

Nová hydrochemická zonace minerálních vod Slavkovského lesa

New hydrochemical zonation of mineral waters in the Slavkovský les

DAVID-AARON LANDA^{1,2} – JAN HOLEČEK¹ – IVA KŮRKOVÁ¹ –
TOMÁŠ VYLITA^{1,3} – VLADIMÍR ŽÁČEK¹ – JAKUB MAREŠ² –
LUCIE JURKOVSKÁ¹

¹ Česká geologická služba, Klárov 131/3, 118 00 Praha 1;
david.landa@geology.cz

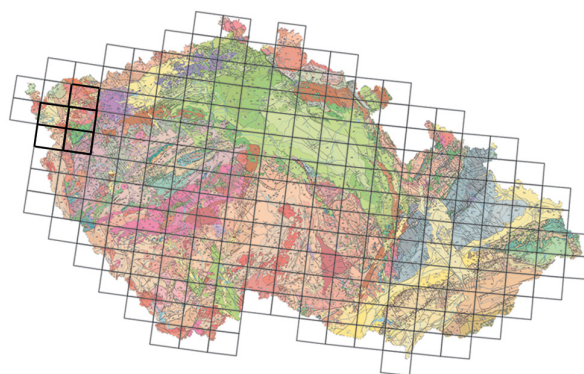
² Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky,
Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Albertov 6, 128 43 Praha 2

³ Institut lázeňství a balneologie, v. v. i., Závodní 353/88, 360 06
Karlovy Vary

Please cite this article as: Landa, D. – Holeček, J. – Kůrková, I. –
Vylita, T. – Žáček, V. – Mareš, J. – Jurkovská, L. (2025):
Nová hydrochemická zonace minerálních vod Slavkovského lesa. –
Geosciences Research Reports, 58, 2, 71–84. (in Czech)

Key words: Slavkovský les, hydrogeology, hydrochemistry, mineral waters, hydrochemical zonation of mineral waters, Mariánské Lázně, Karlovy Vary

Summary: The west Bohemian region hosts globally unique CO₂-rich mineral waters associated with Cenozoic intra-plate volcanism and major tectonic structures, including the Mariánské Lázně Fault. While principal balneological sources are state-protected, which requires monitoring of their chemistry, numerous locally used smaller springs within the Slavkovský les (Protected Landscape Area) lack systematic hydrogeochemical characterization. This study addresses this critical knowledge gap through a comprehensive hydrogeological investigation. We have mapped and conducted detailed physicochemical analyses of 178 mineral springs across a 955.7 km² study area. The results demonstrate a direct lithological control on water chemistry. Based on cluster analysis, the springs



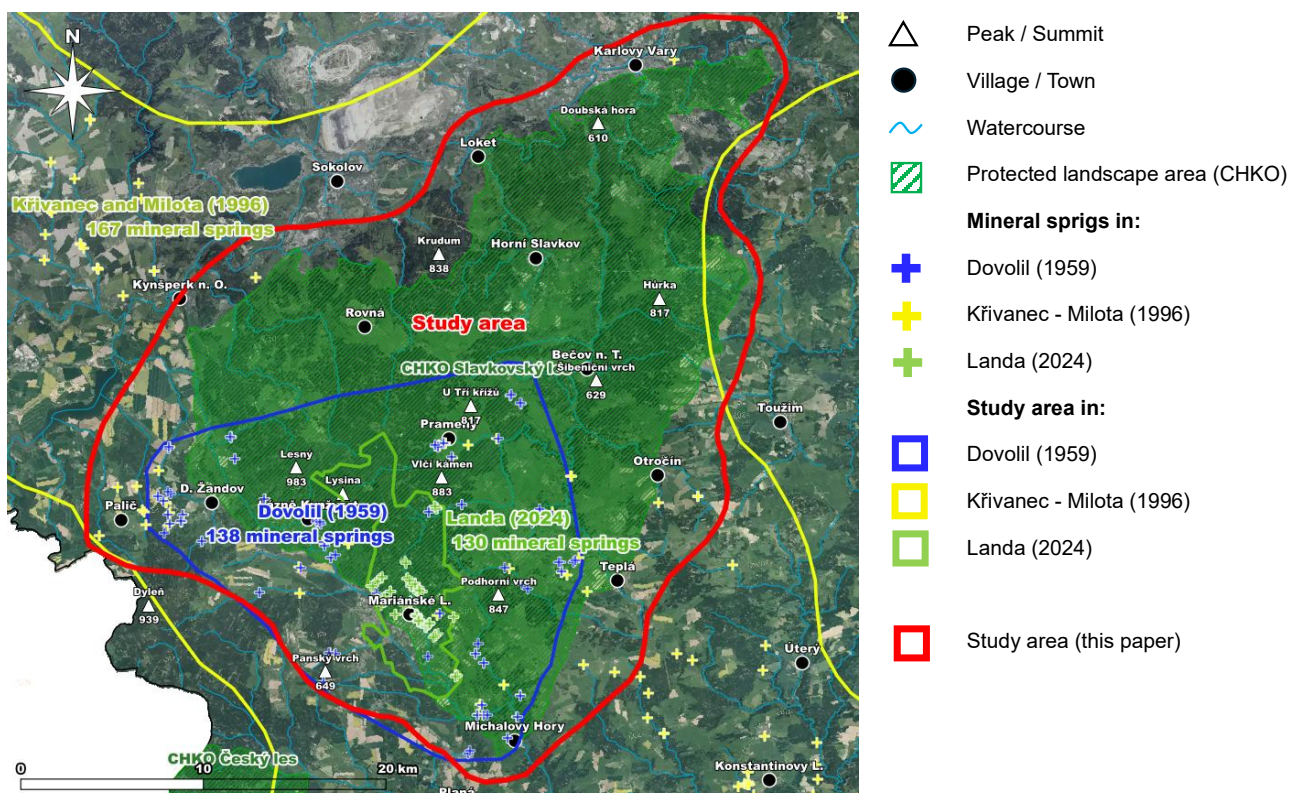
(11-14 Cheb, 11-21 Karlovy Vary, 11-23 Sokolov, 11-32 Lázně
Kynžvart, 11-41 Mariánské Lázně)

were classified into five distinct hydrochemical facies: (1) Mg-HCO₃ type, unequivocally linked to serpentinite weathering; (2) Ca-HCO₃ type, associated with amphibolite terrains; (3) high-TDS Na-HCO₃/SO₄ type ("Karlovy Vary type"), resulting from deep circulation with potential interaction with residual Miocene brines; (4) transitional Ca-Na-HCO₃ facies; and (5) probably anthropogenically influenced springs with molar Na-Cl ratio 0.6–1.2. Temporal monitoring of representative springs revealed significant chemical stability, indicating well-buffered systems largely resilient to seasonal hydrological changes. The majority of springs exhibited pristine quality, with nitrate concentrations consistently below the 0.1 mg/l detection limit. This research provides the first systematic hydrogeochemical inventory of the Slavkovský les after more than 60 years. It establishes a critical scientific baseline for the implementation of evidence-based protection strategies and underscores the necessity of extending this systematic evaluation to adjacent, uncharacterized regions.

Zdroje minerálních vod západních Čech jsou v některých ohledech jedinečné v celosvětovém měřítku. Ať již jde o termální prameny v Karlových Varech, radioaktivní prameny v Jáchymově či silně mineralizované prameny ve Františkových Lázních. Definovaná ochranná pásma a monitorovací systém fyzikálních, fyzikálně-chemických, chemických a mikrobiologických vlastností vedle výše jmenovaných mají i Mariánské Lázně, Lázně Kynžvart a Konstantinovy Lázně. V celé oblasti se však nachází mnoho desítek lokálních výstupních struktur volně se vyskytujících proplyněných vod bez odpovídající ochrany a bez monitorování. Jsou sice většinou součástí vnějších ochranných pásem přírodních léčivých zdrojů Mariánských Lázní a Lázní Kynžvart, to však nelze v některých případech považovat za dostatečné, např. s ohledem na chybějící

pravidelné odběry vzorků vody na chemickou či fyzikálně-chemickou analýzu. To lze považovat za fundamentální nedostatek zejména v místech, kde lázeňští pacienti prameny hojně využívají k pitné kúře. Zvýšenou ochranu mimo výše uvedené lázně mají pouze zdroje minerální vody Dolního Kramolína, Hoštce, Farské Kyselky, Kyselického Hamru a oblasti Nové Vsi, Louky a Mnichova. Jedním z důvodů je i to, že doposud nebyly jednotně hydrogeologicky dokumentovány všechny vývěry. Jde zejména o oblast Tepelské vrchoviny a Slavkovského lesa, které jsou na počet pramenů minerálních vod nejbohatší.

Systematické hydrogeologické evidenci oblasti Mariánských Lázní a okolí se věnoval např. Dovolil (1959) – obr. 1, avšak v posledních desetiletích nebyla provedena souhrnná rekognoskace stávajícího stavu. Po více než 60 letech



Obr. 1. Zájmová oblast (červeně) a srovnání se staršími průzkumy (ČÚZK, 2025).
Fig. 1. Study area (red) and comparison with older prospecting (ČÚZK, 2025).

bylo proto rozhodnuto o revizi a aktualizaci hydrogeologických měření. Neaktuální a zastaralá dokumentace minerálních pramenů, nedostatečná data o režimu a chemismu všech zdrojů minerálních vod v zájmové oblasti neumožňují jejich efektivní ochranu. Nově provedená studie hydrogeologických fenoménů si stanovila za hlavní cíl shromáždit dosavadní útržkovité roztroušené informace o charakteru, poloze a fyzikálně-chemických vlastnostech (vydatnost, koncentrace volného rozpuštěného CO_2 , elektrolytická konduktivita, teplota, koncentrace hlavních i vybraných stopových analytů aj.) minerálních vod v chráněné krajinné oblasti (CHKO) Slavkovský les a nejbližším okolí a ty předat Agentuře ochrany přírody a krajiny (AOPK; Správě CHKO Slavkovský les) a Českému inspektorátu lázní a zřidel. Správě CHKO schází průběžně aktualizovaný seznam minerálních pramenů. Výzkum přitom navazuje na práci T. Vylity (2020), který se zabýval problematikou preventivní ochrany vývěřů v západních Čechách a přímo se zmiňuje o nutnosti její komplexní revize. Chemické a fyzikální analýzy minerálních pramenů jsou totiž pravidelně prováděny pouze v případě osvědčení zdroje jako přírodního léčivého zdroje nebo zdroje přírodní minerální vody. V zájmové oblasti (viz obr. 1) jde o zdroje v Karlových Varech, Mariánských Lázních, Lázních Kynžvart, Dolním Kramolíně a v okolí Louky u Mariánských Lázní. Výsledek této studie bude výchozím podkladem pro nastavení patřičných ochranných opatření těchto pramenů, které nemají stanovená ochranná pásma, Českým inspektorátem lázní a zřidel dle tzv. lázeňského zákona č. 164/2001 Sb.

