

UNIVERZITA KARLOVA

Přírodovědecká fakulta

Diplomová práce

Studijní program: Aplikovaná geologie

Studijní specializace: Hydrogeologie



David-Aaron Landa

Hydrochemická zonace minerálních vod v oblasti Mariánských Lázní

Vedoucí práce: Mgr. Jakub Mareš

Praha 2024

Zadání diplomové práce

Hydrochemická zonace minerálních vod v oblasti Mariánských Lázní

Hydrochemical zonation of mineral water in the Mariánské Lázně area

Cíle práce

Hlavním cílem práce bylo provést hydrochemickou zonaci mariánskolázeňských minerálních pramenů. Byla provedena rešerše dostupné literatury, včetně výsledků čerpacích zkoušek, geofyzikálních měření a chemických rozborů. Hlavním zdrojem informací byly rozsáhlé hydrogeologické průzkumy zaměřené na získání a ochranu zdrojů minerálních vod. Na základě vyhodnocení výsledků průzkumů pak byly vzájemně porovnány zřidelní struktury dle hydrochemických kritérií. Využito bylo i výsledků vlastního terénního mapování v bližším okolí Mariánských Lázní, na jehož základě lze vymezit další potenciální místa pro zdroje minerálních vod k balneologickým účelům. Díky novým odběrům vzorků minerálních vod z izolovaných pramenů v okolí města, i z nově objevených pramenů, bude prostorová hydrochemická zonace přesnější. Očekávaný výsledek práce je systematické popsání režimu zdrojů minerálních vod a sestavení mapy mariánskolázeňských vývěřů, která by objasnila prostorové zákonitosti chemismu vod v jednotlivých strukturách mariánskolázeňského zřidelního systému a jejich případné genetické vazby.

Klíčová slova česky:

Mariánské Lázně, hydrochemie minerálních vod, hydrochemická zonace, termometrie, minerální prameny, minerální vody, vyhledávání minerálních vod, shluková analýza minerálních vod

Klíčová slova anglicky:

Mariánské Lázně, hydrochemistry of mineral water, hydrochemical zonation, thermometry, mineral springs, mineral waters, mineral water investigation, cluster analysis of mineral water

Datum zadání: 20. 12. 2022

Jméno studenta: David-Aaron Landa

Podpis studenta:

Jméno vedoucího práce: Mgr. Jakub Mareš

Podpis vedoucího práce:

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 31. 07. 2024

.....

David-Aaron Landa

Poděkování

Práce vznikla jen díky pomoci kantorů, odborníků, nadšenců a spolužáků, kteří mi pomohli se získáním dat i s jejich interpretací. V první řadě děkuji svému školiteli **Mgr. Jakobovi Marešovi** za poskytnuté archivní materiály, ať už šlo o chemické analýzy nebo o závěrečné zprávy v archivu Českého inspektorátu lázní a zřidel, dále též za zapůjčení přístrojů, pomoc v terénu i kritické připomínky k textu. Bez svého školitele bych nikdy nedokázal docenit významu terénních měření. V druhé řadě bych moc rád poděkoval **Mgr. Janu Holečkovi, PhD.** z České geologické služby za zajištění financování mnoha chemických rozborů, dále též za obrovskou pomoc v terénu a za odborné vedení při odběru vzorků, a to i u minerálních pramenů, které „jako řemen“ nepovažoval. Bez něj bych nepoznal komplexnost správné metodiky. Velmi důležité pro zpracování diplomové práce byly i dokumenty v archivu **Ing. Jiřího Milotovi a RNDr. Tomáše Vylity, PhD.**, kteří mi operativně pomohli s dohledáním informací k izolovaným méně známým mariánskolázeňským pramenům. Šlo zejména o výsledky archivních analýz vod, staré fotografie a osobní poznámky. Bez nich bych nikdy nezačal precizně a systematicky uchovávat terénní data. Rád bych též poděkoval **Milanu Brisudovi**, který pravidelně sledoval charakteristiky vybraných mariánskolázeňských pramenů a výsledky jeho měření mi pro zpracování diplomové práce poskytl. Bez něj bych nedocenil výhody dlouhodobých pravidelných pozorování. Zcela nezastupitelnou roli při vyhodnocování geologických poměrů měl regionální geolog **doc. RNDr. Václav Kachlík, CSc.**, který mi poskytl své výsledky terénního mapování přímo v Mariánských Lázních a okolí, což mi velmi pomohlo při sestavování tektonické mapy a dále jsem s ním mohl své předběžné výsledky konzultovat. Bez něj bych nedokázal poskládat střípky v geologickou mozaiku. Za zapůjčení zkonstruované diferenciální GPS stanice moc děkuji **Mgr. Janu Burjánkovi, PhD.** z Geofyzikálního ústavu Akademie věd, což mi velmi pomohlo při zpětném dohledávání teplotních stop v terénu. Bez něj bych nepochopil, jaký je vztah mezi seismickým neklidem a morfologií terénu, a tudíž i hydrogeologickými podmínkami. Velký dík patří i **Františku Alexovi**, obyvateli hájenky u Valů č. p. 667, který mi poskytl osobní svědectví o izolovaných pramenech. A na závěr děkuji své jediné **Žanetce Chudé** - budoucí balneoložce za pomoc při mnohých terénních pracích, trpělivost s čekáním na dokončení práce, kontrolu plynulosti textu a náročný překlad abstraktu do francouzského jazyka. Při terénním mapování mi nárazově pomohli i spolužáci, studenti hydrogeologie a mineralogie, **Dominik Novák** - znalec smrčinského plutonu, **Simona Mrázková** - znalkyně požářiště v Hřensku a **Eliška Cermanová** - znalkyně hydrologie českých potoků a řek. Říká se, že kolik jazyků umíš, tolikrát jsi člověkem, a jelikož se toto rčení zcela jistě vztahuje i na odborné texty, pokusil jsem se abstrakt napsat i v jiných světových jazycích. Mamka mi však vždy říkává, že neumím ani česky, a tak se nemám pouštět do jiných jazyků. Na tomto místě proto musím poděkovat překladatelce **Ing. Ludmile Škopíkové**, díky které mohu mít abstrakt v německém jazyce, **Mgr. Kateřině Weberové**, která zkontrolovala překlad do hebrejštiny, **Jacku Brossaud** za kontrolu překladu do francouzštiny a **Pavlině Ince Poletinové**, spolužačce z příbuzného oboru vědy o zemi, za kontrolu českého jazyka. I přesto, že si to nepřipouštějí, tak za touto prací stojí i moji učitelé ze střední i základní školy. To oni mě totiž nadehli do přírodních věd. Nejvíce však **Tom Švik** z Velkých Losin, se kterým jsme dlouhé večery nad sklenicí dobrého pitiva diskutovali o geopolitické situaci nejen v Mariánských Lázních.

Na závěr patří největší dík již zesnulému **RNDr. Stanislavu Klírovi, DrSc.**, bez kterého by předložená práce ve své podstatě neměla na koho navázat. Již v roce 1953 vytvořil v určitých ohledech doposud nepřekonanou syntézu poznatků o mariánskolázeňských pramenech. V předložené práci se jen pokouším na jeho úsilí navázat.

Abstrakt

Mariánskolázeňskou zřidelní oblast lze považovat z hlediska chemického složení minerálních vod za nejpestřejší v České republice. Tato pestrost vede k velmi komplikovaným hydrochemickým i hydraulickým vztahům mezi dílčími vývěry, strukturami i skupinami struktur. Práce se těmto vztahovým zákonitostem věnuje a pokouší se je, co nejdůsledněji popsat a pochopit. Terénním i detailním rešeršním průzkumem bylo zjištěno, že minerální vody nejsou soustředěny pouze do jednoho místa, ale dílčí vývěry minerálek jsou roztrženy po celé zájmové oblasti. Terénní a laboratorní měření umožnila získat hydrochemická data, která dále sloužila pro novou klasifikaci a zonaci minerálních pramenů. Pomocí shlukové analýzy se nově podařilo vyčlenit čtyři hlavní skupiny minerálních pramenů, které v zájmové oblasti vyvěrají. Jednotlivé skupiny jsou přitom jasně definované, a tudíž v případě objevení nových minerálních pramenů lze tato klasifikace využít. Prvním typem jsou minerální vody s dominancí vápníku a hydrogenuhličitanů, druhým typem jsou vody s dominancí sodíku a hydrogenuhličitanů, popř. síranů, třetím typem jsou vody s dominancí hořčíku a hydrogenuhličitanů a poslední skupinu tvoří prameny, které jsou zařazeny do tzv. přechodové skupiny. To znamená, že vykazují společné znaky vícero skupin současně. Hydrochemické skupiny přitom nejsou v zájmové oblasti rozmístěny náhodně, ale tvoří plošné celky. Hořečnatý typ vod dominuje v severní části města, vápenatý v jižní a sodný v centru lázní. Přechodová skupina se nachází mezi těmito celky. Tato hydrochemická variabilita závisí na geologickém podloží v infiltrační, tranzitní i vývěrové oblasti. Tak jako horizontální variabilitu chemismu vod se podařilo identifikovat i vertikální a časové změny různých parametrů. Zejména analýza časových změn chemického složení vede u části vývěrů k důvodným obavám o udržení stávajícího balneologického významu, jelikož původní koncentrace léčivých látek klesají. Poznatky získané řešením tohoto problému mohou sloužit pro nastavení vhodnější ochrany lázeňského místa, a zásadně přispět k udržitelnosti balneologického významu velmi mineralizovaných mariánskolázeňských pramenů. Metodika postupu sběru a vyhodnocení dat přitom lze využít i v jiných lázeňských oblastech.

Summary

From the perspective of the chemical composition of mineral waters, the Mariánské Lázně spring area is considered the most diverse in the Czech Republic. This diversity leads to highly complex hydrochemical and hydraulic relationships among the mineral springs and groups of springs. This study addresses these relational regularities and aims to describe them as thoroughly as possible. Field and detailed research surveys revealed that mineral waters are not concentrated in a single location but are distributed throughout the area of interest. Field and laboratory measurements provided hydrochemical data, which served as the basis for a new classification and zoning of the mineral springs. Using cluster analysis, four main groups of mineral springs within the area of interest were identified. Each group is clearly defined, allowing for this classification to be used in the event of discovering new mineral springs. The first type of mineral water is dominated by Ca^{2+} and HCO_3^- . The second type is dominated by Na^+ and HCO_3^- or SO_4^{2-} . The third type is dominated by Mg^{2+} and HCO_3^- . The last group consists of springs in the so-called transition group, which exhibit characteristics of several groups simultaneously. These hydrochemical groups are not randomly distributed but form distinct units. The magnesian type of water dominates the northern part of the city, calcium-rich waters are prevalent in the southern part, and sodium-rich waters are central to the spa. The transition group is situated between these units. This hydrochemical variability is influenced by the geological bedrock in the infiltration, transit, and springs areas. Besides the horizontal variability of water chemistry, vertical and temporal changes of various parameters were also identified. Notably, the analysis of changes in chemical composition over time raises reasonable concerns regarding the maintenance of the existing balneological significance for some springs, as the original concentration of balneological substances decreases. The knowledge gained from this study can be utilized to establish more effective protection measures for the spa site and fundamentally contribute to the sustainability of the balneological significance of the highly mineralized springs in Mariánské Lázně. Additionally, the methodology for data collection and evaluation can be applied to other spa areas.

