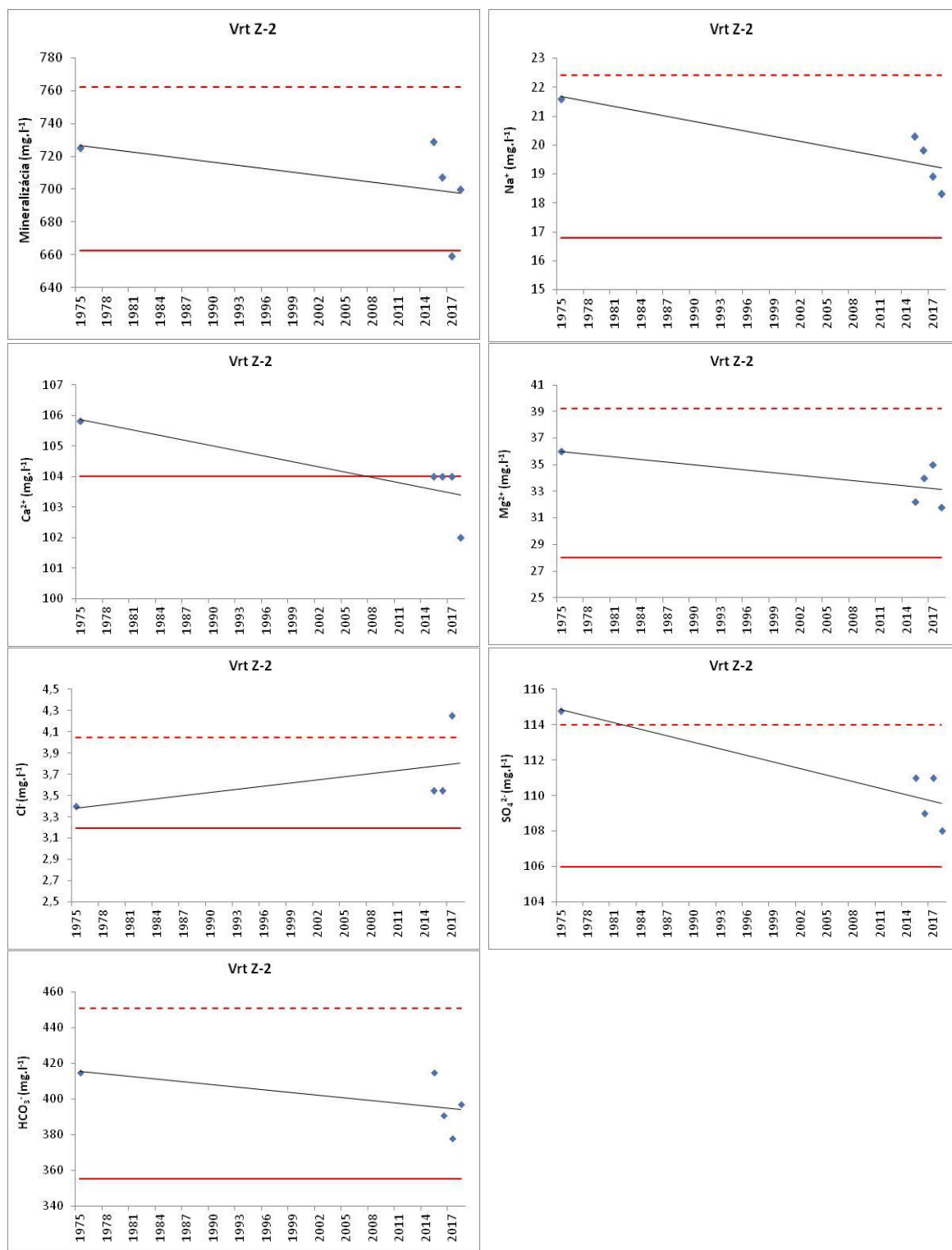
Obr. 5.10.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BR-1/1 Jesenius II – len roky 2015 až 2018



Obr. 5.10.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BR-2/2 Jazero

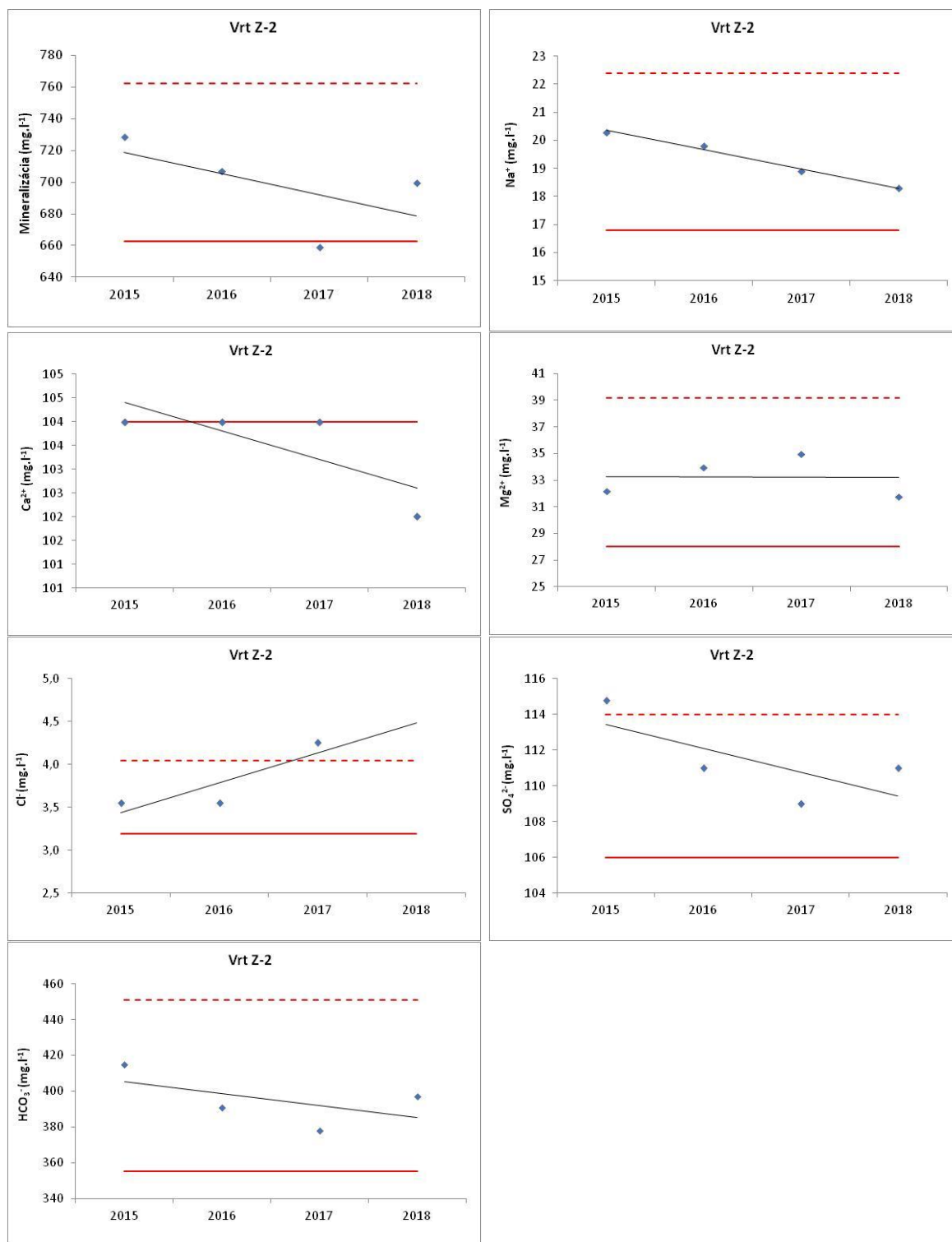


Obr. 5.10.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BR-2/2 Jazero – len roky 2015 až 2018



Obr. 5.10.4.5 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu Z-2 Starý prameň

Geotermálny útvar SK300100FK hodnotíme z pohľadu chemického stavu v dobrom stave a z pohľadu spoľahlivosti hodnotenia chemického stavu je to stredná miera spoľahlivosti (2).



Obr. 5.10.4.6 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu Z-2 Starý prameň – len roky 2015 až 2018

5.10.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Tepelno-energetický potenciál zdrojov geotermálnej energie Hornonitrianskej kotliny, ktorý bol určený bilančnou metódou, predstavuje hodnotu **29,12 MWt**, čomu odpovedá množstvo geotermálnych vôd s hodnotou **140 l.s⁻¹** pri priemernej teplote geotermálnych vôd 60 °C (Fendek et al. 2004).

Pri porovnaní vyššie uvedených množstiev geotermálnych vôd a ich energie so zistenou sumárnou výdatnosťou vrtov **104,46 l.s⁻¹** a odpovedajúcemu tepelnému výkonu **12,95 MWt** vidno, že v území Hornonitrianskej kotliny sú ešte rezervy na získanie, resp. overenie ďalších množstiev geotermálnych vôd a ich energie (36,54 l.s⁻¹, resp. 16,17 MWt).

V prevažnej časti rozšírenia fatrika a hronika v podloží terciérnej výplne Rudnianskej kotliny, ktorá je západným výbežkom Hornonitrianskej kotliny, dosahuje merný tepelno-energetický potenciál hodnotu 2,0-9,0 GJ.m⁻². Nižšie hodnoty (pod 2,0 GJ.m⁻²) sú charakteristické len pre okrajové časti rozšírenia karbonátov v kotline a vyššie hodnoty okolo 10,0-11,0 GJ.m⁻² sa nachádzajú v okolí bojnickej vysokej kryhy.

V Rudnianskej kotline bolo vyčíslené prírodné množstvo geotermálnych vôd (prírodné zdroje) s hodnotou 40 l.s⁻¹, čo odpovedá tepelno-energetickému potenciálu geotermálnej energie 6,97 MW_t (Marcin et al., 2011).

Hornonitrianska kotlina reprezentuje útvar s geotermálnymi vodami asociovanými v strednotriasových karbonátoch a paleogénnych zlepenkoch / brekciách. Kombinácia vrtmi overených zásob GTE $R_{pv} = 14,3 \text{ MWth}$ a modelom odhadovaných pravdepodobných zásob GTE $R_{pb} = 30,6 \%$ udáva TTP = 44,9 MWth s pravdepodobnosťou overenia 80 %. Bilančne stanovená udržateľná kapacita útvaru je definovaná na úrovni $P_{th(rcap=0,5)} = 15,3 \text{ MWth}$, s pravdepodobnosťou overenia 96 %.

Produkčné parametre $P_{th} = 2,96 \text{ MWth}$ resp. $P_{th,inst} = 10 \text{ MWth}$ vo vzťahu k bilančnému modelu útvaru udávajú charakteristiky udržateľnosti a rozvoja ako $r_{cap(U)} = 0,9$, $r_{cap(U^*)} = 0,67$, $r_{cap(S)} = 0,81$ a $r_{cap(S^*)} = 0,35$. Produkciu pri aktuálnom, aj maximálnom výkone je možné hodnotiť ako udržateľnú, s nízkym rizikom tepelno-energetickej depletácie. Rovnako nízke riziko depletácie je spojené aj s rozvojom produkcie pri aktuálnom ($P_{th(D)} = 12,3 \text{ MWth}$) aj inštalovanom ($P_{th(D^*)} = 5,3 \text{ MWth}$) výkone. Útvar je možné preto opísať ako perspektívny z pohľadu rozvoja produkcie GTE pri rešpektovaní potenciálu udržateľného rozvoja.

5.11 ÚTVAR SK300110FK - TURČIANSKA KOTLINA

5.11.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Útvar geotermálnych vôd Turčianska kotlina sa nachádza v severnej časti Slovenska. predmetné územie má pretiahnutý tvar v smere sever-juh a rozprestiera sa približne medzi pohoriami Malej a Veľkej Fatry, na juhu ju lemujú pohoria Žiar a Kremnické vrchy.

Útvar predstavuje typickú vnútrohorskú depresiu, ktorá je vyplnená vnútrokarpatskými paleogénnymi a neogénnymi sedimentami s maximálnou hrúbkou okolo 2400 m v území južne od Martina. Terciérne podložie má z morfológického hľadiska pomerne jednoduchý reliéf, jeho morfoštruktúry (elevácie a depresie) sú budované formáciami hronika a fatrika.

V podloží terciérnych sedimentov, resp. v hlbšej príkrovovej stavbe kotliny sa nachádzajú hydrogeotermálne štruktúry, kde sú geotermálne vody viazané hlavne na triasové dolomity a vápence hronika a fatrika, ako aj na bazálne paleogénne, resp. neogénne zlepenice, brekcie a pieskovce, ak tieto ležia priamo na triasových karbonátoch tektonických jednotiek.

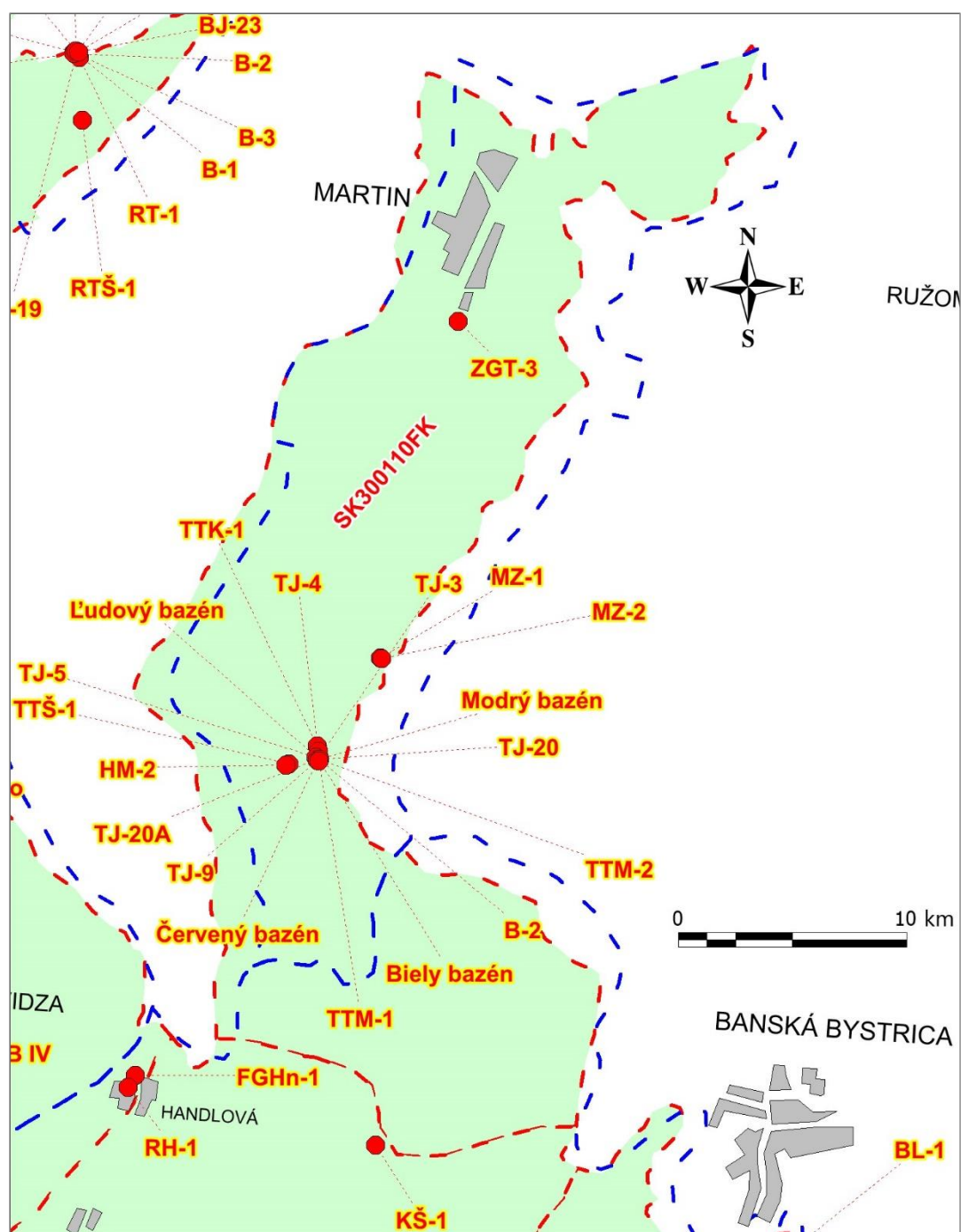
Geotermálne vody v Turčianskej kotline sú známe z prirodzených prameňov a z vrtov na lokalitách Turčianske Teplice a Mošovce (obr. 5.11.1.1). Boli tu realizované vrty **TTK-1 a TTŠ-1 Turčianske Teplice, HM-2, V-1 (MZ-1) a V-3 (MZ-2) Mošovce-Drienok a ZGT-3 Martin** ako i 13 zdrojov v **kúpeľoch Turčianske Teplice**. Výdatnosť vrtov sa pohybovala v rozmedzí 0,15-25,0 l.s⁻¹, teplota vody 18,5-54 °C. Sumárna výdatnosť vrtov predstavuje **100,43 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **10,94 MW_t** (príl. č. 1, 2, 3). Vrt ZGT-3 Martin, hlboký 2 461 m, zistil absenciu kolektorov geotermálnych vôd a tým aj geotermálnych vôd v podloží terciérnych hornín v okolí vrtu.

V útvare bola prieskumnými prácami overená celková mineralizácia geotermálnej vody 1,1-2,5 g.l⁻¹ a chemický typ vody prevažne Ca-Mg-HCO₃-SO₄.

5.11.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Teplotné a tepelné pole v Turčianskej kotline má pomerne jednoduchý obraz, geotermálna aktivita územia je priemerná. Teplota v hĺbke 1 000 m sa pohybuje v rozmedzí 35 až 55 °C, v hĺbke 2 000 m 60 až 75 °C a stúpa zo severu smerom na juh, čo súvisí s tým, že južná časť kotliny susedí s neovulkanitmi Kremnických vrchov. Teplota na predterciérnom podloží sa pohybuje v rozmedzí 10-70 °C a narastá od okrajov kotliny

smerom do jej stredu. Hustota zemského tepelného toku má podobný priebeh ako teplota a pohybuje sa od 52,0 do 71,7 mW.m⁻² (Franko et al., 1995).



Obr. 5.11.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300110FK a zdroje geotermálnej vody

5.11.3 Kvantitatívny stav útvaru

V sledovanom období 2011-2017 bola geotermálna voda v útvere využívaná z dvoch „nekúpeľných“ vrtov na lokalitách **Mošovce-Drienok** a **Turčianske Teplice**

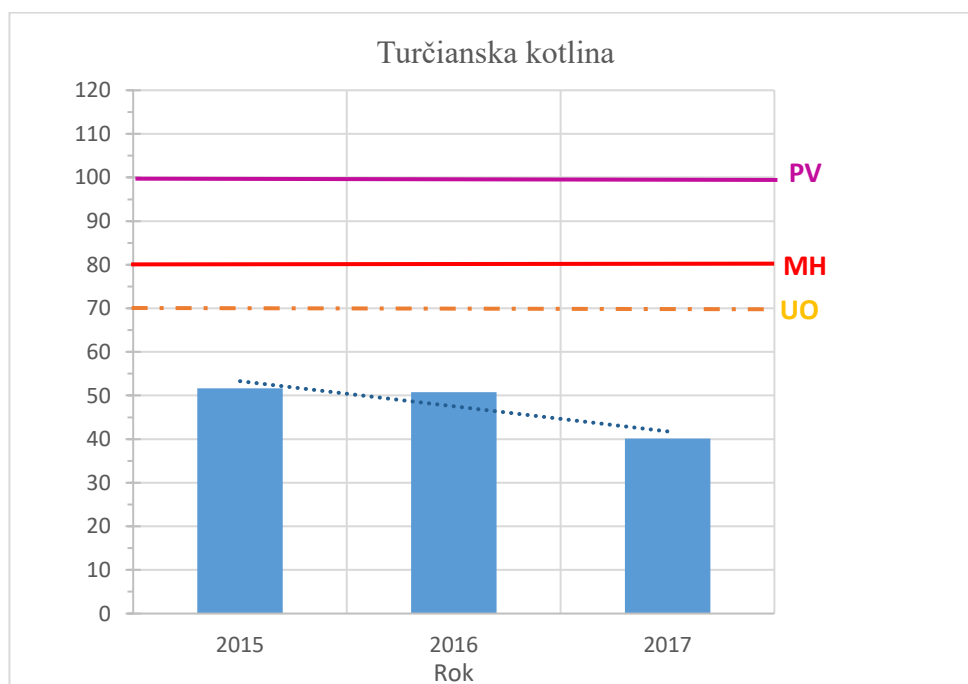
a z piatich vrtov v **kúpeľoch Turčianske Teplice** (príl. č. 6). Sumárne bolo z útvaru odoberané v rokoch 2011-2015 v priemere cca **274 tis. m³ za rok (10,1 l.s⁻¹)**. V období rokov 2016-2017 (príl. č. 8, 9) tento odber mierne stúpol na hodnotu **286,4 tis. m³ za rok (10,42 l.s⁻¹)**.

Na lokalite Mošovce-Drienok bol v roku 2015 a 2016 v letnej sezóne pre potreby Kúpaliska Drienok-Mošovce využívaný vrt **V-3 (MZ-2)** s odberom **60 tis. m³ za rok (1,9 l.s⁻¹)**.

Na lokalite Turčianske Teplice bolo z vrtu **TTK-1** v období 2010-2015 odoberané v priemere cca **16,2 tis. m³ za rok (1,85 l.s⁻¹)** geotermálnej vody. V období rokov 2016-2017 tento odber mierne stúpol na hodnotu **18,1 tis. m³ za rok (1,93 l.s⁻¹)**. Voda je využívaná sezónne pre letné termálne kúpalisko Vieska v Turčianskych Tepliciach.

V kúpeľoch **Turčianske Teplice** je využívaných 5 vrtov (**TJ-20A, B-2, TJ-3, Modrý bazén a Ľudový bazén**). Z týchto vrtov bolo v období 2011-2015 sumárne odobraných ročne v priemere cca **246 tis. m³ (7,8 l.s⁻¹)**. V rokoch 2016-2017 tento odber mierne poklesol na priemerný ročný odber **238 tis. m³ (7,5 l.s⁻¹)**. Najväčšie odbery sú realizované z vrtov TJ-20A, Ľudový bazéna a Modrý bazén.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.11.3.1) je útvar v dobrom stave (Bs% - 2015/51,66 %; 2016/50,80 %; 2017/40,13 %) na základe strednej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1).



Obr. 5.11.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Turčianskej kotliny

5.11.4 Chemický stav útvaru

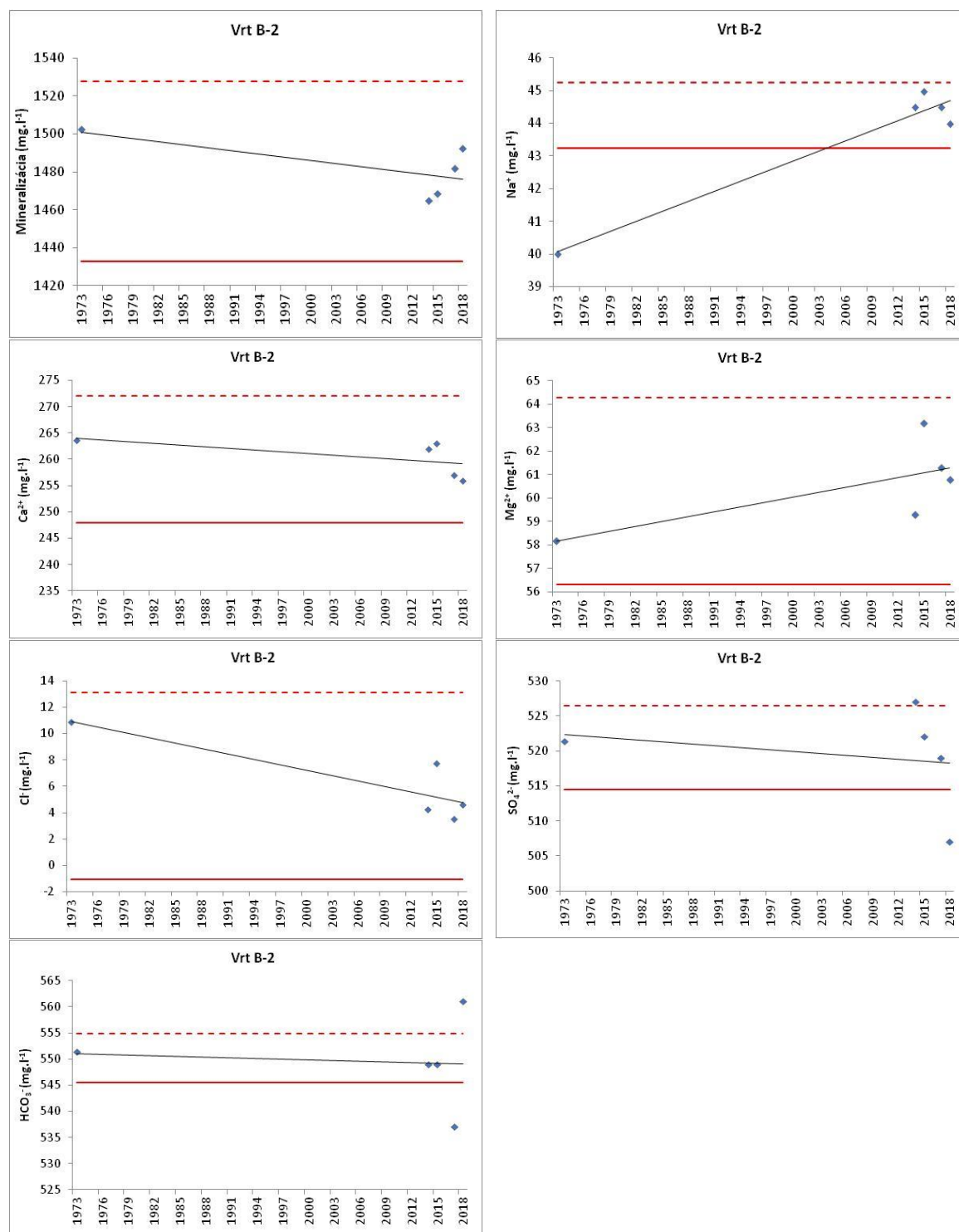
Hodnotenie chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300110FK bolo realizované na základe metódy medzikvartilového rozpätia (IQR) a trendu časového vývoja chemického zloženia geotermálnej vody na 3 zdrojoch v Turčianskych Tepliciach (vrt B-2 Kollár, vrt TJ-3 Živena, Modrý bazén).

V prípade všetkých hodnotených vrtov boli k dispozícii údaje z dvoch časových období – staršie analýzy z rokov 1973 (B-2 Kollár, TJ-3 Živena) a 1968 (Modrý bazén), resp. analýzy z obdobia rokov 2014 až 2018 (B-2 Kollár, TJ-3 Živena), resp. 2013 až 2017 (Modrý bazén) (obr. 5.11.4.1 až 5.11.4.6).

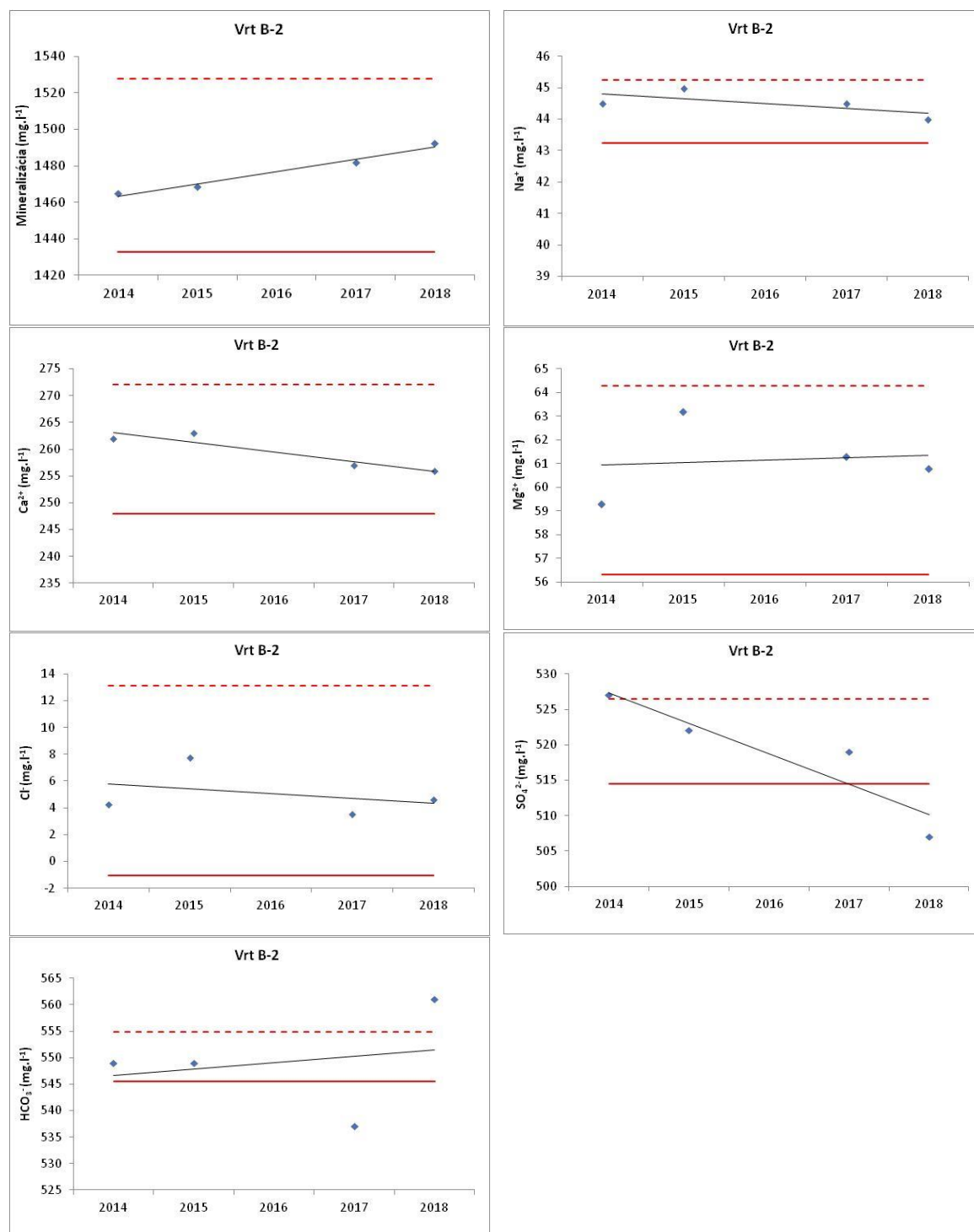
Chemické zloženie vody z vrtu B-2 Kollár vykazuje stabilitu sledovaných parametrov (obr. 5.11.4.1 a 5.11.4.2). Za zmienku stojí len určitá variabilita obsahov SO_4^{2-} a HCO_3^- v podzemnej vode, ktorú však považujeme skôr za dôsledok prirodzeného režimu tvorby chemického zloženia v hydrogeologickej štruktúre. Rozpätie medzi minimálnou a maximálnou hodnotou je v prípade SO_4^{2-} 20,0 mg.l⁻¹ a v prípade HCO_3^- 24,0 mg.l⁻¹.

Podobne aj chemické zloženie vody z vrtu TJ-3 Živena vykazuje stabilitu sledovaných parametrov (obr. 5.11.4.3 a 5.11.4.4). Najvýraznejšie rozdiely medzi minimálnou a maximálnou hodnotou boli v podzemnej vode zistené v prípade SO_4^{2-} (42,0 mg.l⁻¹) a HCO_3^- (24,0 mg.l⁻¹). Zistenú nevýraznú variabilitu koncentrácií hodnotených ukazovateľov v podzemnej vode tohto zdroja je možné považovať za prirodzenú.

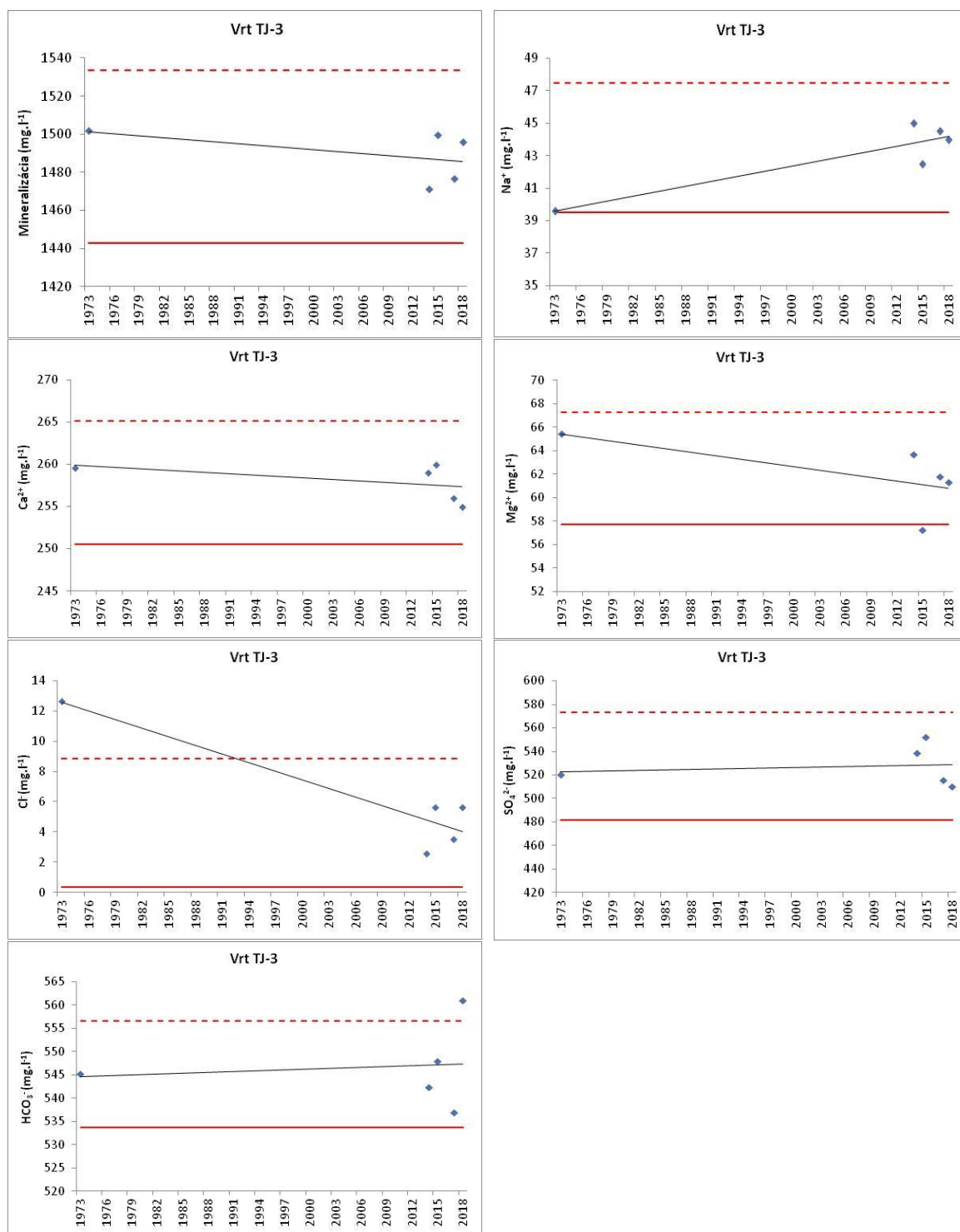
Vo vzorke zo zdroja Modrý bazén odobranej 22.10.1968 bola zistená odľahlá hodnota/koncentrácia pre celkovú mineralizáciu (1531,86 mg.l⁻¹) a HCO_3^- (591,7 mg.l⁻¹) (obr. 5.11.4.5). Ako naznačujú ostatné grafy na obr. 5.11.4.5 a obr. 5.11.4.6, v najviac prípadoch boli zistené odľahlé merania (mimo 1,5 násobku medzikvartilového rozpätia) vo vzorke odobratej dňa 23.10.2013 (celková mineralizácia, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^-). Hodnoty/obsahy uvedených ukazovateľov sa teda v súbore údajov vyznačujú určitou variabilitou, rozdiely medzi minimálnou a maximálnou hodnotou sú v prípade celkovej mineralizácie 148,53 mg.l⁻¹, Na^+ 3,5 mg.l⁻¹, Ca^{2+} 27,0 mg.l⁻¹, Mg^{2+} 5,9 mg.l⁻¹ a HCO_3^- 53,7 mg.l⁻¹. Aj rozpätie koncentrácií v prípade SO_4^{2-} je pomerne výrazné (58 mg.l⁻¹). Aj napriek uvedenému sa domnievame, že zistená variabilita koncentrácií viacerých hodnotených ukazovateľov v podzemnej vode tohto zdroja odráža prirodzený režim tvorby chemického zloženia v hydrogeologickej štruktúre, resp. môže tiež súvisieť so spôsobom exploatácie zdroja.



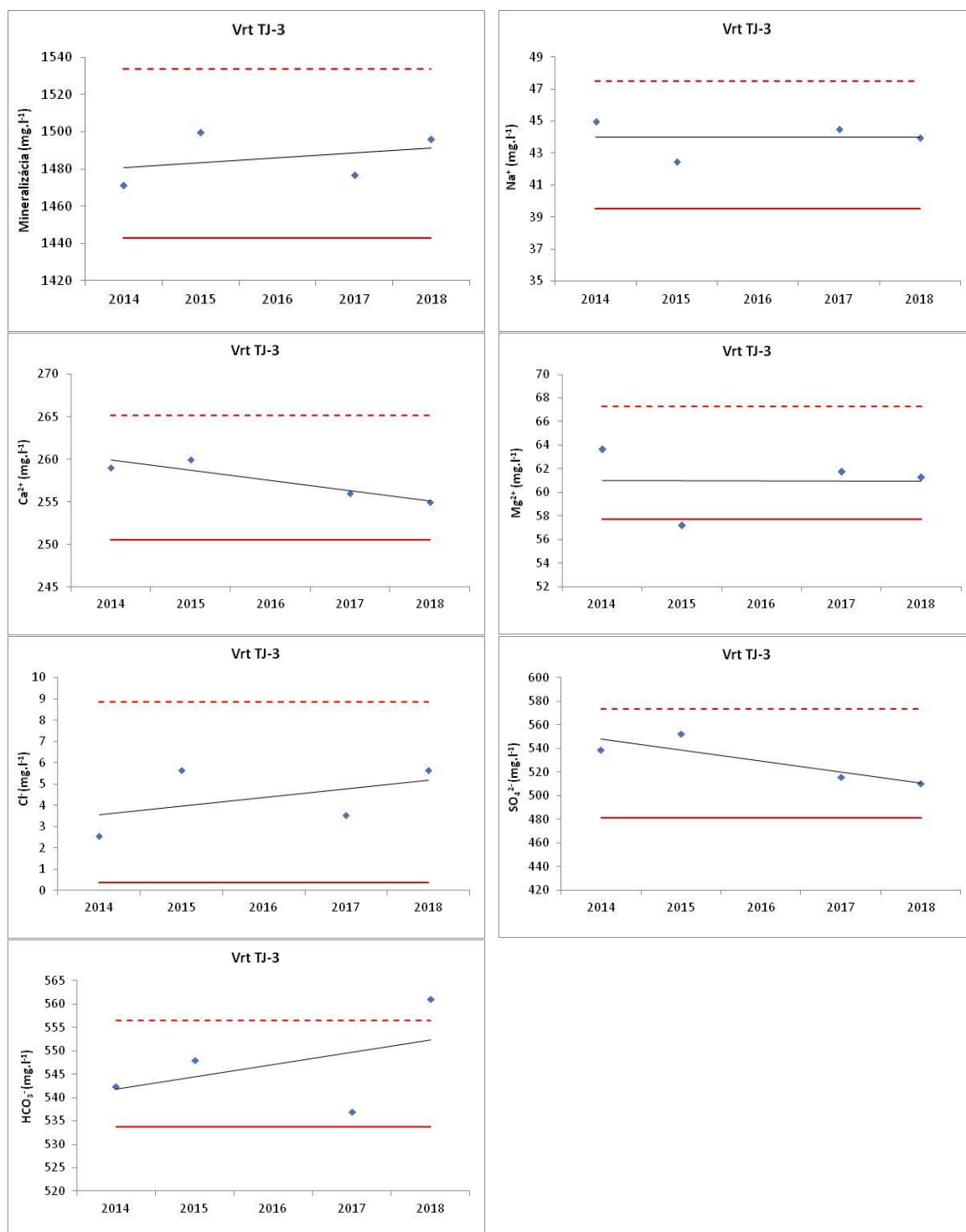
Obr. 5.11.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu B-2 Kollár



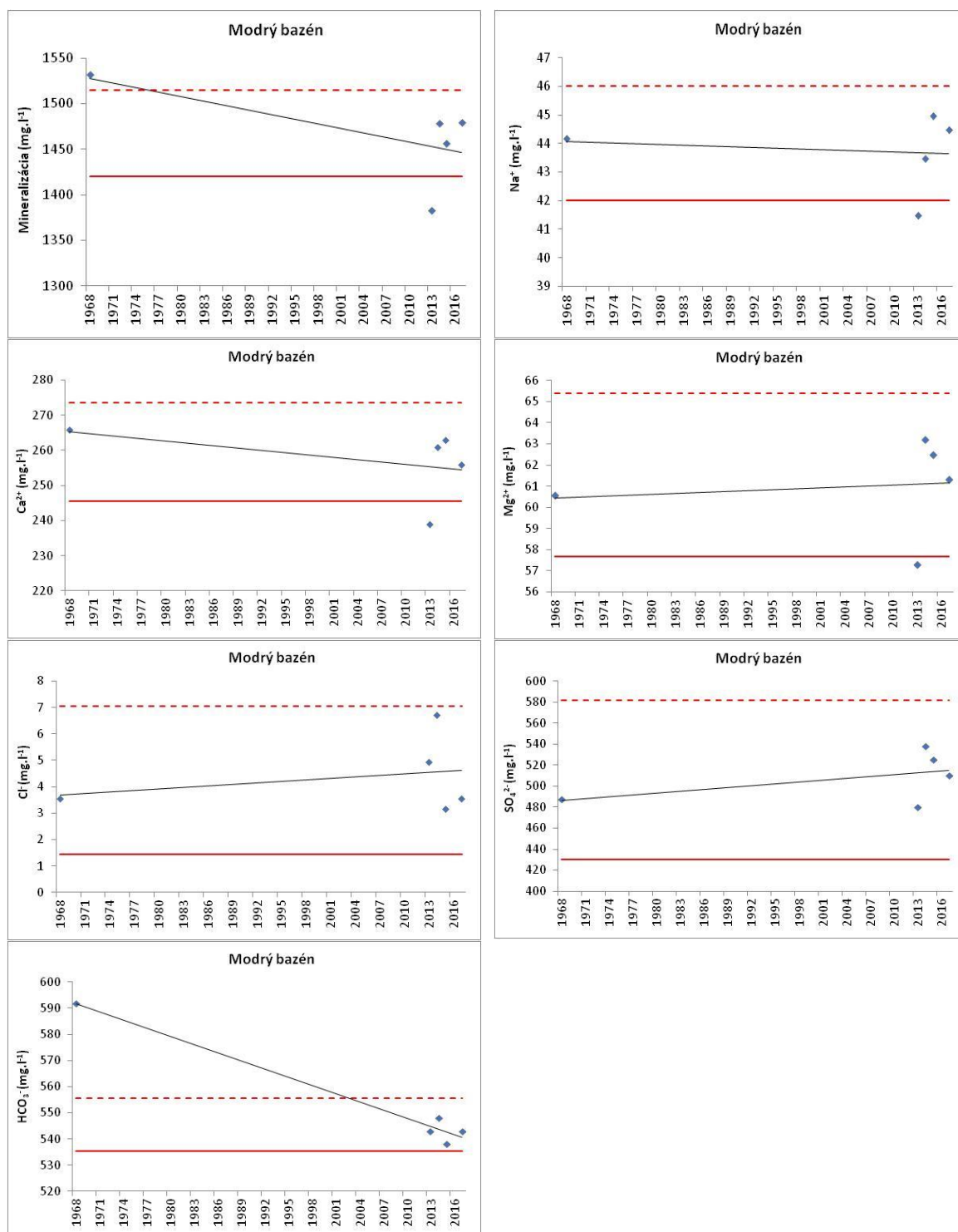
Obr. 5.11.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu B-2 Kollár – len roky 2014 až 2018



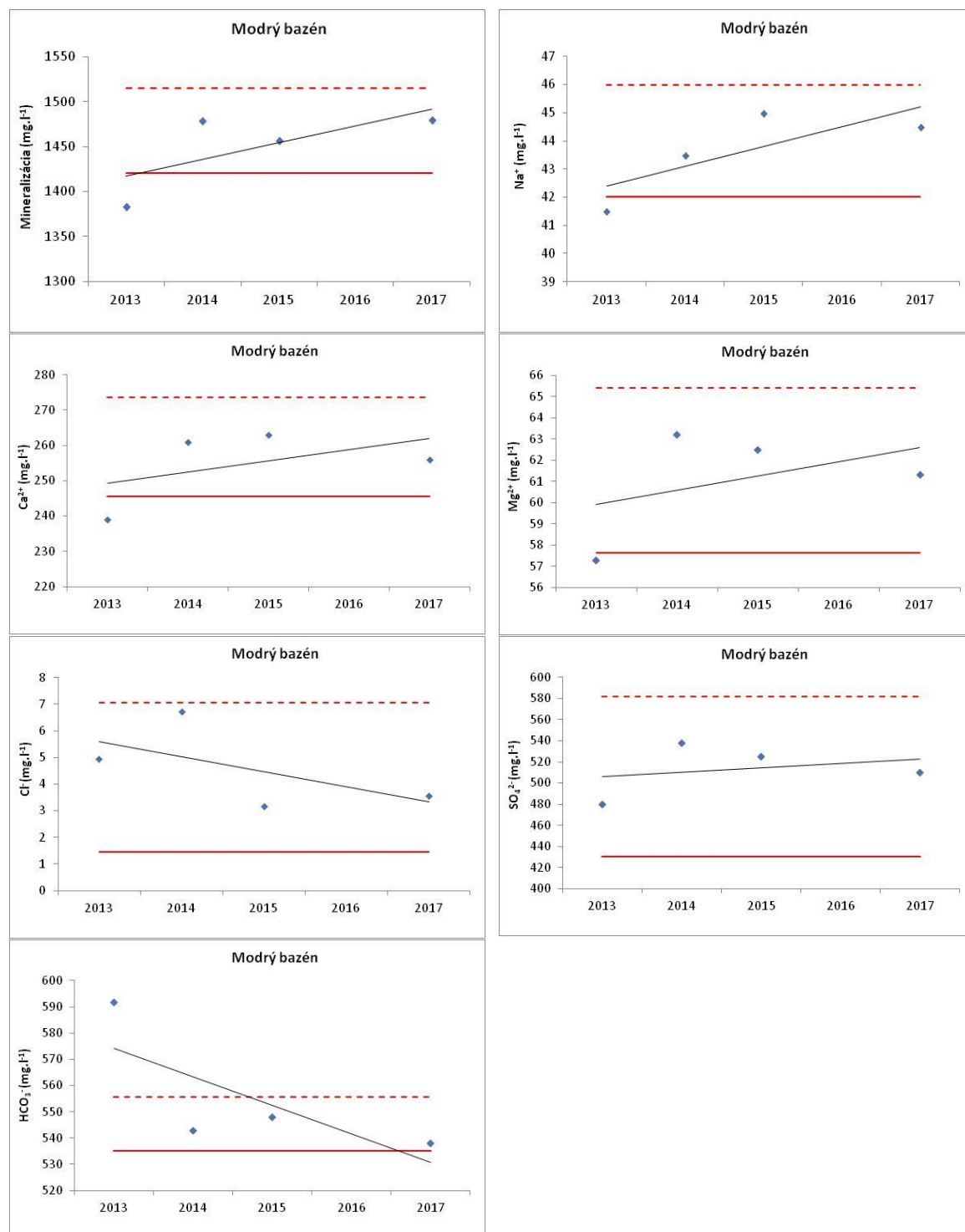
Obr. 5.11.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu TJ-3 Živena



Obr. 5.11.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu TJ-3 Živena – len roky 2014 až 2018



Obr. 5.11.4.5 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Modrý bazén



Obr. 5.11.4.5 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Modrý bazén – len roky 2013 až 2017

Geotermálny útvar SK300110FK hodnotíme z pohľadu chemického stavu v dobrom stave a z pohľadu spoľahlivosti hodnotenia chemického stavu je to stredná miera spoľahlivosti (2).

5.11.5 Množstvo geotermálnej energie a vôd

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie v Turčianskej kotline je hodnotené na **22,5 MWt** (Franko et., 1995).

Pri porovnaní vyššie uvedeného množstva geotermálnej energie so zisteným tepelným výkonom (**10,94 MWt**) vidno, že pomerne značné množstvo geotermálnej energie v tomto geotermálnom útvare nie je overené a jeho vysoký tepelno-energetický potenciál (11,56 MWt) ešte zostáva na overenie.

Turčianska kotlina je útvárom s geotermálnymi vodami v strednotriasových karbonátoch a neogénnych siliciklastikách. Bilančný, pravdepodobnostný model udáva $TTP = 42,5 \text{ MWth}$, s pravdepodobnosťou overenia 76 %, z čoho $R_{pb} = 31,8 \text{ MWth}$ a $R_{pv} = 10,7 \text{ MWth}$. Udržateľná kapacita GTE útvaru zodpovedá $P_{th(r_{cap}=0,5)} = 15,9 \text{ MWth}$, s pravdepodobnosťou overenia 93 %.

Pri aktuálnom tepelnom výkone $P_{th} = 0,73 \text{ MWth}$ a možnostiach inštalovaného výkonu $P_{th,inst} = 1,53 \text{ MWth}$ je produkciu možné klasifikovať ako udržateľnú, s nízkym rizikom tepelného kolapsu ($r_{cap(U)} = 0,98$, $r_{cap(U^*)} = 0,95$). Riziko udržateľného rozvoja produkcie pri daných nastaveniach je rovnako nízke ($r_{cap(S)} = 0,81$ a $r_{cap(S^*)} = 0,35$), ak bude dodržaná hranica $P_{th(D)} = 15,2 \text{ MWth}$ respektíve $P_{th(D^*)} = 14,4 \text{ MWth}$. Útvar hodnotíme ako perspektívny.

5.12 ÚTVAR SK300120FK - SKORUŠINSKÁ PANVA

5.12.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Útvar geotermálnych vôd Skorušinská panva sa nachádza na severe Slovenska. Na SZ ju ohraničuje bradlové pásmo, na JV Chočské vrchy a Západné Tatry. Zaberá územie Skorušinských vrchov a čiastočne aj ich blízkeho okolia. Predmetné územie predstavuje poklesnuté, morfológicky členité formácie tatrika, fatrika a hronika, pohorí Západných Tatier a Chočských vrchov a na severe aj bradlového pásma, ktoré sú budované horninami paleozoika a mezozoika, v nadloží ktorých ležia paleogénne sedimenty podtatranskej skupiny s hrúbkou od 200 do 2600 m. Na severe na nich i na horninách bradlového pásma ležia miocénne sedimenty (íly, piesky, štrky, lignity) Oravskej kotliny. Fatrikum, na ktorom ležia menšie, či väčšie kryhy hronika, je v podloží terciérnych hornín rozšírené v celom území. Triasové vápence a dolomity (karbonáty) týchto tektonických jednotiek, či už v priamom podloží paleogénnych sedimentov, alebo v hlbšej geologickej stavbe, budujú

jednotlivé hydrogeotermálne štruktúry vymedzeného geotermálneho útvaru skorušinskej panvy.

Geotermálne vody sú viazané sú na triasové dolomity fatrika a hronika. Ich hrúbka sa pohybuje od 300 do 600 m, maximálna hĺbka ich uloženia je v sv. časti územia, a to -3 600 m. n. m. V závislosti od hĺbky uloženia kolektorov sa teplota geotermálnych vôd pohybuje v intervale 25 – 125 °C.

V tomto útvare sa nachádzajú otvorené štruktúry, ktoré majú infiltračnú, tranzitno-akumulačnú a výverovú oblasť a pravdepodobne i zatvorené štruktúry, ktoré majú len akumuláciu oblasť. V nich sú obnoviteľné a časovo a priestorovo obmedzené (neobnoviteľné) množstvá geotermálnych vôd, resp. geotermálnej energie. Sú tu vyčlenené **štyri hydrogeotermálne štruktúry** (Bajo et al., 1998, 2004).

Najperspektívnejšia a najrozsiahlejšia je **zábiedovská štruktúra** (otvorená štruktúra), ktorá je budovaná fatrikom a tvorí synklinálu s hĺbkou -1 400 až -3 600 m n. m. Teploty na povrchu karbonátov dosahujú 60 – 120 °C.

Na túto štruktúru nadväzuje **dolnokubínska štruktúra** (zatvorená štruktúra), ktorá tvorí hrast' a leží v strede panvy. Karbonáty sa v jej jz. časti sa nachádzajú v hĺbke 0 až -800 m n. m., teploty stúpajú od 30 do 45 °C, v sv. časti ležia karbonáty v hĺbke -600 až -1200 m n. m. a teploty dosahujú 40 – 55 °C.

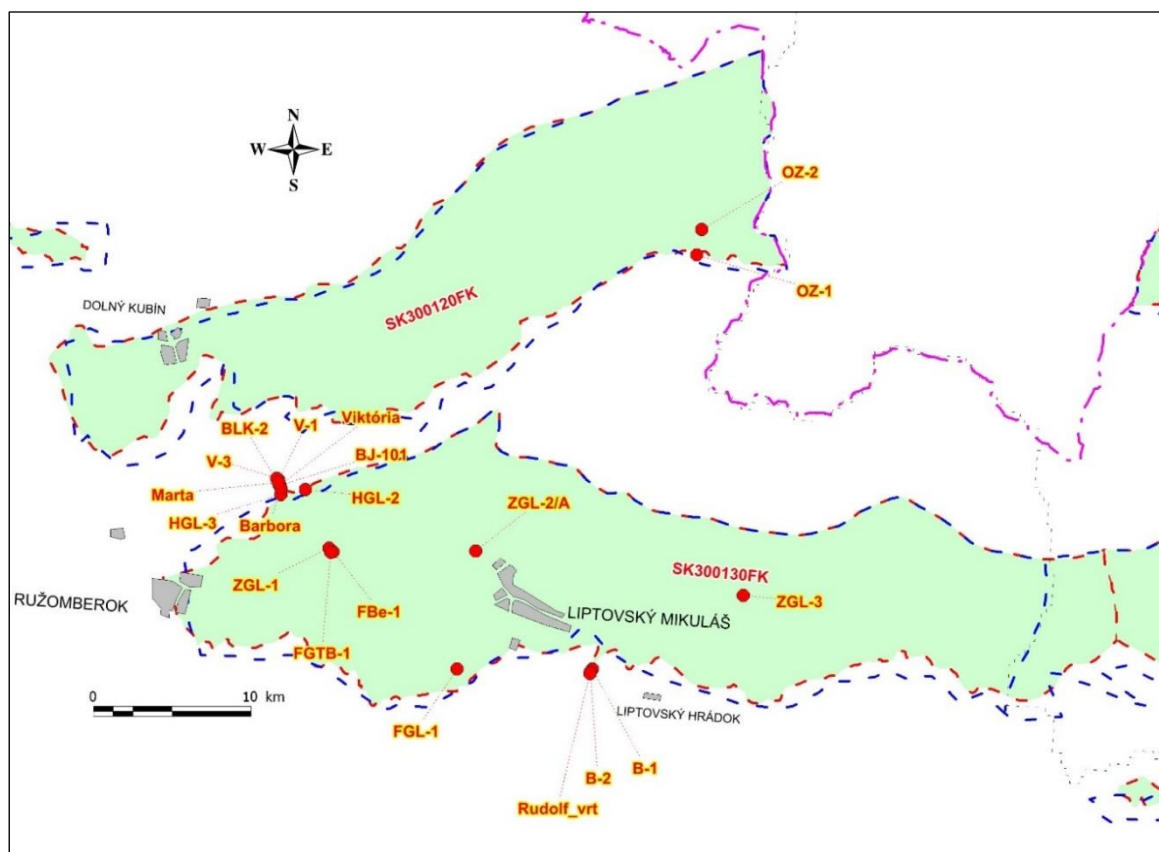
Veličnianska štruktúra sa nachádza zhruba medzi obcami Párnica a Oravská Poruba, triasové karbonáty sa tu nachádzajú v hĺbke -400 až -1 800 m n. m., teploty sa pohybujú od 35 do 70 °C. Vzhľadom na jej malú rozlohu a obmedzené dopĺňanie zo zrážok (zatvorená štruktúra) je málo perspektívna.

V triasových karbonátoch hronika je perspektívna **maloborovská štruktúra**, ktorá tvorí otvorenú hydrogeotermálnu štruktúru. Karbonáty sú tu uložené v hĺbke +800 až -600 m n. m., teplota na ich povrchu je 10 – 50 °C. Ďalšie trosky triasových karbonátov hronika z hľadiska existencie hydrogeotermálnych štruktúr sú viac-menej zanedbateľné.

Geotermálne vody v **Oraviciach** sú známe z prirodzených výverov a z vrtov. Triasové dolomity fatrika (790 – 1 601 m), boli overené geotermálnym vrtom **OZ-2 v Oraviciach**, hlbokým 1 601 m ($Q_{\text{preliv}} = 100 \text{ l.s}^{-1}$, teplota vody 56 °C; z dlhodobej čerpacej skúšky bolo modelovaním určené exploatačné množstvo 65 l.s^{-1}). Na tie isté kolektory sú viazané geotermálne vody v Oraviciach aj z prirodzených výverov a tiež aj z vrtu **OZ-1 Oravice** ($Q_{\text{preliv}} = 35 \text{ l.s}^{-1}$, teplota vody 28 °C). Geotermálne vody v Oraviciach (vrt OZ-2) sú v priamej hydraulikej závislosti s geotermálnymi vodami

na poľskej strane (**vrť PIG-1 Chocholow**), to znamená, že sa vzájomne ovplyvňujú (Bajo et al., 1998). Táto skutočnosť dokumentuje, že geotermálny útvar má cezhraničný charakter a malo by sa nato prihliadať pri rokovaniach s poľskou stranou v Slovensko-poľskej komisii pre hraničné vody pre monitorovanie kvantity a kvality podzemných vôd.

V skorušinskej panve realizované 2 geotermálne vrty OZ-1 a OZ-2 Oravice dosiahli hĺbku 600-1 601 m (obr. 5.12.1.1). Geotermálne vody boli v nich zachytené v hĺbkach 342 m a 1 565 m.



Obr. 5.12.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300120FK a zdroje geotermálnej vody

Pri výdatnosti prelivu na vrtoch $20,0 \text{ l.s}^{-1}$ a $100,0 \text{ l.s}^{-1}$ bola teplota vody na povrchu $28\text{--}56,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, s mineralizáciou vody $0,8\text{--}1,3 \text{ g.l}^{-1}$ a tepelným výkonom vrto $1,09\text{--}17,20 \text{ MW}_t$. Sumárna výdatnosť vrto tvorí **$120,0 \text{ l.s}^{-1}$** , čomu odpovedá tepelný výkon **$18,29 \text{ MW}_t$** .

Z chemického hľadiska pre triasové karbonáty fatrika sú charakteristické karbonátosulfatogénne vody s mineralizáciou $2,2\text{--}3,8 \text{ g.l}^{-1}$. Podobného chemického typu a mineralizácie budú aj geotermálne vody skorušinskej panvy, čo ukazuje aj chemické zloženie geotermálnej vody z vrto OZ-1 a OZ-2 v Oraviciach (vápenato-horečnato-

sulfátový typ s mineralizáciou 0,8 – 1,3 g.l⁻¹). Typické karbonátogénne vody sú viazané na triasové karbonáty hronika.

5.12.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Teplotné pole v útvare charakterizuje teplota, ktorá v hĺbke 1 000 m stúpa od JZ z 32 °C na SV na 38 °C, v hĺbke 2 000 m z 55 °C na 60 °C. Hĺbkové úrovne 3 000 a 4 000 m sú charakterizované relatívne monotónnym teplotným poľom s teplotami na úrovni 80 – 83 °C, resp. 106 – 108 °C. Teploty na báze paleogénnej výplne sa pohybujú v závislosti od jej hrúbky (0 – 3 400 m) v rozmedzí 10 – 95 °C s najvyššími hodnotami na severovýchodnej časti panvy. Triasové karbonáty fatrika, rozšírené v hĺbkach 300 – 4 400 m, majú rezervoárové teploty geotermálnych vôd v širokom rozsahu 20 – 120 °C.

Na väčšine územia sa hustota tepelného toku pohybuje v intervale 60 – 65 mW.m⁻², čím z hľadiska hustoty tepelného toku má skorušinská panva priemernú geotermálnu aktivitu. Nižšie hodnoty 55 – 60 mW.m⁻² sú v juhozápadnej časti; hodnoty nad 65 mW.m⁻² sú charakteristické pre severovýchodnú časť územia (Bajo et al., 1998).

5.12.3 Kvantitatívny stav útvaru

V útvare bol v roku 2011-2017 využívaný jeden geotermálny vrt **OZ-2 Oravice** pre potreby Aquaparku Oravice - Meander Thermal Park s celoročnou prevádzkou. V období 2011-2015 (Príloha č. 7, 8) bolo z vrtu priemerne ročne odoberané množstvo geotermálnej vody cca **37,5 tis. m³ (1,19 l.s⁻¹)**.

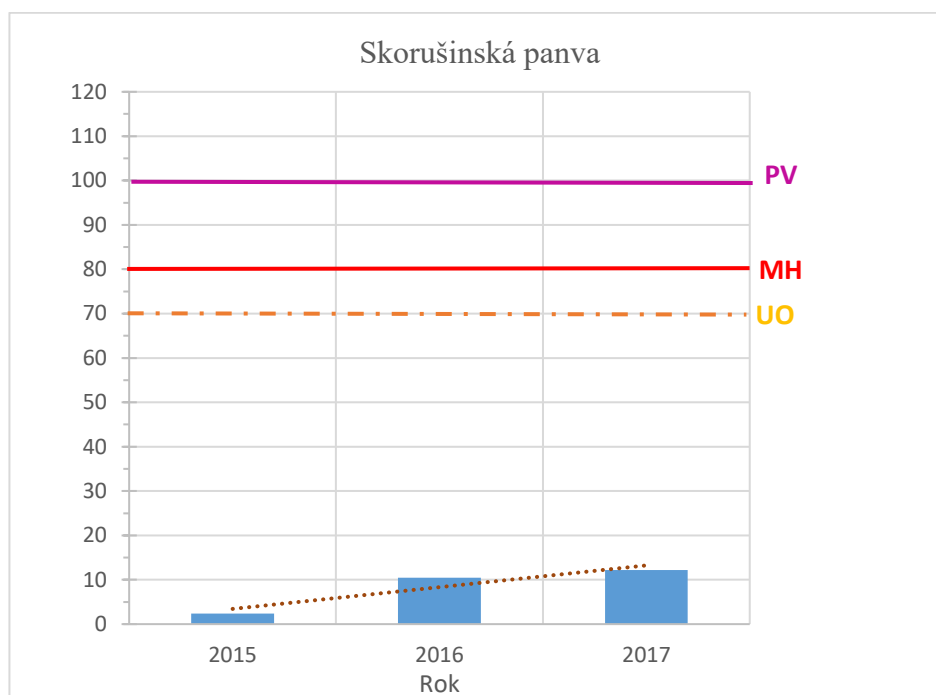
V období 2016-2017 však toto množstvo stúplo takmer 5-násobne, nakoľko vrt začal využívať ďalší subjekt v množstve cca **126 – 158 tis. m³ za rok (3,99 – 4,84 l.s⁻¹)**. Z útvaru bolo potom v období 2016-2017 prostredníctvom vrtu OZ-2 sumárne odobrané priemerné ročné množstvo cca **178,6 tis. m³ za rok (5,66 l.s⁻¹)**.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.12.3.1) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/2,38 %; 2016/10,45 %; 2017/12,18 %) na základe nízkej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1).

5.12.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300120FK boli realizované odbery vôd v období 2015 – 2017. Tento útvár patrí k tým 8 geotermálnym útvarom, u ktorých neboli k dispozícii

aktuálne chemické analýzy. Vzhľadom k uvedenej skutočnosti nebol pre tento útvar hodnotený chemický stav (tab. 6.2.1).



Obr. 5.12.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Skorušinskej kotliny

5.12.5 Množstvo geotermálnej energie a vôd

Hodnota merného tepelno-energetického potenciálu prírodného množstva geotermálnej energie pre hydrogeotermálne štruktúry fatrika sa pohybuje v rozmedzí od 0,5 do 9,0 GJ.m⁻². Maximálne hodnoty sú typické pre severovýchodnú časť zábiedovskej štruktúry v okolí Vitanovej. Merný tepelno-energetický potenciál prírodného množstva geotermálnej energie pre štruktúru hronika tu dosahuje 0,006-2,294 GJ.m⁻² s maximálnymi hodnotami (nad 2,0 GJ.m⁻²) pre okolie Malého Borového a v území medzi Chlebnicami a Veľkým Borovým, nižšie hodnoty sú charakteristické najmä pre okrajové časti štruktúr hronika.

Prírodné zdroje geotermálnej energie skorušinskej panvy predstavujú celkový tepelný výkon **24,0 MW_t** (Bajo et al., 1998, 2004), čomu odpovedá prognózne množstvo geotermálnych vôd **166 l.s⁻¹** pri nepretržitej eksploatacii s teplotou vody na ústí vrtov 35-60 °C.

Z toho 4,0 MW_t je viazaných na triasové karbonáty hronika (maloborovská štruktúra), čomu zodpovedá prognózne množstvo geotermálnych vôd 48 l.s⁻¹ s povrchovou

teplotou 35 °C (rezervoárová teplota 42 °C). Na triasové karbonáty fatrika (zábiedovská, dolnokubínska a veličnianska štruktúra) je viazaných 20 MW_t, čo zodpovedá množstvu geotermálnych vôd 118 l.s⁻¹ s teplotou 43-60 °C na ústí vrtu (rezervoárová teplota 50-67 °C).

Pri porovnaní vyššie uvedeného celkového prognózneho množstva geotermálnych vôd (166 l.s⁻¹), ako aj ich tepelného výkonu (24,0 MW_t) so zistenou sumárnou výdatnosťou vrtov (120,0 l.s⁻¹) s odpovedajúcim tepelným výkonom (18,29 MW_t) vidno, že v území skorušinskej panvy sú ešte rezervy na získanie, resp. overenie ďalších množstiev geotermálnych vôd a ich energie (46,0 l.s⁻¹, resp. 5,71 MW_t).

Skorušinská panva predstavuje útvar geotermálnych vôd s rezervoárom v prostredí strednotriasových karbonátov. Modelové riešenie odhaduje TTP = 51,1 MWth s pravdepodobnosťou overenia 95 %, so zastúpením R_{pb} = 32,8 MWth a R_{pv} = 18,3 MWth. Udržateľná kapacita P_{th(rcap=0,5)} = 16,4 MWth zodpovedá 99 % pravdepodobnosti overenia.

Vzťah parametrov produkcie P_{th} = 0,71 MWth a P_{th,inst} = 17,2 MWth voči energetickej bilancii následne udáva r_{cap(U)} = 0,98, r_{cap(U*)} = 0,47, r_{cap(S)} = 0,96 a r_{cap(S*)} = -0,05. Podľa toho pri zachovaní aktuálnej produkcie je možné dlhodobo produkovať geotermálnu energiu s nízkym rizikom depletácie a možnosťou rozvoja produkcie o P_{th(D)} = 15,7 MWth s nízkym rizikom pre energetickú bilanciu útvaru. Nakoľko P_{th(rcap=0,5)} < P_{th,inst}, pri maximálnej produkcii nie je možné uvažovať o ďalšom zvýšení tepelného výkonu útvaru a samotnú produkciu pre t_{prod} = 100 rokov je možné považovať za depletačnú – neudržateľnú. Perspektivita rozvoja produkcie v Skorušinskej panve a jej rozvoja je hodnotená ako limitovaná.

5.13 ÚTVAR SK300130FK - LIPTOVSKÁ KOTLINA

5.13.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Liptovská kotlina sa nachádza v severnej časti Slovenska. Jej územie má pretiahnutý tvar v smere západ-východ a rozprestiera sa medzi Ružomberkom a Važcom.

Predstavuje typickú vnútrohorskú depresiu, ktorú lemujú zo severnej strany pohoria Chočských vrchov a Vysokých Tatier a na južnej strane Nízke Tatry. Depresia je vyplnená paleogénnymi sedimentami, hrubými cca 100 (Bešeňová) až okolo 2 200 (2 300 m – Liptovská Mara). Paleogénne podložie má morfológicky členitý reliéf, jeho morfoštruktúry (elevácie a depresie) sú budované formáciami hlavne hronika (ivachnovská depresia, oblasť

Liptovskej Mary, Liptovský Mikuláš až po Važec) a fatrika (oblasť medzi bešeňovskou eleváciou a Liptovskou Marou, kokavská depresia).

V podloží paleogénnych sedimentov, resp. v hlbšej príkrovovej stavbe kotliny sú najrozšírenejšie hydrogeotermálne štruktúry, kde sú geotermálne vody viazané hlavne na triasové dolomity a vápence (ďalej karbonáty) hronika a fatrika. Ide hlavne o otvorené (majú infiltračnú, tranzitno-akumulačnú a výverovú oblasť) a polootvorené (chýba výverová oblasť) hydrogeotermálne štruktúry. Hrúbka triasových karbonátov ako kolektorov geotermálnych vôd sa pohybuje v rozsahu cca 300 – 1 200 m.

V hydrogeotermálnych štruktúrach hronika (ivachnovská depresia, depresia Liptovskej Mary, demänovská depresia, vavrišovsko-kokavská depresia, bielovážska depresia) sa v hĺbke 500 – 3 000 m vyskytujú vody s teplotou v intervale 20 – 90°C (Remšík et al., 1993, 1998). Chemické zloženie vôd reprezentuje Ca-Mg-HCO₃ ale aj Ca-Na-Mg-HCO₃-SO₄ typ s mineralizáciou 0,35 – 5,0 g.l⁻¹. Z plynov vody obsahujú hlavne CO₂, a to vo všetkých štruktúrach Liptovskej kotliny. Zo štruktúrneho hľadiska ide o polootvorené hydrogeotermálne štruktúry.

V hydrogeotermálnych štruktúrach fatrika (kokavská depresia, bešeňovská elevácia, štruktúry v oblasti depresie Liptovskej Mary a v oblasti ivachnovskej depresie) v hĺbke 900 – 3 500 m uvažujeme s výskytom vôd s teplotou 30 – 100°C. Chemické zloženie vôd predstavuje Ca-Mg-HCO₃-SO₄, resp. Ca-Mg-SO₄-HCO₃ typ s mineralizáciou okolo 3 – 5 g.l⁻¹. Z plynov dominuje CO₂, a to vo všetkých štruktúrach kotliny, môže sa vyskytnúť i H₂S. Ide o otvorené, resp. polootvorené hydrogeotermálne štruktúry.

Hydraulické parametre triasových karbonátov boli zisťované v hĺbkovom intervale 1 255 – 2 500 m. Priemerná hodnota koeficienta absolútnej prietochnosti kolíše v rozmedzí $T_p = 2,41 \cdot 10^{-12} - 1,05 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3$, koeficienta priepustnosti $k_p = 3,82 \cdot 10^{-14} - 9,05 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$, pričom najvyššie hodnoty patria kolektorom v kokavskej depresii (ZGL-3) a najnižšie kolektorom v demänovskej depresii a bešeňovskej elevácii.

Geotermálne vody v Liptovskej kotline sú známe z prirodzených prameňov i vrtov. Piezometrická úroveň geotermálnych vôd sa pohybuje v rozmedzí 591,6 m n. m. (oblasť Vyšného Sliača) až 690,8 m n. m. (oblasť Liptovskej Kokavy). Dominantný prvok, formujúci pravdepodobný smer prúdenia geotermálnych vôd (priemerná rýchlosť predstavuje 5,2 m.rok⁻¹), sa nachádza v SV časti Liptovskej kotliny. Bod evázie plynov u geotermálnych vôd, a to i v periférii kotliny (Lúčky, Liptovský Ján), ale mimo vrtu FGL-1 sa pohybuje v hĺbke od 50 m (BJ-101) do 225 m (ZGL-2/A).

V Liptovskej kotline bolo realizovaných 18 geotermálnych zdrojov, z toho 8 v kúpeľoch Lúčky a 10 geotermálnych vrtov mimo kúpeľov (**FGL-1 Pavčina Lehota, ZGL-1, FBe-1 a FGTB-1 Bešeňová, ZGL-3 Liptovská Kokava, ZGL-2/A Liptovský Trnovec, B-1, B-2, vrt Rudolf Liptovský Ján, HGL-2 Kalameny**), ktorých hĺbka je 1,3-2 500 m (obr. 5.12.1.1). Geotermálne vody boli v nich zachytené v hĺbkach 5 – 2 486 m, výdatnosť zdrojov predstavovala 0,5-32,0 l.s⁻¹ s teplotou vody na povrchu 22 – 66,0 °C, mineralizáciou vody 0,5-4,8 g.l⁻¹ a tepelným výkonom vrtov 0,03 – 6,83 MW_t (Príloha 1, 2, 3). Sumárna výdatnosť vrtov tvorí **243,83 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **29,69 MW_t**.

Termálna voda o teplote 27,5 – 29 °C na lokalite **Liptovský Ján** bola zachytená vo viacerých zdrojoch, ale najmä vrtmi **B-1, B-2 a Rudolf** o hĺbke 65 – 120 m. Z vrtu Rudolf sú v lete zásobované bazény na termálnom kúpalisku Termal Raj Liptovský Ján a celoročne vnútorný bazén hotela Sorea Máj Liptovský Ján.

Z hľadiska chemického zloženia možno geotermálne vody Liptovskej kotliny charakterizovať ako základného kalciovo-(magnéziovo)-hydrogénuhličitanového, kalciovo-sulfátového, prechodného A₂-S₂(SO₄) typu s rôzne výrazným zastúpením S₁(Cl) zložky a mineralizáciou 0,35 - 4,8 g.l⁻¹. Z genetického hľadiska sa jedná o vody s karbonátogénnou, sulfátogénnou, karbonáto-sulfátogénnou a zmiešanou mineralizáciou.

Na triasové karbonáty fatrika sú viazané geotermálne vody Ca(Mg)-HCO₃, Ca-SO₄ a prechodného A₂-S₂ (SO₄) typu s mineralizáciou 2,2 - 4,8 g.l⁻¹. Nachádzajú sa v Bešeňovej (ZGL-1), Lúčkach, Liptovskej Kokave (ZGL-3).

Triasové karbonáty hronika charakterizujú geotermálne vody Ca(Mg)-HCO₃ typu s rôznym zastúpením síranov a mineralizáciou 0,36 - 4,72 g.l⁻¹. Poznáme ich z Pavčinej Lehoty (vrt FGL-1), ale aj z Bešeňovej (BEH-1), Liptovskej Štiavnice (LŠH-1), Vyšného Sliača (VŠH-1), Liptovského Jána (B-2), Liptovského Trnovca (ZGL-2/A), tie však majú v sebe určitý podiel vôd, ktoré sa sformovali vo fatriku, pričom voda z vrtu ZGL-2/A obsahuje aj podiel Na-Cl (marinogénnej) zložky.

5.13.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Teplotné pole v Liptovskej kotline je značne variabilné. V kokavskej depresii a bešeňovskej elevácii je teplotné pole porušené konvektívnym prenosom tepla, teplota v hĺbke 1 000 m sa pohybuje v rozmedzí 29 až 46°C, v hĺbke 2 000 m 46 až 76°C. Priemerná hodnota geotermického gradientu v paleogénnych a mezozoických horninách pre vrty hlboké 2 000 – 2 500 m predstavuje 17,8 – 31,9°C.km⁻¹. Hustota zemského tepelného toku

sa pohybuje od 52,0 do 71,7 mW.m⁻². Hodnoty geotermického gradientu i tepelného toku rozdeľujú Liptovskú kotlinu na dve geotermicky rozdielne oblasti, a to západnú s vyššou geotermickou aktivitou a východnú s podstatne nižšou aktivitou.

5.13.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období 2011-2017 (Príloha č. 6) boli geotermálne vody z útvaru využívané na troch lokalitách – **Bešeňová (vrt ZGL-1 a vrt FGTB-1), Liptovský Trnovec – Ráztoky (vrt ZGL-2/A) a kúpele Lúčky (vrty – BJ-101, HGL-3).**

Na lokalite **Bešeňová** bol v období 2011 – 2015 zaznamenaný druhý najvyšší priemerný ročný odber na Slovensku (po lokalite Vrbov) - cca **1,26 mil. m³ (48 l.s⁻¹)**, ktorý v rokoch 2016-2017 mierne klesol na priemernú hodnotu cca **1,13 mil. m³ (42 l.s⁻¹)**. Geotermálna voda je celoročne využívaná pre Thermal Park Bešeňová.