Zájmová oblast byla definována ve vztahu k primárnímu požadavku Správy CHKO Slavkovský les – zmapovat fenomén minerálních vod na spravovaném území. CHKO Slavkovský les tvoří jádrovou oblast a vzhledem k dalším zdrojům minerálních vod kolem ní byla tato oblast vhodně rozšířena o obalovou zónu širokou cca 5 km. Celková rozloha zájmové oblasti činí 955,7 km^2 , s tím, že CHKO Slavkovský les zabírá 611,1 km^2 . Zájmová oblast je patrná z obr. 1.

Geomorfologické a geologické poměry

Z geomorfologického hlediska se oblast nalézá na rozhraní Krušnohorské a Šumavské soustavy. Zájmová oblast zasahuje do geomorfologických celků Tepelská vrchovina, Slavkovský les, Podčeskoselská pahorkatina a Český les (Demek et al. 2006). Všechny čtyři celky jsou součástí Českého masivu. Západní část zájmové oblasti spadá do celku Český les a východní část do Tepelské vrchoviny a Slavkovského lesa. V místě kontaktu těchto jednotek vzniká tektonicky podmíněná kotlina, která je z geomorfologického pohledu označována za Podčeskoselskou pahorkatinu. Na kontaktu Podčeskoselské pahorkatiny se Slavkovským lesem probíhá mariánskolázeňské zlomové pásmo. V krajině je zlomové pásmo patrné v délce více než 100 km. Nadmořská výška oblasti se pohybuje v rozmezí od 374 m n. m. (hladina řeky Teplé ve vývěrové zóně v Karlových Varech) po 983 m n. m. na vrcholu Lesný.

Chráněná krajinná oblast Slavkovský les má komplikovanou geologickou stavbu a na malém území extrémně pestrá litologii, zahrnující geochemicky kontrastní horniny: siliciklastické metasedimenty a metamorfity (břidlice, svor, pararuly, migmatity), karbonáty (krystalické vápence až erlany), metabazity (zelené břidlice, amfibolity, metagabra, eklogity), serpentinity a tremolitové břidlice, pestrá škála granitů a alkalických granitů, neogenní vulkanity (alkalické bazaltoidy, trachyty, fonolity), neogenní sedimenty (jíly, písky, šterky, reliktu uhlí) a kvartérní sedimenty (fluviální sedimenty, koluvia a rozsáhlá tělesa rašelin). Pestré litologické poměry spolu s výskytem hluboce založených zlomů podmiňují výskyt a geochemickou rozmanitost minerálů.

Na stavbě CHKO Slavkovský les se podílejí tři regionální jednotky: na východě bohémikum (tepelsko-barrandienská jednotka), na západě saxothuringikum (sasko-durynská jednotka); třetí jednotka moldanubika pak na jihu na území CHKO prakticky nezasahuje. Z geotektonického hlediska jde o tři malé původem armorické litosférické desky (mikrokontinenty), které prodělaly polyfázový geologický vývoj od neoproterozoika do mladšího paleozoika během kadomské a variské orogeneze, kdy také vznikaly protolity většiny horninových těles (např. Kachlík 2003, Collett et al., 2022). Hranice těchto jednotek dnes tvoří hluboce založené tektonické linie, z nichž nejvýznamnější je k jihovýchodu upadající plochý násunový zlom směru SV–JZ, tvořící hranici mezi bohémikum na JV a saxothuringikum na SZ a strmý mariánskolázeňský zlom, resp. systém zlomů směru SZ–JZ, na JZ, mimo CHKO, odčlujícím jednotku bohémika a moldanubika (Vrána – Štědrá 1997). Jednotka bohémika je na území CHKO zastoupena hlavně mariánskolázeňským metabazitovým komplexem (MLK), tvořeným reliktu kůry oceánského typu a svrchního pláště, zejména amfibolity, metagabrem, eklogitem a při násunové hranici serpentinitem. Pro horniny bohémika je charakteristická vysokotlaká metamorfóza se zřetelným eklogitovým faciem v metabazitech (Štědrá et al. 2002) a kyanitové zóny v pararulách (Cháb et al. 1997), která je výsledkem subdukce oceánské i kontinentální kůry během kolize mezi Laurasií a Gondwanou při variských procesech během devonu (např. Peřestý et al. 2019). Západně od násunového zlomu vystupují jednotky náležející do saxothuringika. Jsou to jednak migmatity a pararuly tzv. slavkovské kry, pravděpodobně neoproterozoického stáří, a spodně paleozoické horniny tzv. série Kladské, kterou redefinoval Kachlík (1993). Série Kladské je tvořena fylity až svory, krystalickými vápenci, erlany a hlavně bazickými metavulkanity, které prodělaly jen středně teplotní a nízkotlakou metamorfózu dosahující nejvýše facie zelených břidlic a jsou tak v extrémním metamorfním kontrastu s východně ležícím MLK. Významnou část území CHKO tvoří faciálně pestré granitové těleso karlovarsko-smrčinského plutonu, které se do obou jednotek vmísťovalo v závěru variské orogeneze a v severní části CHKO zastírá kontakt mezi oběma jednotkami. Na tato granitová těleso je geneticky vázána také pestrá rudní mineralizace Krušných hor (Klomínský et al. 2010). Na území CHKO vystupuje rovněž několik intruzí neogenních vulkanitů (alkalické bazaltoidy, fonolity, trachyty) a také těleso pyro-

klastik a laharů, v podloží některých vulkanitů se zachovaly i reliktu siliciklastických sedimentů s uhlím. Intruze jsou spjaty se vznikem tzv. oherského riftu, který se na západ od území CHKO začal tvořit od konce křídý jako mohutná příkopová propadlina doprovázená intenzivním vulkanismem. Nejmladší sopečné erupce proběhly až v pleistocénu a jsou zachovány na Chebsku jakožto malé sopky Komorní a Železná hůrka. Posledními dozvuky vulkanické aktivity v západních Čechách, včetně CHKO Slavkovský les, jsou vývěry minerálních vod a výrony oxidu uhličitého.

Hydrologické a klimatické poměry

Hydrologicky je Slavkovský les mimořádně významná pramenná oblast. Území se nachází na rozvodí mezi Mží a Ohří. Nejvodnatějším tokem popisovaného území je řeka Teplá (1-13-02-001), která pramení v rašelinistích (přírodní rezervace Prameniště Teplé) v nadmořské výšce 784 m sv. od Mariánských Lázní. Její horní tok protéká relativně plochým územím náhorní plošiny. Nižší po proudu se Teplá stáčí k severu a postupně se zahlubuje, vytvářejíc údolí. To tvoří hlavní erozní bázi celé zájmové oblasti. Řeka Teplá ústí do Ohře (délka toku 64,4 km) v Karlových Varech a celková plocha povodí činí 385 km², většinou v zájmové oblasti. Ve vodoměrném profilu ČHMÚ Teplička je průměrný dlouhodobý průtok (Q_a) 2,470 m³/s (plocha povodí 278 km²). Průměrný průtok v ústí do Ohře je odhadován na přibližně 3 m³/s. Mezi hlavní přítoky Teplé na území CHKO nebo v jeho blízkosti patří: Pramenský potok (1-13-02-006), Otročínský potok (1-13-02-012; též nazývaný jako Debrný potok), Dolský potok (1-13-02-018) a Lomnický potok (1-13-02-022).

Kosový potok, často označovaný též jako Kosí potok (1-10-01-053; německy Amselbach), je druhým významným tokem v zájmové oblasti. Je levostranným přítokem Mže a odvodňuje jižní část CHKO Slavkovský les. Pramení v Českém lese, jv. od vrcholu Dyleň v lokalitě Tři prameny, v nadmořské výšce 721 m. Celková délka toku činí 46,4 km. Potok nejprve směřuje převážně na východ, následně se stáčí k jihovýchodu, protéká Mariánskými Lázněmi a na svém dolním toku vytváří hluboké, zalesněné údolí v Tepelské vrchovině. Plocha povodí Kosového potoka je 226 km². Ve vodoměrném profilu ČHMÚ Třebel (říční km 4,76) činí plocha povodí 216,54 km² a průměrný dlouhodobý průtok (Q_a) je 1,49 m³/s. Mezi významnější přítoky Kosového potoka patří zejména Úšovický potok (1-10-01-060).

Průměrné roční srážkové úhrny v období let 1991 až 2020 se na většině území CHKO Slavkovský les pohybovaly v rozmezí 700–800 mm (r. 2024 cca 850; ČHMÚ 2025). Nejvyšší partie CHKO, zejména Lysinská hornatina v okolí vrcholů Lysina (982 m n. m.) a Lesný (983 m n. m.) představují nejvíce svlažovanou část oblasti. Dlouhodobé průměrné roční srážkové úhrny v období 1990 až 2020 zde dosahují až 900 mm. Tyto vrcholové partie spadají do chladnější klimatické oblasti. Naopak nižší polohy, jako např. údolí Ohře na severním okraji CHKO, mají úhrnné roční srážky cca 650 mm. Odhad dlouhodobého

specifického odtoku je při znalosti povodí Teplé nad měrným bodem Teplička ($A = 278 \text{ km}^2$; $Q_a = 2,47 \text{ m}^3/\text{s}$) cca $8,6 \text{ l/s/km}^2$ pro povodí. Pro Kosový potok pak v profilu Třebel ($A = 217 \text{ km}^2$; $Q_a = 1,49 \text{ m}^3/\text{s}$) cca $6,9 \text{ l/s/km}^2$.