Le résumé

Du point de vue de la composition chimique des eaux minérales, la région des sources de Mariánské lázně peut être considérée comme la plus diversifiée en République tchèque. Cette diversité conduit à des relations hydrochimiques et hydrauliques très compliquées entre les sources sectorielles, les structures et les groupes structurels. Cet ouvrage traite de ces relations et essaye de les décrire et comprendre le plus exactement possible. Des recherches et des prospections de terrain qui ont été réalisées résultent que les sources des eaux minérales ne sont pas concentrées dans un seul endroit mais ces sources sont dispersées dans toute la zone d'intérêt. Des mesures de terrain et de laboratoire ont permis d'obtenir des données hydrochimiques, qui ont ensuite servi à la classification et au zonage des sources minérales. Grâce à l'analyse typologique il a été possible de distinguer les quatre principaux types d'eaux minérales qui jaillissent dans la zone d'intérêt et leur répartition spatiale. Le premier type des sources est celui avec la dominance de calcium et de bicarbonates, le second type des eaux à dominance de sodium et de bicarbonates ou encore des sulfates, le troisième type sont des eaux où domine le magnésium et les hydrogénocarbonates, et les derniers sont des sources qui font partie du groupe dit en transition. Cela signifie qu'ils présentent des caractéristiques communes pour plusieurs groupes des eaux en même temps. Les groupes hydrochimiques ne sont pas répartis aléatoirement dans la zone d'intérêt mais forment des unités de surface. L'eau de type magnésien domine dans la partie nord de la ville, calcaire dans la partie sud et celui de sodium dans le centre de la station thermale. Le groupe en transition est situé entre ces unités. Cette variabilité hydrochimique dépend du substrat géologique de la zone d'infiltration et de transit. Outre la variabilité horizontale de la chimie de l'eau des changements verticaux et temporels ont également été identifiés. En particulier, l'analyse des changements temporels de la composition chimique suscite des inquiétudes raisonnables quant au maintien de l'importance balnéologique actuelle de certaines des sources, étant donné que les teneurs initiales des composants médicinaux diminuent. Les connaissances acquises par la résolution de ce problème peuvent servir pour la mise en place d'une protection plus appropriée du site thermal. Ainsi que ces connaissances peuvent apporter une contribution majeure à la durabilité de l'importance balnéologique des sources hautement minéralisées de Mariánské Lázně.

Резюме

Западночешский курортный регион в котором расположены всемирно известные Марианские Лазни (Mariánské Lázně) можно считать по своему химическому составу самым разнообразным из бальнеологических мест Чехии. Большое разнообразие минеральных вод связано с очень сложными гидрохимическими и гидравлическими связями между отдельными источниками, геотектоническими структурами, а также группами таких структур. Предлагаемая работа посвящена изучению их закономерностей и описанию генетических закономерностей связанных с размещением отдельных источников и их групп, но в то же время с увеличением их защищенности от истощения. В результате систематического изучения большого количества архивных источников. выполнение лабораторных и полевых работ установлено, что минеральные воды на данной территории не концентрируются в одном месте или в одной зоне, а наоборот, Источники минеральных вод разбросаны по всей изучаемой структуре. Полевые и лабораторные работы изменения в конечном итоге позволили разработать новую классификацию и районирование минеральных источников данной территории. С помощью кластерного анализа впервые удалось выделить четыре основных типа поверхностных минеральных вод, находящихся в зоне интереса, и примерно разделить пространственное распространение каждого из них. К первому гидрохимическому типу относятся минеральные воды с преобладанием Ca^{2+} и HCO_3^- , ко второму типу воды с преобладанием Na^+ и HCO_3^- или SO_4^{2-} , к третьему типу воды с преобладанием Mg^{2+} и HCO_3^- и последние принадлежат к так называемой переходной группе. Это означает, что они одновременно выражают общие черты этих гидрохимических групп. Интересно, что гидрохимические группы равномерно распределены по всей центральной части гидрогеологической структуры Марианских Лазней и образуют пространственно идентифицированные поверхностные таксоны. В ходе исследования установлено, что в северной части территории преобладает магниевый тип воды, в южной кальциевый, а в центре курорта натриевый тип. Переходная группа расположена между этими гидрохимическими единицами. Доказано, что эта гидрохимическая изменчивость зависит не только от геологического состава пород, но и от условий в зоне инфильтрации и транзита подземных вод. Помимо горизонтальной изменчивости зональности химического состава минеральных вод, исследования позволили выявить вертикальные, а также временные изменения состава минеральных вод. В частности, детальный анализ свойств и дебита минеральных источников показал, что четко выявляется постепенное изменение химического состава минеральных вод с течением времени. Результаты этой работы вызывают обоснованные опасения по поводу сохранения существующей бальнеологической ценности некоторых минеральных источников. Это связано с тем, что содержание некоторых бальнеологически значимых элементов медленно, но постепенно снижается. Результаты проведенных работ, обобщенные в данной публикации, могут быть использованы для повышения эффективности защитных мероприятий всей гидрогеологической структуры. Предлагается начать с охраны отдельных бальнеологически значимых источников, которые будут ориентированы в первую очередь на стабилизацию высокоминерализованных источников в районе Марианских Лазней.

Zusammenfassung

Das Quellgebiet von Mariánské Lázně kann in Bezug auf die chemische Zusammensetzung der Mineralwässer als das vielfältigste in der Tschechischen Republik angesehen werden. Diese Vielfalt führt zu sehr komplizierten hydrochemischen und hydraulischen Beziehungen zwischen Teilquellen, Strukturen und Gruppen von Strukturen. Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf diese Zusammenhänge und versucht, sie so konsequent wie möglich zu beschreiben und zu verstehen. Die Feld- und Detailuntersuchungen haben ergeben, dass die Mineralwässer nicht nur an einem Ort konzentriert sind, sondern dass die einzelnen Mineralquellen über das gesamte Untersuchungsgebiet verstreut sind. Die Feld- und Labormessungen lieferten hydrochemische Daten, die zur Neuklassifizierung und Zonierung der Mineralquellen verwendet wurden. Mit Hilfe der Clusteranalyse war es nun möglich, vier Hauptgruppen von Mineralquellen zu unterscheiden, die im Untersuchungsgebiet quellen. Die einzelnen Gruppen sind klar definiert und daher kann die Neuklassifizierung verwendet werden, wenn neue Mineralquellen entdeckt werden. Die erste Gruppe sind Mineralwässer, bei denen Kalzium und Bikarbonate vorherrschen, die zweite Gruppe sind Wässer, bei denen Natrium und Bikarbonate oder Sulfate vorherrschen, die dritte Gruppe sind Wässer, bei denen Magnesium und Bikarbonate vorherrschen, und die letzte Gruppe besteht aus Quellen, die in die so genannte Übergangsgruppe eingeordnet werden. Dies bedeutet, dass sie Merkmale aufweisen, die mehreren Gruppen gleichzeitig gemeinsam sind. Die hydrochemischen Gruppen sind nicht zufällig im Untersuchungsgebiet verteilt, sondern bilden Oberflächeneinheiten. Im nördlichen Teil der Stadt dominiert der Magnesium-Wassertyp, im südlichen Teil Kalzium und im Zentrum des Kurortes Natrium. Die Übergangsgruppe befindet sich zwischen diesen Einheiten. Diese hydrochemische Variabilität hängt vom geologischen Untergrund in den Infiltrations-, Transit- und Quellgebieten ab. Neben der horizontalen Variabilität der Wasserchemie wurden auch vertikale und zeitliche Schwankungen bei verschiedenen Parametern festgestellt. Insbesondere die Analyse der zeitlichen Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung einiger Quellen führt zu begründeten Bedenken hinsichtlich der Aufrechterhaltung der derzeitigen balneologischen Bedeutung, da die ursprünglichen Konzentrationen der Heilstoffe sinken. Die durch die Lösung dieses Problems gewonnenen Erkenntnisse können dazu dienen, einen angemesseneren Schutz des Kurortes einzurichten und wesentlich zur Nachhaltigkeit der balneologischen Bedeutung der hochmineralisierten Marienbader Quellen beizutragen. Die Methodik der Datenerhebung und des Bewertungsverfahrens kann auch in anderen Kurgebieten angewendet werden.

תקציר

הכימיה של מעיינות מינרליים במריאנסקה לאזנה היא המורכבת ביותר ברפובליקה הצ'כית. הקשר ההידרוגיאולוגי בין המעיינות מסובך מאוד. העבודה מתמקדת ביחסים אלה. באמצעות עבודה בשטח ומחקר התגלה מספר עצום של מעיינות בכל האזור הנבדק. ניתוחים כימיים של כל 1- Ca^{2+} המעיינות המינרליים מראים שישנם ארבע קבוצות של כימיה של המים. הקבוצה הראשונה כוללת מים מינרליים עם דומיננטיות של HCO_3^- ו- Mg^{2+} הקבוצה השלישית כוללת מים עם דומיננטיות של SO_4^{2-} או Na^+ ו- HCO_3^- הקבוצה השנייה כוללת מים עם דומיננטיות של HCO_3^- והקבוצה האחרונה כוללת מעיינות שמסווגים לקבוצה המעבר. המשמעות היא שהם מציגים מאפיינים משותפים של מספר קבוצות HCO_3^- במקביל. הקבוצות ההידרוכימיות של המעיינות יוצרות יחידות שטח. סוג המים המגנזיים שולט בחלק הצפוני של העיר, סוג המים הסידני בחלק הדרומי והמים הנתרניים במרכז הספא. קבוצת המעבר ממוקמת בין יחידות אלו. וריאביליות הידרוכימית זו תלויה בגיאולוגיה. כמו הוריאביליות האופקית של כימיית המים, זוהו גם שינויים אנכיים ובזמן של פרמטרים שונים. בעיקר ניתוח השינויים בזמן מראה שהמשמעות הבלנאולוגית של המים פוחתת, מכיוון שריכוזי החומרים המרפאים המקוריים יורדים. הממצאים ישמשו להגדרת ההגנה על אתר הספא. חשוב לשמר את המשמעות הבלנאולוגית של מעיינות המים המינרליים המיוחדים במריאנסקה לאזנה. מתודולוגיית איסוף והערכת הנתונים יכולה לשמש גם באזורים ספאיים אחרים.

Summarium

„Dum spiro aquam medicatam bibo“

Obsah

1	Úvod	1
2	Studovaná oblast	3
2.1	Vymezení	3
2.2	Geologická a tektonická stavba	4
2.2.1	Geologie	4
2.2.2	Tektonika	6
2.2.3	Vliv geologie a tektoniky na minerální prameny	7
2.3	Hydrologie a hydrogeologie	9
2.4	Minerální vody	9
2.4.1	Křížový pramen	11
2.4.2	Alexandřin a Alfrédův pramen	12
2.4.3	Ferdinandův pramen	14
2.4.4	Rudolfův pramen	18
2.4.5	Oblast okolí Centrálních lázní	20
2.4.6	Lesní pramen	25
2.4.7	Pottovo údolí	26
2.4.8	Antoníčkův pramen	29
2.4.9	Farská kyselka	30
2.4.10	Balbínův pramen	31
2.4.11	Další výskyty minerálních vod	32
2.5	Hydrochemické klasifikace mariánskolázeňských pramenů	35
2.5.1	Makrokomponenty	35
2.5.2	Mikrokomponenty	37
2.5.3	Rozpuštěné plyny	38
3	Metodika provedených prací	39
3.1	Rešeršní práce	39
3.2	Terénní práce	39
3.2.1	Použité vybavení	39
3.2.2	Ověřovací část	41
3.2.3	Mapovací část	41
3.2.4	Odběrová část a laboratorní analýza	44
3.3	Výsledky a vyhodnocení prací	44
3.3.1	Chemická analýza dat	45
3.3.2	Prostorová analýza dat	45
3.3.3	Shluková analýza dat	46
4	Výsledky a diskuze	48
4.1	Výsledky terénních prací	48
4.1.1	Průzkum známých minerálních pramenů	48
4.1.1.1	Balbínův pramen	49
4.1.1.2	Medvědí pramen	50
4.1.1.3	Myší pramen	51
4.1.1.4	Vlčí prameny	52
4.1.1.5	Maxova kyselka	53
4.1.1.6	Křovištní kyselka	53
4.1.1.7	Pirátův pramen	54
4.1.1.8	Koňská kyselka	54
4.1.1.9	Jateční pramen	55
4.1.1.10	Srnčí pramen	56
4.1.1.11	Hájenský pramen	57
4.1.1.12	Antoníčkův pramen	57
4.1.1.13	Ověřovací měření dalších pramenů	58