Z lokality **Liptovský Trnovec (Ráztoky)** bol z vrtu **ZGL-2A** v období 2011 – 2015 zaznamenaný priemerný ročný odber cca **176 tis. m³ (5,6 l.s⁻¹)**, ktorý v rokoch 2016 – 2017 takmer 2-násobne stúpol na priemernú hodnotu cca **316 tis. m³ (10,0 l.s⁻¹)**. Termálna voda je celoročne využívaná pre potreby Aquaparku Tatralandia.

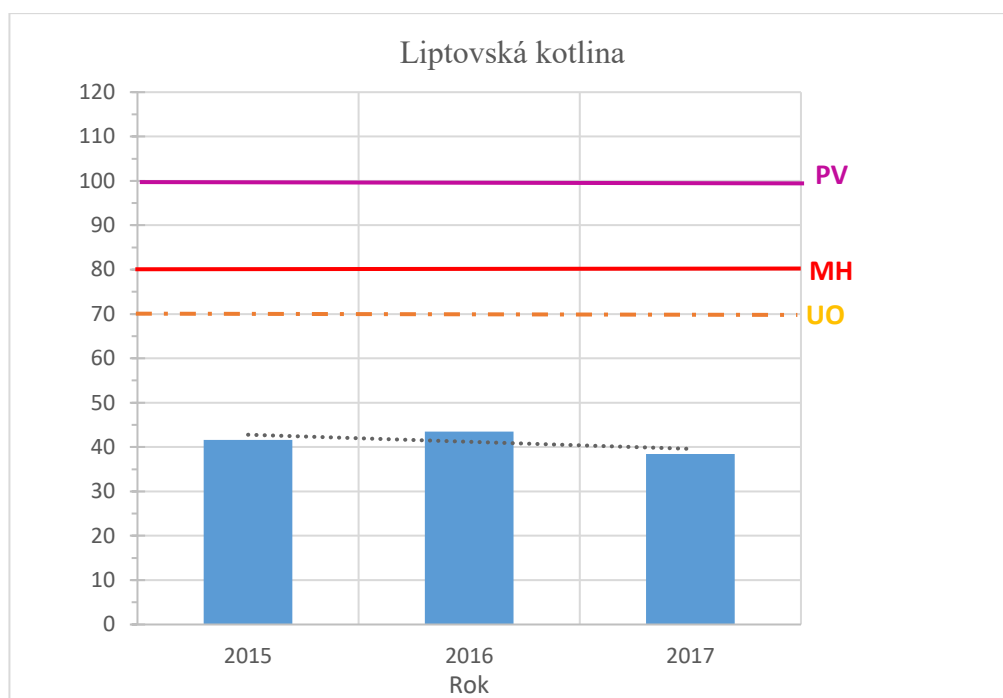
V kúpeľoch **Lúčky** bol v období 2011-2015 zaznamenaný priemerný ročný odber cca **212 tis. m³ (6,7 l.s⁻¹)**, ktorý v rokoch 2016-2017 mierne stúpol na priemernú hodnotu cca **220 tis. m³ (7,0 l.s⁻¹)**.

Na lokalite **Liptovský Ján** neboli dostupné údaje o odberných množstvách, takže sa domnievame, že odoberané množstvo vody nepresiahlo hodnotu 1 250 m³ mesačne.

Z útvaru bolo v období 2011-2015 (Príloha č. 7, 8) sumárne odobrané priemerné ročné množstvo cca **1,652 mil. m³ (51,6 l.s⁻¹)**, ktoré v rokoch 2016-2017 stúplo na priemernú hodnotu cca **1,665 mil. m³ (58,9 l.s⁻¹)**.

Z uvedeného je zrejmé, že z útvaru SK300130FK Liptovská kotlina (LiK) bolo v sledovanom období odoberané tretie najväčšie množstvo geotermálnej vody na Slovensku po útvare CDPP a útvare Levočská panva – z. a j. časť.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.13.3.1) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/41,63 %; 2016/43,50 %; 2017/38,44 %) na základe strednej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1). V období rokov 2015-2017 (Príloha č. 12) bol 2-krát dokumentovaný kritický stav na zdroji ZGL-1 Bešeňová (tab. 6.1.2). V prípade vrtov ZGL-1 išlo o zlý manažment odberu vôd v rámci zdrojov aquaparku.



Obr. 5.13.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Liptovskej kotliny

5.13.4 Chemický stav útvaru

Hodnotenie chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300130FK bolo realizované na základe metódy medzikvartilového rozpätia (IQR) a trendu časového vývoja chemického zloženia geotermálnej vody na 2 vrtoch v Lúčkach (BJ-101 Valentína, HGL-3).

V prípade hodnotených vrtov boli k dispozícii údaje z dvoch časových období – staršie analýzy z rokov 1967 (BJ-101 Valentína) a 1997 (HGL-3), resp. analýzy z obdobia rokov 2016 až 2019 (obr. 5.13.4.1 až 5.13.4.4).

Vo vzorke zo zdroja BJ-101 Valentína odobranej 16.3.1967 bola zistená odľahlá hodnota/koncentrácia pre celkovú mineralizáciu ($2673,1 \text{ mg.l}^{-1}$) a SO_4^{2-} ($1098,7 \text{ mg.l}^{-1}$) (obr. 5.13.4.1). Ako naznačujú ostatné grafy na obr. 5.13.4.1 a obr. 5.13.4.2, v najviac prípadoch boli zistené odľahlé merania (mimo 1,5 násobku medzikvartilového rozpätia) vo vzorke odobratej dňa 27.6.2019 (Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-}). Hodnoty/obsahy uvedených ukazovateľov sa teda v súbore údajov vyznačujú určitou variabilitou, rozdiely medzi minimálnou a maximálnou hodnotou sú v prípade Na^+ $11,4 \text{ mg.l}^{-1}$, Cl^- $4,2 \text{ mg.l}^{-1}$ a SO_4^{2-} $191,3 \text{ mg.l}^{-1}$. Aj rozpätie hodnôt celkovej mineralizácie a koncentrácií HCO_3^- je pomerne výrazné ($312,48 \text{ mg.l}^{-1}$ pre mineralizáciu, resp. 107 mg.l^{-1} pre HCO_3^-). Aj napriek uvedenému sa domnievame, že zistená variabilita koncentrácií viacerých hodnotených

ukazovateľov v podzemnej vode tohto zdroja odráža prirodzený režim tvorby chemického zloženia v hydrogeologickej štruktúre, resp. môže tiež súvisieť so spôsobom exploatacie zdroja.

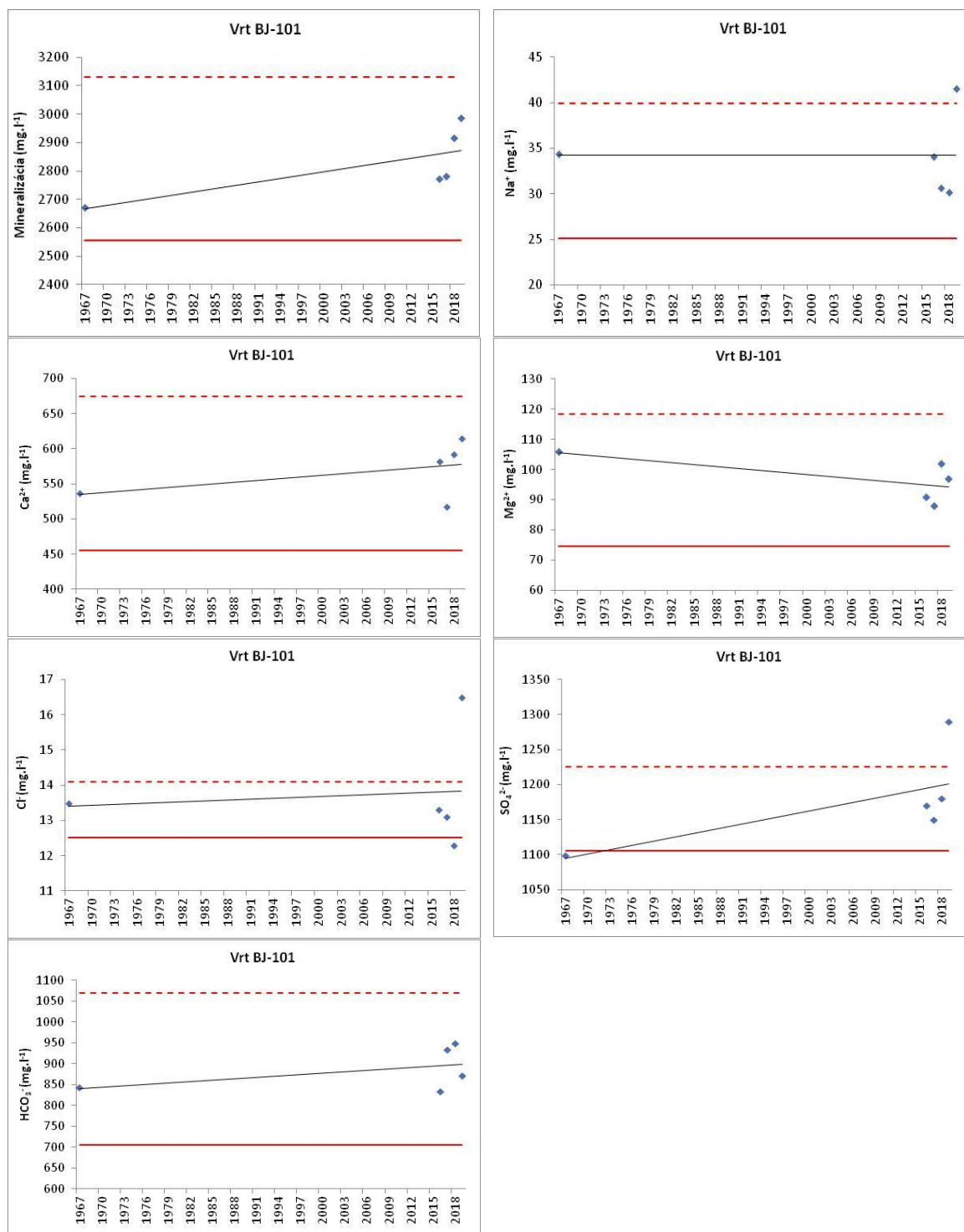
Vo vzorke z vrtu HGL-3 odobratej dňa 18.6.1997 boli zistené odľahlé hodnoty/koncentrácie pre viaceré parametre – mineralizácia ($2914,32 \text{ mg.l}^{-1}$), Na^+ ($56,0 \text{ mg.l}^{-1}$), Mg^{2+} ($116,79 \text{ mg.l}^{-1}$), Cl^- ($33,68 \text{ mg.l}^{-1}$) a HCO_3^- ($967,14 \text{ mg.l}^{-1}$) (obr. 5.13.4.3). Ako však naznačujú grafy na obr. 5.13.4.4, v rokoch 2016 až 2019 boli zaznamenané stabilné koncentrácie väčšiny ukazovateľov. Výnimkou je posledná analýza vzorky odobratej dňa 18.11.2019, v ktorej boli zistené hodnota/obsahy celkovej mineralizácie, Cl^- a SO_4^{2-} mimo oblasti 1,5 násobku medzikvartilového rozpätia. Rozdiely medzi minimálnou a maximálnou hodnotou sú v prípade celkovej mineralizácie $433,44 \text{ mg.l}^{-1}$, Cl^- $19,88 \text{ mg.l}^{-1}$ a SO_4^{2-} 150 mg.l^{-1} . Aj rozpätie koncentrácií HCO_3^- je pomerne výrazné ($159,14 \text{ mg.l}^{-1}$). Zistená variabilita koncentrácií viacerých hodnotených ukazovateľov v podzemnej vode tohto zdroja odráža prirodzený režim tvorby chemického zloženia v hydrogeologickej štruktúre, resp. môže tiež súvisieť so spôsobom exploatacie zdroja.

Geotermálny útvar SK300130FK hodnotíme z pohľadu chemického stavu v dobrom stave a z pohľadu spoľahlivosti hodnotenia chemického stavu je to nízka miera spoľahlivosti (1).

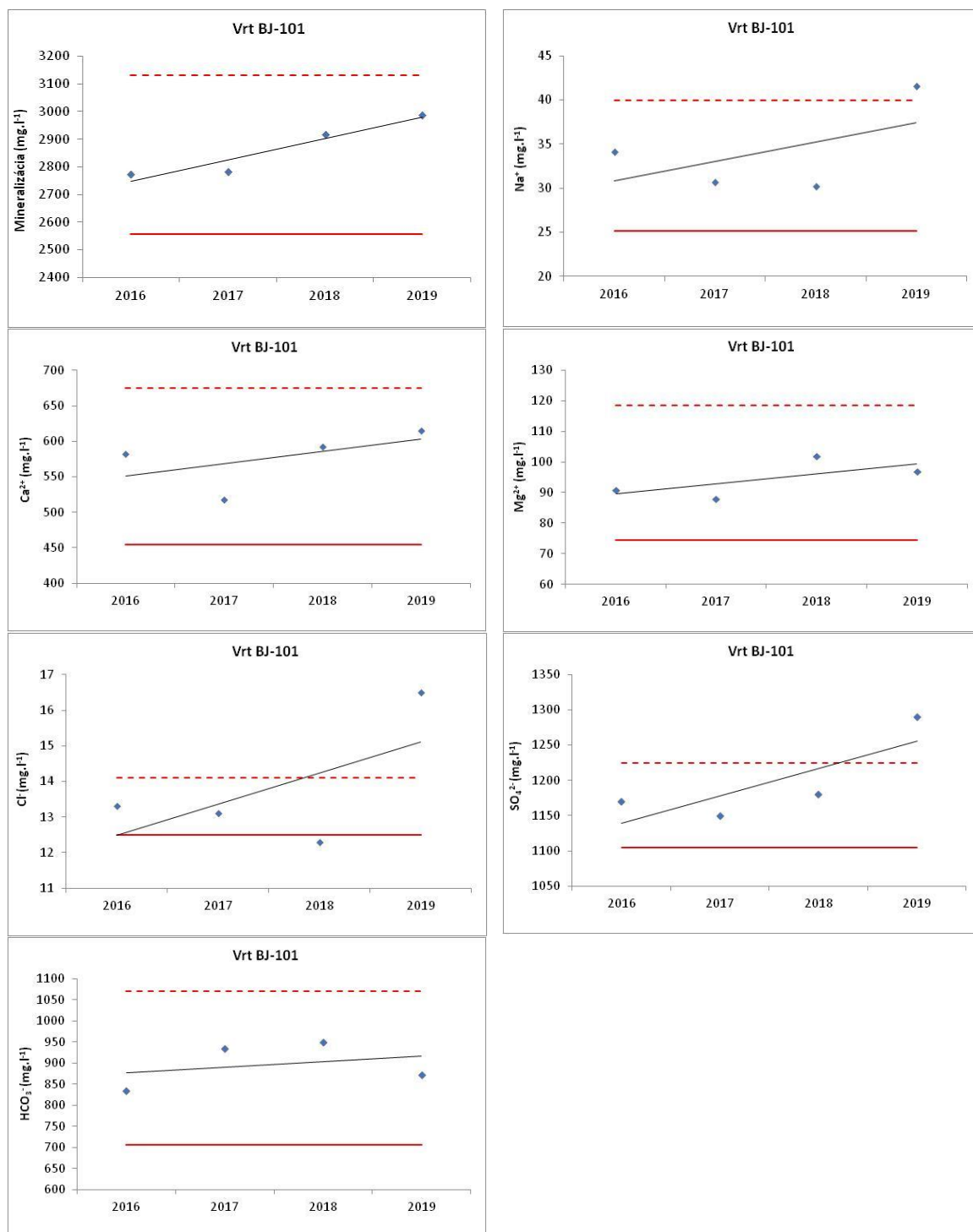
5.13.5 Množstvo geotermálnej energie a vôd

Merný tepelno-energetický potenciál prírodného množstva geotermálnej energie pre hydrogeotermálne štruktúry hronika sa pohybuje v rozmedzí $0,5 - 6,0 \text{ GJ.m}^{-2}$. Maximálne hodnoty charakterizujú centrum depresnej štruktúry Liptovskej Mary, ktorá sa rozprestiera v strednej časti Liptovskej kotliny, minimálne hodnoty patria okrajovým častiam štruktúr hronika. Vyššie hodnoty merného tepelno-energetického potenciálu prírodného množstva geotermálnej energie charakterizujú hydrogeotermálne štruktúry fatrika a pohybujú sa v rozmedzí $0,5-7,0 \text{ GJ.m}^{-2}$. Maximálne hodnoty sú typické tiež pre depresné štruktúry (najmä štruktúra Liptovskej Mary), hodnoty postupne klesajú smerom k okrajom kotliny, minimálnu hodnotu dosahujú v severovýchodnej časti kotliny.

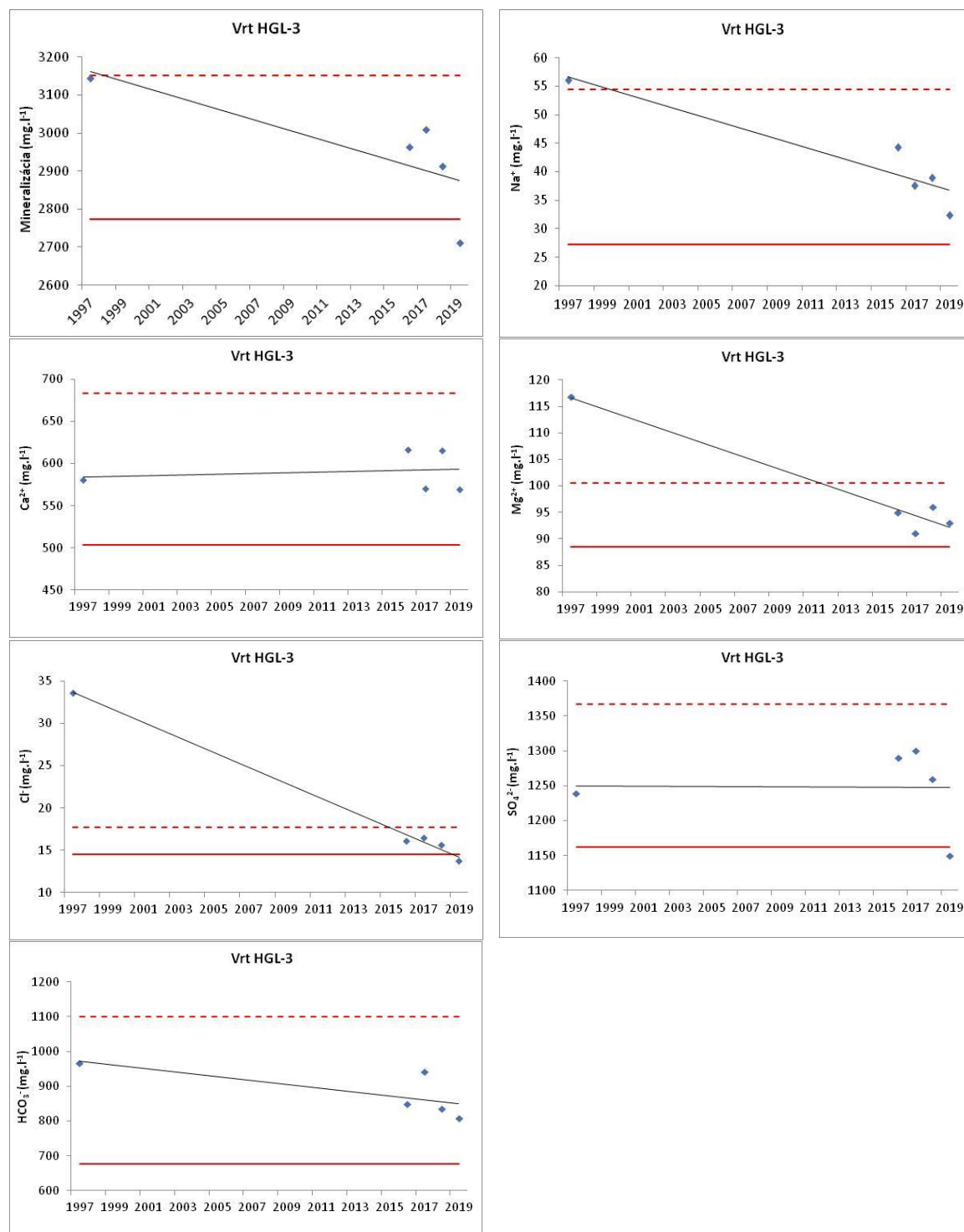
Celkové prírodné množstvo geotermálnych vôd Liptovskej kotliny predstavuje **248 l.s^{-1}** , čo zodpovedá celkovému množstvu tepelnej energie **$34,589 \text{ MWt}$** (Remšík et al.,



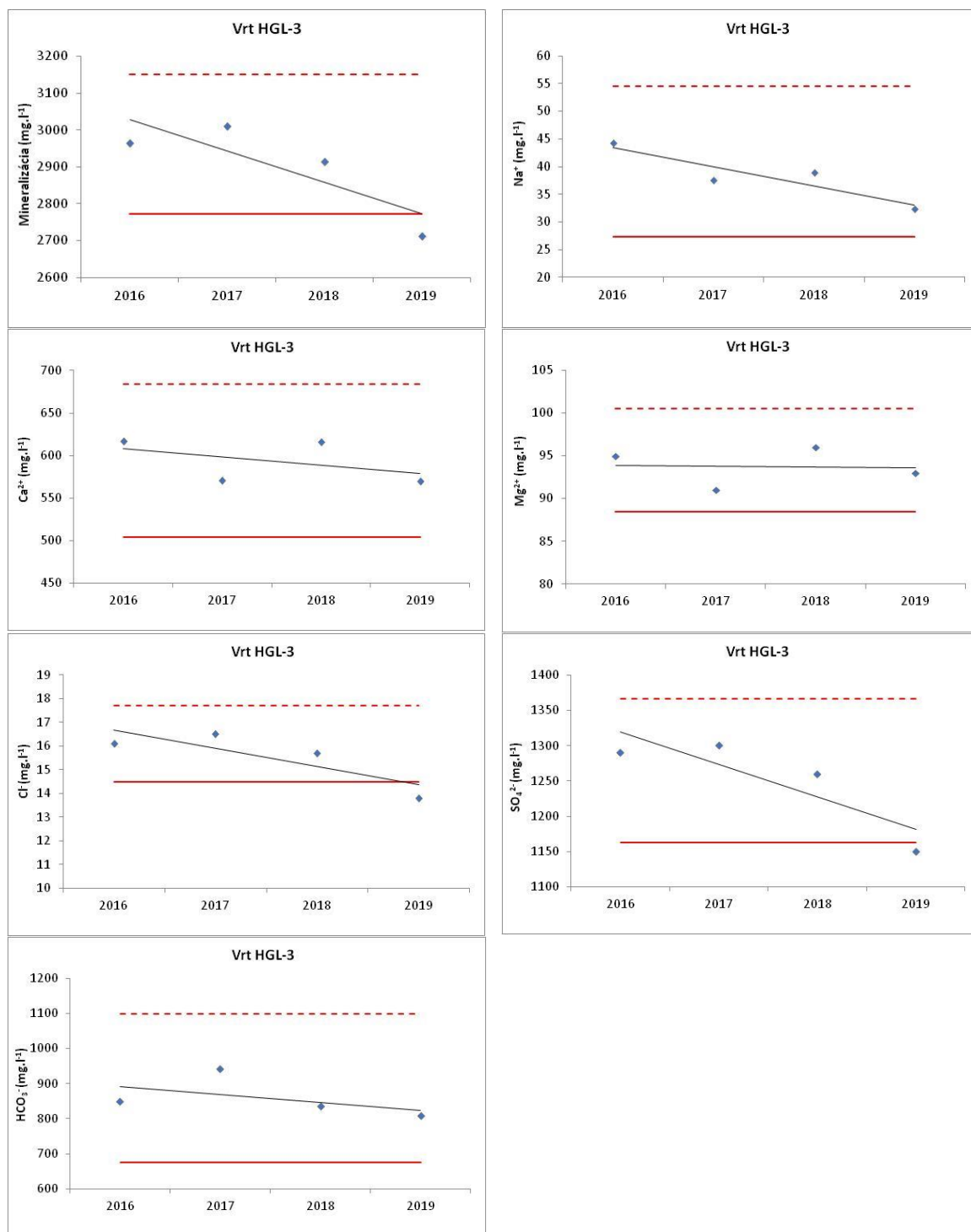
Obr. 5.13.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BJ-101 Valentína



Obr. 5.13.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu BJ-101 Valentína – len roky 2016 až 2019



Obr. 5.13.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu HGL-3



Obr. 5.13.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu HGL-3 3 – len roky 2016 až 2019

1998, Fendek a Remšík, 2005). Toto množstvo je v pomerne dobrej zhode s výsledkami geotermickej bilancie (30,103 MWt).

Pri porovnaní vyššie uvedeného celkového množstva geotermálnych vôd (248 l.s^{-1}), ako aj ich tepelného výkonu ($34,589 \text{ MWt}$) so zistenou sumárnou výdatnosťou vrto (243,83 l.s^{-1}) s odpovedajúcim tepelným výkonom (29,69 MWt) vidno, že v území Liptovskej kotliny sú už len malé rezervy na získanie, resp. overenie ďalších množstiev geotermálnych vôd a ich energie ($4,17 \text{ l.s}^{-1}$, resp. $4,899 \text{ MWt}$).

Liptovská kotlina je útvárom s primárnymi rezervoármi v strednotriasových karbonátoch. Z bilančného modelu odhadu zdrojov a zásob GTE vyplýva $R_{pv} = 26,3 \text{ MWth}$ a $R_{pb} = 53,1 \text{ MWth}$ resp. $TTP = 79,4 \text{ MWth}$, a následne $P_{th(r_{cap}=0,5)} = 26,5 \text{ MWth}$. Pravdepodobnosť overenia TTP a udržateľnej kapacity dosahuje 71 % respektíve 92 %.

Produkciu geotermálnej energie a jej možnosti definuje aktuálny $P_{th} = 7,63 \text{ MWth}$ a inštalovaný výkon $P_{th,inst} = 20,1 \text{ MWth}$ lokalít. Pri zohľadnení energetickej bilancie útvaru je produkciu pri súčasnom aj maximálnom výkone možné klasifikovať ako udržateľnú s minimálnym rizikom depletácie ($r_{cap(U)} = 0,86$, $r_{cap(U^*)} = 0,62$). Zároveň je v oboch variantách možné rozvíjať produkciu geotermálnej energie ($r_{cap(S)} = 0,71$ a $r_{cap(S^*)} = -0,24$) na úrovni $P_{th(D)} = 18,9 \text{ MWth}$ respektíve $P_{th(D^*)} = 6,4 \text{ MWth}$. Z pohľadu dlhodobej produkcie a rozvoja je útvár možné hodnotiť ako perspektívny.

5.14 ÚTVAR SK300140FK - LEVOČSKÁ PANVA, ZÁPADNÁ A JUŽNÁ ČASŤ

5.14.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Levočská panva sa nachádza v severovýchodnej časti Slovenska. Jej územie zo severovýchodu ohraničuje bradlové pásmo, na západe Tatry, na juhu v hrubých rysoch Spišsko-gemerské rudohorie a na východe Košická kotlina. Územie levočskej panvy zaberá Spišskú Maguru, Popradskú kotlinu, Hornádsku kotlinu, Levočské vrchy, Bachureň, Spišsko-šarišské medzihorie a Šarišskú vrchovinu.

Výplň panvy tvoria paleogénne sedimenty podtatranskej skupiny s hrúbkou až do cca 4000 m, z podložia ktorých vystupuje na severe územia ružbašský ostrov a na juhu územia hrast' pohoria Braniska. Podložie paleogénnych sedimentov má morfológicky členitý reliéf so zložitou geologickou stavbou, na ktorej sa podieľajú všetky hlavné tektonické jednotky vnútorných Západných Karpát, resp. okolitých pohorí, obmedzujúcich územie panvy. Najrozšírenejšie z nich sú formácie fatrika a hronika, budované vrchnopaleozoicko-mezozoickými horninami.

V rámci levočskej panvy sú podobne ako pri komárňanskej kryhe vymedzené dva samostatné geotermálne útvary a to:

- **Útvar SK300140FK - Levočská panva, západná a južná časť** (Spišská Magura, západná časť Levočských vrchov, Popradská kotlina, Hornádska kotlina, Šarišská vrchovina),
- **Útvar SK300150FK - Levočská panva – severovýchodná časť** (Levočské vrchy Bachureň, Spišsko-šarišské medzihorie).

Geotermálne vody v obidvoch útvaroch sa viažu hlavne na triasové vápence a dolomity hronika a fatrika v priamom podloží paleogénnych sedimentov, alebo v ich hlbšej geologickej stavbe, ako aj na bazálne paleogénne zlepenice, brekcie a pieskovce, ak tieto ležia priamo na triasových karbonátoch tektonických jednotiek.

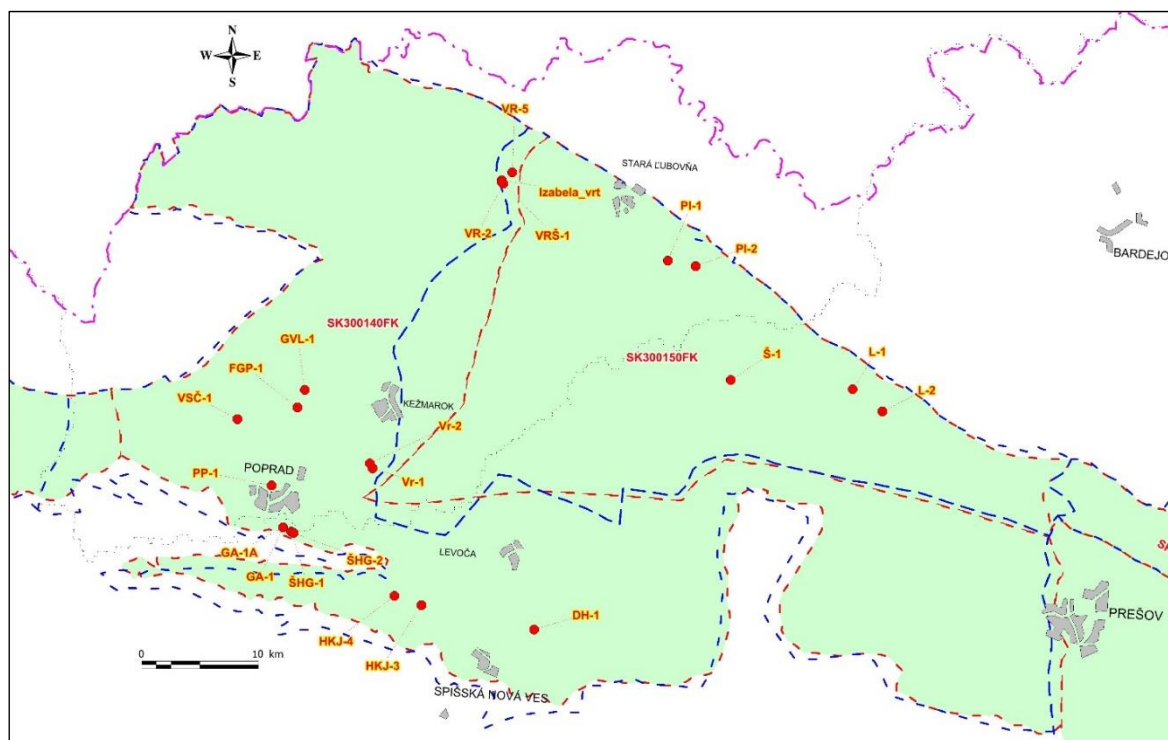
Útvar SK300140FK - Levočská panva, západná a južná časť charakterizujú obnovované množstvá geotermálnych vôd, resp. geotermálnej energie. Vyplýva to z existencie otvorených a polootvorených hydrogeotermálnych štruktúr. Geotermálne vody sú tu známe z prirodzených prameňov (napr. **Gánovce, Vyšné Ružbachy**) i z vrtov a viazané sú v južnej časti na triasové vápence a dolomity hronika (**Gánovce, Vrbov, Poprad, Stará Lesná a pod.**), v **Arnutovciach a Letanovciach** na vernársky príkrov (Jetel et al., 1990) a v severnej časti územia na fatrikum (Vyšné Ružbachy).

V tomto útvare bolo realizovaných mimo kúpeľných vrtov vo **Vyšných Ružbachoch** 9 vrtov na ôsmich lokalitách. Ide o vrty **Vr-1, Vr-2 Vrbov, PP-1 Poprad, GVL-1 Veľká Lomnica, VSČ-1 Veľký Slavkov, FGP-1 Stará Lesná, HKJ-3 Arnutovce, HKJ-4 Letanovce a DH-1 Danišovce** (obr. 5.14.1.1). Hĺbka vrtov bola 607 – 3 616 m. Geotermálne vody boli v nich zachytené v hĺbkach 408 – 2 353 m, výdatnosť vrtov predstavovala 8,0-61,2 l.s⁻¹ s teplotou vody na povrchu 25 – 62,0 °C, mineralizáciou vody 0,6-4,0 g.l⁻¹ a tepelným výkonom vrtov 0,33-6,88 MWt.

Vo **Vyšných Ružbachoch** boli realizované 4 geotermálne vrty (**vrt Izabela, vrt VR-2 Pri Pošte, vrt VR-5 a VRŠ-1**). Ich hĺbka je 200 až 1200 m. Geotermálna voda bola zachytená v úrovni 73 – 1200 m, výdatnosť vrtov bola 0,57 – 75,0 l.s⁻¹ s teplotou vody na povrchu 20 – 24 °C, s mineralizáciou vody 2,74 – 3,57 g.l⁻¹ a tepelným výkonom vrtov 0,01-1,64 MWt.

Sumárna overená výdatnosť vrtov v predmetnom útvare je **320,62 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **36,95 MWt**.

Regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie bolo realizované iba v Popradskej kotline, ktorá je súčasťou geotermálneho útvaru levočská panva – západná a južná časť.



Obr. 5.14.1.1 Vymedzenie geotermálnych útvarov podzemnej vody SK300140FK, SK300150FK a zdroje geotermálnej vody

Popradská kotlina sa rozkladá v juhozápadnej časti levočskej panvy, kde nadväzuje na Liptovskú kotlinu. Paleogénnu výplň kotliny tvoria bazálne (karbonatické brekcie) a flyšoidné sedimenty (ílovce, siltovce, pieskovce), ktorých hrúbka môže dosahovať až 2800 m. V južnej časti Popradskej kotliny leží nezvrásnený paleogén transgresívne na svojom podloží, v severnej časti je jeho styk s podložíom tektonický. Báza paleogénu je v južnej časti neoddeliteľnou súčasťou svojho podložia. V severnej časti kotliny tektonický kontakt paleogénu s podložíom často netvoria bazálne sedimenty paleogénu, ale priamo zvrásnené flyšové sekvencie. Na kontakte sú časté aj hrubé polohy interformačných zlepenčov.

Reliéf predpaleogénneho podložia Popradskej kotliny pozvoľna klesá z juh-juhozápadu na sever-severovýchod. Na takomto klesajúcom reliéfe, ktorý je budovaný prevažne fatrikom, sa zachovali trosky hronika. V južnej časti kotliny, najmä na jej južnom okraji, vystupujú v Kozích chrbtoch na povrch karbonáty ale aj vulkanity hronika. Od spojnice Kežmarok – Tatranská Lomnica až po bradlové pásmo pod flyšovou akumuláciou sú uložené sedimenty fatrika. Jeho stratigrafický obsah má variabilný charakter. V miestach kde je vrtom overené fatrikum priamo pod hronikom (vrt Vr-2 Vrbov, FGP-1 Stará Lesná), jeho najmladšie sedimenty začínajú titón-neokómskymi slieňitými vápencami.

Kolektory geotermálnych vôd v predterciálnom podloží tvoria triasové karbonáty hronika a fatrika. V centre Popradskej kotliny dosahujú hrúbky kolektorov hronika 200 – 1 100 m. Neobyčajne veľké hrúbky 1 200 – 2 000 m dosahuje hronikum v oblasti východne a juhovýchodne od vrbovského zlomu pri prechode do Levočských vrchov (Daniel et al., 1998).

Vrty HV-3, Vr-1 a Vr-2 (r. 1980 – 1989) boli prvými hlbokými geotermálnymi vrtmi v Popradskej kotline, ktoré zistili geotermálne vody. Kolektorom geotermálnych vôd sú čiastočne karbonatické brekcie bazálnej litofácie paleogénu, hlavne však silne porušené triasové dolomity hronika. Výdatnosť vrtov pri krátkodobých hydrodynamických skúškach sa pohybovala v intervale 28 – 32 l.s⁻¹ vody s teplotou na ústí vrtu 56 – 59 °C s obsahom CO₂ do 1,2 g.l⁻¹. Hydraulické vlastnosti kolektorov geotermálnych vôd v oblasti Vrbova charakterizuje koeficient absolútnej prietochnosti 3,085.10⁻¹¹ m³, koeficient prietochnosti 6,376.10⁻⁴ m².s⁻¹, koeficient priepustnosti 4,086.10⁻¹³ m² a koeficient filtrácie 8,446.10⁻⁶ m.s⁻¹ (Fendek et al., 1992).

V r. 1995 k týmto vrtom pribudol vrt PP-1 v Poprade s výdatnosťou 55 l.s⁻¹ vody s teplotou na ústí vrtu 48 °C. Posledným realizovaným geotermálnym vrtom v Popradskej kotline bol vrt FGP-1 v Starej Lesnej (r. 1996) s výdatnosťou 22,2 l.s⁻¹ vody s teplotou na ústí vrtu 58 °C a obsahom CO₂ okolo 1 g.l⁻¹. Kolektory geotermálnych vôd sú tiež bazálne zlepence paleogénu (borovské súvrstvie) a triasové karbonáty hronika. Hydraulické vlastnosti kolektorov geotermálnych vôd v oblasti Starej Lesnej charakterizuje koeficient absolútnej prietochnosti 2,696.10⁻¹¹ m³, koeficient prietochnosti 5,406.10⁻⁴ m².s⁻¹, koeficient priepustnosti 5,392.10⁻¹³ m² a koeficient filtrácie 1,081.10⁻⁵ m.s⁻¹ (Daniel et al., 1998).

Chemické zloženie geotermálnych vôd z vrtov HV-3, Vr-1, Vr-2, FGP-1, PP-1 a ďalších reprezentuje Ca-Mg-HCO₃, resp. Ca-Mg-HCO₃-SO₄ typ vôd s mineralizáciou 1,7 – 3,9 g.l⁻¹ a prevládajúcim obsahom CO₂. Z genetického hľadiska ide najmä o karbonátogénne, resp. karbonáto-sulfátogénne vody (Daniel et al., 1998).

5.14.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Teplotné i tepelné pole levočskej panvy má podobný obraz. Teplota v hĺbke 1 000 m dosahuje okolo 35 – 40 °C, v hĺbke 2 000 m 55 – 65 °C a v hĺbke 3 000 m 80 – 90 °C. Hustota zemského tepelného toku sa pohybuje v rozmedzí 62 – 77 mW.m⁻². Hodnoty teploty a hustoty tepelného toku stúpajú od okraja smerom do jej depresných častí a tiež narastajú v území východne od Braniska smerom ku Košickej kotline (Franko et al., 1995).

Geotermické pomery vo vertikálnom smere sú stabilné v rámci jednotlivých litostratigrafických celkov a tektonických jednotiek, pričom geotermické gradienty sú v sedimentárnom komplexe vnútrokarpatského paleogénu vyššie, ako v jeho podloží, budovanom mezozoickými príkrovmi. Plošné rozloženie geotermického poľa v hĺbkových úrovniach ukazuje na pokles teplotnej aktivity smerom z juhu na sever a z juhovýchodu na severozápad. Teploty na predpaleogénnom podloží Popradskej kotliny dosahujú 50 – 85 °C. V Popradskej kotline je priemerná hodnota teplotného gradientu 32,6 – 34,5 C/km. Priemerný teplotný gradient vypočítaný z údajov získaných vrtom FGP-1 pre paleogénne sedimenty je 34,5 °C.km⁻¹, pre mezozoické sedimenty hronika 21,9 °C.km⁻¹, pre sedimenty fatrika 24,6 °C.km⁻¹ a sedimenty obalovej jednotky tatrika 25,2 °C.km⁻¹. Hustota tepelného toku sa v Popradskej kotline pohybuje v intervale 60 – 70 mW.m⁻² (Daniel et al., 1998).

5.14.3 Kvantitatívny stav útvaru

Útvar SK300140FK - Levočská panva, západná a južná časť je čo do množstva odberu geotermálnej vody najviac využívaný geotermálny útvar na Slovensku.

V období 2011-2017 bola geotermálna voda odoberaná zo štyroch „nekúpeľných“ vrtov na lokalite **Vrbov, Poprad a Veľká Lomnica** a z jedného vrtu v kúpeľoch **Vyšné Ružbachy**.

V rokoch 2011-2015 dosiahol odber z útvaru priemerne cca **2,378 mil. m³ za rok** (cca 74,8 l.s⁻¹), v období 2016-2017 tento odber vzrástol na hodnotu cca **2,453 mil. m³ za rok** (cca 77,7 l.s⁻¹).

Najviac využívaným vrtom s najväčším odberom bol v sledovanom období vrt **PP-1 Poprad**, z ktorého bolo v rokoch 2011-2015 v priemere za rok odobraných cca **857 tis. m³** (cca 27,2 l.s⁻¹). V rokoch 2016-2017 tento odber mierne stúpol na hodnotu cca **906 tis. m³** (cca 28,7 l.s⁻¹). Termálna voda je celoročne využívaná pre potreby zariadenia AquaCity Poprad.

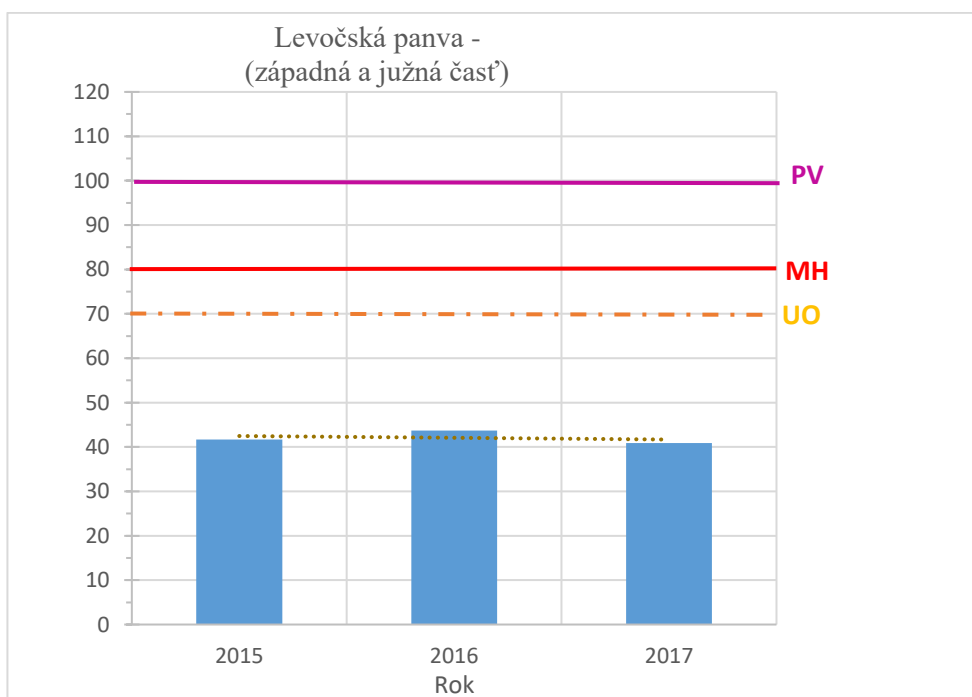
Na lokalite **Vrbov** sú takmer vyrovnané využívané vrty **Vr-1** a **Vr-2**. V období 2011-2015 bolo z každého odoberané v priemere za rok cca **705 a 711 tis. m³** (cca 22,37 a 22,56 l.s⁻¹). V rokoch 2016-2017 tento odber mierne stúpol na hodnoty cca **724 a 719 tis. m³** (cca 22,93 a 22,79 l.s⁻¹). Termálna voda je celoročne využívaná pre potreby zariadenia Thermal Park Vrbov.

Najnižšie odbery v sledovanom období boli realizované z vrtu **GVL-1 Veľká Lomnica**. V období 2011-2015 bolo z vrtu odoberané v priemere za rok **45,4 tis. m³**

(**1,44 l.s⁻¹**). V rokoch 2016-2017 priemerný ročný odber klesol na hodnotu a **28,3 tis. m³ (0,9 l.s⁻¹)**. Termálna voda je sezónne využívaná pre potreby letného Aquafun Parku Veľká Lomnica, ktorý je súčasťou zariadenia Tatragolf Mountain Resort.

V kúpeľoch **Vyšné Ružbachy** bol v rokoch 2011-2017 využívaný **vrt Izabela** s priemernými ročnými odbernými množstvami za obdobie 2011-2015 v hodnote **58 tis. m³ (1,84 l.s⁻¹)**. V období rokov 2016-2017 tento odber stúpol takmer o 30% na priemernú hodnotu **74,8 tis. m³ (2,37 l.s⁻¹)**.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.14.3.1) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/41,65 %; 2016/43,72 %; 2017/40,85 %) na základe strednej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1). Počas obdobia rokov 2015-2017 (príl. č. 12) bol trvalo dokumentovaný havarijný stav na zdroji Vr-1 Vrbov (tab. 6.1.2). V prípade vrtu Vr-1 pretrváva nesprávny manažment odberu vôd v rámci zdrojov aquaparku.



Obr. 5.14.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) levočskej panvy - západná a južná časť

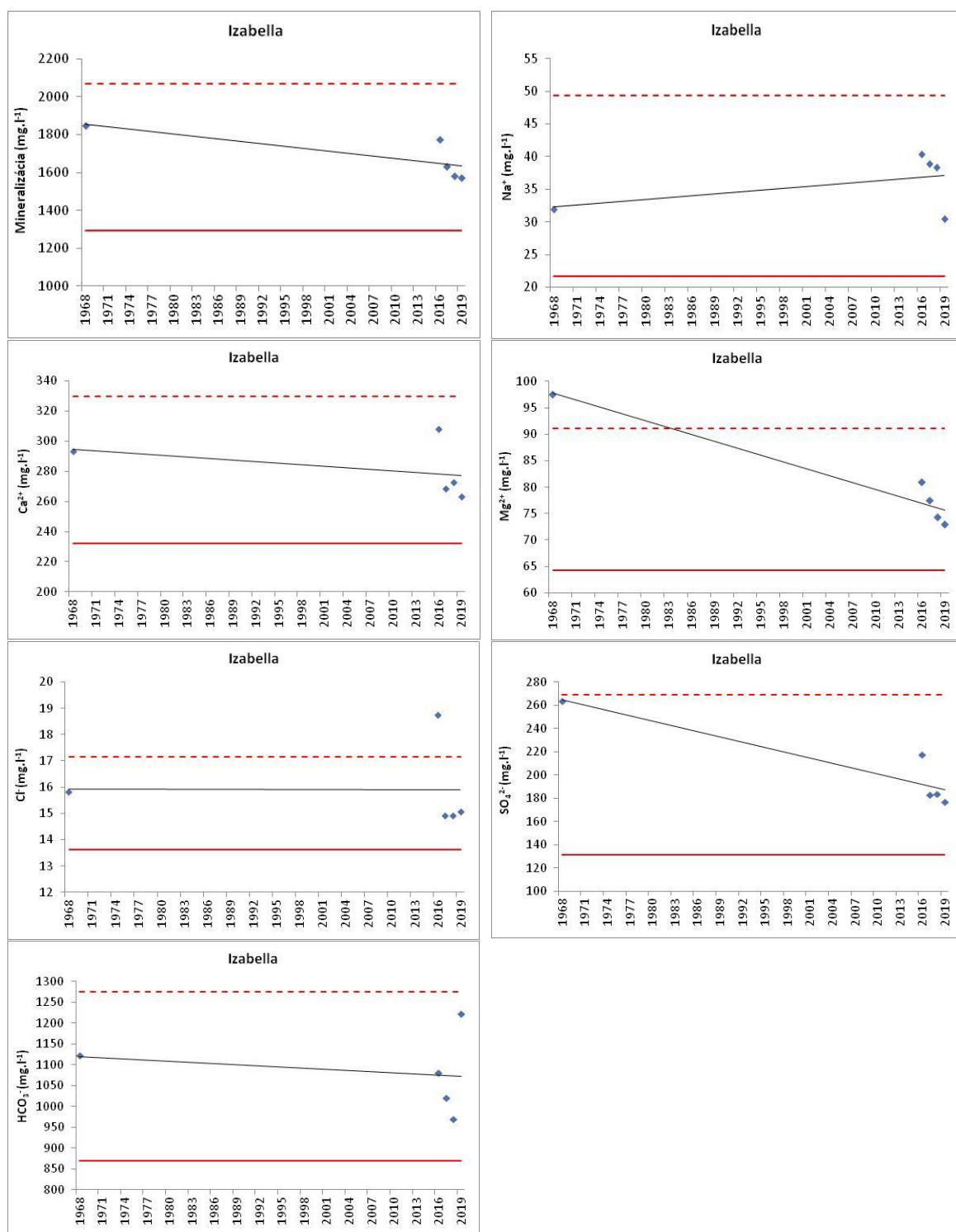
5.14.4 Chemický stav útvaru

Hodnotenie chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300140FK bolo realizované na základe metódy medzikvartilového rozpätia (IQR) a trendu časového vývoja chemického zloženia geotermálnej vody na 2 zdrojoch (Izabella, vrt VR-2 Pri pošte).

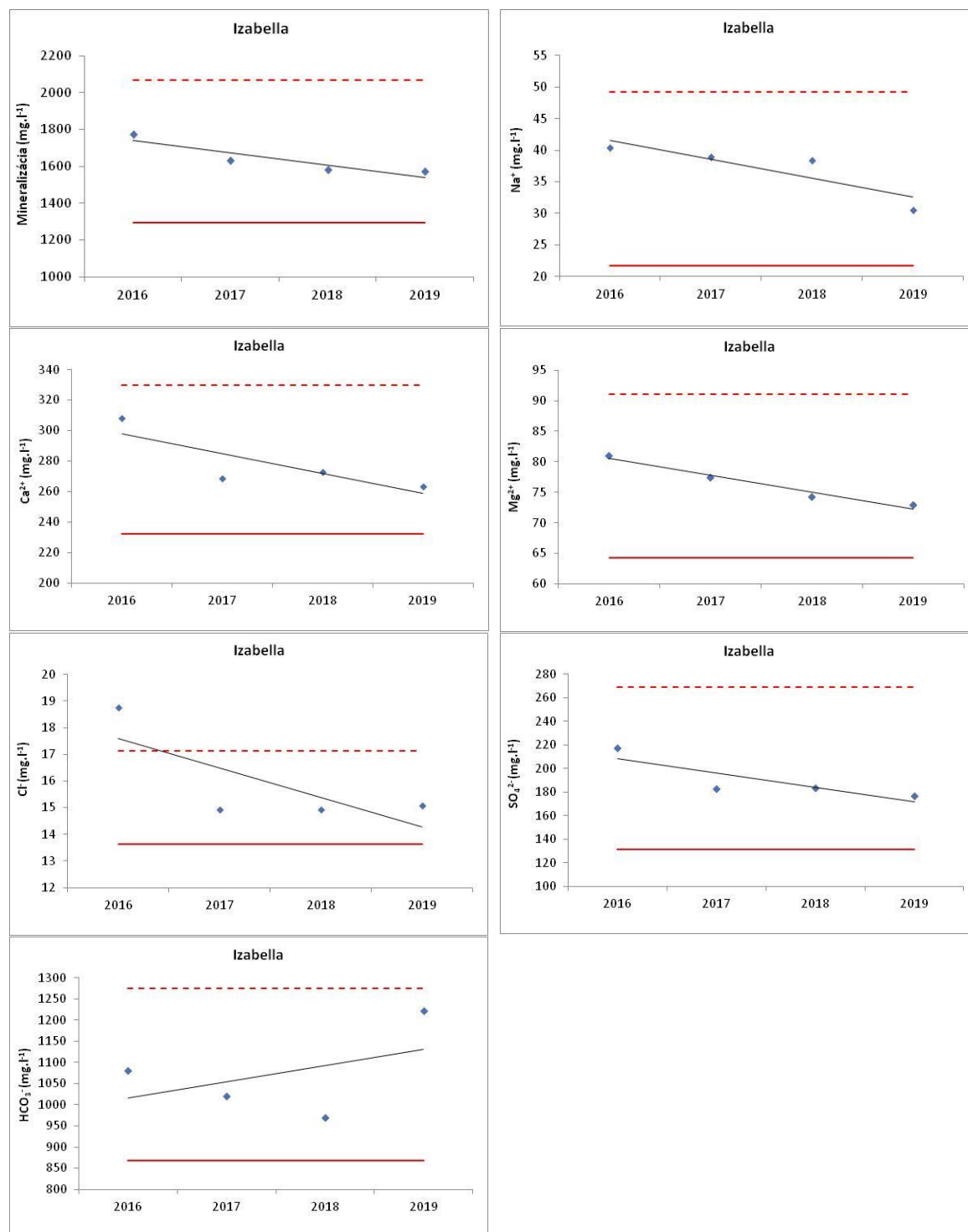
V prípade hodnotených zdrojov boli k dispozícii údaje z dvoch časových období – staršie analýzy z rokov 1968 (Izabella) a 1985 (VR-2 Pri pošte), resp. analýzy z obdobia rokov 2016 až 2019 (obr. 5.14.4.1 až 5.14.4.4).

Vo vzorke vody zo zdroja Izabella odobratej dňa 26.9.1968 boli zistené odľahlé hodnoty/koncentrácie pre viaceré parametre – celková mineralizácia ($1849,54 \text{ mg.l}^{-1}$), Mg^{2+} ($97,51 \text{ mg.l}^{-1}$) a SO_4^{2-} ($263,53 \text{ mg.l}^{-1}$) (obr. 5.14.4.1). Ako však naznačujú grafy na obr. 5.14.4.2, v rokoch 2016 až 2019 boli zaznamenané veľmi stabilné koncentrácie prakticky všetkých hodnotených ukazovateľov. Mimo 1,5 násobku medzikvartilového rozpätia bola zistená len jedna koncentrácia Cl^- ($18,75 \text{ mg.l}^{-1}$) vo vzorke odobratej dňa 13.12.2016. Odľahlé koncentrácie v roku 1968 by mohli súvisieť so spôsobom exploatacie zdroja v období 60-tych rokov minulého storočia, príp. inou príčinou.

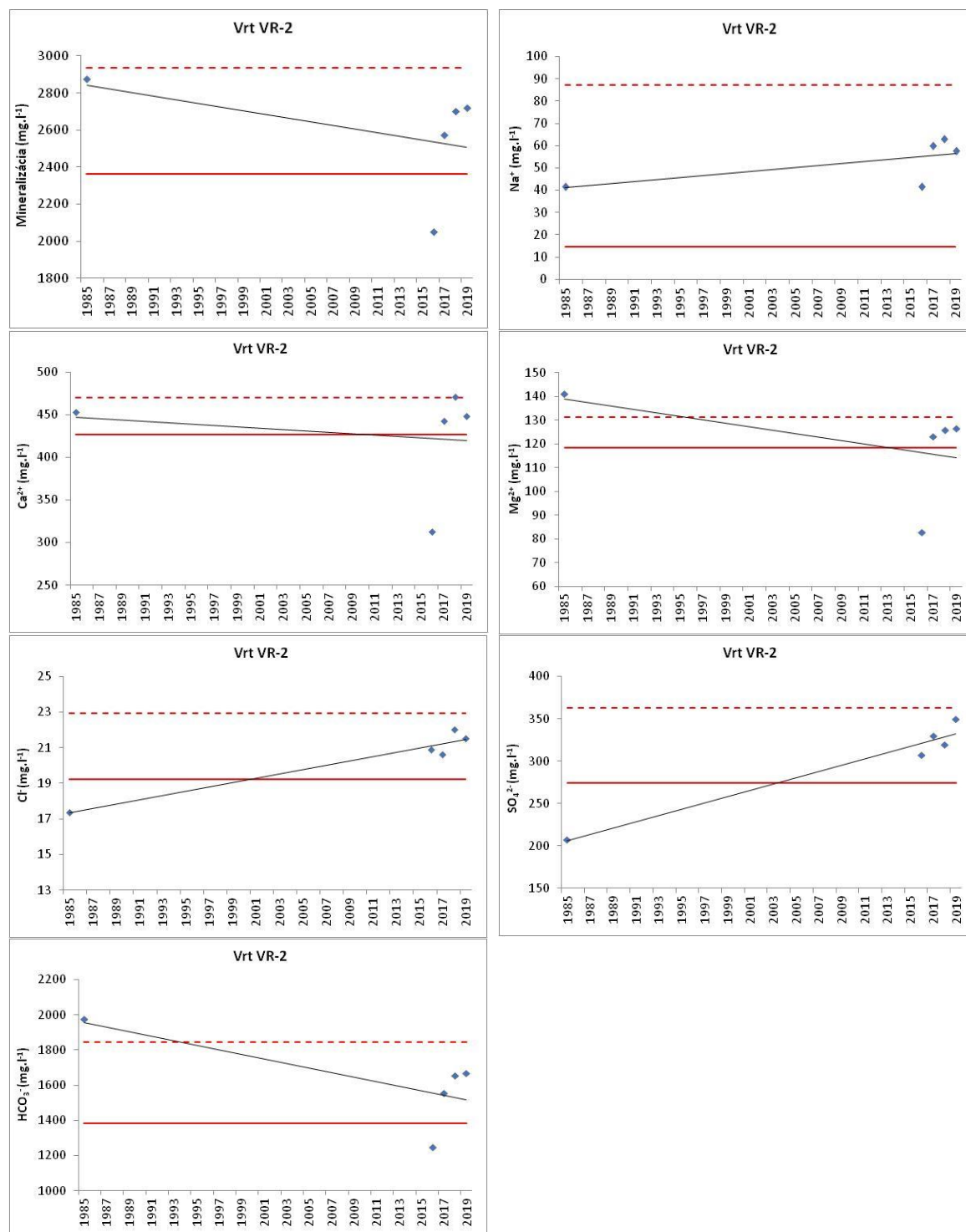
Vo vzorke vody z vrtu VR-2 Pri pošte odobratej dňa 19.12.1985 boli zistené odľahlé hodnoty/koncentrácie pre viaceré parametre – celková mineralizácia ($2876,17 \text{ mg.l}^{-1}$), Mg^{2+} ($141,06 \text{ mg.l}^{-1}$), Cl^- ($17,37 \text{ mg.l}^{-1}$), SO_4^{2-} ($207,4 \text{ mg.l}^{-1}$) a HCO_3^- ($1976,98 \text{ mg.l}^{-1}$) (obr. 5.14.4.3). Chemické zloženie vody z vrtu VR-2 Pri pošte vykazuje stabilitu pre všetky parametre v rokoch 2017 – 2019 (obr. 5.14.4.4). Vzorka vody odobratá dňa 13.12.2016 však vykazuje anomálne zloženie hlavne v parametroch celková mineralizácia ($2051,2 \text{ mg.l}^{-1}$), Ca^{2+} ($313,47 \text{ mg.l}^{-1}$), Mg^{2+} ($82,74 \text{ mg.l}^{-1}$) a HCO_3^- ($1249,1 \text{ mg.l}^{-1}$). Aj napriek uvedenému sa domnievame, že zistená variabilita koncentrácií viacerých hodnotených ukazovateľov v podzemnej vode tohto zdroja odráža skôr prirodzený režim tvorby chemického zloženia v hydrogeologickej štruktúre, resp. môže súvisieť so spôsobom exploatacie zdroja.



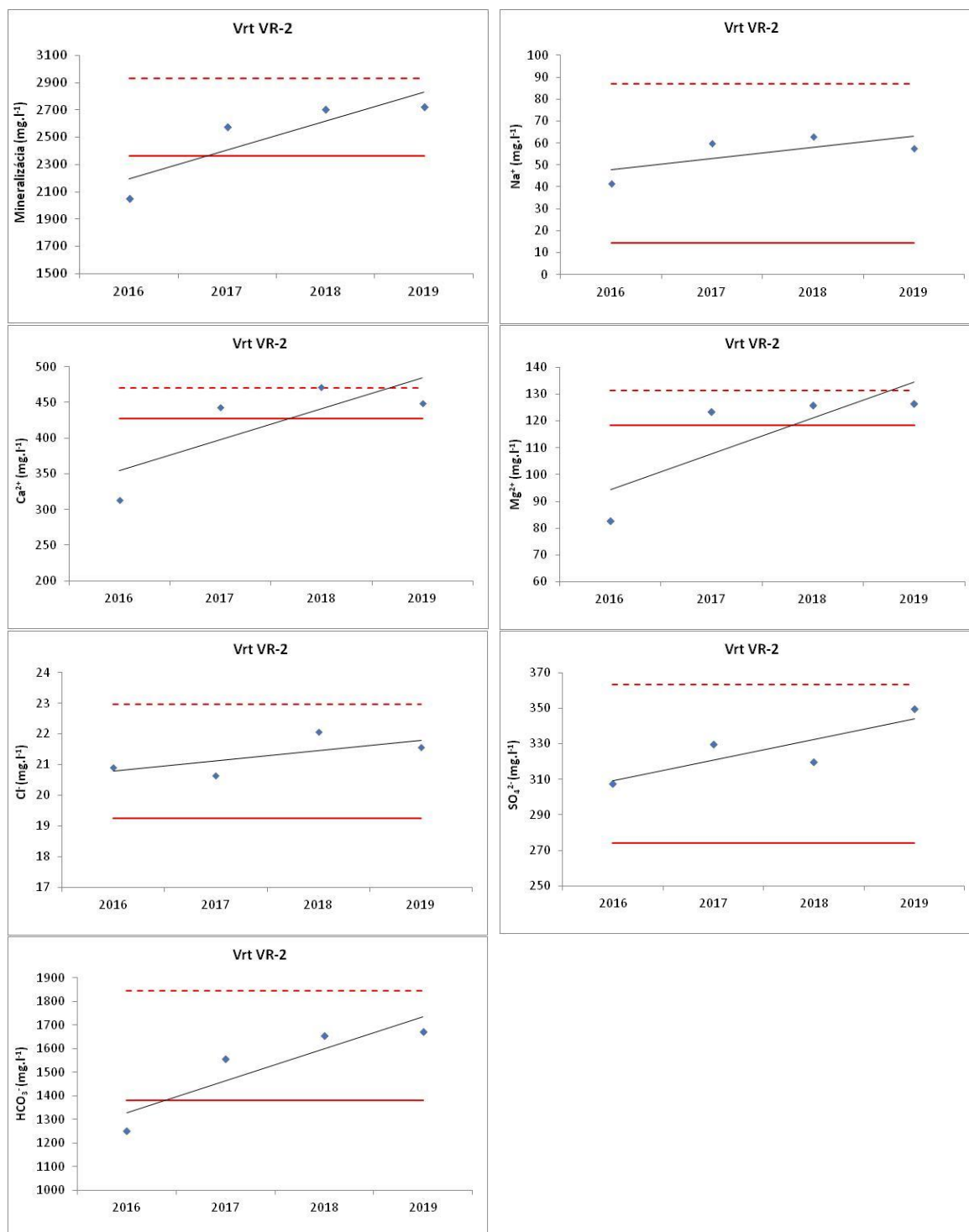
Obr. 5.14.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Izabella



Obr. 5.14.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Izabella – len roky 2016 až 2019



Obr. 5.14.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode VR-2 Pri pošte



Obr. 5.14.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode VR-2 Pri pošte – len roky 2016 až 2019

Geotermálne útvary SK300140FK hodnotíme z pohľadu chemického stavu v dobrom stave a z pohľadu spoľahlivosti hodnotenia chemického stavu je to nízka miera spoľahlivosti (1).

5.14.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

V geotermálnej oblasti levočská panva – západná a južná časť bolo realizovaných 18 vrtov, hlbokých 50-3 616 m. Geotermálne vody boli v nich zachytené v hĺbkach 33 – 2 353 m, výdatnosť vrtov predstavovala $0,1 - 75 \text{ l.s}^{-1}$ s teplotou vody na povrchu $20 - 61,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mineralizáciou vody $0,52 - 4,0 \text{ g.l}^{-1}$ a tepelným výkonom vrtov $0,01 - 6,88 \text{ MW}_t$ (príl. č. 1, 2, 3). Sumárna výdatnosť vrtov tvorí **$320,62 \text{ l.s}^{-1}$** , čomu odpovedá tepelný výkon **$36,95 \text{ MW}_t$** .

Pravdepodobné využiteľné množstvo geotermálnej energie levočskej panvy reprezentuje **$1\,391,4 \text{ MW}_t$** (Franko et al., 1995). Z toho množstvo geotermálnej energie **$75,4 \text{ MW}_t$** prináleží obnovovanému množstvu geotermálnych vôd s hodnotou **$424,6 \text{ l.s}^{-1}$** s priemernou teplotou na ústí vrtu $58 \text{ }^{\circ}\text{C}$ pre geotermálnu oblasť levočská panva – západná a južná časť, súčasťou ktorej je aj Popradská kotlina (Fendek et al., 1992).

Pri porovnaní vyššie uvedeného množstva geotermálnej energie, resp. geotermálnych vôd v geotermálnej oblasti levočská panva – západná a južná časť ($75,4 \text{ MW}_t$, resp. $424,6 \text{ l.s}^{-1}$) so zistenou sumárnou výdatnosťou vrtov **$320,62 \text{ l.s}^{-1}$** , čomu odpovedá tepelný výkon **$36,95 \text{ MW}_t$** vidno, že v tejto geotermálnej oblasti sú ešte rezervy na získanie, resp. overenie ďalších množstiev geotermálnej energie, resp. geotermálnych vôd, ktoré predstavujú $38,45 \text{ MW}_t$, resp. $103,98 \text{ l.s}^{-1}$).

Treba však uviesť, že takmer celé množstvo geotermálnej energie, resp. geotermálnych vôd, a to $33,12 \text{ MW}_t$, resp. $206,5 \text{ l.s}^{-1}$ (Vr-1,2, PP-1, FGP-1, VSC-1, GVL-1) bolo overené v Popradskej kotline. Regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie Popradskej kotliny ukázalo, že celkové prírodné množstvo geotermálnych vôd v kotline predstavuje $232,9 \text{ l.s}^{-1}$, čo zodpovedá celkovému množstvu tepelnej energie **$34,80 \text{ MW}_t$** (Daniel et al., 1998; Daniel, 2005). Z toho vyplýva, že množstvo geotermálnej energie, resp. geotermálnych vôd v Popradskej kotline je viac menej už pokryté (vyčerpané) overeným množstvom a na získanie, resp. overenie ďalšieho množstva geotermálnej energie, resp. geotermálnych vôd, ktoré vyplýva z vyššie uvedenej významnej rezervy, je potrebné v geotermálnom útvare levočská panva – západná a južná časť sa orientovať mimo Popradskú kotlinu, a to do územia Spišskej Magury, Hornádskej kotliny a Šarišskej vrchoviny.

Levočská kotlina – Z a J časť je útvar, kde geotermálne vody sú viazané na rezervoáre v strednotriasových karbonátoch. Bilančný, pravdepodobnostný model odhadu zdrojov a zásob GTE odhaduje $\text{TTP} = 116,3 \text{ MWth}$, z čoho odhad $R_{pb} = 81,1 \text{ MWth}$

a vrtmi overené zásoby $R_{pv} = 35,2$ MWth majú spoločnú pravdepodobnosť overenia 72 %. Udržateľná kapacita rezervoáru je odhadovaná na úrovni $P_{th(rcap=0,5)} = 40,5$ MWth s pravdepodobnosťou overenia 92 %.

Možnosti produkcie geotermálnej energie opisujú $P_{th} = 9,3$ MWth a $P_{th,inst} = 28,4$ MWth. Produkciu ($r_{cap(U)} = 0,89$) a rozvoj ($r_{cap(S)} = 0,77$) aktuálnej produkcie GTE o $P_{th(D)} = 31,2$ MWth je možné hodnotiť ako udržateľné s nízkym bilančným rizikom. Pri maximálnom využití súčasných lokalít je využitie možné klasifikovať ako udržateľné ($r_{cap(U^*)} = 0,69$), so zvýšeným rizikom rozvoja produkcie GTE ($r_{cap(S^*)} = 0,39$), maximálne na úrovni $P_{th(D^*)} = 15,7$ MWth, keďže $P_{th,inst} > P_{th(rcap=0,5)}$. Pre ďalšie overenie zásob GTE model odhaduje 5,4 MWth. Útvar hodnotíme ako perspektívny z hľadiska využitia aj rozvoja produkcie geotermálnej energie.

5.15 ÚTVAR SK300150FK - LEVOČSKÁ PANVA – SEVEROVÝCHODNÁ ČASŤ

5.15.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Geotermálny útvar Levočská panva – severovýchodná časť sa nachádza v severovýchodnej časti Slovenska, ktorej územie zaberajú Levočské vrchy, Bachureň, Spišsko-šarišské medzihorie a Šarišská vrchovina. Jej územie zo severovýchodu ohraničuje bradlové pásmo, na západe Popradská kotlina, na juhu Hornádska kotlina.

Výplň panvy tvoria paleogénne sedimenty podtatranskej skupiny s hrúbkou až do cca 4000 m, z podložia ktorých vystupuje na juhu územia v oblasti Bachurne hrast' pohoria Braniska. Podložie paleogénnych sedimentov má morfológicky členitý reliéf so zložitou geologickou stavbou, na ktorej sa podieľajú všetky hlavné tektonické jednotky vnútorných Západných Karpát, resp. okolitých pohorí, obmedzujúcich územie panvy. Najrozšírenejšie z nich sú formácie fatrika a hronika, budované vrchnopaleozoicko-mezozoickými horninami.

Geotermálny útvar Levočská panva – severovýchodná časť charakterizujú neobnovované množstvá geotermálnych vôd, resp. geotermálnej energie. Vyplýva to z existencie skôr zatvorených hydrogeotermálnych štruktúr, ktoré majú obmedzené možnosti doplnovania vôd. Geotermálne vody sú tu známe len zo štruktúrnych vrtov (**PI-1, PI-2 Plavnica, L-1, L-2 Lipany a vrt Š-1 Šariš**) a viazané sú v severnej časti územia na fatrikum (obr. 5.14.1.1). V triasových karbonátoch v hĺbke 2 500 – 4 000 m sa vyskytujú geotermálne vody s teplotou 70 – 110 °C. Chemické zloženie geotermálnych vôd predstavuje Na-Ca-HCO₃-Cl-SO₄ a Na-Cl typ s mineralizáciou 6,8 – 11,9 g.l⁻¹ (Franko et al., 1995)

V útvare pôvodne nebol realizovaný žiadny geotermálny vrt, až na jeden, ktorý vznikol prebudovaním vrtu pôvodne na uhl'ovodíky na geotermálny vrt. Je to vrt **L-1 Lipany**, pôvodne hlboký 4 000 m, ktorý bol v rokoch 2006-2008 prepracovaný na geotermálny vrt s hĺbkou 3 400 m. Vrt zachytil geotermálnu vodu v hĺbke 3 184 – 3 390 m s výdatnosťou $10,0 \text{ l.s}^{-1}$ s teplotou vody na povrchu $85,0^\circ\text{C}$, mineralizáciou vody $9,4 \text{ g.l}^{-1}$ a tepelným výkonom vrtu $2,93 \text{ MW}_t$ (príl. č. 1, 2).

5.15.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Teplotné i tepelné pole levočskej panvy má podobný obraz. Teplota v hĺbke 1 000 m dosahuje okolo $35 - 40^\circ\text{C}$, v hĺbke 2 000 m $55 - 65^\circ\text{C}$ a v hĺbke 3 000 m $80 - 90^\circ\text{C}$. Hustota zemského tepelného toku sa pohybuje v rozmedzí $62 - 77 \text{ mW.m}^{-2}$. Hodnoty teploty a hustoty tepelného toku stúpajú od okraja smerom do jej depresných častí a tiež narastajú v území východne od Bachurne smerom k Prešovu (Franko et al., 1995).

5.15.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období 2011-2017 neboli realizované žiadne odbery geotermálnych vôd v tomto útvare (Príloha č. 6). Na základe údajov z SHMÚ je plánované blízke využívanie vrtu L-1 Lipany. V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd je útvary v dobrom stave na základe nerealizácie odberov vody (tab. 6.1.1).

5.15.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300030FK nie sú realizované žiadne odbery vôd, a preto tento útvary hodnotíme v dobrom chemickom stave, ale s nulovým stupňom spoľahlivosti (tab. 6.2.1).

5.15.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Na základe výsledkov geologických prieskumov z obdobia 1978-1989 je možné konštatovať, že v geotermálnom útvare levočská panva – severovýchodná časť bolo do hĺbky 3 500-5 000 m realizovaných 5 prieskumných vrtov, ktoré overili prítoky geotermálnej vody hĺbkach 2 500-3 941 m. Výdatnosť vrtov bola $0,2-10,0 \text{ l.s}^{-1}$ s teplotou vody na povrchu $28-86,5^\circ\text{C}$, s celkovou mineralizáciou vody $8,7-12,3 \text{ g.l}^{-1}$ a tepelným výkonom vrtov $0,01-2,93 \text{ MW}_t$ (príl. č. 1, 2, 3). Sumárna výdatnosť vrtov tvorí **$23,7 \text{ l.s}^{-1}$** , čomu odpovedá tepelný výkon **$5,24 \text{ MW}_t$** .

Pravdepodobné využiteľné množstvo geotermálnej energie levočskej panvy reprezentuje 1 391,4 MW_t (Franko et al., 1995). Z uvedeného množstva geotermálnej energie pripadá na neobnovované množstvo geotermálnej energie pre geotermálny útvar (levočská panva – severovýchodná časť) hodnota **1 316 MW_t** (Fendek et al., 1992).

Porovnaním vyššie uvedeného množstva geotermálnej energie v geotermálnej oblasti levočská panva – severovýchodná časť (1 316 MW_t) so zisteným tepelným výkonom (**5,24 MW_t**, resp. **23,7 l.s⁻¹**) vidno, že veľmi vysoké množstvo geotermálnej energie v tejto geotermálnej oblasti je doslova iba dotknuté a takmer celé zostáva na overenie.

Levočská panva – SV časť s geotermálnymi vodami identifikovanými v strednotriasových karbonátoch a paleogénnych zlepencoch / brekciách je v modelovom riešení bilančne opísaná overenými $R_{pv} = 16,2$ MWth a pravdepodobnými zásobami GTE $R_{pb} = 314,8$ MWth s celkovým TTP = 330,9 MWth a pravdepodobnosťou overenia 87 %. Udržateľná kapacita rezervoáru je odhadovaná na $P_{th(rcap=0,5)} = 157,4$ MWth s pravdepodobnosťou overenia 98 %.

Geotermálne vody útvaru nie sú využívané, t. j. $r_{cap(U)} = 1$, $r_{cap(U^*)} = 1$, $r_{cap(S)} = 1$ a $r_{cap(S^*)} = 1$, keďže $P_{th} = 0$ MWth a $P_{th,inst} = 0$ MWth. Potenciál udržateľného rozvoja je vyjadrený ako $P_{th(D)} = P_{th(D^*)} = P_{th(rcap=0,5)} = 157,4$ MWth. S možnosťou overenia ďalších 141,2 MWth k dosiahnutiu udržateľnej kapacity ÚGV pri aktuálnych overených zásobách, útvar hodnotíme z energetického hľadiska a kritérií udržateľnosti ako perspektívny pre prieskum, produkciu a rozvoj zdrojov geotermálnej energie.