Hydrogeologická charakteristika výskytu minerálních vod

Zdroje minerálních vod jsou v západních Čechách generálně vázány na dvě významná poruchová pásma. Prvním pásmem je oblast MLK (směr SSZ–JJV) a druhým je oblast podél oherského zlomu (směr ZJZ–VSV). Právě podél těchto poruchových pásem vystupuje CO_2 k povrchu a sytí podzemní vody. Společným znakem všech západočeských minerálních vod je výrazný doprovod CO_2 . Vystupující CO_2 je dokladem dozívající vulkanické činnosti, která postihuje západní Čechy od terciéru do současnosti. Chemické složení, vydatnost, teplota i celková mineralizace minerálních vod západních Čech je velice pestrá. Od minerálních pramenů v Karlových Varech, Františkových Lázních či Křížového pramene v Mariánských Lázních se zvýšenými podíly Na^+ a SO_4^{2-} a mineralizací $\pm 22 \text{ g/l}$ (Glauber IV) po vývěry v okolí Pramenů u Mariánských Lázní s vysokým podílem Mg^{2+} a HCO_3^- a mineralizací $< 0,5 \text{ g/l}$ (Farská kyselka).

Problematika původu rozpuštěných látek v méně mineralizovaných minerálních pramenech je poměrně jednoznačně vyřešená. Chemické složení vod je předurčeno mineralogickým složením hornin, se kterými interaguje (tj. hydrolyza a následná oxidace). Na druhé straně se jako ne zcela uzavřená jeví otázka původu rozpuštěných látek v nejsilněji mineralizovaných pramenech, tedy v těch, které se označují jako prameny tzv. karlovarského typu. Jde o hypotézu, která předpokládá, že část mineralizace (Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ a některé stopové prvky) je fosilního původu. Solanka se infiltrovala do horninového prostředí z miocenních sulfátových bezodtokých jezer, která spojovala území stávající sokolovské a chebské pánve, čímž došlo k pohřbení solí. Vlivem nejmladších tektonických procesů však došlo k rozvěvení starých, resp. vytvoření nových trhlin, kterými infiltrující voda se vsáklou fosilní mineralizací interaguje, což vede ke zvýšené mineralizaci vody. Vody karlovarského typu nalézáme jak např. v Karlových Varech (všechny termální prameny jsou jednotného chemismu), tak v Mariánských Lázních (Křížový IV, Ferdinand I, Alexandra BJ 12 aj.), Františkových Lázních (všechny prameny jsou podobného chemismu) či v Kyseleckém Hamru (Šmejkal – Pačes 1992). Existence bezodtokých jezer byla potvrzena nejen paleontologicky (Bůžek et al. 1982), ale také petrograficky či izotopicky (Šmejkal 1974). Dokonce byly v podloží chebské pánve nalezeny neproplyněné vody s extrémní mineralizací 133 g/l (Pačes et al. 1981). I přesto, že takovýto způsob vzniku minerálních vod není ve světě zcela neobvyklý, je otázkou: (a) kde jsou soli v podloží přesně akumulovány (hlavně v případě Mariánských Lázní), (b) jaký je vztah vývěrů vod karlovarského typu ke granitoidním tělesům v nedalekém okolí (s výjimkou Kyseleckého Hamru), (c) jaká je věrohodnost výpočtů značných objemů

solí, které se v podloží musejí nacházet, d) jaká je predikce mineralizace vody do budoucna.

Pro úplnost je nutné uvést, že veřejný i vědecký zájem byl vždy upřen zejména na prameny Karlových Varů a v menší míře na prameny mariánskolázeňské. K ostatním lokalitám však existují pouze kusé studie či průzkumy. Obzvláště ilustrativní je např. svazek Balbína *Liber naturalis*, který popisuje zdejší prameny již v roce 1679. Novodobě se minerálními vodami Slavkovského lesa zabýval zejména Dovolil (1959), který zmapoval 138 pramenů Slavkovského lesa. Formuloval závěr, že chemismus vod přímo souvisí s litologií. Novější práce byly dále zaměřeny spíše na výzkum dílčích struktur. Například Dašek (1948), Klír (1953) nebo Dvořák a Horna (1976) se věnovali chemismu a popisu minerálních vod Mariánských Lázní, Pačes (1961, 1962) či B. Vylita (1967) geochemii a zákonitostem minerálních vod Karlových Varů, Myslíl a Hazdrová (1960) či Pěček (1980) ochranným pásmům Lázní Kynžvart, Pěček (1996) či René (1996) hydrogeologii a spojitostem mezi chemismem minerálních vod a geologií na lokalitě Prameny, Trojan (1971) hydrogeologickému průzkumu Balbínova pramene, Trojan (1983) průzkumu zřidelní struktury Farské kyselky, Štěrba (1991) strukturu Medvědího pramene, Pěček (1992) a Reitrová (1992) hydrogeologickému průzkumu minerálních vod v Číhaně, Pěček (1995) hydrogeologickému průzkumu minerálních vod Kyseleckého Hamru atd. Jak již však bylo uvedeno výše, komplexně se oblastí z pohledu hydrochemie minerálních pramenů v posledních sedmi dekáдах nezabýval nikdo. Naposled prameny revidovali Křivanec a Milota (1996), viz obr. 1, kteří sice v terénu ověřili a zmapovali 167 pramenů, ale neprovedli žádné chemické analýzy. Později byly vytvořeny i turistické průvodce s popisy a fotografiemi (Milota – Bartoš 2008a, b, 2009, 2011). Z těchto prací vychází jak hydrogeologická studie T. Vylity (2020), tak i hydrochemický průzkum Landy (2024), viz obr. 1, který se zabýval prameny v okolí Mariánských Lázní.

Metodika

Stěžejní pro mapování minerálních pramenů byla práce Dovolila (1959), která mj. tvořila podklad pro hydrogeologickou databázi ČGS a hydrogeologickou mapu Slavkovského lesa, dále práce Křivance a Miloty (1996), T. Vylity (2020) a Landy (2024). Veškeré výskyt minerálních vod byly z mapových podkladů georeferencovány. Prameny byly následně v terénu dohledány, nově popsány a voda z nich odebrána na chemický rozbor. Do následného zpracování byly zahrnuty i prameny, které jsou osvědčeny jako přírodní léčivé zdroje a zdroje přírodní minerální vody. K těmto zdrojům byly dohledány nejnovější komplexní chemické analýzy, které provádí Referenční laboratoř přírodních léčivých zdrojů. Terénní průzkum minerálních vod započal v létě 2023 a byl dokončen na jaře 2025. Popis pramenů byl průběžně rozšiřován a upravován.

Samotné odběry vod byly prováděny do plastových vzorkovnic (určování hlavních a stopových analytů) a skleněných Fischerových vzorkovnic (titrační stanovení CO_2).

Tabulka 1. Specifikace analytických postupů
Table 1. Specification of analytical methods

Analyte	Limit of determination [mg/l]	Expanded measurement uncertainty (k = 2), [rel. %]	Analytical method	
As	0.0005	15	Atomic absorption spectrometry in electrothermal atomization mode	
Cu ²⁺	0.0002	15		
Ni ²⁺	0.0005	15		
Pb ²⁺	0.0004	10		
NH ₄ ⁺	0.02	10	Photometry	
pH	–	10	Ion-selective electrode	
Electrolytic conductivity	–	5	Conductometry	
Al ³⁺	0.2	15	Flame atomic absorption spectrometry	
B	2	15		
Ca ²⁺	0.01	10		
Fe ^{suma}	0.05	15		
K ⁺	0.01	10		
Li ⁺	0.002	10		
Mg ²⁺	0.01	10		
Mn ²⁺	0.005	15		
Na ⁺	0.01	10		
SiO ₂	2	10		
Zn ²⁺	0.005	10		
HCO ₃ ⁻	0.5	10		Titration
Dissolved free CO ₂	100	10		
Cl ⁻	0.01	10	High-performance liquid chromatography	
F ⁻	0.02	10		
NO ₃ ⁻	0.1	10		
SO ₄ ²⁻	0.3	10		
Be ²⁺	0.00004	10	Inductively coupled plasma mass spectrometers	
Rb ⁺	0.0001	10		
Se	0.0005	10		
Sn ²⁺	0.00005	10		
Sr ²⁺	0.0003	10		
Ba ²⁺	0.0005	10		

Vzorek nebyl v terénu filtrován. Vzorek na stanovení hlavních prvků nebyl stabilizován, vzorky na stanovení stopových kovů o objemu 100 ml byly stabilizovány přidávkem 1 ml koncentrované HNO₃ analytické čistoty, pro stanovení volného rozpuštěného CO₂ byl vzorek stabilizován přesně odváženým přidávkem 1,0 nebo 1,5 mol NaOH. Metodika odběru vzorků byla přizpůsobena značně variabilnímu způsobu zachycení pramenů (obr. 2). V případě, že měl pramen aktivní přeliv, byl odběr uskutečněn na odtoku ze záchytného místa. V případě, že pramen v době odběru aktivní přeliv neměl, byl vzorek odebrán z volné hladiny v jímní. Metodika laboratorních stanovení byla pro všechny vzorky jednotná. Volné rozpuštěné CO₂ ve vodě bylo měřeno v terénu Härtlovou trubicí a také laboratorně. Vzorky na analýzu volného rozpuštěného CO₂ byly odebrány vždy

duplicitně s tím, že u vzorků s vyšší stanovenou koncentrací CO₂ Härtlovou trubicí byl vzorek na titrační stanovení CO₂ stabilizován silnějším roztokem NaOH. Laboratorní analýzy byly provedeny v laboratořích ČGS Barrandov metodami uvedenými v tabulce 1.