4.1.1.14	Zhodnocení terénních prací známých pramenů.....	60
4.1.2	Průzkum nových minerálních pramenů	61
4.2	Hydrochemická zonálnost	65
4.2.1	Horizontální zonálnost.....	65
4.2.1.1	Chemismus: celková mineralizace	65
4.2.1.2	Chemismus: makrokomponenty.....	66
4.2.1.3	Chemismus: mikrokomponenty	75
4.2.1.4	Vydatnost.....	77
4.2.1.5	Klasifikační systémy	79
4.2.2	Vertikální zonálnost	80
4.2.2.1	Globální vertikální variabilita	80
4.2.2.2	Lokální vertikální variabilita.....	82
4.2.3	Časová variabilita	83
4.2.3.1	Rozpuštěné látky	83
4.2.3.2	Rozpuštěné plyny a teplota	87
4.2.3.3	Vydatnost.....	88
4.3	Nová klasifikace mariánskolázeňských pramenů.....	90
4.3.1	Skupina Na-HCO ₃ / SO ₄	91
4.3.2	Skupina Mg-HCO ₃	92
4.3.3	Skupina Ca-HCO ₃	92
4.3.4	Skupina přechodová	94
4.3.5	Zhodnocení nové klasifikace	95
4.3.6	Vliv geologie a geomorfologie na chemismus minerálních vod.....	96
4.4	Karlovarský typ minerálních vod v Mariánských Lázních	101
4.4.1	Problematika vod karlovarského typu	101
4.4.2	Srovnání mariánskolázeňských pramenů s karlovarským Vřídlem	102
4.4.3	Diskuze nad karlovarským typem vod v Mariánských Lázních	103
5	Závěr.....	107
6	Použitá literatura	109

Příloha 1 - Seznam termometrických anomálií zjištěných terénním výzkumem

Příloha 2 - Výsledky nových analýz chemického složení vod

Příloha 3 - Hydrochemická mapa mariánskolázeňských minerálních vod

1 Úvod

Minerální vody vznikají složitými pochody, které jsou ovlivněny řadou činitelů. Jde především o činitele geologické, tektonické, hydrogeologické, morfologické a dále působení CO₂ i jiných plynů (Krásný et al., 2012). Aby mohly být minerální vody využívány, a přitom dostatečně chráněny, je třeba pochopit procesy jejich vzniku. Proto jsou vody analyzovány a na základě vzájemné podobnosti složení klasifikovány. Obecně lze minerální prameny dělit na základě chemického složení, balneologického využití a původu vzniku (Kolářová a Dvořák, 1975).

Hydrochemická klasifikace je důležitá pro začlenění minerálních vod do celkové geohydrodynamické oblasti a pro určení její příslušnosti k dané hydrochemické kategorii. Vody jsou nejčastěji klasifikovány podle podílu jednotlivých iontů, kterých je více než 20 meq/l % v roztoku (vyhláška č. 423/2001 Sb. (Česko, 2001)). Mezi nejvíce zastoupené ionty, podílející se na celkové mineralizaci vody, řadíme kationt Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ a aniont HCO₃⁻, resp. CO₃²⁻, SO₄²⁻, Cl⁻ a někdy i F⁻. Poměr zastoupení výše uvedených kationtů a aniontů lze vyjádřit graficky např. v Piperově (Piper, 1944), Stiffově (Stiff, 1951) nebo Durovově diagramu (Durov, 1948), kde jsou v meq/l nebo % meq/l vyjádřeny zvlášť kationty a zvlášť anionty. Možností, jak lze vody hydrochemicky klasifikovat, je mnoho, např. Alekin (1946); Acciaiuoli (1952); Posochov (1966); Jetel (1969a); Gibbs (1970); Stuyfzand (1986).

Balneologická klasifikace úzce souvisí s hydrochemickou. Minerální vody kategorizuje na základě farmakologicky aktivních látek, vč. rozpuštěných plynů, a dále teploty, hodnoty pH (Jandová, 2009; Jandová, 2014), přítomnosti organických složek (Varga, 2010) nebo radioaktivity (Deetjen et al., 2005). Látky, které jsou v minerálních vodách rozpuštěné, totiž mají zcela zásadní význam pro správnou činnost organismu. Např. Na⁺, K⁺ a Cl⁻ mají souvislost s pasáží vody skrze sliznice gastrointestinálního traktu a obecně skrze biologické membrány. Ca²⁺ omezuje prostupnost sliznic a aktivuje žaludeční proteázy. Mg²⁺ společně s Ca²⁺ reguluje žaludeční sekreci HCl. SO₄²⁻ společně s Mg²⁺ stimuluje sekreci žluči a pankreatických enzymů (Špišák et al., 2010) atd. Způsobů klasifikace je opět nespočet, např. Jetel (1969b); Komatina (2004); Spahic (2005); Jonker (2016).

Genetická klasifikace hodnotí původ mineralizace i samotné vody. Minerální voda je zařazena do konkrétního geologicko-geochemického prostředí. Dle geneze lze například vody dělit na litomorfní (infiltrační) a batymorfní (hlubinné), popř. se může jednat o kombinaci obou typů (Kolářová a Dvořák, 1975). Pro stanovení geneze minerálních vod se využívají analýzy izotopů, např. kyslíku, vodíku, síry (Šmejkal a Pačes, 1992), helia a uhlíku. Dále lze využít přítomnosti alochtonních prvků nebo geochemické modelování (Jetel, 1970a; Štrev, 1971; Dupalová, 2012; Yan et al., 2014).

Předložená práce se zabývá hlavně hydrochemickou klasifikací minerálních vod, a to v okolí Mariánských Lázní. Z hydrochemického hlediska se jedná patrně o nejpestřejší oblast v České republice (ČR). Nacházejí se zde totiž prameny zcela rozdílných chemismů, a to i na ploše v řádu stovek metrů čtverečních (Vala, 1961). Mariánskolázeňské prameny nejsou pestré pouze z hydrochemického hlediska. Pestrost lze totiž spatřovat i v počtu dílčích pramenů vyvěrajících v různé nadmořské výšce. V široké mariánskolázeňské oblasti (od Salajny po Louku - Novou Ves – celkem 270 km²) bylo Dovolilem (1959) zmapováno 138 minerálních pramenů (Obr. 34), z toho 43 pramenů přímo v Mariánských Lázních. Jde o nejvydatnější a nejsoustředěnější skupinu kyselek ve Slavkovském lese (Hynie, 1949). V širší oblasti Mariánských Lázní se dále nalézají vývěry v Lázních Kynžvart, Horním Kramolíně, Číhané, Pramenech a Louce – Nová Ves, které byly v 90. letech (Pěček, 1996c) předmětem komplexních hydrogeologických průzkumů majících za cíl zajistit další zdroje minerální vody. Pestrost lze spatřovat i v různorodých nadmořských výškách pramenů. Toto dokládá fakt, že nejnižší položenými prameny v zájmové oblasti jsou Koňské a Vlčí kyselky (kys.) (560 m n.m.), zatímco nejvýše situovaným pramenem je Farská kys. (765 m n.m.). Z toho vyplývá, že výškový rozdíl mezi nejnižší a nejvýše položeným pramenem představuje více než 200 m.

Zajímavá je i geneze mariánskolázeňských minerálních vod, ta je popisována následovně. Povrchová voda infiltruje na náhorní plošině Slavkovského lesa skrz puklinový systém do podloží, kde se postupně obohacuje o minerální látky a o CO₂ hlubinného původu, jehož výstupy jsou roztržštěny podél tektonické linie ve směru SSZ - JJV (Hynie, 1963). Odhad hloubky oběhu minerální vody se provádí zejména na základě znalosti střední teploty pramene vůči okolí (Vala, 1961). Klír (1953) uvádí, že průměrná teplota mariánskolázeňských pramenů je 8 až 10 °C (např. Křížový IV 9,5 °C (Lukeš a Pitřák, 2006)) a průměrná teplota okolí 7 °C (ČHMÚ, 2020a). To znamená, že za předpokladu geotermálního gradientu 1 °C/33 m, je hloubka oběhu vody 30 až 50 m (Kolářová a Myslíl, 1979) a jen výjimečně více než 100 m

(Hynie, 1963). Tyto publikované hodnoty hloubky oběhu jsou až téměř nereálně nízké, a proto je vhodnější při posuzování geotermálního gradientu vycházet např. z Dědeček et al. (2022), kteří pro Mariánské Lázně uvádějí gradient 1 °C/40 m nebo využít jiné metody. Rychlost oběhu vody je přitom pravděpodobně vysoká, neboť je vydatnost pramenů závislá na srážkách (Dovolil, 1961). Vymezení infiltrační oblasti lze dle Dovolila (1961) provést pouze rámcově, protože jde o oblast s puklinovou propustností. Doposud neobjasněný však zůstává původ zvýšené koncentrace Cl⁻ (Pačes, 2014). Podobně vysoké koncentrace Cl⁻ jsou evidovány i v Karlových Varech (Vylita, 1957), ale i jinde v západních Čechách, což vede ke stále ne zcela uzavřené otázce geneze mineralizace v minerální vodě (Vylita, 2023).

I přesto, že jsou mariánskolázeňské prameny takto unikátní, tak jsou balneologicky využívány až od 50. let 18. století. Jednalo se například o Křížový pramen (p.), v jehož okolí docházelo po roce (r.) 1787 k postupné urbanizaci. V r. 1812 vznikla rozhodnutím Karla Reitenbergera samostatná obec Mariánské Lázně a nakonec v r. 1818 dostala obec status lázeňského místa (Felbinger, 2009; Janoška, 2011). A protože mineralizace, vydatnost i koncentrace rozpuštěného CO₂ v minerálních pramenech nebyla konzistentní, docházelo ke zdokonalování zachycení z přirozených vývěřů na povrch terénu, a to přes zvonová jímání, umístěných přímo na skalní podklad, až po mělké a hluboké vrty. Zatímco například v r. 1912 byl Křížový p. zachycen 4 m jímkou, tak v r. 1954 vrtem o hloubce 83,5 m (Dvořák a Horna, 1978). V současné době se voda běžně jímá i ze 150 m, např. v Pottově údolí (Pěček, 1992a). A jen ty izolované prameny v okolí Mariánských Lázní jsou zachyceny přípovrchově např. ve vydlabaných kmenech. Podobné tendence jsou pozorovatelné napříč celou ČR (Špišák et al., 2010). Důsledkem zásahů bylo zvýšení vydatnosti, zamezení mísení s prostou podzemní vodou (Dašek, 1948) a zabránění možné antropogenní kontaminaci, která se projevila jak v Mariánských Lázních na Rudolfových p. (Pěček, 1989), tak třeba v Karlových Varech (Vylita, 1980), ale i jinde (Ježková et al., 1992). Souhrnná vydatnost mariánskolázeňských pramenů během posledních 80 let výrazně stoupla. Ve 40. letech byla vydatnost přibližně 500 l/min, což představovalo 1/6 vydatnosti karlovarských pramenů, 1/5 lázní Teplice a přibližně 1/2 Františkových Lázní. V současné době (2022) je již přibližně 700 l/min (ČIL, 2022) a vydatnost překonala františkolázeňskou strukturu (Škuthan et al., 2002).

Se zvyšováním hloubky jímání i čerpaného množství je nutné sledovat chemické složení minerálních vod. První systematické chemické analýzy mariánskolázeňských pramenů prováděl již v druhé polovině 19. století Reuss, Ragský, Gintl a počátkem 20. století Winter (1932), Dietl (1942), Redtenbacher, Zörkendörfer (1911). Největší pozornost byla kladena nejvydatnějším a nejmineralizovanějším pramenům. Za nejhodnotnější prameny jsou stále považovány pramen Křížový, Ferdinand I a II a Alexandra (Hynie, 1949). Důvodem je jejich vysoká (v r. 1936 až 12 g/l), ale pozvolně klesající mineralizace (Dvořák a Horna, 1978), zvýšená koncentrace Cl⁻ (Pačes 2014) a nižší vydatnost v porovnání s ostatními prameny. Snaha o zvýšení vydatnosti i mineralizace vybudováním hlubších vrtů, např. v r. 1954 ve struktuře Křížového p. vrtem Křížový IV, nebyla úspěšná (Krásný et al. 2012). Nízká vydatnost pramenů je dána i tím, že jejich režimy jsou poměrně samostatné a využitelné jímatelné množství úměrné relativně nízkému specifickému odtoku prostých podzemních vod z povodí (Dovolil, 1961).