5.16 ÚTVAR SK300160FK - HUMENSKÝ CHRÁT

5.16.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

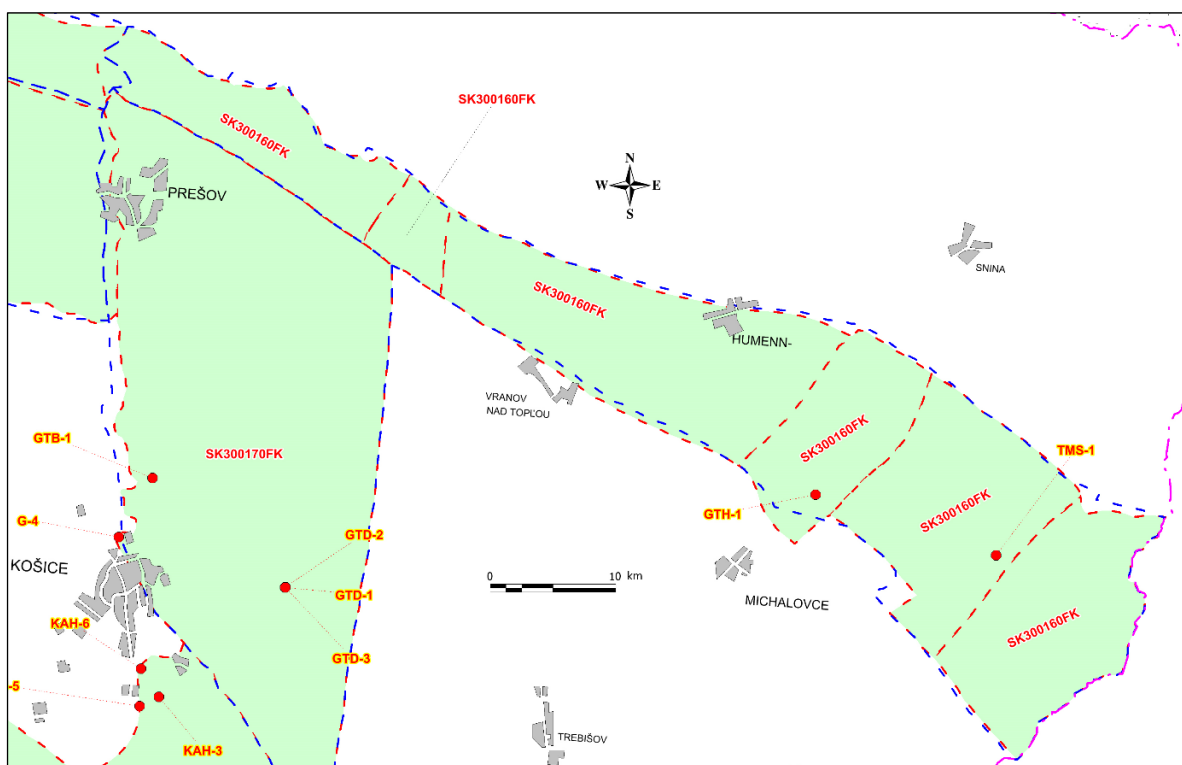
Útvar Humenský chrbát sa nachádza na východe Slovenska a svojou plochou 982,8 km² patrí k rozľahlejším geotermálnym útvarom. Tiahne sa od levočskej panvy v území severne od Prešova cez Humenné, Sobrance až ku štátnej hranici s Ukrajinou, kde ďalej pokračuje. Zaberá územie Beskydského predhoria, najsevernejšiu časť východoslovenskej nížiny a pohorie Vihorlat.

Útvar predstavuje pruh mezozoických hornín SV-JV smeru, predovšetkým v podloží terciérnych hornín, vo východnej časti aj neovulkanitov Vihorlatu, ktorý sa ťahá v dĺžke cca 90 km a šírke cca 10 km pozdĺž južnej strany bradlového pásma a severnej strany ináčevsko – kričevskej jednotky. Je budovaný fatrikom (sedimenty triasu až kriedy),

z predterciérneho podložia vystupuje na povrch v podobe menšieho ostrova medzi mestami Humenné a Strážske. Formácie mezozoika sú v dôsledku intenzívnej kompresnej tektoniky značne porušené a majú šupinovitú stavbu so striedaním karbonátov a pelitických hornín.

V útvare boli realizované dva vrty (**TMS-1 Sobrance, GTH-1 Kaluža**) do hĺbky 600-940,1 m (obr. 5.16.1.1). Geotermálne vody boli v nich zachytené v hĺbkach 454 – 938 m, výdatnosť vrtov predstavovala $4,0 \text{ l.s}^{-1}$ s teplotou vody na povrchu $29,0 - 39,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a tepelným výkonom vrtov $0,25 - 0,41 \text{ MWt}$. Podobné geotermálne vody zmiešaného typu s mineralizáciou $0,83 \text{ g.l}^{-1}$ zistil aj geologický vrt MLS-1 v Podskalke v triasových karbonátoch fatrika v hĺbke 896 – 1 719 m. Sumárna výdatnosť vrtov predstavuje **$8,0 \text{ l.s}^{-1}$** , čomu odpovedá tepelný výkon **0,66 MWt**.

V humenskom chrbte vyčlenil Bajo a kol. (2007) šesť čiastkových hydrogeotermálnych štruktúr (*kapušianska, zlatnícka, mernícko-oreská, kalužská, sobranecká a sejkovská*), ktoré tvoria vyzdvihnuté, resp. poklesnuté kryhy mezozoických súborov hornín.



Obr. 5.16.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300160FK a zdroje geotermálnej vody

Prvé dve štruktúry sú pravdepodobne zatvorené, ostatné štruktúry sú polootvorené až otvorené. Kolektorom geotermálnych vôd sú triasové karbonáty, ktorých hrúbka sa pohybuje od 880 do 1 100 m. Hĺbka povrchu triasových karbonátov sa pohybuje v širokom rozmedzí od výskytu na povrchu (Humenské vrchy), až do hĺbky 2 250 m. Sú tu predpoklady, že geotermálnymi vrtmi hlbokými 1 700 – 3 000 m je možné zachytiť geotermálne vody s teplotou 60 – 100 °C, výdatnosťou 10 – 16 l.s⁻¹ a mineralizáciou 5 – 10 g.l⁻¹.

V tomto útvare sa vyskytujú prevažne vody Ca-Na-Cl-SO₄, a Na-Cl-SO₄-HCO₃ typu s mineralizáciou v intervale 4,4-11,9 g.l⁻¹.

5.16.2 Geotermálna charakteristika útvaru

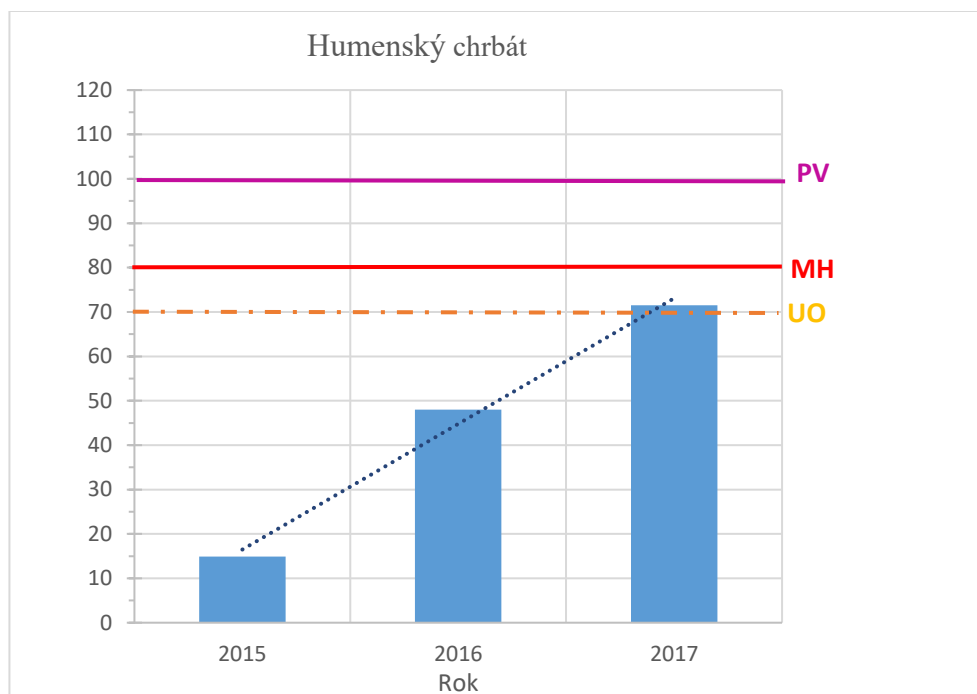
Geotermálna aktivita územia je zvýšená. Aktivita teplotného poľa sa zvyšuje smerom zo severu na juh, t. j. od bradlového pásma smerom do východoslovenskej panvy. Teplota v hĺbke 1 000 m stúpa zo 40 °C na 55 °C, v hĺbke 2 000 m zo 70 °C na 95 °C a v hĺbke 3 000 m zo 105 °C na 130 °C. Tento obraz deformuje iba teplotné pole v oblasti Humenských vrchov s teplotným minimom 40 °C v hĺbke 1 000 m, resp. 70 v hĺbke 2 000 m, ktoré sa už v hĺbke 3 000 m neprejavuje. Priemerný teplotný gradient v intervale 0-1 000 m je cca 39 °C.km⁻¹, v intervale 1000-2000 m cca 36 °C.km⁻¹. Podobný obraz ako teplotné pole poskytuje i tepelné pole. Aktivita tepelného poľa sa zvyšuje smerom od bradlového pásma do panvy zhruba od 75 na 90 mW.m⁻². Geotermálne vody sú tu známe z prirodzených prameňov (**Sobrance**) a z vrtov. Sú viazané na triasové vápence a dolomity fatrika v podloží terciérnych hornín, resp. v jeho hlbšej stavbe.

5.16.3 Kvantitatívny stav útvaru

V geotermálnom útvare je od roku 2014 celoročne využívaný vrt **GTH-1 Kaluža** pre potreby zariadenia Thermalpark Šírava. V období 2014-2015 bolo z vrtu odoberané priemerné ročné množstvo **23,1 tis. m³ (1,3 l.s⁻¹)**. V rokoch 2016-2017 toto množstvo stúplo viac ako 3-násobne na priemernú hodnotou **75,4 tis. m³ (2,4 l.s⁻¹)**.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.14.3.1) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/14,89 %; 2016/47,98 %; 2017/71,50 %) na základe nízkej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1). Trend časového vývoja kvantitatívneho stavu ma rastúci charakter.

Počas obdobia rokov 2015-2017 bolo 1-krát dokumentované prekročenie hodnoty $Bs\% > 70\%$ (príl. č. 12). Nápravné opatrenia na zvrátenie nepriaznivého trendu kvantitatívneho stavu sú uvedené v podkapitole 6.1.



Obr. 5.16.3.1 Kvantitatívne hodnotenie ($Bs\%$) humenského chrbta

5.16.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útware SK300110FK boli realizované odbery vôd v období 2015 – 2017. Tento útvar patrí k tým 8 geotermálnym útvarom, u ktorých neboli k dispozícii aktuálne chemické analýzy. Vzhľadom k uvedenej skutočnosti nebol pre tento útvar hodnotený chemický stav (tab. 6.2.1).

5.16.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Maximálne hodnoty merného tepelno-energetického potenciálu prírodného množstva geotermálnej vody triasových karbonátov fatrika (15 GJ.m^{-2} a viac) charakterizujú južnú časť zlatníckej, mernícko-oreskej a sejkovskej štruktúry (oblasť Zlatníka, Vranov n/T – Voľa a Blatné Remety – Blatná Polianka – Jenkovce) a severnú časť kalužskej a sobraneckej štruktúry. Minimálne hodnoty ($5\text{--}6 \text{ GJ.m}^{-2}$ a menej) sú typické pre Humenské vrchy a ich okolie v mernícko-oreskej štruktúre, v území Jovsa – Sobrance – Horňa v sobraneckej štruktúre a v oblasti Sejкова v sejkovskej štruktúre. V ostatných častiach

hydrogeotermálnych štruktúr sa hodnota merného tepelno-energetického potenciálu prírodného množstva geotermálnej vody triasových karbonátov fatrika pohybuje v rozmedzí 5-15 GJ.m⁻².

Vyčíslené množstvá geotermálnej energie, resp. geotermálnej vody s vyššie uvedenými teplotami v čiastkových hydrogeotermálnych štruktúrach humenského chrbta sa pohybujú v rozmedzí 38,8-189,9 MWt, resp. 48-150 l.s⁻¹. Sumárne množstvo geotermálnej energie (tepelný výkon) tu predstavuje **750,5 MWt**, sumárne množstvo geotermálnych vôd tvorí **341 l.s⁻¹**, z toho obnoviteľné množstvo geotermálnych vôd tvorí **237 l.s⁻¹** (Bajo et al. 2007).

Pri porovnaní vyššie uvedeného celkového množstva geotermálnej energie (750,5 MWt), resp. množstva geotermálnej vody (341 l.s⁻¹), so zisteným tepelným výkonom (**0,66 MWt**), resp. sumárnou výdatnosťou vrtov (**8,0 l.s⁻¹**) vidno, že územie humenského chrbta je z hľadiska získania geotermálnych vôd prakticky nedotknuté a takmer celé množstvo geotermálnej energie alebo geotermálnych vôd ešte zostáva na získanie, resp. overenie.

Humenský chrbát je útvar s geotermálnymi vodami viazanými na stredotriasové karbonáty a neogénne siliciklastiká. Model odhadu zdrojov a zásob GTE udáva TTP = 236,6 MWth, z čoho vrtmi overené zásoby GTE predstavujú R_{pv} = 0,66 MWth a modelom odhadované pravdepodobné zásoby R_{pb} = 235,4 MWth, s pravdepodobnosťou overenia 92 %. S pravdepodobnosťou overenia 98 % je udržateľná kapacita P_{th(rcap=0,5)} = 117,7 MWth.

Stav využívania zdrojov GTE je opísaný cez P_{th} = 0,2 MWth a P_{th,inst} = 0,41 MWth. Vo vzťahu k energetickej bilancii útvaru potom je produkciu pri aktuálnom, aj súčasne inštalovanom výkone možné klasifikovať ako udržateľnú s minimálnymi rizikami pre energetickú kapacitu útvaru (r_{cap(U)} = 1, r_{cap(U*)} = 1). Potenciál udržateľného rozvoja je klasifikovaný ako vysoký (r_{cap(S)} = 1 a r_{cap(S*)} = 1), s nízkym rizikom, ak budú dodržané okrajové podmienky rozvoja P_{th(D)} = 117,5 MWth a P_{th(D*)} = 117,3 MWth. Pri dodržaní udržateľnej kapacity model odhaduje možnosť overenia ďalších 117 MWth geotermálnej energie. Útvar hodnotíme ako vysoko perspektívny pre prieskum, produkciu a rozvoj zdrojov GTE.

5.17 ÚTVAR SK300170FK - KOŠICKÁ KOTLINA

5.17.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Útvar geotermálnych vôd Košická kotlina sa rozprestiera medzi Slanskými vrchmi a Slovenským rudohorím i Šarišskou vrchovinou. Územie má pretiahnutý tvar, v južnej časti sa stáča na juhozápad. Kotlina je vyplnená terciérnymi horninami, a to v severnej časti paleogénnymi a neogénnymi, v južnej časti len neogénnymi, v podloží ktorých sa nachádzajú paleozoicko-mezozoické horniny viacerých i rozlične interpretovaných tektonických jednotiek. V podloží terciérnych hornín (**Prešov -1**) boli zistené triasové dolomity a vápence tatrika, v centrálnej časti kotliny boli mezozoické horniny zistené v širšom plošnom i vertikálnom rozsahu a ide hlavne o triasové dolomity a vápence veporika (Fusán et al., 1987). Ich hrúbka smerom na východ narastá z 300 m až nad 1 000 m (**vrty Ďurkov**) a je predpoklad, že tento komplex pokračuje i pod Slanské vrchy (Rudínek, 1989). V južnej a juhozápadnej časti kotliny boli v podloží neogénu zistené paleozoické a triasové horniny gemerika.

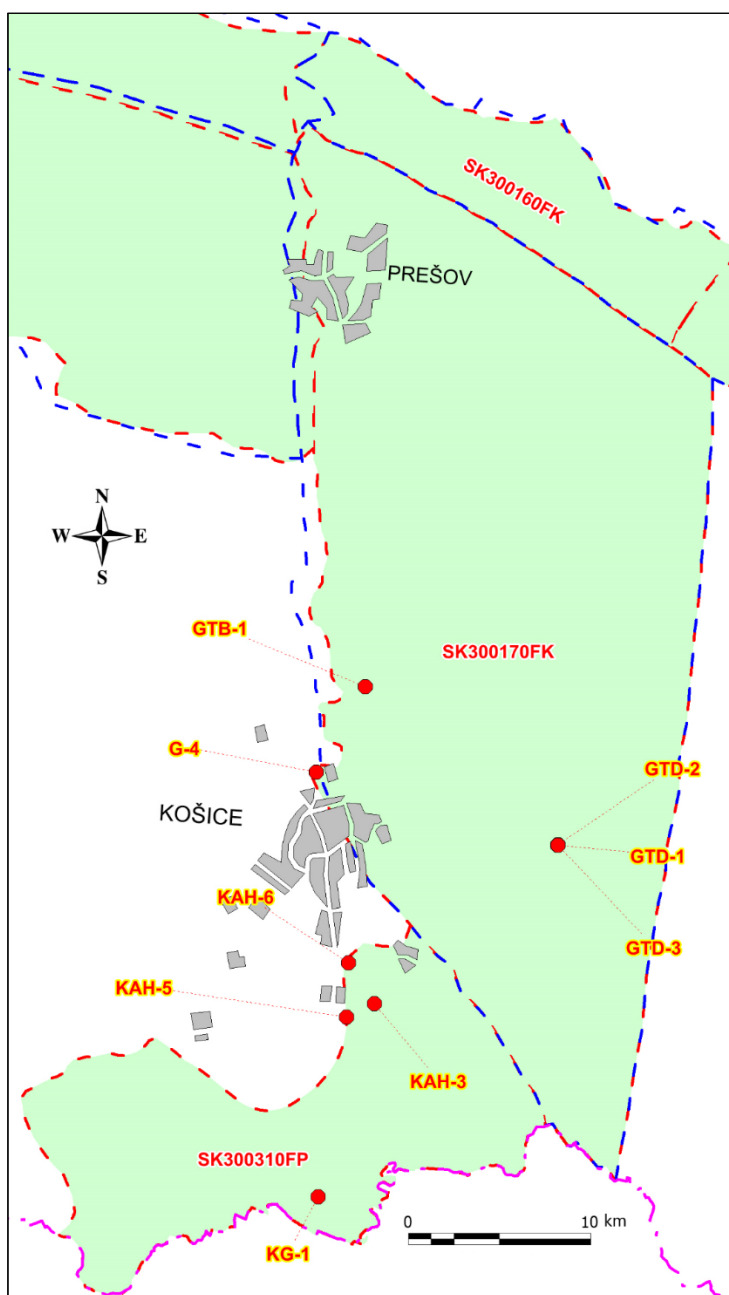
Geotermálne vody, ktoré boli zistené vrtmi na uhl'ovodíky a geotermálnymi vrtmi, sú tu viazané hlavne na triasové dolomity veporika i na neogénne štrky a piesky. Triasové dolomity, menej vápence, ako kolektory geotermálnych vôd sa nachádzajú v hĺbke od niekoľko sto metrov do viac ako 3 000 m. Ich hĺbka sa zvyšuje v smere zo západu na východ - od Slovenského rudohoria k Slanským vrchom. Geotermálne vody vo východnej časti kotliny viazané na triasové dolomity a vápence v hĺbke 2 000 – 3 000 m dosahujú teplotu 115 – 150 °C a hlbšie ako 3 000 m teplotu nad 150 °C. Výdatnosť jednotlivých prítokov z testerových skúšok z vrtov na uhl'ovodíky (**Ď-1, 3; P-1**) sa pohybovala v rozmedzí 0,5 - 8,5 l.s⁻¹, výdatnosť geotermálnych vrtov **GTD-1** až 3 dosiahla 50 – 65 l.s⁻¹.

Na základe hydrogeotermálnych pomerov v rezervoári geotermálnych vôd bola v Košickej kotline v širšom okolí Ďurkova vymedzená oblasť Ďurkova s rozlohou cca 200 km², kde je možné získať geotermálne vody vhodné na výrobu elektriny (Remšík, 1993). Podstatne nižšie teploty majú vody v západnej časti kotliny, čo súvisí s relatívne malou hĺbkou uloženia triasových karbonátov v podloží terciéru (**vrt G-4 v Ťahanovciach** hlboký 310 m - výdatnosť 4,9 l.s⁻¹, teplota vody 26 °C).

Geologická stavba, chemické zloženie a vysoká mineralizácia vôd naznačujú, že geotermálne vody, viazané na triasové dolomity (okrem vôd v západnej časti kotliny), sa nachádzajú pravdepodobne v zatvorenej hydrogeotermálnej štruktúre, t. j. v štruktúre, ktorá

má len akumuláciu. Z tohto pohľadu geotermálne vody tvoria prírodné zásoby, ktoré sú v čase a priestore vyčerpatelné.

V útvare bolo spolu realizovaných 5 geotermálnych vrtov na lokalitách **Košice, Ďurkov a Družstevná pri Hornáde** hlbokých 310-3 210 m (obr. 5.17.1.1). Geotermálne vody boli v nich zachytené v hĺbkach 72-3 104 m, výdatnosť vrtov predstavovala 4,9-65,0 l.s⁻¹ s teplotou vody na povrchu 26,0-129,0 °C, s mineralizáciou vody 4,5-31,0 g.l⁻¹ a tepelným výkonom vrtov 0,22-29,00 MW_t (príl. č. 1, 2, 3). Sumárna výdatnosť vrtov tvorí **175,9 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **78,22 MW_t**.



Obr. 5.17.1.1 Vymedzenie geotermálnych útvarov podzemnej vody SK300170FK, SK300310FP a zdroje geotermálnej vody

V rámci Košickej kotliny, ako vymedzeného geotermálneho útvaru, bola doteraz skúmaná a zhodnotená iba **oblasť Ďurkova** (Vranovská et al., 1999). Táto oblasť sa nachádza v juhovýchodnej časti Košickej kotliny. Z východu oblasť ohraničujú neovulkanity Slanských vrchov. V rokoch 1998 – 1999 v známych, vyššie uvedených hydrogeotermálnych pomeroch, boli v tejto oblasti realizované tri geotermálne vrty **GTD-1, GTD-2 a GTD-3 Ďurkov** (prvý zvislý, dva šikmé) s vertikálnou hĺbkou 2 252 – 3 210 m, ktoré potvrdili predchádzajúce predpoklady o existencii rezervoáru geotermálnych vôd (Vranovská et al., 1999).

Rezervoár geotermálnych vôd sa nachádza v hĺbke 2 000 – 3 500 m. Najvýznamnejšie prítokové zóny sú lokalizované na strope triasových dolomitov veporika s puklinovou a krasovou priepustnosťou. Výdatnosť voľného prelivu počas krátkodobých hydrodynamických skúšok sa pohybovala v intervale 50 – 65 l.s⁻¹ s teplotou na ústí vrtov 123 – 129°C. Nameraná ložisková teplota v hĺbke 3 000 m dosahovala 143 °C. Dynamický tlak na ústí vrtov bol 0,97 – 2,2 MPa. Bod evázie plynov sa pohyboval v hĺbkach 750 – 1146 m.

Hydraulické parametre kolektorov geotermálnych vôd (triasové dolomity) reprezentované koeficientom prietochnosti (T) a koeficientom filtrácie (K_f) dosahujú hodnoty $T = 8,16 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ až $3,41 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a $K_f = 9,44 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ až $8,50 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Vranovská et al., 1999).

Z chemického hľadiska sa tu vyskytujú geotermálne vody hlavne Na-Cl typu (viac ako 20 ekv. % iónov) s mineralizáciou 19 - 39 g.l⁻¹. Geneticky ide o marinogénne vody (viac alebo menej degradované), ktoré počas neogénu (egenburg - karpát) vsiakli do dna sedimentačného bazénu (triasové karbonáty) a tam sa zachovali a metamorfovali v systéme hornina-voda. Z geochemického hľadiska je oblasť Ďurkov charakteristická zložitým systémom voda – para – pevná fáza. Hodnota celkovej mineralizácie sa pohybuje v intervale 25 – 32 g.l⁻¹. Chemické zloženie geotermálnych vôd je výrazného Na-Cl typu s nízkym zastúpením Na-HCO₃. Z obsahu plynov vo vode výrazne dominuje CO₂.

V oblasti Prešova (geologický vrt P-1) sú vody Na-HCO₃ typu s mineralizáciou cca 11 g.l⁻¹. V západnej časti kotliny (oblasť Ťahanoviec) sa nachádzajú vody Na-Ca-Mg-HCO₃-Cl typu s mineralizáciou okolo 4,5 g.l⁻¹, obsahom CO₂ a H₂S. Geotermálne vody, viazané na plytšie uložené neogénne štrky a piesky sú Na-HCO₃, Na-Ca-HCO₃-Cl až Na-Cl typu s mineralizáciou okolo 0,7-3,6 g.l⁻¹.

5.17.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Košická kotlina patrí ku geotermicky najaktívnejším oblastiam Slovenska, čo ju zároveň zaraďuje aj k najperspektívnejším oblastiam pre získanie geotermálnej energie na Slovensku. Teplotné i tepelné pole kotliny má podobný geotermický obraz. Teplota v hĺbke 1 000 m dosahuje okolo 45 – 65 °C, v hĺbke 2 000 m 75 – 110 °C, v hĺbke 3 000 m 105 – 140 °C a v hĺbke 4 000 m 140 – 180 °C. Trend stúpania teploty má východný, resp. juhovýchodný smer, čo znamená, že nižšie hodnoty teplôt charakterizujú západnú časť kotliny a vyššie hodnoty jej východnú, resp. juhovýchodnú časť. Teplotný gradient vo východnej časti v komplexe neogénnych sedimentov dosahuje 46,3 – 50,3 °C.km⁻¹, v podloží v mezozoických horninách má hodnotu 32,3 °C.km⁻¹.

Hustota tepelného toku sa pohybuje od 75 mW.m⁻² v západnej časti do 110 mW.m⁻² vo východnej časti kotliny. Priemerná hodnota hustoty zemského tepelného toku dosahuje 94,4 mW.m⁻². Značná variabilita teplôt i hustoty tepelného toku súvisí s tým, že Košická kotlina tvorí prechodnú oblasť medzi vysoko geotermicky aktívnou oblasťou východoslovenského neogénu a menej geotermicky aktívnymi okolitými oblasťami.

Z hľadiska teploty sú v Košickej kotline zastúpené nízkoteplotné, strednoteplotné a vysokoteplotné zdroje, pričom Košická kotlina je na Slovensku prvým geotermálnym útvarom, kde boli overené strednoteplotné zdroje.

5.17.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období 2011-2017 nebol žiaden geotermálny vrt v tomto útvare využívaný. V budúcnosti je plánovaná exploatacia geotermálneho vrtu **GTD-2** s podmienkou reinjektáže všetkej odčerpanej vody do vrtu GTD-1 alebo GTD-3.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd je útvár v dobrom stave na základe nerealizácie odberov vody (tab. 6.1.1).

5.17.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300030FK nie sú realizované žiadne odbery vôd, a preto tento útvár hodnotíme v dobrom chemickom stave, ale s nulovým stupňom spoľahlivosti (tab. 6.2.1).

5.17.5 Množstvo geotermálnej energie a vôd

Pravdepodobné neobnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie Košickej kotliny bolo hodnotené pre exploatáciu systémom reinjektáže a predstavuje **1 276,4 MW_t** (pre teplotný spád zo 119 °C na referenčnú teplotu 15 °C (Franko et., 1995).

Pri porovnaní vyššie uvedeného množstva geotermálnej energie so zisteným tepelným výkonom (**78,22 MW_t**) vidno, že veľmi vysoké množstvo geotermálnej energie v tomto geotermálnom útvare je overené minimálne a jeho vysoký tepelno-energetický potenciál (**1 198,18 MW_t**) ešte zostáva na overenie.

V oblasti Ďurkova boli prírodné zásoby geotermálnej energie ohodnotené na 113,4 MW_t, čo zodpovedá množstvu zásob geotermálnych vôd 470 l.s⁻¹. Hodnota merného tepelno-energetického potenciálu prírodného množstva geotermálnej vody triasových karbonátov sa pohybuje v intervale 4,8-42,4 GJ.m⁻². Maximálne hodnoty (40 GJ.m⁻² a viac) charakterizujú južný okraj obce Bidovce a územie severne až severovýchodne od geotermálnych vrtov GTD-1 až 3, nízke hodnoty (10 GJ.m⁻² a menej) sú typické pre západnú a východnú časť územia (Vranovská et al., 1999).

Košická kotlina zastupuje útvary s rezervoárovým prostredím v stredotriasových karbonátoch. Podľa pravdepodobnostného modelu odhadu zdrojov a zásob GTE pripadá na útvar TTP = 429,4 MW_{th} s pravdepodobnosťou overenia 82 %, pričom R_{pv} = 78,2 MW_{th} a R_{pb} = 351,2 MW_{th}, a odhad udržateľnej kapacity útvaru je P_{th(rcap=0,5)} = 125,6 MW_{th} s pravdepodobnosťou overenia 96 %.

Geotermálna energia viazaná na útvar nie je momentálne využívaná (P_{th} = 0 MW_{th} a P_{th,inst} = 0 MW_{th}). Indikátory udržateľnosti produkcie geotermálnej energie a jej rozvoja sa teda rovnajú, t. j. r_{cap(U)} = 1, r_{cap(U*)} = 1, (r_{cap(S)} = 1 a r_{cap(S*)} = 1. Udržateľný potenciál následne zodpovedá udržateľnej kapacite štruktúry, t. j. P_{th(D)} = P_{th(D*)} = P_{th(rcap=0,5)} = 125,6 MW_{th}. Pri aktuálnych R_{pv} ostáva na hladine udržateľnosti overiť 97 MW_{th}. Útvar je z pohľadu rozvoja a prieskumu zdrojov GTE možné považovať za perspektívny.

5.18 ÚTVAR SK300180FK - KOMJATICKÁ DEPRESIA

5.18.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

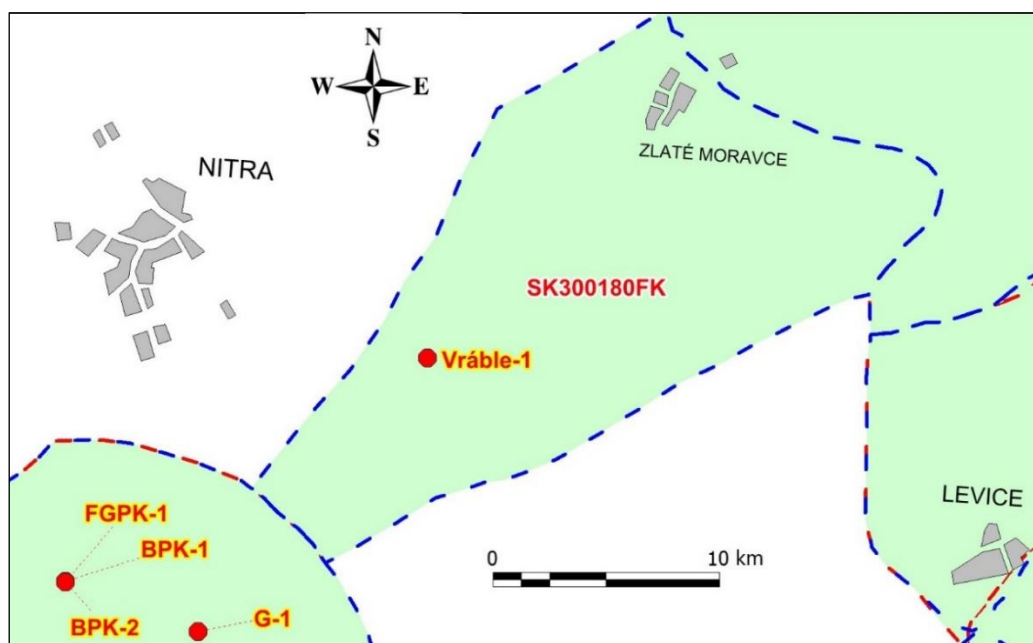
Útvar komjatická depresia, resp. zlatomoravecký záliv tvorí územie, ktoré sa nachádza medzi pohoriami Tribeč a Pohronský Inovec, na juhu je hranicou Podunajská

pahorkatina. Depresia je vyplnená neogénnymi horninami, ktoré v oblasti slepčianskej depresie dosahujú hrúbku až okolo 3 000 m. Na geologickej stavbe predterciérneho podložia, ktorá je pomerne zložitá, sa podieľa tatrikum so svojim paleozoicko-mezozoickým obalom (žuly, arkózové pieskovce, bridlice, dolomity); územím depresie prebieha hlbinný veporský zlom a čertovická línia, pozdĺž ktorej je veporikum nasunuté na tatrikum.

Geotermálne vody sú tu viazané na triasové karbonáty tatrika a veporika, ktoré ležia v podloží hornín neogénu, ako aj na bazálne neogénne klastiká a pieskovce v rámci vlastnej neogénnej výplne (Remšík, 1989).

Geotermálne vody, viazané na triasové dolomity tatrika boli zistené len vrtom na uhľovodíky **Vráble-1** (obr. 5.18.1.1). Tento vrt v hĺbke 2 480-2 572 m zistil geotermálnu soľanku (Na-Cl typ) s mineralizáciou **56,8- 82,2 g.l⁻¹**; prítok vody bol **8,0 l.s⁻¹**, teplota vody na ústí vrtu 51 °C a tepelný výkon bol stanovený hodnotou **1,2 MWt**.

Predstavu o charaktere geotermálnych vôd v neogénnych kolektoroch výplne komjatickej depresie poskytuje geotermálna voda, ktorá boli zistená *blízko v susednom území centrálnej depresie podunajskej panvy* geotermálnym vrtom **G-1 Komjatice**. Týmto vrtom, hlbokým 1 830 m, bola v pieskovcoch panónu v hĺbke 1 509-1 700 m overená geotermálna voda Na-Ca-Cl-HCO₃ typu s mineralizáciou 20,1 g.l⁻¹. Výdatnosť vrtu bola 12,0 l.s⁻¹, teplota vody na ústí vrtu 78 °C. Vzhľadom na vysokú mineralizáciu sa geotermálna voda nevyužíva.



Obr. 5.18.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300180FK a zdroje geotermálnej vody

5.18.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Geotermálna aktivita územia je mierne zvýšená. Teplota v hĺbke 1 000 m sa pohybuje v rozmedzí 40 až 55 °C, v hĺbke 2 000 m 80 až 90 °C, v hĺbke 3 000 m okolo 110 až 120 °C a stúpa v smere zo severu na juh. Teplota na predterciérnom podloží sa pohybuje v rozmedzí 25-100 °C a narastá juhozápadným smerom a tiež od okrajov depresie smerom do jej stredu, čo súvisí s hĺbkou predterciérneho podložia. Hustota zemského tepelného toku sa pohybuje v rozmedzí 80,0 – 85,0 mW.m⁻² (Franko et al., 1995).

5.18.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období 2011-2017 nebol žiaden geotermálny vrt v tomto útvare využívaný. V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd je útvár v dobrom stave na základe nerealizácie odberov vody (tab. 6.1.1).

5.18.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300030FK nie sú realizované žiadne odbery vôd a preto tento útvár hodnotíme v dobrom chemickom stave, ale s nulovým stupňom spoľahlivosti (tab. 6.2.1).

5.18.5 Množstvo geotermálnej energie a vôd

Pravdepodobné neobnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie komjatickej depresie bolo hodnotené pre exploatáciu systémom reinjektáže, predstavuje **392,64 MWt** (Franko et., 1995) a celé zostáva na overenie.

Komjatická depresia je útvár vyčlenený v neogénnych siliciklastikách. Pravdepodobnostný model odhadu zdrojov a zásob GTE odhadol $TTP = 78,8 \text{ MWth}$ s podielom $R_{pv} = 2,5 \text{ MWth}$ a $R_{pb} = 76,3 \text{ MWth}$, s pravdepodobnosťou overenia 62 %. Odhad udržateľnej kapacity útvaru je $P_{th(rcap=0,5)} = 38,2 \text{ MWth}$ s pravdepodobnosťou overenia 88 %.

V súčasnosti nie je geotermálna energia viazaná na útvár využívaná, t. j. $P_{th} = 0 \text{ MWth}$ a $P_{th,inst} = 0 \text{ MWth}$, dôsledkom čoho $r_{cap(U)} = 1$, $r_{cap(U^*)} = 1$, $(r_{cap(S)} = 1 \text{ a } r_{cap(S^*)} = 1)$. Udržateľný potenciál je rovný udržateľnej kapacite, t. j. $P_{th(D)} = P_{th(D^*)} = P_{th(rcap=0,5)} = 38,2 \text{ MWth}$. K overeniu udržateľnej kapacity ostáva 35,7 MWth. Útvár je z hľadiska rozvoja a udržateľnosti produkcie, ako aj prieskumu, možné klasifikovať ako perspektívny.

5.19 ÚTVAR SK300190FK – ŽIARSKA KOTLINA

5.19.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Predmetný geotermálny útvar patrí so svojou plochou cca 983,493 km² k trom najrozľahlejším geotermálnym útvarom Slovenska. Nachádza sa v strednej časti Slovenska, kde zaberá zhruba územie medzi pohoriami Kremnické vrchy, severozápadná časť Štiavnických vrchov, Vtáčnika a Pohronskeho Inovca.

Geologickú stavbu územia tvoria komplexy sedimentárneho neogénu a neovulkanických horniny, ktoré sú produktom hlavne andezitového vulkanizmu (báden-sarmat), v menšej miere aj ryolitového vulkanizmu. Centrálné zóny stratovulkánov budujú andezity s intruzívnymi telesami granodioritov, dioritov a porfýrov, ich okolie a perifériu tvoria lávové prúdy, vulkanoklastiká a vulkano-sedimentárne komplexy.

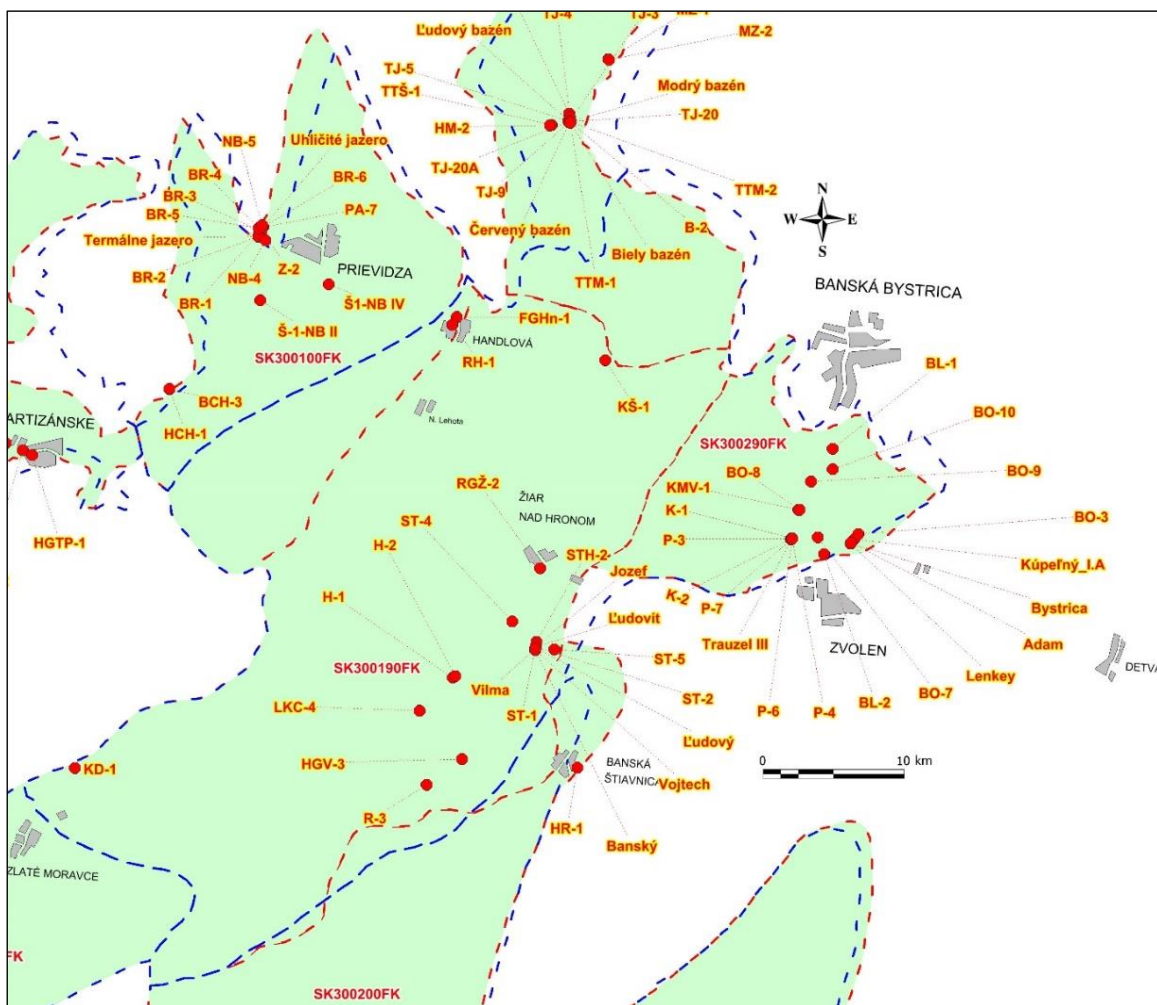
Na zložitej geologickej stavbe predterciérneho podložia sa podieľajú všetky hlavné tektonické jednotky vnútorných Západných Karpát. Väčšiu časť podložia neovulkanitov tvoria elementy veporika (granitoidy, vrchnopaleozoicko-mezozoický obal). V podloží sú pomerne rozšírené aj vrchnopaleozoicko-mezozoické formácie hronika a vyšších príkrovov, fatrika a pod ním tatrika v území najmä Kremnických vrchov a Vtáčnika. Reliéf predterciérneho podložia je veľmi členitý. Intenzívne rozlámanie územia zlomami spôsobilo časté striedanie elevačných a depresných morfoštruktúr s veľkými výškovými rozdielmi. Výrazné elevácie podložia tvoria rudniansky chrbát, hodruško-štiavnicka hrast', handlovský chrbát. Najvýraznejšiu depresiu tvorí Žiarska kotlina.

Geotermálne vody sú tu známe z prirodzených prameňov (**Sklené Teplice, Vyhne,**) a vrtov. Viazané sú hlavne na triasové dolomity a vápence veporika, fatrika a hronika v podloží terciérnych sedimentov.

V tomto geotermálnom útvare bolo realizovaných 8 zdrojov v kúpeľoch **Sklené Teplice** a 11 vrtov na nasledujúcich lokalitách: **KŠ-1 Kremnica, H-1, H-2, HGV-3 Vyhne, R-3 Hodruša Hámre - Zlatno, LKC-4 Lukavica, KD-1 Obyce, RGŽ-2 Žiar nad Hronom a ST-4, ST-5 a STH-2 Sklené Teplice** hlbokých 2,5-2 500 m (obr. 5.19.1.1).

Geotermálne vody boli v nich zachytené v hĺbkach 5 – 1 695 m, výdatnosť vrtov predstavovala 0,09 – 23,2 l.s⁻¹ s teplotou vody na povrchu 27,0 – 57,4 °C a tepelným výkonom vrtov 0,01 – 3,45 MWt. Sumárna výdatnosť vrtov v útvare predstavuje **107,73 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **14,06 MWt** (príl. č. 1, 2, 3).

Z chemického hľadiska boli v útvare overené vody hlavne Ca-SO_4 , $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$, $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-HCO}_3$, $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$ typu s mineralizáciou $0,4 - 5,0 \text{ g.l}^{-1}$.



Obr. 5.19.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300190FK a zdroje geotermálnej vody

Územie geotermálneho útvaru Žiarska kotlina regionálne hydrogeotermálne zhodnotili Remšík a kol. (2000b). Geotermálne vody v najbližšom území (**región Sklených Teplic**) sú známe z 11-ich prameňov a dvoch vrtov (ST-1, 2) v Sklených Tepliciach (výdatnosť $0,1 - 22,3 \text{ l.s}^{-1}$, teplota vody $24 - 53 \text{ }^{\circ}\text{C}$, Ca-Mg-SO_4 typ s mineralizáciou $2,4 - 2,6 \text{ g.l}^{-1}$), z vrtu ST-4 a ST-5 v ich okolí (výdatnosť $16,13 \text{ l.s}^{-1}$ a $4,4 \text{ l.s}^{-1}$, teplota vody $57 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $46,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, chemické zloženie vôd rovnaké ako u zdrojov v Sklených Tepliciach), vo Vyhniciach – prameň Vyhnianka v štôlni a vrt H-1 (výdatnosť $5,3$ a $5,0 \text{ l.s}^{-1}$, teplota vody 33 a $36 \text{ }^{\circ}\text{C}$, Ca-HCO_3 typ s mineralizáciou okolo 1 g.l^{-1}) a v Lukavici (vrt LKC-4). Geotermálny

vrt RGŽ-2 v Žiari nad Hronom, hlboký 2 500 m, zistil absenciu kolektorov geotermálnych vôd (triasových karbonátov).

Geotermálne vody v Žiarskej kotline sa nachádzajú v predterciálnom podloží a sú viazané na triasové dolomity a vápence hronika a série Veľkého Boku, resp. fatrika. Rozloženie hydrogeotermálnych štruktúr sa kryje s rozšírením triasových dolomitov a vápencov týchto tektonických jednotiek, ale aj s rozložením morfoštruktúr podložia, ktorými sú poklesávajúci svah hodruško-štiavnickej hraste a žiarska depresia (Remšík et al., 2000).

Triasové vápence a dolomity hronika budujú vrchné hydrogeotermálne štruktúry (**vrchná sklenoteplická a vrchná žiarska štruktúra**), kde v hĺbkach 200 – 300 m až -4100 m sa predpokladajú geotermálne vody s rezervoárovou teplotou okolo 20 – 150 °C.

Triasové vápence a dolomity série Veľkého Boku, resp. fatrika budujú spodné hydrogeotermálne štruktúry (**spodná sklenoteplická a spodná žiarska štruktúra**), kde v hĺbkach okolo 600 m (-200 m) až cca 5000 m (-4700 m) sa uvažuje s geotermálnymi vodami s rezervoárovou teplotou okolo 30 – 160 °C.

5.19.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Geotermálna aktivita útvaru je veľmi zvýšená. Teplota v hĺbke 1 000 m sa pohybuje v rozmedzí 35 až 50 °C, v hĺbke 2 000 m 65 až 95 °C, v hĺbke 3000 m 90 až 115 °C a v hĺbke 5 000 m 140 až 165 °C. Teplotné pole je dosť rôznorodé a vytvára viaceré centrá s vyššími, resp. nižšími teplotami. Teplota na predterciálnom podloží sa pohybuje v rozmedzí 10-90 °C a najvyššiu hodnotu dosahuje v Žiarskej kotline, čo súvisí s hĺbkou predterciálneho podložia. Hustota tepelného toku sa pohybuje v rozmedzí 75,0 – 108,0 mW.m⁻² (Franko et al., 1995).

Tepelné pole má iný obraz ako teplotné pole, vytvára pomerne symetrický kruhový obraz s maximálnou hodnotou tepelného toku v oblasti Banskej Štiavnice, odkiaľ tieto hodnoty na všetky strany klesajú.

5.19.3 Kvantitatívny stav útvaru

V sledovanom období 2011-2017 bola termálne voda využívaná okrem vrtov v kúpeľoch **Sklenné Teplice** na lokalitách **Vyhne a Sklenné Teplice-kúpalisko**. Na lokalite Vyhne vrt H-1, H-2 a HGV-3 a v Sklenných Tepliciach vrt ST-4 pre potreby kúpaliska.

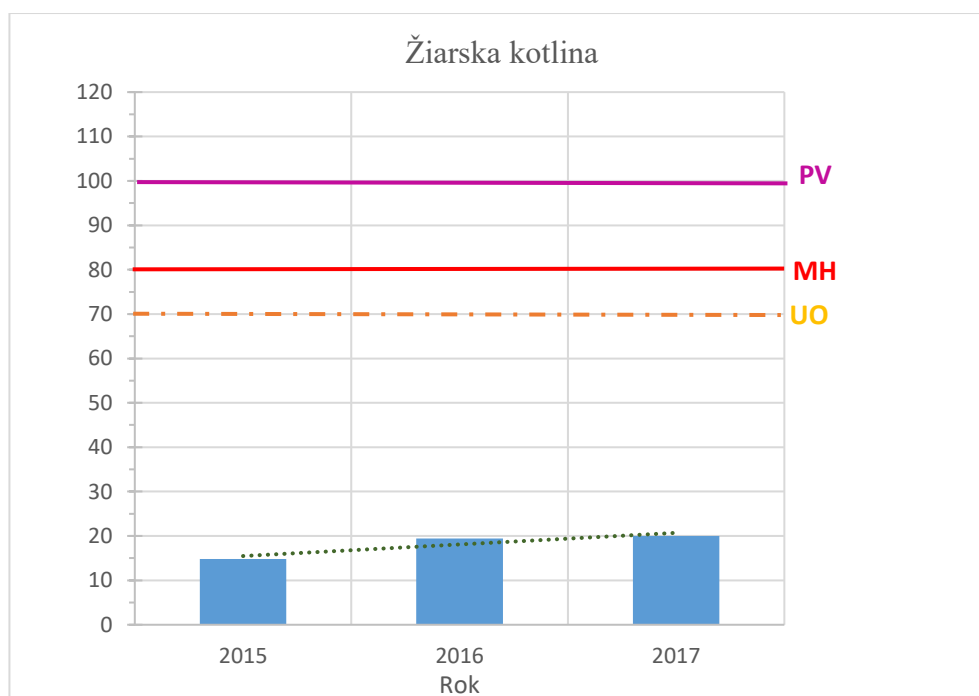
Celkovo bolo z útvaru v období 2011-2015 odobraných **cca 176 tis. m³ (5,58 l.s⁻¹)**, 4v rokoch 2016-2017 tento odber mierne poklesol na hodnotu **cca 151 tis. m³ (4,80 l.s⁻¹)**.

V **kúpeľoch Sklenné Teplice** boli v rokoch 2012-2015 využívané 3 zdroje (vrty ST-1, ST-2 a prameň Banský) s priemerným sumárnym ročným odberom **cca 107 tis. m³ (3,4 l.s⁻¹)**, v rokoch 2016-2017 tento odber poklesol cca o 26 % na hodnotu **cca 79 tis. m³ (2,5 l.s⁻¹)**.

Na lokalite **Vyhne** bolo z vrtov **H-1 a HGV-3** v rokoch 2011-2015 sumárne odobraných v priemere **48 tis. m³ (1,5 l.s⁻¹)**, v rokoch 2016-2017 to bolo z troch vrtov **72,5 tis. m³ (2,3 l.s⁻¹)**, nakoľko od roku 2016 je využívaný i vrt **H-2**. Geotermálna voda je využívaná celoročne pre potreby zariadení Vodný Raj Vyhne (vrt H-1), hotel Termal Vyhne (vrt H-2) a hotel Sitno Vyhne (vrt HGV-3).

V útvare bol v období 2011-2015 využívaný aj geotermálny vrt **KŠ-1 Kremnica** pre miestne termálne kúpalisko bez nahlasovania údajov o odbere. Od r. 2017 je však kúpalisko mimo prevádzky.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.19.3.1) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/14,82 %; 2016/19,42 %; 2017/20,40 %) na základe strednej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1).).



Obr. 5.19.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Žiarskej kotliny

5.19.4 Chemický stav útvaru

Hodnotenie chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300190FK bolo realizované na základe metódy medzikvartilového rozpätia (IQR) a trendu časového vývoja chemického zloženia geotermálnej vody na 3 zdrojoch (Banský, vrt ST-1 Zipser, vrt ST-2 Born). V prípade hodnotených zdrojov boli k dispozícii údaje z dvoch časových období – staršie analýzy z rokov 1973 (Banský a ST-2 Born) a 1967 (ST-1 Zipser), resp. analýzy z obdobia rokov 2016 až 2019 (obr. 5.19.4.1 až 5.19.4.3).

Chemické zloženie vody zo zdroja Banský vykazuje stabilitu pre všetky parametre, a to aj pri zohľadnení výsledkov analýzy z roku 1973 (obr. 5.19.4.1).

Aj chemické zloženie vody vrtu ST-1 Zipser vykazuje prakticky stabilitu pre hodnotené parametre, a to aj pri zohľadnení výsledkov analýzy z roku 1967 (obr. 5.19.4.2). Výnimkou je chemické zloženie vzorky vody odobratej dňa 14.7.2016, kedy boli zistené odľahlé hodnoty/koncentrácie pre viaceré parametre – celková mineralizácia (2443,73 mg.l⁻¹), SO₄²⁻ (1297,4 mg.l⁻¹) a HCO₃⁻ (399,1 mg.l⁻¹) (obr. 5.19.4.2). Podobne aj chemické zloženie vody vrtu ST-2 Born je v čase pomerne stabilné, a to aj pri zohľadnení výsledkov analýzy z roku 1967 (obr. 5.19.4.3). Určitou výnimkou je chemické zloženie vzorky vody odobratej dňa 2.8.2018, kedy boli zistené odľahlé koncentrácie pre Mg²⁺ (119,18 mg.l⁻¹), SO₄²⁻ (1415 mg.l⁻¹) a HCO₃⁻ (385 mg.l⁻¹) (obr. 5.19.4.3). Aj napriek uvedenému sa domnievame, že zistená variabilita koncentrácií viacerých hodnotených ukazovateľov v podzemnej vode zdrojov vrt ST-1 Zipser a ST-2 Born odráža skôr prirodzený režim tvorby chemického zloženia v hydrogeologickej štruktúre, resp. môže súvisieť so spôsobom exploatacie zdroja.

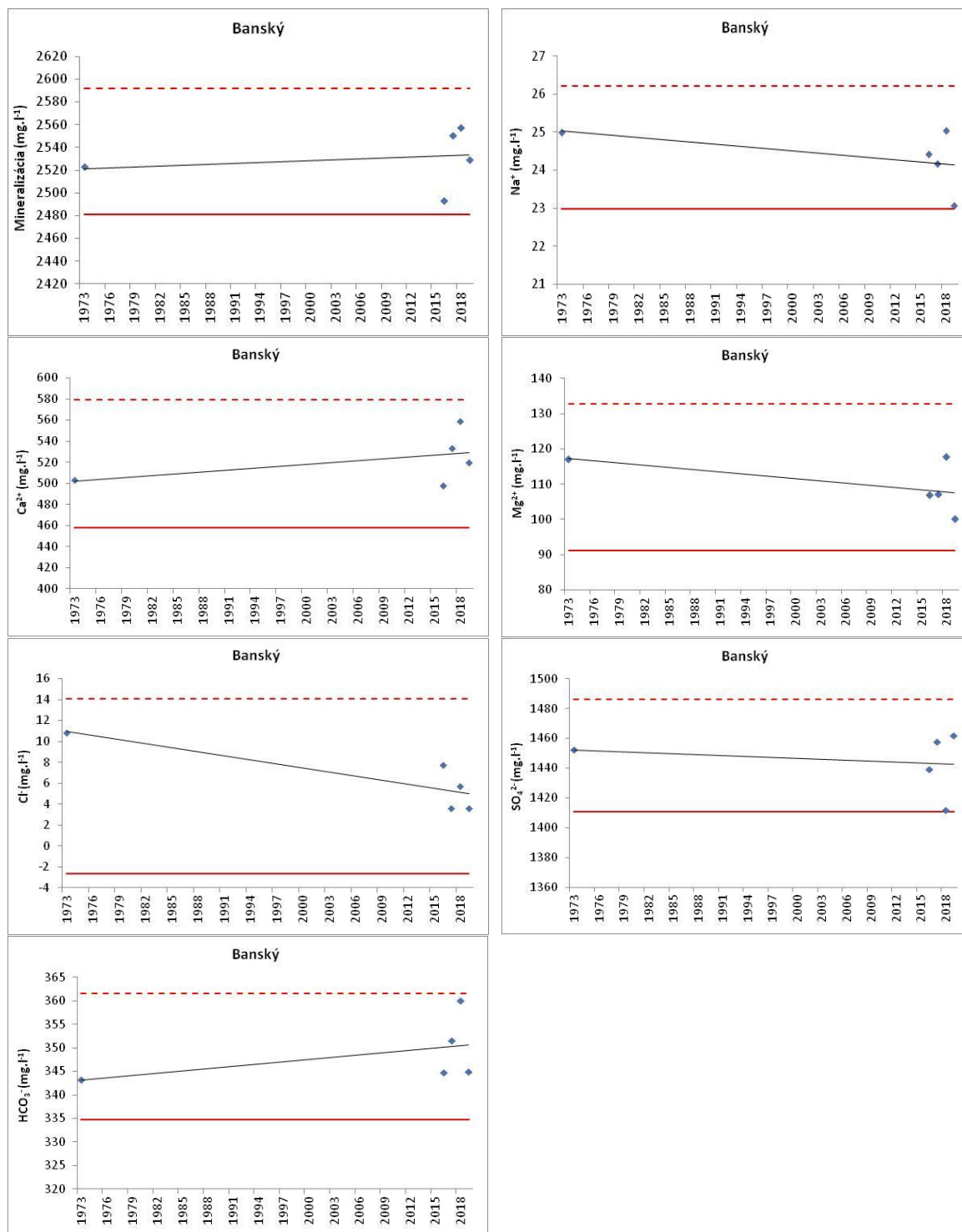
Geotermálne útvary SK300190FK hodnotíme z pohľadu chemického stavu v dobrom stave a z pohľadu spoľahlivosti hodnotenia chemického stavu je to vysoká miera spoľahlivosti (3).

5.19.5 Množstvo geotermálnej energie a vôd

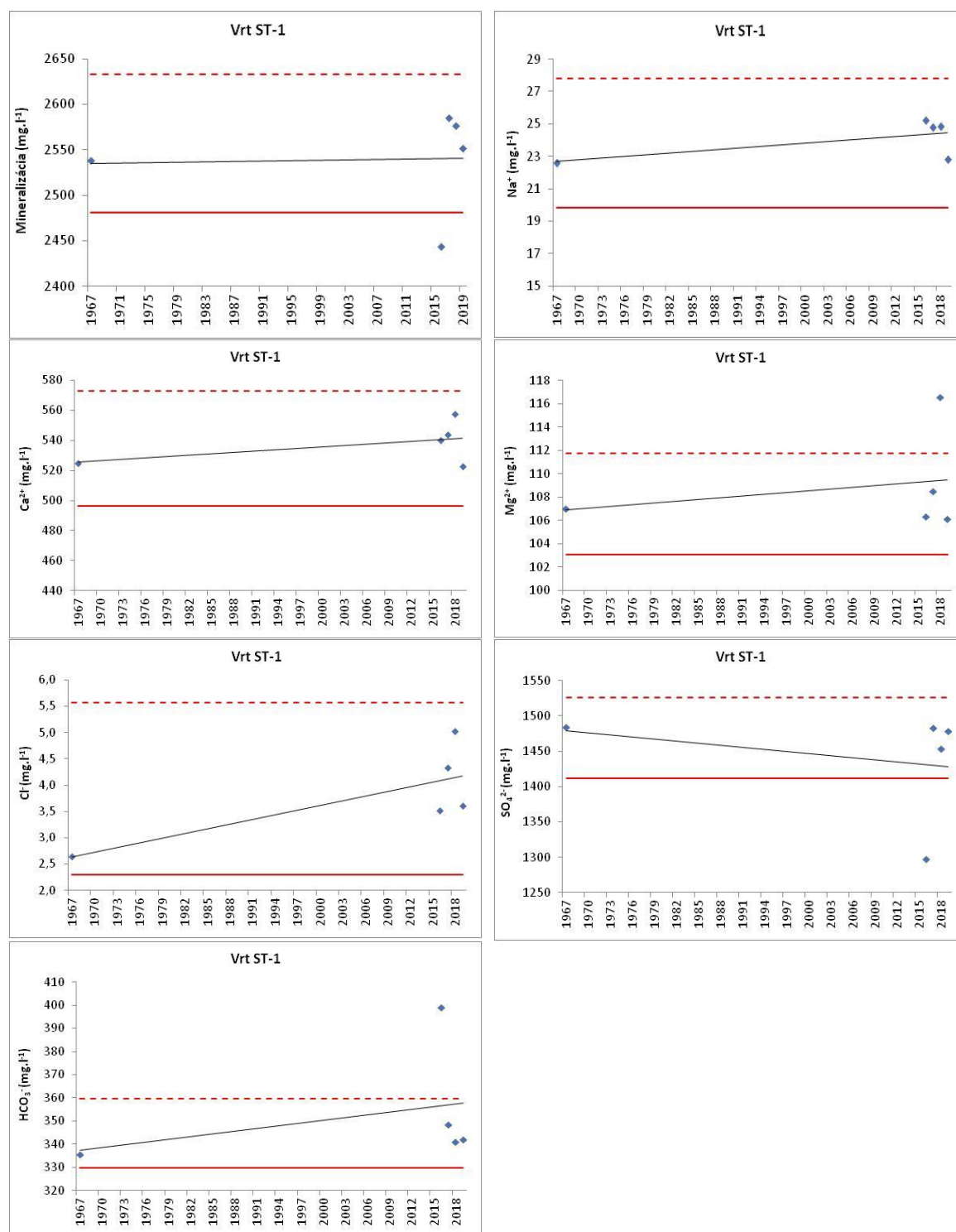
Geotermálny útvar Žiarska kotlina bola v minulosti hodnotená ako súčasť útvaru stredoslovenské neovulkanity - SZ časť (obr. 5.19.1.1) a pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie pre tento geotermálny útvar má hodnotu **82,6 MWt** (Franko et., 1995).

V záujmovom geotermálnom útvare bola doteraz regionálne hydrogeotermálne zhodnotená iba Žiarska kotlina (Remšík et al., 2000b) Hodnota tepelno-energetického potenciálu prírodného množstva geotermálnej vody triasových karbonátov hronika sa

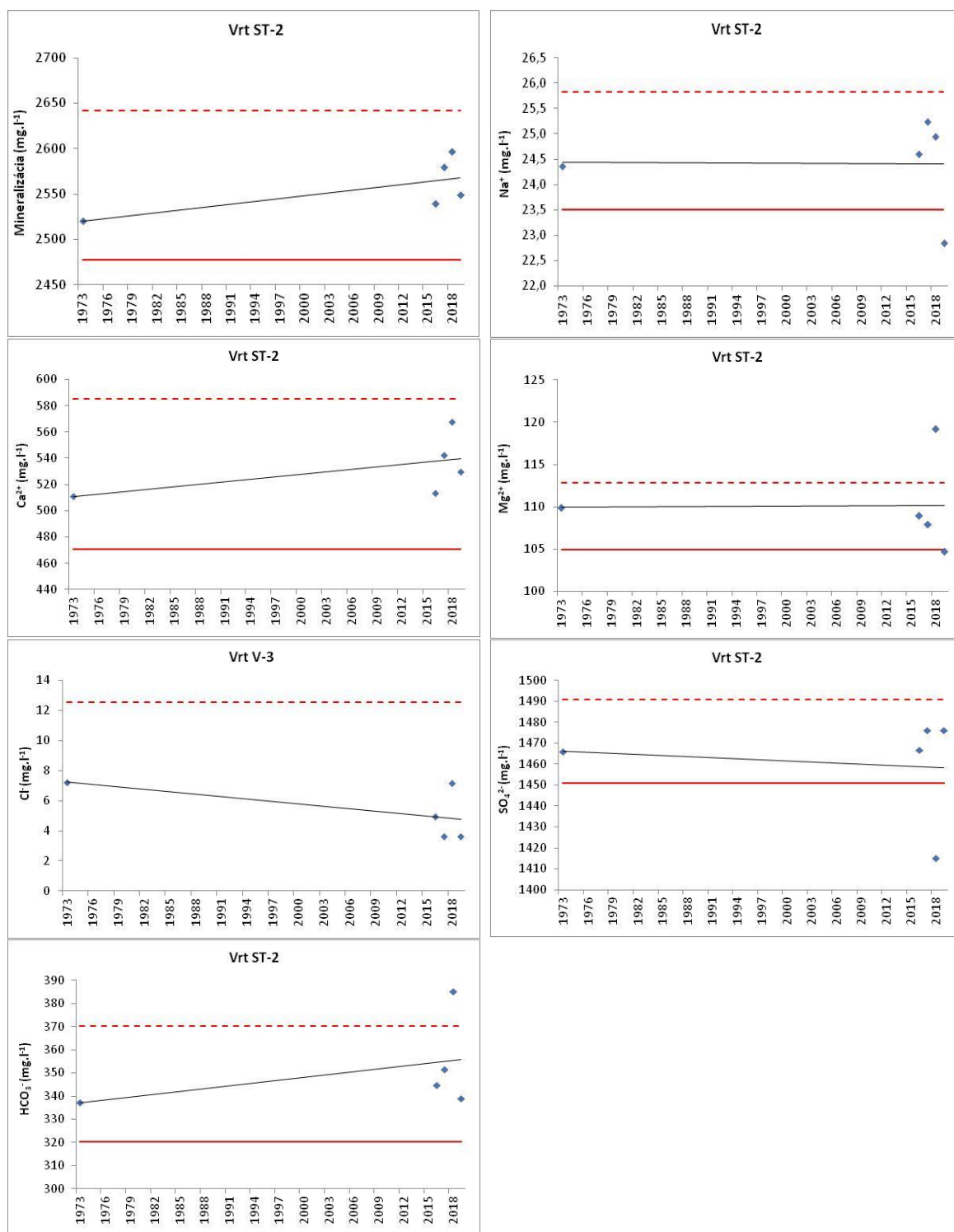
pohybuje v rozmedzí od 0,091 do 6,307 GJ.m⁻² s priemernou hodnotou 3,251 GJ.m⁻². Najvyššie hodnoty charakterizujú oblasť Dolná Ždaňa – Lovča, odkiaľ dochádza k ich poklesu smerom k okrajom kotliny. Nižšie hodnoty tepelno-energetického potenciálu



Obr. 5.19.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Banský



Obr. 5.19.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu ST-1 Zipser



Obr. 5.19.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu ST-2 Born

prírodného množstva geotermálnej vody triasových karbonátov série Veľkého boku, resp. fatrika predstavujú $0,329\text{--}3,658 \text{ GJ.m}^{-2}$ s priemernou hodnotou $2,357 \text{ GJ.m}^{-2}$. Najvyššie hodnoty sú v oblasti Dolná Ždaňa – Prestavky – Jánova Lehota – Žiar nad Hronom s maximom v širšej oblasti Lovče odkiaľ dochádza k ich relatívne rovnomernému poklesu smerom k okrajom kotliny.

Prírodné množstvo geotermálnych vôd s teplotou vody $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (sklenoteplická štruktúra) a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ (žiarska štruktúra) predstavuje $65,3 \text{ l.s}^{-1}$, čo zodpovedá prognóznemu množstvu geotermálnej energie prírodných zdrojov $22,296 \text{ MW}_t$.

Pri porovnaní vyššie uvedeného množstva geotermálnej energie (**$82,6 \text{ MW}_t$**) so zisteným tepelným výkonom (**$14,06 \text{ MW}_t$**) vidno, že v predmetnom geotermálnom útvaru je overené iba pomerne malé množstvo geotermálnej energie a jeho značné množstvo ($68,54 \text{ MW}_t$) ešte zostáva na overenie.

Žiarska kotlina je útvarom vyčleneným v mezozoických karbonátoch. Energetická bilancia útvaru opísaná modelom odhadu je $TTP = 79 \text{ MWth}$ s pravdepodobnosťou overenia 73 %, z čoho $R_{pv} = 10,5 \text{ MWth}$ a $R_{pb} = 68,5 \text{ MWth}$. Podľa koeficientu kapacity zásob je udržateľná kapacita útvaru na úrovni $P_{th(r_{cap}=0,5)} = 34,2 \text{ MWth}$ s pravdepodobnosťou overenia 91 %.

Využívanie geotermálnej energie viazanej na útvar definuje $P_{th} = 2,4 \text{ MWth}$ a $P_{th,inst} = 8,9 \text{ MWth}$. Podľa ukazovateľov udržateľnosti produkcie a jej rozvoja, t. j. $r_{cap(U)} = 0,97$, $r_{cap(U^*)} = 0,87$, $r_{cap(S)} = 0,93$ a $r_{cap(S^*)} = 0,75$, je možné hodnotiť stav využívania pri aktuálnom, aj maximálnom výkone ako udržateľný, s minimálnym rizikom ďalšieho rozvoja. Potenciál navýšenia produkcie je odhadovaný na úrovni $P_{th(D)} = 31,9 \text{ MWth}$ a $P_{th(D^*)} = 25,6 \text{ MWth}$. Z pohľadu udržateľnej kapacity na overenie ostáva $23,8 \text{ MWth}$. Produkciu GTE a jej rozvoj, ako aj prieskum ďalších množstiev geotermálnej energie klasifikujeme ako udržateľné.

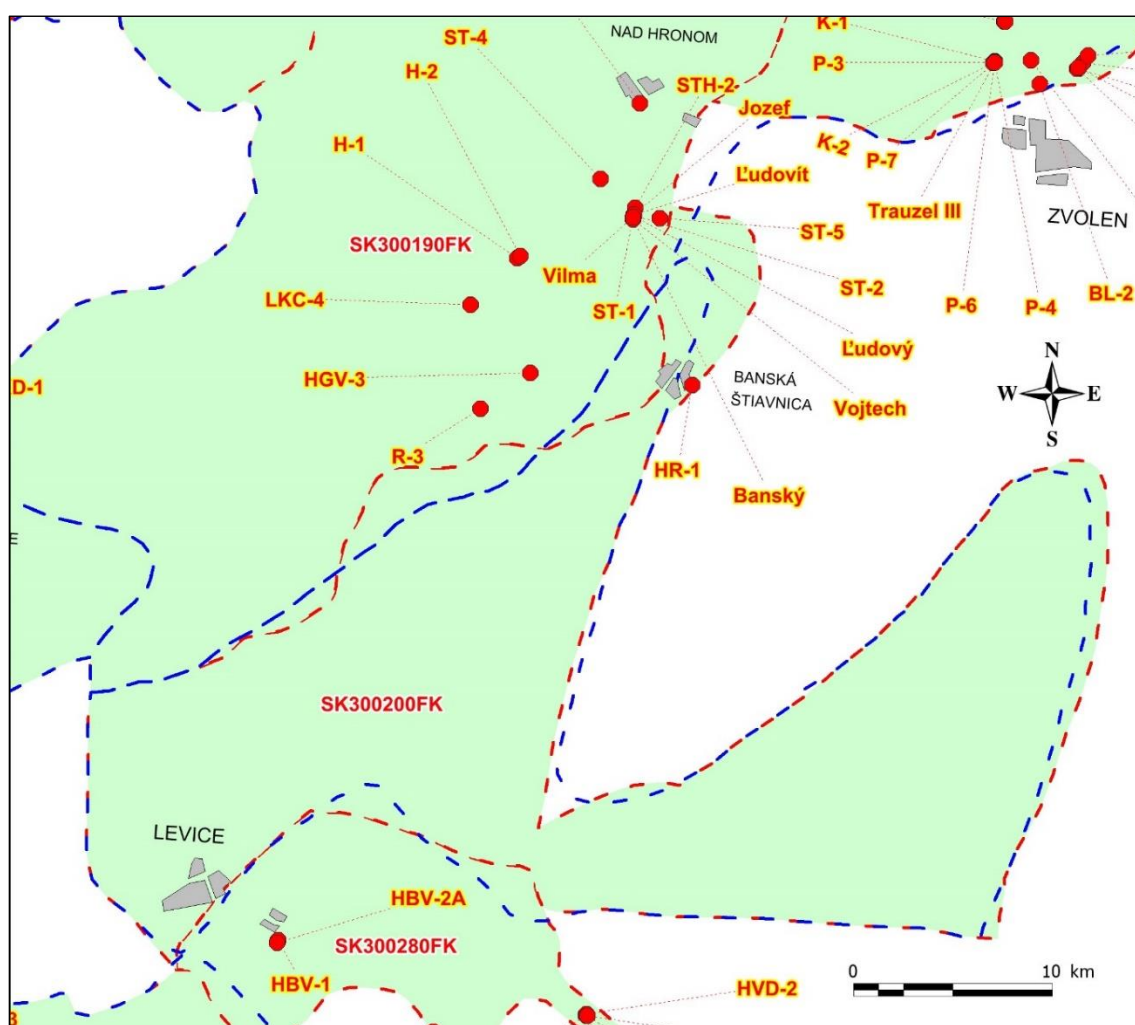
5.20 ÚTVAR SK300200FK - BÁTOVSKÁ A RYKYNČICKÁ DEPRESIA

5.20.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Útvar SK300200FK priamo nadväzuje na geotermálny útvar SK300190FK a jeho územie zaberá približne polohu pôvodného útvaru stredoslovenské neovulkanity – sz. časť. Je to územie zhruba juhovýchodnej časti Štiavnických vrchov a Krupinskej planiny (obr. 5.20.1.1). Geotermálne útvary sú vzájomne oddelené výraznou eleváciou predterciérneho podložia – rudnianskym chrbtom.

Geologická stavba územia je podobná ako v prípade geotermálneho útvaru stredoslovenské neovulkanity – sz. časť. V rámci neovulkanických hornín dominujú lávové prúdy andezitov, vulkanoklastiká a vulkano-sedimentárne komplexy.

Na zložitej geologickej stavbe predterciérneho podložia sa podieľajú všetky hlavné tektonické jednotky vnútorných Západných Karpát, a to elementy tatrika, veporika (granitoidy, vrchnopaleozoicko-mezozoický obal) a hronika (vrchnopaleozoicko-mezozoické formácie).



Obr. 5.20.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300200FK a zdroje geotermálnej vody

Reliéf predterciérneho podložia útvaru je členitejší v západnej časti územia, kde na juhu hraničí s výraznou morfológickou eleváciou turovsko-levickou hrasťou. V území Krupinskej planiny je reliéf podložia menej členitý. Z depresných štruktúr sú charakteristické bacúrovská a bzovická depresia.

Geotermálne vody sú tu známe z banských diel (**Banská Štiavnica, podložná Grüner žila**) a vrtu. Viazané sú hlavne na triasové dolomity a vápence veporika v podloží terciérnych sedimentov, ale aj na andezity.

V útvare bol realizovaný vrt **HR-1 Banská Štiavnica** hlboký 910 m, ktorý zachytil vodu z tektonický porušených a premenených andezitov žilnej výplne v otvorenom úseku 748-829 m. Výdatnosť vrtu pri čerpaní dosahovala hodnotu **12,5 l.s⁻¹**, s teplotou vody na povrchu 46,0 °C a tepelným výkonom vrto **1,62 MWt** (príl. č. 1, 2, 3). Z chemického hľadiska sú to vody hlavne Na-Ca-SO₄-HCO₃ typu s mineralizáciou 2,4 g.l⁻¹.

5.20.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Geotermálna aktivita územia je veľmi zvýšená. Teplota v hĺbke 1 000 m sa pohybuje v rozmedzí 40 až 65 °C, v hĺbke 2 000 m 70 až 95 °C, v hĺbke 3 000 m 100 až 125 °C a v hĺbke 5 000 m 155 až 175 °C (Franko et al., 1995).

Teplotné pole má jednoduchší obraz oproti sv. časti neovulkanitov, hodnoty teplôt stúpajú od oblasti Banskej Štiavnice smerom na juh, resp. juhovýchod. Teplota na predterciérnom podloží sa pohybuje v rozmedzí 40-80 °C a najvyššiu hodnotu dosahuje juhovýchodne od Banskej Štiavnice v bacúrovskej depresii, čo súvisí s hĺbkou predterciérneho podložia. Hustota tepelného toku sa pohybuje v rozmedzí 80,0 – 100,0 mW.m⁻².

Tepelné pole má iný obraz ako teplotné pole, vytvára pomerne symetrický kruhový obraz s maximálnou hodnotou tepelného toku v oblasti Banskej Štiavnice, odkiaľ tieto hodnoty na všetky strany klesajú (Remšík et al., 2000a).

5.20.3 Kvantitatívny stav útvaru

Vrt **HR-1 Banská Štiavnica** sa v sledovanom období 2011-2017 nevyužíval. V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd je útvár v dobrom stave na základe nerealizácie odberov vody (tab. 6.1.1).

5.20.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300200FK nie sú realizované žiadne odbery vôd, a preto tento útvár hodnotíme v dobrom chemickom stave, ale s nulovým stupňom spoľahlivosti (tab. 6.2.1).

5.20.5 Množstvo geotermálnej energie a vôd

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie v geotermálnom útvare stredoslovenské neovulkanity - JV časť bolo hodnotené na **26,4 MWt** (Franko et., 1995).

Bátovsko-rykynčická depresia je útvár identifikovaný v neogénnych vulkanoklastikách a siliciklastikách. Pravdepodobnostný model odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie identifikoval $TTP = 8,2 \text{ MWth}$ s pravdepodobnosťou overenia 99 %, ak $R_{pv} = 1,6 \text{ MWth}$ a $R_{pb} = 6,6 \text{ MWth}$. Udržateľná kapacita $P_{th(rcap=0,5)} = 3,3 \text{ MWth}$ má pravdepodobnosť overenia 99 %.

Útvár nie je využívaný, t. j. pri $P_{th} = 0 \text{ MWth}$ a $P_{th,inst} = 0 \text{ MWth}$ sú indikátory udržateľnosti produkcie a rozvoja jednotkové, t. j. $r_{cap(U)} = 1$, $r_{cap(U^*)} = 1$, $r_{cap(S)} = 1$ a $r_{cap(S^*)} = 1$. Analogicky $P_{th(D)} = P_{th(D^*)} = P_{th(rcap=0,5)} = 3,3 \text{ MWth}$, pre overenie zásob GTE zodpovedajúcich udržateľnej kapacite ostáva 1,7 MWth. Útvár je z pohľadu prieskumu, produkcie a rozvoja GTE možné klasifikovať ako perspektívny.