Pro zonaci byly využity pouze ty chemické rozbory, které mají menší chybu analýzy než 5% a zároveň koncentrace volného rozpuštěného CO₂ ≥ 1000 mg/l nebo jde o vývěry termální (> 20 °C) anebo osvědčené jako přírodní léčivé zdroje, resp. zdroje přírodních minerálních vod. Na celkovou mineralizaci nebyl brán zřetel. Tento postup byl zvolen s ohledem na lázeňský zákon č. 164/2001, který vymezuje tzv. minerální vody pro léčebné využití, a limitní hodnoty byly převzaty. Za účelem zvýšení reprezentativnosti výsledků bylo vybráno 10 významných

minerálních pramenů, které se každé 3 měsíce analyzovaly. Tyto prameny byly vybrány na základě lokální významnosti, dostupnosti, požadavku Správy CHKO a také s ohledem na rovnoměrnému zastoupení periodicky sledovaných bodů (mapa periodicky sledovaných pramenů viz obr. 3). Byly vybrány prameny: Barochův I, obecní vrt Číhaná, Čiperka I, Farská, Horka, kašna Oriona, Podhorní kyselka, Posečská kyselka I, Radiovka I a Tereza/Devátá I. Následně byly prameny klasifikovány pomocí shlukové analýzy obdobným způsobem, jako to provedl Landa (2024). V případě, že koncentrace analytu vyšla pod mezí stanovitelnosti (tabulka 1), byla za účelem kvantifikace hodnota převedena na polovinu. Pro interpolaci byla využita metoda inverse distance weighted (IDW) se vzdálenostním koeficientem $R = 2,0$.

Výsledky

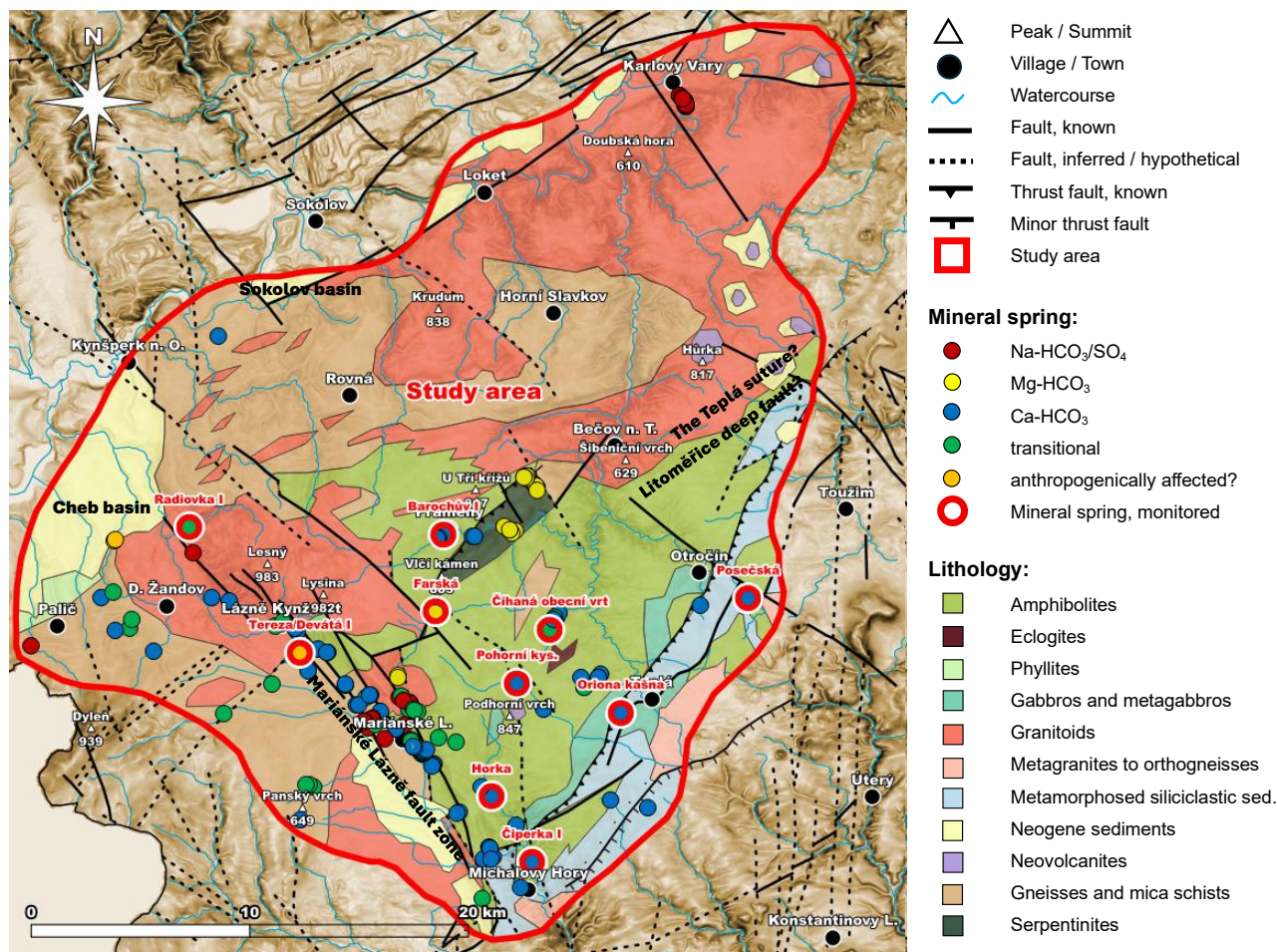
V rámci studie hydrogeologických fenoménů Slavkovského lesa se podařilo zmapovat 178 pramenů minerálních vod (obr. 3). Ze všech 178 pramenů se podařilo získat informaci o chemickém složení a fyzikálních vlastnostech. Řada pramenů vedených starší literaturou zanikla a nebyla v terénu dohledána, a naopak některé nové vývěry minerálních vod byly terénním mapováním zjištěny. Příklady jímání pramenů jsou patrné z obr. 2.

Prostorová distribuce chemických typů

Prostorová analýza zastoupení některých hlavních iontů přítomných v minerálních vodách dokládá těsný vztah mezi chemickým složením a litologií (viz srovnání obr. 3 a obr. 4). Těsný vztah je nejvíce patrný u hořečnatého iontu. Přirozeně jsou na hořčík nejvíce bohaté serpentinity, jejichž největší akumulace se nalézá na spojnicí mezi Prameny a Bečovem nad Teplou. Na Mg^{2+} ve vodách je nevíce bohaté okolí Grünské kyselky (vrt Louka BJ 2 „Luční“). Ta tvoří jádrovou oblast a směrem od kyselky podíl Mg^{2+} klesá. Vysoké podíly Mg^{2+} jsou zjišťovány v okolí Mnichova u Mariánských Lázní, dále ve Farské kyselce a dvou málo vydatných pramenech přímo v Mariánských Lázních. Jde o Maxovu (Údolní) a Chudou kyselku, která je nezachycená a byla objevena termometricky (Landa 2024). Všechny prameny se nalézají v těsné blízkosti serpentinitových poloh. Důležitý je i iont Na^+ , který je v ekv. % nejvíce přítomen v karlovarské termě a dále ve všech vodách, které jsou tzv. karlovarského typu, tj. zdroje v Kyseleckém Hamru, v Podlesí a některé v Mariánských Lázních. Vysoké podíly Na^+ byly identifikovány i v prameni Leimbruck I a Leimbruck II – pozorovací vrt. Podíly iontů Ca^{2+} ve vodách jsou v zájmové oblasti rozloženy rovnoměrněji a navíc chybí striktně vápenaté vody (> 70 ekv %). Anomální jsou opět minerální prameny Karlových Varů, které mají Ca^{2+} méně, a takéž jádrová oblast kolem Grünské kyselky. Bylo



Obr. 2. Různorodost vývěrů minerálních pramenů. a – Potoční kyselka je zachycena ve vykotlaném kmeni v říční nivě (25. 3. 2025). b – Bývalá plnárna minerální vody Melita. Minerální voda je zachycena v podlaze objektu mělkou šachticí (24. 3. 2025). c – Leimbruck I je zachycen v betonové šachtici přímo v násypu vozovky (25. 3. 2025). d – Zdevastovaná Jateční kyselka není zachycena žádným způsobem (25. 3. 2025).
 Fig. 2. Diversity of mineral spring captures. a – The Potoční kyselka spring, captured in a hollowed-out trunk in the river floodplain (25/3/2025). b – The former Melita mineral water bottling plant. The mineral water is captured in a shallow shaft in the building's floor (24/3/2025). c – The Leimbruck I spring, captured in a concrete manhole directly in the roadway embankment (25/3/2025). d – The devastated Jateční kyselka spring, which is not captured in any way (25/3/2025).



Obr. 3. Minerální prameny rozdělené na 5 skupin pomocí shlukové analýzy a 10 minerálních pramenů vytipovaných pro pravidelné čtvrtletní odběry.

Fig. 3. Mineral springs classified into 5 groups by cluster analysis, with 10 springs selected for regular quarterly sampling.