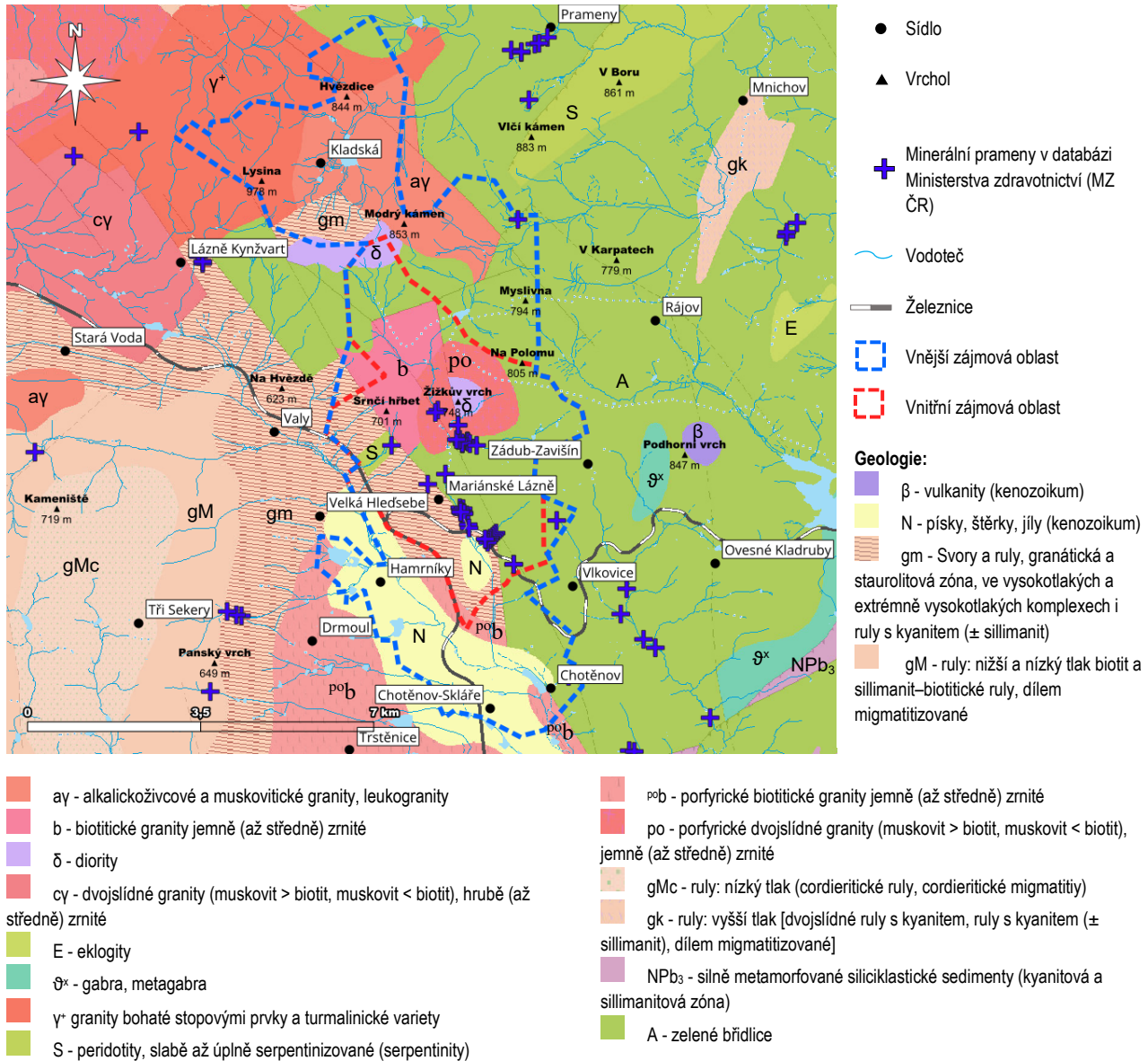
Lze předpokládat, že popsany režim mariánskolázeňských pramenů závisí i na chemismu vod. Proto je diplomová práce zaměřena na zpracování a zdůvodnění nového hydrochemického zhodnocení. Práce se skládá z rešerše i terénního mapování minerálních pramenů, kterému se v západních Čechách (ve Skalné a Bad Brambachu) věnovala např. Turnová (2019). Získaná data jsou časoprostorově vyhodnocena pomocí geoinformačního programu QGIS a statistického programu RStudio. S jejich pomocí lze posoudit vertikální, horizontální i časovou variabilitu ve složení mariánskolázeňských pramenů a sumarizovat co nejvíce faktorů, které mohou mít vliv na chemické složení vody. Při vyhodnocování časových změn je v práci kladen důraz na prameny v I. stupni ochranného pásma přírodních léčivých zdrojů (PLZ) (MZ, 1959; MZ, 2005).

Hlavním cílem práce je faktory určit, popsat a zjistit jejich vliv na chemické složení pramenů a zpracovat hydrochemickou mapu výskytů minerálních vod v Mariánských Lázních. Přínosem práce je rozdělení 128 zjištěných přesně lokalizovaných výskytů minerálních vod se správně stanoveným chemickým složením na jednotlivé hydrochemické skupiny, což v konečném důsledku umožní lepší ochranu a racionalizaci využití mariánskolázeňských pramenů i jejich popis a evidenci, která je neméně důležitá (Franko et al., 1980; Krahulec et al., 1992).

2 Studovaná oblast

2.1 Vymezení

Zájmová oblast byla pro potřeby diplomové práce účelově rozdělena na vnější a vnitřní (Obr. 1).



Obr. 1 - Zájmové území, mapový podklad: geologická mapa 1 : 500 000

Vnější oblast převážně kopíruje katastrální hranice města Mariánské Lázně. Z dostupné literatury byl sestaven seznam výskytů minerálních vod a prameny v terénu ověřeny. Rozloha vnější zájmové oblasti je 61,6 km².

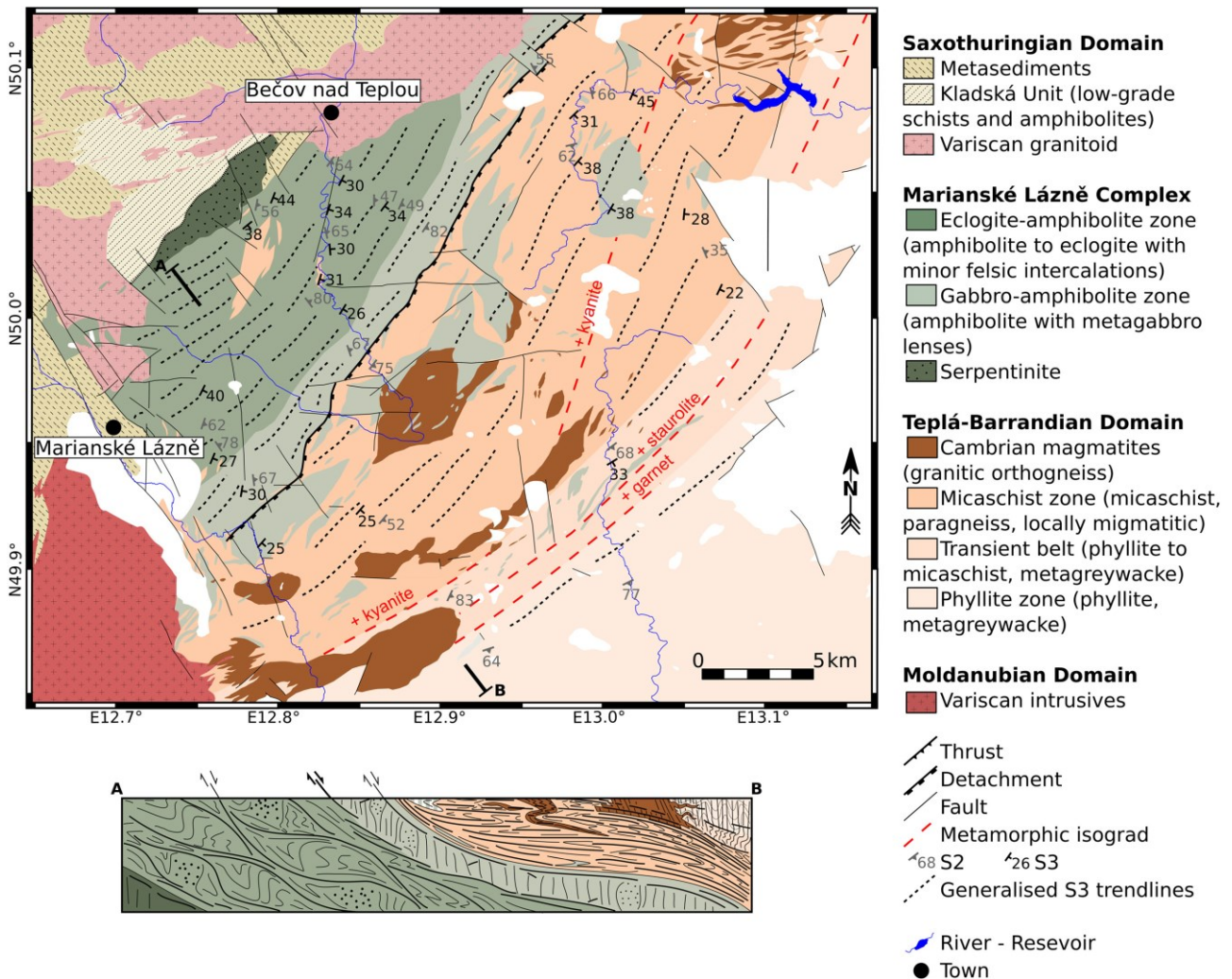
Vnitřní oblast byla vymezena na základě dílčích povodí v bezprostřední blízkosti města. Byl taktéž sestaven seznam výskytů minerálních vod, ale nad rámec bylo realizováno i terénní mapování, jehož cílem bylo nalézt nové výskytů minerální vody.

Důvodem rozdělení území na vnitřní a vnější oblast je značná rozloha území a složitá morfologie terénu. Bylo přihlédnuto též k možnostem realizace terénních průzkumných prací. Proto byla vyloučena oblast severně od vodní nádrže Mariánské Lázně, která se vyznačuje složitou dostupností. Rozloha vnitřní oblasti, na které proběhl terénní průzkum s cílem nalézt nové vývěry minerálních vod, je 20,5 km².

2.2 Geologická a tektonická stavba

2.2.1 Geologie

Mariánské Lázně mají geologicky velmi komplikovanou stavbu. Rozmanitost geologické struktury Mariánských Lázní a bližšího okolí je dána přítomností jak magmatických granitů, tak i metamorfických amfibolitů a dalších bazických a ultrabazických hornin, popř. neovulkanitů a terciérních sedimentů. Městem prochází hranice mezi tepelsko-barrandienskou (TBO) a sasko-durynskou oblastí (Tonika et al., 1983). Litologická hranice je SSZ - JJV směru, kdy východní část města tvoří TBO, a západní sasko-durynská oblast. Konkrétně jde o mariánskolázeňský bazický komplex, který je řazen k nejzápadnější části TBO a mariánskolázeňský masiv, řazený již k sasko-durynské oblasti. (Obr. 2).



Obr. 2 - Geologická mapa okolí Mariánských Lázní a geologický profil mariánskolázeňským bazickým komplexem (zdroj: Collett et al. (2018) z Kastl a Tonika (1984))

Mariánskolázeňský bazický komplex svědčí o komplikovaném polyfázovém metamorfickém a strukturním záznamu západní části TBO, jenž může být zjednodušen do koncepce suprastruktury (kolmé stavby v méně metamorfovaných horninách) a infrastruktury (ploché stavby ve vysoce metamorfovaných horninách) (Peřestý, 2012; Peřestý, 2019). Předpokládá se, že nejstarší horniny v západní části TBO jsou pozůstatky tektonicky aktivního spodního zemského pláště (Štědrá, 2001; Štědrá et al., 2002). Svým složením se ultrabazika podobají oceánským subkrustálním ultrabazikům. Amfibolity a eklogity mají složení rozmanité, třebaže převažují složení podobná bazaltům středooceánských hřbetů. Interpretace tělesa může být taková, že jde o suturový metamorfovaný ofiolitový kambro-ordovický komplex (Bowes a Aftalion, 1991), který je rozdružen a spojen s jinými úlomkami akrečního klínu. Vnitroděskový rift se postupně rozšiřoval a pánev se začala podobat oceánské. Později byla vtlačena v subdukci do hloubky 70 až 80 km a následně vrácena k povrchu a přesunuta přes okraj tvořící se sasko-durynské oblasti (Cháb et al., 2020).