5.21 ÚTVAR SK300210FK - LEVICKÁ KRYHA

5.21.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Útvár Levická kryha sa nachádza v severovýchodnej časti podunajskej panvy, južne a juhozápadne od mesta Levice. Je budovaná prevažne mezozoickými vápencami a dolomitmi hronika. V ich podloží je miestami zachovaný aj mezozoický obal kryštalinika. Útvár je z východnej strany ohraničený zlomom severojužného smeru, ktorý prebieha západne od Levíc. Mezozoické horniny mierne upadajú od santovsko-turoveckého chrbta, resp. od Levíc smerom k Pozbe z hĺbky asi 700 m až do hĺbky cca 1 500 m. Je to plošina, zo začiatku mierne, potom strmšie uklonená na západ. Ďalej na západ pokračuje iba mezozoický obal kryštalinika, ktorý sa ponára až do hĺbky okolo 2 500 m. Nadložie mezozoických hornín je budované neogénnymi sedimentami.

Geotermálne vody sú viazané na horniny mezozoika (hlavne triasové dolomity, menej kremence) a na bazálne bádenské klastiká v ich priamom nadloží. Sú akumulované pravdepodobne v zatvorenej hydrogeotermálnej štruktúre (má len akumuláciu).

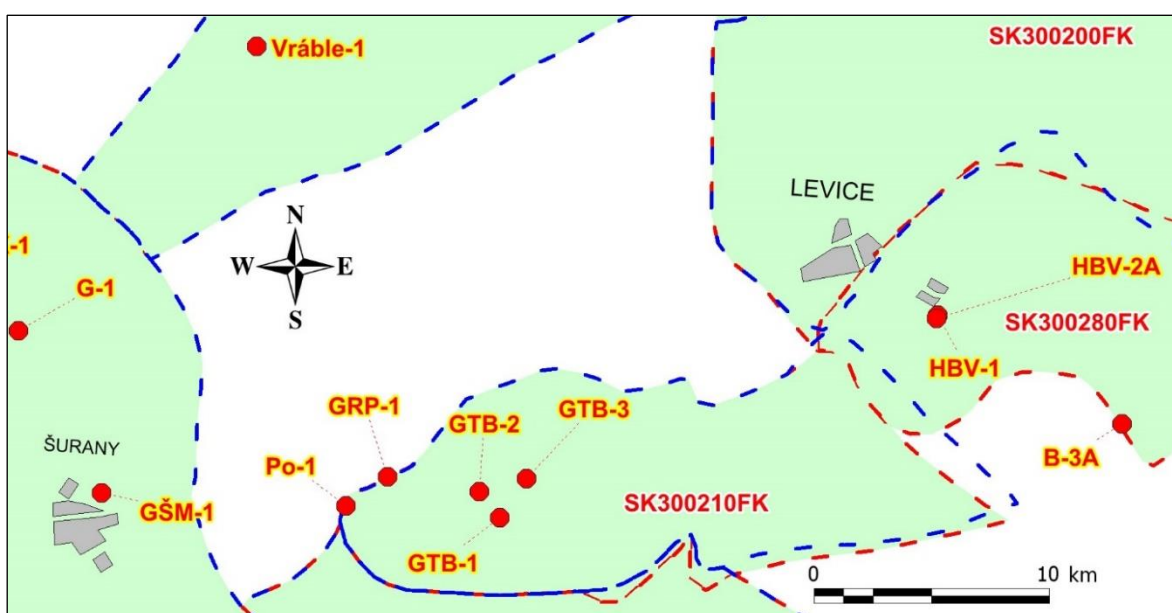
V útvare boli na lokalite **Podhájska** realizované dva geotermálne vrty (**Po-1**, **GRP-1**), hlboké 1 470-1 900 m, ktoré overili geotermálne vody v hĺbkach 975 – 1 740 m, výdatnosť vrtov predstavovala 28,0-53,0 l.s⁻¹, s povrchovou teplotou vody 69 - 80 °C,

mineralizáciou vody 19,2 - 19,6 g.l⁻¹ a tepelným výkonom vrtov 6,32 - 14,42 MWt (príl. č. 1, 2).

Okrem týchto dvoch uvedených vrtov boli v tejto štruktúre v roku 2006 v oblasti **Bardoňova** realizované ešte ďalšie tri geotermálne vrty **GTB-1**, **GTB-2** a **GTB-3**, no dokumentácia o nich je v archíve Geofondu neprístupná do roku 2024 (obr. 5.21.1.1).

Sumárna výdatnosť vrtov v útvere tvorí **106,1 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **25,09 MWt** (príl. č. 3).

Hydraulické vlastnosti kolektorov geotermálnych vôd v útvere charakterizuje koeficient absolútnej prietochnosti v intervale 0,976 – 9,185.10⁻¹¹ m³, koeficient priepustnosti v intervale 0,813 – 4,373.10⁻¹³ m³, koeficient prietochnosti v intervale 0,302 – 2,473.10⁻³ m².s⁻¹, koeficient filtrácie v intervale 0,251 – 1,177.10⁻⁵ m.s⁻¹ a koeficient storativity v intervale 0,1 – 1,5.10⁻⁴.



Obr. 5.21.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300210FK a zdroje geotermálnej vody

V útvere sa vyskytujú geotermálne vody iba výrazného Na-Cl typu s mineralizáciou 12 – 19,6 g.l⁻¹. Mineralizácia vôd v štruktúre klesá v smere zo západu na východ z 19,6 g.l⁻¹ (Po-1) na 12 – 14 g.l⁻¹ (Pozba-4). Geneticky ide o degradované marinogénne vody, ktoré v neogéne (najskôr v bádene) vsiakli do dna sedimentačného bazénu (triasových dolomitov) a tam sa zachovali a metamorfovali na styku voda – hornina.

Geotermálne vody levicekej kryhy sú náchylné k inkrustácii, v zdroji Po-1 Podhájska, ktorý je dlhodobo využívaný, je veľmi vysoká. Pretože vody obidvoch vrtov (Po-1 i GPR-

1) majú vysokú koncentráciu chloridov a síranov, je pravdepodobná aj vysoká chloridová a síranová korózia (Remšík, 1985).

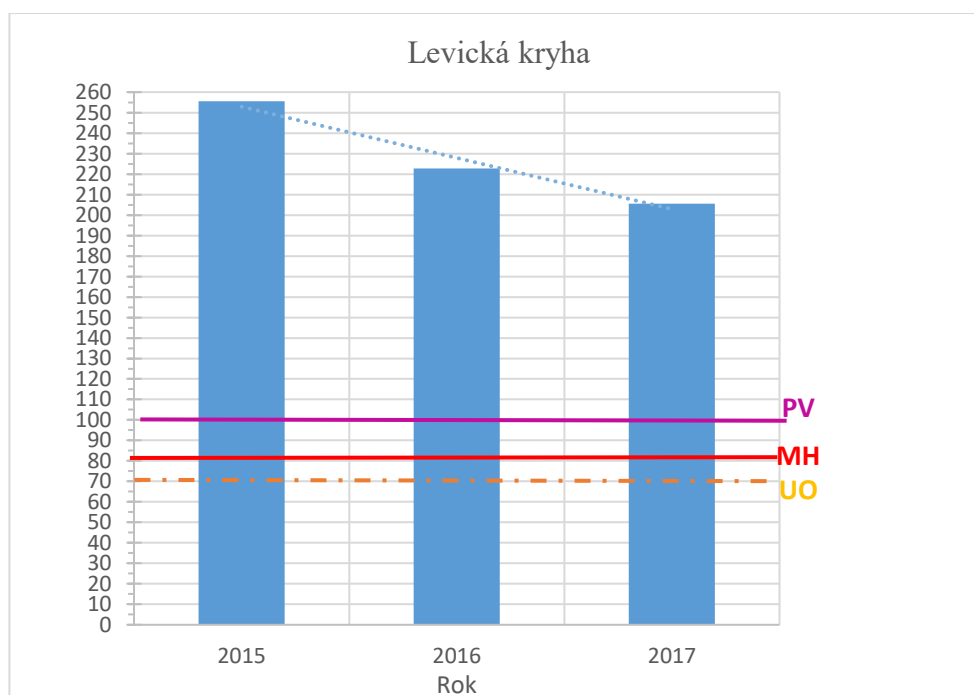
5.21.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Teplotné pole charakterizuje zvýšená aktivita. V hĺbke 1 000 m teplota dosahuje 60-65 °C, v hĺbke 1 500 m je teplota okolo 80 °C a v hĺbke 2 000 m je teplota medzi 95-100 °C. Hustota tepelného toku sa pohybuje okolo 90 mW.m⁻² (Franko et al. 1995).

5.21.3 Kvantitatívny stav útvaru

V útvare bol v sledovanom období využívaný geotermálny **vrt Po-1 Podhájska**, z ktorého bolo v rokoch 2011-2015 odobraných v priemere **cca 289 tis. m³** geotermálnej vody za rok (**cca 9,15 l.s⁻¹**). V rokoch 2016-2017 toto množstvo mierne stúplo na hodnotu **cca 293 tis. m³** (**cca 9,3 l.s⁻¹**). Termálna voda je v letnej sezóne využívaná pre kúpalisko, celoročne pre zariadenie Wellness centrum Aquamarin ako i pre vykurovanie skleníkov.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.21.3.1) je útvár v zlom stave (Bs% - 2015/255,50 %; 2016/222,67 %; 2017/205,52 %) na základe nízkej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1). Trend časového vývoja kvantitatívneho stavu má klesajúci charakter. Percentuálny podiel zdroja Po-1 Podhájska na zlom stave je 100 %.



Obr. 5.21.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) levickej kryhy

V období rokov 2015-2017 (príl. č. 12) bol v tomto útvare dokumentovaný nasledujúci zdroj Po-1 Podhájska v havarijnom stave (tab. 6.1.2).

Nápravné opatrenia na odstránenie zlého kvantitatívneho stavu sú uvedené v podkapitole 6.1.

5.21.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300210FK boli realizované odbery vôd v období 2015 – 2017. Tento útvar patrí k tým 18 geotermálnym útvarom, u ktorých neboli k dispozícii aktuálne chemické analýzy. Vzhľadom k uvedenej skutočnosti nebol pre tento útvar hodnotený chemický stav (tab. 6.2.1).

5.21.5 Množstvo geotermálnej energie a vôd

Prognózne neobnovované množstvo geotermálnej energie štruktúry bolo hodnotené pre exploatáciu systémom reinjektáže a predstavuje **126 MW_t**.

Pri porovnaní vyššie uvedeného tepelno-energetického potenciálu geotermálnej energie s tepelným výkonom **25,09 MW_t**, ktorý odpovedá množstvu geotermálnych vôd so zistenou sumárnou výdatnosťou vrtov **106,1 l.s⁻¹** (príl. č. 2, 3) vidno, že v levickej kryhe sú rezervy na získanie, resp. overenie ďalších množstiev geotermálnej energie (100,91 MW_t).

Exploatáciu geotermálnych vôd kvôli chemickému zloženiu vôd, vyššej mineralizácii a zatvorenosti hydrogeotermálnej štruktúry, **je potrebné realizovať systémom reinjektáže.**

Levicá kryha je vyčlenená v mezozoických karbonátoch a neogénnych siliciklastikách ako útvar GTV. Podľa pravdepodobnostného modelu je energetická bilancia definovaná parametrami $TTP = 46,1 \text{ MWth}$ (pravdepodobnosť overenia 99 %) so zastúpením $R_{pv} = 20,7 \text{ MWth}$ a $R_{pb} = 25,4 \text{ MWth}$. Udržateľná kapacita útvaru predstavuje $P_{th(rcap=0,5)} = 12,7 \text{ MWth}$ s pravdepodobnosťou overenia 99 %. Keďže $R_{pv} > P_{th(rcap=0,5)}$, modelové riešenie neodporúča overovať ďalšie zásoby GTE aby nedošlo k ohrozeniu energetickej bilancie.

Podmienky produkcie definujú parametre $P_{th} = 1,6 \text{ MWth}$ a $P_{th,inst} = 14,4 \text{ MWth}$. Pri aktuálnom tepelnom výkone je produkcia klasifikovateľná ako udržateľná ($r_{cap(U)} = 0,94$), s nízkym rizikom ďalšieho rozvoja ($r_{cap(S)} = 0,87$) ak $P_{th(D)} = 11,1 \text{ MWth}$. Keďže $P_{th,inst} > P_{th(rcap=0,5)}$, produkciu na úrovni inštalovaného výkonu je možné považovať za neudržateľnú s rizikom pre bilanciu útvaru ($r_{cap(U^*)} = 0,43$) bez možnosti udržateľného

rozvoja ($r_{\text{cap}(S^*)} = -0,14$) v dlhodobom ($t_{\text{prod}} = 100$ rokov) horizonte, t. j. $P_{\text{th}(D^*)} = 0$ MWth. Bez overenia, alebo potvrdenia modelu odhadu zdrojov a zásob GTE ďalším výskumom neodporúčame uvažovať o maximálnej produkcii GTE v útvare, pri dodržiavaní tepelného výkonu, ktorý zodpovedá $P_{\text{th}(r_{\text{cap}}=0,5)}$ je využívanie a rozvoj produkcie GTE možné hodnotiť ako potenciálne.

5.22 ÚTVAR SK300220FK - RIMAVSKÁ KOTLINA

5.22.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Útvar Rimavskú kotlinu tvorí východnú časť Juhoslovenskej kotliny. Územie útvaru sa rozkladá južne od Revúckej vrchoviny. Z juhozápadu a juhu ho ohraničuje Cerová vrchovina, z východu štátna hranica s Maďarskom a Slovenský kras.

Kotlina je vyplnená terciárnymi horninami s hrúbkou 200-600 m v severnej časti a 200-1400 m v južnej časti územia. Predterciérne podložie budujú hlavne mezozoické horniny silicika, miestami meliatika a turnaika. Sú to spodnotriasové bridlice s úzkymi synklinálnymi pásmami zvrásnených triasových karbonátov. V najvýchodnejšej časti sa tu ponárajú triasové vápence a dolomity zo Slovenského krasu.

Geotermálne vody sú tu známe z prirodzených výverov so zvýšenou teplotou vody (**Králik, Tornaľa**) a z vrtov. Sú viazané najmä na triasové vápence a dolomity silicika v podloží terciárnych hornín.

V útvare bolo realizovaných päť vrtov (**RKZ-1 Bátka, HM-5 Tornaľa, BČ-3 Čakov, GRS-1 Rimavské Janovce, FGRk-1 Ivanice**), hlbokých 158-1050 m (obr. 5.22.1.1). Geotermálne vody boli v nich zachytené v hĺbkach 155-1 050 m, výdatnosť vrtov predstavovala 0,03-23,9 l.s⁻¹ s teplotou vody na povrchu 19-32,2 °C a tepelným výkonom vrtov 0,19-1,01 MWt (príl. č. 1, 2, 3). Sumárna výdatnosť vrtov v útvare predstavuje **37,73 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **1,76 MWt**. Jeden geotermálny vrt, a to FGRk-1 Ivanice, hlboký 1050 m, zistil v podloží neogénnych hornín absenciu kolektorov geotermálnych (triasových karbonátov).

Z pohľadu chemického zloženia sú v útvare zastúpene vody Ca-HCO₃, resp. Ca-Mg-HCO₃ typu s mineralizáciou 0,7-5,9 g.l⁻¹.

V Rimavskej kotline Marcin a kol. (2009) vymedzil **3 hydrogeotermálne štruktúry**, v ktorých vyčíslil aj prírodné množstvá geotermálnej vody (prírodné zdroje), resp. geotermálnej energie. Sú to **oždiansko-skerešovská štruktúra** s plochou kolektorov 289,1 km² a oblasť karbonátov **Hucín-Plešivec** s plochou kolektorov 63,1 km², obidve

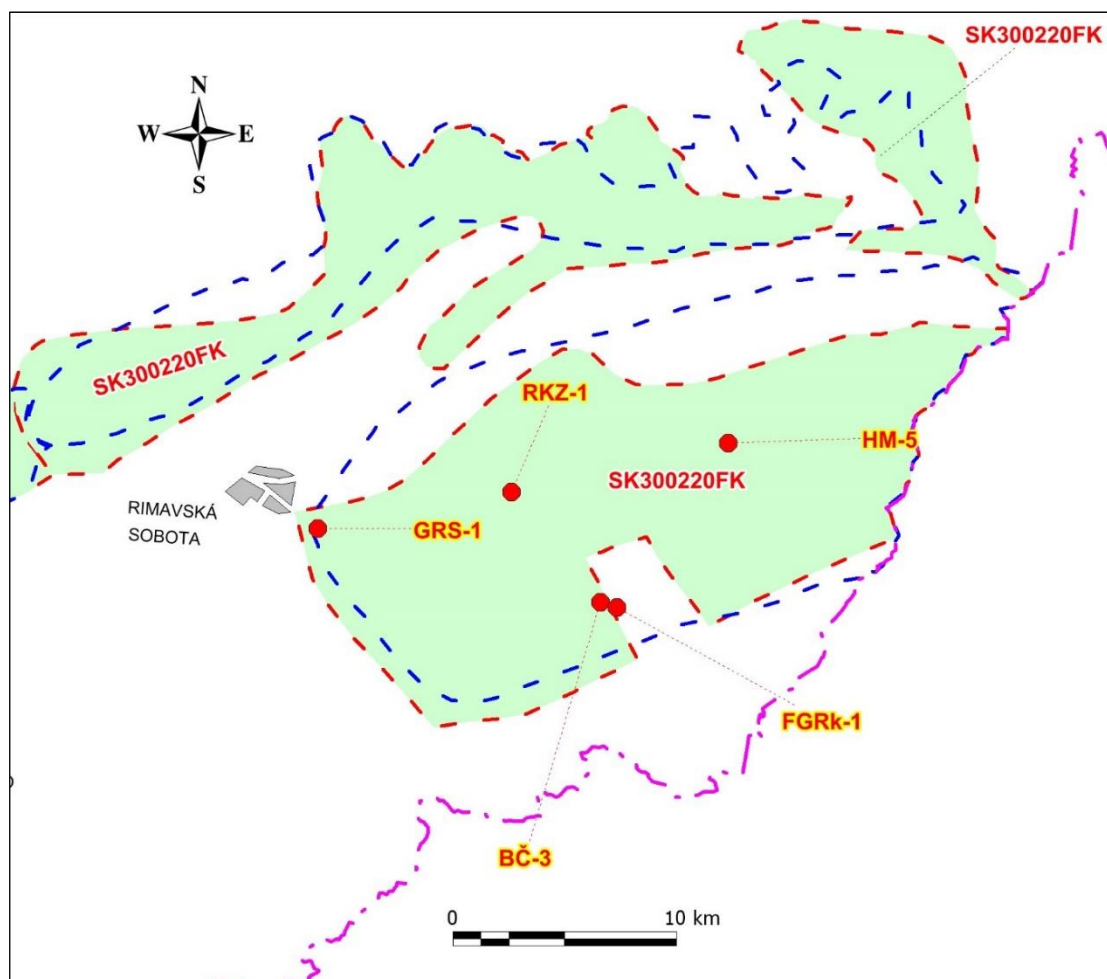
na severe územia a **stránska štruktúra** s plochou kolektorov 177,5 km² na juhu územia, ktorá je najvýznamnejšia pre získanie geotermálnych vôd.

5.22.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Územie útvaru charakterizuje znížená až priemerná geotermická aktivita. Teploty v hĺbke 500 m pod povrchom sa pohybujú v intervale 24-27 °C, v hĺbke 1 000 m 33-39 °C, v hĺbke 1 500 m dosahujú 44-52 °C a v hĺbke 2 000 m predstavujú 53-65 °C.

V teplotnom poli teplota narastá zo severu na juh. Hustota tepelného toku v území kolíše v intervale 59,9-63,4 mW.m⁻² (Franko et al., 1995).

Aktivita tepelného poľa stúpa od severného okraja Rimavskej kotliny juhovýchodným smerom na Tornaľu a juhozápadným smerom na Hajnáčku.



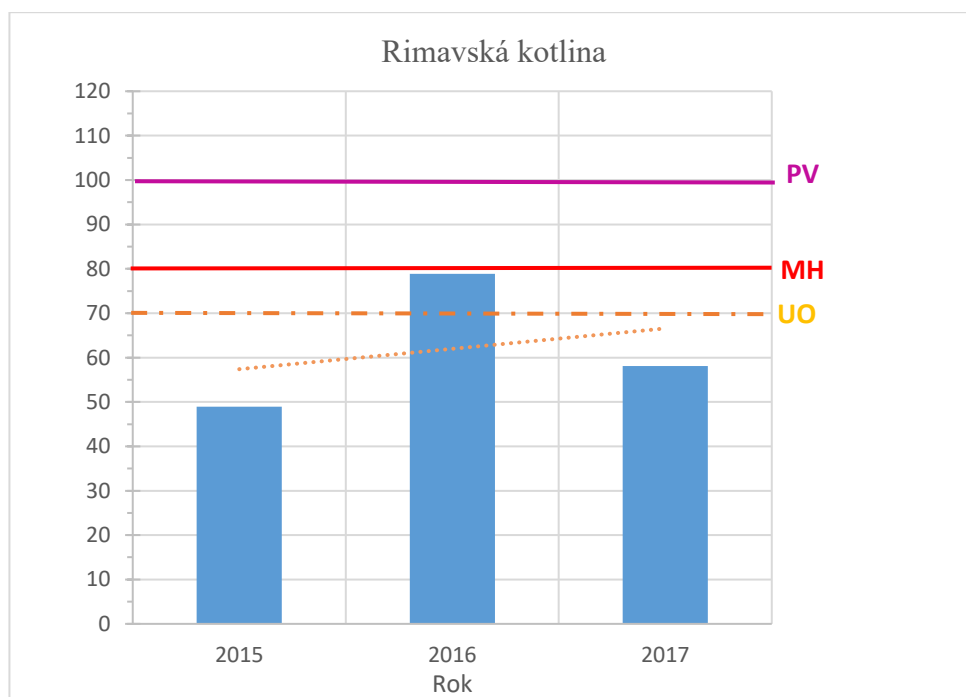
Obr. 5.22.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300220FK a zdroje geotermálnej vody

5.22.3 Kvantitatívny stav útvaru

V útvare je od roku 2012 využívaný geotermálny vrt **GRS-1 Rimavské Janovce** (Kurinec-Zelená voda), z ktorého bolo v období 2012-2015 v priemere za rok odobraných **28,4 tis. m³** geotermálnej vody (cca **2,2 l.s⁻¹**). Toto množstvo v rokoch 2016-2017 vzrástlo viac ako 3-násobne na hodnotu v priemer cca **84 tis. m³** (cca **7,2 l.s⁻¹**). Geotermálna voda je v letnej sezóne využívaná pre Termálne kúpalisko Rimavské Janovce.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.22.3.1) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/48,94 %; 2016/78,85 %; 2017/58,12 %) na základe nízkej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1). Trend časového vývoja kvantitatívneho stavu má rastúci charakter.

Počas obdobia rokov 2015-2017 bolo 1-krát dokumentované prekročenie hodnoty Bs% > 70 % (príl. č. 12). Nápravné opatrenia na zvrátenie nepriaznivého trendu kvantitatívneho stavu sú uvedené v podkapitole 6.1.



Obr. 5.22.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Rimavskej kotliny

5.22.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300220FK boli realizované odbery vôd v období 2015 – 2017. Tento útvár patrí k tým 8 geotermálnym útvarom, u ktorých neboli k dispozícii

aktuálne chemické analýzy. Vzhľadom k uvedenej skutočnosti nebol pre tento útvar hodnotený chemický stav (tab. 6.2.1).

5.22.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Merný tepelno-energetický potenciál, hodnotený pre oblasť rozšírenia triasových karbonátov silicika s plochou 529,7 km² (stránska a oždiansko-skerešovská hydrogeotermálna štruktúra a oblasť karbonátov Hucín – Plešivec), sa pohybuje v rozmedzí 0,5 – 15,5 GJ.m⁻². Jeho maximálne hodnoty 7,0 do 15,5 GJ.m⁻² sú typické pre juhozápadnú časť stránskej hydrogeotermálnej štruktúry a pre južné časti karbonátových synklinál s predpokladanou hrúbkou karbonátov do 2 000 m. V prevažnej časti rozšírenia silicika v podloží terciérnej výplne dosahuje merný tepelno-energetický potenciál hodnôt 1,0-4,0 GJ.m⁻², nižšie hodnoty (pod 0,5 GJ.m⁻²) charakterizujú len okrajové časti rozšírenia karbonátov v severných častiach synklinál (Marcin et al., 2009).

V **stránskej štruktúre** vyčíslené prírodné množstvo geotermálnej vody, resp. geotermálnej energie predstavuje 153,78 l.s⁻¹, resp. 11,803 MWt (rezervoárová teplota 37 °C, povrchová teplota 34 °C, referenčná teplota vody 15 °C). Celkové využiteľné množstvo geotermálnej vody, resp. geotermálnej energie v tejto štruktúre je určené na 25,5 l.s⁻¹, resp. 2,341 MWt.

Pre **oždiansko-skerešovskú štruktúru** tvorí množstvo geotermálnej vody, resp. geotermálnej energie (odhad) 112,68 l.s⁻¹, resp. 6,083 MWt.

V oblasti karbonátov **Hucín – Plešivec** je množstvo geotermálnej vody, resp. geotermálnej energie (odhad) 18,28 l.s⁻¹, resp. 3,235 MWt.

Celkové prírodné množstvo geotermálnej vody, resp. geotermálnej energie v štruktúrach Rimavskej kotliny je **284,74 l.s⁻¹**, resp. **21,121 MWt** (Marcin et al., 2009).

Pri porovnaní vyššie uvedeného celkového prírodného množstva geotermálnej vody, resp. geotermálnej energie so zistenou sumárnou výdatnosťou vrtov (**37,73 l.s⁻¹**) s odpovedajúcim tepelným výkonom (**1,76 MWt**) vidno, že v území Rimavskej kotliny sú ešte značné rezervy na získanie, resp. overenie ďalších množstiev geotermálnych vôd, resp. geotermálnej energie (247,01 l.s⁻¹, resp. 19,361 MWt).

Rimavská kotlina asociuje geotermálne vody v mezozoických karbonátoch. Bilančný model útvaru odhaduje TTP = 21,3 MWth (84 %) rozložený v overených R_{pv} = 1,8 MWth a odhadovaných R_{pb} = 19,6 MWth s udržateľnou kapacitou P_{th(rcap=0,5)} = 9,8 MWth (95 %). Potenciál overenia zásob GTE na udržateľnú úroveň je odhadovaný na 8,0 MWth.

Využívanie zdrojov GTE je vyjadrené aktuálnym $P_{th} = 0,37$ MWth a inštalovaným výkonom $P_{th,inst} = 1,01$ MWth. Podľa koeficientov udržateľnosti produkcie a rozvoja $r_{cap(U)} = 0,98$, $r_{cap(U^*)} = 0,95$, $r_{cap(S)} = 0,96$ a $r_{cap(S^*)} = 0,9$ je možné variant aktuálnej, aj maximálnej produkcie klasifikovať ako udržateľný s nízkym rizikom pre energetickú bilanciu útvaru. Potenciál rozvoja pre oba prípady je rizikový v minimálnej miere, ak budú dodržané podmienky $P_{th(D)} = 9,4$ MWth a $P_{th(D^*)} = 8,8$ MWth. Útvar je možné opísať ako perspektívny z pohľadu prieskumu aj udržateľnosti produkcie a rozvoja zdrojov a zásob geotermálnej energie.

5.23 ÚTVAR SK300230FP - TREBIŠOVSKÁ PANVA

5.23.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Tento útvar sa nachádza v juhovýchodnej časti východoslovenskej panvy. Predstavuje pochovaný stratovulkán v neogénnej výplni panvy v priestore Beša-Čičarovce-Malčice, ktorý je budovaný sarmatskými andezitmi a ich pyroklastikami. Zaberá plochu okolo 142 km². Vrcholové časti neovulkanického telesa sa nachádzajú v hĺbke 300 – 400 m, od nich sa teleso ponára smerom k jeho periférii do hĺbky 1 500 – 2 500 m, jeho JZ časť je obmedzená zlomom. Hrúbka tohto telesa v centrálnej časti je 3 000 – 4 000 m, na okrajoch do 500 m.

Na lokalitách **Čičarovce, Beša, Stretava, Borša a Streda nad Bodrogom** boli odvrátené geologické vrty, ktorými bola potvrdená termálna voda. Z vrcholovej časti útvaru geologické vrty **Čičarovce-5** (1 146 m) a **Čičarovce-6** (837 m) zistili geotermálne vody s teplotou na povrchu 27 – 50 °C a mineralizáciou 14 – 20 g.l⁻¹, pričom výdatnosť pri voľnom prelive dosiahla až 6 l.s⁻¹. Vrtom **Stretava-21** (hĺbka 2 662 – 2 712) bola zistená voda s teplotou na povrchu 75 – 80 °C a výdatnosť pri voľnom prelive 1,0 l.s⁻¹ (príl. č. 4M). Geotermálnym vrtom **HJ-6 Borša** bola potvrdená geotermálna voda v hĺbke 315-458 m, s teplotou na ústí vrtu 32 °C, výdatnosťou 8,5 l.s⁻¹ a mineralizáciou 0,49 g.l⁻¹. Chemický typ vody je Ca-Na-HCO₃.

Geotermálne vody v útvare sú viazané na andezity a ich pyroklastiká a boli zistené najmä ropnými vrtmi. Chemický typ vody je Na-Cl s mineralizáciou okolo 14 g.l⁻¹ (Rudinec, 1988, 1989).

5.23.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Z geotermického hľadiska ide o geotermálny útvar s najvyššou aktivitou poľa na Slovensku, hustota zemského tepelného toku sa pohybuje okolo 110 – 120 mW.m⁻² s maximom v jej SZ časti.

Teplotné pole má opačný obraz, teplota v hĺbke 1 000 m sa pohybuje okolo 65 °C, v hĺbke 2 000 m okolo 110 °C s maximom v juhovýchodnej časti štruktúry (Franko et al., 1995).

5.23.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období 2011-2017 nebol v zmysle nahlasovania údajov na SHMÚ **žiaden geotermálny vrt v tomto útvare využívaný**. Podľa revízie registrácie minerálnych zdrojov v Košickom kraji (Mlynarčík et al., 2009) je však v obci Borša využívaný vrt **HJ-6** na vykurovanie základnej školy.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd je útvar v dobrom stave na základe nerealizácie nahlasovaných odberov vody (tab. 6.1.1).

5.23.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300230FP nie sú realizované žiadne odbery vôd a preto tento útvar hodnotíme v dobrom chemickom stave, ale s nulovým stupňom spoľahlivosti (tab. 6.2.1).

5.23.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Sumárna výdatnosť vrtov v útvare predstavuje **12,1 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **0,93 MWt**.

V hĺbkach 500 – 4 000 m je možné uvažovať s geotermálnymi vodami s teplotami 180 – 200 °C. Pre budúcnosť je tu perspektíva i na využitie geotermálnych vôd na výrobu elektrickej energie, ako aj na využitie tepla suchých hornín.

Pravdepodobné neobnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie, ktoré je možné exploatovať systémom reinjektáže, je hodnotené na **268,7 MWt** (pre teplotný rozdiel zo 119 °C na 15 °C) a takmer celé zostáva na overenie (Franko et al., 1995). V útvare sú teda značné rezervy na získanie, resp. overenie ďalších množstiev geotermálnych vôd, resp. geotermálnej energie.

Trebišovská kotlina je útvár vyčlenený v neogénnych vulkanoklastikách. Podľa pravdepodobnostného modelu suma $R_{pb} = 281$ MWth a overených zásob $R_{pv} = 2,1$ MWth udáva celkový tepelno-energetický potenciál $TTP = 283$ MWth s pravdepodobnosťou overenia 84 % a udržateľnú kapacitu $P_{th(r_{cap}=0,5)} = 140,5$ MWth s 95 % pravdepodobnosťou. Pre overenie zodpovedajúcej udržateľnej kapacity ostáva 138,4 MWth.

Využitie GTE viazanej na útvár je minimálne: $P_{th} = 0,41$ MWth a $P_{th,inst} = 0,58$ MWth, v dôsledku čoho $r_{cap(U)} = 1$, $r_{cap(U^*)} = 1$, $r_{cap(S)} = 1$ a $r_{cap(S^*)} = 1$. Udržateľnosť produkcie a rozvoja produkcie geotermálnej energie v oboch prípadoch je vysoká, s minimálnym rizikom pre energetickú bilanciu. Odhadovaný potenciál pre rozvoj dosahuje $P_{th(D)} = 140,1$ MWth a $P_{th(D^*)} = 139,9$ MWth. Perspektivita útvaru z pohľadu udržateľnosti prieskumu, využitia a rozvoja produkcie geotermálnej energie je vysoká.

5.24 ÚTVAR SK300240PF - CENTRÁLNA DEPRESIA PODUNAJSKEJ PANVY

5.24.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Najrozľahlejším útvárom geotermálnych vôd na Slovensku s rozlohou cca 3,4 tis. km² (príl. č. 2M) je centrálna depresia podunajskej panvy (ďalej CDPP). Rozprestiera sa od západu na východ približne medzi Bratislavou a Komárnom a od severu na juh medzi spojniciou Senec – Sered’ – Šaľa – Šurany – Hurbanovo – Komárno a riekou Dunaj.

Má misovitú brachysynklinálnu stavbu. Vyplnená je sedimentami panónu až kvartéru, ktoré tvoria íly, pieskovce, piesky a štrky. Kolektormi geotermálnych vôd sú najmä piesky, pieskovce a zlepenice neogénneho veku.

Z hľadiska priestorového vymedzenia je útvár zvrchu ohraničený rovinou v hĺbke 1 000 m, z bokov a odspodu relatívne nepriepustným podložím, ktoré s ohľadom na stavbu depresie upadá zo všetkých strán do jej stredu (v Gabčíkove až do hĺbky cca 3 400 m) (Franko et al., 1984, 1989).

V útvare sa vyskytujú geotermálne vody s teplotou v rozmedzí 42-92 °C, ktoré sú viazané na piesky a pieskovce panónu až dáku. Z hľadiska teploty sa tu nachádzajú hlavne nízkoteplotné zdroje, v hlbších častiach i stredno až vysokoteplotné zdroje.

Hydrogeologicky ide o útvár pravdepodobne s medzivrstevným pretekaním, pórovou priepustnosťou a režimom s napätou hladinou podzemných vôd.

Zo štruktúrneho hľadiska je to polootvorený hydrogeotermálny útvár (má prirodzenú infiltračnú a akumuláciu a nemá výverovú oblasť), čo znamená, že sú tu obnoviteľné

zdroje geotermálnej energie. Zdrojom dotácie geotermálnych vôd je nádrž obyčajných podzemných vôd v sedimentoch kvartéru a levantu.

Charakteristickou črtou stavby útvaru je striedanie kolektorov - pieskov a pieskovcov a izolátorov - ílov vo vertikálnom smere ako aj ich vzájomné laterálne vyklíňovanie. Priestorovo sú kolektory rozložené tak, že najvyššie percentuálne zastúpenie (40 - 50 %) je v okrajovej časti depresie, smerom do jej stredu sa zastúpenie kolektorov znižuje na 20 - 30 %. Súvisí to s vytrácaním sa kolektorov so zvyšujúcou sa hĺbkou.

Podľa litológie je v nádrži a v jej nadloží vyčlenených 6 hydrogeologických celkov, ktoré vytvárajú určité komplexy s rôznym podielom zastúpenia kolektorov a izolátorov (napr. komplex kolektorov, komplex s približne rovnakým zastúpením kolektorov a izolátorov, komplex izolátorov, komplex s prevahou izolátorov nad kolektormi a pod.). Hrúbka kolektorov dosahuje 3 - 12 m, izolátorov 3 - 88 m. Hydrogeologické celky vzhľadom na vertikálne striedanie a horizontálne vyklíňovanie kolektorov a izolátorov nerešpektujú stratigrafiu neogénnych stupňov. Ich hrúbka je variabilná a dosahuje okolo 100 - 1200 m.

Hodnoty koeficientu absolútnej prietochnosti (T_p) kolektorov geotermálnych vôd (pieskovcov a pieskov veku panón, pont, dák) sa pohybujú v rozmedzí $T_p = 0,5 - 10,0 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3$. Kolektory s najvyššími hodnotami T_p charakterizujú strednú časť depresie, smerom k jej okraju tieto hodnoty klesajú.

V rámci CDPP bola v minulosti zvlášť vyčlenená **čiasťková geotermálna štruktúra galantská priehlbina** s pôvodným označením *centrálna depresia podunajskej panvy – oblasť Galanty*. Táto oblasť a jej najbližšie okolie je špecifické a predstavuje zo štruktúrno-geologického hľadiska galantskú priehlbínu (Bondarenková et al., 1998). Je to územie s najefektívnejším využívaním geotermálnych vrtov. Na západe zasahuje do okolia Senca a Zlatých Klasov, na juhu ho vymedzuje spojnica Zlaté Klasy – Horné Mýto – Kráľov Brod. Východná hranica prebieha medzi Žihárcom – Selicami – Trnovcom a Dlhou n/Váhom. Severné ohraničenie pokračuje cez Váhovce, Dolnú Stredú, Majcichov a Čataj až k Sencu.

Vyčlenené hĺbkové intervaly pre hodnotenie využiteľných množstiev geotermálnej vody 1 200 – 1 600 a 1 600 – 2 100 m zodpovedajú konkrétnym kvalitatívnym parametrom vody nachádzajúcej sa v kolektoroch. Prvá hĺbková skupina kolektorov zahŕňa stratigrafické rozpätie sedimentov od pontu po vrchnú časť panónu. Litologicky sú kolektory tvorené pieskom, sčasti ílovitým pieskom. Celková hrúbka hodnoteného intervalu je 400 m. Úklon vrstiev je k juhu a juhozápadu. Celková plošná rozloha hodnotených kolektorov bola

322 km². Druhá hĺbková skupina kolektorov zahŕňa stratigrafické rozpätie od spodnej časti pontu až po najvrchnejšiu časť sarmatu. Kolektory sú tvorené pieskom, jemne až stredne zrnitým, miestami slabo stmeleným pieskovcom. Celková hrúbka hodnoteného intervalu je 500 m.

Chemické zloženie geotermálnych vôd úzko súvisí s litostratografiou prostredia a s hĺbkou. S hĺbkou narastá mineralizácia i podiel Na-Cl zložky a klesá podiel Na-HCO₃ i pomer HCO₃/Cl.

Geotermálne vody patria k piatim chemickým typom (Bodiš in Fendek-Bodiš, 1992):

1. Typ Na-HCO₃ s mineralizáciou do 1 g.l⁻¹; zložka A₁ nad 60 ekv. %, pomer HCO₃/Cl nad 10 (charakteristický pre kolektory dáku a pontu).
2. Typ Na-HCO₃ s mineralizáciou 1 - 5 g.l⁻¹; zložka A₁ nad 60 ekv. %, pomer HCO₃/Cl 3 - 10 (charakteristický pre kolektory dáku, pontu, resp. dobre premyté kolektory panónu).
3. Typ Na-Cl s prítomnosťou zložky A₁ nad 30 ekv. %, resp. typ Na-HCO₃ s prítomnosťou zložky S₁(Cl) nad 30 ekv. % s mineralizáciou 3 - 8 g.l⁻¹; pomer HCO₃/Cl prevažne 1-2 (typický najmä pre kolektory pontu).
4. Výrazný typ Na-Cl s mineralizáciou 5 - 8 g.l⁻¹; pomer HCO₃/Cl max. 0,3 (typický pre kolektory pontu a panónu).
5. Výrazný typ Na-Cl s mineralizáciou nad 10 g.l⁻¹ (10 - 36 g.l⁻¹); pomer HCO₃/Cl veľmi nízky - pod 0,3 (typický pre kolektory panónu až bádenu).

Z genetického hľadiska môžeme geotermálne vody v útvare začleniť do dvoch typov. Ide o marinogénne vody (reliktné morské vody, infiltračne degradované morské vody a soľanky) a petrogénne vody.

Reliktné morské vody sa vyskytujú v hlbších miocénnych sedimentoch. Sú izolované pred infiltráciou meteorických vôd alebo pred príronom hlbinného CO₂. Reprezentuje ich výrazný Na-Cl typ vôd.

V hĺbkovej úrovni 1 000 m sa vyskytujú len v okrajových častiach depresie. So vzrastajúcou hĺbkou sa ich rozšírenie sťahuje do jej centra (oblasť Gabčíkova), kde sa vyskytujú pod hĺbkou 3 500 m.

Infiltračne degradované marinogénne vody sa sústreďujú v plytšie uložených sedimentoch, hlavne v sedimentoch pontu. Sú to zachované, resp. recentne infiltračne degradované vody vysladeného vnútrozemského mora, ktoré charakterizuje Na-Cl typ vôd s mineralizáciou 5 - 10 l.s⁻¹, resp. Na-Cl typ vôd s prítomnosťou zložky A₁ nad 30 mval %

alebo Na-HCO₃ typ s prítomnosťou zložky S₁(Cl) nad 30 mval %. Vo východnej časti depresie sa nachádzajú v hĺbke okolo 2 000 m, okolo jej centra pod hĺbkou 2 000 m a v centre okolo hĺbky 3 000 m.

Solanky zistené vrtom K-3 predstavujú soľné roztoky, ktoré vznikli lokálnym zahustením panvových vôd a boli uchované v izolovaných štruktúrach.

Petrogénne vody predstavujú výrazný Na-HCO₃ typ a sú charakteristické pre celý profil pliocénu centrálnej depresie. Do hĺbok 300 - 800 m prevládajú vody s mineralizáciou pod 1 l.s⁻¹, v oblasti centra depresie do hĺbky až 2 500 m vody s mineralizáciou 1-5 l.s⁻¹. Z plynov vody obsahujú metán, dusík a CO₂.

V čiastkovej geotermálnej štruktúre *galantská priehlbina* sa vyskytujú petrogénne geotermálne vody výrazného Na-HCO₃ typu s mineralizáciou do 1 g.l⁻¹, vody Na-Cl typu s prítomnosťou zložky A₁ nad 30 mval %, Na-HCO₃ typu s mineralizáciou 1 – 5 g.l⁻¹ a výrazného Na-Cl typu s mineralizáciou 5 – 10 g.l⁻¹.

5.24.2 Geotermálna charakteristika útvaru

CDPP sa vyznačuje zvýšenou aktivitou geotermického poľa. Geotermický gradient pre hĺbkový interval 0 – 2 500 m sa pohybuje v rozmedzí 34,1 - 43,7 °C.km⁻¹, jeho priemerná hodnota je 39,1 °C.km⁻¹. Hustota tepelného toku kolíše v rozmedzí 60 – 90 mW.m⁻², priemerná hodnota je 76 mW.m⁻². Najvyššie hodnoty hustoty tepelného toku boli zistené v strede depresie, čo korešponduje so zníženými teplotami (T < 45 °C), t. j. hodnoty teplôt smerom k okrajom depresie stúpajú.

Čiastkovú štruktúru *galantská priehlbina (oblasť Galanty)* možno z geotermického hľadiska charakterizovať ako oblasť s vysokou geotermickou aktivitou. Priemerná hodnota teploty v hĺbke 1 000 m je 50,3°C, v hĺbke 1500 m 69,6 °C, v 2 000 m 88,5°C a v hĺbke 2 500 m dosahuje 106,0°C. Priemerná hodnota geotermického gradientu je 40°C.km⁻¹, prevažná časť územia je charakterizovaná hustotou tepelného toku na úrovni okolo 78 mW.m⁻². Hustota tepelného toku sa pohybuje v rozmedzí 71,4 – 81,6 mW.m⁻² s priemernou hodnotou 76,8 mW.m⁻² (Franko et al., 1995).

Hodnota merného tepelno-energetického potenciálu prírodného množstva geotermálnej vody v tejto čiastkovej štruktúre sa pre hĺbkový interval 1 200 m pohybuje v rozmedzí od 0,420 do 4,288 GJ.m⁻² s priemernou hodnotou pre celé územie 2,074 GJ.m⁻². Pre hĺbkový interval 1 600 m sa hodnota merného tepelno-energetického potenciálu pohybuje v rozmedzí od 0,747 do 3,809 GJ.m⁻² s priemernou hodnotou pre celé územie 1,161 GJ.m⁻².

5.24.3 Kvantitatívny stav útvaru

V útvare SK300240PF bolo v období **1962-2017** realizovaných **52** výskumných a prieskumných geotermálnych vrtov hlbokých 290 – 2800 m, z ktorých jeden vrt (GBP-1 Boheľov) slúžil na geotermické pozorovanie. Geotermálne vody boli zachytené 51 geotermálnymi vrtmi v hĺbkach 276 – 2487 m, výdatnosť vrtov predstavovala 0,1 – 25,0 l.s⁻¹, s teplotou vody 19,0 – 92,9 °C, mineralizáciou vody 0,5 – 20,1 g.l⁻¹ a tepelným výkonom vrtov 0,01 – 6,8 MW_t. Overená sumárna výdatnosť vrtov v útvare predstavuje **550,27 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **115,79 MW_t**.

Celkové exploatačné množstvo geotermálnych vôd z čiastkovej štruktúry *Galantská priehlbina* bolo stanovené matematickým modelom. Celkový odber geotermálnych vôd z predmetného územia spolu s doteraz realizovanými geotermálnymi vrtmi predstavuje hodnotu 176,0 l.s⁻¹, čo zodpovedá 39,77 MW_t tepelnej energie. Porovnanie výsledkov matematického modelu a geotermickej bilancie dokumentovalo veľmi dobrú zhodu výsledkov (Remšík et al., 2011).

V tomto geotermálnom útvare bolo v období **2010 – 2017** striedavo využívaných **31** geotermálnych vrtov (niektoré vrty boli využívané celé obdobie, iné prestali byť využívané a iné začali byť využívané). V období **2016 – 2017** sa tento počet ustálil na **23** vrtov, čo je 44 % zo všetkých realizovaných vrtov v útvare.

V porovnaní s využívaním geotermálnej vody v období **2011 – 2015**, kedy bolo z celej CDPP v priemere za rok odoberané celkové množstvo **2,70 mil. m³.rok⁻¹**, čo bolo **99,4 l.s⁻¹**, v období **2016-2017** mierne stúplo toto priemerné množstvo na **2,79 mil. m³.rok⁻¹** čo bolo **108,5 l.s⁻¹**. Z uvedeného je zrejмый mierny sumárny nárast odberu geotermálnej vody v CDPP cca o 3,3 %.

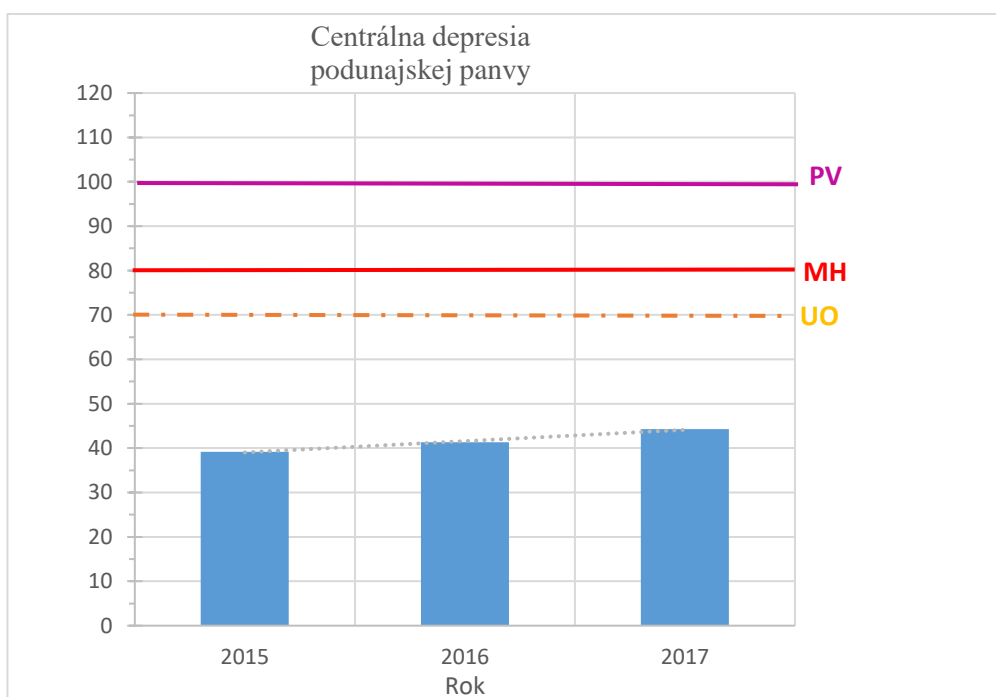
V období **2011 – 2017** pribudli v útvare odoberané množstvá z **8** nových resp. rekonštruovaných geotermálnych vrtov. Ide o vrt **GTŠ-1 Šaľa**, **SEG-1 Sered'**, **HGK-1 Kolárovo**, **FGV-1 Vlčany**, **GZ-1 Zlatná na Ostrove-Ontopa**, **VZO-13 Zlatná na Ostrove-Ontopa**, **VHP-12-R Horná Potôň** a **VM-1 Veľký Meder**. Najväčší nárast odberného množstva bol zaznamenaný z vrtov **DS-1 Dunajská Streda**, **BPK-2 Poľný Kesov** a **FGV-1 Vlčany**.

V období **2011 – 2017** bol najviac využívaný geotermálny vrt **Č-2 Veľký Meder**. V rokoch 2011-2015 bolo z vrtu odoberané v priemere za rok cca **320 tis. m³** geotermálnej vody (**10,15 l.s⁻¹**), ktoré v období 2016-2017 stúplo na hodnotu **346 tis. m³** (cca **11 l.s⁻¹**).

V priemere **nad 200 tis m³ za rok** bola geotermálna voda odoberaná okrem vrtu Č-2 z vrtov **FGG-3 Galanta, GTŠ-1 Šaľa, Di-2 Horné Saliby (Diakovce), a BS-1 Senec**.

Priemerné najnižšie ročné odbery boli zaznamenané z vrtu BPK-1 Poľný Kesov (1,01 tis m³.rok⁻¹) a FGTV-1 Tvrdošovce (12 tis. m³.rok⁻¹).

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.24.3.1) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/39,16 %; 2016/41,30 %; 2017/44,26 %) na základe strednej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1). Počas obdobia rokov 2015-2017 (príl. č. 12) bol trvalo dokumentovaný havarijný stav na zdrojoch Di-3 Horné Saliby, GNZ-1 Nové Zámky a Č-2 Veľký Meder; 1x havarijný stav bol na zdroji BPK-2 Poľný Kesov; 2 x kritický stav a 1x havarijný stav bol na zdrojoch BS-1 Senec a Č-1 Veľký Meder (tab. 6.1.2). Vo väčšine prípadov ide kombináciu zlého technického stavu vrtov a pretrvávajúci nesprávny manažment odberu vôd v rámci zdrojov aquaparkov.



Obr. 5.24.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) centrálnej depresie podunajskej panvy

5.24.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300220FK boli realizované odbery vôd v období 2015 – 2017. Tento útvár patrí k tým 8 geotermálnym útvarom, u ktorých neboli k dispozícii aktuálne chemické analýzy. Vzhľadom k uvedenej skutočnosti nebol pre tento útvár hodnotený chemický stav (tab. 6.2.1).

5.24.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Prognózne zdroje geotermálnych vôd boli vyčíslené pre hĺbkovú úroveň 1 500 m, pre sieť vrtov so vzdialenosťou 6 km, priemernú teplotu vôd 60 °C a sezónny odber vody (185 dní za rok) voľným prelivom. Tieto kritériá sú podmienené tým, že vodu z priemernej hĺbkovej úrovne 1 500 m možno s ohľadom na jej chemické zloženie a mineralizáciu vypúšťať do povrchových tokov a mestskej kanalizácie. Tým, že nie sú k dispozícii hlbinné čerpadlá a že sezónny (zimný) odber umožňuje regeneráciu zdrojov, je možný aj celoročný odber, ale celkový odber nesmie presiahnuť súčin overenej výdatnosti vrtu a 185 dní.

V útvare CDPP predstavuje prognózne obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie **150 MW_t**, čo reprezentuje výdatnosť realizovaných a fiktívnych vrtov v rozmedzí 2-25 l.s⁻¹ s teplotou vody na ústí vrtu 42-80 °C pri sumárnom množstve výdatností **731 l.s⁻¹** (Franko et al., 1995).

Porovnaním uvedených množstiev geotermálnych vôd a ich vyčíslenej tepelnej energie so zistenou sumárnou výdatnosťou vrtov **550,27 l.s⁻¹** a s odpovedajúcim tepelným výkonom **115,79 MW_t** je zrejmé, že v CDPP sú ešte rezervy na získanie, resp. overenie ďalších množstiev geotermálnych vôd a ich energie (180,73 l.s⁻¹, resp. 34,21 MW_t).

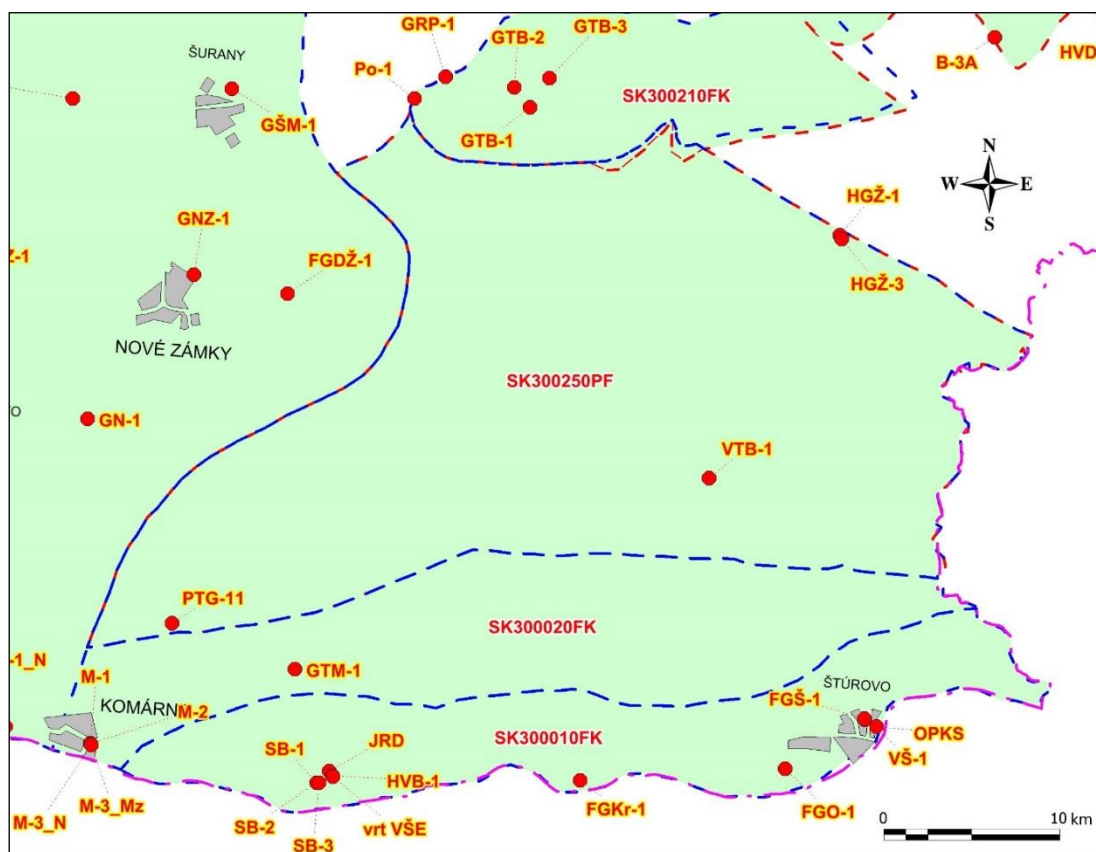
Centrálna depresia Podunajskej panvy je útvar s geotermálnymi vodami viazanými na neogénne siliciklastiká. Overené zásoby GTE $R_{pv} = 106,8 \text{ MWth}$ výrazne prevyšujú modelovaný odhad pravdepodobných zásob $R_{pb} = 77,6 \text{ MWth}$, v dôsledku čoho pri status-quo modelového odhadu neodporúčame ďalšie overovanie zdrojov GTE. Celkový potenciál je na úrovni TTP = 184,4 MWth s pravdepodobnosťou overenia 48 %. Udržateľná kapacita útvaru dosahuje $P_{th(rcap=0,5)} = 38,8 \text{ MWth}$ (91 %).

Produkcia GTE je charakterizovaná aktuálnym $P_{th} = 21,2 \text{ MWth}$ a inštalovaným výkonom $P_{th,inst} = 79,5 \text{ MWth}$. Indikátory udržateľnosti produkcie a jej rozvoja nadobúdajú hodnoty $r_{cap(U)} = 0,73$, $r_{cap(U^*)} = -0,02$, $r_{cap(S)} = 0,45$ a $r_{cap(S^*)} = -1,05$. Aktuálnu produkciu klasifikujeme ako udržateľnú, s nízkym rizikom pre energetickú bilanciu, avšak so zvýšeným rizikom ďalšieho rozvoja produkcie, ak $P_{th(D)} = 17,6 \text{ MWth}$ ($P_{th(D)} < P_{th}$). Pri produkcii GTE zodpovedajúcej inštalovanému výkonu je možné hovoriť o depletačnom režime so zvýšeným rizikom pre energetickú bilanciu útvaru, bez možností rozvoja produkcie. Perspektivita CDPP je hodnotená ako limitovaná, pričom rozvoj produkcie GTE musí odrážať jej aktuálny stav podľa $P_{th(D)}$.

5.25 ÚTVAR SK300250PF - DUBNÍCKA DEPRESIA

5.25.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Útvar dubnícka depresia sa nachádza vo východnej časti Podunajskej nížiny, kde sa rozprestiera medzi geotermálnymi útvarmi centrálnej depresie podunajskej panvy, levicej a komárňanskej kryhy (obr. 5.25.1.1). Východnú hranicu územia limituje tok Ipel', resp. štátna hranica s Maďarskom. Depresia je vyplnená neogénnymi horninami, ktoré v strednej a západnej časti depresie dosahujú hrúbku viac ako 3 000 m. Geologickú stavbu predterciérneho podložia tvoria paleozoické granitoidy a paleozoické a staršie horniny veporika (kryštalické bridlice, fylity, svory, ruly, migmatity).



Obr. 5.25.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300250PF a zdroje geotermálnej vody

Geotermálne vody v dubníckej depresii sú viazané na neogénne piesky, pieskovce a bazálne zlepenice, resp. brekcie, ktoré sú tu významným kolektorom geotermálnych vôd.

V dubníckej depresii boli realizované 4 vrty na troch lokalitách (**VTB-1 Bruty**, **PTG-11 Svätý Peter** a vrty **HGŽ-1, HGŽ-3 Želiezovce**), ktoré boli hlboké 350-1 927 m. Geotermálne vody boli v nich zachytené v hĺbkach 100-1 905 m, výdatnosť vrto

predstavovala 6,0-13,5 l.s⁻¹ s teplotou vody na povrchu 18,0-72,0 °C a tepelným výkonom vrtov 0,17-2,40 MWt. Sumárna výdatnosť vrtov predstavuje **31,0 l.s⁻¹**, čomu odpovedá tepelný výkon **3,70 MWt**.

Z chemického hľadiska boli v útvare overené vody Na-Cl, Na-Ca-HCO₃ a Na-SO₄-Cl typu s mineralizáciou 1,6-30,0 g.l⁻¹.

5.25.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Geotermálna aktivita územia je mierne zvýšená až zvýšená. Obráz teplotného a tepelného poľa má podobný priebeh. Teplota v hĺbke 1 000 m sa pohybuje v rozmedzí 45 až 70 °C, v hĺbke 2 000 m 80 až 100 °C, v hĺbke 3 000 m okolo 105 až 125 °C a stúpa v smere z juhu na sever. Teplota na predterciálnom podloží sa pohybuje v rozmedzí 50 – 100 °C a narastá západným smerom a tiež smerom do stredu depresie, čo súvisí s hĺbkou predterciálneho podložia. Hustota tepelného toku sa pohybuje v rozmedzí 70,0 – 90,0 mW.m⁻² a stúpa smerom z juhu na sever (Franko et al., 1995).

5.25.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období 2011-2017 nebol v zmysle nahlásených údajov na SHMÚ **žiaden geotermálny vrt v tomto útvare využívaný**. V zmysle správy „Výsledky revízie registrácie minerálnych zdrojov – Trnavský kraj“ (Dzúrik et. al., 2016) bol v roku 2016 využívaný vrt **VTB-1 Bruty** na vykurovanie skleníkov bez nahlasovania údajov o odbere vody.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd je útvár v dobrom stave na základe nerealizácie odberov vody (tab. 6.1.1).

5.25.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK300250PF nie sú realizované žiadne odbery vôd, a preto tento útvár hodnotíme v dobrom chemickom stave, ale s nulovým stupňom spoľahlivosti (tab. 6.2.1).

5.25.5 Množstvo geotermálnej energie a vôd

Tepelno-energetický potenciál geotermálnej energie dubníckej depresie (rezervoárová teplota vôd 88 °C) bol vyčíslený na **808,3 MWt** (Remšík a Fendek, 1995). Pre vyššiu mineralizáciu vôd (30,0 g.l⁻¹) je potrebná exploatácia systémom reinjektáže.

Pri porovnaní vyššie uvedeného množstva geotermálnej energie so zisteným tepelným výkonom (**3,70 MWt**) vidno, že takmer celé množstvo geotermálnej energie v tomto geotermálnom útvare (804,60 MWt) ešte zostáva na overenie.

Dubnícka depresia je útvár vyčlenený v neogénnych siliciklastikách. Modelovým riešením odhadovaný tepelno-energetický potenciál na úrovni TTP = 547,4 MWth s pravdepodobnosťou overenia 81 % predstavuje kombináciu overených $R_{pv} = 3,7$ MWth a odhadovaných $R_{pb} = 543,5$ MWth. Odhad udržateľnej kapacity v modeli dosahuje $P_{th(rcap=0,5)} = 271,7$ MWth (92 %).

Stav produkcie GTE je nízky v porovnaní s energetickou bilanciou útvaru, t. j. $P_{th} = 2,1$ MWth a $P_{th,inst} = 2,4$ MWth. Podľa ukazovateľov produkcie a potenciálu rozvoja $r_{cap(U)} = 1$, $r_{cap(U^*)} = 1$, $r_{cap(S)} = 0,99$ a $r_{cap(S^*)} = 0,99$, z čoho odvodzujeme možnosť trvalo udržateľnej produkcie pri aktuálnom aj inštalovanom výkone a minimálne riziko v prípade navyšovania produkcie. Odhad rozvoja produkcie GTE dosahuje $P_{th(D)} = 269,8$ MWth a $P_{th(D^*)} = 269,4$ MWth. Z pohľadu budúcej produkcie a rozvoja je útvár klasifikovaný ako perspektívny.

5.26 ÚTVAR SK3002600P - HORNOSTRHÁRSKO-TRENČSKÁ PREPADLINA

5.26.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Geotermálny útvár sa nachádza na juhu Slovenska. Je súčasťou Juhoslovenskej kotliny a leží východne od mesta Veľký Krtíš pri štátnej hranici s Maďarskom (obr. 5.26.1.1.). Ide o priekopovú prepadlinu, obmedzenú tektonicky, ktorá je vyplnená miocénnymi sedimentami s charakteristickým šalgotarjanským súvrstvom (íly, piesky, uhoľné sloje) a bádenskými vulkanoklastikami (brekcie, konglomeráty, pieskovce), ktoré sem zasahujú zo stredoslovenských neovulkanitov. Na geologickej stavbe predterciérneho podložia sa podieľa veporikum (kryštallické bridlice) a paleozoikum gemerika. Pomerne jednoduchý reliéf podložia upadá smerom k štátnej hranici s Maďarskom do hĺbky viac ako 1 500 m.

Geotermálne vody sú tu viazané na neogénne piesky, hlavne na šalgotarjanske piesky (otnang) a boli zistené vrtmi najmä pri uhoľnom prieskume (**Euboriečka, Vieska, Slovenské Kľačany, Hámor**).

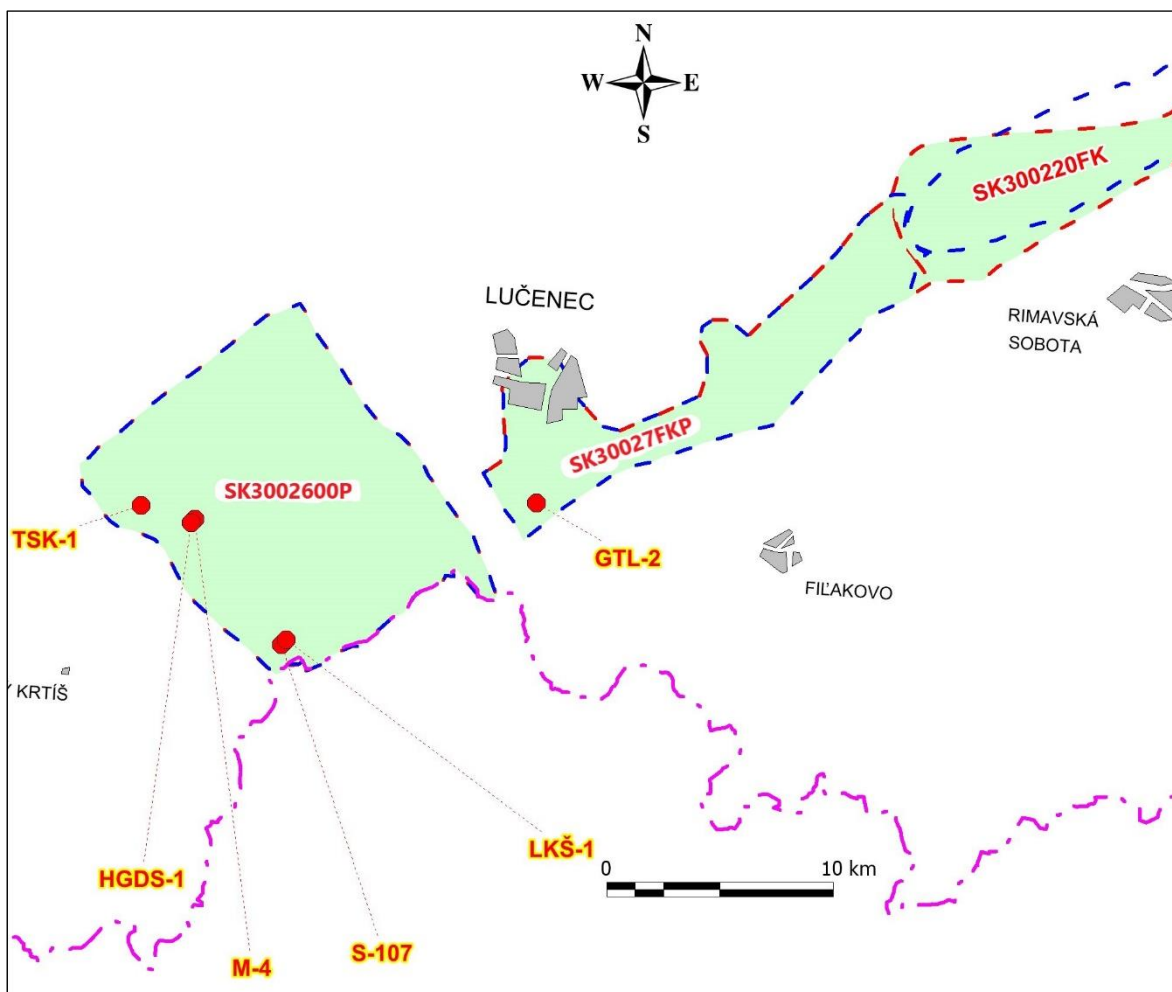
V útvare bolo realizovaných 6 vrtov (**M-4 Dolná Strehová, HGDS-1 Dolná Strehová, TSK-1 Slovenské Kľačany, HG-18 Vinica, LKŠ-1 Hámor a S-107 Muľa-Hámor**), hlboké 320-626,2 m (príl. č. 3M). Geotermálne vody boli v nich zachytené

v hĺbkach 198-615 m, výdatnosť vrtov predstavovala $2,0\text{--}58,3 \text{ l.s}^{-1}$ s teplotou vody na povrchu $21,0\text{--}38,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a tepelným výkonom vrtov $0,2\text{--}4,89 \text{ MWt}$. Sumárna výdatnosť vrtov tvorí **$88,10 \text{ l.s}^{-1}$** , čomu odpovedá tepelný výkon **$6,75 \text{ MWt}$** .

Z chemického hľadiska sú to vody Na-HCO_3 typu s mineralizáciou $0,4\text{--}3,1 \text{ g.l}^{-1}$.

5.26.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Teplotné pole v hĺbke 500 m charakterizuje teplota $27\text{--}33 \text{ }^{\circ}\text{C}$, v hĺbke 1 000 m teplota okolo $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, v hĺbke 1 500 m teplota $65\text{--}70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a v hĺbke 2 000 m teplota $80\text{--}85 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Obraz teplotného poľa na predterciálnom podloží je konformný s jeho reliéfom. Teplota na predterciálnom podloží sa pohybuje v rozmedzí $35\text{--}70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a najvyššiu hodnotu dosahuje v najhlbšej časti depresie (štátna hranica s Maďarskom). Hustota tepelného toku v rámci regionálneho tepelného poľa sa pohybuje v rozmedzí $70,0\text{--}80,0 \text{ mW.m}^{-2}$ (Franko et al., 1995).



Obr. 5.26.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK3002600P a zdroje geotermálnej vody

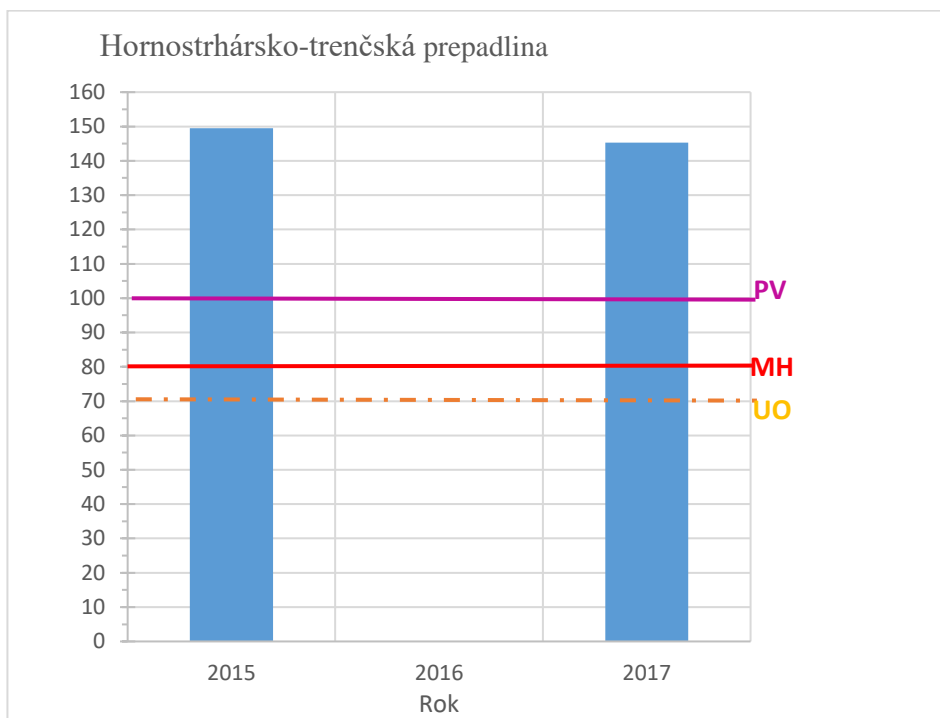
5.26.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období 2011 – 2017 bol v útvare využívaný geotermálny vrt **HGDS-1 Dolná Strehová**, z ktorého bolo v období 2011-2015 odobraných v priemere **cca 118 tis. m³** geotermálnej vody za rok (**cca 3,85 l.s⁻¹**). V roku 2017 toto množstvo mierne kleslo na hodnotu cca **114,5 tis. m³** (**cca 3,63 l.s⁻¹**). Geotermálna voda je celoročne využívaná pre potreby zariadení Termálneho kúpaliska Kupko Dolná Strehová – Aquatermal Strehová.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.26.3.1) je útvár v zlom stave (Bs% - 2015/149,49 %; 2016/- %; 2017/145,30 %) na základe nízkej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1). Trend časového vývoja kvantitatívneho stavu má “klesajúci charakter“. Percentuálny podiel zdroja HGDS-1 Dolná Strehová na zlom stave je 100 %.

V období rokov 2015-2017 (príl. č. 12) bol v tomto útvare dokumentovaný zdroj HGDS-1 Dolná Strehová v havarijnom stave (tab. 6.1.2).

Nápravné opatrenia na odstránenie zlého kvantitatívneho stavu sú uvedené v podkapitole 6.1.



Obr. 5.26.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) hornostrhársko-trenčskej prepadliny

5.26.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK3002600P boli realizované odbery vôd v období 2015 – 2017. Tento útvar patrí k tým 8 geotermálnym útvarom, u ktorých neboli k dispozícii aktuálne chemické analýzy. Vzhľadom k uvedenej skutočnosti nebol pre tento útvar hodnotený chemický stav (tab. 6.2.1).

5.26.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Pravdepodobné obnovované využiteľné množstvo geotermálnej energie v tomto geotermálnom útvare je hodnotené na **6,2 MWt** (Franko et., 1995).

Pri porovnaní vyššie uvedených množstiev geotermálnych vôd predmetného útvaru a ich energie so zistenou sumárnou výdatnosťou vrtov $88,10 \text{ l.s}^{-1}$ s odpovedajúcim tepelným výkonom 6,75 MWt je zrejmé, že v útvare boli zistené vyššie množstvá geotermálnych vôd a ich energie, ako bolo vypočítané prognózne obnovované množstvo geotermálnych vôd a ich energie. Treba však podotknúť, že uvedený rozdiel je v skutočnosti nižší, lebo v útvare sú prakticky využívané iba 3 vrty (na lokalite Dolná Strehová a Muľa Hámor), z toho iba z jedného sú nahlasované údaje na SHMÚ. Ostatné vrty nie sú využívané a 1 je zlikvidovaný.

Hornostrehársko-trenčská prepadlina má rezervoárové prostredie vyčlenené v neogénnych siliciklastikách. Bilancia podľa pravdepodobnostného modelu je opísaná cez $TTP = 5,2 \text{ MWth}$, z čoho $R_{pv} = 1,8$ a $R_{pb} = 3,4$ s pravdepodobnosťou overenia 77 %. Udržateľná kapacita útvaru je odhadovaná ako $P_{th(r_{cap}=0,5)} = 1,7 \text{ MWth}$ (92 %). Pri $R_{pv} > R_{pb}$, bez potvrdenia alebo rekalibrácie modelového riešenia neodporúčame ďalšie overovanie zásob GTE.

Produkčné parametre sú definované cez $P_{th} = 0,28 \text{ MWth}$ a $P_{th,inst} = 0,59 \text{ MWth}$. Podľa ukazovateľov modelu udržateľného využívania a rozvoja produkcie GTE $r_{cap(U)} = 0,92$, $r_{cap(U^*)} = 0,82$, $r_{cap(S)} = 0,83$ a $r_{cap(S^*)} = 0,65$ klasifikujeme stav využívania ako udržateľný pre aktuálny aj inštalovaný výkon, s nízkym rizikom pre energetickú bilanciu útvaru ak dôjde k ďalšiemu rozvoju produkcie, ktorá by zodpovedala $P_{th(D)} = 1,4 \text{ MWth}$ a $P_{th(D^*)} = 1,1 \text{ MWth}$. Z pohľadu produkcie a rozvoja GTE klasifikujeme útvar ako limitovane perspektívny.

5.27 ÚTVAR SK30027FKP - LUČENECKÁ KOTLINA

5.27.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Geotermálny útvar sa nachádza na juhu Slovenska (obr. 5.26.1.1). Je súčasťou Juhoslovenskej kotliny a leží južne od mesta Lučenec pri štátnej hranici s Maďarskom. V rámci Lučeneckej kotliny bola vyčlenená rapovská hydrogeotermálna štruktúra (Dzúrik et al., 2007, Vass a Dzúrik, 2007). Podľa charakteru geologickej stavby územia a hydrotermálnych pomerov sa sedimentárna výplň kotliny v spojení s karbonátmi javí priaznivo pre získanie geotermálnych vôd.

Útvar sa rozprestiera južne až juhovýchodne od mesta Lučenec, v priestore Rapoviec až Nitry nad Ipľom. Je 10,5 km dlhý, 1,5 – 2 km široký a jeho plošná rozloha dosahuje iba 26 km². Územie je budované triasovými vápencami a dolomitmi silicika, ktoré predstavujú kolektory geotermálnych vôd. Ide v podstate o trosku karbonátov silicika v podloží terciérnych hornín, ležiacu na nepriepustnom súvrství pravdepodobne spodného triasu v klastickom vývoji, resp. na paleozoických metamorfitech ochtinskej skupiny. Geotermálny vrt **GTL-2 v Rapovciach**, hlboký 1 501,5 m, dokumentoval hrúbku terciérnych sedimentov 775,0 m a hrúbku triasových karbonátov 726,5 m. Podložie triasových karbonátov nebolo zistené. Dzúrik a kol. (2007) rapovskú štruktúru klasifikujú ako polootvorenú hydrogeologickú štruktúru, so známou infiltračnou (?) a akumulácnou oblasťou, pričom štruktúra nemá prirodzenú výverovú oblasť a tá je zakrytá izolátormi z terciérnych sedimentov. Hydrogeotermálna štruktúra nie je prirodzene odvodňovaná. Vzhľadom na to, že triasové karbonáty silicika, ako kolektory geotermálnych vôd, tvoria v podloží terciérnych hornín trosku, táto môže byť izolovaná a so zreteľom aj na vysokú mineralizáciu geotermálnej vody sa nedá vylúčiť ani existencia zatvorenej hydrogeotermálnej štruktúry, t. j. štruktúry, ktorá má len akumuláciu. Otázka druhu hydrogeotermálnej štruktúry je tu diskutabilná.