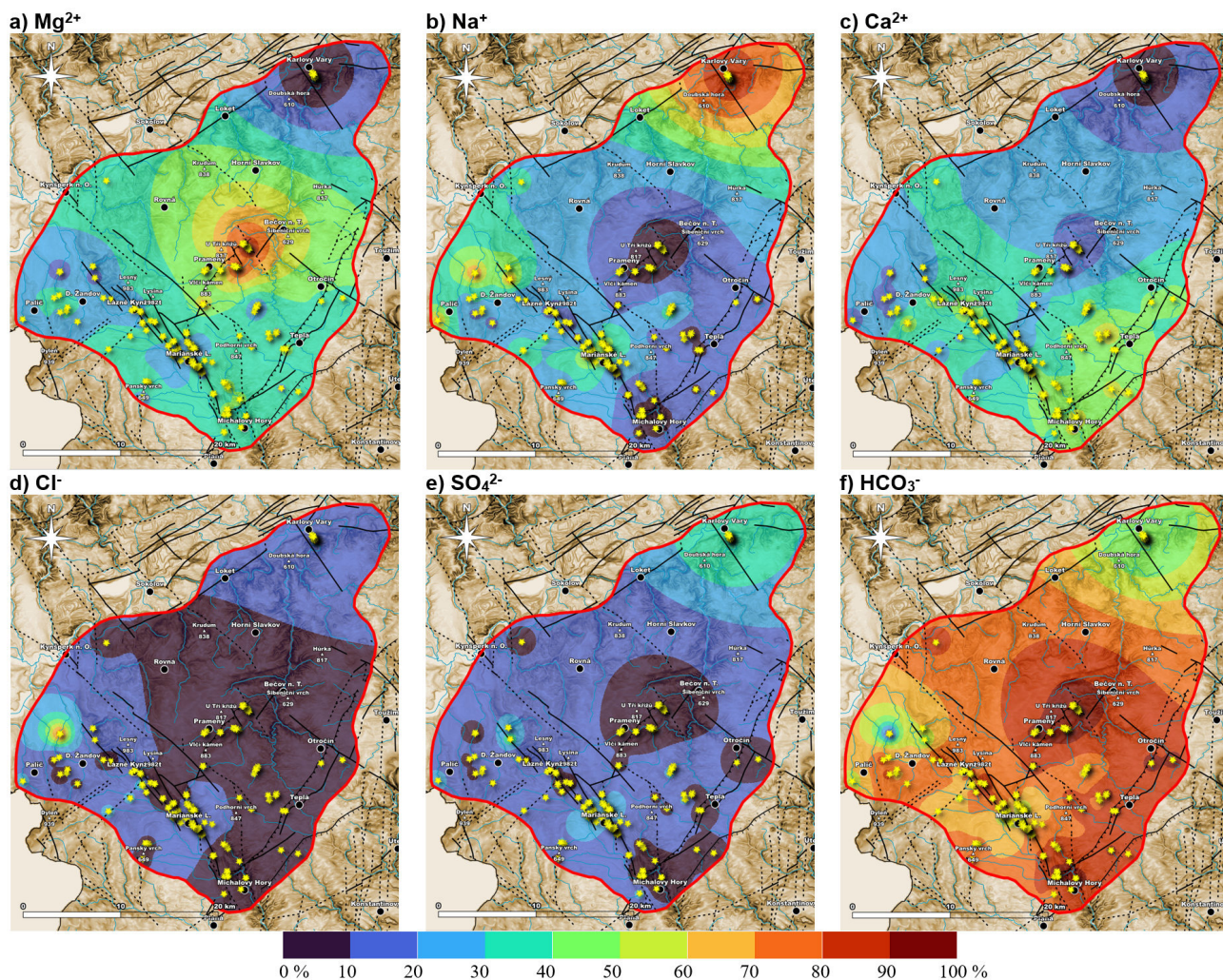
zjištěno, že místa s nízkým podílem Ca^{2+} tvoří zónu, která směřuje ve směru JZ–SV od Karlových Varů přes Mnichov u Mariánských Lázní a Pramene až po Mariánské Lázně a končí u Panského vrchu. Od této zóny směrem k JV podíl Ca^{2+} obecně stoupá z 11 % ve Vlčím I a 13 % v Lesním prameni po 63 % v Beranovce.

Zvýšené podíly Cl^- jsou typické pro vody karlovarského typu a dále pro vody, které jsou antropogenně dotčené. Bylo zjištěno, že v okolí Lázní Kynžvart vyvěrají 3 prameny na shodné předpokládané tektonické linii, které vykazují zvýšené podíly Cl^- . Jde o pramen Tereza/Devátá I s ekv. podílem 71 % Cl^- v aniontech a dále pramen ve Staré Vodě s podílem 31 % a Jedlová s podílem 28 %. To, že jde o anomální hodnoty, ilustruje skutečnost, že medián podílu je pro celou zájmovou oblast 5,8 ekv. %. Molární poměr $\text{Na}^+ : \text{Cl}^-$ pro pramen Tereza/Devátá I = 0,6, Stará Voda = 1,2, Jedlová = 1,7. Ionty SO_4^{2-} a HCO_3^- víceméně reflektují zvýšené koncentrace Na^+ . V pramenech karlovarského typu jsou nalézány SO_4^{2-} , což se projevuje sníženým podílem HCO_3^- . Podílově zdaleka nejrozšířenější aniont je v celé zájmové oblasti HCO_3^- , zcela běžně tvoří > 60 % aniontového podílu. Opět velmi vynikají prameny Leimbruck I a Leimbruck II – pozorovací vrty, které mají podíl HCO_3^- snížený. Napříč

souborem dat byly NO_3^- detekovány pouze v pramenech, které neslouží k pitným účelům, např. minerální pramen ve sklepech v čp. 73 v Lázních Kynžvart.

Shluková analýza

Z obr. 5 vyplývá, že minerální vody Slavkovského lesa tvoří 5 významných hydrochemicky odlišných shluků, včetně shluku pravděpodobně antropogenně postižených pramenů. Minerální vody vázané na serpentinity mohou dosahovat až 90% zastoupení Mg^{2+} v kationtech. Vody vázané na amfibolity mohou dosahovat až 70% zastoupení Ca^{2+} , přičemž zbytek většinou zastupuje Mg^{2+} . Je to způsobeno tím, že i amfibolity obsahují nezanedbatelný podíl Mg^{2+} . Tyto dvě skupiny spojuje velmi nízké zastoupení $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. U skupiny Mg-HCO_3 je podíl $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ zpravidla < 5 % a u skupiny Ca-HCO_3 < 20 %. Zajímavým zjištěním je, že mapováním nebyl zjištěn hybridní typ minerální vody mezi amfibolitovým a serpentinitovým podložím tak, jako tomu je na přechodu mezi vodami skupiny $\text{Na-HCO}_3/\text{SO}_4$ a Ca-HCO_3 . Třetím typem jsou již zmíněné vody střední až vysoké celkové mineralizace, řazené do skupiny $\text{Na-HCO}_3/\text{SO}_4$. Není bez zajímavosti, že prameny s nejvyšší



Obr. 4. Plošná distribuce ekv. % podílu hlavních iontů pro kationty a anionty.

Fig. 4. Areal distribution of the equivalent % contribution of major ions for cations and anions.

vykazovanou celkovou mineralizací mají zároveň nejvyšší podíl SO_4^{2-} . Mezi vodami s dominancí Na^+ a dominancí Ca^{2+} je vyloučena přechodová skupina. Zcela specifické jsou antropogenně ovlivněné minerální vody z pramene Tereza/Devátá I, Leimbruck I a Leimbruck II – pozorovací vrt, které jako jediné z celého souboru 178 chemických analýz vykazují zcela dominantní podíl Cl^- v aniontech, tj. 83 % a 82 % Cl^- .