Samotný mariánskolázeňský komplex je bazické až ultrabazické těleso, které má rozlohu cca 230 km², a tudíž se jedná o největší výskyt metamorfovaných bazických až ultrabazických hornin v Českém masivu (Obr. 2). Komplex v podloží dále pokračuje k VSV pod karbonskými, křídovými a terciárními sedimenty. Důkazem o pokračování komplexu jsou kladné tíhové anomálie (Štědrá, 2003), ojedinělé výchozy v Doupovských horách a xenolity v neovulkanitech. Jednotka je pokládána za příkrov, který je nasunutý k SZ na okraj sasko-durynské oblasti (Cháb et al., 2020).

Horniny mariánskolázeňského bazického komplexu lze dělit na:

- **krystalické břidlice** – metabazity (metamorfované amfibolické horniny + eklogity), erlány, kvarcicity, vápence, ruly, ortoruly a serpentinity;
- **gabra a gabrodiority**;
- **žulové porfyry** až granodioritové porfyryty;
- výlevné a žilné **bazaltové horniny terciárního stáří**, K-augity, limburgity, nefelinické bazanity, melilitické nefelinity a camptonity (Svoboda, 1983).

Horniny jsou symetricky uspořádány vyjma polohy serpentinitů a gaber. Eklogity a mladé bazaltové horniny jsou koncentrovány v centrální části komplexu ve směru SV - JZ. Komplex lze dělit i podle rozdílné intenzity metamorfózy na základě rozdílného mineralogického složení. Typickými metamorfními minerály centrální oblasti jsou kyanity a rutily. Převládající část metamorfovaných hornin mariánskolázeňského komplexu spadá do facie granatických amfibolitů k přechodné amfibolit-eklogitové facii. Velká pestrost amfibolických metamorfovaných hornin je dána hlavně předmetamorfními rozdíly ve složení a různou intenzitou metamorfózy. Složení se vyznačuje nízkou koncentrací TiO₂, Fe₂O₄ a vyrovnaným poměrem alkálií (Jaroslav Tonika in Svoboda, 1983). Samotné metamorfní fáze jsou přitom složité datovatelné (Timmermann et al., 2004). Za zmínku dále stojí, že v 50. letech probíhal v okolí Pramenů průzkum prognózních ložisek Sn-W rud (Skokov, 1992).

Pro sasko-durynskou oblast jsou typické granity, diority, granodiority, svory a rohovce. K sasko-durynské oblasti se řadí **mariánskolázeňský masiv**. Dle dříve přijímané hypotézy jde o součást karlovarského plutonu, ale Pivec a Novák (1996) na základě geochemických dat přiřazují masiv spíše k severnímu výběžku borského masivu a dále uvádějí, že v porovnání s krušnohorskými granity se těleso vyznačuje zvýšenou koncentrací Ba, Sr, Cr, Ni, Zr a sníženou koncentrací Rb, Li a F. Na povrchu je od karlovarského plutonu oddělen krystalickými břidlicemi krystalinika Slavkovského lesa. Na JZ je ukončen mariánskolázeňským zlomem. Vyznačuje se drobně až středně zrnitou porfyrickou biotitickou „*horskou žulou*“. Žilný doprovod tvoří žíly žulového porfyru (Suk in Svoboda, 1983). Minerálním složením odpovídá loketským granitům i porfyrickým biotitickým granitům nejdecké části karlovarsko-eibenstockého masivu (Hejtman, 1984). Hornina jako celek obsahuje 10 % biotitu, 38 % plagioklasu, 31 % perthitického mikroklinu, 20 % křemene a akcesorie (apatit a zirkon) (Haberlandt, 1929).

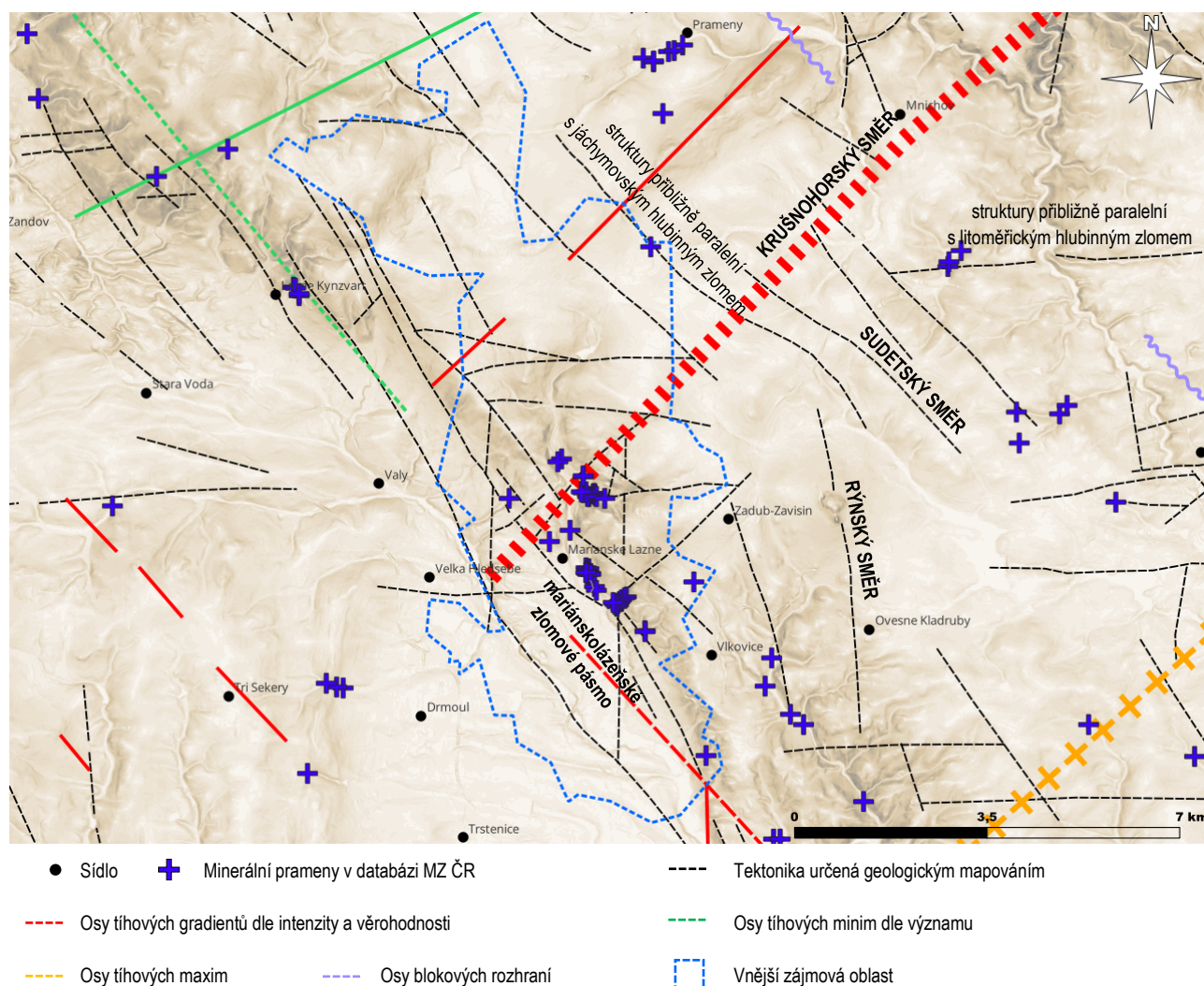
Geologie zájmové oblasti je taková, že v severní části města dominují granity a diority, na jihu převažují ruly a na východě amfibolity. Směrem od východu k západu přecházejí amfibolity do pararul a dále do svorových rul až svorů, které jsou většinou hrubozrnnější (Hynie, 1963). V severovýchodní části města se nachází rozptýlené alkalické vulkanity paleogenního stáří. Jde o několik čedičových monovulkánů, které jsou řazeny k západočeským rozptýleným alkalickým vulkanitům. Lze vymezit tři hlavní lokality jejich výskytu, ležící na JV linii Lysina – Mariánský dvůr – Podhorní vrch. Jde například o Podhorní vrch, Hradišťský vrch a Špičák u Teplé. Valenta et al. (2014) dokonce popisují 1,5 km SSZ od Podhorního vrchu maarovou strukturu neogenního stáří. V JZ části zájmové oblasti se nakonec nacházejí reliktly sladkovodního terciéru, který je tvořen štěrky a písky s vložkami jílu (Tonika ed., 1983), a to vč. kaolinických. Jejich rozložení a výškové rozdíly mohou dokládat, že terciární sedimenty pokrývaly původně mnohem větší část území. Dochovaná mocnost těchto terciárních uloženin je největší podél mariánskolázeňského zlomu, kde je jejich mocnost 15 m (Vejnar et al., 1962). Rekonstrukcí říční sítě od pozdního pliocénu do středního pleistocénu podél mariánskolázeňského zlomu se zabýval Flašar (2022). Nevyloučil, že kromě fluvialních uloženin jsou přítomny i uloženiny lakustrinní. Dále upozornil, že tektonická aktivita podél mariánskolázeňského zlomu s největší pravděpodobností neprobíhala rovnoměrně a ve stejném okamžiku. Z hlediska kvartérního pokryvu stojí za zmínku přítomnost humolitů, které byly těženy pro peloterapii přímo v Mariánských Lázních a na náhorní plošině Slavkovského lesa mezi Čistou a Krásnem (Hadač et al., 1953; Hynie, 1963)

2.2.2 Tektonika

Tektonika v oblasti Mariánských Lázní je neobyčejně komplikovaná. Její pochopení je ale klíčové v řadě problémů Českého masivu, neboť územím probíhají mohutné zlomy oddělující TBO od sasko-durynské a moldanubické oblasti (Holubec, 1990). V Mariánských Lázních se kříží zlomy moldanubického, krušnohorského a saxonského směru (Hazdrová, 1959). V celé zájmové oblasti jsou orientace zlomů ve 4 základních směrech (Obr. 3):

- system S - J až SZ - JV** (rýnský), který například vymezuje okraj chebské pánve na východě;
- system Z - V**, který je kolmý na system S - J;
- system SZ - JV** (sudetský);
- system SV - JZ** (krušnohorský, kolmý k systému sudetskému), který se možná uplatňuje pouze v pánevních strukturách (Polanský a Klír, 1975).

Největším zlomem v zájmové oblasti je tzv. **mariánskolázeňský**, který prochází JZ částí města. Zlom je 150 km dlouhý a 10 km široký. (Škvor in Svoboda, 1983). Dle morfologie terénu ho lze identifikovat v délce minimálně 90 km (Dovolil, 1961). Identifikovatelný je ale i geofyzikálními metodami (odporová tomografie aj.) (Fischer et al., 2012). Vertikální pokles na zlomu je až 300 m, ale u Mariánských Lázní cca 100 m (Hynie, 1949). Pro zpřesnění průběhu předpokládaných tektonických směrů byl začátkem 70. let v západních Čechách proveden rozsáhlý geofyzikální průzkum (Šalanský, 1971; Polanský a Klír, 1975). Geofyzikální průzkum byl zaměřen na letecké magnetické a radiometrické mapování a doplňkově i na pozemní. Srovnání tektonické interpretace na základě geofyzikálního a geologického mapování je patrné z Obr. 3.