V útvare sú akumulované geotermálne vody s napätou hladinou s tlakovým krasovo-puklinovým režimom. Teplota vody v kolektore (hlbka 775 – 1150 m) sa pohybuje v rozmedzí hodnôt 39,6 – 43,3 °C.

V útvare bol realizovaný 1 geotermálny vrt GTL-2 v Rapovciach (Dzúrik et al., 2007), ktorý zachytil geotermálnu vodu v hĺbke 957 – 1 439 m, s výdatnosťou vrtu pri voľnom prelive 11,20 l.s⁻¹, tlaku na ústí vrtu 165 kPa, ustálenou teplotou vody 38,0 °C a mineralizáciou vody v intervale 12,56 – 12,73 g.l⁻¹ (príl. č. 1).

Chemické zloženie geotermálnej vody vo vrte GTL-2 tvorí chemický typ Na-HCO₃, ktoré je výsledkom zložitej genézy predstavujúcej degradáciu marinogénnej vody, metamorfovanej procesmi ionovýmeny, hydrolytického rozkladu silikátov a rozpúšťania karbonátov.

5.27.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Obraz teplotného poľa útvaru je známy na základe teplotného merania vo vrte GTL-2. Teplota v hĺbke 500 m pod povrchom dosahuje 30 °C, v hĺbke 1 000 m je teplota 41 °C a v hĺbke 1500 m dosahuje 49,5 °C. Hodnota geotermického gradientu v hĺbkovom intervale 0-1500 m dosahuje 24 °C.km⁻¹, čo poukazuje na nižšiu aktivitu teplotného poľa. Priemernú úroveň dosahuje hustota zemského tepelného toku, ktorá predstavuje 60,3 mW.m⁻² a dobre zapadá do regionálneho tepelného poľa okolitého územia (Franko et al., 1995).

5.27.3 Kvantitatívny stav útvaru

V období 2011-2017 bol v útvare využívaný geotermálny **vrt GTL-2 Rapovce**, z ktorého bolo v období 2011-2015 odobraných v priemere cca **52 tis. m³** geotermálnej vody za rok (cca **1,68 l.s⁻¹**). V rokoch 2016-2017 toto množstvo mierne stúplo v priemere na hodnotu cca **67,5 tis. m³** (cca **2,14 l.s⁻¹**). Geotermálna voda je v letnej sezóne využívaná pre potreby kúpaliska Novolandia Rapovce a celoročne pre Wellness Novolandia Rapovce.

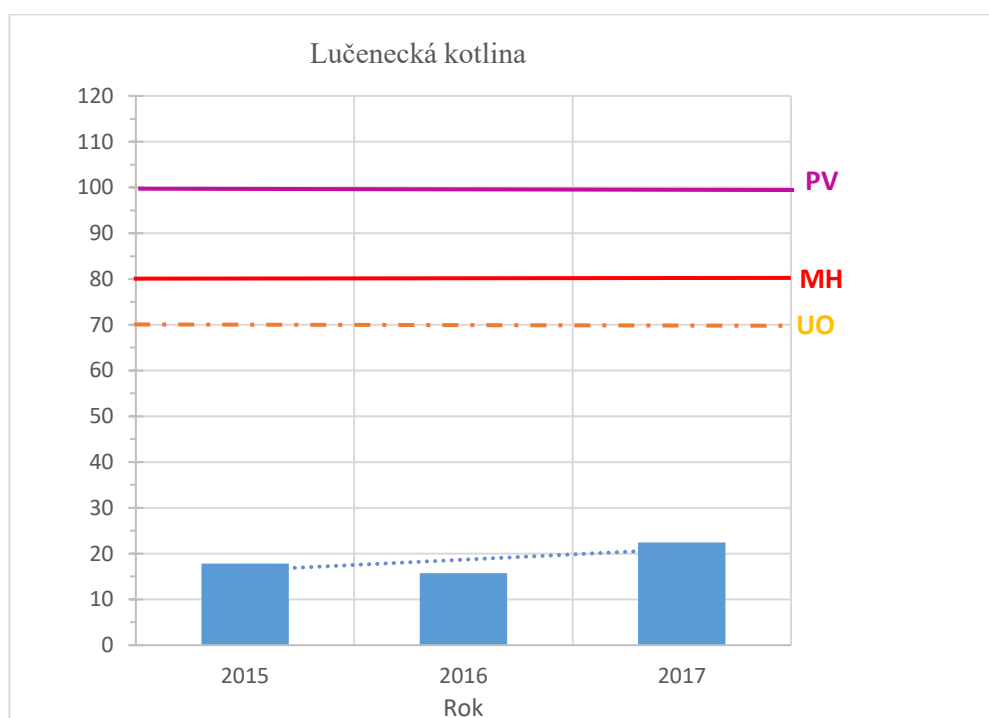
V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.27.3.1) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/17,84 %; 2016/15,74 %; 2017/22,46 %) na základe nízkej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1).).

5.27.4 Chemický stav útvaru

V geotermálnom útvare SK3002600P boli realizované odbery vôd v období 2015 – 2017. Tento útvár patrí k tým 8 geotermálnym útvarom, u ktorých neboli k dispozícii aktuálne chemické analýzy. Vzhľadom k uvedenej skutočnosti nebol pre tento útvár hodnotený chemický stav (tab. 6.2.1).

5.27.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Využiteľné množstvo geotermálnej vody z vrtu GTL-2, exploatované voľným prelivom, predstavuje **11,20 l.s⁻¹** s teplotou vody na ústí vrtu 38,1 °C a odpovedá mu množstvo geotermálnej energie (tepelný výkon) **1,04 MWt** (príl. č. 1, 2, 3).



Obr. 5.27.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Lučeneckej kotliny

Lučenecká kotlina je útvar vyčlenený v strednotriasových karbonátoch. Model odhadu zdrojov a zásob GTE udáva $TTP = 1,53 \text{ MWth}$ (99 % pravdepodobnosť overenia), z čoho vrtmi overené zásoby zodpovedajú $R_{pv} = 1,04 \text{ MWth}$ a $R_{pb} = 0,49 \text{ MWth}$. Udržateľná kapacita útvaru je modelom odhadovaná na úrovni $P_{th(rcap=0,5)} = 0,24 \text{ MWth}$ (99 %). Keďže $R_{pb} < R_{pv}$ a $R_{pv} > P_{th(rcap=0,5)}$, bez potvrdenia alebo rekalirovania modelu, neodporúčame ďalšie overovanie zásob geotermálnej energie.

Produkcia geotermálnej energie je opísaná aktuálnym $P_{th} = 0,26 \text{ MWth}$ a inštalovaným výkonom $P_{th,inst} = 1,04 \text{ MWth}$. Porovnaním parametrov využívania a bilancie útvaru je aktuálne využívanie klasifikované ako dlhodobu neudržateľné ($r_{cap(U)} = 0,47$) s rizikom pre energetickú bilanciu útvaru počas bilancovanej doby produkcie $t_{prod} = 100$ rokov. Tento stav je ešte výraznejší pre parameter inštalovaného výkonu s $r_{cap(U^*)} = -1,12$. Keďže $P_{th} > P_{th(rcap=0,5)}$ a zároveň $P_{th,inst} > P_{th(rcap=0,5)}$, rozvoj produkcie geotermálnej energie je rizikový ($r_{cap(S)} = -0,04$ a $r_{cap(S^*)} = -3,16$), a teda $P_{th(D)} = 0 \text{ MWth}$ a $P_{th(D^*)} = 0 \text{ MWth}$. Bez rekalirovania bilančného modelu je útvar z pohľadu dlhodobej produkcie GTE a jej rozvoja hodnotený ako neperspektívny.

5.28 ÚTVAR SK30028FKP – TUROVSKO – LEVICKÁ HRASŤ

5.28.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Geotermálny útvar sa nachádza na juhu Slovenska a svojou rozlohou (159,48 km²) patrí k menším útvarom geotermálnych vôd Slovenska (obr. 5.28.1.1.). Tento útvar je v zmysle regionálneho geologického členenia (Vass et al., 1988) súčasťou severného okraja podunajskej panvy, ktorú reprezentuje trnavsko-dubnická panva. Sedimentárny pokryv na turovsko-levickej hrasti je tvorený z JZ vulkanoklastikami baďanskej formácie (epiklastické sedimenty) a zo SV sebachlebskou formáciou (vulkanosedimentárny komplex stredného bádenu). Predterciérne podložie medzi Kalinčiakovom a Santovkou je tvorené karbonátmi gemerika, ktoré sa považujú za príkrovové trosky gemerika a reprezentujú ich vápence s vložkami slienitých bridlíc stredného a vrchného triasu. Medzi Dudincami a Slatinou vystupujú na povrch horniny náležiacie permu až strednému triasu (zlepence s polohami kremencov). Severne od turovsko-levickej hrasti boli dokumentované sedimenty veporika – krížňanský príkrov tvorený klastikami (skýcovské a lúžňanské súvrstvie) a stredno a vrchnotriasovými karbonátmi. Karbonátové horniny predstavujú spolu s epiklastickými pieskovecami na báze sebachlebskej formácie významný regionálny kolektor, ktorý buduje tranzitno-akumulačnú oblasť geotermálnych vôd (Marcin in Konečný et al., 1998). Geotermálne vody pri svojom výstupe využívajú tektonický porušené horniny a zlomových pásmach na okraji údolí ako je to v prípade Santovky, Dudiniec a Kalinčiakova.

V útvare boli realizované geotermálne vrtý na troch lokalitách (**Kalinčiakovo, Santovka a Dudince**). Hĺbka vrtov, ktoré overili geotermálnu vodu je 66,65 – 85,0 m. Kolektormi geotermálnej vody sú neogénne pieskovce a triasové vápence. Geotermálna voda bola zachytená v úrovni 11 - 70 m, výdatnosť vrtov bola overená hodnotami v intervale 0,15 – 25,0 l.s⁻¹, teplota vody dosahovala na ústí vrtov 22,0 – 27,8 °C (v priemere cca 26 °C), tepelný výkon vrtov bol 0,01 – 1,05 MWt. V útvare bola overená sumárna výdatnosť zo zdrojov v hodnote **74,75 l.s⁻¹** so sumárnym tepelným výkonom **3,32 MWt**.

5.28.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Teplotné pole útvaru geotermálnych vôd v hĺbke 500 m charakterizuje teplota 35 – 40 °C, v hĺbke 1000 m teplota 60 - 70 °C, v hĺbke 1 500 m teplota 75 - 80 °C a v hĺbke 2 000 m teplota 95 - 100 °C. Hustota tepelného toku v rámci regionálneho

tepelného poľa sa v útvere pohybuje v rozmedzí **80,0 - 100,0 mW.m⁻²** a stúpa od severu na juh (Franko et al., 1995).

5.28.3 Kvantitatívny stav využívania útvaru

V sledovanom období 2011-2017 bola termálne voda v predmetnom útvere využívaná okrem vrtov v **kúpeľoch Dudince** na lokalitách **Santovka** a **Kalinčiakovo**.

V kúpeľoch **Dudince** bol v sledovanom období využívaný **vrt S-3** pre tri spotrebiska. V období 2011-2015 sumárny ročný odber kolísal v intervale cca **101 – 182 tis. m³ (3,22 – 5,78 l.s⁻¹)**, v rokoch 2016-2017 kolísala táto hodnota podobne **od 101 do 179 tis. m³ (3,2 – 5,66 l.s⁻¹)**.

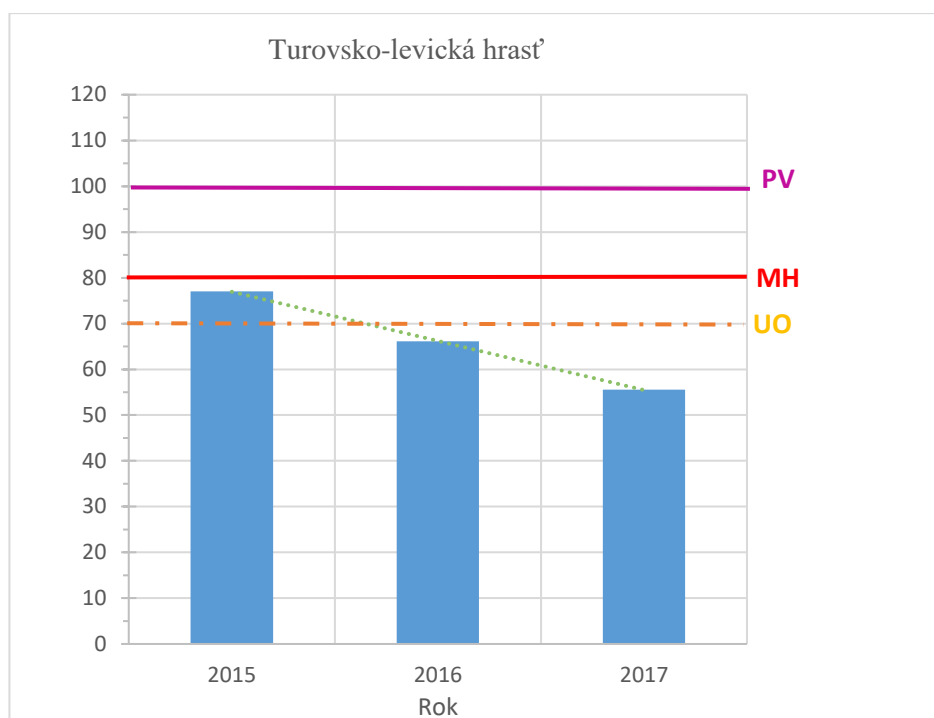
Z vrtu **B-3A v Santovke** boli pre letné Termálne kúpalisko Santovka Wellnes v sledovanom období odbery vyrovnané, v rokoch 2011-2015 to bolo cca **143 tis. m³ (3,5 l.s⁻¹)**, v rokoch 2016-2017 tento odber mierne stúpol v priemere na hodnotu cca **177,5 tis. m³ (4,9 l.s⁻¹)**.

Na lokalite **Kalinčiakovo** boli pre Kúpalisko Margita Ilona sezónne využívané vrty **HVB-1 a HVB-2A**. Z nich bolo v období 2011-2015 priemerne za rok sumárne odobrané množstvo cca **120,3 tis. m³ (10,12 l.s⁻¹)**, v rokoch 2016-2017 tento odber mierne poklesol na hodnotu cca **75,8 tis. m³ (7,42 l.s⁻¹)**.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.28.3.1) je útvar v dobrom stave (Bs% - 2015/77,01 %; 2016/66,09 %; 2017/55,52 %) na základe strednej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1). Trend časového vývoja kvantitatívneho stavu ma poklesávajúci charakter.

Počas obdobia rokov 2015-2017 bolo 1-krát dokumentované prekročenie hodnoty Bs% > 70 % (príl. č. 12). Nápravné opatrenia na zvrátenie nepriaznivého trendu kvantitatívneho stavu sú uvedené v podkapitole 6.1.

V období rokov 2015-2017 (príl. č. 12) boli v tomto útvere dokumentované nasledujúce zdroje trvalo v havarijnom stave: **HVB-1 a HVB-2A Kalinčiakovo**. V kritickom stave bol zdroj **Dudince S-3** (tab. 6.1.2). V prípade vrtov **HVB-1 a HVB-2A** ide o nízku mieru zabezpečenia využiteľných množstiev (Odhad III.) a pri vrte **S-3** o zlý technický stav.



Obr. 5.28.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) turovsko-levickej hraste

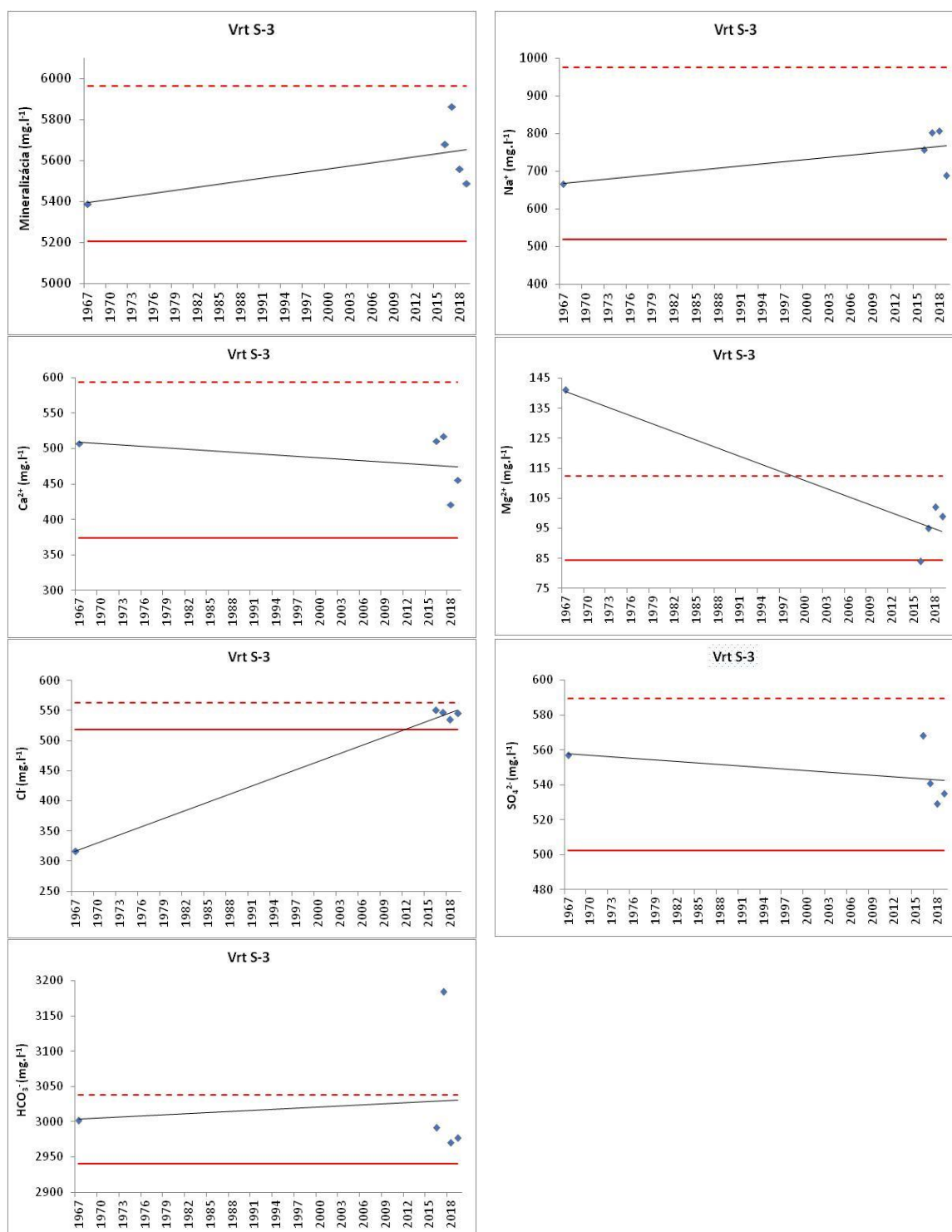
5.28.4 Chemický stav útvaru

Hodnotenie chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody SK30028FKP bolo realizované na základe metódy medzikvartilového rozpätia (IQR) a trendu časového vývoja chemického zloženia geotermálnej vody na jednom zdroji v Dudinciach (vrt S-3 Kúpeľný) a jednom zdroji v Santovke (vrt B-3A).

V prípade vrtu S-3 Kúpeľný boli k dispozícii údaje z dvoch časových období – staršie analýzy z roku 1967, resp. analýzy z obdobia rokov 2016 až 2019 (obr. 5.28.4.1 a 5.28.4.2). V prípade vrtu B-3A boli k dispozícii analýzy z rokov 1998, 2002, 2007, 2009 a 2014 (obr. 5.28.4.3).

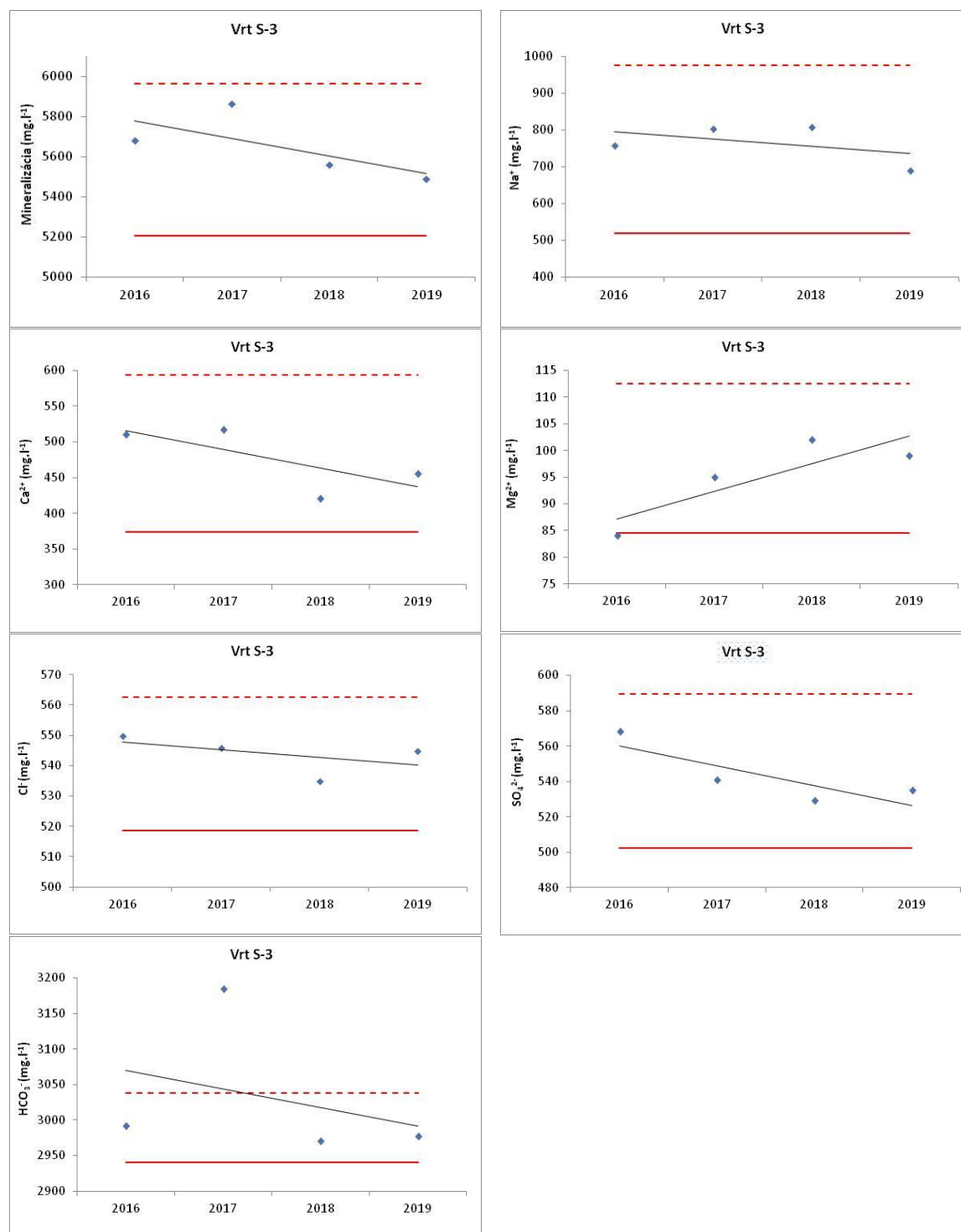
Vo vzorke z vrtu S-3 Kúpeľný odobranej 15.6.1967 boli zistené o niečo nižšie hodnoty/koncentrácie celkovej mineralizácie ($5387,71 \text{ mg.l}^{-1}$), Na^+ (666 mg.l^{-1}) a Cl^- ($315,67 \text{ mg.l}^{-1}$) a naopak podstatne vyššie obsahy Mg^{2+} ($141,05 \text{ mg.l}^{-1}$) (obr. 5.28.4.1). Ako však naznačujú grafy na obr. 5.28.4.2, v rokoch 2016 až 2019 boli zaznamenané stabilné koncentrácie posudzovaných ukazovateľov (odľahlá koncentrácia bola zistená len pre HCO_3^- vo vzorke odobratej dňa 22.8.2017). Odľahlé hodnoty/koncentrácie v roku 1967 by mohli súvisieť so spôsobom exploatacie zdroja v období 60-tych rokov minulého storočia. Navyše na zdroji S-3 bola realizovaná revitalizácia (Dzúrik a Tomana, 2018), nakoľko zdroj

dlhodobo vykazoval znaky inkrustácie filtračnej časti, čo sa odrazilo na jeho technickom stave.

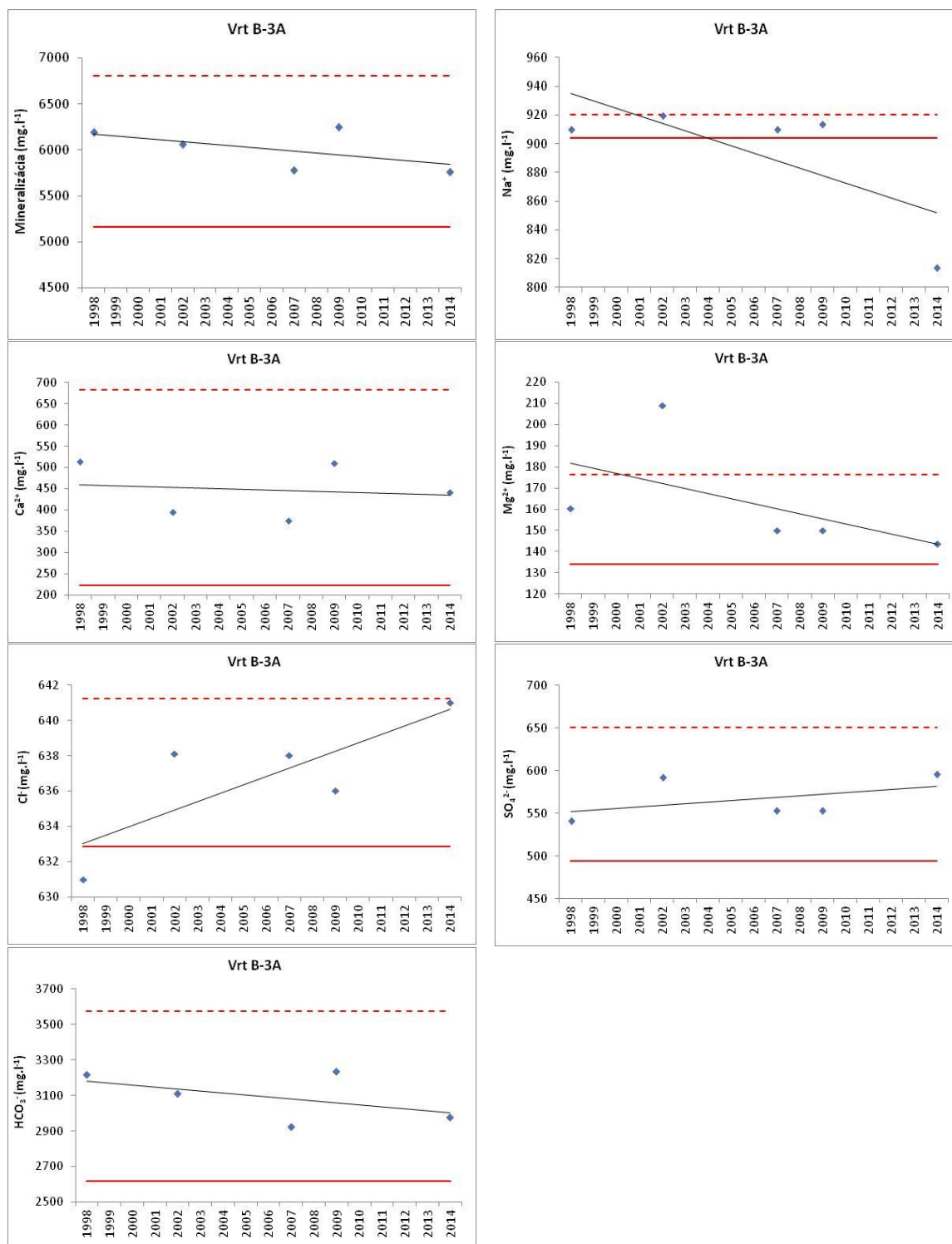


Obr. 5.28.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu S-3 Kúpeľný v Dudinciach

Chemické zloženie vody z vrtu B-3A vykazuje stabilitu vo väčšine meraní (obr. 5.28.4.3), pričom len 3 merania sú v grafoch situované mimo 1,5 násobku medzikvartilového rozpätia hodnôt – Na^+ (814 mg.l^{-1} zo dňa 24.7.2014), Mg^{2+} (209,15 mg.l^{-1} zo dňa 19.9.2002) a Cl^- (631,01 mg.l^{-1} zo dňa 4.11.1998).



Obr. 5.28.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu S-3 Kúpeľný v Dudinciach – len roky 2016 až 2019



Obr. 5.28.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu B-3A v Santovke

Geotermálny útvar SK30028FKP hodnotíme z pohľadu chemického stavu v dobrom stave a z pohľadu spoľahlivosti hodnotenia chemického stavu je to nízka miera spoľahlivosti (1).

5.28.5 Množstvo geotermálnej energie a vôd

Turovsko-levická hrasť reprezentuje útvar, kde geotermálne vody sú viazané na mezozoické karbonáty a neogénne siliciklastiká. Energetická bilancia útvaru zodpovedá odhadu $TTP = 7,6 \text{ MWth}$ ($R_{pb} = 3,6 \text{ MWth}$ a $R_{pv} = 4 \text{ MWth}$) s pravdepodobnosťou overenia 48 %, a udržateľnej kapacity $P_{th(r_{cap}=0,5)} = 1,8 \text{ MWth}$ (94 %). Keďže $R_{pb} < R_{pv}$ a $R_{pv} > P_{th(r_{cap}=0,5)}$, bez potvrdenia alebo rekalištrovania modelu neodporúčame ďalšie overovanie zásob geotermálnej energie.

Parametre produkcie sú vyjadrené podľa $P_{th} = 0,45 \text{ MWth}$ a $P_{th,inst} = 2,74 \text{ MWth}$. Za predpokladu zachovania aktuálnych parametrov je možné produkciu klasifikovať ako udržateľnú ($r_{cap(U)} = 0,88$) s potenciálom rozvoja pri minimálnom riziku pre energetickú bilanciu útvaru ($r_{cap(S)} = 0,75$) na úrovni $P_{th(D)} = 1,36 \text{ MWth}$. Pri využívaní podľa súčasného inštalovaného výkonu je produkcia klasifikovaná ako neudržateľná ($r_{cap(U^*)} = 0,24$), bez možnosti ďalšieho rozvoja ($r_{cap(S^*)} = -0,51$) nakoľko $P_{th,inst} > P_{th(r_{cap}=0,5)}$. Perspektivita produkcie GTE a jej rozvoja v rámci útvaru je hodnotená ako limitovaná, t. j. ako funkcia aktuálneho P_{th} .

5.29 ÚTVAR SK300290FK - ZVOLENSKÁ KOTLINA

5.29.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

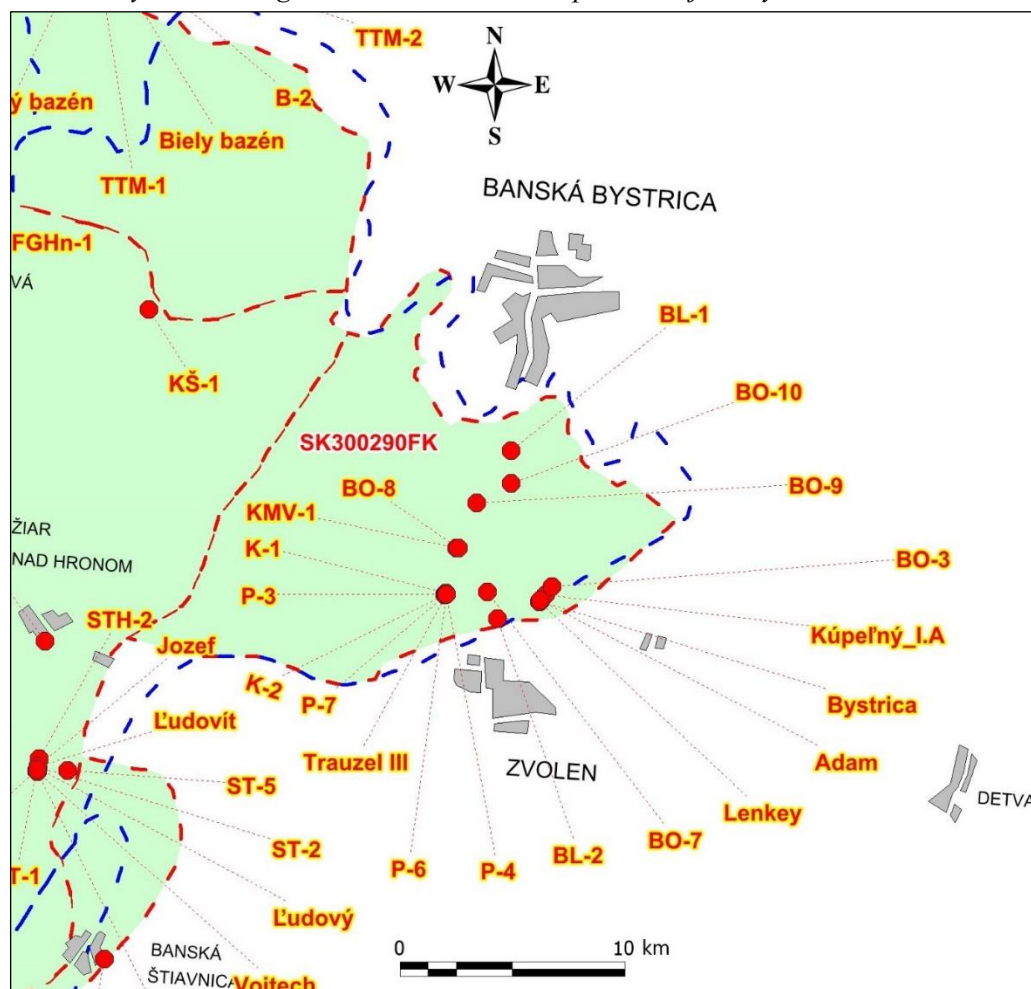
Geotermálny útvar sa nachádza na strednom Slovensku medzi mestami Banská Bystrica, Zvolen a Žiar nad Hronom a svojou rozlohou ($201,03 \text{ km}^2$) patrí k menším útvarom geotermálnych vôd Slovenska (obr. 5.29.1.1). Je súčasťou Zvolenskej kotliny, jej podcelku Zvolenská pahorkatina, Sliačska kotlina a časti Slovenského stredohoria a Kremnických vrchov. Dno kotliny leží prevažne v nadmorskej výške 300-500 m n. m.

Jadro kotliny tvorí široký pás fluválnych sedimentov Hrona so sústavou terás. Podložné mezozoické komplexy sú zastúpené príkrovovým systémom viacerých tektonických jednotiek (fatrikum, hronikum), ktoré sa ponárajú pod vulkanické a vulkanosedimentárne komplexy mladších hornín. Spodný trias je zastúpený pieskovicami, bridlicami, vápencami a dolomitmi. Nadložné neogénne súvrstvie je budované prevažne vulkanickými a vulkanosedimentárnymi formáciami Poľany, Javoria a Kremnických vrchov. Ide o produkty extruzívneho vulkanizmu pyroxenických a amfibol-pyroxenických andezitov spodno-vrchno bádenského, sarmatského a panónskeho veku.

Termominerálne vody sa formujú v karbonatických komplexoch mezozoika, ktoré nevystupujú na povrch a sú známe na lokalitách Kováčová, Sliač, Sielnica a Borova Hora

Hlavný prítok geotermálnej vody do výverovej oblastí na Sliači a Borovej Hore je na základe výtláčnej úrovne vrtoz zo smeru ZSZ z oblasti Kremnických vrchov-(Dzúrik, 2012).

Obr. 5.29.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300290FK a zdroje



geotermálnej vody

V útvare boli realizované geotermálne vrty na piatich lokalitách (**Sielnica, Badín, Borova Hora, Kováčová a Sliač**). Hĺbka vrtoz, ktoré overili geotermálnu vodu je 9 až 572 m, prevažne však 220,0 – 572,0 m. Kolektorom sú najmä triasové dolomity, vápence i pieskovce. Geotermálna voda bola zachytená v úrovni 40 – 572 m, výdatnosť vrtoz bola overená hodnotami v intervale 1,07 – 50,0 l.s⁻¹, teplota vody dosahovala na ústí vrtoz 21,2 – 48,5 °C (v priemere cca 30 °C), tepelný výkon vrtoz bol 0,04 – 6,99 MWt. Najvyššia teplota vody bola overená vrtmi na lokalite Kováčová (46,0 – 48,5 °C), najnižšia na lokalite Badín (24,4 – 27,1 °C). V útvare bola overená sumárna výdatnosť zo zdrojov v hodnote 210,75 l.s⁻¹ so sumárnym tepelným výkonom 21,10 MWt.

Z chemického hľadiska sú v útvare vody hlavne typu Ca-SO_4 , $\text{Ca-Mg-SO}_4\text{-HCO}_3$ resp. Ca-Mg-SO_4 s mineralizáciou v intervale 2,174 – 3,781 g.l⁻¹.

5.29.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Teplotné pole útvaru geotermálnych vôd v hĺbke 500 m charakterizuje teplota 25 – 37,5 °C, v hĺbke 1 000 m teplota 40 – 55 °C, v hĺbke 1 500 m teplota 55 – 70 °C a v hĺbke 2 000 m teplota 65 - 90 °C. Hustota tepelného toku v rámci regionálneho tepelného poľa sa v útvare pohybuje v rozmedzí **80,0 - 120,0 mW.m⁻²** a stúpa od severu na juhozápad (Franko et al., 1995).

5.29.3 Kvantitatívny stav využívania útvaru

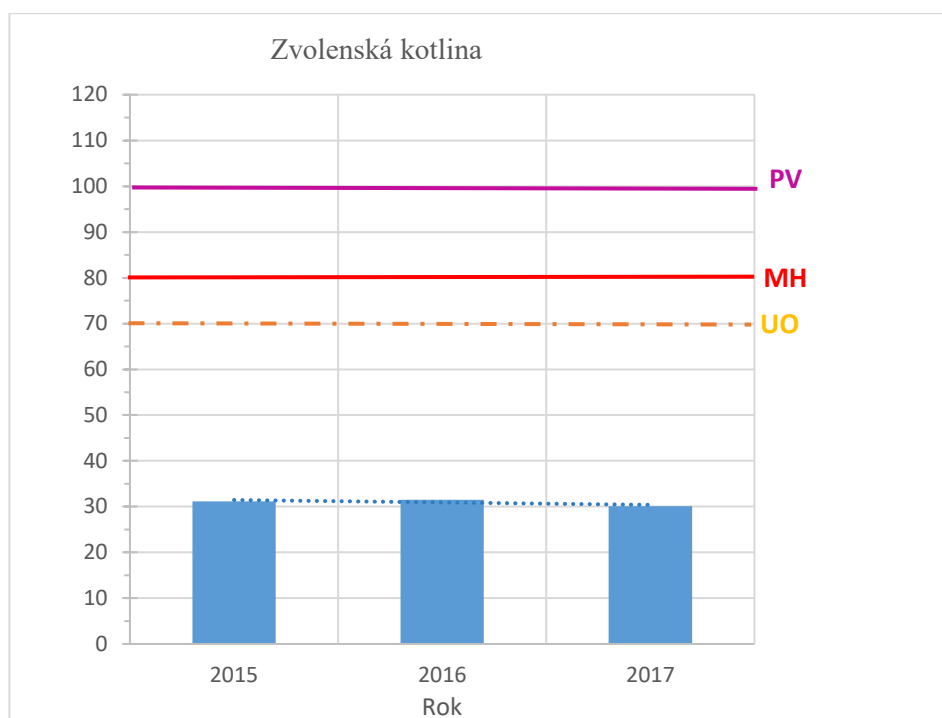
V útvare boli v období 2012-2017 využívané vrty na lokalite **Sielnica (vrt KMV-1)** a na dvoch **kúpeľných lokalitách – Kováčová a Sliač**. V kúpeľoch ide o vrty **K-2 Kováčová** a **vrt 1-A Sliač-Rybáre**.

Z vrtu **KMV-1 v Sielnici** bolo v rokoch 2012-2015 priemerne ročne odobrané iba nízke množstvo geotermálnej vody – **6,17 tis. m³ (0,19 l.s⁻¹)**, ktoré v rokoch 2016 – 2017 mierne kleslo na hodnotu **5,82 tis. m³ (0,18 l.s⁻¹)**.

V období **2012-2015** bolo z vrtu **K-2 Kováčová** priemerne ročne odobrané množstvo **156,7 tis. m³ (5,0 l.s⁻¹)**, v rokoch 2016-2017 toto množstvo mierne vzrástlo na hodnotu **183,4 tis. m³ (5,8 l.s⁻¹)**.

Z vrtu **1-A v Sliači** bolo v rokoch 2012-2015 priemerne ročne odobrané množstvo **109,6 tis. m³ (3,4 l.s⁻¹)**, ktoré v rokoch 2016-2017 mierne kleslo na hodnotu **82,9 tis. m³ (2,6 l.s⁻¹)**.

V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd (obr. 5.29.3.1) je útvár v dobrom stave (Bs% - 2015/31,15 %; 2016/31,52 %; 2017/30,09 %) na základe strednej miery spoľahlivosti (tab. 6.1.1). Trend časového vývoja kvantitatívneho stavu ma poklesávajúci charakter.



Obr. 5.29.3.1 Kvantitatívne hodnotenie (Bs%) Zvolenskej kotliny

5.29.4 Chemický stav geotermálneho útvaru

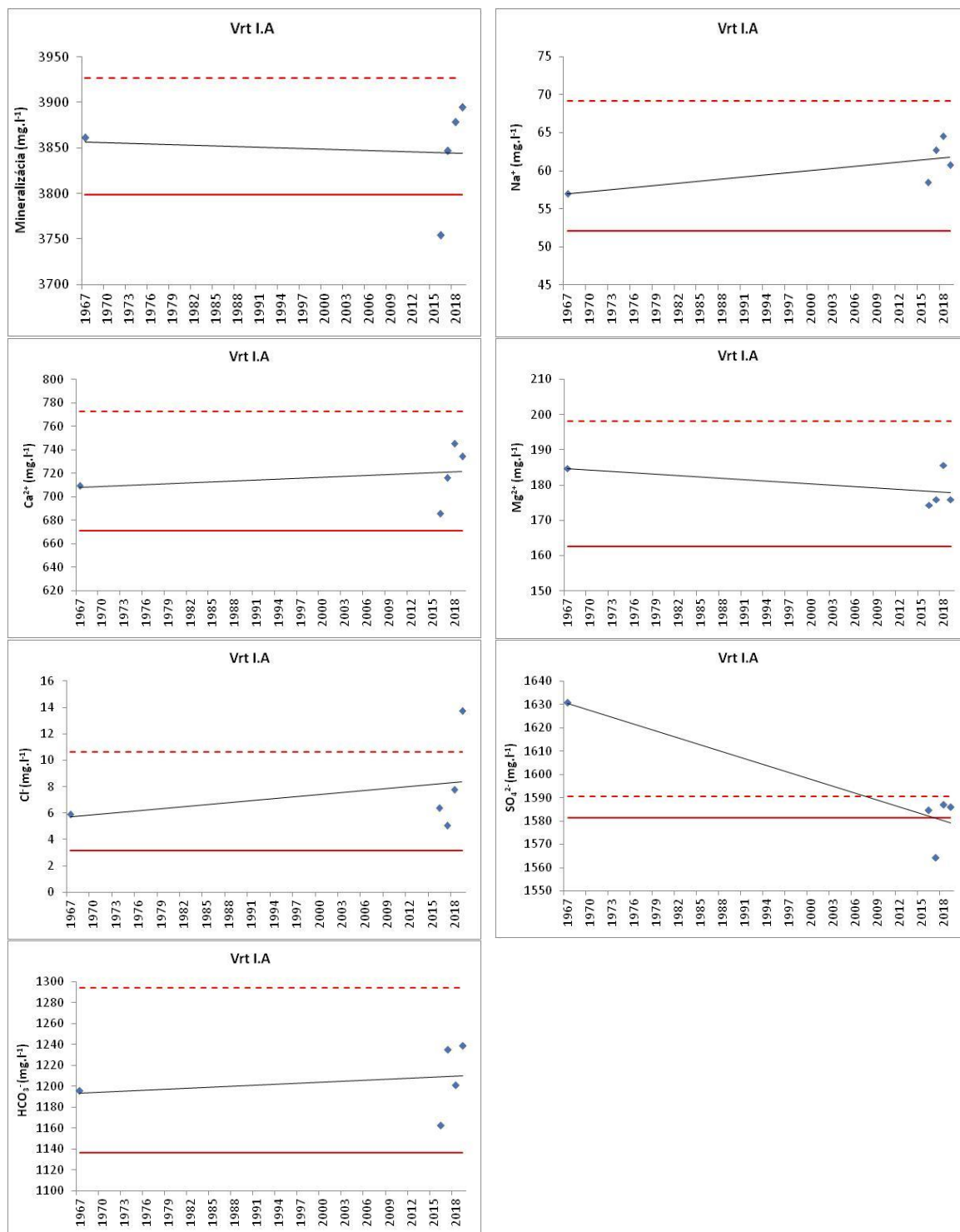
Hodnotenie chemického stavu geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300290FK bolo realizované na základe metódy medzikvartilového rozpätia (IQR) a trendu časového vývoja chemického zloženia geotermálnej vody na 2 zdrojoch na Sliachi (vrt I.A Kúpeľný, Lenkey) a jednom zdroji v Kováčovej (vrt K-2).

V prípade všetkých hodnotených zdrojov boli k dispozícii údaje z dvoch časových období – staršie analýzy z rokov 1967 (vrt I.A Kúpeľný), 1972 (Lenkey) a 1982 (vrt K-2), resp. analýzy z obdobia rokov 2016 až 2019 (obr. 5.29.4.1 až 5.29.4.6).

Chemické zloženie vody z vrtu I.A Kúpeľný vykazuje stabilitu vo väčšine meraní (obr. 5.29.4.1 a 5.29.4.2). V najstaršej analýze z roku 1967 sa výraznejšie odlišuje od ostatných meraní len koncentrácia SO_4^{2-} (1630,77 mg.l^{-1}). Pokiaľ hodnotíme zvlášť analýzy z obdobia rokov 2016 až 2019, len 3 merania sú v grafoch situované mimo 1,5 násobku medzikvartilového rozpätia hodnôt – celková mineralizácia (3754 mg.l^{-1} zo dňa 1.6.2016), Cl^- (13,75 mg.l^{-1} zo dňa 15.10.2019) a SO_4^{2-} (1564,1 mg.l^{-1} zo dňa 26.9.2017).

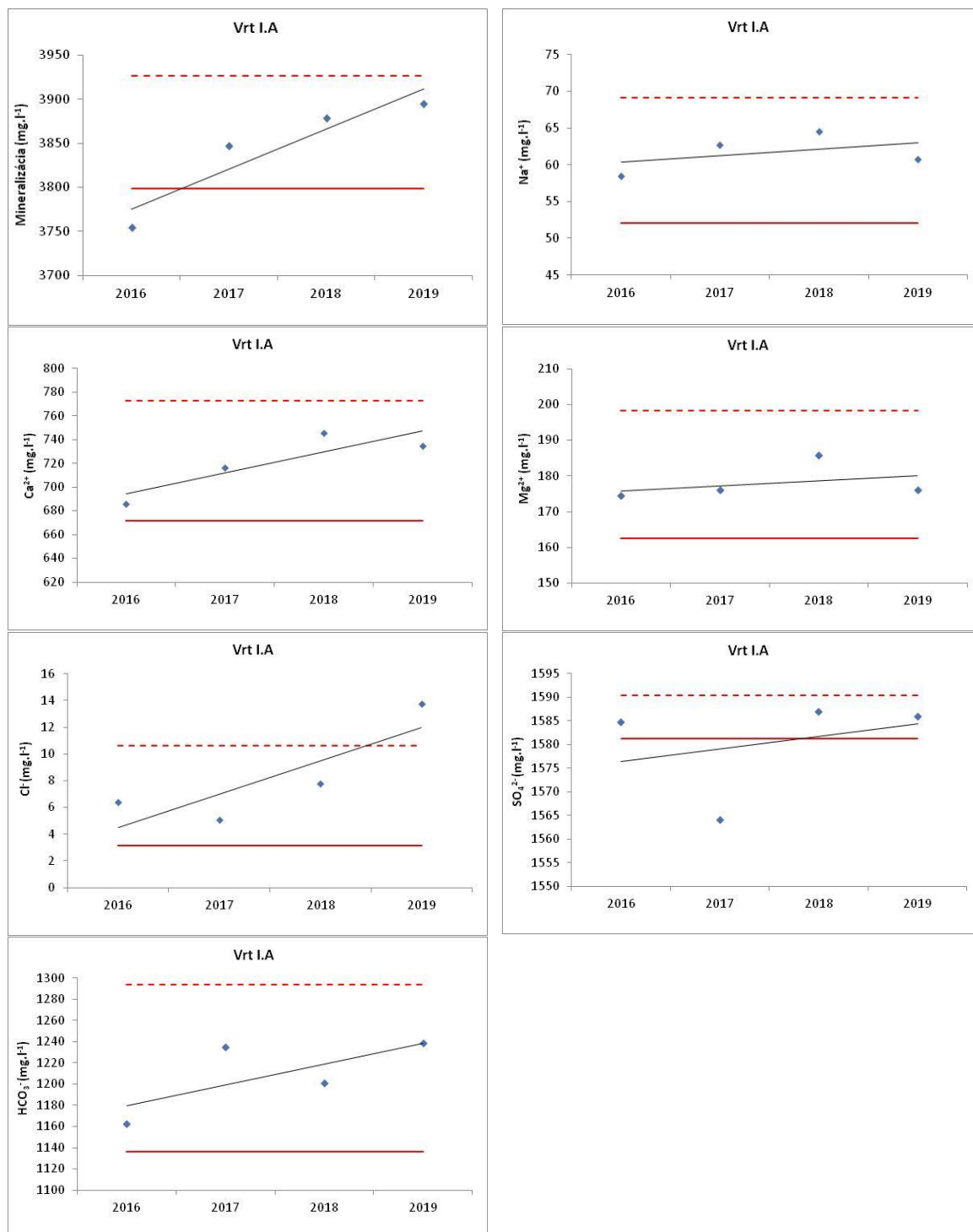
Vo vzorke zo zdroja Lenkey odobranej 1.7.1972 boli zistené o niečo nižšie koncentrácie Ca^{2+} (580,35 mg.l^{-1}) a HCO_3^- (1052,6 mg.l^{-1}) a naopak vyššie obsahy Mg^{2+} (170 mg.l^{-1}), Cl^- (6,95 mg.l^{-1}) a SO_4^{2-} (1390,5 mg.l^{-1}) (obr. 5.29.4.3). Ako však naznačujú

grafy na obr. 5.29.4.4, v rokoch 2016 až 2019 boli pre väčšinu posudzovaných ukazovateľov zaznamenané stabilné hodnoty/koncentrácie. Odľahlé hodnoty/koncentrácie boli zistené pre celkovú mineralizáciu a HCO_3^- vo vzorke odobratej dňa 1.6.2016

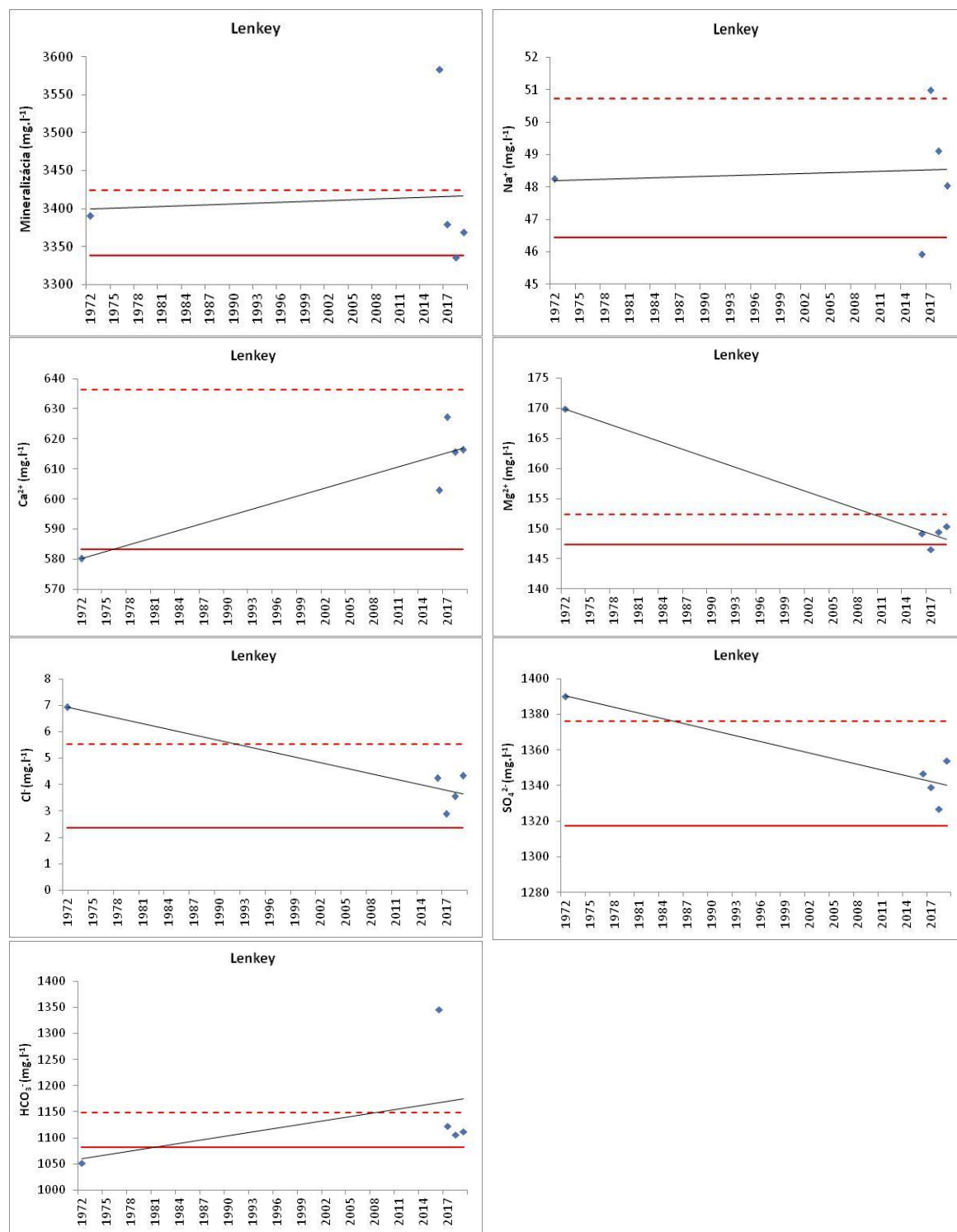


Obr. 5.29.4.1 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu I.A Kúpeľný na Sliači

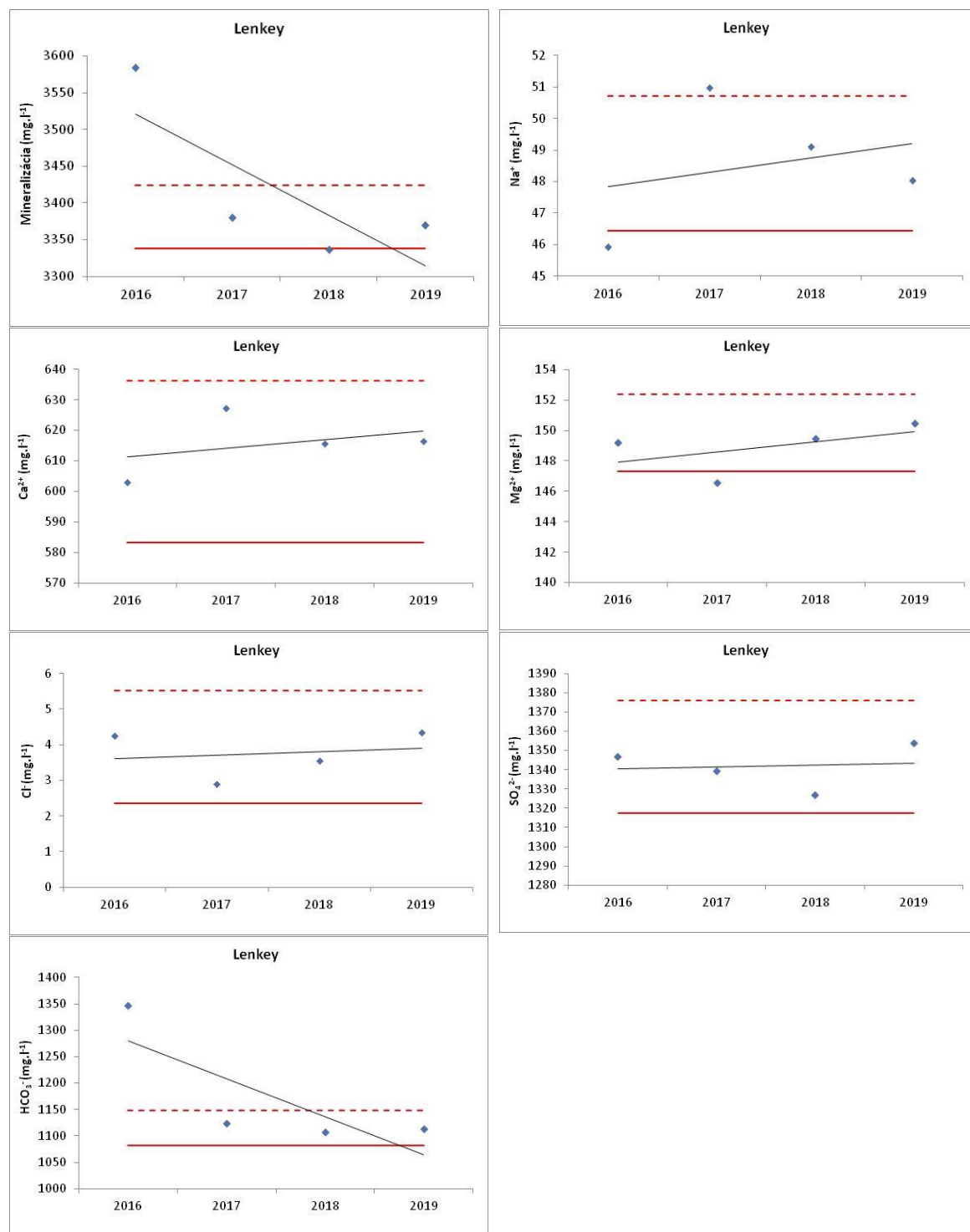
(3384 mg.l⁻¹ resp. 1346,8 mg.l⁻¹). Odlíahlé hodnoty/koncentrácie v roku 1972 by mohli súvisieť so spôsobom exploatácie zdroja v období 70-tych rokov minulého storočia, príp. inou príčinou.



Obr. 5.29.4.2 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu I.A Kúpeľný na Sliači – len roky 2016 až 2019

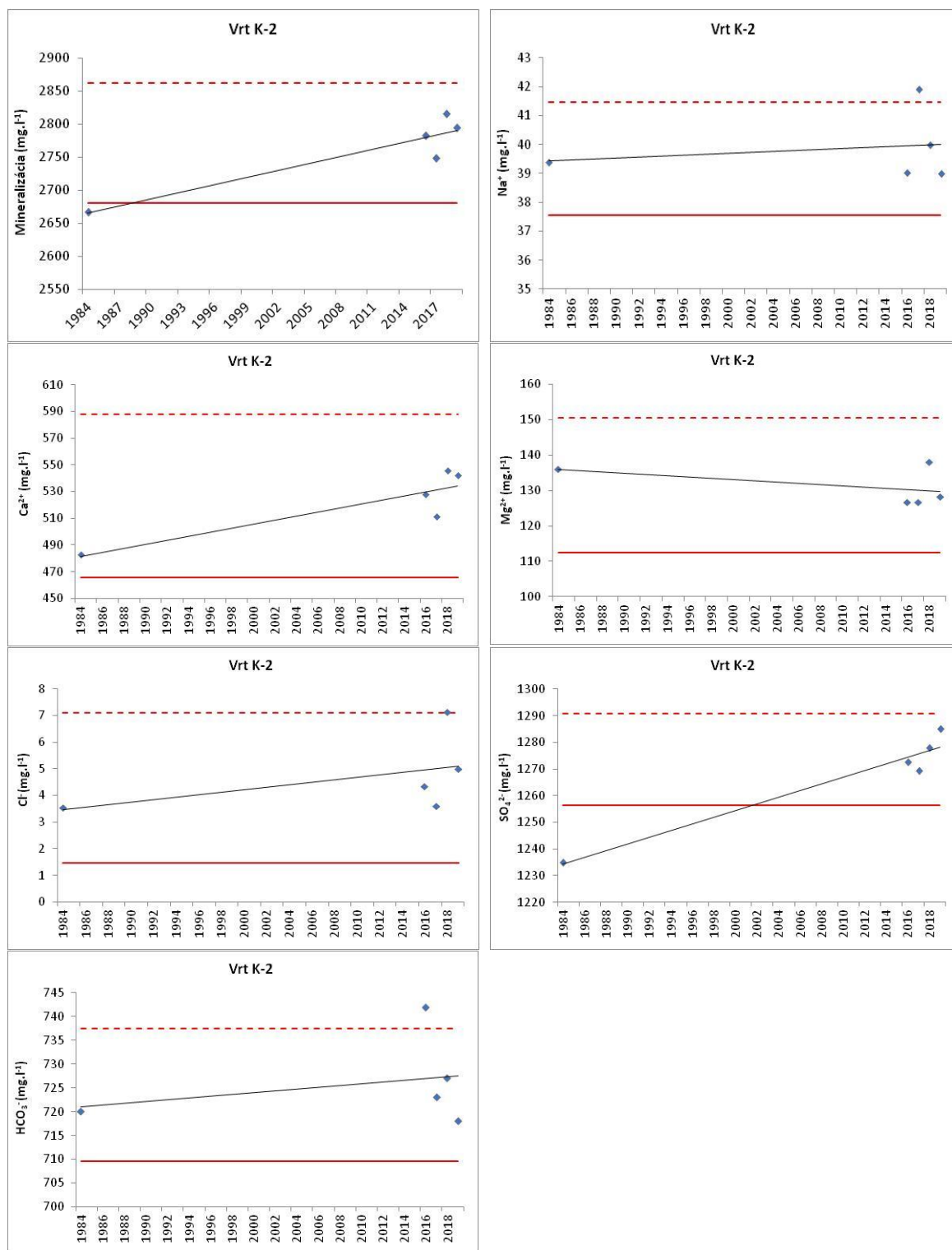


Obr. 5.29.4.3 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Lenkey na Sliachi



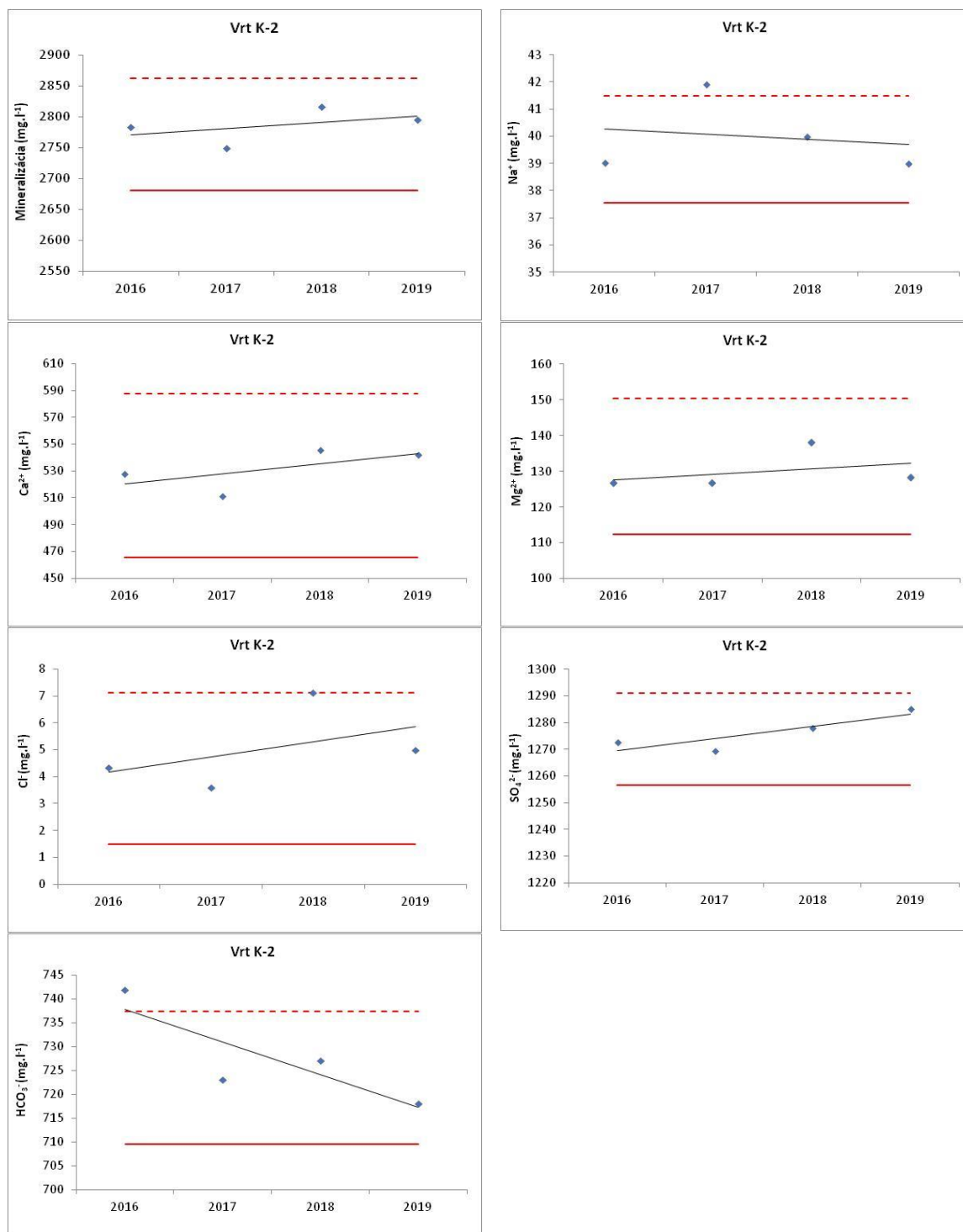
Obr. 5.29.4.4 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode zdroja Lenkey na Sliachi – len roky 2016 až 2019

Vo vzorke z vrtu K-2 odobranej 3.7.1984 boli zistené o niečo nižšie hodnoty celkovej mineralizácie ($2666,55 \text{ mg.l}^{-1}$) aj nižšie koncentrácie Ca^{2+} ($482,56 \text{ mg.l}^{-1}$) a SO_4^{2-} ($1234,91 \text{ mg.l}^{-1}$) (obr. 5.29.4.5). Ako však naznačujú grafy na obr. 5.29.4.6, v rokoch 2016



Obr. 5.29.4.5 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu K-2 v Kováčovej

až 2019 boli zaznamenané veľmi stabilné koncentrácie týchto ukazovateľov a len 2 merania sú v grafoch situované tesne mimo 1,5 násobku medzikvartilového rozpätia hodnôt – Na^+ (41,92 mg.l^{-1} zo dňa 21.6.2017) a HCO_3^- (742 mg.l^{-1} zo dňa 24.11.2016).



Obr. 5.29.4.6 Vývoj obsahov vybraných ukazovateľov vo vode vrtu K-2 v Kováčovej – len roky 2016 až 2019

Geotermálny útvar SK300290FK hodnotíme z pohľadu chemického stavu v dobrom stave a z pohľadu spoľahlivosti hodnotenia chemického stavu je to stredná miera spoľahlivosti (2).

5.29.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

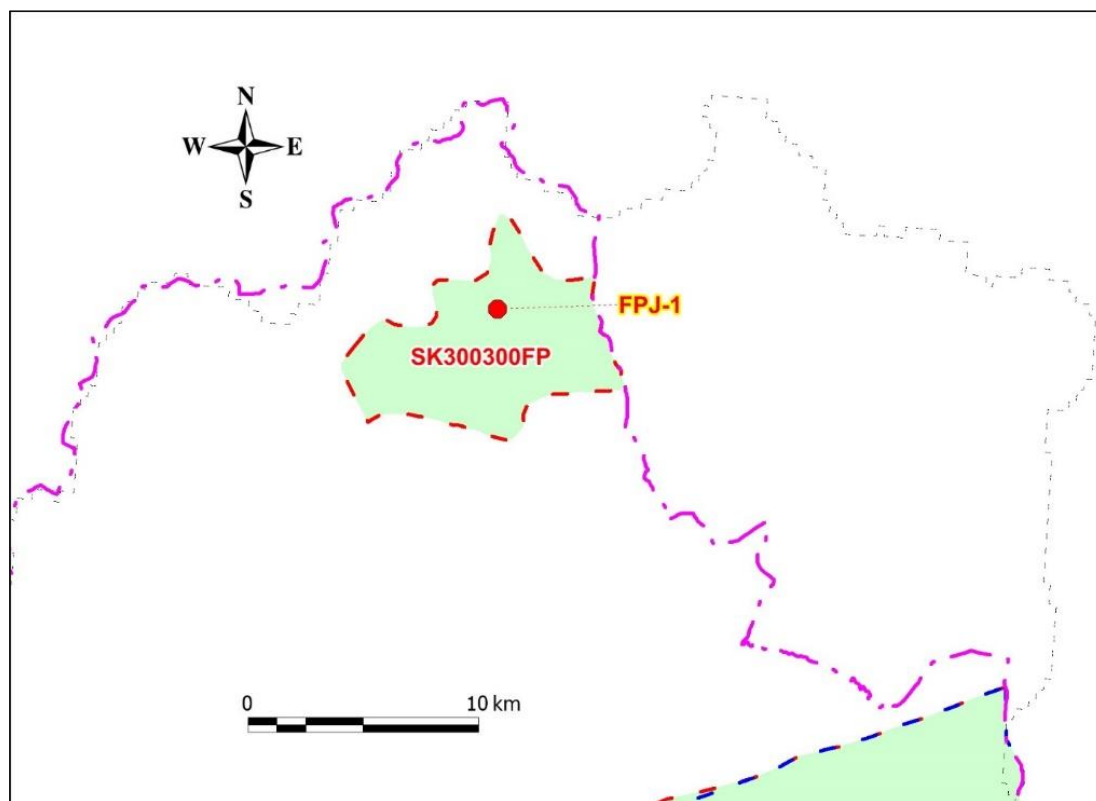
Zvolenská kotlina predstavuje útvar geotermálnych vôd viazaných na mezozoické karbonáty. Bilančný model útvaru odhaduje $TTP = 17,9 \text{ MWth}$ pri overených $R_{pv} = 13,9 \text{ MWth}$ a pravdepodobných $R_{pb} = 4 \text{ MWth}$ zásobách geotermálnej energie s pravdepodobnosťou overenia 6 %, a udržateľnou kapacitou $P_{th(rcap=0,5)} = 2 \text{ MWth}$ (94 %). Vysoký nepomer R_{pv} a R_{pb} , respektíve R_{pv} a $P_{th(rcap=0,5)}$ bez prehodnotenia alebo potvrdenia energetickej bilancie vylučuje ďalšie overovanie zásob geotermálnej energie v útvare. Produkcia zdrojov geotermálnej energie je definovaná ukazovateľmi $P_{th} = 0,8 \text{ MWth}$ a $P_{th,inst} = 4,2 \text{ MWth}$. Vo vzťahu k udržateľnej kapacite útvaru klasifikujeme aktuálnu produkciu ako trvalo udržateľnú ($r_{cap(U)} = 0,79$) s nízkym rizikom ďalšieho rozvoja produkcie na úrovni $P_{th(D)} = 1,16 \text{ MWth}$ ($r_{cap(S)} = 0,58$). V scenári s maximálnym využitím inštalovaných výkonov je produkcia hodnotená ako neudržateľná ($r_{cap(U^*)} = -0,05$) s vysokým rizikom kolapsu geotermických podmienok útvaru ($r_{cap(S^*)} = -1,1$) z pohľadu dlhodobej produkcie, t. j. $P_{th(D^*)} = 0 \text{ MWth}$. Preto perspektivitu produkcie zdrojov geotermálnej energie a jej rozvoj hodnotíme podľa aktuálneho vývoja P_{th} ako limitovanú.

5.30 ÚTVAR SK300300FP- PODBESKYDSKÁ BRÁZDA

5.30.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Novo vyčlenený geotermálny útvar Podbeskydská brázda leží na severe Slovenska (obr. 5.30.1.1.) v blízkosti hranice s Poľskou republikou a svojou rozlohou ($60,72 \text{ km}^2$) je tretím najmenším útvarom geotermálnych vôd Slovenska. Je tiež prvým útvarom vo vonkajšom flyšovom pásme, ktorý je tvorený magurský príkrovom. Magurský príkrov v oblasti Oravskej Polhory je budovaný bystrickou a račianskou jednotkou. Je rozčlenený sústavou tektonických severovergentných šupín popresúvaných na seba. Mladšími zlomami je táto stavba rozbitá na kryhy a bloky so vzájomným posunom voči sebe. V rámci bystrickej jednotky je v stratigrafickom slede vyčlenené belovežské, vychylovské, bystrické a malcovské súvrstvie. Račianska jednotka má v slede solánske (= inoceramové), belovežské s. l., babiohorské a zlínske súvrstvie. V podloží magurského príkrovu leží jednotka Obidowej-Slopnice. Vrtom **FPJ-1 Oravská Polhora** boli zachytené tri súvrstvia tejto jednotky, a to krosnensko-menilitové, zbojské a „hieroglyfové“ (Potfaj in Zakovič et

al., 1988). Práve zbojské súvrstvie tvorené pieskovicami a tektonickými brekciami reprezentuje kolektor geotermálnej vody.



Obr. 5.30.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300300FP a zdroje geotermálnej vody

5.30.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Hustota tepelného toku v rámci regionálneho tepelného poľa je v útvare nízka a pohybuje v rozmedzí **50,0 - 60,0 mW.m⁻²**.

V útvare bol na lokalite **Oravská Polhora** v roku 1988 realizovaný do hĺbky 2 417,0 m geotermálny vrt **FPJ-1**. Vrtom bola v hĺbke 1 814-2 168 m overená geotermálna voda s teplotou na ústí vrtu 29,0 °C a voľnom prelive 1,0 l.s⁻¹. Kolektorom geotermálnej vody sú paleogénne pieskovce a tektonické brekcie. Tepelný výkon vrtu je 0,06 MWt. V roku 2010 bola voda z vrtu FPJ-1 Oravská Polhora vyhlásená Štátnou kúpeľnou komisiou MZ SR za **prírodnú liečivú vodu**.

Z chemického hľadiska bola v útvare dokumentovaná prítomnosť geotermálnej vody chemického typu Na-Cl s vysokou hodnotou mineralizácie - 47,59 g.l⁻¹.

5.30.3 Kvantitatívny stav využívania útvaru

V období 2011-2017 nebol žiaden geotermálny vrt v tomto útvare využívaný. V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd je útvár v dobrom stave na základe nerealizácie odberov vody (tab. 6.1.1).

5.30.4 Chemický stav geotermálneho útvaru

V geotermálnom útvare SK300300FP nie sú realizované žiadne odbery vôd, a preto tento útvár hodnotíme v dobrom chemickom stave, ale s nulovým stupňom spoľahlivosti (tab. 6.2.1).

5.30.5 Množstvá geotermálnej energie a vôd

Využiteľné množstvo minerálnych vôd pre výverovú oblasť v Oravskej Polhore bolo stanovené ako prelivové množstvo z hydrogeologického vrtu FPJ-1 dokumentované poloprevádzkovou hydrodynamickou skúškou v trvaní 31 dní (2009) a na základe nameraných a namodelovaných tlakových parametrov v roku 1988. Pre odber jódobrómovej vody s teplotou bolo navrhnuté odporúčané prelivové množstvo **1,0 l.s⁻¹** pri tlaku na zhlaví vrtu 0,043 MPa.