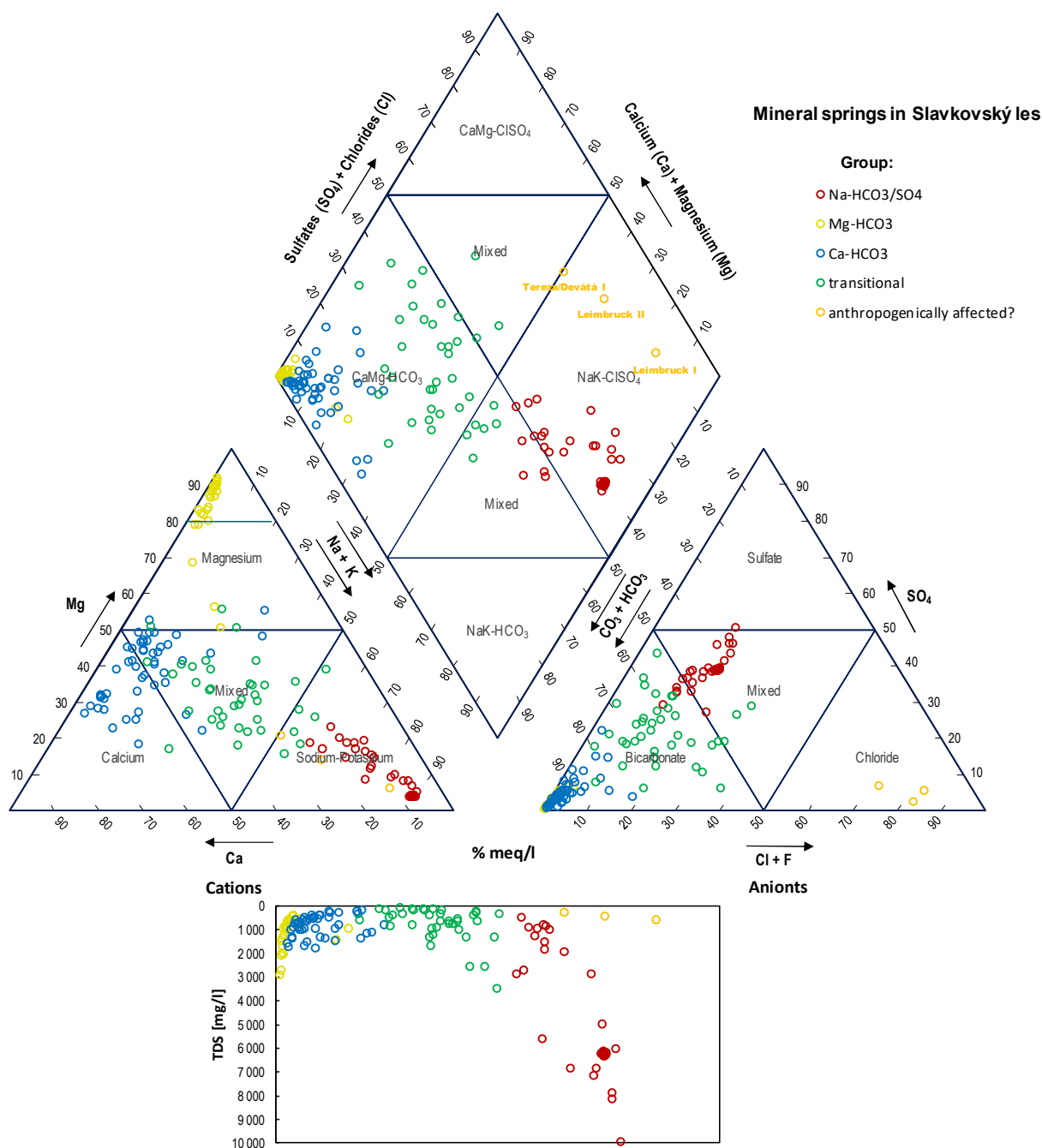
Analýza sezonní variability

Analýza sezonní variability (viz obr. 6 a 7) ukazuje, že v průběhu roku dochází ke změnám koncentrací hlavních i stopových analytů jen omezeně. U hlavních analytů dochází ke změnám pouze u Ca^{2+} a přechodně u Mg^{2+} . Tato změna složení se týká hlavně Farské kyselky, kdy v září 2024 došlo ke zvýšení Ca^{2+} ze 14 mg/l na 39 mg/l (~ +300 %) a naopak u pramene Čiperka I došlo v prosinci 2024 k poklesu z 263 mg/l na 116 mg/l (~ -50 %), u Mg^{2+} došlo k poklesu u pramene Radiovka I z hodnoty 105 mg/l na 42 mg/l (~ -50 %). Vesměs podobné výsledky vykazují

i stopové analyty. Dochází však pravděpodobně častěji k náhodným chybám, což můžeme pozorovat např. u Farské kyselky, která má nejnižší koncentrace Sr^{2+} z celého souboru dat, ale v březnu 2025 došlo k náhlému zvýšení z 0,066 mg/l na 0,14 mg/l, zatímco u ostatních zdrojů se hodnoty nezměnily. Dobrým příkladem je i pramen Horka, u kterého došlo naopak k poklesu Ba^{2+} v dubnu 2024 z 0,04 mg/l na 0,01 mg/l a Be^{2+} z 0,001 mg/l na 0,0001 mg/l. Z pohledu kvality vody je velmi vypovídající iont NO_3^- , jehož přítomnost v podzemních vodách může indikovat znečištění. Ve všech sledovaných pramenech s výjimkou Terezy/Deváté I jsou hodnoty většinu času pod mezí stanovitelnosti, tj. < 0,1 mg/l. Přestože je nutno odlišovat pitné vody od vod minerálních, je pro úplnost v grafech znázorněn limit pro pitnou vodu.

Diskuse

Všechny minerální vody lze sice považovat za vody meteorického původu, odlišují se však délkou interakce s horninou, hloubkou infiltrace a geologickými poměry, které se

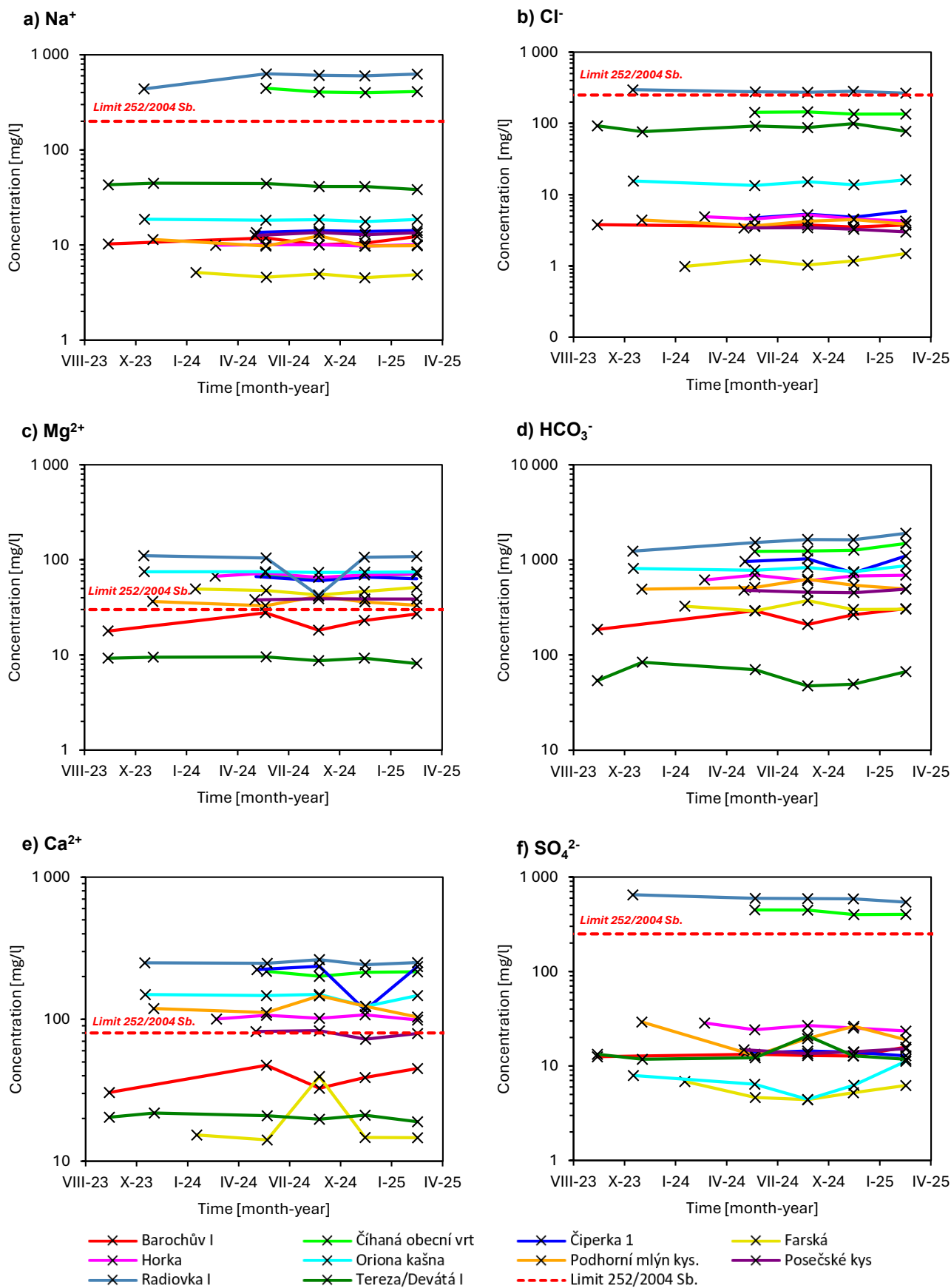


Obr. 5. Chemické složení minerálních vod Slavkovského lesa v Piperově diagramu. Prameny jsou rozděleny shlukovou analýzou.
Fig. 5. Chemistry of the Slavkovský les mineral waters in Piper diagram. The springs are classified by cluster analysis.

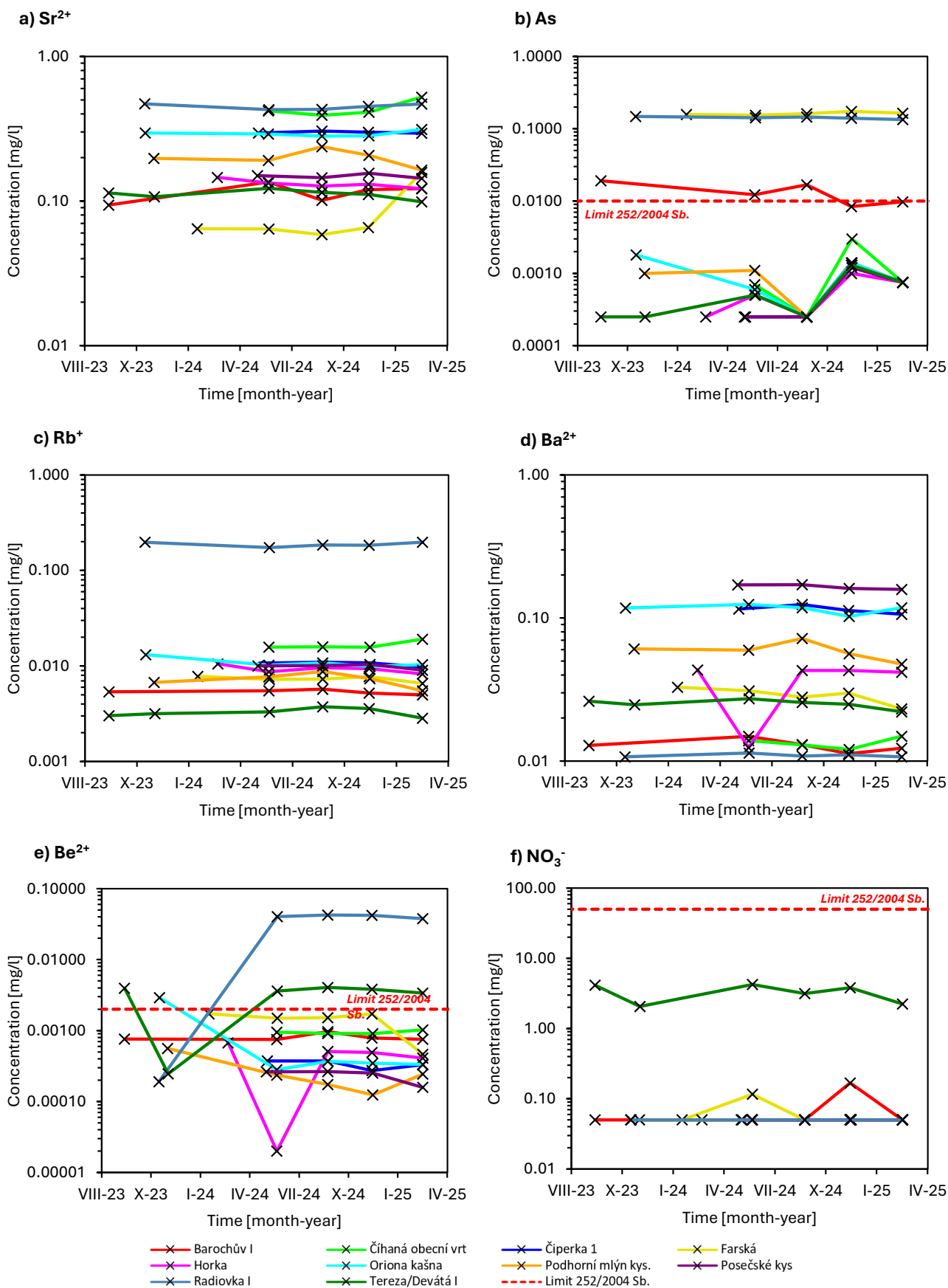
do složení popisují. Pomocí shlukové analýzy se podařilo veškeré minerální prameny v zájmové oblasti rozdělit do 4 základních hydrochemických skupin, což je plně v souladu s Dovolilem (1959), Dvořákem a Hornou (1976) či Landou (2024), kteří vyčlenili shodný či velmi podobný počet základních skupin. Byla definována skupina vod Mg-HCO₃, Na-HCO₃/SO₄, Ca-HCO₃ a skupina přechodového typu. Přechodová skupina může zahrnovat jak prameny, které jsou kombinované geneze, tj. mají zvýšenou mineralizaci a zároveň mají vyšší podíl Na⁺, tak také prameny, které jsou velmi málo mineralizované a lze předpokládat, že jsou velmi mělkého založení. Jako příklad