Obr. 3 - Tektonické poměry v zájmové oblasti (zdroj dat: geologická mapa 1 : 50 000, terénní mapování V. Kachlika a geofyzikální průzkum Polanského a Klíra (1975)), mapový podklad: digitální model reliéfu (DMR) 5. generace

2.2.3 Vliv geologie a tektoniky na minerální prameny

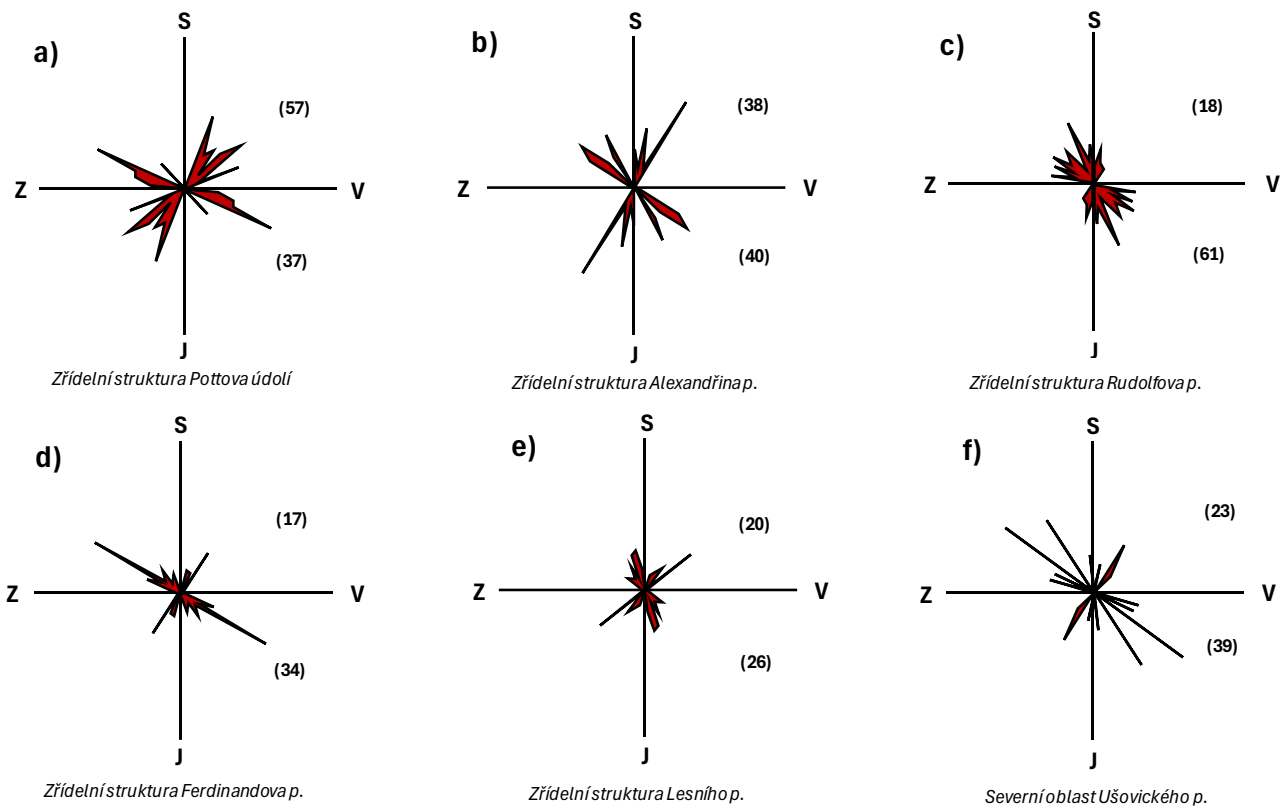
Výrazná petrografická a tektonická variabilita je příčinou velmi pestrého chemického složení minerálních vod v této oblasti (Dovolil, 1959; Dovolil, 1961; Hynie, 1963). V případě, že by hornina, popř. vsáklá fosilní mineralizace a hlubinné CO₂ s vodou neinteragovaly, měl by vývěr stejný chemismus jako před infiltrací. To znamená, že chemický rozdíl mezi infiltrující a vyvěrající vodou je dán horninovým prostředím sensu lato. Voda postupně rozpouští horninu a tím se do chemismu vody, která se infiltruje, promítá její složení. Obecně platí, že čím déle je voda s horninou v kontaktu, tím více se obohacuje minerálními látkami. Vždy však záleží i na míře rozpustnosti horninotvorných minerálů, teplotě a přítomnosti plynů. Plyn totiž ovlivňuje hodnotu pH, která předurčuje, zda je ve vodách HCO₃⁻ nebo CO₃²⁻ (Malý a Malá, 1996). Pokud infiltrující voda prochází různými horninami, výsledný chemismus vývěrů bude ovlivněn všemi litologiemi a složení bude pestřejší. Ve vztahu chemismu vod k litologii obecně ale platí, že:

- v **granitech** převládá především chemický typ Na-HCO₃;
- u **svorů a fylitů** převládá chemický typ Na-HCO₃;
- se vzrůstající bazicitou hornin se zvyšuje podíl Mg²⁺. U ultrabazických hornin je charakteristický chemický typ Mg-Ca-Na-HCO₃. **Ultrabazické horniny** jsou zastoupeny zejména hadci (serpentinity). Obsah MgO a SiO₂ v serpentinitech Slavkovského lesa může být cca 35 až 40 % (Štědrá et al., 2014);
- u **rul** převládá chemický typ Na-HCO₃ (Krásný et al., 2012);
- **amfibolity** mají chemismus vody značně proměnlivější, jelikož jsou petrograficky i stupněm metamorfózy velmi pestré (Hynie, 1963). Kolísavé složení vod v amfibolitech Slavkovského lesa popisuje např. René (1996). Obsah SiO₂ v amfibolitech Slavkovského lesa je cca 40 až 50 % a MgO 5 až 10 % (Štědrá et al., 2014). Na území města se v amfibolitech nacházejí vody jak s převahou kationtu Mg²⁺, např. Farská kys. (Trojan, 1983a), tak Ca²⁺, např. Antoníčkův p. (Sysel, 1973a). Mimo zájmovou oblast, např. ve zřidelní struktuře Číhaná, je ale typ s dominancí Ca²⁺ a HCO₃⁻ téměř pravidlem (Pěček, 1992b).

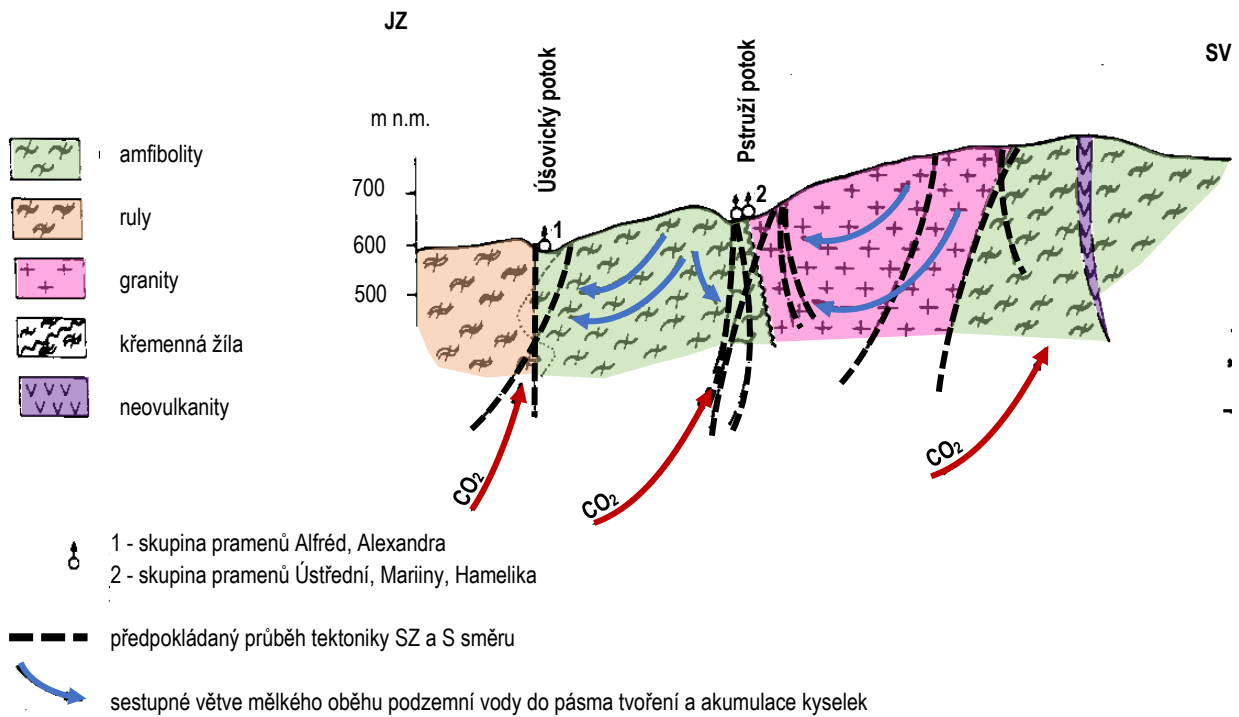
Zatímco vliv horninového prostředí na chemismus minerálních vod byl v Mariánských Lázních prokázán (Dovolil, 1959), tak názory na vliv tektonické predispozice na minerální prameny se značně liší. Např. Hynie (1949) dochází k závěru, že dílčí pukliny v mariánskolázeňské oblasti mají pravděpodobně směr S - J a že při takové vydatnosti mariánskolázeňských pramenů je pravděpodobně hydrogeologické povodí rozsáhlejší než povodí hydrologické. To je vymezeno hřbetem od vrcholku Lysina, přes Za rozcestím po Lovecký pahorek ve Slavkovském lese. Rychlý výstup kyselky na povrch terénu by mohl být dle Hynieho (1963) důkazem toho, že se využívají právě nejmladší, blíže k povrchu otevřenější trhliny (pukliny), které mají směr právě S - J (rýnský), který je mírně stočený do směru SV - JZ. Význam tektoniky se ještě umocňuje při křížení se zlomy sudetského (resp. šumavského) směru, tj. SZ - JV. Konkrétní důkazy tohoto tvrzení se však nepodařilo dohledat.

Hazdrová (1959) pro posouzení vlivu tektoniky na minerální vody vychází z mapy výskytu minerálních pramenů. Ty dle ní tvoří dva paralelní pruhy JV - SZ směru. První se táhne od Konstantinových Lázní, přes Teplou do Pramenů. Druhý začíná u Machalových Hor, prochází Mariánskými Lázněmi, Lázněmi Kynžvart a vede až k obci Salajná. To interpretuje tak, že jsou minerální vody s hlubinným CO₂ vázány výlučně na mladé saxonské zlomy, tj. např. mariánskolázeňský. Podrobným geofyzikálním průzkumem v 70. až 90. letech však byla zjištěna mnohem komplikovanější tektonická stavba (Škuthan a Suchomel, 1988). Autoři pomocí komplexu geofyzikálních metod zjistili, že ve studovaných pramenních místech Mariánských Lázní dominují tektonické směry SZ - JV až ZSZ - VJV nebo na ně kolmý směr SV - JZ až SSV - JJZ. Tektogramy pro dílčí mariánskolázeňské zřidelní struktury jsou patrné z Obr. 4.

Vliv tektonické stavby na prameny minerálních vod je dle autorů dvojitý. Z mnohých geofyzikálních měření vyplývá, že vedle sebe existuje puklinový systém, po kterém vystupuje hlubinné CO₂, a současně systém, po kterých se prostá (srážková) voda infiltruje. Minerální vody se pak tvoří na kontaktu těchto puklinových systémů, např. Farská kys. (Škuthan, 1976) a Lesní p. (Škuthan et al., 1983). Představa o provázání tohoto duálního tektonického systému je dle např. Pěčka (1985b) taková, že se srážková voda infiltruje po propustných puklinách nejsvrchnějšího pásma rozpukanosti (zvětrání) v oblastech s vyšší nadmořskou výškou do hlubších pásem rozpukání, kdy v určité hloubce dochází ke střetu toku těchto zasakujících se vod s tokem CO₂, který vystupuje k povrchu. Tak dojde k jejich proplynění a vzniku kyselky. Hlubinné CO₂ se ve vodě rozpustí a díky rozdílným hustotám plynu a vody dochází k výstupu (gasliftu) až na povrchu terénu. K tomuto jevu přitom dochází jen do hloubek několika desítek metrů, kdy ještě dochází k evazím plynu. Ve větších hloubkách je plyn přítomen v rozpouštěné formě a je zde tedy pouze kapalná fáze. Ideové schéma je patrné z Obr. 5.