Podbeskydská brázda predstavuje nateraz jediný útvár s primárnymi rezervoármi vyčlenenými rýdzo v paleogénnych zlepenkoch a brekciách vonkajšieho flyšového pásma. Pravdepodobnostný model odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie udáva $TTP = 2,2 \text{ MWth}$ s pravdepodobnosťou overenia 80 %, z čoho overené zásoby predstavujú $R_{pv} = 0,06 \text{ MWth}$ a pravdepodobné zásoby $R_{pb} = 2,14 \text{ MWth}$. Udržateľná kapacita útvaru dosahuje odhadom $P_{th(rcap=0,5)} = 1,07 \text{ MWth}$ (93 %). Na overenie stále udržateľných zásob GTE ostáva 1 MWth.

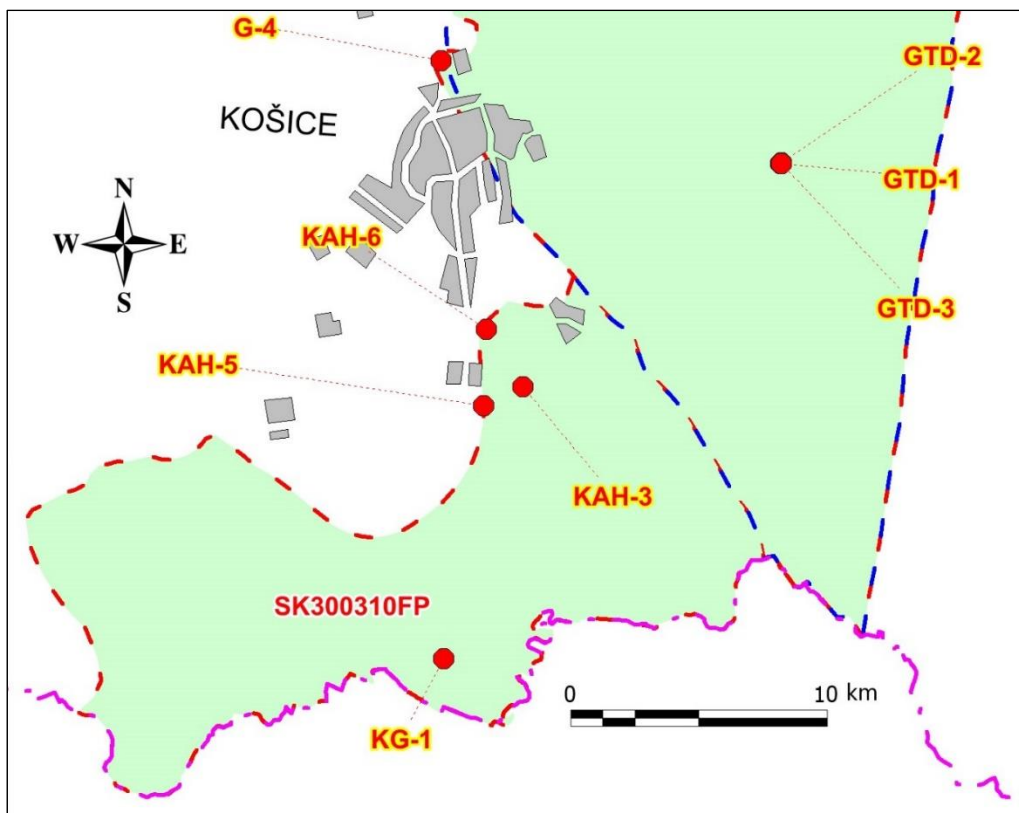
Geotermálna energia viazaná na útvár nie je aktuálne využívaná ($P_{th} = 0 \text{ MWth}$ a $P_{th,inst} = 0 \text{ MWth}$). Indikátory udržateľnosti produkcie a jej rozvoja nadobúdajú jednotkové hodnoty, t. j. $r_{cap(U)} = 1$, $r_{cap(U^*)} = 1$, $r_{cap(S)} = 1$ a $r_{cap(S^*)} = 1$. Potenciál rozvoja produkcie geotermálnej energie zodpovedá udržateľnej kapacite útvaru, t. j. $P_{th(D)} = P_{th(D^*)} = P_{th(rcap=0,5)} = 1,07 \text{ MWth}$. Útvár je v oboch parametroch hodnotený ako perspektívny. Potenciál, definovaný pravdepodobnostným modelom je však pre rozvoj GTE na národnej úrovni minimálny

5.31 ÚTVAR SK300310FP- MOLDAVSKÁ KOTLINA

5.31.1 Geologická a hydrogeologická charakteristika útvaru

Novo vyčlenený geotermálny útvar Moldavská kotlina leží na juhovýchode Slovenska a svojou rozlohou (260,89 km²) patrí k menším útvarom geotermálnych vôd Slovenska (obr. 5.30.1.1). Nachádza sa južne od mesta Košice smerom k štátnej hranici s Maďarskom.

Sedimentárna výplň Moldavskej kotliny podľa údajov z vrtu KG-1 je tvorená stretavským súvrstvím (ílovce a prachovce s polohami štrkov a hrubozrnných pieskov sivej až sivozelenej farby), ktoré dosiahlo hrúbku 1 099 m. Vyskytujú sa tiež tufy a tufity. Ílovce, prachovce, tufy a tufity sú vápnité. Vrstvy pieskov a štrkov obsahujú kremitú prímes a vulkanický materiál (Kráľ a Vitáloš, 2008). V podloží sedimentárnej výplni neogénu sa nachádzajú karbonáty a serpentinity silicika (Franko et al., 1995).



Obr. 5.31.1.1 Vymedzenie geotermálneho útvaru podzemnej vody SK300310FP a zdroje geotermálnej vody

V útvare boli realizované geotermálne vrty na troch lokalitách (**Valaliky – vrt KAH-3, vrt KAH-5, Šebastovce – vrt KAH-6 a Kechnec – vrt KG-1**). Hĺbka vrtov, ktoré overili geotermálnu vodu je 160 až 1114 m. Kolektorom geotermálnej vody sú neogénne štrky a piesky. Geotermálna voda bola zachytená v úrovni 45 – 1079 m, výdatnosť vrtov bola

overená hodnotami v intervale $0,7 - 14,3 \text{ l.s}^{-1}$, teplota vody dosahovala na ústí vrtov $18,0 - 36,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, tepelný výkon vrtov bol nízky v intervale $0,06 - 0,36 \text{ MWt}$. Najvyššia teplota vody $36,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bola overená vrtom na lokalite Kechnec z hĺbky $728 - 1079$, najnižšia na lokalite Šebastovce ($18,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$). V útvere bola overená sumárna výdatnosť zo zdrojov v hodnote **$32,2 \text{ l.s}^{-1}$** so sumárnym nízkym tepelným výkonom **$0,72 \text{ MWt}$** .

Z chemického hľadiska sú v útvere vody hlavne typu Na-Cl, Na-HCO₃ resp. Na-Ca-Cl-HCO₃ s mineralizáciou v intervale $0,7 - 5,28 \text{ g.l}^{-1}$

5.31.2 Geotermálna charakteristika útvaru

Teplotné pole útvaru geotermálnych vôd v hĺbke 500 m charakterizuje teplota $30 - 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$, v hĺbke 1000 m teplota $45 - 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a v hĺbke 2000 m teplota $75 - 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Hustota tepelného toku v rámci regionálneho tepelného poľa sa v útvere pohybuje v rozmedzí **$80,0 - 110,0 \text{ mW.m}^{-2}$** a stúpa od západu na východ (Franko et al., 1995).

5.31.3 Kvantitatívny stav využívania útvaru

V období 2011-2017 nebol žiaden geotermálny vrt v tomto útvere využívaný. V zmysle metodiky kvantitatívneho hodnotenia geotermálnych útvarov podzemných vôd je útvár v dobrom stave na základe nerealizácie odberov vody (tab. 6.1.1).

5.31.4 Chemický stav geotermálneho útvaru

V geotermálnom útvere SK300310FP nie sú realizované žiadne odbery vôd, a preto tento útvár hodnotíme v dobrom chemickom stave, ale s nulovým stupňom spoľahlivosti (tab. 6.2.1).

5.31.5 Množstvo geotermálnej energie a vôd

Moldavská kotlina zastupuje útvár geotermálnych vôd vyčlenený v neogénnych siliciklastikách. Bilančný model odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie odhaduje $TTP = 29,1 \text{ MWth}$ s pravdepodobnosťou overenia 66% , kde na vrtmi overené zásoby GTE pripadá $R_{pv} = 0,66 \text{ MWth}$ a modelom odhadované pravdepodobné zásoby GTE $R_{pb} = 28,5 \text{ MWth}$. Odhadovaná udržateľná kapacita útvaru dosahuje $P_{th(r_{cap}=0,5)} = 14,2 \text{ MWth}$ (85%). Pri dodržaní maximálneho, udržateľného tepelného výkonu útvaru na overenie ostáva $13,6 \text{ MWth}$.

Geotermálna energia viazaná na útvár nie je aktuálne využívaná, t. j. $P_{th} = 0 \text{ MWth}$ a $P_{th,inst} = 0 \text{ MWth}$, preto $r_{cap(U)} = 1$, $r_{cap(U^*)} = 1$, $r_{cap(S)} = 1$ a $r_{cap(S^*)} = 1$. Vo vzťahu k bilančnému

modelu potom potenciál rozvoja produkcie geotermálnej energie viazanej na útvar zodpovedá jeho udržateľnej kapacite, čiže $P_{th(D)} = P_{th(D^*)} = P_{th(rcap=0,5)} = 14,2 \text{ MWth}$. Z pohľadu možnej dlhodobej produkcie geotermálnej energie a jej rozvoja je útvar hodnotený ako perspektívny / potenciálny, s dostatočnými možnosťami prieskumných aktivít a inštalácií.

6. SÚHRN HODNOTENIA GEOTERMÁLNYCH ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD

Sumárny prehľad hodnotenia kvantitatívneho a chemického stavu geotermálnych útvarov SR je spracovaný v tab. 6.1.1 a 6.2.1 za obdobie rokov 2015, 2016 a 2017. Energetická bilancia geotermálnych útvarov je spracovaná v zmysle modifikovanej McKelveyovej schémy, ktorá vychádza z konceptu pravdepodobnostného odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie.

6.1 KVANTITATÍVNY STAV GEOTERMÁLNYCH ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD

V rámci hodnotenia kvantitatívneho stavu geotermálnych útvarov SR bolo na základe testovacieho kritéria (*bilančné hodnotenie, trend časového vývoja*) hodnotených 31 útvarov (tab. 6.1.1.), pričom u 3 bol dokumentovaný zlý stav a u 3 bola prekročená hodnota $BsT > 70 \%$, čo znamená uplatnenie opatrení na zvrátenie trendu:

- SK300070FK Ilavská kotlina,
- SK300210FK Levická kryha,
- SK3002600P Hornostrehársko-trenčská prepadlina.

Z 31 útvarov bolo počas roku 2015 (príl. č. 8M) v kritickom alebo havarijnom stave 23 zdrojov, 2016 (príl. č. 9M) - 22 zdrojov a 2017 (príl. č. 10M) - 22 zdrojov. Zoznam uvedených zdrojov dokumentuje tab. 6.1.2.

V Ilavskej kotline bol zlý kvantitatívny stav geotermálneho útvaru podzemnej vody za uvedené obdobie spôsobený jednak prekročením transformovanej bilančnej hodnoty ($BsT > 80 \%$ (97,86 %; 98,79 %; 98,60 %)), ale tiež úrovňou zabezpečenia využiteľných množstiev geotermálnej vody (kategória C). Vývoj bilančnej hodnoty kvantitatívneho stavu v čase má rastúci charakter. Podiel zdrojov na zlom kvantitatívnom stave útvaru je nasledujúci: P-1Prima (26 %), V-2 Sina (8 %), V-3 Sina II (51 %), SB-5 Wernher (5 %) a TT-2 Tomáš (9 %).

Zdroje geotermálnej vody v Trenčianskych Tepliciach majú charakter krasovo-puklinových prameňov, ktoré boli zachytené vrtmi s voľným prelivom. Pôvodne bola voda využívaná v piscinách a neskôr v bazénoch, kde boli vrty vyvedené cez dná bazénov. Tento charakter zdrojov spôsobuje komplikácie ako pri ich regulácii, tak aj z pohľadu realizácie hydrodynamických skúšok, spôsobujúcich prevádzkové obmedzenia kúpeľov. V kritickom alebo havarijnom stave boli v uvedenom období nasledujúce zdroje v Trenčianskych

Tepliaciach: P-1/Prima, V-2/Sina I, V-3/Sina II, SB-5/Wernher a TT-2/Tomáš.

Nápravné opatrenia na odstránenie zlého kvantitatívneho stavu je možné zamerať buď na zníženie prelivových množstiev vrtov v nočných hodinách inštalovaním regulácie prietoku na zhlaví vrtov, alebo realizáciou hydrodynamických skúšok, ktoré by dokumentovali využiteľné množstvá na vyššej úrovni t. j. v kategórii B. Ideálne by bolo realizovať obidve opatrenia, ale z pohľadu legislatívy má stanovenie využiteľných množstiev v kategórii B vyššiu prioritu. Hydrogeotermálnu štruktúru Trenčianskych Teplíc je potrebné prehodnotiť aj na základe hydrogeotermálneho zhodnotenia, v rámci ktorého by mala byť stanovená lokalizácia a rozsah akumulačnej a infiltračnej oblasti, ako predpoklad správnej energetickej bilancie.

Levická kryha dosiahla zlý kvantitatívny stav geotermálneho útvaru podzemnej vody za uvedené obdobie, čo bolo spôsobené jednak výrazným prekročením transformovanej bilančnej hodnoty ($BsT > 80 \%$ (255,50 %, 222,67 %, 205,52 %), ale tiež úrovňou zabezpečenia využiteľných množstiev geotermálnej vody (Odhad I.). Vývoj bilančnej hodnoty kvantitatívneho stavu v čase má poklesávajúci charakter.

Zdroj geotermálnej vody v Podhájskej Po-1, ktorý má charakter exploatačného vrtu, dosahoval za sledované obdobie havarijný stav z dôvodu nízkeho zabezpečenia využiteľného množstva vôd. Tento zdroj má 100 % podiel na zlom kvantitatívnom stave útvaru.

Nápravné opatrenia na odstránenie zlého kvantitatívneho stavu je možné zamerať na realizáciu hydrodynamickej skúšky, ktorá by dokumentovala využiteľné množstvo na vyššej úrovni t. j. v kategórii B. V priebehu roka 2020 bola na MŽP SR do Komisie pre schvaľovanie využiteľných množstiev podzemných vôd predložená záverečná správa na schválenie využiteľných množstiev v kategórii B. Tieto využiteľné množstvá boli dokumentované na základe realizácie hydrodynamickej skúšky.

V hornostrehársko-trenčskej prepadline bol zlý kvantitatívny stav geotermálneho útvaru podzemnej vody za uvedené obdobie spôsobený jednak výrazným prekročením transformovanej bilančnej hodnoty ($BsT > 80 \%$ (149,49 %; - ; 145,30 %), ale tiež úrovňou zabezpečenia využiteľných množstiev geotermálnej vody (Odhad II.). Vývoj bilančnej hodnoty kvantitatívneho stavu v čase má poklesávajúci charakter

Zdroj geotermálnej vody v Dolnej Strehovej HGDS-1 dosahoval za sledované obdobie havarijný stav z dôvodu nízkeho zabezpečenia využiteľného množstva vôd a má 100 % podiel na zlom kvantitatívnom stave útvaru.

Nápravné opatrenia na odstránenie zlého kvantitatívneho stavu je možné zamerať na realizáciu hydrodynamickej skúšky, ktorá by dokumentovala využiteľné množstvo na vyššej úrovni t. j. v kategórii B.

Zdroje v kritickom a havarijnom kvantitatívnom stave boli dokumentované aj v nasledujúcich geotermálnych útvaroch, ktoré sú v dobrom kvantitatívnom stave:

- SK300010FK Komárňanská vysoká kryha (Patince SB-2, Štúrovo OPKS a FGŠ-1),
- SK300080FK Žilinská kotlina (Rajec Rk-22, Rajecké Teplice BJ-21 A),
- SK300100FK Hornonitrianska kotlina (Bojnice PA-7 Banský, Bojnice Termálne jazero, Bojnice BR-2 Jazero),
- SK300130FK Liptovská kotlina (Bešeňová ZGL-1),
- SK300140FK Levočská panva - západná a južná časť (Vrbov Vr-1),
- SK300240PF Centrálna depresia podunajskej panvy (Horné Saliby Di-3, Nové Zámky GNZ-1, Senec BS-1, Veľký Meder Č-1, Veľký Meder Č-2),
- SK30028FKP Turovsko-levická hrasť (Kalinčiakovo HBV-1, HBV-2A; Dudince S-3 Kúpeľný).

Uvedené zdroje boli dokumentované s kritickým a havarijným kvantitatívnym stavom buď z dôvodu prekročenia odberných množstiev vôd (príl. č. 6, 7, 8) alebo z dôvodu nízkej úrovne zabezpečenia využiteľných množstiev geotermálnej vody - kategorizácie (príl. č. 4, 5).

Pri troch geotermálnych útvaroch podzemných vôd bolo dokumentované prekročenie 70 % hodnoty bilančného stavu so zohľadnením transformovaných využiteľných množstiev (BsT), v ktorých je potrebné uplatniť opatrenia na zvrátenie trendu:

- SK300160FK Humenský chrbát,
- SK300220FK Rimavská kotlina,
- SK30028FKP Turovsko-levická hrasť.

V uvedených geotermálnych útvaroch počas obdobia 2015-2017 bolo zaznamenané iba jednorazové prekročenie hodnoty BsT 70 %, pričom v prípade humenského chrbta a Rimavskej kotliny ide o rastúci **trend časového vývoja** (+) a v prípade turovsko-levickej hrasti o klesajúci trend (-).

Vrt GTH-1 Kaluža v humenskom chrbte výrazne navýšil priemerný ročný odber vody z 0,6 l.s⁻¹/2015 na 2,86 l.s⁻¹/2017.

Opatrením na zvrátenie trendu je vykonať kontrolu hodnôt odberov za roky 2018-2020 a v prípade pretrvávajúceho stavu vykonať kontrolu na mieste, či nedochádza k navýšeniu odberov z dôvodu nehospodárneho nakladania s vodami.

V prípade Rimavskej kotliny (vrt GRS-1 Rimavské Janovce) bola realizovaná hydrodynamická skúška pre schválenie využiteľných množstiev v kategórii B (Král et al., 2016), ktorá spôsobila navýšenie množstva odoberanej vody.

Opatrením na zvrátenie trendu je vykonať kontrolu hodnôt odberov za roky 2018-2020 a v prípade pretrvávajúceho stavu vykonať kontrolu na mieste, či nedochádza k navýšeniu odberov z dôvodu nehospodárneho nakladania s vodami.

V turovsko-levickej hrasti boli v roku 2015 dokumentované zvýšene odbery na viacerých zdrojoch (HBV-1 Kalinčiakovo, HBV-2A Kalinčiakovo, S-3 Dudince). V Kalinčiakove dosahujú využiteľné množstvá veľmi nízku hodnotu zabezpečenia (Odhad II., III.).

Opatrením na zvrátenie trendu je vykonať hydrodynamické skúšky na vrtoch HBV-1 a HVB-2A pre kategóriu B. Na zdroji S-3 Dudince bola realizovaná revitalizácia (Dzúrik a Tomana, 2018), nakoľko zdroj dlhodobo vykazoval znaky inkrustácie filtračnej časti, čo sa odrazilo na jeho technickom stave. *Opatrením na zvrátenie trendu* je realizovať v ďalších rokoch sledovanie odberov vôd, či sa pohybujú na požadovanej úrovni. Všetky tri zdroje v turovsko-levickej hrasti patria k zdrojom, na ktorých sa vyskytuje v období 2015-2017 havarijný (HBV-1, HBV-2A) a kritický stav (S-3).

Hodnotenie stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd na území Slovenskej republiky

Tab. 6.1.1 Kvantitatívny stav geotermálnych útvarov podzemných vôd SR

Kód útvaru	Názov útvaru	THVM	Odobrané množstvo geotermálnej vody zo zdrojov podľa nahlásených údajov na SHMÚ za roky			Bs%			TČV	Počet zdrojov na lokalite v kritickom alebo havarijnom stave	SH	PVZ	Kvantitatívny stav
			2015	2016	2017	2015	2016	2017					
			(l.s ⁻¹)			(%)							
SK300010FK	Komárňanská vysoká kryha	59,99	23,67	22,46	22,36	39,45	37,43	37,27		1 Patince 2 Štúrovo	2	4	dobrý
SK300020FK	Komárňanská okrajová kryha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0	0	0	dobrý
SK300030FK	Viedenská panva	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0	0	0	dobrý
SK300040FK	Trnavský záliv	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0	0	0	dobrý
SK300050FK	Piešťanský záliv	84,38	21,85	21,64	27,25	25,90	25,65	32,30		0	2	6	dobrý
SK300060FK	Trenčianska kotlina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0	0	0	dobrý
SK300070FK	Hlavská kotlina	18,16	17,77	17,94	17,91	97,86	98,79	98,60	(+)	5 Trenčianske Teplice	2	6	zlý
SK300080FK	Žilinská kotlina	29,20	7,53	8,40	7,91	25,79	28,75	27,09		1 Rajec 1 Rajecké Teplice	2	7	dobrý
SK300090FK	Bánovská kotlina	25,60	7,05	7,13	7,60	27,55	27,87	29,70		0	1	3	dobrý
SK300100FK	Hornonitrianska kotlina	89,81	31,04	32,92	30,67	34,57	36,66	34,16		3 Bojnice	2	10	dobrý
SK300110FK	Turčianska kotlina	22,10	11,42	11,23	8,87	51,66	50,80	40,13		0	2	7	dobrý
SK300120FK	Skorušinská panva	50,00	1,19	5,23	6,09	2,38	10,45	12,18		0	1	1	dobrý
SK300130FK	Liptovská kotlina	143,81	59,86	62,56	55,28	41,63	43,50	38,44		1 Bešeňová	2	5	dobrý
SK300140FK	Levočská panva - (západná a južná časť)	183,70	76,52	80,32	75,05	41,65	43,72	40,85		1 Vrbov	2	5	dobrý
SK300150FK	Levočská panva - (severovýchodná časť)	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0	0	0	dobrý
SK300160FK	Humenský chrbát	4,00	0,60	1,92	2,86	14,89	47,98	71,50	(+)	0	1	1	dobrý
SK300170FK	Košická kotlina	55,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0	0	0	dobrý
SK300180FK	Komjatická depresia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0	0	0	dobrý
SK300190FK	Žiarska kotlina	24,31	3,60	4,72	4,87	14,82	19,42	20,04		0	2	7	dobrý

Hodnotenie stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd na území Slovenskej republiky

Kód útvaru	Názov útvaru	THVM	Odobrané množstvo geotermálnej vody zo zdrojov podľa nahlásených údajov na SHMÚ za roky			Bs%			TČV	Počet zdrojov na lokalite v kritickom alebo havarijnom stave	SH	PVZ	Kvantitatívny stav
			2015	2016	2017	2015	2016	2017					
			(l.s ⁻¹)			(%)							
SK300200FK	Bátovská a rykynčická depresia	10,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0	0	0	dobrý
SK300210FK	Levická kryha	4,33	11,07	9,65	8,91	255,50	222,67	205,52	(-)	1 Podhájska	1	1	zlý
SK300220FK	Rimavská kotlina	10,50	5,14	8,28	6,10	48,94	78,85	58,12	(+)	0	1	1	dobrý
SK300230FP	Trebišovská panva	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0	0	0	dobrý
SK300240PF	Centrálna depresia podunajskej panvy	253,66	99,34	104,76	112,28	39,16	41,30	44,26		1 Horné Saliby 1 Nové Zámky 1 Poľný Kesov 1 Senec 2 Veľký Meder	2	29	dobrý
SK300250PF	Dubnická depresia	3,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0	0	0	dobrý
SK3002600P	Hornostrehársko-trenčská prepadlina	2,50	3,74		3,63	149,49	0,00	145,30	(-)	1 Dolná Strehová	1	1	zlý
SK30027FKP	Lučenecká kotlina	11,20	2,00	1,76	2,51	17,84	15,74	22,46		0	1	1	dobrý
SK30028FKP	Turovsko-levická hrast'	27,60	21,25	18,24	15,32	77,01	66,09	55,52	(-)	2 Kalinčiakovo 1 Dudince	2	4	dobrý
SK300290FK	Zvolenská kotlina	27,97	8,71	8,82	8,42	31,15	31,52	30,09		0	2	3	dobrý
SK300300FP	Beskydská brázda	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0	0	0	dobrý
SK300310FP	Moldavská kotlina	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0	0	0	dobrý

Poznámka: THVM - transformovaná hodnota využiteľných množstiev, Bs% - hodnota bilančného stavu so zohľadnením transformovaných využiteľných množstiev, TČV - trend časového vývoja kvantitatívneho stavu, SH - spoľahlivosť hodnotenia, PVZ - počet využívaných zdrojov

Hodnotenie stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd na území Slovenskej republiky

Tab. 6.1.2 Zoznam zdrojov v kritickom alebo havarijnom stave v období rokov 2015, 2016 a 2017

2015						2016						2017					
Por. č.	Kód útvaru	Názov útvaru	Lokalita	Technické označenie zdroja	Názov zdroja	Por. č.	Kód útvaru	Názov útvaru	Lokalita	Technické označenie zdroja	Názov zdroja	Por. č.	Kód útvaru	Názov útvaru	Lokalita	Technické označenie zdroja	Názov zdroja
1.	SK300010FK	Komárňanská vysoká kryha	Patince	SB-2		1.	SK300010FK	Komárňanská vysoká kryha	Patince	SB-2		1.	SK300010FK	Komárňanská vysoká kryha	Patince	SB-2	
			Štúrovo	OPKS					Štúrovo	OPKS					Štúrovo	OPKS	
			Štúrovo	FGŠ-1					Štúrovo	FGŠ-1					Štúrovo	FGŠ-1	
7.	SK300070FK	Iľavská kotlina	Trenčianske Teplice	P-1	Prima	7.	SK300070FK	Iľavská kotlina	Trenčianske Teplice	P-1	Prima	7.	SK300070FK	Iľavská kotlina	Trenčianske Teplice	P-1	Prima
			Trenčianske Teplice	V-2	Sina I				Trenčianske Teplice	V-2	Sina I				Trenčianske Teplice	V-2	Sina I
			Trenčianske Teplice	V-3	Sina II				Trenčianske Teplice	V-3	Sina II				Trenčianske Teplice	V-3	Sina II
			Trenčianske Teplice	SB-5	Wernher				Trenčianske Teplice	SB-5	Wernher				Trenčianske Teplice	SB-5	Wernher
			Trenčianske Teplice	TT-2	Tomáš				Trenčianske Teplice	TT-2	Tomáš				Trenčianske Teplice	TT-2	Tomáš
8.	SK300080FK	Žilinská kotlina	Rajec	Rk-22		8.	SK300080FK	Žilinská kotlina	Rajec	Rk-22		8.	SK300080FK	Žilinská kotlina	Rajecké Teplice	BJ-21 A	
10.	SK300100FK	Hornonitrianska kotlina	Bojnice	PA-7	Banský	10.	SK300100FK	Hornonitrianska kotlina	Rajecké Teplice	BJ-21 A		10.	SK300100FK	Hornonitrianska kotlina	Bojnice	BR-2	Jazero
			Bojnice		Termálne jazero				Bojnice		Termálne jazero				Bojnice		Termálne jazero
13.	SK300130FK	Liptovská kotlina	Bešeňová	ZGL-1		13.	SK300130FK	Liptovská kotlina	Bešeňová	ZGL-1		14.	SK300140FK	Levočská panva - (západná a južná časť)	Vrbov	Vr-1	
14.	SK300140FK	Levočská panva - (západná a južná časť)	Vrbov	Vr-1		14.	SK300140FK	Levočská panva - (západná a južná časť)	Vrbov	Vr-1		21.	SK300210FK	Levická kryha	Podhájska	Po-1	
21.	SK300210FK	Levická kryha	Podhájska	Po-1		21.	SK300210FK	Levická kryha	Podhájska	Po-1							
24.	SK300240PF	Centrálna depresia podunajskej panvy	Horné Saliby (Diakovce)	Di-3		24.	SK300240PF	Centrálna depresia podunajskej panvy	Horné Saliby (Diakovce)	Di-3		24.	SK300240PF	Centrálna depresia podunajskej panvy	Horné Saliby (Diakovce)	Di-3	
			Nové Zámky	GNZ-1					Nové Zámky	GNZ-1					Nové Zámky	GNZ-1	
			Senec	BS-1					Senec	BS-1					Poľný Kesos	BPK-2	
			Veľký Meder (Čalovo)	Č-1					Veľký Meder (Čalovo)	Č-1					Senec	BS-1	
			Veľký Meder (Čalovo)	Č-2					Veľký Meder (Čalovo)	Č-2					Veľký Meder (Čalovo)	Č-1	
									Veľký Meder (Čalovo)	Č-2					Veľký Meder (Čalovo)	Č-2	
26.	SK3002600P	Hornostráňsko-trenčská prepadlina	Dolná Strehová	HGDS-1	Nový vrt	26.	SK3002600P	Hornostráňsko-trenčská prepadlina	Kalinčiakovo	HBV-1		26.	SK3002600P	Hornostráňsko-trenčská prepadlina	Dolná Strehová	HGDS-1	Nový vrt
28.	SK30028FKP	Turovsko-levická hrast'	Kalinčiakovo	HBV-1		28.	SK30028FKP	Turovsko-levická hrast'	Kalinčiakovo	HBV-2A		28.	SK30028FKP	Turovsko-levická hrast'	Kalinčiakovo	HBV-1	
			Kalinčiakovo	HBV-2A					Dudince	S-3***	Kúpeľný				Kalinčiakovo	HBV-2A	
			Dudince	S-3***	Kúpeľný												

6.2 STABILITA CHEMICKÉHO ZLOŽENIA GEOTERMÁLNYCH VÔD

Chemický stav bol u **12** geotermálnych útvaroch hodnotený na základe nerealizácie odberu vôd ako dobrý, čo značí z pohľadu stability chemického zloženia vôd tu najnižšiu mieru spoľahlivosti. Pri **11** geotermálnych útvaroch bol hodnotený chemický stav ako dobrý na základe dostupných údajov o chemickom zložení (tab. 6.2.1, tab. 6.2.2), pričom z pohľadu miery spoľahlivosti hodnotenia bola dokumentovaná nízka miera (4), stredná miera spoľahlivosti (5) a vysoká miera spoľahlivosti (2). Pri **8** geotermálnych útvaroch neboli k dispozícii aktuálne chemické analýzy. Tieto útvary neboli hodnotené z pohľadu stability chemického zloženia.

Hodnotenie chemického stavu geotermálnych útvarov podzemnej vody bolo realizované pre nasledovné zdroje geotermálnej vody:

- SK300010FK Komárňanská vysoká kryha – FGKr-1 Kravany n. Dunajom, OPKS Štúrovo, SB-2 Patince a VŠE Virt (počas obdobia rokov 2018-2019 bol realizovaný monitoring chemického zloženia vôd v rámci geologickej úlohy č. 08 17-01 Regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie komárňanskej okrajovej a komárňanskej vysokej kryhy financovanej MŽP SR),
- SK300050FK Piešťanský záliv – VLU-3, V-4A Hynie, V-5 Trajan a V-8 Torkoš,
- SK300070FK Ilavská kotlina – P-1 Príma, TT-2 Tomáš, V-2 Sina I a V-3 Sina II,
- SK300080FK Žilinská kotlina – B-2 Ženský bazén II (Čestmír VIII) a BJ-22 Kúpeľný,
- SK300100FK Hornonitrianska kotlina – BR-1/1 Jesenius II, BR-2/2 Jazero, Z-2 Starý prameň,
- SK300110FK Turčianska kotlina – vrt B-2 Kollár, vrt TJ-3 Živena, Modrý bazén,
- SK300130FK Liptovská kotlina – BJ-101 Valentína, HGL-3,
- SK300140FK Levočská panva (západná a južná časť) – Izabella, vrt VR-2 Pri pošte,
- SK300190FK Žiarska kotlina – Banský, vrt ST-1 Zipser, vrt ST-2 Born,
- SK30028FKP Turovsko-levická hrast' – v Dudinciach vrt S-3 Kúpeľný a v Santovke vrt B-3A,
- SK300290FK Zvolenská kotlina – na Sliachi vrt I.A Kúpeľný a zdroj Lenkey a v Kováčovej vrt K-2.

Tab. 6.2.1 Chemický stav geotermálnych útvarov podzemných vôd SR

Kód útvaru	Názov útvaru	Plocha (km ²)	Nestabilné komponenty	Trend vývoj nestability	Metóda hodnotenia	Spoľahlivosť vyhodnotenia	Zdroj nestability	SÚ povodia	Poznámka (v útvaroch kde nie je evidovaný odber je chemický stav útvaru hodnotený ako dobrý)	Chemický stav
SK300010FK	Komárňanská vysoká kryha	248,412			IQR, trend	2		Dunaj		dobrý
SK300020FK	Komárňanská okrajová kryha	311,691				0		Dunaj	bez odberov	dobrý
SK300030FK	Viedenská panva	709,784				0		Dunaj	bez odberov	dobrý
SK300040FK	Trnavský záliv	583,950				0		Dunaj	bez odberov	dobrý
SK300050FK	Piešťanský záliv	242,075			IQR, trend	3		Dunaj		dobrý
SK300060FK	Trenčianska kotlina	47,975				0		Dunaj	bez odberov	dobrý
SK300070FK	Ilavská kotlina	47,522			IQR, trend	2		Dunaj		dobrý
SK300080FK	Žilinská kotlina	305,517			IQR, trend	1		Dunaj		dobrý
SK300090FK	Bánovská kotlina	557,964						Dunaj		
SK300100FK	Hornonitrianska kotlina	477,468			IQR, trend	2		Dunaj		dobrý
SK300110FK	Turčianska kotlina	492,925			IQR, trend	2		Dunaj		dobrý
SK300120FK	Skorušinská panva	419,602						Dunaj		
SK300130FK	Liptovská kotlina	609,865			IQR, trend	1		Dunaj		dobrý
SK300140FK	Levočská panva - (západná a južná časť)	1791,658			IQR, trend	1		Dunaj		dobrý
SK300150FK	Levočská panva - (severovýchodná časť)	853,013				0		Dunaj	bez odberov	dobrý
SK300160FK	Humenský chrbát	982,814						Dunaj		
SK300170FK	Košická kotlina	846,858				0		Dunaj	bez odberov	dobrý
SK300180FK	Komjatická depresia	322,645				0		Dunaj	bez odberov	dobrý
SK300190FK	Žiarska kotlina	983,493			IQR, trend	3		Dunaj		dobrý
SK300200FK	Bátovská a rykynčická depresia	751,810				0		Dunaj	bez odberov	dobrý
SK300210FK	Levická kryha	185,334						Dunaj		

Hodnotenie stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd na území Slovenskej republiky

Kód útvaru	Názov útvaru	Plocha (km ²)	Nestabilné komponenty	Trend vývoj nestability	Metóda hodnotenia	Spoľahlivosť vyhodnotenia	Zdroj nestability	SÚ povodia	Poznámka (v útvaroch kde nie je evidovaný odber je chemický stav útvaru hodnotený ako dobrý)	Chemický stav
SK300220FK	Rimavská kotlina	529,699						Dunaj		
SK300230FP	Trebišovská panva	141,859				0		Dunaj	bez odberov	dobrý
SK300240PF	Centrálna depresia podunajskej panvy	3426,870						Dunaj		
SK300250PF	Dubnická depresia	851,324				0		Dunaj	bez odberov	dobrý
SK3002600P	Hornostřásko-trenčská prepadlina	156,710						Dunaj		
SK30027FKP	Lučenecká kotlina	77,109						Dunaj		
SK30028FKP	Turovsko-levická hrast'	159,485			IQR, trend	1		Dunaj		dobrý
SK300290FK	Zvolenská kotlina	201,030			IQR, trend	2		Dunaj		dobrý
SK300300FP	Beskydská brázda	60,718				0		Dunaj	bez odberov	dobrý
SK300310FP	Moldavská kotlina	260,888				0		Dunaj	bez odberov	dobrý

Tab. 6.2.2 Sledované obdobia chemického zloženia vôd geotermálnych zdrojov

Kód útvaru	Názov útvaru	Plocha (km ²)	Lokalita, označenie zdroja a (počet analýz)	Sledované obdobie vôd geotermálnych zdrojov (roky/analýzy)	Metóda hodnotenia	Spoľahlivosť vyhodnotenia	Zdroj nestability	Poznámka*	Chemický stav
SK300010FK	Komárňanská vysoká kryha	248,412	Kravany n. Dunajom, FGKr-1 (8), Štúrovo, OPKS (8), Patince, SB-2 (13), Virt, VŠE (13)	2018/4, 2019/4 2018/4, 2019/4 1991-93/5, 2018-19/8 1991-93/5, 2018-19/8	IQR, trend	2			dobrý
SK300020FK	Komárňanská okrajová kryha	311,691				0		bez odberov	dobrý
SK300030FK	Viedenská panva	709,784				0		bez odberov	dobrý
SK300040FK	Trnavský záliv	583,950				0		bez odberov	dobrý
SK300050FK	Piešťanský záliv	242,075	Piešťany, VLU-3 (5), Piešťany, V-4A Hynie (5), Piešťany, V-5 Trajan (5), Piešťany, V-8 Torkoš (5)	2013/1, 2016 -2019/4 1964/1, 2016-2019/4 1968/1, 2016-2019/4 1963/1, 2016-2019/4	IQR, trend	3			dobrý
SK300060FK	Trenčianska kotlina	47,975				0		bez odberov	dobrý
SK300070FK	Ilavská kotlina	47,522	Trenčianske Teplice, P-1 Príma (5), Trenčianske Teplice, TT-2 Tomáš (5), Trenčianske Teplice, V-2 Sina I (5) Trenčianske Teplice V-3 Sina II (5),	1967/1, 2016 - 2019/4 1994/1, 2016-2019/4 1968/1, 2016-2019/4 1960/1, 2016-2019/4	IQR, trend	2			dobrý
SK300080FK	Žilinská kotlina	305,517	Rajecké Teplice, B-2 - Čestmír VIII (5), Rajecké Teplice, BJ-22 Kúpeľný (5)	1967/1, 2016-2019/4 1973/1, 2016-2019/4	IQR, trend	1			dobrý
SK300090FK	Bánovská kotlina	557,964							
SK300100FK	Hornonitrianska kotlina	477,468	Bojnice, BR-1/1 Jesenius II (5), Bojnice, BR-2/2 Jazero (5), Bojnice, Z-2 Starý prameň (5)	1984/1, 2015-2018/4 1986/1, 2015-2018/4 1975/1, 2015-2018/4	IQR, trend	2			dobrý
SK300110FK	Turčianska kotlina	492,925	Turčianske Teplice, B-2 Kollár (5), Turčianske Teplice, TJ-3 Živena (5), Turčianske Teplice, Modrý bazén (5)	1973/1, 2014-15/2, 2017-18/2, 1973/1, 2014-15/2, 2017-18/2 1968/1, 2013-2015/3, 2017/1	IQR, trend	2			dobrý
SK300120FK	Skorušinská panva	419,602							
SK300130FK	Liptovská kotlina	609,865	Lúčky, BJ-101 Valentína (5) Lúčky, HGL-3 (5)	1967/1, 2016-2019/4 1997/1, 2016-2019/4	IQR, trend	1			dobrý

Hodnotenie stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd na území Slovenskej republiky

Kód útvaru	Názov útvaru	Plocha (km ²)	Lokalita, označenie zdroja a (počet analýz)	Sledované obdobie vôd geotermálnych zdrojov (roky/analýzy)	Metóda hodnotenia	Spoľahlivosť vyhodnotenia	Zdroj nestability	Poznámka*	Chemický stav
SK300140FK	Levočská panva - (západná a južná časť)	1791,658	Vyšné Ružbachy, Izabella (5), Vyšné Ružbachy, VR-2 Pri pošte (5)	1968/1, 2016-2019/4 1985/1, 2016-2019/4	IQR, trend	1			dobrý
SK300150FK	Levočská panva - (severovýchodná časť)	853,013				0		bez odberov	dobrý
SK300160FK	Humenský chrbát	982,814							
SK300170FK	Košická kotlina	846,858				0		bez odberov	dobrý
SK300180FK	Komjatická depresia	322,645				0		bez odberov	dobrý
SK300190FK	Žiarska kotlina	983,493	Sklené Teplice, Banský (5), Sklené Teplice, ST-1 Zipser (5), Sklené Teplice, ST-2 Born (5),	1973/1, 2016-2019/4 1967/1, 2016-2019/4 1973/1, 2016-2019/4	IQR, trend	3			dobrý
SK300200FK	Bátovská a rykynčická depresia	751,810				0		bez odberov	dobrý
SK300210FK	Levická kryha	185,334							
SK300220FK	Rimavská kotlina	529,699							
SK300230FP	Trebišovská panva	141,859				0		bez odberov	dobrý
SK300240PF	Centrálna depresia podunajskej panvy	3426,870							
SK300250PF	Dubnická depresia	851,324				0		bez odberov	dobrý
SK3002600P	Hornostrhársko-trenčská prepadlina	156,710							
SK30027FKP	Lučenecká kotlina	77,109							
SK30028FKP	Turovsko-levická hrast'	159,485	Dudince, S-3 Kúpeľný (5), Santovka, B-3A (5)	1967/1, 2016-2019/4 1998/1, 2002/1,-2007/1, 2009/1, 2014/1	IQR, trend	1			dobrý
SK300290FK	Zvolenská kotlina	201,030	Sliač, I.A Kúpeľný (5), Sliač, Lenkey (5), Kováčová, K-2 (5)	1967/1, 2016-2019/4 1972/1, 2016-2019/4 1982/1, 2016-2019/4	IQR, trend	2			dobrý
SK300300FP	Beskydská brázda	60,718				0		bez odberov	dobrý
SK300310FP	Moldavská kotlina	260,888				0		bez odberov	dobrý

*- v útvaroch kde nie je evidovaný odber je chemický stav útvaru hodnotený ako dobrý.

Vývoj ukazovateľov stability chemického zloženia vôd (celková mineralizácia, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) v hodnotených geotermálnych útvaroch bol zhodnotený na základe metódy medzikvartilového rozpätia (IQR) a trendu časového vývoja chemického zloženia geotermálnej vody. Na základe realizovaného hodnotenia chemického stavu boli hodnotené geotermálne útvary zaradené do dobrého stavu. V jednotlivých geotermálnych útvaroch podzemných vôd z pohľadu režimu a trendu vývoja jednotlivých komponentov chemického zloženia vody boli zistené nasledujúce skutočnosti:

- SK300010FK Komárňanská vysoká kryha - dlhodobý trend vývoj komponentov chemického zloženia zdrojov geotermálnej vody bol ovplyvňovaný antropogénnou činnosťou (znižovanie hladiny podzemnej vody až o 25 m v hydrogeologických štruktúrach na území Slovenska z dôvodu ťažby uhlia v oblasti Drogu a Tatabányi v priebehu rokov 1950-1995) a v súčasnosti pozorujeme viac-menej obnovovanie pôvodného prírodného režimu vôd, čo sa prejavuje jednak poklesom (M , Cl^- , Na^+), ale aj nárastom hodnôt (SO_4^{2-}). Nárast hodnôt Ca^{2+} a pokles HCO_3^- mimo horný resp. dolný limit bez ohľadu na spôsob využívania zdrojov SB-2 Patince (preliv) a VŠE Virt (sezónne využívanie VII. – VIII. - čerpaním) počas období 5/2018 a 12/2018 dokumentuje režim vo výverovej oblasti, kedy bol na rieke Dunaj nízky vodný stav, čo spôsobilo väčší podiel vôd z vrchnej hydrogeotermálnej štruktúry Patince - Tata s plytkým obehom a kratšou dobou zdržania v kolektore podzemných vôd,
- SK300050FK Piešťanský záliv - všetky geotermálne zdroje v Piešťanoch (VLU-3, V-4A Hynie, V-5 Trajan a V-8 Torkoš) z pohľadu dlhodobého trendu vývoja komponentov chemického zloženia (2016 – 2019) vykazujú stabilitu, pričom u zdroja VLU-3 môžeme ojedinele sledovať prekročenie horných limitov u komponentov (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^-). Táto variabilita hodnôt je spôsobených jednak spôsobom využívania vody čerpaním, ale aj situovaním zdroja v okrajovej časti výverovej oblasti. Hodnoty analýz z rokov 1961, 1965 a 1968 pri zdrojoch V-4A, V-8 a V-5 prezentujú stav kedy dochádzalo k zachytávaniu geotermálnych vôd v centrálnej časti výverovej oblasti a nastavovaniu optimálnej výdatnosti prelivov na zdrojoch V-4A a V-8 vo vzťahu k hladine povrchovej vody vo VN Slňava,
- SK300070FK Ilavská kotlina - dlhodobý trend vývoja komponentov chemického zloženia (2016 – 2019) vôd geotermálnych zdrojov vykazuje stabilitu, pričom u všetkých zdrojov môžeme ojedinele sledovať prekročenie horného limitu pri hodnotách Cl^- , HCO_3^- , ktoré dotvárajú základný chemický typ Ca- SO_4 . Túto variabilitu

dávame do súvisu s režim geotermálnych vôd v hydrogeotermálnej štruktúre. Ojedinelá variabilita u zdroja V-3 pri hodnotách Ca^{2+} a Mg^{2+} je spôsobená vplyvom klimatických podmienok, pričom jeho výdatnosť je závislá od úrovne hladiny v potoku Teplička,

- SK300080FK Žilinská kotlina - dlhodobý trend vývoja komponentov chemického zloženia vôd geotermálnych zdrojov B-2 a BJ-22 vykazuje stabilitu, ale prekročenie horného limitu pri B-2 (M , Na^+ , SO_4^{2-}), BJ-22 (M , Na^+) a dolného limitu pri B-2 (Ca^{2+}), BJ-22 (Cl^-) je spôsobené charakterom využívania zdroja B-2 (preliv a čerpanie) a BJ-22 (čerpanie),
- SK300100FK Hornonitrianska kotlina - dlhodobý trend vývoja komponentov chemického zloženia vôd geotermálnych zdrojov v Bojniciach (BR-1/1, BR-2/2, Z-2) je stabilný, pričom v ojedinelých prípadoch dochádza k prekročeniu horného limitu u komponentov (M , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-}) a dolného limitu (Ca^{2+} , SO_4^{2-}). Túto variabilitu spôsobuje charakter hydrogeotermálnej štruktúry, ktorá ma prechodný charakter a odber vody čerpaním. Vo výverovej oblasti sa stretávajú dve čiastkové hydrogeotermálne štruktúry kde vrchná štruktúra ma vody chemického typu Ca-Mg- HCO_3 a spodná štruktúra zase vody chemického typu Ca-Mg- HCO_3 - SO_4 ,
- SK300110FK Turčianska kotlina - dlhodobý trend vývoja komponentov chemického zloženia vôd geotermálnych zdrojov v Turčianskych Tepliciach (B-2, TJ-3, Modrý bazén) je stabilný, ale občas dochádza k prekročeniu horného aj dolného limitu u komponentov (M , SO_4^{2-} , HCO_3^-), dolného limitu u komponentov (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) a horného limitu u komponentu Cl^- . Táto variabilita je spôsobená charakterom zachytenia geotermálnej vody vo výverovej oblasti kde najplytší zdroj je Modrý bazén (piscina – hĺbka: 1,2 m), B-2 (vrt – hĺbka perforácie: 17,5 – 33 m) a najhlbší zdroj je TJ-3 (vrt – hĺbka perforácie: 51,2 – 62 m),
- SK300130FK Liptovská kotlina - dlhodobý trend vývoja komponentov chemického zloženia vôd geotermálnych zdrojov v Lúčkach (BJ-101, HGL-3) je stabilný, ale občas dochádza k prekročeniu horného aj dolného limitu u komponentov (Cl^- , SO_4^{2-}), horného limitu u komponentov (M , Na^+ , Mg^{2+}). Variabilita komponentov je spôsobená charakterom hydrogeotermálnej štruktúry (prítomnosť geotermálnych vôd s plytkým a hlbokým obehom) ako aj charakterom odberu vôd (preliv - čerpanie),
- SK300140FK Levočská panva (západná a južná časť) - dlhodobý trend vývoja komponentov chemického zloženia vôd geotermálnych zdrojov vo Vyšných Ružbachoch (Izabela, VR-2) je stabilný, pričom v ojedinelých prípadoch dochádza

k prekročeniu horného aj dolného limitu u komponentov (Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^-) a dolného limitu u komponentov (M , Ca^{2+} , SO_4^{2-}). Táto variabilita komponentov pri jednotlivých zdrojoch je spôsobená charakterom hydrogeotermálnej štruktúry (prítomnosť geotermálnych vôd s plytkým a hlbokým obehom) a charakterom využívania vôd, keďže výdatnosť prelivu pri zdroji Izabela sa pohybuje od $4,5 \text{ l.s}^{-1}$ do 33 l.s^{-1} ,

- SK300190FK Žiarska kotlina - dlhodobý trend vývoja komponentov chemického zloženia vôd geotermálnych zdrojov v Sklených Tepliciach (Banský, ST-1, ST-2) je stabilný, pričom v ojedinelých prípadoch dochádza k prekročeniu horného limitu u komponentov (Mg^{2+} , HCO_3^-) a dolného limitu u komponentov (M , Na^+ , SO_4^{2-}). Táto variabilita komponentov pri jednotlivých zdrojoch (Banský – piscina, ST-1 a ST-2 vrt) je spôsobená jednak charakterom výverovej oblasti (vývery na puklinových zónach andezitov a skarnov) a najmä spôsobom odberu vôd voľným prelivom,
- SK30028FKP Turovsko-levická hrast' - dlhodobý trend vývoja komponentov chemického zloženia vôd geotermálnych zdrojov v Dudinciach (S-3) a Santovke (B-3A) je stabilný, ale v ojedinelých prípadoch dochádza k prekročeniu horného limitu u komponentov (Mg^{2+} , HCO_3^-) a dolného limitu u komponentov (Na^+ , Cl^-). Variabilita komponentov je spôsobená charakterom hydrogeotermálnej štruktúry Santovka – Dudince (prítomnosť geotermálnych vôd viacerých chemických typov) a najmä charakterom odberu vôd a technickým stavom zdrojov (S-3 – revitalizácia vrtu po inkrustácii filtračnej časti/ Dzúrik a Tomana, 2018),
- SK300290FK Zvolenská kotlina - dlhodobý trend vývoja komponentov chemického zloženia vôd geotermálnych zdrojov v Sliači (Kúpeľný, Lenkey) a Kováčovej (K-2) je stabilný, ale v ojedinelých prípadoch dochádza k prekročeniu horného a dolného limitu u komponentov (M , Na^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^-), horného limitu u komponentov (Mg^{2+} , Cl^-) a dolného limitu u komponentu (Ca^{2+}). Variabilita komponentov je spôsobená, v prípade zdrojov na Sliači ich technickým stavom a v prípade zdroja K-2 je to najmä charakterom odberu vôd, keďže výdatnosť voľného prelivu môže byť až 20 l.s^{-1} .

)

6.3 ENERGETICKÁ BILANCIA GEOTERMÁLNYCH ÚTVAROV PODZEMNÝCH VÔD

6.3.1 Pravdepodobnostný model McKelveyovej schémy

6.3.1.1 Špecifikácia lokálneho odhadu koeficientu redukcie R_0

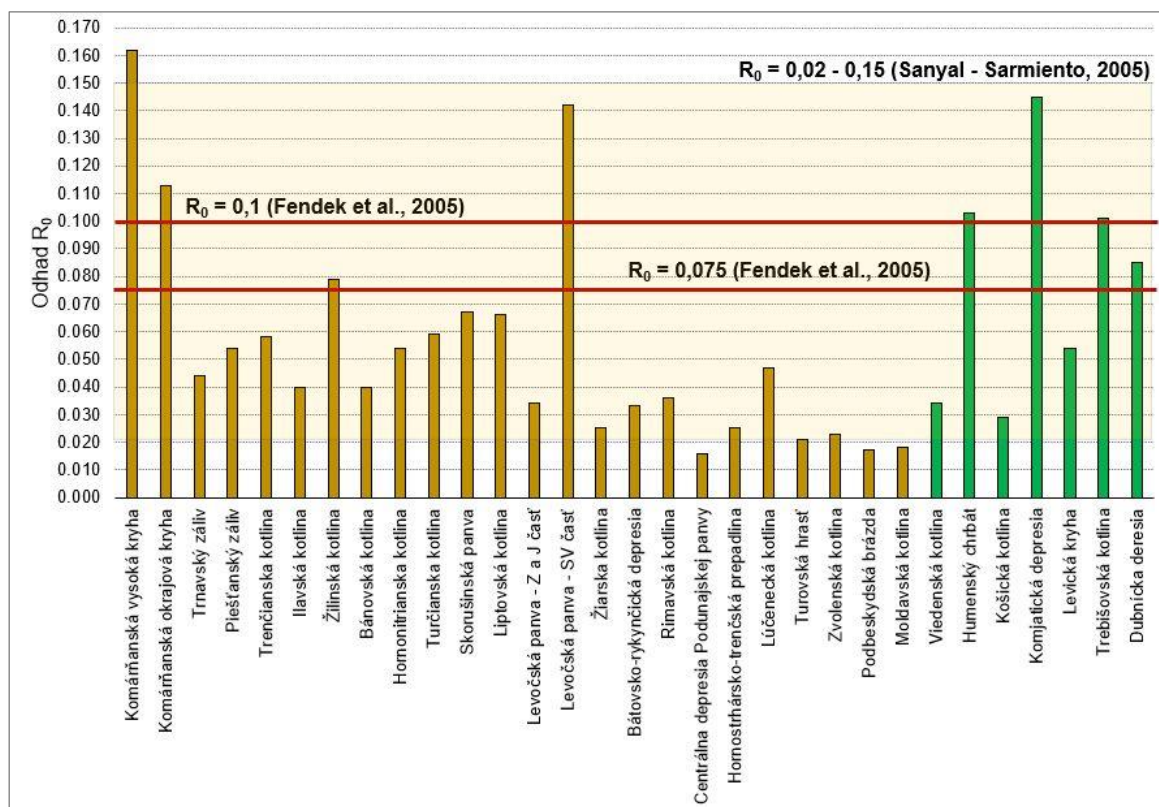
Predbežné stanovenie špecifického koeficientu redukcie R_0 vychádza z Monte Carlo simulácie jeho odhadu v podmienkach charakterizujúcich jednotlivé útvary geotermálnych vôd, s rozdielnou metodikou stanovenia na základe predpokladanej otvorenosti asociovaných hydrogeotermálnych štruktúr, respektíve podľa predpokladu využitia dubletových systémov exploatacie (reinjektáže) s ohľadom na špecifické chemicko-technologické parametre geotermálnych vôd.

Metóda účinnosti rezervoárovej produkcie (dizajnovaná) pre dubletové systémy bola využitá v špecifických prípadoch u týchto útvarov geotermálnych vôd: viedenská panva, humenský chrbát, Košická kotlina, komjatická depresia, levická kryha, Trebišovská kotlina a dubnícka depresia. V ostatných prípadoch bola využitá metóda efektívneho rezervoárového objemu.

Podľa predbežného pravdepodobnostného odhadu R_0 predpokladáme rozptyl jeho hodnôt v jednotlivých útvaroch geotermálnych vôd na úrovni $R_0 = 0,016 - 0,162$, s odhadovaným minimom v CDPP a maximom v rámci komárňanskej vysokej kryhy (obr. 6.3.1.1.1). Pre útvary bez predpokladanej reinjektáže je rozptyl $R_0 = 0,016 - 0,162$ so strednou hodnotou $R_0 = 0,042$. Útvary s predpokladanou reinjektážou dosahujú rozpätie $R_0 = 0,029 - 0,145$ s mediánom $R_0 = 0,085$. Z modelových odhadov závislých na lokálnych špecifikách geotermických, geometrických a hydrogeologických pomerov ÚGV vyplýva, že len 20 % reprezentatívnych hodnôt prekračuje $R_0 = 0,1$ (Fendek et al., 2005) a len 26 % prekračuje $R_0 = 0,075$ (napr. Bajo et al., 1998). Celkovo 22 ÚGV z 31 (71 %) podľa prvého modelu zodpovedá štandardnému intervalu globálneho rozsahu $R_0 = 0,02 - 0,15$ (Sanyal – Sarmiento, 2005).

Nie je jednoznačne možné konštatovať, že rozdiely v odhade R_0 sú založené len na metodických a koncepčných rozdieloch medzi simuláciou odhadu podľa metódy efektívneho rezervoárového objemu a podľa metódy účinnosti rezervoárovej produkcie. Opakovane pozorovaným znakom geotermálnych systémov a polí je väčšia dostupnosť geotermálnej energie ak je produkcia podporená reinjektážou optimalizovanou tak, aby nedochádzalo k ochladzovaniu efektívnej zóny produkcie. Zároveň koncepčne otvorené

systémy zaznamenávajú výrazný nepomer medzi celkovou rozlohou a rozlohou geotermickej anomálie, ktorá definuje perspektívnu časť systému pre získavanie geotermálnej energie, predovšetkým, ak ide o systémy (útvary, polia, štruktúry) v prevažne difúznom – konduktívnom prostredí. Geodynamické, geotermické, a termodynamické podmienky zdrojov geotermálnej energie v Západných Karpatoch prakticky vylučujú prítomnosť systémov s prevládajúcou konvekciou (Fričovský et al., 2016a,b).



Obr. 6.3.1.1.1 Distribúcia odhadu koeficientu redukcie R_0 v lokálne-špecifikovaných podmienkach útvarov geotermálnych vôd na Slovensku. Hnedá – útvary bez reinjektáže, zelená – útvary s uvažovanou reinjektážou.

Pravdepodobnou výnimkou pri doterajšom stave poznania ÚGV alebo čiastkových štruktúr môže byť štruktúra Beša – Čičarovce v Trebišovskej panve, ide však o nie overený predpoklad.

Na tomto mieste je potrebné zdôrazniť niekoľko základných skutočností, ktoré vyplývajú zo samotnej povahy pravdepodobnostného modelu odhadu:

- definované R_0 zodpovedá parametrickému nastaveniu útvarov geotermálnych vôd; členenie a hodnotenie čiastkových hydrogeotermálnych štruktúr bude preto automaticky viesť k predefinovaniu R_0 podľa ich parciálnej situácie;

- prezentované hodnoty R_0 predstavujú medián definovanej subpopulácie vyčlenenej z primárnej populácie simulovaných hodnôt – ide o prvotnú etapu výskumu a definovania koeficientu redukcie, preto je veľmi pravdepodobné, že pri získavaní nových poznatkov o parametroch jednotlivých ÚGV dôjde k prehodnoteniu R_0 ;
- výskum a hodnotenie udržateľného potenciálu v jednotlivých hydrogeotermálnych štruktúrach viazaných na ÚGV s určitosťou prinesie iné hodnoty odhadu R_0 , nakoľko parametre pravdepodobne nebudú totožné s parametrickým nastavením ÚGV – ide preto o otázku uvedenej mierky pri výslednom hodnotení udržateľného potenciálu ÚGV
- z princípu pravdepodobnostných modelov odhadu a modelov samotných vyplýva povinnosť opakovaných simulácií odhadu R_0 (nielen R_0), ak budú získané nové poznatky o útvaroch geotermálnych vôd – získané odhady v žiadnom prípade nemôžu predstavovať hodnotu „status-quo“ a nemenné konštanty.

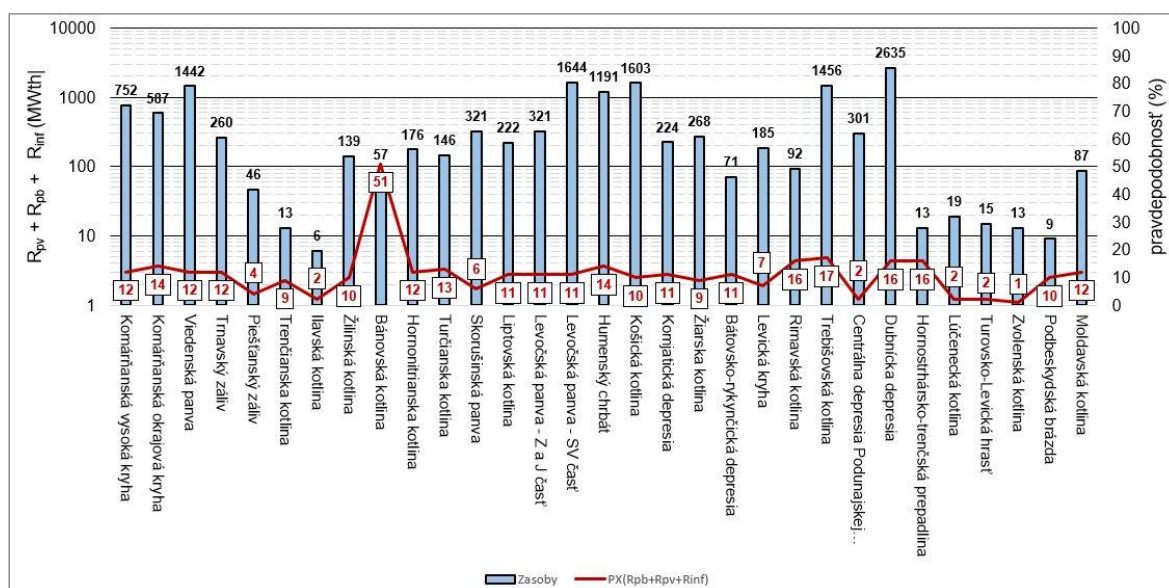
6.3.1.2 Model odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie

Dlhodobu udávaný celkový tepelno-energetický potenciál na základe hydrogeotermálnych hodnotení PGO respektíve ÚGV predstavuje 6 653 MWth ako suma overených a pravdepodobných zásob geotermálnej energie (Fendek – Fendeková, 2010); respektíve 6 234 MWth (Bodiš et al., 2018). V súvislosti s konštrukciou modelu pravdepodobnostného odhadu sú tieto čísla ovplyvnené vyššie uvedeným nesúlodom v metóde odhadu, referenčnej bázy a bilančnej periódy, preto nie je možné definovať, pre aké teploty, a pre aký čas produkcie je daný potenciál aktuálny. Súčasťou hodnotenia trvalo udržateľného využitia a využívania zdrojov GTE je konštrukcia tzv. McKelveyovej schémy s využitím Monte Carlo simulácie USGS objemovej metódy pre jednotlivé ÚGV s ich lokálnymi geologickými a geotermickými nastaveniami. McKelveyova schéma v jednotlivých kategóriách je definovaná nasledovne:

- overené zásoby geotermálnej energie: výsledky vrtných prác,
- pravdepodobné zásoby geotermálnej energie: Monte Carlo simulácia,
- indikované zásoby geotermálnej energie: Monte Carlo simulácia,
- zdroje geotermálnej energie: Monte Carlo simulácia.

Pravdepodobnostný model McKelveyovej schémy pre dobu bilancie $t_{\text{prod}} = 100$ rokov udáva odhad množstva **zdrojov geotermálnej energie** podľa tab. 3.3.2.1 na

úrovni 242 GWth – pravdepodobnosť takto vysokého množstva geotermálnej energie je však hlboko pod hranicou 1 %, v závislosti na pravdepodobnosti odhadu celkových zásob geotermálnej energie. Podľa výpočtového kroku (tab. 3.3.2.1) **celkové zásoby geotermálnej energie**, predstavujúce sumu overených (R_{pv}), pravdepodobných (R_{pb}) a predpokladaných (R_{inf}) dosahujú 14 314 MWth s pravdepodobnosťou 1 – 51 % (obr. 6.3.1.2.1, 6.3.1.2.2) podľa zošíkmenia primárnej populácie H_0/t_{prod} distribúcie. Prehľad rôzneho zošíkmenia premietnutý do IDF kriviek udávame na obr. 6.3.1.2.3.

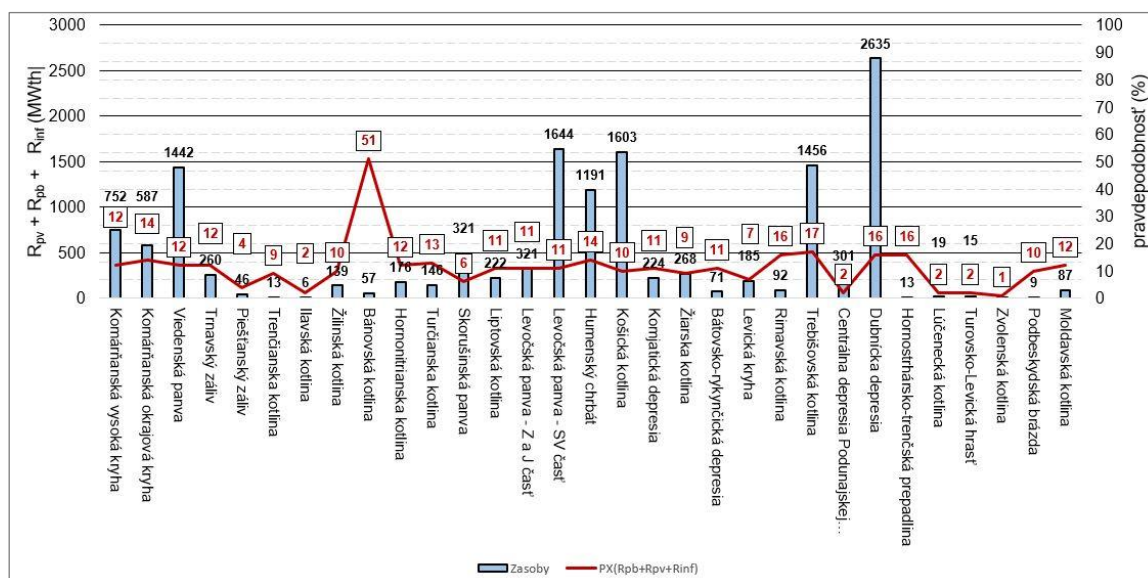


Obr. 6.3.1.2.1 Odhad celkových zásob geotermálnej energie v útvaroch geotermálnych vôd v pravdepodobnostnom modeli (logaritmická škála).

Pravdepodobné zásoby geotermálnej energie sú odvodené na základe rozdielov medzi horným cut-off limitom (90-ty percentil) a hodnotou P50 resp. modusu, v závislosti na šikmosti rozdelenia (tab. 3.3.2.1) simulácie. V modeli ide o vyjadrenie energie, ktorú je pravdepodobne možné overiť v rámci ÚGV, systémov, alebo štruktúr zvyčajne s pravdepodobnosťou nad 50 %. Celkové množstvo pravdepodobných zásob geotermálnej energie podľa modelu dosahuje 2 686 MWth, konkrétne $R_{pb} = 0,5 - 544$ MWth v jednotlivých útvaroch (obr. 6.3.1.2.4).

Z celkového množstva pravdepodobných zásob geotermálnej energie, ktoré boli pravdepodobnostnou simuláciou McKelveyovej schémy definované, pripadá na útvary s uzavretými hydrogeotermálnymi štruktúrami (systémami), kde je zároveň predpoklad využitia reinjektáže, 1 735 MWth, čo pri počte útvarov 6 z 31 predstavuje významný nepomer (obr. 6.3.1.2.5). V rámci Slovenska, ako aj v rámci ÚGV s predpokladom

reinjektáže, model odhaduje najväčšie zásoby pre ďalšie overenie v Dubníckej depresii (20 resp. 31 %).



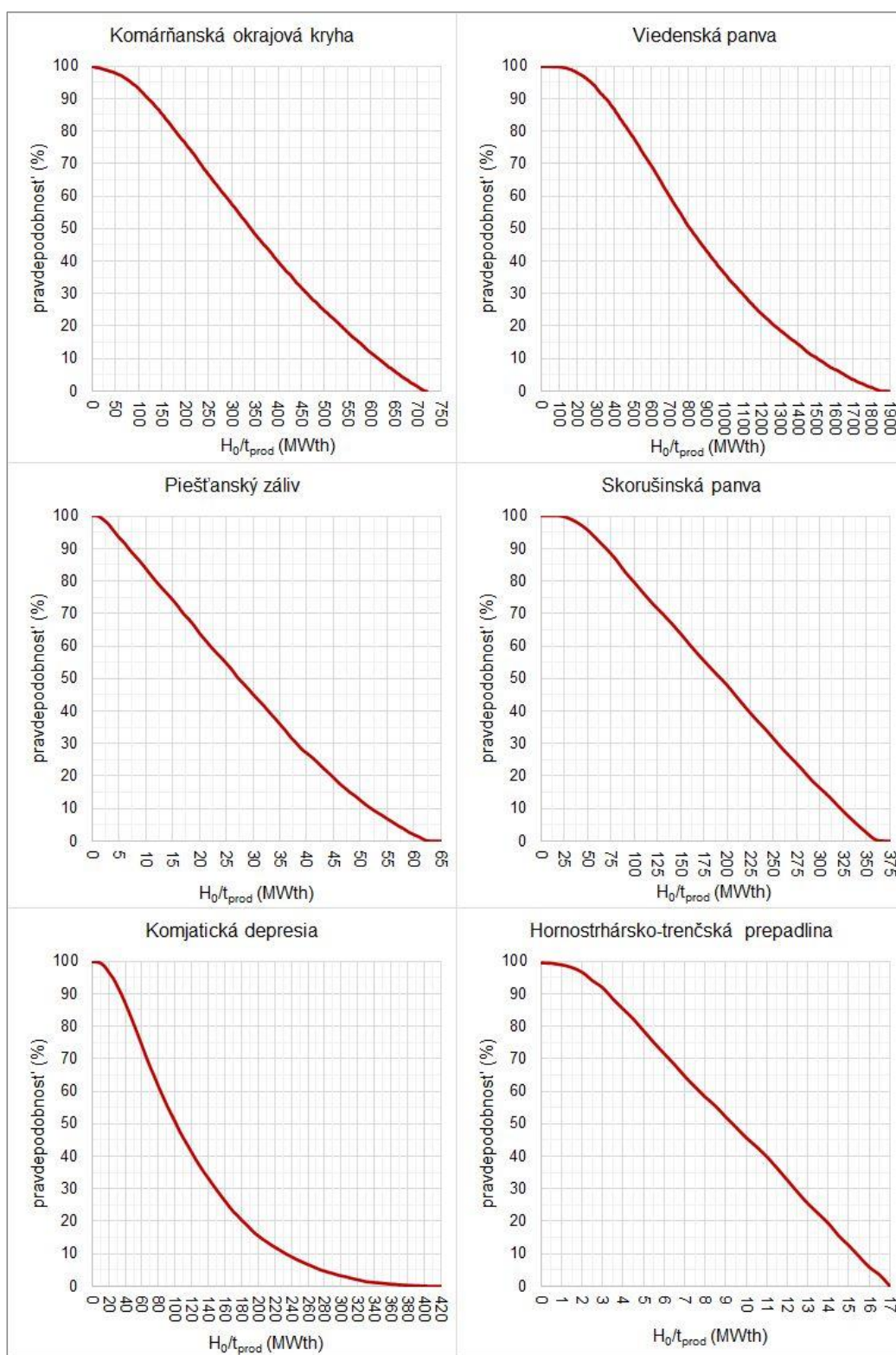
Obr. 6.3.1.2.2 Odhad celkových zásob geotermálnej energie v útvaroch geotermálnych vôd v pravdepodobnostnom modeli (lineárna škála).

Je potrebné ale zdôrazniť, že spoľahlivosť pravdepodobnostného modelu McKelveyovej schémy je v jednotlivých útvaroch rozdielna, v závislosti od dostupných dát, na ktorých je Monte Carlo simulácia postavená. Nie všetky ÚGV sú v súčasnosti preskúvané rovnako. Kým napríklad Liptovská kotlina bola podrobená čiastkovému (napr. Fendek et al., 1988) aj regionálnemu (napr. Remšík et al., 1993, 1998) hydrogeotermálnemu hodnoteniu, t. j. množstvo podporných dát je relatívne veľké, dubnícka depresia alebo podbeskydská brázda hydrogeotermálnemu hodnoteniu doteraz podrobené neboli, a väčšina vstupných dát vychádza z regionálnych modelových štúdií.

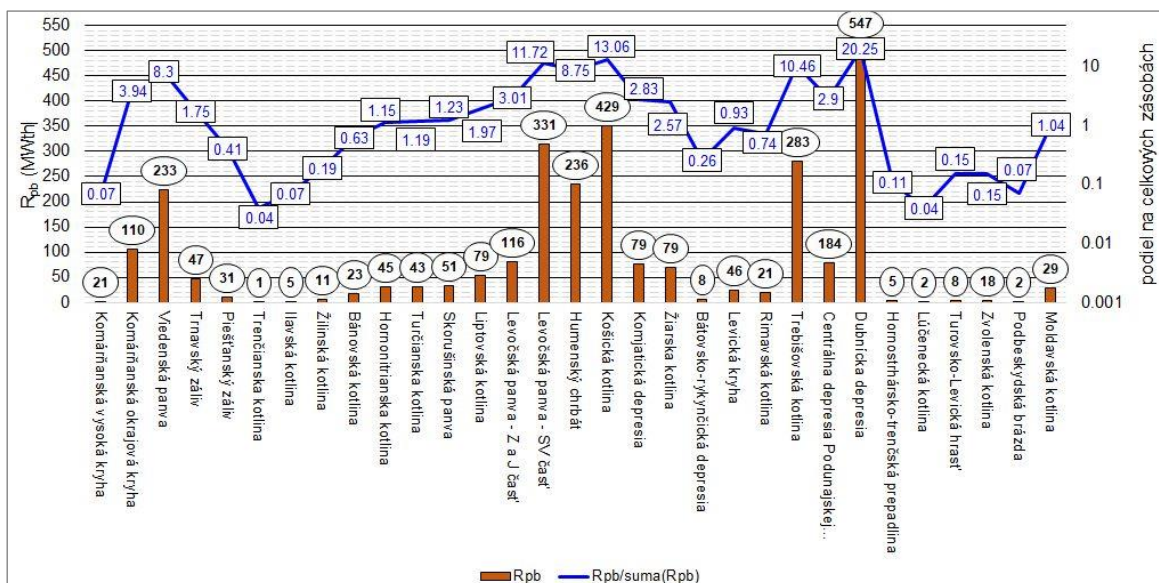
Overené zásoby geotermálnej energie sú definované podľa tepelných výkonov pri maximálnej, hydrodynamickou skúškou overenej produktivite. Pri zjednotenej referenčnej teplote, t. j. $T_{ref} = 15\text{ °C}$ bolo overených $R_{pv} = 437\text{ MWth}$ (obr. 6.3.1.2.6), pričom do bilancie sú zahrnuté aj množstvá geotermálnej energie overené vrtmi v sektore kúpeľníctva.

Reálne, vrtmi overené zásoby geotermálnej energie sú spravidla (obr. 6.3.1.2.6) nižšie, ako modelom odhadované zásoby geotermálnej energie podľa triedy pravdepodobnosti. Jednou z výnimiek sú útvary piešťanský záliv, Ilavská kotlina a Zvolenská kotlina, kde vrtmi overené zásoby geotermálnej energie zodpovedajú predovšetkým prieskumu pre kúpeľné zariadenia. Ide pritom o útvary v pásme priemernej, až nižšej geotermickej

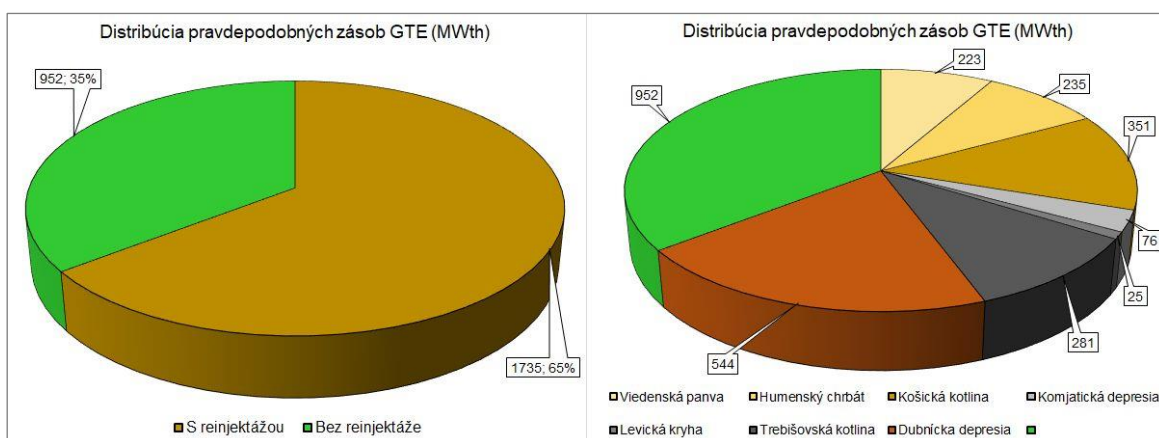
aktivity v porovnaní s pozad'ovými hodnotami Západných Karpát, kde je odhad potenciálu energie bilancovanej pre tak dlhú dobu produkcie, ktorá by zodpovedala trvalo udržateľnému manažmentu, samozrejme nižší.