lze uvést Křovištní kyselku či Pirátův pramen s mineralizací < 0,2 g/l. Nutno zmínit, že do skupiny mohou spadat i ty prameny, které pochází z litologie bez vyhraněného složení. Vzhledem k tomu, že skupina přechodového typu má nejnižší medián celkové mineralizace, tj. ~ 0,6 g/l, ze všech vymezených skupin, lze předpokládat, že nejčastěji půjde o vody s krátkou interakcí s horninovým prostředím.

Všechny prameny mají velmi vysoký podíl HCO₃⁻, což je dáno zejména omezením průzkumu pouze na minerální vody, které jsou ve všech případech silně syceny CO₂. HCO₃⁻ je nejhojnějším aniontem i v prostých vodách, ale jeho podíl je nižší vůči ostatním aniontům. Vyhodnocení



Obr. 6. Stabilita chemického složení minerálních vod – hlavní ionty.
Fig. 6. Chemical stability of the mineral waters – major ions.



Obr. 7. Stabilita chemického složení minerálních vod – stopové ionty.
 Fig. 7. Chemical stability of the mineral waters – trace ions.

dat v prostoru sice vykazují určité závislosti, avšak např. vysvětlení zóny snížených podílů Ca^{2+} není jednoznačné. Jde zejména o oblast pod Panským vrchem, kde všechny 3 zachycené minerální prameny vykazují shodně snížené podíly Ca^{2+} . Tato zóna pokračuje do okolí Vlčího a Medvědího pramene v Mariánských Lázních, kde anomálně nízké podíly vykazují dalších 9 vývěřů.

Za antropogenně dotčené lze považovat primární prameny Leimbruck I a Leimbruck II – pozorovací vrt s molárním poměrem $\text{Na}^+ : \text{Cl}^-$ 1,02 a 0,82. Pro úplnost uvedme, že vody karlovarského typu mají tento poměr 3 až 5. Vysoké podíly Cl^- vykazují i pramen Tereza/Devátá I, který je navíc v rámci studie pravidelně sledován a lze tedy jednoznačně vyloučit sezonní vliv. Koncentrace Cl^- jsou v prameni dlouhodobě stabilní (obr. 6). O určité kontaminaci svědčí i celoročně mírně zvýšené koncentrace NO_3^- (obr. 7), což platí i pro Leimbruck I a II – pozorovací vrt. Tereza/Devátá I je jediný vývěř, který ze souboru 10 pravidelně sledovaných pramenů vyazuje dlouhodobě měřitelné koncentrace NO_3^- . Všechny ostatní dlouhodobě sledované prameny mají koncentrace většinou doby pod mezí stanovitelnosti. Vztah zvýšených koncentrací Cl^- v Tereze/Deváté I k předpokládanému zlomu, na kterém leží další 2 prameny, jež mají rovněž vyšší koncentraci Cl^- , je nejasný. Do budoucna bude vhodné odebrat vzorky i na analýzu NO_2^- . Obecně jsou sice prameny relativně daleko od bodových zdrojů znečištění (septiky, domácí čističky odpadních vod aj.), na druhou stranu díky velmi mělkému jímání a zemědělské činnosti byly měřitelné koncentrace NO_3^- předpokládány hojněji. Výkyvy chemického složení pramenů jsou zapříčiněny zejména ředěním prostou vodou. Lze předpokládat, že hlavní vliv na stálost složení bude mít hloubka a robustnost zachycení.

Jak ukazují nová data z okolí Kyseleckého Hamru a Mariánských Lázních, prameny karlovarského typu nelze jednoduše přiřadit k určité litologii, což je v nesouladu s poznatky Dovolila (1959), který je řadil striktně k litologii granitoidů. Na druhou stranu je třeba zdůraznit, že je vždy nutné vzít v úvahu i litologii v infiltrační a tranzitní oblasti. Kdyby se tedy podařilo rozšířit znalosti o mineralogické složení všech horninových těles v okolí pramenů, bylo by možné přibližně určit pro každý vývěř infiltrační, resp. tranzitní oblast.

Závěr

V rámci studie se podařilo provést hydrochemickou zonaci 178 minerálních pramenů, které se nachází v CHKO Slavkovský les a jejím okolí. Všechny vývěry minerální vody byly zaevidovány, resp. stará data aktualizována, čímž vznikl podklad pro Správu CHKO Slavkovský les umožňující nastavit v budoucnu ochranu pramenů efektivněji a cíleněji. Ve vztahu k minerálním vodám je podstatná pouze jižní část zájmové oblasti, ležící zejména v tepelsko-barandienské jednotce. V severní části se nalézají minerální vody pouze ve struktuře Karlových Varů a Šabiny. Tyto struktury jsou vázány na oherské zlomové pásmo, které leží za hranicí oblasti. Nepřítomnost minerálních vod v severní

části území je patrně dána absencí otevřených struktur, kterými by mohlo CO_2 pronikat k povrchu a cestou sytit vody. Ve Slavkovském lese žádné minerální prameny neleží severněji od předpokládané tepelské sutury s předpokládaným hlubinným litoměřickým zlomem.

Prameny byly shlukovou analýzou rozčleněny do 5 skupin. Čtyři skupiny odrážejí specifické geologické podmínky a jedna vnější faktory. První skupina zahrnuje prameny, u kterých mineralizace pochází z rozpouštění ultrabazických hornin (serpentinity). U těchto vod výrazně dominuje Mg^{2+} . Dále je zde skupina vod, která mineralizaci získala z amfibolitů. U těchto vod dominuje Ca^{2+} , ale ani podíl Mg^{2+} není nezanedbatelný. Ještě je zde skupina pramenů, které vyvěrají podél mariánskolázeňského zlomového pásma, resp. na okraji chebské pánve a v Karlových Varech. Tyto prameny mají zvýšený podíl Na^+ , SO_4^{2-} a také Cl^- . Čtvrtá skupina zahrnuje vody, které pocházejí z proměnného litologického prostředí nebo byly ve styku s horninovým prostředím pravděpodobně jen velmi krátce, jelikož mají velmi nízkou mineralizaci nebo pochází z hornin bez vyhraněného chemického složení. Poslední skupina byla vymezena jako tzv. antropogenně ovlivněná a zahrnuje tři prameny s abnormálně vysokými podíly Cl^- a NO_3^- . Lze tedy konstatovat, že studiem úrovně anorganického znečištění byl napříč souborem dat překvapivě zjištěn dobrý stav zdrojů minerálních vod.

Touto studií nebyly zjištěny žádné nové vývěry vod karlovarského typu, které jsou považovány za balneologicky nejčennější. Na druhou stranu lze vzhledem k plošnému rozšíření ostatních skupin pramenů konstatovat, že všechny prameny karlovarského typu leží v místech s velmi morfoloogicky výraznými neotektonickými pohyby. Ve všech případech jsou v okolí pramenů karlovarského typu nalézány terciérní sladkovodní sedimenty. Karlovarský typ nebyl zjištěn mimo okolí mariánskolázeňského zlomového pásma, okraj chebské pánve (Kyselecký Hamr) a Karlovy Vary. V místech s výraznými tektonickými pohyby mají diskontinuity větší hloubkový dosah a jsou rozvěvenější. Doba zdržení vody, která infiltruje do této zóny, by obvykle měla být delší, voda by měla mít vyšší teplotu a díky delšímu zdržení také celkovou mineralizaci. Teplota i reakce na atmosférické srážky se ve vodách karlovarského typu v případě Mariánských Lázní ale neliší (Landa 2024). To vede k otázce, co je predispozicí pro to, aby v určitém místě vyvěraly silně mineralizované vody karlovarského typu. Určitým vodítkem může být vztah ke granitoidním tělesům, který je ale jiný, než předpokládal Dovolil (1959). Právě granity mohou být při tektonických pohybech ke změnám propustnosti náchylnější a mohou tvořit významné preferenční cesty.

Vody různého původu mineralizace vyžadují odlišné přístupy při jejich ochraně, a aby takovýto přístup mohl být definován a následně dodržován, je nezbytné znát chemickou i fyzikální povahu pramenů. Bez této znalosti není jejich efektivní ochrana možná. Vzhledem k poznatku, že velké množství minerálních pramenů vyvěrá i mimo zájmovou oblast, tj. mimo CHKO Slavkovský les a jeho nejbližší okolí, považujeme za zcela nezbytné zmapovat i minerální prameny odlehlejší, tj. prameny v okolí Tachova, Kon-

stantinových Lázní a Úterý. Dle Křivance a Miloty (1996) je v této oblasti popsáno více než 20 minerálních pramenů, u kterých často není znám fyzikálně-chemický a chemický charakter a některé nejsou předmětem žádné ochrany.