Obr. 4 - Tektogramy některých zřidelních struktur, které vyplývají z vymapovaných produktivních struktur pomocí komplexu geofyzikálních metod; číslo v závorce = četnost směrů struktur v kvadrantu (upraveno ze Škuthan a Suchmel (1988))



Obr. 5 - Ideový řez užší zřidelní oblastí Mariánských Lázní (upraveno z Pěček (1985b))

2.3 Hydrologie a hydrogeologie

Voda z Mariánských Lázní odtéká do dvou významných povodí. Větší část území leží v povodí řeky Berounky a menší část v povodí Ohře. Voda z Mariánských Lázní odtéká třemi směry, tj. na jih do Mže, na východ do Teplé a na západ do Odry. Jelikož město leží na úpatí Slavkovského lesa, tak městem neprotéká žádný významný vodní tok. Nejvodnatějším je Kosový potok, který se vlévá do Mže. Informace o průměrném dlouhodobém průtoku Kosového potoka v Mariánských Lázních není k dispozici, ale v Třebeli, která je vzdálená 17 km po toku od Mariánských Lázní je průměrný průtok 1,49 m³/s (ČHMÚ, 2020b). Nejrozšířenější chemický typ povrchových vod je Ca-HCO₃ s hodnotou pH 4,1 až 7,0 s celkovou mineralizací (M) cca 0,2 g/l. Dle ekvivalentního zastoupení kationtů dominuje Ca²⁺ > Mg²⁺ > Na⁺ > K⁺ a aniontů HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > Cl⁻ (Pěček, 1996c). Krám et al. (2017) na základě nasbíraných dat v blízkém okolí Mariánských Lázní uvádějí, že tato povodí, jejichž podloží je formováno amfibolity, které jsou bohaté na Ca²⁺ a Mg²⁺ mají příznivé hydrochemické podmínky pro terestrické a akvatické ekosystémy.

Z hydrogeologického hlediska oblast leží ve třech rajónech, tj. Krystaliniku v povodí Mže po Stříbro a Radbuzy po Staňkov, Krystaliniku Slavkovského lesa a Krystaliniku v mezipovodí Mže pod Stříbrem. Tyto rajóny se vyznačují puklinovou propustností (VÚV T.G.M., 2004b) a specifickým základním odtokem od 2,0 do max. 5,0 l/s/km² (Krásný et al., 1982; VÚV T.G.M., 2004c). Prameny v povodí Mže nejsou vydatné. Vydatnost nad 60 l/min je měřena pouze u 3 pramenů, přitom nejvydatnější jsou výtoky z pramenišť. Pramenem přitom nejsou myšleny pouze vývěry podzemních vod na povrch terénu, ale jakýkoliv odtok z větší plochy území. Z tohoto důvodu je za nejvydatnější pramen v celém povodí Mže považován výtok vody z dědičné štoly Ondřej ve Stříbře. Průměrná plošná koncentrace pramenů je 0,54/km² (Stoček et al., 1972). V povodí Teplé je nejčastěji vydatnost pramenů do 6 l/min a jejich plošná koncentrace je 0,8/km² (Stoček a Stehlík, 1974). Ve vrcholové části Slavkovského lesa se dlouhodobé průměrné specifické hodnoty celkového odtoku pohybují mezi 15 až 25 l/s/km² a základní odtok mezi 4,8 až 7,7 l/s/km² (Pěček, 1996c).

Dle Pěčka (1996c) jsou v širším okolí Mariánských Lázní tři základní typy pramenů prostých podzemních vod:

- prameny s **velmi nízkou mineralizací** (cca 0,07 g/l), které mají současně nízkou hodnotu pH (až 3,8). Jsou typické pro rašeliniště s nadměrným obsahem organických látek;
- prameny s **nízkou mineralizací** (0,07 až 0,12 g/l) s chemickým typem Ca-Mg-SO₄. Jsou typické pro mělké zóny krystalinika;
- prameny se **střední mineralizací** (0,38 až 0,92 g/l) s dominancí Mg-HCO₃ (± Fe²⁺, Mn²⁺, NH₄⁺). Jsou typické pro hlubší oběh v redukčním prostředí v mafických (zvýšený obsah Fe a Mg) horninách.

Pro pararuly a migmatity Tepelské vrchoviny (těž plošiny) a Slavkovského lesa, je transmisivita $T = 2,5 \times 10^{-6}$ až 9×10^{-5} m²/s a pro amfibolity, vč. kvartérních náplav $T = \text{cca } 10^{-5}$ m²/s, ale soubor hydrogeologických dat, který měli autoři práce k dispozici neměl normální rozdělení. Pro pararuly a migmatity moldanubika je $T = 2 \times 10^{-5}$ až 3×10^{-4} m²/s a pro fylity a fylitické břidlice TBO je $T = 5 \times 10^{-5}$ až 5×10^{-4} m²/s (Kolářová a Hrkal, 1986). Výskyty kvartérních ani terciérních sedimentů v zájmové oblasti nebyly při vytváření hydrogeologické mapy 1 : 200 000 posuzovány. V terciérních reliktech plánské kotliny však byla zjištěna artéská zvodeň (Hynie, 1963). Pro podzemní vody je typický chemický typ Ca-HCO₃-SO₄, popř. pouze Ca-HCO₃ (VÚV T.G.M., 2004a) s hodnotou pH 3,0 až 7,6 a celkovou M od 0,07 do 0,92 g/l (Pěček, 1996c). Chemické složení se zároveň mění s hloubkou, kdy směrem do hloubky roste obsah HCO₃⁻ a někde i SO₄²⁻ (Kolářová a Hrkal, 1986). Hydrogeologii minerálních vod je věnována následující kapitola.

2.4 Minerální vody

Mariánskolázeňské minerální prameny spadají do širší západočeské lázeňské oblasti a ta do plošně rozsáhlého uhličitane bohatého lázeňského pruhu, které se táhne od pohoří Eifel s lázněmi Spa a tzv. pouhony ve východní Belgii (Depret et al., 2021), přes Harz, Smrčiny a dále podél Krušných hor, přes Labskou nížinu a severní Moravu do Slezska (Hynie a Zoubek, 1948). Minerální vody jsou vázány na doznívající třetihorní vulkanismus, jehož projevem jsou výstupní proudy CO₂. Významné je, že většina izolovaných minerálních vývěrů v zájmové oblasti nemá celkovou mineralizaci nad 1 g/l, ale obsahuje nad 1 g/l rozpuštěného CO₂.

Mariánskolázeňské minerální prameny mají velmi pestrý chemismus, historii i využití, a proto jsou jednotlivá pramenní místa popsána samostatně. Pro potřeby diplomové práce byly prameny rozděleny na základě polohy do zřídelních struktur. Prameny byly zařazeny do zřídelních struktur:

1. Křížového pramene
2. Alexandřina a Alfrédova pramene
3. Ferdinandova pramene
4. Rudolfova pramene
5. okolí Centrálních lázní (Mariány prameny, Karolinin pramen, Ambrožovy prameny, Ústřední prameny, pramen Hamelika)
6. Lesního pramene
7. Pottova údolí (Prelátův, Alfa, Beta, Gama, Delta, Putz atd.)
8. Antoníčková pramene
9. Farské kyselky

Izolované vývěry se nacházejí i mimo tyto struktury. Jde zejména o:

1. Balbínův pramen
2. Medvědí pramen
3. Hájenský pramen
4. Myší pramen
5. Vlčí kyselka
6. Maxova kyselka
7. Křovištní kyselka
8. Pirátův pramen
9. Koňská kyselka
10. Srnčí pramen aj.

Jednotlivé struktury i izolované vývěry jsou v této kapitole stručně popsány tak, aby bylo zřejmé, jaké faktory se v průběhu jejich historie podílely na změně podmínek jejich využívání i hydrochemického složení.

2.4.1 Křížový pramen

Geologie

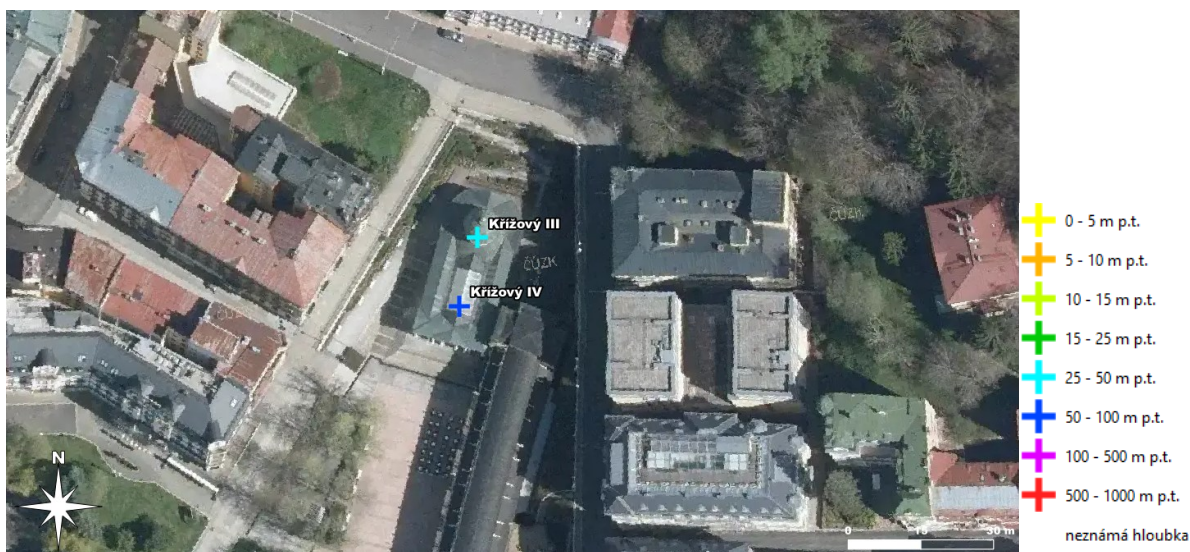
Jemnozrnné kaolinizované šedé granity a tektonicky porušené biotitické prokřemenělé ruly (ČGS, 2024).

Historie

Pramen je evidován v záznamech tepelského kláštera již v r. 1749 a v téže době byl i prokazatelně zachycen. V r. 1789 bylo jímání pramene zlepšeno, dále pak v r. 1817. Ve stejné době byla voda zadržována a čerpáním odváděna k dalšímu využití. Ve 40. letech 19. století byla voda distribuována i dále do Evropy (Dovolil, 1959). Protože docházelo k nežádoucím výkyvům vydatnosti pramene, bylo v r. 1858 nové jímání svedeno do záchytné šachtice, ze které byla voda následně odebírána. Během denního odběru vody docházelo k vyprázdnění záchytné šachtice a během noci pak k jejímu opětovnému naplnění. Voda z pramene pak dle Dr. Ragského (Dašek, 1948) obsahovala na 1000 hmotnostních dílů vody 8,9 dílů pevných součástí. Z toho lze usuzovat, že odparek mohl být cca 8,9 g/l. Zajímavým zjištěním bylo, že po rekonstrukci jímání se mění složení přímo v závislosti na výšce hladiny v šachtici. Nejvyšší mineralizace byla při vyšší hladině (odparek cca 10 g/l) (Dašek, 1948).

Další rekonstrukce jímání byla provedena v r. 1912. Tato rekonstrukce byla rozsáhlejší, protože byly v místě pramene odtěženy zeminy na ploše 200 m² do hloubky 4 m p.t., kde již byl zvětralý granit. Zjistilo se, že na dané ploše je 36 drobných výronů minerální vody. Každý z těchto výronů byl zachycen samostatným malým cínovým zvonkem. Výrony byly rozděleny dle místa vývěru a mineralizace a svedeny do 3 přelivových stojanů. Dále byla vybudována druhá samostatná skupina zachycující 28 vývěrů s nejvyšší mineralizací (Hynie, 1963). Východní skupina vývěrů měla 220 meq/l aniontů (odhad celkové M 15 g/l), západní 140 meq/l (odhad 10 g/l) a zbytek (železnatá) 20 meq/l (celková M cca 1 g/l). Při míchání vody z 1. a 2. skupiny jímání byla koncentrace 159 meq/l aniontů (odhad 12 g/l) (Dašek, 1948). Pavilón Křížového p. pochází z r. 1913, a tudíž již byl napojen na nové jímání (Janoška, 2011).