Obr. 6.3.1.2.3 Krivky distribúcie odhadu H_0/t_{prod} v pravdepodobnostnom modeli McKelveyovej schémy ÚGV



Obr. 6.3.1.2.4 Odhad pravdepodobných zásob geotermálnej energie a podiel R_{pb} v celkových množstvách pravdepodobných zásob v jednotlivých útvaroch geotermálnych vôd

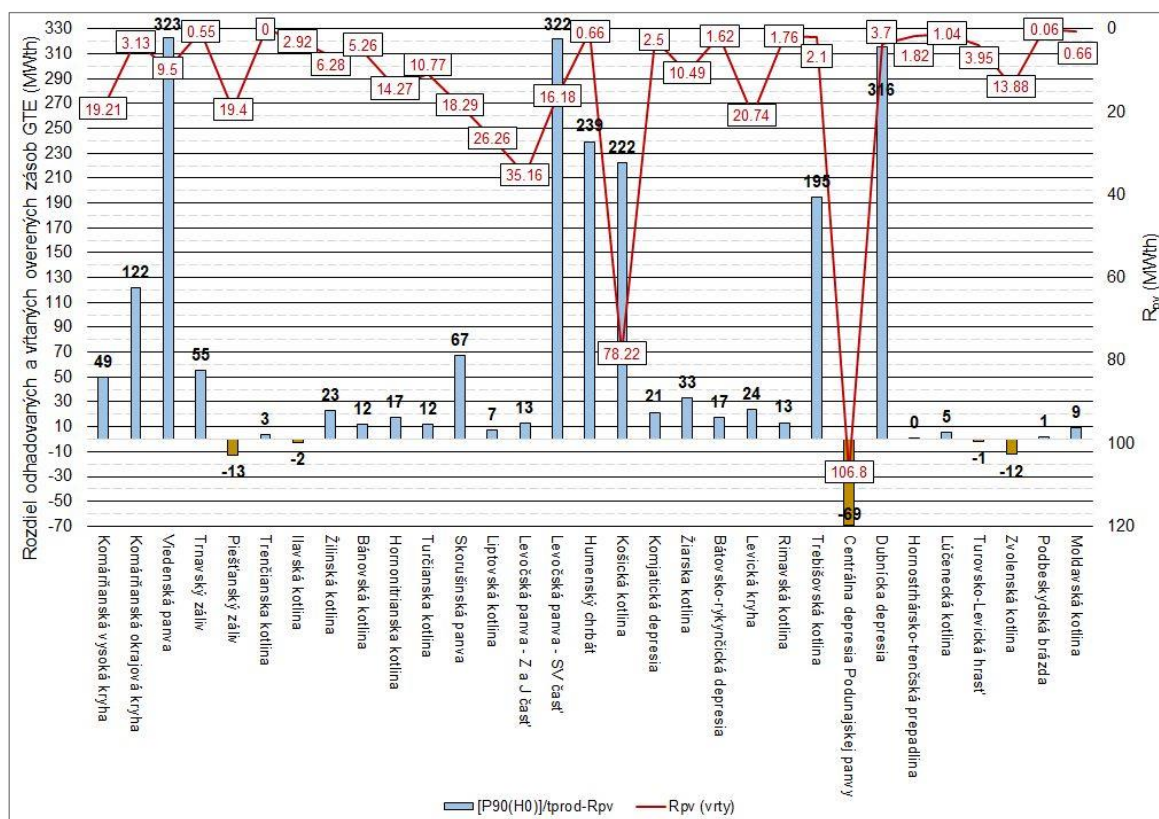


Obr. 6.3.1.2.5 Distribúcia odhadu pravdepodobných zásob geotermálnej energie v útvaroch geotermálnych vôd

Ten istý fenomén je v tomto modeli pozorovaný aj pre centrálnu depresiu Podunajskej panvy. V tomto prípade ide o útvar, ktorý predstavuje oblasť s najintenzívnejším využívaním zdrojov geotermálnej energie na Slovensku vôbec.

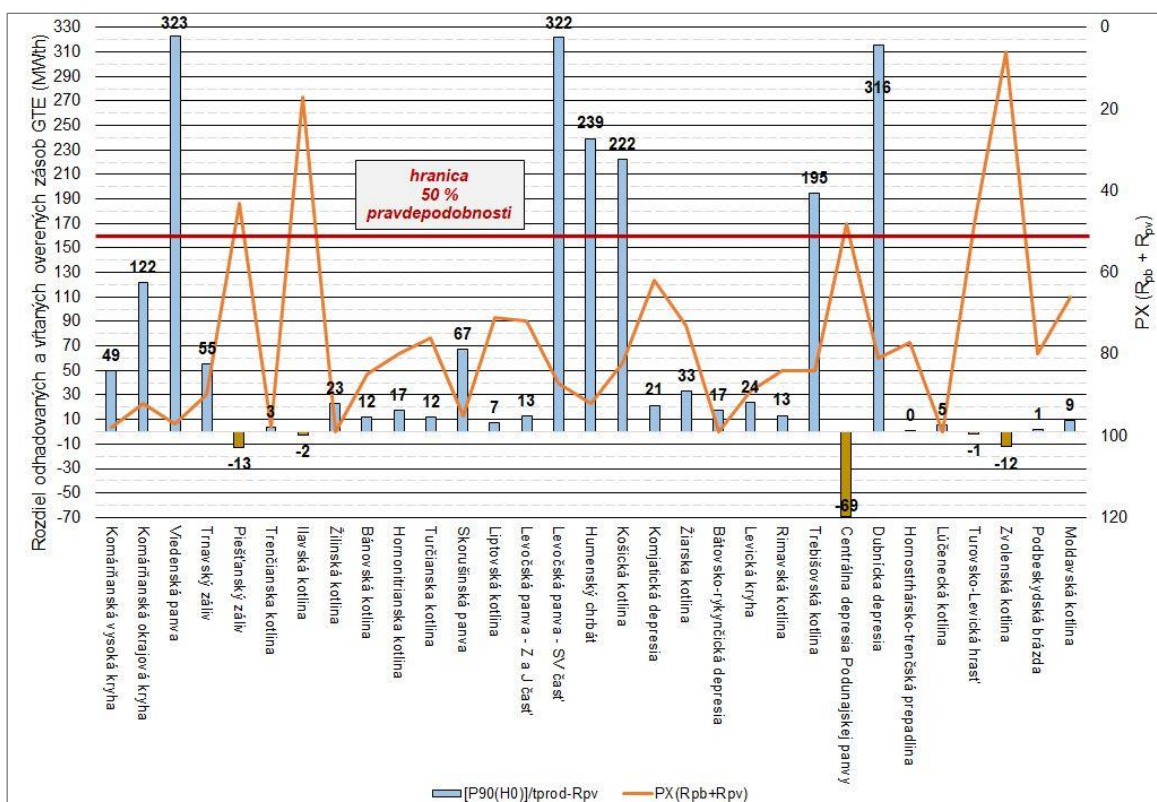
Pri definovaní **celkového tepelno-energetického potenciálu** ako súčtu overených a pravdepodobných zásob geotermálnej energie, potom v týchto útvaroch vychádza pravdepodobnosť dosiahnutia výsledku pod hranicou 50 %, t. j. $R_{pb} + R_{pv} < P50(H_0/t_{prod})$ – obr. 6.3.1.2.7. Znamená to, že podľa daného modelu je aktuálne možné dodatočne overiť množstvo geotermálnej energie, ktoré je menšie, než množstvo energie, ktoré overené bolo, respektíve, že overené zásoby geotermálnej energie pri bilančnej perióde

$t_{\text{prod}} = 100$ rokov predstavujú maximálne množstvo energie, ktoré je útvar geotermálnych vôd schopný generovať, aj to pri vysokom riziku jeho ochladenia produkciou.

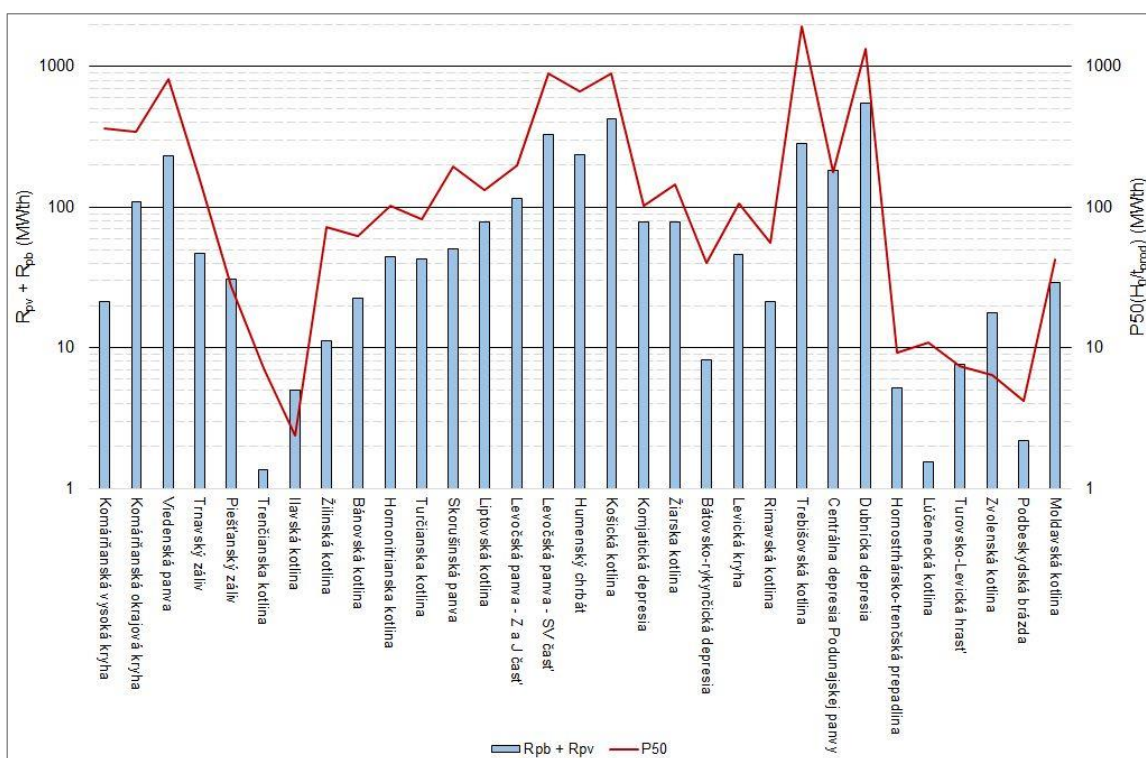


Obr. 6.3.1.2.6 Vzťah vrtmi identifikovaných a modelom odhadovaných overených zásob geotermálnej energie

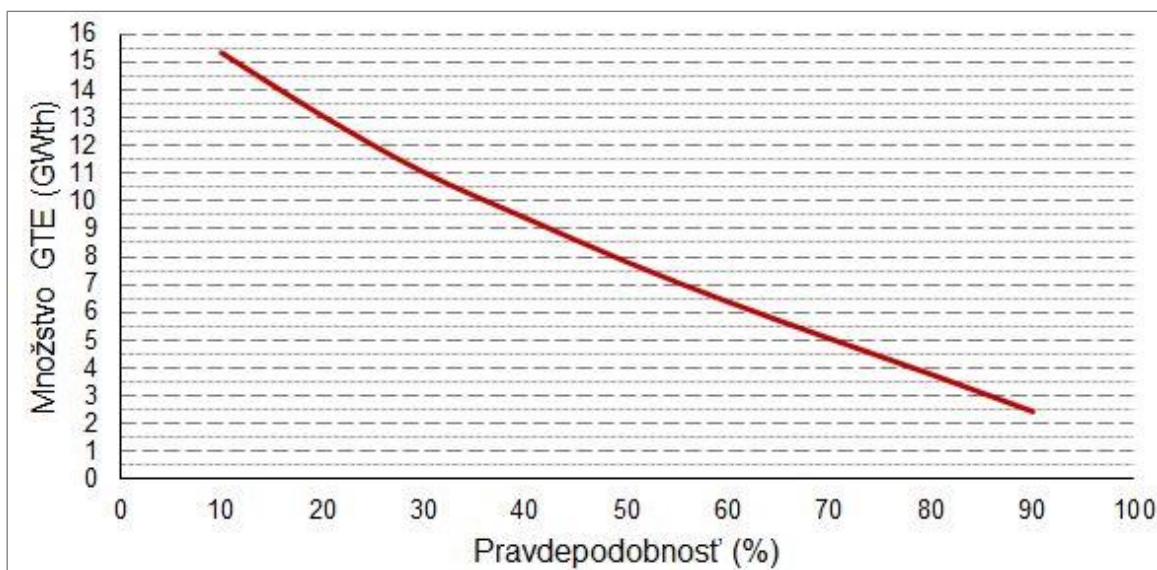
Celkový súčet tepelno-energetického potenciálu útvarov geotermálnych vôd pri zohľadnení modelom odhadovaných pravdepodobných zásob GTE a vrtmi potvrdených overených zásob geotermálnej energie dosahuje 3 123 MWth. Pre celé územie Slovenska modelové riešenie odhad zdrojov a zásob geotermálnej energie predpokladá energetický potenciál s 50 % pravdepodobnosťou overenia na úrovni 8 994 MWth, s intervalom 2,4 – 1927 MWth (obr. 6.3.1.2.8). Takmer 200 % rozdiel medzi oboma údajmi vyplýva z rozdielov v modeloch odhadu pre jednotlivé útvary geotermálnych vôd, predovšetkým pre tie, v ktorých vychádzajú odhady R_{pb} rádovo v tisícke MWth. Zároveň je potrebné zdôrazniť, že v prípade bilancie $P50(H_0)/t_{\text{prod}}$ ide o 50 % pravdepodobnosť maximálneho možného tepelno-energetického potenciálu bez ohľadu na kategórie McKelveyovej schémy. Existuje zároveň vysoká pravdepodobnosť, že tieto výsledky budú postupne s upresňovaním (kalibráciou) modelu modifikované.



Obr. 6.3.1.2.7 Vzťah vrtmi identifikovaných a modelom odhadovaných overených zásob geotermálnej energie



Obr. 6.3.1.2.8 Vzťah medzi modelovým energetickým potenciálom a modelom energetického potenciálu na hladine spoľahlivosti 50 %.



Obr. 6.3.1.2.9 Pravdepodobnostný model odhadu geotermálnej energie v útvaroch geotermálnych vôd na Slovensku.

Obrázok 6.3.1.2.9 udáva distribúciu odhadu tepelnej energie akumulovanej v útvaroch geotermálnych vôd podľa rozdielnej hladiny pravdepodobnosti.

Pravdepodobnostný model McKelveyovej schémy s využitím Monte Carlo simulácií odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie je prvým priblížením definície množstva energie, respektíve tepelno-energetického potenciálu útvarov geotermálnych vôd pri zjednotení metodiky odhadu a predovšetkým referenčnej, a bilančnej bázy. Pri kombinácii vrtmi potvrdených overených zásob geotermálnej energie a pravdepodobnostného odhadu pravdepodobných a predpokladaných zásob geotermálnej energie, respektíve zdrojov geotermálnej energie, a pri zohľadnení limitov a pravdepodobnostných špecifik, je McKelveyova schéma bilancovaná pre $t_{\text{prod}} = 100$ rokov odhadovaná nasledovne:

- overené zásoby geotermálnej energie: 437 MWth,
- pravdepodobné zásoby geotermálnej energie: 2686 MWth,
- predpokladané zásoby geotermálnej energie: 11 190 MWth,
- celkové zásoby geotermálnej energie: 14 314 MWth,
- zdroje geotermálnej energie: 424 GWth,
- tepelno-energetický potenciál: 3123 MWth.

6.3.2 Model odhadu udržateľného potenciálu zdrojov geotermálnej energie

6.3.2.1 Udržateľná energetická kapacita útvarov geotermálnych vôd

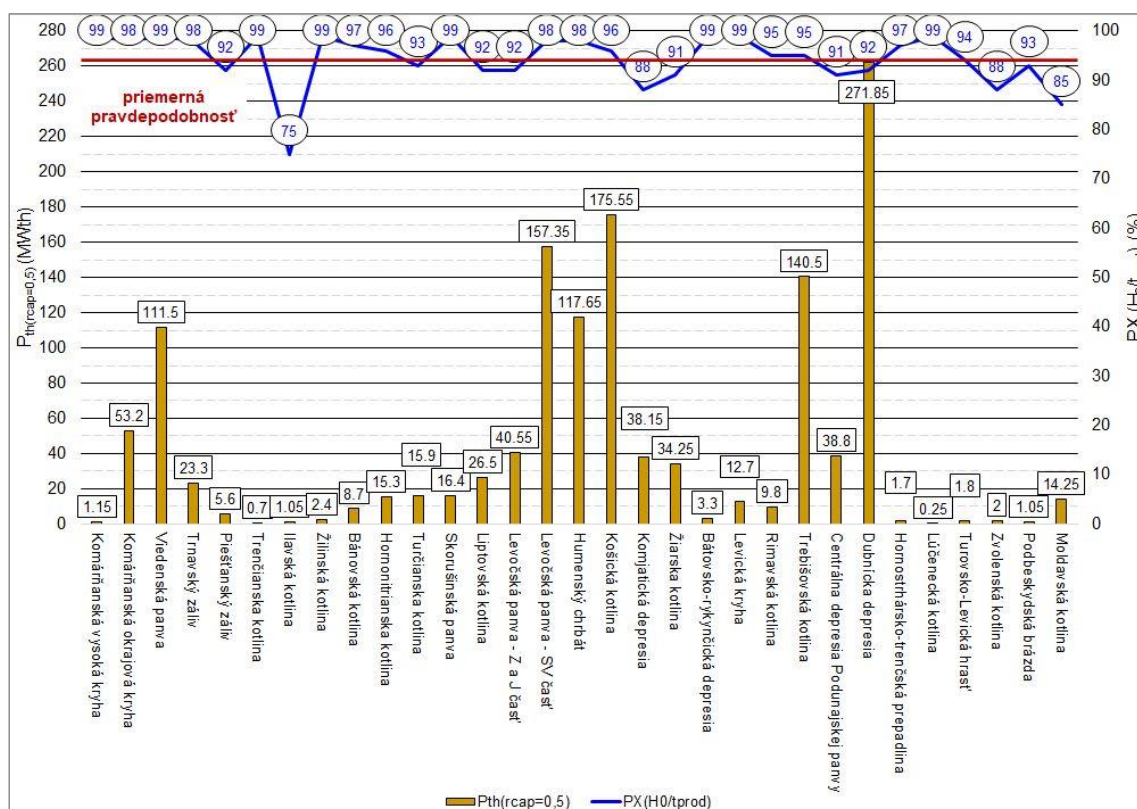
Konštrukcia modelu vyššie uvedenej McKelveyovej schémy udáva v skutočnosti možnosť predpokladať, a následne overiť isté množstvo geotermálnej energie podľa tried spoľahlivosti odhadu, ak je energia bilancovaná na isté časové obdobie. Triedy spoľahlivosti odhadu však neodrážajú spoľahlivosť dlhodobej produkcie geotermálnej energie. Celkový tepelno-energetický potenciál, $TTP = 3123 \text{ MWth}$ predstavuje pravdepodobne overiteľné množstvo geotermálnej energie bilancovanej pre obdobie $t_{\text{prod}} = 100$ rokov, ktorej využitie by bolo možné bez ohľadu na riziká spojené s jej využívaním, predovšetkým (kvôli nízko-, eventuálne stredno- entalpickej a fázovej povahe zdrojov GTE na Slovensku) však ochladzovanie tranzitnej a akumuláčnej oblasti čiastkových hydrogeotermálnych štruktúr, prípadne zmenu chemického zloženia a chemicko-technologických parametrov geotermálnych vôd.

Pre potreby bilančného hodnotenia útvarov geotermálnych vôd na Slovensku, a následne aj pre potreby prvotného odhadu trvalo udržateľného potenciálu zdrojov geotermálnej energie viazaných na jednotlivé útvary, vychádzame z tzv. bilančného princípu na základe hodnotenia koeficientu kapacity zásob. Napriek skutočnosti, že ide o výpočtovo a koncepčne najjednoduchšie riešenie, je zároveň zaťažené najmenšou chybou odhadu z hľadiska využitia nevyhnutných aproximácií, nakoľko úroveň verejného dokumentovania produkčných parametrov využívaných geotermálnych vrtov (teplota, entalpia, exergia, výdatnosť / produktivita, chemické zloženie vôd) je kriticky nedostatočná, v porovnaní s „best practice“ princípmi monitorovania a reportovania produkčných parametrov vo svete.

Modifikáciou výrazu /11/ je možné stanoviť odhad maximálneho množstva geotermálnej energie (maximálny udržateľný výkon), ktoré je rezervoár (systém, štruktúra, ÚGV – podľa použitej mierky) schopný dlhodobo produkovať pri dodržaní energetickej bilancie a kapacity tak, aby boli minimalizované riziká na jeho dlhodobú energetickú udržateľnosť. To zodpovedá hranici $r_{\text{cap}(U)} = 0,5$ (tab. 3.3.2.4.1), a maximálny udržateľný výkon čiastkových jednotiek zapisujeme ako $P_{\text{th}(r_{\text{cap}}=0,5)}$. Z výrazu /11/ zároveň vyplýva, že tento výkon je v ideálnych podmienkach rovný polovici odhadu pravdepodobných zásob geotermálnej energie, t. j. $P_{\text{th}(r_{\text{cap}}=0,5)} = 0,5 \cdot R_{\text{pb}}$, a predstavuje tak potenciálne rovnaké množstvo produkovanej geotermálnej energie, ako je množstvo geotermálnej energie ponechané v rezervoári.

Udržateľná kapacita zdrojov geotermálnej energie – $TTP_{(S)}$ bilančne odhadovaná pre ÚGV zodpovedá súčtu maximálnych udržateľných výkonov, t. j. $TTP_{(S)} = \sum P_{th(rcap=0,5)}$. Ak maximálny udržateľný výkon definujeme na základe pravdepodobných zásob GTE, potom pravdepodobnosť overenia a produkcie prekračuje 50 % a to aj v prípade ak $P_{th(rcap=0,5)} > P50(H_0/t_{prod})$, nakoľko oproti odhadu pravdepodobných zásob ide o zúženie celkového udržateľného potenciálu o polovicu. Pri daných nastaveniach modelov odhadu v jednotlivých ÚGV je priemerná pravdepodobnosť potenciálnej inštalácie daného výkonu 94 % (obr. 6.3.2.1.1).

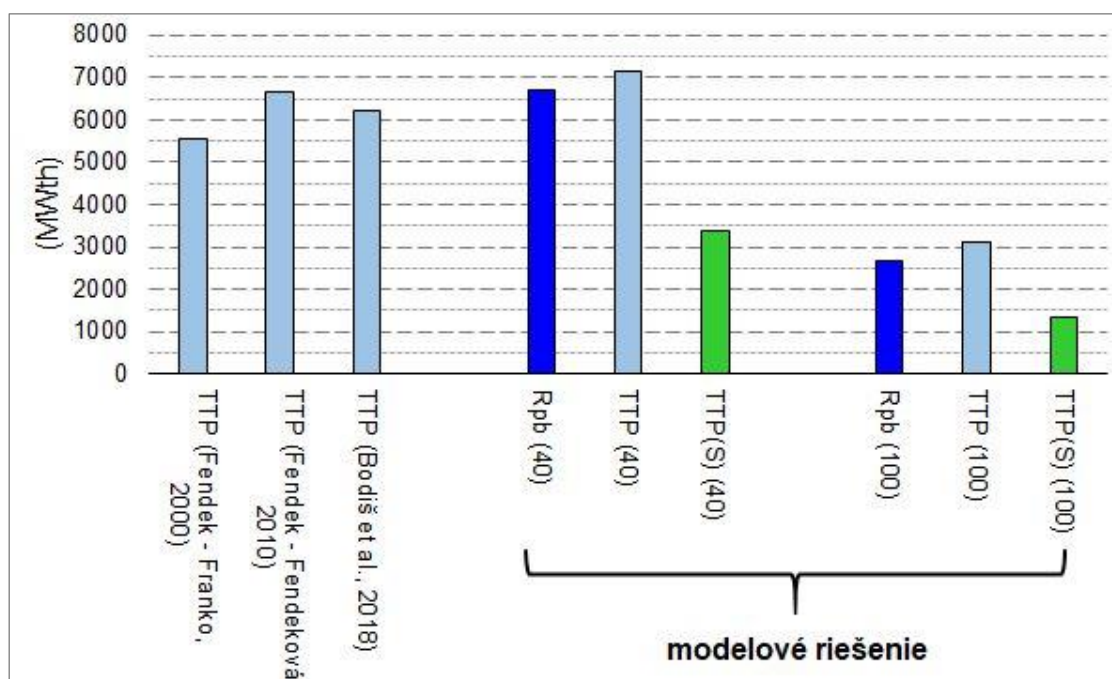
Celková udržateľná kapacita zdrojov GTE je odhadovaná ako $TTP_{(S)} = 1343$ MWth pri predpokladanej dobe produkcie $t_{prod} = 100$ rokov. Bilančne to zodpovedá množstvu GTE, ktoré je možné sumárne z ÚGV produkovať počas danej časovej škály s nízkym rizikom depletácie rezervoáru, ak platia geologické, hydrogeologické, geotermické a koncepčné nastavenia modelu. Daná kapacita automaticky neodpovedá na otázky nastavenia produkcie a potenciálnej interferencie lokalít. Dosiahnutie udržateľného výkonu pri minimálnych rizikách dlhodobej produkcie je otázkou realizácie bilančných a predikčných modelov na čiastkových štruktúrach, respektíve pre jednotlivé lokality, o to viac, ak je v plánoch využitia systém reinjektáže.



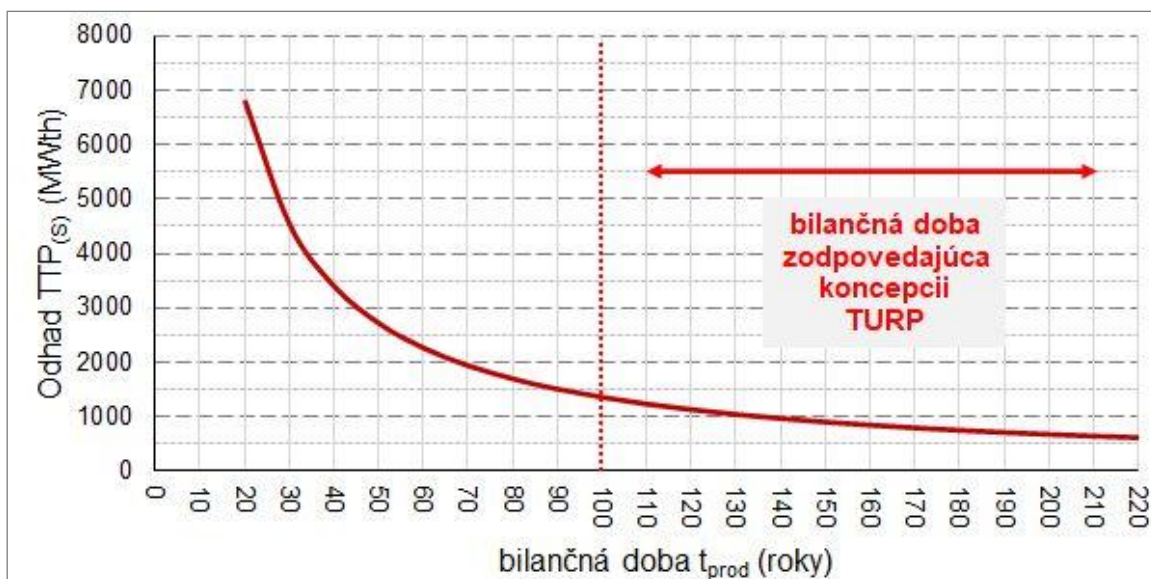
Obr. 6.3.2.1.1 Odhad maximálneho udržateľného výkonu útvarov geotermálnych vôd na Slovensku.

Z princípu zvolenej metodiky modelu je jasné, že celkový odhad tepelno-energetického potenciálu, ako aj udržateľnej kapacity zdrojov geotermálnej energie je závislý na dobe bilancie, a narastá so skracovaním t_{prod} (obr. 6.3.2.1.2), napr. pre $t_{\text{prod}} = 40$ rokov boli rovnakým modelom stanovené bilancie $TTP = 7153 \text{ MWth}$ respektíve $TTP_{(S)} = 3358 \text{ MWth}$, čo predstavuje nárast potenciálu o 230 respektíve 250 % (obr. 6.3.2.1.3). Rozdiel modelového riešenia medzi TTP pre $t_{\text{prod}} = 40$ rokov a TTP udávaným v referenčných zdrojoch (Fendek – Fendeková, 2010; Bodiš et al., 2018) predstavuje 500 resp. 920 MWth (obr. 6.3.2.1.2), t.j. 7 respektíve 13 % z odhadu definovaného modelovým riešením.

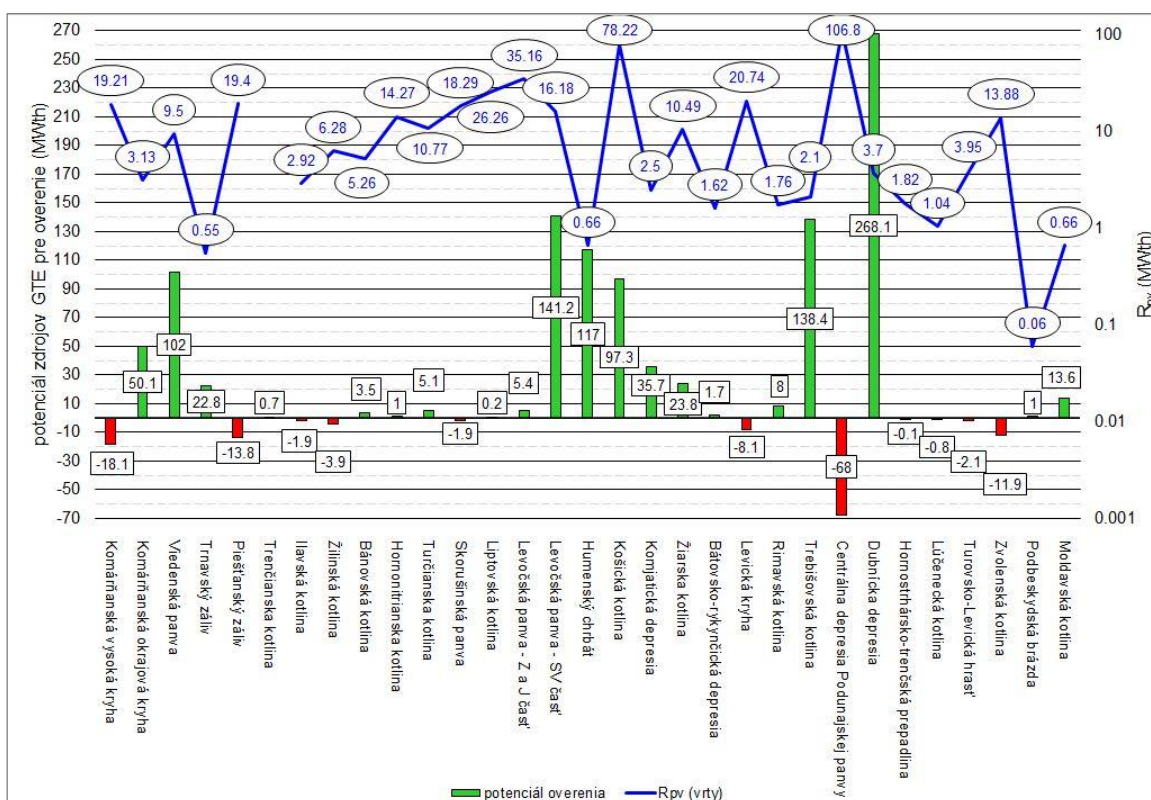
Ak je pre referenčnú teplotu $T_{\text{ref}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$ množstvo vrtmi overených zásob geotermálnej energie $R_{\text{pv}} = 437 \text{ MWth}$, potom pre overenie odhadovaného množstva geotermálnej energie, ktoré by zodpovedalo trvalo udržateľnej kapacite zdrojov GTE zostáva 906 MWth pre $t_{\text{prod}} = 100$ rokov (207 %) respektíve 2921 MWth (668 %) pre krátkodobú periódu $t_{\text{prod}} = 40$ rokov. Možnosti overovania zásob geotermálnej energie sú teda v porovnaní so súčasným stavom výrazné aj pri dlhodobom plánovaní a optimalizovaní produkcie zdrojov geotermálnej energie, kľúčovú úlohu v tomto prípade priestorová distribúcia $TTP_{(S)}$ (obr. 6.3.2.1.1), ktorý je v útvaroch geotermálnych vôd rozdelený nerovnomerne (obr. 6.3.2.1.4).



Obr. 6.3.2.1.2 Porovnanie odhadu trvalo udržateľného potenciálu zdrojov GTE a celkového tepelno-energetického potenciálu zdrojov GTE na Slovensku



Obr. 6.3.2.1.3 Modelový odhad trvalo udržateľnej kapacity zdrojov geotermálnej energie v závislosti na bilančnej dobe hodnotenia



Obr. 6.3.2.1.4 Perspektíva útvarov na overenie zdrojov GTE

Graf na obr. 6.3.2.1.4 prehľadne udáva perspektívu jednotlivých útvarov geotermálnych vôd z pohľadu overovania zdrojov geotermálnej energie vo vzťahu k trvalo udržateľnej kapacite zdrojov GTE. Negatívne hodnoty (komárňanská vysoká kryha, piešťanský záliv, Ilavská kotlina, Žilinská kotlina, skorušinská panva, levická kryha, CDPP,

hornostrehársko-trenčská prepadlina, Lučenecká kotlina, turovsko-levická hrast', Zvolenská kotlina) znamenajú, že množstvo aktuálne overených zásob geotermálnej energie (R_{pv}) pri danej referenčnej teplote $T_{ref} = 15\text{ °C}$ zjednotenej pre územie Slovenska presahuje v danom okamihu hodnoty $TTP_{(s)}$ pri danej bilančnej perióde $t_{prod} = 100$ rokov.

Z pohľadu dlhodobého plánovania, eventuálne tvorby koncepcie výskumu a prieskumu zdrojov geotermálnej energie na území Slovenska, sa následne na overovanie ďalších zásob geotermálnej energie javia ako najperspektívnejšie tie útvary, ktoré naopak dosahujú v modelovom riešení vysoko pozitívne hodnoty (napr. levočská panva – SV časť, humenský chrbát, Košická kotlina, viedenská panva, dubnícka depresia, Trebišovská kotlina).

6.3.2.2 Udržateľnosť aktuálnej produkcie zdrojov geotermálnej energie

Na rozdiel od predchádzajúcich modelov vychádza hodnotenie udržateľnosti produkcie zdrojov geotermálnej energie viazaných na jednotlivé ÚGV z pomeru medzi bilančnou situáciou opísanou pravdepodobnými zásobami geotermálnej energie R_{pb} a aktuálnym, priemerným ročným tepelným výkonom /11/, ktorý produkujú jednotlivé lokality v rámci útvarov. Prehľad aktuálneho využitia a využívania zdrojov GTE v jednotlivých útvaroch udávame v príslušnej kapitole. Získané údaje sa vzťahujú na situáciu roku 2017.

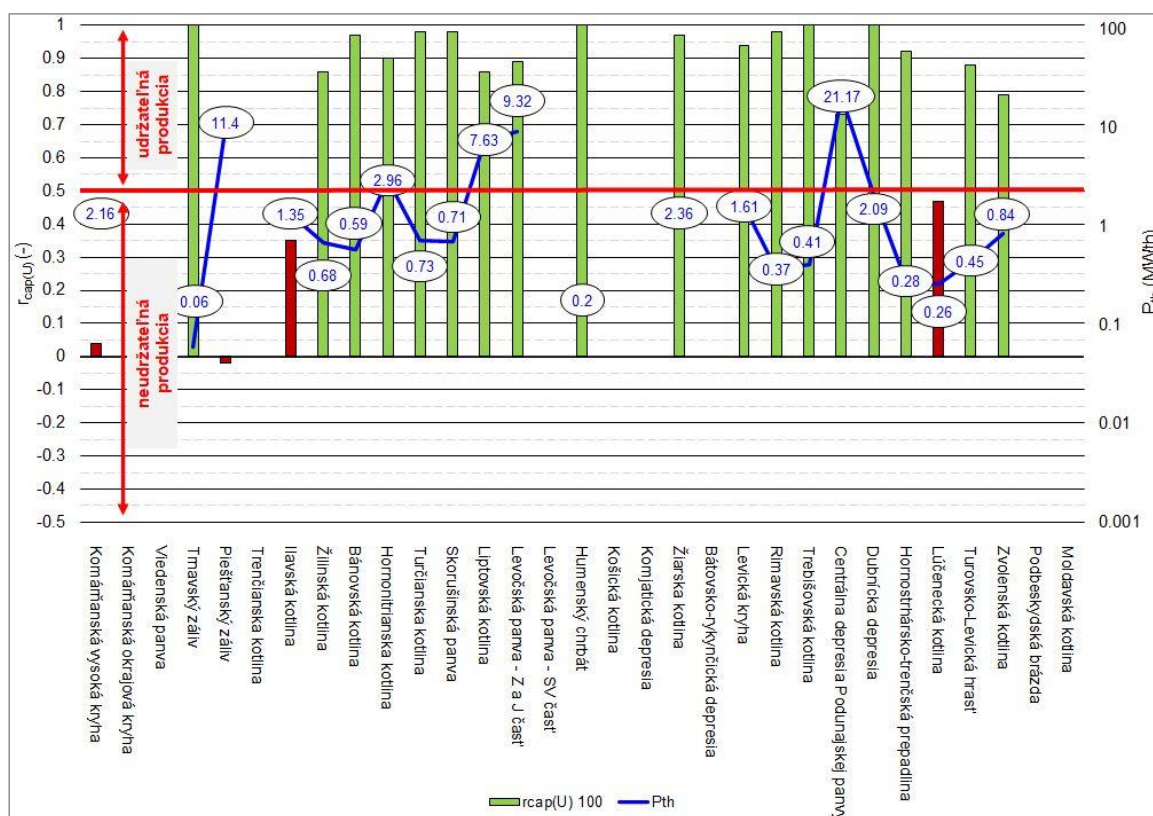
Klasifikácia udržateľnosti zdrojov geotermálnej energie (tab. 3.3.2.4.1) podľa aktuálneho výkonu predstavuje spomedzi zvolených modifikácií koeficientu kapacity zásob najmenej citlivý parameter, kombinujúci najnižšie výkony s pravdepodobnými zásobami. Pre útvary, kde nedochádza k využívaniu zdrojov GTE aktívne, parameter $r_{cap(U)}$ stanovený nie je.

Pri 31 vyčlenených útvaroch geotermálnych vôd prebieha produkcia v hodnotenom roku 2017 v 22 z nich. Z týchto útvarov je možné hovoriť o depletácii v Ilavskej kotline ($r_{cap} = 0,35$), komárňanskej okrajovej kryhe ($r_{cap} = 0,47$) a Lučeneckej kotline ($r_{cap} = 0,47$), respektíve o kritickej depletácii (obr. 6.3.2.2.1) v piešťanskom zálive ($r_{cap} = -0,02$). Piešťanský záliv pritom predstavuje lokalitu s celoročne najvyššou produkciou tepla (437 TJ), pričom SLK Piešťany majú aktuálny výkon ($P_{th} = 11,4$ MWth).

S výnimkou CDPP ($r_{cap} = 0,73$) je využitie zdrojov GTE v ostatných útvaroch možné hodnotiť ako veľmi trvalo udržateľné. CDPP je pritom útvarom geotermálnych vôd na Slovensku, ktorý je dominantným vo využívaní zdrojov GTE vo všetkých parametroch.

V tomto prípade ide o efekt veľkej rozlohy celého útvaru, a priaznivých geotermických podmienok, ktoré vyhovujú aktuálnej úrovni produkcie.

Nepomer medzi nízkym P_{th} a odhadovanými pravdepodobnými zásobami geotermálnej energie, z ktorých je koeficient $r_{cap(U)}$ odvodený, odhaduje model v dubníckej depresii (lokalita Bruty) alebo humenskom chrbte (lokalita Kaluža), respektíve čiastočne v trnavskom zálive (lokalita Koplotovce). Príkladom kombinácie nízkeho P_{th} pri stále nízkom R_{pb} , ktorého výsledkom je vysoké $r_{cap(U)}$ je napríklad Rimavská kotlina (lokalita Kurinec / Zelená voda).



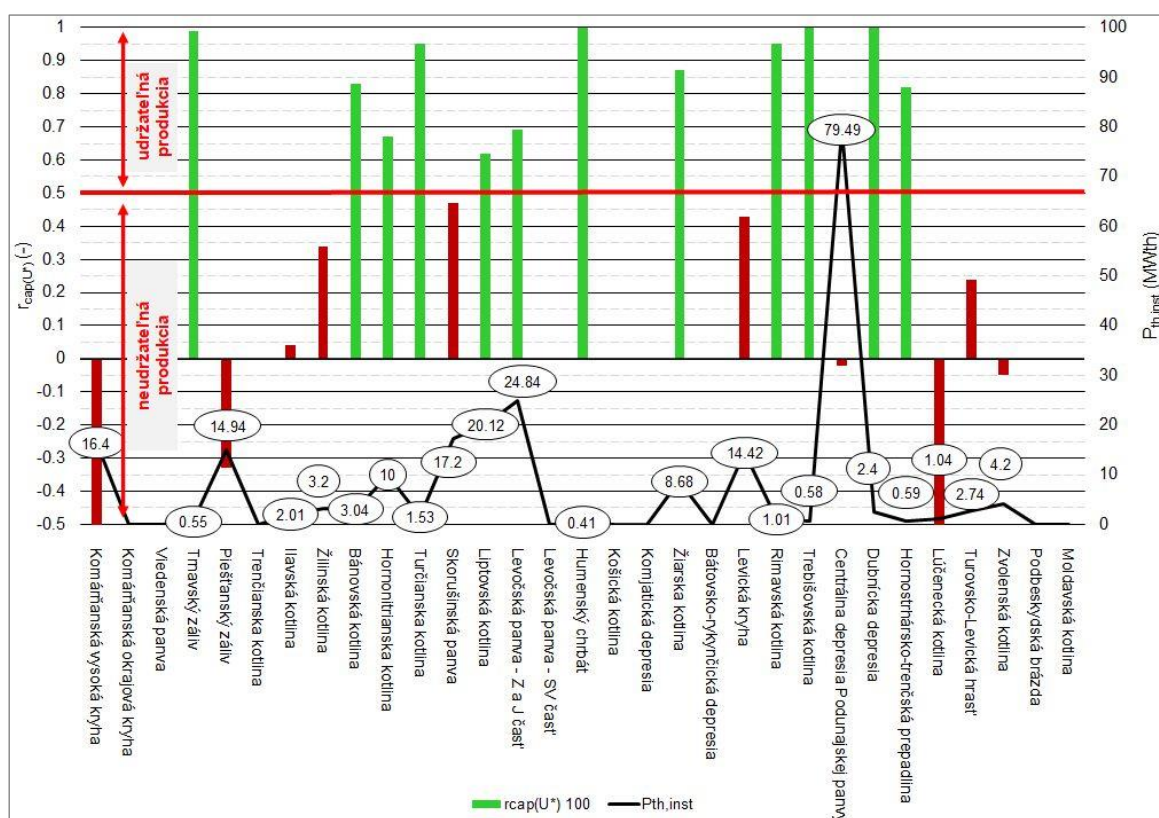
Obr. 6.3.2.2.1 Koeficient kapacity zásob $r_{cap(U)}$ – hodnotenie udržateľnosti aktuálnej produkcie útvarov geotermálnych vôd

6.3.2.3 Udržateľnosť aktuálnej maximálnej produkcie geotermálnej energie

V skutočnosti je aktuálna hodnota P_{th} definovaná ako ročný priemer v závislosti na produktivite geotermálnych vôd Q_{prod} (predpokladá sa časovo konštantná referenčná teplota, respektíve teplota zneškodňovania geotermálnych vôd). Potenciál zvyšovania výkonu jednotlivých oblastí definuje inštalovaný výkon, t. j. $P_{th,inst}$, ktorý predstavuje ideálny tepelný výkon vrtov (lokalita) pri maximálnych podmienkach produkcie, a zároveň pri referenčnej teplote T_{ref} (v tomto prípade $T_{ref} = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$). Možnosti dlhodobej udržateľnosti

produkcie geotermálnej energie pri maximálnom výkone definuje parameter $r_{cap(U^*)}/12/$ (tab. 3.3.2.4.2).

Zvýšením produkcie ÚGV na úroveň inštalovaného výkonu klesá rozdiel medzi množstvom energie odoberaným zo systému a množstvom energie v systéme, pri daných geotermických a geometrických nastaveniach. Preto v porovnaní s „klasickým“ $r_{cap(U)}$ sa hodnoty $r_{cap(U^*)}$ pohybujú v nižších hodnotách ukazovateľov udržateľnosti produkcie (obr. 6.3.2.3.1).



Obr. 6.3.2.3.1 Odhad distribúcie koeficientu kapacity zásob pre udržateľnú produkciu pri inštalovanom výkone $r_{cap(U^*)}$.

Z 22 útvarov geotermálnych vôd, v ktoré sú aktuálne využívané v jednom zo segmentov priameho využitia geotermálnej energie, by produkcia na úrovni maximálneho, t. j. inštalovaného výkonu viedla (podľa modelového riešenia) k dlhodobu neutržateľnej produkcii. Ako príklady kritickej depletácie je možné uviesť komárňanskú vysokú kryhu, piešťanský záliv, CDPP, Lučeneckú kotlinu, alebo Zvolenskú kotlinu. Neutržateľná produkcia, definovaná zvýšeným rizikom straty teploty, entalpie, exergie, respektíve možnými zmenami chemického zloženia a technicko-technologických parametrov geotermálnych vôd, by podľa modelu mohla byť očakávaná v Ilavskej kotline,

Žilinskej kotline, skorušinskej panve, levickej kryhe alebo turovsko-levickej hrasti. Ide pritom o hodnotenie produkcie geotermálnej energie pri inštalovanom výkone aktívnych lokalít.

Najmenšie riziká spojené s produkciou pri maximálnych inštalovaných výkonoch sa spájajú v modelovom riešení s útvarmi, pre ktoré model predpokladá hodnoty $r_{cap(U^*)} > 0,75$ (napr. Turčianska kotlina, humenský chrbát, trnavský záliv). Útvary geotermálnych vôd, v ktorých model predpokladá možnosť trvalo udržateľnej produkcie, pri síce minimálnych, ale výraznejších rizikách z pohľadu energetickej bilancie, spadajú do intervalu $r_{cap(U^*)} = 0,5 - 0,75$ (trieda udržateľnej produkcie podľa tab. 3.3.2.4.2). Príkladom sú, napr. Liptovská kotlina, levočská panva – J a Z časť, ev. Hornonitrianska kotlina.

Ide však opätovne o modelové riešenie v prípade inštalovaných výkonov aktuálnych lokalít, ktorý nepočíta s inštaláciou ďalších zariadení využitia / využívania zdrojov GTE. Analogicky, čím menšia je hodnota $r_{cap(U^*)}$, tým menší potenciál rozvoja ďalšej produkcie je viazaný na daný útvar geotermálnych vôd.

6.3.2.4 Udržateľnosť rozvoja produkcie zdrojov geotermálnej energie v ÚGV

Problematika udržateľnosti rozvoja produkcie zdrojov geotermálnej energie je riešená na relatívnej – $r_{cap(S)}$ a $r_{cap(S^*)}$ a absolútnej úrovni – ($P_{th(S)}$). Tieto kritériá nehodnotia stav aktuálnej produkcie, ale hodnotia udržateľnosť potenciálneho rozvoja produkcie. Kým v konzervatívnych parametroch bilančného hodnotenia udržateľnosti produkcie zdrojov GTE v jednotlivých útvaroch geotermálnych vôd je bilančnou bázou kategória pravdepodobných zásob – R_{pb} , v prípade hodnotenia potenciálu udržateľnosti rozvoja produkcie GTE je bilančná báza presunutá na parameter maximálneho udržateľného výkonu útvaru, t. j. $P_{th(r_{cap}=0,5)}$ pričom platí, že pravdepodobnosť sumárneho tepelného výkonu na tejto úrovni v rámci ÚGV je 75 % (Ilavská kotlina) až 99 % (napr. levická kryha, bátovsko-rykynčická depresia).

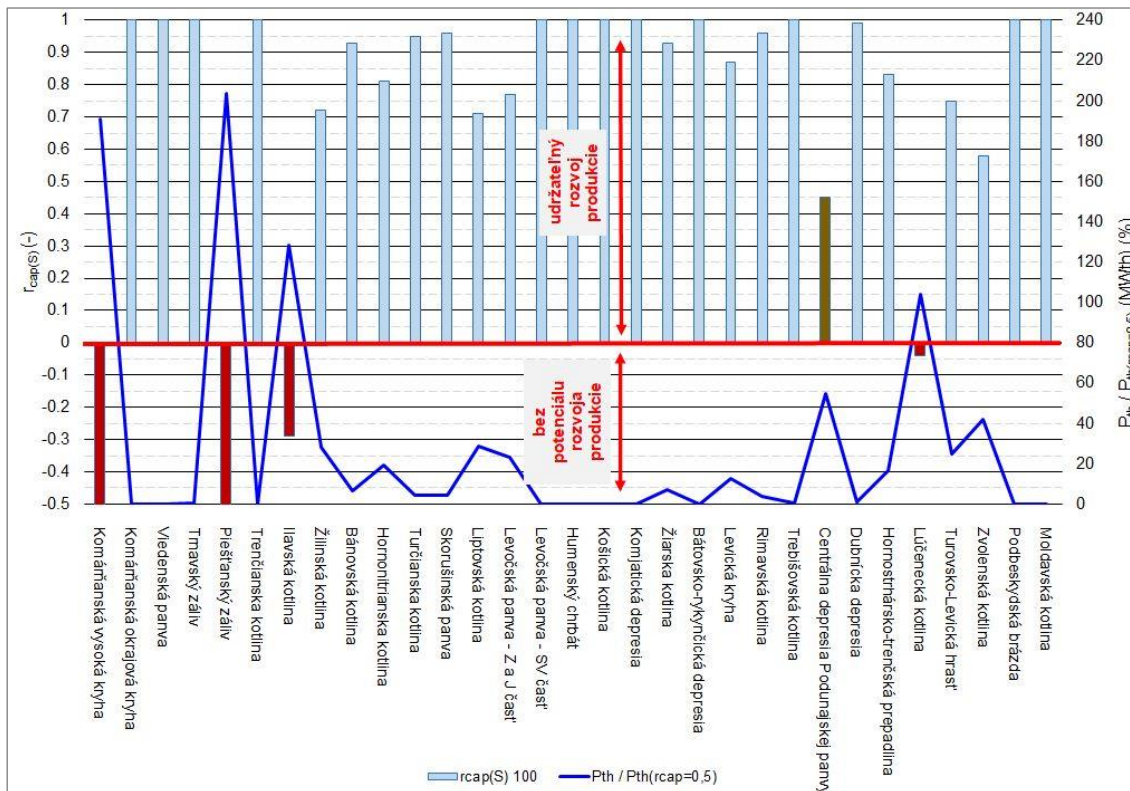
Modelové riešenie: aktuálny výkon (P_{th})

Rozdiel medzi aktuálnym tepelným výkonom (produkciou geotermálnej energie) v danom ÚGV a udržateľnou kapacitou ÚGV bilancovaný voči definovanej udržateľnej kapacite ÚGV je definovaný parametrom $r_{cap(S)}$ /13/ (tab. 3.3.2.4.3). Platí, že pre $r_{cap(S)} > 0,5$ je možné hovoriť o udržateľnom potenciáli rozvoja produkcie geotermálnej energie, kým pre $r_{cap(S)} < 0,5$ je udržateľnosť rozvoja aktuálneho výkonu riziková. Pre $r_{cap(S)} < 0,1$ je rozvoj produkcie geotermálnej energie pri aktuálnom tepelnom výkone nie je udržateľný.

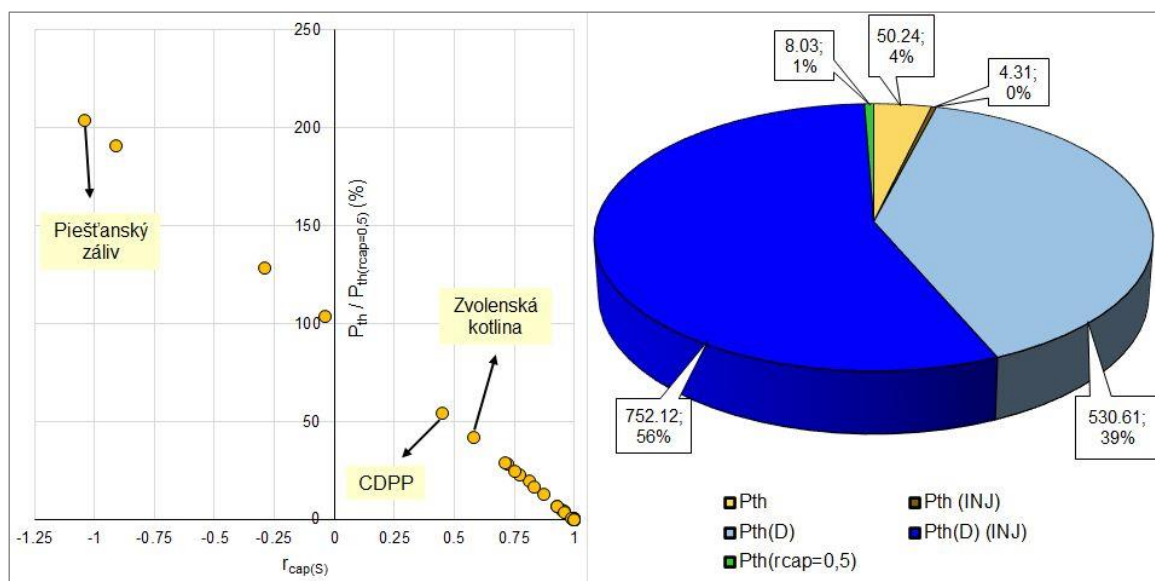
Zvolené riešenie tak ponúka pohľad na možné zvýšenie produkcie geotermálnej energie za predpokladu, že lokality, kde dochádza k využívaniu geotermálnej energie, si v budúcnosti ponechajú približne rovnaké hodnoty tepelného výkonu P_{th} , ako v referenčnom roku 2017.

Analýza $r_{cap(S)}$ (obr. 6.3.2.4.1) zahŕňa aj útvary, kde aktuálne nedochádza k produkcii zdrojov GTE. Pre tieto útvary platí, že potenciál rozvoja produkcie $P_{th(D)} = P_{th(rcap=0,5)}$. V útvaroch, kde je dokumentované využitie geotermálnej energie platí $P_{th(D)} = P_{th(rcap=0,5)} - P_{th}$.

Rozvoj produkcie geotermálnej energie v útvaroch komárňanská vysoká kryha, piešťanský záliv, Ilavská kotlina a Lučenecká kotlina nie je udržateľný. Do kategórie rizikového rozvoja produkcie geotermálnej energie spadá centrálna depresia Podunajskej panvy – $r_{cap(S)} = 0,45$. Rizikovosť je definovaná tým, že aktuálny výkon produkcie geotermálnej energie v CDPP tvorí viac ako 50 % $P_{th(rcap=0,5)}$ (obr. 6.3.2.4.2), t. j. $P_{th} > P_{th(D)}$ (obr. 6.3.2.4.3), čiže ak $P_{th(rcap=0,5)} = 38,3$ MWth, potom odhadované $P_{th(D)} = 17,6$ MWth. Ako ďalej vyplýva z analýzy modelového riešenia pre inštalovaný (maximálny) výkon, $P_{th(D)}$ nezodpovedá sumárnemu $P_{th,inst}$ pre CDPP.



Obr. 6.3.2.4.1 Odhad distribúcie koeficientu udržateľnosti rozvoja produkcie GTE pri aktuálnom výkone $r_{cap(S)}$

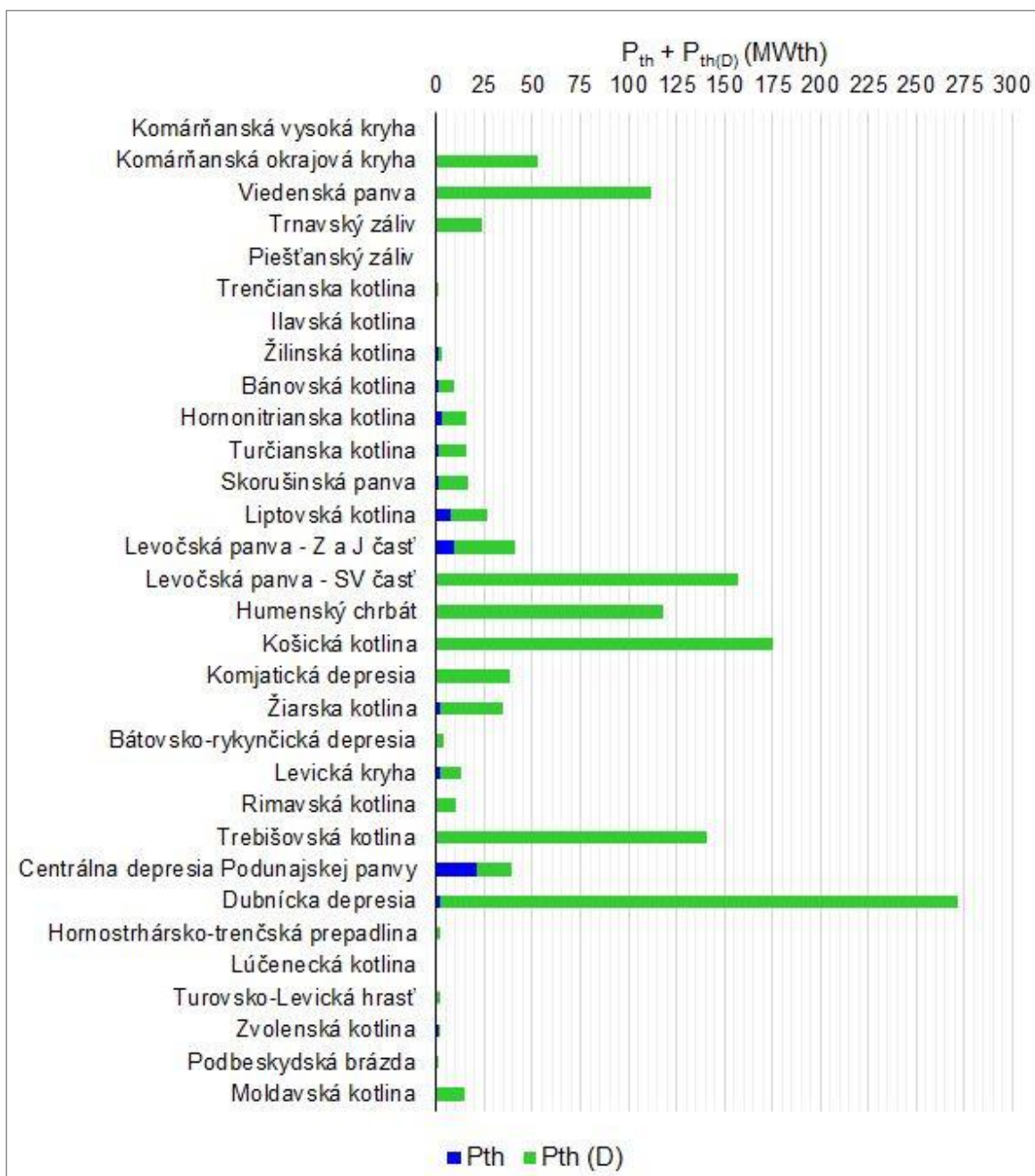


Obr. 6.3.2.4.2 Vzťah $r_{cap(S)}$ a pomeru aktuálneho výkonu k udržateľnej kapacite ÚGV (vľavo); distribúcia udržateľného tepelného výkonu v modeli aktuálnej produkcie (vpravo)

V útvaroch Liptovská kotlina, levočská panva – S a J časť, Zvolenská kotlina, Žilinská kotlina a turovsko-levická hrasť model predpokladá veľmi nízke riziko spojené s rozvojom produkcie GTE pri zachovaní aktuálneho výkonu – $r_{cap(S)} = 0,5 - 0,75$, pričom $P_{th} = 20 - 40$ % celkového $P_{th(r_{cap}=0,5)}$ (obr. 6.3.2.4.4). Najväčší potenciál pre rozvoj pri aktuálnom P_{th} lokalít v jednotlivých ÚGV má levočská panva – $P_{th(D)} = 31,2$ MWth, spolu s Liptovskou kotlinou – $P_{th(D)} = 18,87$ MWth, zatiaľ čo v ostatných útvaroch je $P_{th(D)}$ v jednotkách MWth. V modelovom riešení, ak platí predpoklad približného zachovania produkcie geotermálnej energie pri súčasnom dopyte, tak tieto dva útvary predstavujú perspektívne útvary, keďže dodatočný výkon, pri ktorom bude produkcia stále udržateľná je vyšší, ako výkon aktuálne produkovaný.

Významnú skupinu predstavujú útvary geotermálnych vôd, ktoré je možné pri aktuálnej produkcii GTE opísať vzťahom $P_{th} \ll P_{th(D)}$ (obr. 6.3.2.4.3 a 6.3.2.4.4), pre ktoré platí $r_{cap} > 0,75$, napr. humenský chrbát, Turčianska kotlina, skorušinská panva, Trebišovská kotlina, dubnícka depresia, alebo Rimavská kotlina. Možnosť inštalovať (ev. overiť) dodatočný tepelný výkon na nových lokalitách je však veľmi variabilný, napr. $P_{th(D)} = 9,41$ MWth pre Rimavskú kotlinu ($P_{th} / P_{th(D)} = 4$ %), alebo $P_{th(D)} = 31,9$ MWth ($P_{th} / P_{th(D)} = 7,4$ %). Poslednú skupinu predstavujú útvary, kde geotermálna energia produkovaná doteraz nie je, a pre ktoré platí $P_{th(D)} = P_{th(r_{cap}=0,5)}$, t. j. $r_{cap(S)} = 1$ – komárňanská okrajová kryha, viedenská panva, Trenčianska kotlina, levočská

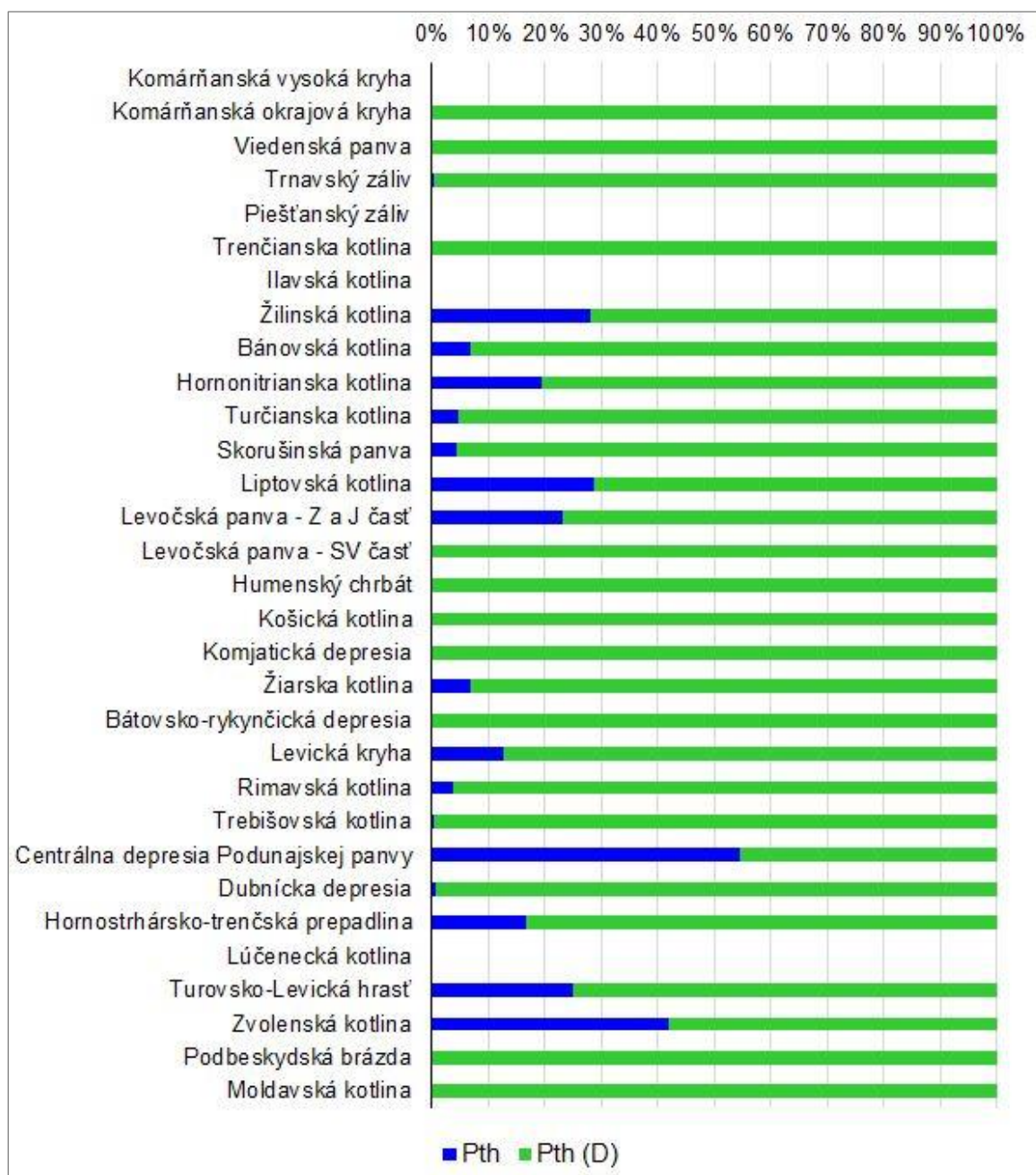
panva – SV časť, Košická kotlina, komjatická depresia, bátovsko-rykynčická depresia, Podbeskydská brázda a Moldavská kotlina.



Obr. 6.3.2.4.3 Model udržateľnosti rozvoja aktuálnej produkcie geotermálnej energie – podiel aktuálneho výkonu (P_{th}) a potenciálneho výkonu pre rozvoj produkcie $P_{th(D)}$.

Z celkovej udržateľnej kapacity zdrojov geotermálnej energie odhadovanej bilančným modelom pre útvary geotermálnych vôd na Slovensku, $TTP(S) = 1343$ MWth predstavuje potenciál pre ďalší rozvoj, t. j. $TTP_{(D)}$ približne 95,5 %, s $TTP_{(D)} = \sum P_{th(D)} = 1283$ MWth. V tejto bilancii je zahrnutý potenciál viazaný na otvorené útvary, respektíve útvary bez reinjektáže (obr. 6.3.2.4.2)

$TTP_{(D)} = 531 \text{ MWth}$ (39,5 %) a potenciál viazaný na útvary, pri ktorých využívaní sa počíta s dubletovými systémami $TTP_{(D)} = 752 \text{ MWth}$ (60,5 %). Ide o výrazný rozdiel medzi potenciálom viazaným na oba koncepčné typy útvarov, v porovnaní s bilanciou, napríklad, pravdepodobných zásob geotermálnej energie.



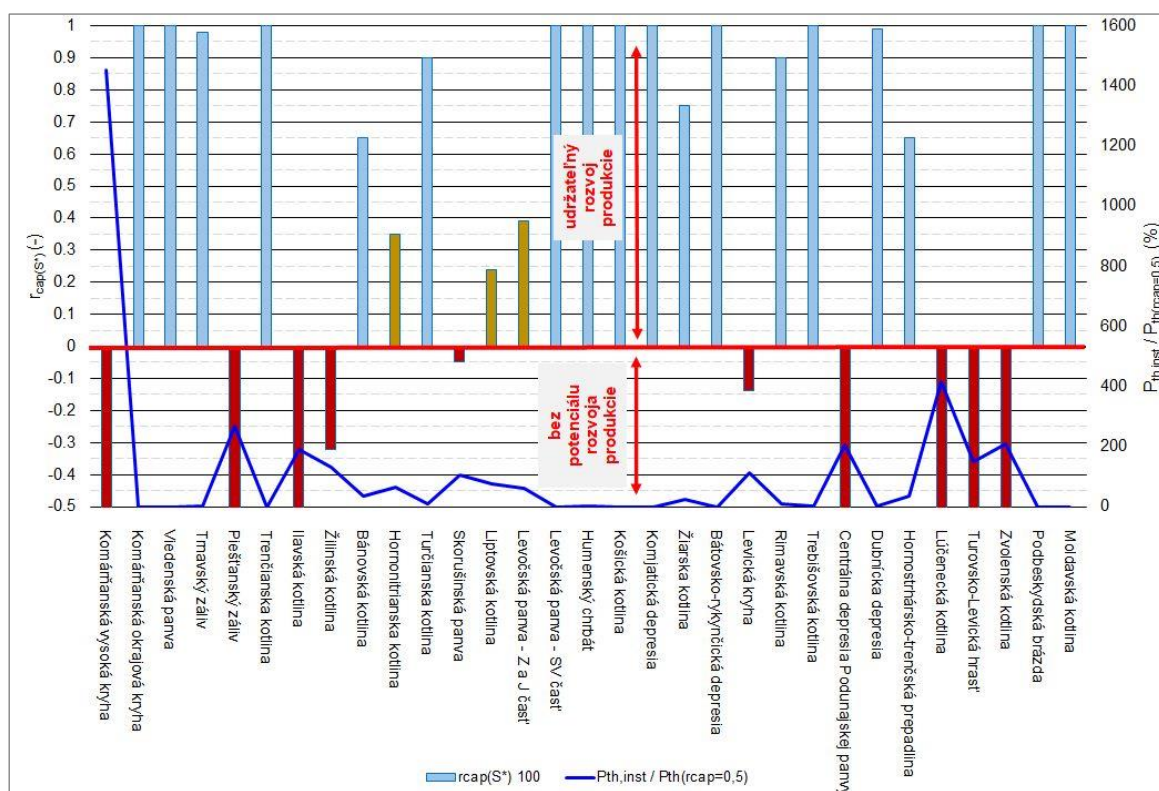
Obr. 6.3.2.4.4 Model udržateľnosti rozvoja aktuálnej produkcie geotermálnej energie – relatívny podiel aktuálneho výkonu (P_{th}) a potenciálneho výkonu pre rozvoj produkcie $P_{th(D)}$.

Ten je vysvetlený rozdielnym počtom útvarov (25 útvarov bez uvažovania o reinjektáži), a zároveň, vo väčšine prípadov, aj relatívne nízkym aktuálnym tepelným výkonom, pri ktorom sú zdroje geotermálnej energie v útvaroch využívané. Útvary,

pri ktorých pri aktuálnom tepelnom výkone platí $r_{cap(S)} < 0$ sú v potenciáli udržateľného výkonu zastúpené ich maximálnym udržateľným výkonom $P_{th(r_{cap}=0,5)}$. Podiel týchto útvarov je približne 0,6 %.

Modelové riešenie: inštalovaný výkon ($P_{th,inst}$)

Nevýhodou predchádzajúceho modelového riešenia je predpoklad udržania približne rovnakého tepelného výkonu útvarov geotermálnych vôd produkciou geotermálnej energie na aktuálnych lokalitách v čase. Konzervatívnejší pohľad na možnosti rozvoja produkcie geotermálnej energie je možné získať dosadením inštalovaného výkonu $P_{th,inst}$ [14] do bilancie potenciálu udržateľnosti rozvoja (tab. 3.3.2.4.4), ktorý je vyjadrený parametrom $r_{cap(S^*)}$. Modelové riešenie tak udáva možnosť rozvoja a overovania ďalšieho tepelného výkonu v útvaroch geotermálnych vôd bez obmedzenia rozvoja tepelného výkonu na súčasných lokalitách.

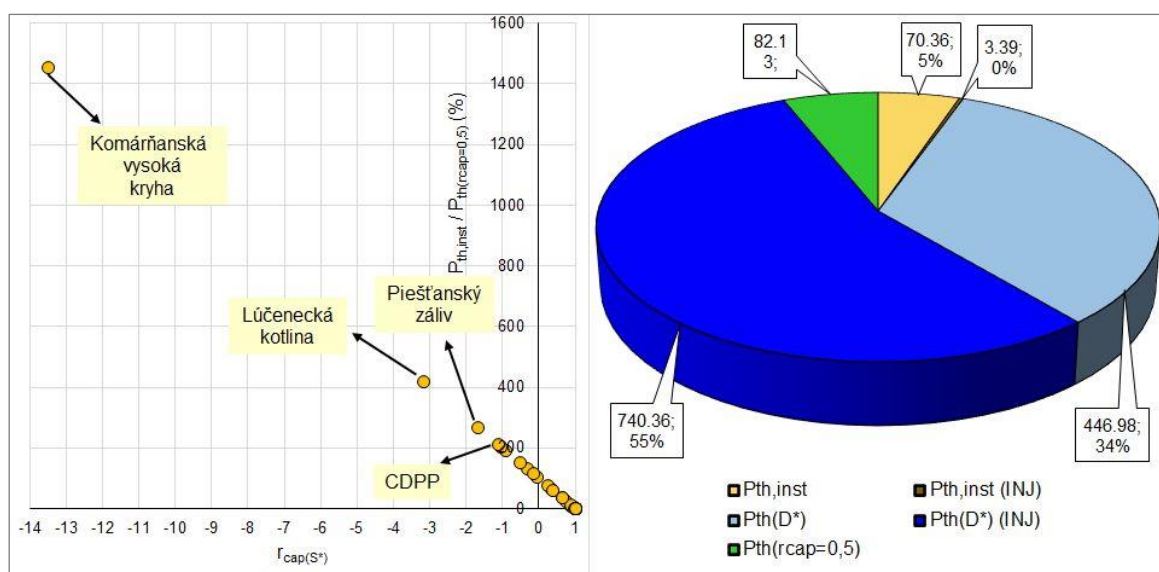


Obr. . 6.3.2.4.5 Odhad distribúcie koeficientu udržateľnosti rozvoja produkcie GTE pri aktuálnom inštalovanom výkone $r_{cap(S^*)}$.

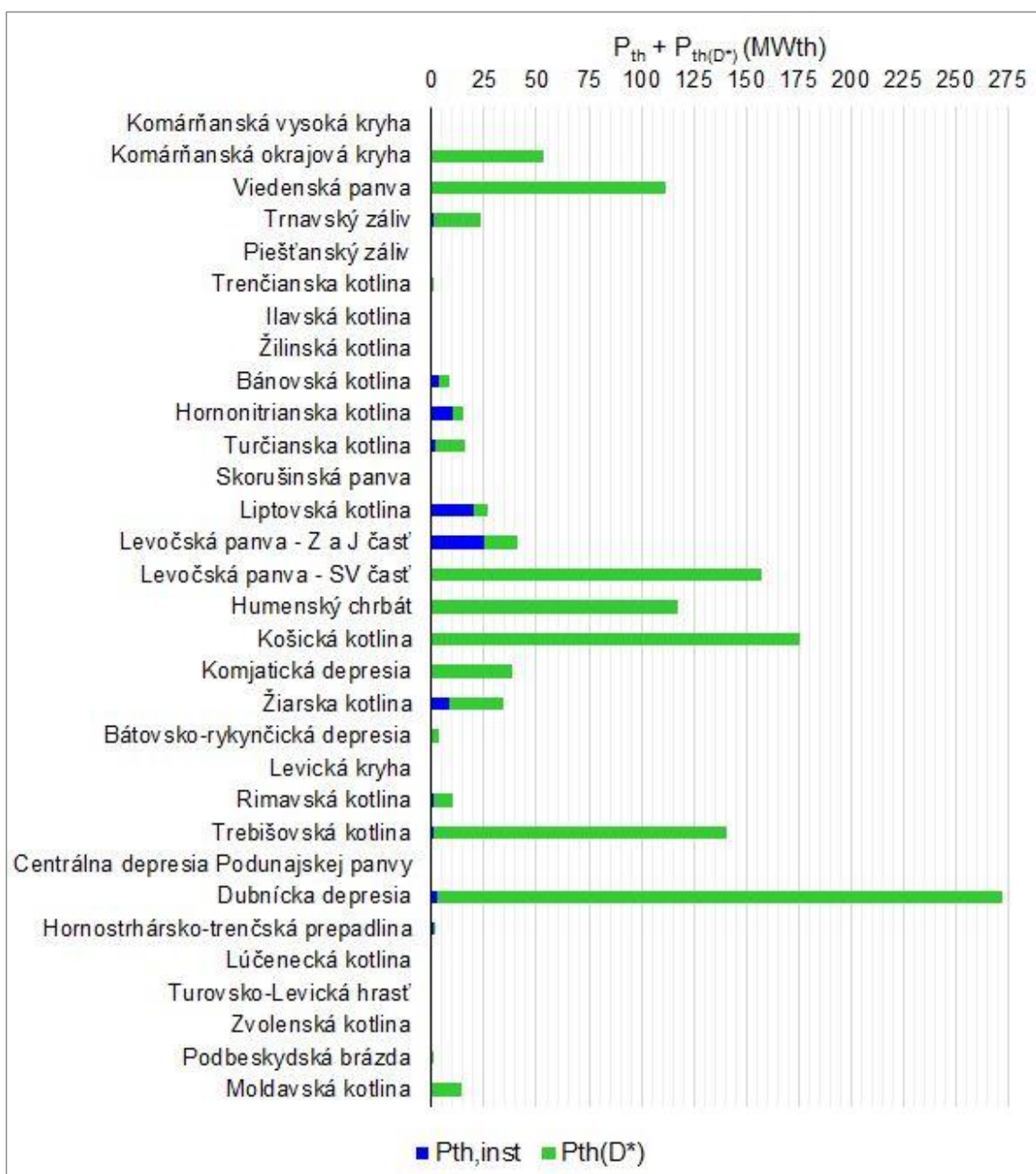
Modelové riešenie, v ktorom je maximálne využitie geotermálnej energie reprezentované započítaním inštalovaného výkonu výrazne redukuje útvary, v ktorých môže aj pri danej intenzite využitia dôjsť k ďalším inštaláciám – t. j. ak $r_{cap(S^*)} < 0$

(obr. 6.3.2.4.5). K ÚGV vykazujúcim $r_{cap(S)} < 0$ (obr. 6.3.2.4.1) pribudli pri využití inštalovaného výkonu aj Žilinská kotlina, skorušinská panva (lokalita Oravice), levická kryha (lokalita Podhájska), CDPP, turovsko-levická hrast' a Zvolenská kotlina (kúpele Kováčová, Sliač). Tieto útvary vyjadruje vzťah $P_{th,inst} > P_{th(rcap=0,5)}$, resp. $P_{th(D^*)} < P_{th,inst}$.