Poděkování. Práce byla podpořena grantem TA ČR SS06010461. Tvorba podkladů pro stanovení ochranných pásem hydrogeologických fenoménů v CHKO Slavkovský les je jedním z jeho výstupů. Děkujeme Jiřímu Bruthanovi za pomoc s interpretací dat a recenzentům J. V. Datlovi a Z. Trískalovi za připomínky, které pomohly zlepšit kvalitu textu.

Literatura

- BŮŽEK, Č. et al. (1982): Paleobotanická data k biostratigrafii a korelaci uloženin Chebské pánve. – Acta montana (Praha) 60, 49–82.
- COLLETT, S. – SCHULMANN, K. – DEILLER, P. – ŠTÍPKÁ, P. – PEŘESTÝ, V. – ULRICH, M. – JIANG, Y. – DE HOÏM DE MARIEN, L. – MÍKOVÁ, J. (2022): Reconstruction of the mid-Devonian HP-HT metamorphic event in the Bohemian Massif (European Variscan belt). – Geosci. Frontiers 13, doi 10.1016/j.gsf.2022.101374.
- ČHMÚ (2025): Úhrn srážek v roce 2024 a 10 stanic s nevyšším srážkovým úhrnem. Publikováno 24. 1. 2025.
- DAŠEK, V. (1948): Prameny v Mariánských Lázních. – Stát. inspektorát pro přír. léčivé zdroje. Praha.
- DEMEK, J. – MACKOVČIN, P. – BALATKA, B. – BUČEK, A. – CIBULKOVÁ, P. – CULEK, M. – ČERMÁK, P. – DOBIÁŠ, D. – HAVLÍČEK, M. – HRÁDEK, M. – KIRCHNER, K. – LACINA, J. – PÁNEK, T. – SLAVÍK, P. – VAŠÁTKO, J. (2006): Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR. – AOPK ČR. Praha.
- DOVOLIL, M. (1959): Hydrogeologie oblasti kyselek v Mariánských Lázních a v jejich širokém okolí. – MS disert. práce, Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- DVOŘÁK, J. – HORNA, V. (1976): Hydrogeologický vývoj zřídelných struktur. Hydrogeologický vývoj zřídelné struktury v Mariánských Lázních. Závěrečná zpráva. – MS Výzk. úst. balneol. Mariánské Lázně.
- CHÁB J. – ŠRÁMEK J. – POKORNÝ L. – CHLUPÁČOVÁ M. – MANOVÁ M. – VEJNAR Z. – WALDHAUSEROVÁ J. – ŽÁČEK V. (1997): Teplá Barrandian Unit. In: VRÁNA, S. – ŠTĚDRÁ V., ed.: Geological model of Western Bohemia related to the KTB borehole in Germany. – J. Geosci. 47, 11–23.
- KACHLÍK, V. (1993): The evidence for Late Variscan nappe thrusting of the Mariánské Lázně Complex over the Saxothuringian terrane (West Bohemia). – J. Czech geol. Soc. 38, 43–53.
- KACHLÍK, V. (2003): Geologický vývoj území České republiky. Doplněk k publikaci „Příprava hlubinného úložiště radioaktivního odpadu a vyhořelého jaderného paliva“. – Úst. geol. a paleont., Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- KLÍR, S. (1953): Zpráva o geologickém a hydrogeologickém průzkumu okolí Mariánských Lázní a Lázní Kynžvartu. – Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- KLOMÍNSKÝ, J. – JARCHOVSKÝ, T. – RAJPOOT, G. S. (2010): Atlas of plutonic rocks and orthogneisses in the Bohemian Massif. – Czech geol. surv. Praha.
- KŘIVANEC, J. – MILOTA, J. (1996): Úprava registrů minerálních vod Slavkovský les, Chebská pánev, Doupovské hory. – Aquatest, Stavební geologie, a. s. Praha, Karlovy Vary.
- LANDA, D. A. (2024): Hydrochemická zonace minerálních vod v oblasti Mariánských Lázní. – MS diplom. práce, Úst. hydrogeol., inž. geol. a užité geofyz. Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- MILOTA, J. – BARTOŠ, J. (2008a): Průvodce po minerálních pramenech. I. Minerální prameny Českého lesa. – Čes. svaz ochr. přír. Mariánské Lázně.
- MILOTA, J. – BARTOŠ, J. (2008b): Průvodce po minerálních pramenech. II. Minerální prameny Tepelska. – Čes. svaz ochr. přír. Mariánské Lázně.
- MILOTA, J. – BARTOŠ, J. (2009): Průvodce po minerálních pramenech. III. Minerální prameny Mariánskolázeňska. – Čes. svaz ochr. přír. Mariánské Lázně.
- MILOTA, J. – BARTOŠ, J. (2011): Průvodce po minerálních pramenech. IV. Minerální prameny Slavkovského lesa. – Čes. svaz ochr. přír. Mariánské Lázně.
- MYSLIL, V. – HAZDROVÁ, M. (1960): Návrh prozatímních ochranných pásem pro Lázně Kynžvart. – Ústř. úst. geol. Praha.
- PAČES, T. (1961): Hydrogeologie a geochemie karlovarských pramenů. – MS disert. práce, Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- PAČES, T. (1962): Příspěvek ke geochemickému studiu karlovarských vod. – Čas. Mineral. Geol. 7, 4, 418–427.
- PAČES, T. – ŠMEJKAL, V. – PAZDERA, A. – KOBROVÁ, M. – BARNET, I. (1981): Ojedinelý typ solanky v podloží chebské pánve. – Geol. Průzk. 23, 7 (271), 196–198.
- PĚČEK, J. (1980): Závěrečná zpráva o hydrogeologickém průzkumu pro stanovení ochranných pásem léčivých zdrojů lázeňského místa Lázně Kynžvart. – MS název úkolu: Lázně Kynžvart – ochranná pásma 2. a 3. fáze, č. úkolu: 0379106313 KH. Praha.
- PĚČEK, J. (1992): Zpráva o hydrogeologickém průzkumu na lokalitě Číhaná u Mariánských Lázní. – MS název úkolu: Mariánské Lázně – Číhaná, č. úkolu: 91 0038 2000, Aquatest, staveb. geol., a. s. Karlovy Vary.
- PĚČEK, J. (1995): Hydrogeologický průzkum studených přírodních kyselek v lokalitě Kyselečský Hamr. – MS zpráva úkolu: Kyselečský Hamr, II. fáze, č. úkolu: 30-94-0434. Praha.
- PĚČEK, J. (1996): Hydrogeologický průzkum přírodních minerálních vod v lokalitě Prameny. – MS dílčí zpráva úkolu: Prameny – minerální voda, č. úkolu: 30-94-0211. Praha.
- PEŘESTÝ, V. (2019): The role of deformation partitioning on the tectonic evolution of the superstructure-infrastructure transition in the Teplá-Barrandian domain. – MS disert. práce, Úst. petrol. a struktur. geol. Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- REITROVÁ, J. (1992): Zpráva o výsledcích průzkumně-jímacích vrtů na lokalitě Číhaná u Mariánských Lázní. – MS název úkolu: Číhaná u Mariánských Lázní, č. úkolu: 031 0021, Artezia. Praha.
- RENÉ, M. (1996): Vztah chemického složení minerálních vod a horninového podloží na lokalitě Prameny. – Zpr. geol. Výzk. v Roce 1996, 30, 176–177.
- ŠMEJKAL, V. (1974): Sulfur, carbon and oxygen isotopes and the sulfate salinity during deposition of the Cypris formation (Miocene of the Cheb and Sokolov Basins in West Bohemia). Int. Symp. Water-Rock Interaction. – Ústř. úst. geol. Praha.
- ŠMEJKAL, V. – PAČES, T. (1992): Vznik minerálních vod karlovarského typu. – Geol. Průzk. 34, 2 (398), 33–37.

- ŠTĚDRÁ, V. – KACHLÍK, V. – KRYZA, R. (2002): Coronitic metagabbros of the Mariánské Lázně Complex and Teplá Crystalline Unit: inferences for the tectonometamorphic evolution of the western margin of the Teplá-Barrandian Unit, Bohemian Massif. In: WINCHESTER, J. A.: Palaeozoic Amalgamation of Central Europe. – Geol. Soc. spec. Publ. (London) 201.
- ŠTĚRBA, J. (1991): Zpráva o hydrogeologickém průzkumu lokality Medvědí pramen v Mariánských Lázních. – MS název úkolu: Mariánské Lázně – Medvědí pramen, č. úkolu: 0390 0608, Staveb. geol., s. p. Praha.
- TROJAN, Č. (1971): Vyhodnocení průzkumných prací na prameni Balbín v Mariánských Lázních. – MS název úkolu: Mariánské Lázně – Balbín, č. úkolu: 9937 K HM-13, Staveb. geol., n. p. Praha.
- TROJAN, Č. (1983): Zpráva o hydrogeologickém průzkumu zřídelní struktury – Mariánské Lázně Farářská kyselka – vrt BJ 1 – FK. – MS název úkolu: Mariánské Lázně – Farářská kyselka, č. úkolu: 0374 0051 – 13 KH – 76 568, Staveb. geol., n. p. Praha.
- VRÁNA, S. – ŠTĚDRÁ, V. (1997): Introduction and Main results of the project. In: VRÁNA, S. – ŠTĚDRÁ, V., ed.: Geological model of Western Bohemia related to the KTB borehole in Germany. – J. Geosci 47, 1–240.
- VYLITA, B. (1967): Zákonitosti režimu karlovarských terem. – MS disert. práce, Přírodověd. fak. Univ. Karl. Praha.
- VYLITA, T. (2020): Studie ochrany vývěřů minerálních vod, výronů přírodních plynů a ložisek peloidů v CHKO Slavkovský les, NPR Soos a NPP Bublák a niva Plesné. – MS AOPK ČR. Praha.