Útvary s vyšším rizikom rozvoja produkcie geotermálnej energie nad úroveň inštalovaného výkonu súčasných lokalít zodpovedajú podmienke $P_{th(D)}$ predstavuje menej ako 50 % aktuálne inštalovaného výkonu. Ide o útvary Hornonitrianska kotlina, Liptovská kotlina a levočská panva – Z a J časť (obr. 6.3.2.4.5, 6.3.2.4.7 a 6.3.2.4.8). Riziko je spojené predovšetkým s energetickou bilanciou útvarov, aj v riziku inštalácie nových lokalít, ktoré nevyhnutne musia zodpovedať podmienke minimalizácie interferencií tlakových, a predovšetkým teplotno-tepelných depresií spojených s exploataciou zdrojov geotermálnej energie, o to viac, ak vo všetkých troch lokalitách ide o difúzne, prevažne konduktívne prostredie.

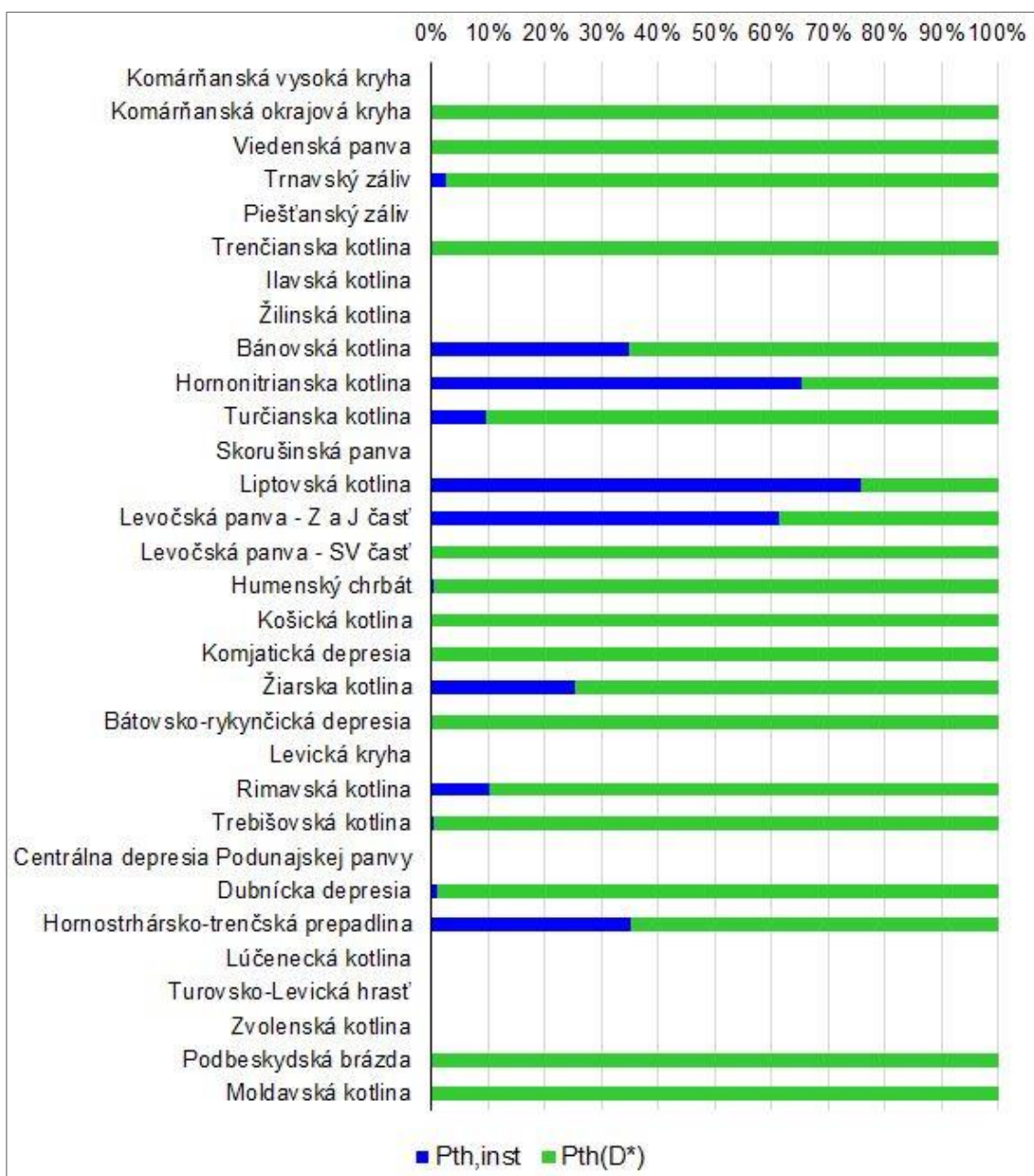


Obr. . 6.3.2.4.6 Vzťah $r_{cap(S^*)}$ a pomeru inštalovaného výkonu k udržateľnej kapacite ÚGV (vľavo) - distribúcia udržateľného tepelného výkonu v modeli inštalovaného výkonu (vpravo).



Obr. 6.3.2.4.7 Model udržateľnosti rozvoja produkcie geotermálnej energie v prípade inštalovaného výkonu – podiel inštalovaného výkonu ($P_{th,inst}$) a potenciálneho výkonu pre rozvoj produkcie $P_{th}(D^*)$.

V tretej skupine útvarov sú tie, kde je riziko inštalácie nových tepelných výkonov nízke, t. j. ak $r_{cap}(S^*) = 0,5 - 0,75$ (obr. 6.3.2.4.7) a $P_{th,inst} = 0,25 - 0,5 \times P_{th}(D^*)$ (obr. 6.3.2.4.8). V tejto skupine model identifikoval Bánovskú kotlinu ($P_{th,inst} = 3,04$ MWth), Žiarsku kotlinu ($P_{th,inst} = 8,68$ MWth) a hornosthrásko-trenčskú prepadlinu ($P_{th,inst} = 0,59$ MWth).



Obr. 6.3.2.4.8 Model udržateľnosti rozvoja inštalovaného výkonu v produkcii geotermálnej energie – relatívny podiel inštalovaného výkonu ($P_{th,inst}$) a potenciálneho výkonu pre rozvoj produkcie $P_{th(D^*)}$.

Z útvarov, v ktorých $r_{cap(S^*)} > 0,75$, čo charakterizuje minimálne riziko spojené s rozvojom využitia zdrojov GTE sú aktívne využívané trnavský záliv, Turčianska kotlina, humenský chrbát, Trebišovská kotlina a dubnícka depresia. Inštalovaný výkon lokalít s priamym využitím GTE v týchto útvaroch predstavuje menej ako 25 % udržateľného potenciálu rozvoja, v jednotkách MW_{th}. V útvaroch definovaných parametrom $r_{cap(S^*)} = 1$ nie je geotermálna energia využívaná, t. j. $P_{th,inst} = 0$ MW_{th}, a teda $P_{th(D^*)} = P_{th(r_{cap}=0,5)}$. Táto skupina je rovnaká, ako v prípade modelu zohľadňujúceho aktuálny tepelný výkon (P_{th} resp. $P_{th(D)}$).

Rozloženie členov v rámci udržateľnej produkcie a jej rozvoja v podmienkach je zobrazené na obr. 6.3.2.4.6. Takmer 5,5 % (73,75 MWth) v modelovom odhade pripadá na inštalovaný výkon útvarov, s plánovanou reinjektážou alebo bez predpokladaného zapojenia dubletov, ktorých $P_{th,inst} < P_{th(rcap=0,5)}$, a teda $r_{cap(S^*)} > 0$. V modeli aktuálneho výkonu šlo o, samozrejme, nižší percentuálny podiel (3,9 % a 52,5 MWth).

Samotný potenciál, ktorý je možné inštalovať v útvaroch geotermálnych vôd v prípade maximálnej produkcie GTE zodpovedajúcej inštalovanému výkonu existujúcich lokalít zodpovedá $TTP_{(D^*)} = \sum P_{th(D^*)} = 1187$ MWth (88,4 %). V predchádzajúcom modeli vychádzajúcom z distribúcie $r_{cap(S)}$ bol tento podiel 95,5 %. Podiel potenciálneho výkonu pre ďalšiu inštaláciu útvarov, kde je predpoklad reinjektáže, by mohol dosahovať cca 55 % (740 MWth) v celkovom distribučnom mixe, respektíve 62 % na $TTP_{(D^*)}$. Oproti predchádzajúcej variante pritom vypadáva levická kryha (obr. 6.3.2.4.5) pre ktorú platí $P_{th,inst} > P_{th(rcap=0)}$.

Práve kvôli zvažovaniu maximálneho výkonu dochádza v distribúcii potenciálne udržateľnej produkcie geotermálnej energie v tomto variante (scenári) k presunu (obr. 6.3.2.4.6) viacerých lokalít do pásma maximálneho udržateľného výkonu, t. j. $P_{th(rcap=0,5)}$, a teda $P_{th(D^*)} = 0$ (obr. 6.3.2.4.7 a 6.3.2.4.8) v tomto produkčnom mixe, kde táto skupina s 82 MWth predstavuje 6,1 % podiel na distribúcii produkcie.

6.3.3 Charakteristika útvarov geotermálnych vôd vo vzťahu ku modelu trvalo udržateľného využívania zdrojov GTE

Charakteristika útvarov geotermálnych vôd vo vzťahu ku koncepcii trvalo udržateľnej produkcie (tab. 6.3.3.2), kde dôraz je kladený na energetickú bilanciu systému, a následne bilančné hodnotenie udržateľnosti produkcie geotermálnej energie a jej rozvoja vyplýva, že útvary vytvárajú tri špecifické skupiny (tab. 6.3.3.1):

- *perspektívne útvary* – kde produkcia zdrojov geotermálnej energie je udržateľná pri aktuálnom ($r_{cap(U)} > 0,5$) aj inštalovanom ($r_{cap(U^*)} > 0,5$) výkone; a zároveň kde rozvoj produkcie geotermálnej energie nepredstavuje vysoké riziko pre bilančnú tepelno-energetickú charakteristiku útvaru ($r_{cap(S)} > 0$ a $r_{cap(S^*)} > 0$); alebo
- *útvary s limitovanou perspektívnosťou* – kde produkcia zdrojov geotermálnej energie je udržateľná pri aktuálnom výkone P_{th} ($r_{cap(U)} > 1$) a kde rozvoj produkcie geotermálnej energie je možný na hranicu udržateľnej kapacity útvaru $P_{th(rcap=0,5)}$ podľa $P_{th(D)}$ bez výrazného rizika pre tepelno-energetickú bilanciu útvaru

($r_{\text{cap}(S)} > 1$); avšak produkciu zodpovedajúcu inštalovanému výkonu je možné hodnotiť ako neudržateľnú ($r_{\text{cap}(U^*)} < 0,5$), kde možnosť rozvoja predstavuje výrazné riziko energetického kolapsu ($r_{\text{cap}(S^*)} < 0$) a potenciál udržateľného rozvoja je nulový, t. j. $P_{\text{th}(D^*)} = 0$; alebo

- *neperspektívne útvary* – pri ktorých produkcia geotermálnej energie aj pri aktuálnom tepelnom výkone je klasifikovaná ako dlhodobá neudržateľná ($r_{\text{cap}(U)} < 0,5$) a rozvoj produkcie geotermálnej energie predstavuje výrazné riziko pre tepelno-energetickú bilanciú útvaru ($r_{\text{cap}(S)} < 0,5$), kde potenciál udržateľného rozvoja je nulový $P_{\text{th}(D)} = 0$.

Tab. 6.3.3.1 Klasifikácia útvarov geotermálnych vôd podľa perspektívnosti udržateľnej produkcie zdrojov geotermálnej energie a jej ďalšieho rozvoja

Trieda perspektívnosti	Identifikované útvary geotermálnych vôd
Perspektívne útvary	Komárňanská okrajová kryha, viedenská panva, trnavský záliv, Trenčianska kotlina, Bánovská kotlina, Hornonitrianska kotlina, Turčianska kotlina, Liptovská kotlina, levočská panva – Z a J časť, levočská panva – SV časť, humenský chrbát, Košická kotlina, komjatická depresia, Žiarska kotlina, batovsko-rykynčická depresia, Rimavská kotlina, Trebišovská kotlina, dubnícka depresia, hornostrehársko-trenčská prepadlina, podbeskydská brázda, Moldavská kotlina
Útvary s limitovanou perspektívnosťou	Žilinská kotlina, skorušinská panva, levická kryha, centrálna depresia Podunajskej panvy, turovsko-levická hrasť, Zvolenská kotlina
Neperspektívne útvary	Komárňanská vysoká kryha, piešťanský záliv, Ilavská kotlina, Lučenecká kotlina

S ohľadom na zvolenú metodiku pravdepodobnostného modelu odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie je pri posudzovaní udržateľnosti produkcie a rozvoja, respektíve pri klasifikácii útvarov potrebné brať do úvahy nasledovné:

- možnosť rozvoja produkcie geotermálnej energie v perspektívnych útvaroch je rozdielna na úrovni rádov – t. j. v rozsahu 1 – x100 MWth,
- väčšina útvarov spadajúcich do kategórie perspektívne útvary sú momentálne nevyužívané,
- časť útvarov v rámci skupiny perspektívnych je spojená s geotermálnymi vodami vysokej mineralizácie, alebo komplexných technicko-technologických parametrov, vrátane komplikovaného rezervoárového prostredia, predovšetkým, ak ide na Slovensku o málo preskúmané neogénne vulkanoklastiká alebo hlboko uložené neogénne siliciklastiká, v ktorých je zapojenie reinjektáže komplikovanejšie, ako v prípade rezervoárov definovaných v karbonátoch,
- útvary s limitovanou perspektívnosťou alebo neperspektívne útvary sú identifikované podľa nepomeru medzi aktuálnymi technickými inštaláciami a bilančným modelom odhadu,
- je pravdepodobné, že komplexné prehodnocovanie modelov odhadu zdrojov a zásob geotermálnej energie so zahrnutím komplexnejších vstupných dát, spôsobí v budúcnosti presun útvarov medzi jednotlivými triedami.

Tab. 6.3.3.2 Charakteristika útvarov geotermálnych vôd vo vzťahu ku modelu trvalo udržateľného využívania zdrojov GTE

Názov ÚGV	R ₀	R _{pv}	R _{pb}	TTP	P _{th(rcap=0,5)}	P _{th}	P _{th,inst}	r _{cap(U)}	r _{cap(U*)}	r _{cap(S)}	r _{cap(S*)}	P _{th(D)}	P _{th(D*)}
	-	MWth	MWth	MWth	MWth	MWth	MWth	-	-	-	-	MWth	MWth
Komárňanská vysoká kryha	0,162	19,21	2,3	21,5	1,1	2,16	16,4	0,04	-6,29	-0,91	-13,51	0	0
Komárňanská okrajová kryha	0,113	3,13	106,4	109,5	53,2	0	0	1	1	1	1	53,19	53,19
Viedenská panva	0,044	9,5	223	232,5	111,5	0	0	1	1	1	1	111,51	111,51
Trnavský záliv	0,054	0,55	46,6	47,2	23,3	0,06	0,55	1	0,99	1	0,98	23,25	22,76
Piešťanský záliv	0,058	19,4	11,2	30,6	5,6	11,4	14,94	-0,02	-0,33	-1,04	-1,67	0	0
Trenčianska kotlina	0,040	0	1,4	1,4	0,7	0	0	1	1	1	1	0,68	0,68
Ilavská kotlina	0,079	2,92	2,1	5	1	1,35	2,01	0,35	0,04	-0,29	-0,91	0	0
Žilinská kotlina	0,040	6,28	4,8	11,1	2,4	0,68	3,2	0,86	0,34	0,72	-0,32	1,74	0
Bánovská kotlina	0,054	5,26	17,4	22,7	8,7	0,59	3,04	0,97	0,83	0,93	0,65	8,13	5,68
Hornonitrianska kotlina	0,059	14,27	30,6	44,9	15,3	2,96	10	0,9	0,67	0,81	0,35	12,34	5,3
Turčianska kotlina	0,067	10,77	31,8	42,5	15,9	0,73	1,53	0,98	0,95	0,95	0,9	15,16	14,36
Skorušinská panva	0,066	18,29	32,8	51	16,4	0,71	17,2	0,98	0,47	0,96	-0,05	15,67	0
Liptovská kotlina	0,034	26,26	53	79,3	26,5	7,63	20,12	0,86	0,62	0,71	0,24	18,87	6,38
Levočská panva (Z a J časť)	0,142	35,16	81,1	116,3	40,6	9,32	24,84	0,89	0,69	0,77	0,39	31,23	15,71
Levočská panva (SV časť)	0,025	16,18	314,7	330,9	157,4	0	0	1	1	1	1	157,37	157,37
Humenský chrbát	0,033	0,66	235,3	236	117,7	0,2	0,41	1	1	1	1	117,47	117,26
Košická kotlina	0,036	78,22	351,1	429,3	175,6	0	0	1	1	1	1	175,56	175,56
Komjatická depresia	0,016	2,5	76,3	78,8	38,2	0	0	1	1	1	1	38,16	38,16
Žiarska kotlina	0,025	10,49	68,5	79	34,3	2,36	8,68	0,97	0,87	0,93	0,75	31,89	25,57
Bátovsko-rykynčická depresia	0,047	1,62	6,6	8,2	3,3	0	0	1	1	1	1	3,3	3,3
Levická kryha	0,021	20,74	25,4	46,1	12,7	1,61	14,42	0,94	0,43	0,87	-0,14	11,07	0
Rimavská kotlina	0,023	1,76	19,6	21,3	9,8	0,37	1,01	0,98	0,95	0,96	0,9	9,41	8,77
Trebišovská kotlina	0,017	2,1	281	283,1	140,5	0,41	0,58	1	1	1	1	140,11	139,94
Centrálna dep. Podunajskej p.	0,018	106,8	77,6	184,4	38,8	21,17	79,49	0,73	-0,02	0,45	-1,05	17,64	0
Dubnícka depresia	0,034	3,7	543,7	547,4	271,8	2,09	2,4	1	1	0,99	0,99	269,75	269,44
Hornostárhásko-trenčská prep.	0,103	1,82	3,4	5,2	1,7	0,28	0,59	0,92	0,82	0,83	0,65	1,4	1,09
Lučenecká kotlina	0,029	1,04	0,5	1,5	0,2	0,26	1,04	0,47	-1,12	-0,04	-3,16	0	0
Turovsko-levická hrast'	0,145	3,95	3,6	7,6	1,8	0,45	2,74	0,88	0,24	0,75	-0,51	1,36	0
Zvolenská kotlina	0,054	13,88	4	17,9	2	0,84	4,2	0,79	-0,05	0,58	-1,1	1,16	0
Podbeskydská brázda	0,101	0,06	2,1	2,2	1,1	0	0	1	1	1	1	1,07	1,07
Moldavská kotlina	0,085	0,66	28,5	29,1	14,2	0	0	1	1	1	1	14,24	14,24
CELKOM		437,0	2686,4	3123,5	1343,3	67,6	229,4					1282,7	1187,3

Vysvetlivky: R₀ - koeficientu redukcie, R_{pv} - overené zásoby GTE, R_{pb} - pravdepodobné zásoby GTE, TTP – tepelno-energetický potenciál, P_{th(rcap=0,5)} - hodnota udržateľnej kapacity, P_{th} – aktuálny výkon, P_{th,inst} – inštalovaný výkon, r_{cap(U)} – základný koeficient kapacity zásob, r_{cap(U*)} – základný koeficient kapacity zásob pre inštalovaný výkon, r_{cap(S)} - koeficient rozvoja aktuálnej produkcie, r_{cap(S*)} - koeficient rozvoja inštalovaného výkonu, P_{th(D)} - potenciál udržateľného rozvoja, P_{th(D*)} - potenciál udržateľného rozvoja inštalovaného výkonu

7. EKONOMICKÝ PRÍNOS RIEŠENIA GEOLOGICKEJ ŠTÚDIE

Cena geologických prác na úlohe „Hodnotenie geotermálnych útvarov podzemných vôd na území Slovenskej republiky“ v zmysle schváleného projektu geologickej štúdie bola rozpočtovaná na čiastku 90 000,- €, pričom celá čiastka pripadala na vlastnú činnosť.

Finančné prostriedky na riešenie úlohy boli vyčerpané účelne podľa operatívnych potrieb riešenia geologickej štúdie. Skutočné čerpanie rozpočtu geologických prác uvádza tab. 7.1.

Tab. 7.1 Čerpanie rozpočtu geologickej štúdie

ROZPOČET A ČERPANIE VYKONANÝCH PRÁC A DODÁVOK							
Obdobie sledovania: 2020/07							
Strana: 1							
Hierarchia	Názov	Rozpočet		Čerpanie			Plnenie, [%]
		Schválený	Upravený	Mesiac sled.	Spolu akt. rok	Spolu doteraz	
07 19	Hodnotenie stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd	90.000,00	90.000,00		29.999,40	89.999,40	100,00 %
001	Hodnotenie stavu geotermálnych útvarov	90.000,00	90.000,00		29.999,40	89.999,40	100,00 %
00	cenové vyrovnanie	0,00	0,00				
01	Projektovanie,riad.prác a arch.excerpcia-Vypracovanie plánu prípravnej št	1.804,34	1.804,34			1.804,34	100,00 %
02	Sled,riadenie a koordinácia prác	1.508,10	1.508,10		492,10	1.508,10	100,00 %
03	Archívna excerpčia a spracovanie databáz	6.357,12	6.357,12		1.135,20	6.357,12	100,00 %
04	Sprac.údaj.a interpret.- Vyčlen.nov.útv.a úpr.pôv.rozsahu geoterm.ÚPvZ	15.892,80	15.892,80			15.892,80	100,00 %
05	Doplnenie hydrogeoterm.charakteristik geoterm.ÚPvZ	9.855,60	9.855,60		255,06	9.855,60	100,00 %
06	Dopracov.metodiky hodnotenia kvantitatív. a chem.stavu geoterm.ÚPvZ	6.750,74	6.750,74		670,74	6.750,74	100,00 %
07	Štatistické sprac.údajov a zostav. máp geoterm.ÚPvZ	20.433,60	20.433,60		9.649,20	20.433,60	100,00 %
08	Interpretácia a zhodnotenie geologických dát	21.000,00	21.000,00		11.400,00	21.000,00	100,00 %
09	Záverečné spracovanie	6.397,70	6.397,70		6.397,10	6.397,10	99,99 %

8. ZÁVERY A ODPORÚČANIA

Spracovaná geologická štúdia poskytuje aktualizované informácie a poznatky z realizácie geologických prác, ktoré poskytli informáciu o charaktere 31 geotermálnych útvarov podzemných vôd Slovenska. Počet útvarov a ich rozloha bola aktualizovaná v zmysle geologickej stavby a tiež v súlade s prijatou koncepciou formovania geotermálnych vôd v depresiách a panvách. Tento prístup sa prejavil v centrálnej časti Slovenska kde doteraz boli útvary vyčlenené na základe vrchnej stavby neovulkanitov a nie charakteru predterciérneho podložia.

Pre potreby hodnotenia kvantitatívneho a chemického stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd boli zostavené metodiky, ktoré po prvýkrát vytvorili porovnávaciú úroveň hodnotených útvarov a to tak z pohľadu kvantity vôd, stability chemického zloženia vôd a porovnania energetickej bilancie (model trvalo udržateľného využívania zdrojov geotermálnej energie).

Spracovaný dokument poskytuje aktualizované informácie a poznatky o realizácii geologických prác, ktorých výsledkom bol geotermálny vrt a zhrňuje realizované geologické práce na geologických úlohách na Slovensku za obdobie rokov 2011 – 2017. Získane údaje boli doplnené do databázy vrtov geotermálnych vôd a boli vytvorené prehľadné výstupy v podobe máp, tabuliek a obrázkov, ktoré sú obsahom tejto geologickej štúdie.

Kolektory geotermálnych vôd na Slovensku sú tvorené mezozoickými, najmä triasovými vápencami a dolomitmi, bazálnymi paleogénnymi klastikami (brekcie, zlepenec, pieskovce) a neogénnymi pieskmi, prípadne štrkami, pieskovicami, zlepencami, menej andezitmi a pyroklastikami. Výdatnosť vrtov sa pohybuje v rozmedzí 1,5 – 100,0 l.s⁻¹. Sumárne množstvo geotermálnych vôd z vrtov tvorí 3 084 l.s⁻¹, čomu zodpovedá sumárny tepelný výkon vrtov 465,15 MWt. Teplota geotermálnych vôd na povrchu dosahuje 18 – 129 °C. Mineralizácia geotermálnych vôd sa pohybuje v rozmedzí 0,4-90,0 g.l⁻¹. Chemické zloženie geotermálnych vôd zastupujú typy Ca-Mg-HCO₃, cez Ca-Mg- HCO₃-SO₄ až Ca-Mg-SO₄, Na-HCO₃, cez Na-HCO₃-Cl až Na-Cl a zmiešané typy medzi nimi.

V uvedenom období rokov 2011 – 2017 boli využívané zdroje geotermálnej vody na **61 lokalitách** Slovenska, čo je dokumentované nahlásenými údajmi o odbere geotermálnej vody na SHMÚ. Najväčšie množstvá geotermálnej vody boli počas tohto obdobia odoberané z útvaru centrálna depresia podunajskej panvy, levočská panva - západná a južná časť, Liptovská kotlina. Z útvaru centrálna depresia podunajskej panvy a útvaru levočská panva - západná a južná časť odobrané množstvá prekračovali hodnotu **2 mil.**

$\text{m}^3.\text{rok}^{-1}$, z útvaru Liptovská kotlina odobrané množstvá prekračovali hodnotu **1 mil.** $\text{m}^3.\text{rok}^{-1}$.

V roku 2017 bolo na Slovensku sumárne odobrané množstvo geotermálnej vody v hodnote **11 881 014** $\text{m}^3.\text{rok}^{-1}$ (**424,52** l.s^{-1}). Toto množstvo tvorilo cca 20 % z overeného množstva geotermálnej vody na Slovensku.

Z celkového počtu 31 geotermálnych útvarov bolo z pohľadu kvantitatívneho hodnotenia **28** útvarov v dobrom stave a **3** útvary boli v zlom stave. Zlý kvantitatívny stav (SK300070FK Ilavská kotlina, SK300210FK Levická kryha, SK3002600P Hornosthrásko-trenčská prepadlina) bol spôsobený najmä nízkou úrovňou (C, Odhad I., Odhad II.) zabezpečenia využiteľných množstiev geotermálnej vody.

Z pohľadu hodnotenia chemického stavu geotermálnych útvarov podzemných vôd bolo z 31 útvarov v dobrom stave **23** a **8** geotermálnych útvarov nebolo hodnotených, pretože neboli k dispozícii aktuálne chemické analýzy. Z 23 geotermálnych ÚPzV hodnotených v dobrom stave bol u **12** útvaroch tento stav hodnotený na základe nerealizácie odberu vôd, čo značí z pohľadu stability chemického zloženia vôd tu najnižšiu mieru spoľahlivosti. Pri **11** geotermálnych útvaroch bol hodnotený chemický stav ako dobrý na základe dostupných údajov o chemickom zložení, pričom z pohľadu miery spoľahlivosti hodnotenia bola dokumentovaná nízka miera u 4 útvarov, stredná miera spoľahlivosti u 5 útvarov a vysoká miera spoľahlivosti u 2 útvarov.

Energetická bilancia geotermálnych útvarov posunula ich kvantitatívne hodnotenie na vyššiu úroveň, predovšetkým u útvaroch s využitím vôd prostredníctvom reinjektáže, keďže tam je rozloha útvaru identická s jej akumulácnou oblasťou. Pri geotermálnych útvaroch, ktoré majú charakter otvorených hydrogeologických štruktúr dochádza k podhodnoteniu množstiev vôd aj energie, keďže sa neuvažuje s prestupom vody z predkvartérnych útvarov – ako príklad môže slúžiť komárňanská vysoká kryha, ktorej tranzitná a infiltračná oblasť ležia na území Maďarska. Celkový tepelno-energetický potenciál geotermálnych ÚPzV na Slovensku, $\text{TTP} = 3\,123 \text{ MWth}$ predstavuje pravdepodobne overiteľné množstvo geotermálnej energie bilancovanej pre obdobie $t_{\text{prod}} = 100$ rokov, ktorej využitie by bolo možné bez ohľadu na riziká spojené s jej využívaním.

Geotermálna voda je na Slovensku využívaná hlavne na rekreáciu (aquaparky, termálne kúpaliská) a vykurovanie (byty, skleníky, fóliovníky). V zmysle nahlásených údajov o odbere geotermálnej vody na SHMÚ bola na 40 lokalitách geotermálna voda využívaná na rekreačné účely, hlavne na plnenie bazénov. Využívatelia geotermálnych

zariadení sú najmä mestské a obecné zastupiteľstvá, poľnohospodárske družstvá a ďalšie súkromné podnikateľské subjekty.

V ďalšom období je potrebné v oblasti geologických prác pokračovať v aktualizácii databázy geotermálnych vrtov a ich využívania na základe ukončených novo realizovaných geologických prác, ktorých výsledkom je schválenie využiteľných množstiev vôd a geotermálnej energie. Potrebné je tiež pokračovať v regionálnom hodnotení geotermálnych útvarov podzemných vôd.

Geotermálnym vodám ako zdroju obnoviteľnej energie pri správnom využívaní v zmysle klasifikácie Medzinárodnej energetickej agentúry, je potrebné venovať väčšiu pozornosť, pretože Ústava Slovenskej republiky č. 460/1992 Zb. v čl. 4 (1) ustanovuje, okrem iných, že podzemné vody a prírodné liečivé zdroje sú vo vlastníctve Slovenskej republiky. Z uvedených ustanovení vyplýva, že jednotliví využívatelia geotermálnych vôd by mali dokumentovať svoje prevádzkové pomery takým spôsobom, aby bolo možné sledovať ich nakladanie s vodami.

9. LITERATÚRA A POUŽITÉ ZDROJE

- Agemar, T., Schellschmidt, R., Schulz, R., 2012: Subsurface temperature distribution in Germany. *Geothermics*, **44**, 65-77.
- Agemar, T., Weber, J., Schulz, R., 2014: Deep geothermal energy production in Germany. *Energies*, **7**, 4397-4416
- Antics, M., Papachristou, M., Ungemach, P., 2005: Sustainable heat mining. A reservoir engineering approach. In: *Proceedings 38th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, California, 1-14.
- Ascencio, C.F., Samaniego, F., Rivera, J., 2014: A heat loss analytical model for the thermal front displacement in naturally fractured reservoirs. *Geothermics*, **50**, 112-121.
- Axelsson, G., 2009: *Geothermal reservoir capacity, response prediction and management: GEO606 coursebook*. RES The School for Renewable Energy Science, Akureyri, Island, 178 s.
- Axelsson, G., 2012: The physics of geothermal energy. In: Sayigh, A. (Ed.) 2012: *Comprehensive renewable energy*. Elsevier Ltd., 1-52.
- Axelsson, G., Bromley, C., Mongillo, M., Rybach, L., 2010: The sustainability task of the International Energy Agency's Geothermal Implementing Agreement. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, Bali, Indonesia, 1-8.
- Axelsson, G., Gudmundsson, A., Steingrímsson, B., Palmasson, G., Armansson, H., Tilinius, H., Flovenz, O.G., Björnsson, S., Stefansson, V., 2001: Sustainable production of geothermal energy: suggested definition. *International Geothermal Association News Quaterly*, **43**, 1-2.
- Axelsson, G., Kristmansdottir, H., 2009: *Geothermal reservoir monitoring and forecasting: GEO606 coursebook*. RES The School for Renewable Energy Science, Akureyri, Island, 153 s.
- Axelsson, G., Stefansson, V., Björnsson, G., 2004: Sustainable utilization of geothermal resources. In: *Proceedings 29th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, CA, 1-8.
- Axelsson, G., Stefansson, V., Björnsson, G., Liu, J., 2005: Sustainable management of geothermal resources and utilization for 100-300 years. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2005*, Antalya, Turkey, 1-8.
- Axelsson, G., Stefansson, V., Xu, Y., 2002: Sustainable management of geothermal resources. In: *Proceedings Beijing International Geothermal Symposium*, Beijing, China, 277-283.
- Bajo, I., Franko, O., Grexová, S., Král, M., Mlynarčík, M., Pramuk, V., 2007: *Regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie Humenského chrbta* [Manuskript – Záverečná správa]. GEO Slovakia, Archív, Geofond, 114 s.
- Bajo, I., Franko, O., Král, M. a Grexová, S., 2004: Hydrogeotermálne zhodnotenie skorušinskej depresie. In: Podzemná voda, ročník X, 2004, č. 1/2004, s. 136 – 143.
- Bajo, I., Franko, O., Král, M., Perselenyi M., Brychta, R., Szabová, A., 1998: Skorušinská depresia – regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie [Manuskript – Záverečná správa]. GEOKONZULT a.s., Košice, 91 s.
- Bajo, I., Grexová, S., Pramuk, V., 2013: Kaluža – prehĺbenie vrtu GTH-1, podrobný hydrogeologický prieskum. Záverečná správa. Geofond Bratislava, 38 s., 10 príloh.
- 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.

- Bodiš, D., Remšík, A., Černák, R., Marcin, D., Ženišová, Z., Fláková, R., 2018: Geothermal and hydrogeological conditions, geochemical properties and uses of geothermal waters in Slovakia. In: Bundschuh J. – Tomaszewska B. (EDs.), *Geothermal Water Management*, Taylor & Francis, NY, USA, 41-69.
- Bondarenková, Z., Vranovská, A., Fendek, M. a Král, M., 1998: Centrálna depresia Podunajskej panvy oblasť Galanta – regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie. Záverečná správa. Geofond Bratislava.
- Clotworthy, A.W., Ussher, G.N.H., Lawless, J. V., Randle, J.B., 2006: Towards an industry guideline for geothermal reserves determination. *Geothermal Resource Council Transactions*, **30**, 852-859.
- Černák, D. a Bondarenková, Z., 1984: Záverečná vrtno-geologická správa o ťažobnom vrte BnB-1 Bánovce nad Bebravou. Geofond Bratislava.
- Daniel, J., 2005: Hydrogeotermálne pomery Popradskej kotliny. Mineralia Slovaca, 2/37/2005, ŠGÚDŠ Bratislava, s. 137-140.
- Daniel, J., Fendek, M., Novotný, L., Grand, T., Lučivjanský, L., Vika, K., Komoň, J., Daniel, S., Michalko, J. a Král, M., 1998: Popradská kotlina – regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie. Záverečná správa. Geofond Bratislava.
- DiPippo, R., 2005: *Geothermal power plants – principles, applications and case studies*. Butterworth – Heinemann, New York, 445 p.
- Doveri, M., Lelli, M., Marini, L., Raco, B., 2010: Revision, calibration, and application of the volume method to evaluate the geothermal potential of some recent volcanic areas of Latium, Italy. *Geothermics*, **39**, 260-269.
- Dzúrik, J. 2012: Sliach - výpočet využiteľných množstiev prírodných liečivých zdrojov, podrobný hydrogeologický prieskum. Záverečná správa. Geofond Bratislava, s. 62, ev.č. 91 718
- Dzúrik, J. a Roháčiková, A., 1995: Pozorovací systém geotermálnych vôd – komárňanská kryha VP. Záverečná správa, Geofond Bratislava.
- Dzúrik, J. a Tomana, J. 2002: Piešťany – prieskumno exploatačný vrt PM-1. Záverečná správa. Geofond, Bratislava. príl. 15, s. 71.
- Dzúrik, J., Tomana, J. a Vass, D. 2007: Rapovce geotermálny vrt GTL-2. Záverečná správa, Geofond Bratislava.
- Dzúrik, J. a Tomana, J. 2016: Revízia registrácie minerálnych zdrojov na území Trenčianskeho, Trnavského a Nitrianskeho kraja. Záverečná správa. Geofond Bratislava, 12 s., 4 prílohy
- Dzúrik, J. a Tomana, J. 2018: Revitalizácia zdroja S-3 (Kúpeľný) v Dudinciach. Záverečná správa. Geofond, Bratislava. s. 32.
- Emese, G., Tóth, G., Švasta, J., Remšík, A., Bodiš, D., Černák, R. 2013: Hydraulic and geothermal modelling on the Komárom – Štúrovo Pilot Area of the Transenergy project. IAH Central European Groundwater Conference 2013 Mórahalom, 09.05.2013. On line - <https://docplayer.net/4023868-Hydraulic-and-geothermal-modelling-on-sturovo-pilot-area-of-the-transenergy-project.html>.
- Fendek, M. a Remšík, A. 2005: Hodnotenie množstva geotermálnej vody a geotermálnej energie Liptovskej kotliny. Mineralia Slovaca, 2/37/2005, ŠGÚDŠ Bratislava, s. 131-136.
- Fendek, M. 1993: *Metódy výskumu a prieskumu geotermálnych zdrojov Slovenska* [Manuskript – Kandidátska dizertačná práca]. Katedra hydrogeológie prírodovedeckej fakulty UK, Bratislava.
- Fendek, M., Bodiš, D., Biely, A., Kullmanová, A., Gašparíková, V., Snopková, P., Král, M., Jančí, J. 1988b: *Správa o výskumnom geotermálnom vrte ZGL-1 v Bešeňovej*–

- overenie prognózných zdrojov geotermálnej energie Liptovskej kotliny– západ [Manuskript – Záverečná správa]. Archív Geofond, Bratislava, 85 s.
- Fendek, M., Bodiš, D., Havrila, M., Kohút, M. 1985: Geotermálna energia severovýchodnej časti topoľčianskeho zálivu – prognózne zásoby. Geofond Bratislava.
- Fendek, M., Bodiš, D., Havrila, M., Kohút, M., Priechodská, Z., Vozárová, A., Král, M., Jančí, J. a Franko, J. 1986: Správa o výskumnom geotermálnom vrte FGTz-1 Topoľčany. Geofond Bratislava.
- Fendek, M. a Fendeková, M., 2010: Country Update of the Slovak Republic. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, Bali, Indonesia, 1-12.
- Fendek, M. a Fendeková, M., 2015: Country Update of the Slovak Republic. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2015*, Melbourne, Australia, 1-12.
- Fendek, M., Franko, J. a Čavojová, K., 1999: Geothermal energy utilization in Slovak Republic. In: *Slovak Geol. Magazine*, Vol. 5, 1999, no. 1 – 2, Geological Survey of Slovak Republic, Bratislava, pp. 131 – 140.
- Fendek, M., Hanzel, V., Bodiš, D. a Nemčok, J., 1992: Hydrogeotermálne pomery Popradskej kotliny. Regionálna geológia Západných Karpát, séria Hydrogeológia a inž. geológia, zv. 10, Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, 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., Džuppa, P. a Komoň, J., 2004: Regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie Hornonitrianskej kotliny. Geofond, Bratislava.
- Fendek, M., Poráziková, K., Štefanovičová, D. a Supuková, M., 2002: Zdroje geotermálnych a minerálnych vôd, mapa 1 : 500 000. In: *Atlas krajiny Slovenskej republiky*, Ministerstvo životného prostredia SR & Slovenská agentúra životného prostredia, 2002, s. 214 – 215.
- Fendek, M., Remšík, A. a Fendeková, M. 2004: Aktuálny stav preskúmanosti geotermálnych vôd na Slovensku. *Geologické Práce, Správy* 110, ŠGÚDŠ Bratislava, s. 43-54.
- Fendek, M., Remšík, A. a Král, M. 1995: Geothermal energy of Slovakia. In: *Slovak Geol. Mag.*, no. 1 – 95, pp. 59 – 64.
- Fendek, M., Remšík, A., Fendeková, M. 2005: Metodika vyhľadávania, hodnotenia a bilancovania množstva geotermálnej vody a geotermálnej energie. *Mineralia Slovaca*, **37**, 2, 117-121.
- Feng, J., Zhang, Y., He, Z., Gao, Ch., Zhang, L. 2019: A discussion of methodology study on geothermal reservoir evaluating. In: *Proceedings 44th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, Stanford, CA, USA, 1-7.
- Flóvenz, O.G., Árnason, F., Finnsson, M., Axelsson, G. 1995: Direct utilization of geothermal water for space heating in Akureyri, N-Iceland. In: *Proceedings World Geothermal Congress 1995*, Firenze, Italy, 1-6.
- Flóvenz, O.G., Árnason, F., Gautason, B., Axelsson, G., Egilson, T., Stendórrson, S.H., Gunnarsson, H.S. 2010: Geothermal District Heating in Eyjafjörður, N-Iceland; Eighty Years of Problems, Solutions and Success. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2010*, Bali, Indonesia, 1-8.
- Flóvenz, O.G., Hersir, G.P., Saemundsson, K., Ármannsson, H., Fridriksson, T. 2012: Geothermal energy exploration techniques. In: Sayigh, A. (Ed.): *Comprehensive renewable energy*, Elsevier Ltd., Oxford, 44 s.
- Fox, D.B., Sutter, D., Beckers, K.F., Lukawski, M.Z., Koch, D.L., Anderson, B.J., Tester, J.W., 2013: Sustainable heat farming: modelin extraction and recovery in discretely fractured geothermal reservoirs. *Geothermics*, **46**, 42-54.
- Franko, J., Váňa, O., Beňovský, V., Takács, J., Fendek, M., Remšík, A., Michalko, J. 1993: Inventarizácia geotermálnych zdrojov a ich možného využitia na Slovensku.

Záverečná správa. Geofond Bratislava.

- Franko, O. a Remšík, A. 1981: Významný zdroj geotermálnej energie v Štúrove. Geologické práce, Správy 75, Geol. úst. D. Štúra, Bratislava, 103-120.
- Franko, O., Bodiš, D., Fendek, M., Remšík, A., Jančí, J. a Král, M. 1989: Methods of research on evaluation of geothermal resources in pore environment of Pannonian basin. Západ. Karpaty, Sér. Hydrogeol. a inž. Geol. 8, GÚDŠ, Bratislava, 165 – 192.
- Franko, O., Fusán, O., Král, M., Remšík, A., Fendek, M., Bodiš, D., Drozd, V., Vika, K., Elečko, M., Franko, J., Gross, P., Hrušecký, I., Jančí, J., Kaličiak, M., Konečný, V., Lexa, J., Marcin, D., Maťo, J., Pereszlényi, M., Pašeková, P., Pôbiš, J., Roháč, J., Slávik, M., Vass, D., Zvara, I., 1995: Atlas geotermálnej energie Slovenska. Franko, O., Remšík, A., Fendek, M. Eds., Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava, ISBN 80 – 85314 – 38 - X, s. 268
- Franko, O., Remšík, A., Fendek, M., Bodiš, D., Priečhodská, Z., Vass, D., Král, M. a Jančí, J., 1984: Geotermálna energia centrálnej depresie podunajskej panvy – prognózne zásoby. Čiastková záverečná správa. Geofond. Bratislava.
- Fričovský, B., Černák R., Marcin, D., Blanárová, V., Benková, K., Pelech, O., Fordinál, K., Bodiš, D., Fendek, M., 2020a: Geothermal energy use – Country update for Slovakia. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2020*, Reykjavik, Iceland, 1-13, (*in press*).
- Fričovský, B., Černák, R., Marcin, D., Benková, K., 2016b: A first contribution on thermodynamic analysis and classification of geothermal resources of the Western Carpathians (an engineering approach). *Slovak Geological Magazine*, **16** (1), 94-117.
- Fričovský, B., Černák, R., Marcin, D., Benková, K., Remšík, A., Fendek, M., 2016a: Engineering Approach in Classification of Geothermal Resources of the Slovak Republic (Western Carpathians). In: *Proceedings 41st Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, CA, USA, 1-10.
- Fričovský, B., Vizi, L., Fordinál, K., Surový, M., Marcin, D., 2019: A reviewed hydrogeothermal evaluation of the Ďurkov depression hydrogeothermal structure: insights from probabilistic assessment and sustainable production optimization. In: *Proceedings 44rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, CA, 1-14.
- 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 prospective*. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2020*, Reykjavik, Iceland, 1-12 (*in press*).
- Fričovský, B., Vizi, L., Surový, M., Fordinál, K., Zlocha, M., Gregor, M., Fričovská, J., 2020b: Hydrogeotermálne hodnotenie Ďurkovskej depresie: Aplikácia princípov trvalo udržateľného rezervoárového manažmentu [Manuskript – čiastková záverečná správa]. ŠGÚDŠ, Bratislava, 167 s. (*in press*).
- Fusán, O., Biely, A., Ibrmajer, J., Plančár, J., Rozložník, I. 1987: Podložie terciéru vnútorných Západných Karpát. GÚDŠ, Bratislava, 123 s.
- 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., 2000: Geothermal resource proving criteria. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, Kyushu-Tohoku, Japan, 1-8.
- Grant, M.A., 2014: Stored-heat assessments: a review in a 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.
- Gungor, A., Erbay, Z., Hepbasli, A., 2011: Exergetic analysis and evaluation of a new application of gas-engine heat pumps (GEHPs) for food drying processes. *Applied Energy*, **88**, 882-891.
- Gutiérrez-Negrín, L.C.A., Maya-González, R., Quijano-Leon, J.L., 2015: Present situation and perspectives of geothermal in Mexico. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2015*, Melbourne, Australia, 1-10.
- Halás, O., Drozd, V., Bondarenková, Z., Hlavatý, Z., 2010: Vyhľadávací a podrobný hydrogeologický prieskum na termálne vody – Šaľa, záverečná správa a výpočet množstiev podzemných vôd. Geofond, Bratislava, 61 s., 16 príloh.
- Halás, O., Drozd, V., Bondarenková, Z., Hlavatý, Z., 2011: Využitie geotermálnych vôd pre vykurovanie mesta Sereď, záverečná správa a výpočet množstiev podzemných vôd. Geofond, Bratislava, 81 s., 11 príloh.
- Hlavatý, Z., 2008: Nesvady – geotermálny vrt GN-1 – podrobný hydrogeologický prieskum, záverečná správa. Geofond, Bratislava, 78 s., 5 príloh.
- Hlavatý, Z., 2011: Stanovenie využiteľného množstva geotermálnej vody z vrtu VŠ-1 v Štúrove, záverečná správa. Geofond, Bratislava, 61 s., 3 prílohy.
- Kaya, E., Zarrouk, S.J., O'Sullivan, M.J., 2011: Reinjection in geothermal fields: A review of worldwide experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **15**, 47–68.
- Kjaran, S.P., Eliasson, J., 2008: *Geothermal reservoir engineering*. UNU Geothermal Training Programme, Reykjavik, Iceland, 248 s.
- Kohl, T., Andenmatten, N., Rybach, L., 2003: Geothermal resource mapping – example from northern Switzerland. *Geothermics*, **32**, 721-732.
- Konečný Konečný, V., Lexa, J., Halouzka, R., Hók, J., Vozár, J., Dublan, L., Nagy, A., Šimon, L., Havrila, M., Ivanička, J., Hojstričová, V., Miháliková, A., Vozárová, A., Konečný, P., Kovačíková, M., Filo, M., Marcin, D., Klukanová, A., Liščák, P., Žaková, E. 1998: Vysvetlivky ku geologickej mape Štiavnických vrchov a Pohronskeho Inovca (štiavnický stratovulkán) 1: 50 000. II. diel. Geologická služba Slovenskej republiky, Bratislava. ISBN 80-85314-93-2, 371-390
- Král, M. a Vitaloš, R. 2008: Zhodnotenie technického stavu geotermálne vrtu KG-1 Kechenec. Technická správa. Geothermex, Pezinok. 9 s., 4 prílohy.
- Král, M., Šujan, M., Vitaloš, R., Hók, J., Nagy, A., Šipka, F., 2016: Geotermálny vrt GRS-1 Rimavské Janovce – hydrogeologický prieskum geotermálnych vôd, etapa - podrobný hydrogeologický prieskum. Záverečná správa. Geofond, Bratislava. 180 s., 6 príloh.
- Kullman, E. ml, Malík, P., Patschová, A., 2004: Transpozícia rámcovej smernice o vodách 2000/60/ES a jej dopad na hodnotenie podzemných vôd na Slovensku. Podzemná voda X/2004 č.1, Slovenská asociácia hydrogeológov, Bratislava, 6-13.
- Kullman, E., Malík, P., Patschová, A., Bodiš, D., 2005: Vymedzenie útvarov podzemných vôd na Slovensku v zmysle rámcovej smernice o vodách 2000/60/ES. Podzemná voda XI/2005 č.1, Slovenská asociácia hydrogeológov, Bratislava, 5-18.
- Lee, K.C., 1996: Classification of geothermal resources – an engineering approach. In: *Proceedings 21st Workshop on geothermal reservoir engineering*, Stanford University, CA, USA, 1-8.

- Lee, K.C., 2001: Classification of geothermal resources by exergy. *Geothermics*, **30**, 431-442.
- Lund, J.W., Boyd, T., 2015: Direct utilization of geothermal energy 2015: worldwide review. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2015*, Melbourne, Australia, 1 – 31.
- Lund, J.W., Tóth, A., 2020: Direct utilization of geothermal energy 2020: worldwide review. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2020*, Melbourne, Australia, 1 – 39.
- Marcin, D., Benková, K., Bodiš, D., Michalko, J., Fajčíková, K., Hlavatý, Z., Erdélyi, B., Homoki, B., Repková, R., Veis, P., Čech, P. 2013: Zistenie využiteľného množstva geotermálnej vody z vrtov Č-1 a Č-2 vo Veľkom Mederi. Záverečná správa. Geofond Bratislava, 137 s., 7 príloh.
- Marcin, D., Benková, K., Fričovský, B., 2016: Hodnotenie geotermálnych vôd Slovenska – aktualizácia. Geologická štúdia. Manuskriptum ŠGÚDŠ. 43 s., 5 príloh.
- Marcin, D., Elečko, M., Polák, M., Boorová, D., Zlínska, A., Malík, P., Michalko, J., Švasta, J., Kordík, J., Krčmová, K., Maďar, D., Kubeš, P., Kucharič, Ľ., Pašteka, R., Olejník, M., Hodák, Ľ., Bottlik, F., Černák, R., Gregor, M., Bačová, N., Lenhardtová, E., Hrdlovič, R., Repková, R., Juhás, M., Makovská J., Král, J., Čech, P., Harčová E., Gluch, A. 2009: Hydrogeotermálne zhodnotenie Rimavskej kotliny. Regionálny geologický výskum. Záverečná správa. Geofond, Bratislava, 264 s., 29 príloh
- Marcin, D., Elečko, M., Polák, M., Boorová, D., Zlínska, A., Michalko, J., Švasta, J., Fajčíková, K., Bottlik, F., Černák, R., Bajtoš, P., Jurčák, S., Repková, R., Vršková, M., Makovinská, J., Král, J., Čech, P., Harčová, M., Grolmusová, Z., Veis, P., Šivo, A., Richtáriková, M. 2011: Regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie fatrika Rudnianskej kotliny. Záverečná správa. Geofond Bratislava. 244 s.
- Marcin, D., Kordík, J., Michalko, J., Bottlik, F., Mikita, S., Gregor, M. 2008: Návrh ochranných pásiem prírodných liečivých zdrojov v Piešťanoch. Manuskript – archív Inšpektorátu kúpeľov a žriediel Ministerstva zdravotníctva SR, Bratislava, 131s.
- Marcin, D., Vranovská, A., Král, M., Dzúrik, J., Hók, J., Jánošík, E., Kovács, T., Richtáriková, M., Šipka, F., Šivo, A., Šujan, M., Vitaloš, R., Baracková, K., Benková, K., Bilohuščin, J., Bottlik, F., Čech, P., Doboš, V., Jankulár, M., Komoň, J., Michalko, J., Prohászka, A., Švasta, J., Ujpál, Z. 2017: Geotermálny zdroj Piešťany - vrt GTP-1. Podrobný hydrogeologický prieskum. Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava. Geothermex, Pezinok. Z-group, a. s., Nové Mesto nad Váhom. s. 211, príl. 4, d. 1. (E.č.: 97 364)
- Méryová, E. 2000: Partizánske – hydrogeotermálny vrt HGTP-1. Záverečná správa, Geofond, Bratislava.
- Méryová, E., Frličková, M., Urbaník, J., Méry, V., Kovářík, K., Drahoš, M., Soták, Š., Michalko, J. 2011: Piešťany - výpočet množstiev minerálnych vôd, vyhladávací HGP. INGEO-IGHP, Žilina. Hydrogeologický prieskum. E.č.: 91582. s. 154
- Méryová, E., Urbaník, J., Frličková, M., Méry, V. 2013: Kamenná Poruba - vrt RTŠ-1, využiteľné množstvo termálnej vody, podrobný hydrogeologický prieskum. Záverečná správa. Geofond, Bratislava. 70 s., 5 príloh
- Mlynarčík, M., Bajo, I., Burčová, M. 2009: Revízia registrácie minerálnych zdrojov na území Košického kraja – okresy Sobrance, Michalovce, Trebišov, Gelnica, Spišská Nová Ves, Rožňava, Košice I-IV. a Košice – okolie. Záverečná správa. Geofond Bratislava, 13 s., 9 príloh
- Mlynarčík, M., Bajo, I., Burčová, M., Adzimová, K. 2010: Revízia registrácie minerálnych zdrojov na území vybraných okresov Prešovského kraja – okresy Snina, Humenné, Medzilaborce, Vranov nad Topľou a Stropkov. Záverečná správa. Geofond Bratislava, 13 s., 6 príloh

- Mlynarčík, M., Bajo, I., Burčová, M., Pramuk, V., Adzimová, K., Syčev, V. 2011: Revízia registrácie minerálnych zdrojov na území vybraných okresov Prešovského kraja – okresy Svidník, Prešov, Bardejov a Sabinov. Záverečná správa. Geofond Bratislava, 27 s., 9 príloh
- Muffler, L.P.J. & Cataldi, R. 1978: Methods for regional assessment of geothermal resources. *Geothermics*, **7**, 53-89.
- Ozgener, L., Hepbasli, A., Dincer, I., Rosen, M.A., 2007: A key review on performance improvement aspects of geothermal district heating systems and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **11**, 1675-1697.
- Ozgener, L., Hepbasli, A., Dincer, I. 2005: Energy and exergy analysis of geothermal district heating systems: an application. *Building and Environment*, **40**, 1309-1322.
- Phillips, J. 2010: Evaluating the level and nature of sustainable development for a geothermal power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**, 2414-2425.
- Poórová, J., L. Blaškovičová, E. Kullman, M. Dobiášová, A. Žákovičová, D. Panák, G. Kosmálová, V. Píš, E., Matisová, 2007. Komplexný monitorovací systém životného prostredia územia Slovenskej republiky. Čiastkový monitorovací systém – voda 2006. Bratislava: Slovenský hydrometeorologický ústav.
- Remšík, A. 1993: Geotermálna energia Košickej kotliny. Geologické Práce, Správy 98, GÚDŠ, Bratislava, s. 29-36.
- Remšík, A. 1985: Energia geotermálnych vôd Levickej kryhy. Zborník prednášok z I. konferencie "Komplexné využitie geotermálnych vôd SSR". Výskumný ústav vodného hospodárstva, Bratislava, 197-310.
- Remšík, A. a Černák, R., 2007: Základný hydrogeologický výskum Handlovskej kotliny. Projekt geologickej úlohy. Manuskript, ŠGÚDŠ Bratislava, 64 s.
- Remšík, A. a Fendek, M. 1995: Geotermálna energia Slovenska so zreteľom na východoslovenský región. Zborník referátov z konferencie III. Geologické dni Jána Slávika. Konferencie-sympóziá-semináre, GÚDŠ, Bratislava 1995. s. 131-136.
- Remšík, A., Bodiš, D., Fendek, M., Král, M. a Zbořil, L. 1989: Methods of Research and Evaluation of Geothermal Energy Reserves in a Fissure-Karst Setting of the Slovak part of the Vienna Basin. Západ. Karpaty. Sér. Hydrogeol. a Inž. Geológia, GÚDŠ, Bratislava, 193-205.
- Remšík, A., Černák, R. 2011: Hydrogeologický vrt RH-1 v Handlovej, čiastková záverečná správa geologickej úlohy „Základný hydrogeologický výskum Handlovskej kotliny“. Geofond Bratislava, 10 s., 10 príloh.
- Remšík, A., Fendek, M., Bodiš, D., Král, M., Zbořil, L., Kantor, J. a Puchnerová, M., 1985: Geotermálna energia viedenskej panvy – prognózne zásoby. Čiastková záverečná správa. Geofond, Bratislava.
- Remšík, A., Fendek, M., Král, M., Bodiš, D. a Michalko, J. 1993: Geotermálna energia Liptovskej kotliny. Geofond Bratislava. 97 s.
- 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., Franko, O. a Bodiš, D. 1992: Geotermálne zdroje komárňanskej kryhy. Záp. Karpaty, sér. hydrogeológia a inž. geológia, 10, GÚDŠ, Bratislava, 159-199.
- Remšík, A., Franko, O., Biely, A., Gross, P., Hanáček, J., Vass, D., Lizoň, I., Zbořil, L., Bodiš, D., Gazda, S. 1979: Základný výskum geotermálnych zdrojov komárňanskej vysokej kryhy. Záverečná správa. E. č.: 45420. Geofond Bratislava.

- Remšík, A., Helma, J. a Marcin, D., 2000a: Niektoré poznatky o geotermálnych a minerálnych vodách v regióne Banská Štiavnica. Podzemná voda, roč.VI.,č.2, SAH, Bratislava, 93-101.
- Remšík, A., Konečný, V., Fendek, M., Král, M., Lexa, J., Hók, J., Maďar, D., Grand, T., Weis, K., Šefara, J., Vika, K. a Drozd, V. 2000b: Regionálne hydrogeotermálne zhodnotenie Žiarskej kotliny. Záverečná správa, Archív ŠGÚDŠ Bratislava.
- Remšík, A., Maďar, D., Grand, T., Konečný, V., Šefara, J., Král, M., Vrana, K., Weis, K., Marcin, D., Helma, J. a Lexa, J. 1998: Región Banská Štiavnica – prognózy minerálnych a termálnych vôd pre kúpeľníctvo, rekreáciu a cestovný ruch. Záverečná správa. Archív Esprit, spol. s r. o., Banská Štiavnica.
- Remšík, A., Malík, P., Bajtoš, P., Rapant, S., Bottlik, F., Bačová, N., Michalko, J., Benková, K., Krčmová, K., Fendek, M., Marcin, D., Černák, R., Helma, J., Šimon, L., Mrosko, J., Moravská, A., Maďar, D., Weis, K., Grand, T., Ujpál, Z., Šivo, A., Richtáriková, M., Jánošík, E., Kováčik, J. a Daříček, A. 2007a: Neovulkanity severných svahov Štiavnických vrchov – vyhládavací hydrogeologický prieskum. Záverečná práva, Geofond Bratislava.
- Remšík, A., Polák, M., Fordinál, K., Boorová, D., Vančková, 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, Z. a Hodák, Ľ., 2007b: Hydrogeotermálne zhodnotenie Topoľčianskeho zálivu. Záverečná správa, Geofond Bratislava.
- Remšík, A., Švasta, J., Marcin, D., Benková, K., Černák, R., Mikita, S., Bottlik, F., Kováčová, E., Bahnová, B., Jurčák, S., Pažická, A., Gregor, M., Tóthová, K., Fajčíková, K., Cvečková, V., Kováčik, M., Siráňová, Z., Buček, S., Bačová, N., Záhorová, Ľ., Lenhardtová, E. 2011: Hodnotenie útvarov geotermálnych vôd. Záverečná správa. Geofond, Bratislava, 108 s., 10 príloh.
- Rubinstein, R.Y., Kroese, D.P. 1991: Simulation and Monte Carlo method, 2nd Edition. Wiley- Interscience, USA.
- Rudinec, R. 1989: Zdroje ropy, zemného plynu a geotennálnej energie na východnom Slovensku. Alfa, Bratislava, 162 s.
- Sanyal, S.K., Butler, S.J. 2005: An analysis of power generation prospects from Enhanced Geothermal Systems. Geothermal Resource Council Transactions, **29**, 131-137.
- Sanyal, S.K., Eneedy, S.L. 2011: Fifty years of power generation at The Geysers geothermal field, California – lessons learned. In: Proceedings 36th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, CA, 1-9.
- Sanyal, S.K., Henneberger, R.C., Klein, C.W., Decker, R.W. 2002: A methodology for assessment of geothermal energy reserves associated with volcanic systems. Geothermal Resources Council Transactions, **26**, 59-64.
- Sanyal, S.K., Sarmiento, Z.F. 2005: Booking geothermal energy reserves. Geothermal Resource Council Transactions, **29**, 467-474.
- Sarmiento, Z.F., Steingrímsson, B., Axelsson, G. 2013: Volumetric resource assessment. In: Proceedings Short Course V on Conceptual Modelling of Geothermal Systems, UNU- GTP, Santa Tecla, El Salvador, 1-15.
- Shortall, R., Davidsdottir, B., Axelsson, G. 2015a: Geothermal energy for sustainable development: A review of sustainability impacts and assessment frameworks. Renewable and Sustainable Energy Reviews, **44**, 391-406.
- Shortall, R., Davidsdottir, B., Axelsson, G. 2015b: Methodology for designing a sustainability assessment framework for geothermal energy developments. In: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 1-10.

- Shortall, R., Kharazzi, A. 2017: Cultural factors of sustainable energy development: A case study of geothermal energy in Iceland and Japan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **79**, 101-109.
- Stefansson, V., Axelsson, G. 2005: Sustainable utilization of geothermal resources through stepwise development. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2005*, Antalya, Turkey, 1-6.
- Steingrímsson, B., Axelsson, G., Stéfansson, V. 2006: Reservoir management and sustainable use of geothermal energy. In: *Proceedings UNU-GTP Workshop on Decision Makers on Geothermal Projects*, San Salvador, El Salvador, 1-13.
- Sutter, D., Fox, D.B., Anderson, B.J., Koch, D.L., von Rohr, P.R., Tester, J.W. 2011: Sustainable Heat Farming of Geothermal Systems: a Case Study of Heat Extraction and Thermal Recovery in a Model EGS Fractured Reservoir. In: *Proceedings 36th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering*, Stanford University, CA, USA, 1-11.
- Svalova, V., Povarov, K. 2015: Geothermal energy use in Russia – Country update for 2010 –2015. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2015*, Melbourne, Australia, 1 – 5.
- Šindlár, V., Novobilský, R., Hečko, J., Vajdová, B., Huňáček, P., Musil, M., Vandrová, G., Mýtny, M., Král, M., Jančí, J., Matějčková, E. 1990: Belušké Slatiny – Průzkuný hydrogeologický vrt BHS-3. Závěrečná správa. Geofond, Bratislava. 66 s, 12 příl., E.č.: 75457
- Šuba, J., Bujalka, P., Cibul'ka, L., Frankovič, I., Hanzel, V., Kullman, E., Porubský, A., Pospíšil, P., Škvarka, L., Šubová, A., Tkáčik, P., Zakovič, M. 1984: Hydrofond 14. Hydrogeologická rajonizácia Slovenska. 2. vydanie. SHMÚ Bratislava, 308 s.
- Tester, J.W., Anderson, B.J., Batchelor, A.S., Blackwell, D.D., DiPippo, R., Drake, E.M., Garnish, J., Livesay, B., Moore, M.C., Nichols, K., Petty, S., Toksoz, M.N., Veatch Jr., R.W. 2006: The future of geothermal energy. *Massachusetts Institute of Technology*, 372.
- Tupý, P., Nigrínyová, J., Poništ, M., Mihalkovič, J., Vasil'ko, T., Verseghe, R., Seko, M., Pitoňák, P., Pilko, M. 2014: Revízia registrácie minerálnych zdrojov na území Banskobystrického kraja. Závěrečná správa. Geofond Bratislava, 47 s., 13 príloh
- Ungemach, P., Antics, M., Lalos, P. 2009: Sustainable geothermal reservoir management practice. *Geothermal Resources Council Transactions*, **33**, 885-891.
- Ungemach, P., Antics, M., Papachristou, M. 2005: Sustainable geothermal reservoir management. In: *Proceedings World Geothermal Congress 2005*, Antalya, Turkey, 1-8.
- Ungemach, P., Papachristou, M., Antics, M. 2007: Renewability versus Sustainability. A reservoir management approach. In: *Proceedings, European Geothermal Congress 2007*, Unterhaching, Germany.
- Utlü, Z., Hepbasli, A. 2008: Energetic and exergetic of the industrial sector at varying dead (reference) state temperatures: A review with an illustrative example. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **12**, 1277-1301.
- Vandrová, G., Štefanka, P. 2014: Turčianske Teplice - Vieska - revízia exploatačných podmienok zdroja TTK-1, podrobný hydrogeologický prieskum, závěrečná správa. Geofond Bratislava, 130 s., 5 prílohy.
- Vandrová, G., Štefanka, P. 2015: Revízia registrácie minerálnych zdrojov na území Žilinského a Bratislavského kraja. Závěrečná správa. Geofond Bratislava, 52 s., 20 príloh

- Vandrová, G., Štefanka, P., Hók, J., Sýkora, M., Vitaloš, R. 2011: Bešeňová – geotermálny vrt FGTB-1, 1. a 2. etapa, podrobný hydrogeologický prieskum, záverečná správa. Geofond Bratislava, 161 s., 10 príloh
- Vandrová, G., Štefanka, P., Chorvatovičová, M. 2012: Pavčina Lehota - revízia exploatačných podmienok zdroja FGL-1, podrobný hydrogeologický prieskum, záverečná správa. Geofond Bratislava, 70 s., 4 prílohy.
- Vandrová, G., Štefanka, P., Jasovský, Z., Hók, J., Vrana, K., Michalko, J., Ujpál, Z. 2014: Piešťany - hydrogeologický vrt VLÚ-3. Podrobný hydrogeologický prieskum. ENVIGEO, Banská Bystrica. 203 s. 10 príl.
- Vass, D., Began, A., Gross, P., Kahan, Š., Köhler, E., Lexa, J., Nemčok, J. 1988: Regionálne geologické členenie Západných Karpát a severných výbežkov Panónskej panvy na území ČSSR 1 : 500 000. Geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava.
- Vass, D. a Dzúrik, J. 2007: Nová perspektívna oblasť s geotermálnymi vodami. Zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou „Geotermálne vody ich využitie a zneškodňovanie“. 5.-8. 11. 2007 Aqua Park – Tatralandia, MŽP SR, MH SR, VÚVH, ŠGÚDŠ, VÚVTGM ČR, EP&WMRI Kth, VITUKI Kht, HU, SVS, ZSVTS pri VÚVH, ZZVH, SGA, Profi-Invest Zakopané.
- Vrana, K., Fendek, M., Panáček, A., Drexler, V., Szalaiová, V., Reháková D. 2009: geotermálny vrt GZV Nové Mesto nad Váhom – Zelená Voda. Záverečná správa. Geofond Bratislava, 90 s., 6 príloh
- Vrana, K., Skaviniak, M. 2013: Obec Vyhne - stanovenie využiteľného množstva termálnej vody v kategórii B pre vrt H-1. Záverečná správa z podrobného hydrogeologického prieskumu. Geofond Bratislava. 94 s., 4 prílohy.
- Vranovská, A., Bondarenková, Z., Král, M. a Drozd, V. 1999: Košická kotlina – štruktúra Ďurkov – hydrogeotermálne zhodnotenie. Záverečná správa. Geofond. Bratislava. (ID 83225), 90 s.
- 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. 2004: Development of revised techniques for assessing geothermal resources. In: Proceedings 29th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, CA.
- Williams, C.F. 2010: Thermal energy recovery from enhanced geothermal systems-evaluating the potential from deep, high-temperature resources. In: Proceedings 35th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, CA, s. 1-7.
- Williams, C.F. 2014: Evaluating the volume method in the assessment of identified geothermal resources. Geothermal resource council transactions, **38**, 967-974.
- Williams, C.F., Reed, M.J., Anderson, A.F. 2011: Updating the classification of geothermal resources. In: Proceedings 36th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, 1-8.
- Williams, C.F., Reed, M.J., Mariner, R.H. 2008: A review of method applied by the U.S. Geological Survey in the assessment of identified geothermal resources. U.S. Geological Survey open file report, 2008-1296, Renton, VI, s. 1-30.
- Yasukawa, K., Sasada, M. 2015: Country update of Japan: Renewed Opportunities. In: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 1-6.
- Zakovič, M. Bodiš, D., Fendek M., Potfaj, M., Gabauer, G., Bálint, J. 1988: Geologický výskum jódo-brómových vôd vo vybraných oblastiach SSR. Manuskript – archív ŠGÚDŠ Bratislava, 68 s.
- Zakovič, M. Bodiš, D., Fendek M., Potfaj, M. 2009 Jódo-brómové podzemné vodv oblasti Oravskej Polhory. Podzemná voda. XV 2/2009.SAH, Bratislava. str. 239

- Žitňan, M. 2011: Sklené Teplice - vrt STH-2 - využiteľné množstvá podzemných vôd v kategórii B, podrobný hydrogeologický prieskum. Záverečná správa. Geofond Bratislava, 63 s., 1 príl..
- Žitňan, M. 2012: Vyhne - Hotel Termál - vrt H-2 čerpacia skúška pre stanovenie využiteľných množstiev podzemných vôd v kategórii B. Záverečná správa z doplnkového hydrogeologického prieskumu. Geofond Bratislava, 46 s., 2 prílohy.
- Ústavný zákon č. 460/1992 Zb. Ústava Slovenskej republiky (v znení č. 244/1998 Z. z., 9/1999 Z. z., 90/2001 Z. z., 90/2001 Z. z., 140/2004 Z. z., 323/2004 Z. z., 323/2004 Z. z., 463/2005 Z. z., 92/2006 Z. z., 210/2006 Z. z., 100/2010 Z. z., 356/2011 Z. z., 232/2012 Z. z., 161/2014 Z. z., 306/2014 Z. z., 427/2015 Z. z., 44/2017 Z. z., 71/2017 Z. z., 137/2017 Z. z., 40/2019 Z. z., 40/2019 Z. z., 99/2019 Z. z.)
- Uznesenie vlády SR č. 73/2012 Koncepcia geologického výskumu a geologického prieskumu územia SR na roky 2012 - 2016 (s výhľadom do roku 2020)
- Smernica 2000/60/ES Európskeho parlamentu a Rady z 23. októbra 2000 ustanovujúca rámec pôsobnosti spoločenstva v oblasti vodnej politiky. Úradný vestník Európskych spoločenstiev, Brusel, 67.
- Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 452 zo 4. decembra 2019, ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 282/2010 Z. z., ktorým sa ustanovujú prahové hodnoty a zoznam útvarov podzemných vôd.
- Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 282 z 9. júna 2010, ktorým sa ustanovujú prahové hodnoty a zoznam útvarov podzemných vôd. Zbierka zákonov č. 282/2010. Čiastka 110. s. 2324-2333.
- Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 416 z 9. novembra 2011 o hodnotení chemického stavu útvaru podzemných vôd. Zbierka zákonov č. 416/2011. Čiastka 128. s. 3614-3616.
- Nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 496 z 8. decembra 2010, ktorým sa mení a dopĺňa nariadenie vlády Slovenskej republiky č. 354/2006 Z. z., ktorým sa ustanovujú požiadavky na vodu určenú na ľudskú spotrebu a kontrolu kvality vody určenej na ľudskú spotrebu.
- Vyhláška Ministerstva zdravotníctva Slovenskej republiky zo 6. februára 2006, ktorou sa ustanovujú požiadavky na prírodnú liečivú vodu a prírodnú minerálnu vodu, podrobnosti o balneologickom posudku, rozdelenie, rozsah sledovania a obsah analýz prírodných liečivých vôd a prírodných minerálnych vôd a ich produktov a požiadavky pre zápis akreditovaného laboratória do zoznamu vedeného Štátnou kúpeľnou komisiou, Z. z. č. 100/2006, 22.2.2016 (časová verzia predpisu účinná od 01.09.2020), s. 1-14. Dostupné z: <https://www.slov-lex.sk/pravne-predpisy/SK/ZZ/2006/100/20200901>
- Zákon č. 44/1988 Zb. Zákon o ochrane a využití nerastného bohatstva (banský zákon) (v znení č. 166/1988 Zb., 498/1991 Zb., 558/2001 Z. z., 203/2004 Z. z., 587/2004 Z. z., 479/2005 Z. z., 219/2007 Z. z., 219/2007 Z. z., 577/2007 Z. z., 73/2009 Z. z., 104/2010 Z. z., 114/2010 Z. z., 258/2011 Z. z., 311/2013 Z. z., 160/2014 Z. z., 285/2014 Z. z., 314/2014 Z. z., 374/2014 Z. z.)
- Zákon č. 364/2004 Z.z. o vodách a o zmene a doplnení zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon) v znení zákona č. 587/2004 Z. z., zákona č. 230/2005 Z. z., zákona č. 479/2005 Z. z., zákona č. 532/2005 Z. z., zákona č. 359/2007 Z. z., zákona č. 514/2008 Z. z., zákona č. 515/2008 Z. z., zákona č. 384/2009 Z. z. , zákona č. 134/2010 Z. z. , zákona č. 556/2010 Z. z., zákona č. 258/2011 Z. z., zákona č. 408/2011 Z. z., zákona č. 306/2012 Z. z., zákona č. 180/2013 Z. z., zákona č. 35/2014 Z. z., zákona č. 409/2014

Z. z. , zákona č. 262/2015 Z. z., zákona č. 303/2016 Z. z., zákona 277/2017 Z. z., zákona č. 51/2018 Z. z., zákona č. 177/2018 Z. z. a zákona č. 284/2018 Z. z., zákona č. 305/2018 Z. z. a zákona č. 74/2020 Z. z. /Poznámka: Ústavný zákon č. 306/2014 Z. z., ktorým sa dopĺňa Ústava Slovenskej republiky č. 460/1992 Zb. v znení neskorších predpisov – čl. 4 ods. 2 „Preprava vody odobratej z vodných útvarov nachádzajúcich sa na území Slovenskej republiky cez hranice Slovenskej republiky dopravnými prostriedkami alebo potrubím sa zakazuje“.

Zákon č. 538/2005 Z. z. Zákon o prírodných liečivých vodách, prírodných liečebných kúpeľoch, kúpeľných miestach a prírodných minerálnych vodách a o zmene a doplnení niektorých zákonov (v znení č. 276/2007 Z. z., 661/2007 Z. z., 461/2008 Z. z., 362/2011 Z. z., 459/2012 Z. z., 459/2012 Z. z., 153/2013 Z. z., 153/2013 Z. z., 374/2014 Z. z., 77/2015 Z. z., 77/2015 Z. z., 91/2016 Z. z., 125/2016 Z. z., 177/2018 Z. z., 177/2018 Z. z.)

Zákon č. 569/2007 Z. z. o geologických prácach (geologický zákon) v znení zákona č. 515/2008 Z. z., zákona č. 384/2009 Z. z., zákona č. 110/2010 Z. z., zákona č. 136/2010 Z. z., zákona č. 145/2010 Z. z. a zákona č. 268/2010 Z. z., zákona č. 258/2011 Z. z., zákona č. 409/2011 Z. z., zákona č. 311/2013 Z. z. , zákona č. 160/2014 Z. z., zákona č. 91/2016 Z. z., zákona č. 125/2016 Z. z., zákona č. 315/2016, zákona č. 147/2017 Z. z., zákona č. 292/2017 Z. z., zákona č. 49/2018 Z. z. , zákona č. 51/2018 Z. z., zákona č. 177/2018 Z. z., zákona č. 353/2018 Z.z., zákona č. 221/2019 Z. z. a zákona č. 74/2020 Z. z.