Protože byl daný způsob jímání technicky velmi složitý, a navíc docházelo k mísení minerálních vod s prostou vodou, bylo rozhodnuto o hlubším jímání. K tomu byly využity vrty s označením Křížový I až III. Vrtový průzkum proběhl v r. 1936 (viz Tab. 1), ale již v průběhu 40. let vydatnost pramenů začala opět klesat (Dovolil, 1959). **Křížový III** se navíc vyznačoval značnou rozkolísaností ve vydatnosti, jelikož docházelo k přerušování vývěru na 2 až 3 hodiny denně. Po obnovení přetoku se vydatnost opět zvýšila (Hrabálek, 1951). Dlouhodobá průměrná vydatnost pramene v letech 1945 až 1952 byla $Q = 2,32$ l/min (Klír, 1953). Tato intervalově, a hlavně pravidelně se měnící vydatnost by mohla být způsobena stejnými procesy (tj. tlakem CO₂ a jeho uvolňováním) jako intervalové výrony karlovarského Vřídla. Z tohoto důvodu byl jímací systém v r. 1954 doplněn 83,5 m hlubokým vrtem **Křížový IV** (Obr. 6), vrt Křížový III byl zrekonstruován a Křížový I a II byly zlikvidovány. Úhrnná vydatnost v r. 1956 obou pramenů (III a IV) byla $Q = 4,71$ l/min (Hynie, 1963). Zajímavé je, že hlubší zachycení pramenů v letech 1936 až 1938 (Křížový I – III) a v 1954 až 1956 (Křížový IV) nepřineslo zvýšení mineralizace (Dvořák a Horna, 1976).



Obr. 6 - Lokalizace dílčích pramenů struktury. Poznámka: lokalizace zlikvidovaných vrtů Křížový I a II není přesně známá.

Tab. 1 - Historie jímání Křížového pramene. Lokalizace dílčích pramenů struktury je patrná z Obr. 6.

Křížový	Označení	Lokalizace WGS-84		Rok	Hloubka [m p.t.]	cca Q [l/min]	Celková M [g/l]	Chem. typ	Poznámka
1. jímání				1789					
2. jímání				1817					
3. jímání				1858					
4. jímání				1912	4,00				voda čerpána
5. jímání	I.			1936	17,00	0,32 (1942)			likvidace 1955
	II.			1936	30,00	0,78 (1941-2)			likvidace 1955
	III.	49,97808	12,70663	1936	45,00	< 1 (ČIL, 2022)	10,1 (2019)	Na-SO ₄ -HCO ₃	rekonstrukce 1955
6. jímání	IV.	49,97795	12,70658	1954	83,50	< 3,0 (ČIL, 2022)	6,0 (2019)	Na-SO ₄ -HCO ₃	jímací úsek 32-70 m p.t.

Ohrožení Křížových pramenů

V 80. letech byla zahájena rekonstrukce pavilonu Křížového pramene (otevření pavilonu proběhlo v r. 1991) a jeho okolí (Janeček, 2017). V r. 1986 proběhly na lokalitě dílčí stavební práce, vč. výkopů, a to přesto, že jsou v tomto prostoru tyto práce bez odborného hydrogeologického dozoru zakázány. Důsledkem bylo, že došlo v r. 1987 na dva měsíce ke ztrátě přelivu pramene Křížový III. Důvodem ztráty pramene bylo výrazné plošné odplynění struktury a nebyla vyloučena ani tvorba nových parazitických výstupních cest minerální vody. Odplynění výstupních cest bylo potvrzeno karotážním měřením. Bez ohledu na to však výkopové práce pokračovaly do roku 1990. Kolektor inženýrských sítí byl zaizolován a voda odčerpávána pouze z jímky kolektoru. Na prameni Křížový III se obnovil přeliv s $Q = 0,5$ až $0,6$ l/min (12.4.1990), což je $\frac{1}{2}$ původní vydatnosti a byl zjištěn průsak vod do suterénu pavilonu. Při odčerpání vody však opakovaně docházelo ke snížení vydatnosti přelivu Křížový III. Šetřením byla v základové spáře nalezena zinková vana, která v minulosti sloužila jako těsnění proti průniku tlakové vody. Dále bylo zjištěno, že na styku kolektoru se sklepem zůstal nevybetonovaný prostor a do něj se soustřeďovaly parazitické vývěry, jak ze spáry za stěnou kolektoru, tak i z drobných plošných výronů v zabetonované počvě chodby. Utěsněním prostoru mezi kolektorem a sklepem ocelovou vanou, která byla napojena na stávající konstrukci a těsnění, se zvýšila vydatnost pramene Křížový III na $Q = 0,97$ až $1,1$ l/min s celkovou M $9,5$ g/l a $2,9$ g/l volného CO₂. Vydatnost pramene Křížový IV zůstala $Q = 3,1$ l/min, při celkové M $7,0$ g/l a obsahu volného CO₂ $2,4$ g/l (Jiroušek, 1990; Pěček, 1993).

V r. 2005 a 2006 byla minerální voda z vrtu Křížový III a Křížový IV analyzována na obsah AOX, NEL, PAU a mikrobiologického znečištění. Chemickou analýzou bylo zjištěno, že je limit PAU pro pitnou vodu překročen u obou pramenů, a to i při opakovaném odběru. Limitní hodnoty byly překročeny min. 6x a max. 230x. Při opakovaném odběru bylo navíc zjištěno i překročení dalších limitů. Ve vrtu Křížový III se dokonce zjistilo mikrobiální znečištění. MZ ČR k výsledkům uvedlo, že se zvýšené koncentrace PAU vyskytují i v pramenech Ambrož I, Ambrož II, Ambrož III a Karolina. Původem kontaminace mohou být lepidla a těsnící hmoty, které se dříve využívaly k rekonstrukci vrtů (Pěček, 2006).

Součástí provedených prací bylo i karotážní měření (Lukeš a Pitrák, 2006). U pramene Křížový III byla změřena vydatnost na přetoku $Q = 1,2$ l/min a u Křížový IV na přetoku $Q = 2,2$ l/min. Křížový III byl pro sondy přístupný do 42 m p.t. a Křížový IV do 67 m p.t. (dle výstrojního listu je od 70 m zacementovaný). Kavernometrií nebyly zjištěny žádné trhliny ani ve vrtu Křížový III, ani Křížový IV. Gama-Gama karotáž zjistila ve vrtu Křížový III výraznou kavernu 12,5 až 15,5 m p.t., která může být částečně způsobena vyšším obsahem CO₂. Ve vrtu Křížový IV se gama-gama anomálie nezjistila. Termometrií bylo zjištěno, že ve vrtu Křížový III teplota směrem do hloubky klesá (od 11,2 do 9,5 °C), ale v Křížový IV stoupá (od 9,2 do 9,5 °C). Interpretace není jednoznačná. Ve vrtu Křížový III jsou hlavní přítoky v 19, 21, 23, 25, 27, 28, 30 a 31 až 32 m a v Křížový IV je hlavní přítok od 42,5 do 53,0 m p.t. Fotometrické měření ukazuje postupné zvyšování zákalu vody, což dokládá usazující se kal ve vrtech. Video prohlídkou vrtu byl překvapivě zjištěn dobrý technický stav vrtů. Ve vrtu Křížový III byly zjištěny bílé mikrobiální povlaky v celé délce vrtu a perforace od hloubky 17,5 m p.t. Ve vrtu Křížový IV byly zjištěny bílé mikrobiální povlaky do 15 m p.t. a perforace byla zjištěna až od hloubky 41,6 m p.t.

2.4.2 Alexandřin a Alfrédův pramen

Geologie

Prameny jsou lokalizovány v kontaktní zóně mylonitizovaných pararul (Pěček, 1988) a amfibolitů, zdánlivě atektonického charakteru. Průzkumem byla zjištěna převaha amfibolitové (metabazitové) složky. Horniny se velmi

snadno rozpadají na jemnozrný až prachovitý písek (Pěček, 1985b). U vrtu Alexandra BJ 12 byl zjištěn amfibolit s přechody do amfibol-biotitické ruly (Pěček, 1988).

Historie

Alexandřin p. byl objeven v r. 1873 (Janoška, 2011). Zachycen byl jednoduchým dřevěným jímáním. Alfrédův pramen byl objeven při rekonstrukci Alexandřina pramene v r. 1900 a byl pojmenován po tepelském opatovi Alfrédovi Clementsovi (Janoška, 2011). Oba prameny byly nově zachyceny kuželovitým jímáním v hloubce 5 m p.t. (Dašek, 1948). Ve 40. letech 20. století byla záchytná jímka prohloubena do 6 m p.t. Ve výkopu bylo nalezeno 6 dílčích vývěřů minerální vody, které měly rozdílné mineralizace. Celková vydatnost však byla pouze do 5 l/min. Zachyceny byly 3 vývěry s nejvyšší mineralizací a ostatní utěsněny jílem. Přelivová úroveň byla cca 1,5 m p.t. (Pěček, 1988).

Alfrédův p. míval na přelivu v r. 1941 $Q = 4,02$ l/min, ale postupně se vydatnost pramene snižovala. V r. 1947 byla vydatnost pouze $Q = 0,43$ l/min. Proto bylo přerušeno připojení na výtlačný řad a prameny přestaly být využívány. Průměrná vydatnost Alfrédova p. mezi r. 1945 až 1952 byla $Q = 0,64$ l/min (Klír, 1953). V r. 1956 zcela zanikl (Dovolil, 1956b). Dovolil (1956b) navrhol jako řešení této situace vybudovat cca 20 m hluboký vrt, který by snížil průtočné odpory. Dokumentace o likvidaci záchytných jímek v 60. letech chybí (Pěček, 1988). Historie jímání je shrnuta v Tab. 2.

Tab. 2 - Historie jímání Alexandřina a Alfrédova pramene. Lokalizace dílčích pramenů struktury je patrná z Obr.

7.

	Označení	Lokalizace WGS-84	Rok	Hloubka [m p.t.]	Q [l/min]	Celková M [g/l]	Chem. typ	Poznámka
1. jímání			1873					
2. jímání	Alexandra starý	49,96912 12,70305	1900	5,0	< 5,0 (40.léta 20. století)	cca 6,4 (1900)	Na-SO ₄ -HCO ₃	
	Alfréd starý	49,96913 12,70313	1900	5,0	4,02 (1941)	cca 7,3 (1900)	Na-SO ₄ -HCO ₃	
3. jímání	Alexandra BJ 12	49,96912 12,70313	1986	60,0	< 18,0 (ČIL, 2022)	6,9 (2018)	Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl	

V r. 1981 na lokalitě proběhl geofyzikální průzkum (Cahyna et al., 1981) s cílem nalézt výstupní strukturu zaniklých pramenů. Důvodem hledání dalších pramenů bylo nadměrné čerpání ze současných zdrojů, u kterých docházelo k poklesu mineralizace i vydatnosti. Na geofyzikální průzkum navázal hydrogeologický (Pěček, 1985b), jehož součástí bylo vybudování dvou průzkumných vrtů, tj. **Alfréd HJ 10** a **Alexandra HJ 11** (lokalizace Obr. 7). Průzkumem bylo zjištěno, že silně mineralizované vody jsou do 10 m p.t. od přípovrchové zvodně izolovány nepropustnými jílovitými polohami. Vrty nebyla zjištěna výrazná vertikální hydrochemická zonálnost. 60denní hydrodynamickou zkouškou (HDZ) nebylo zjištěno vzájemné hydraulické ovlivnění. Vhodná hloubka pro jímání byla stanovena na 20 až 35 m p.t.



Obr. 7 - Lokalizace dílčích pramenů struktury

V r. 1986 byl vyhlouben vrt **Alexandra BJ 12** (Pěček, 1988) do hloubky 60 m. Vrt byl navržen tak, aby zachytil vody, které byly vrtem Alfréd HJ 10 zjištěny ve větší hloubce mimo dosah prosté vody. Byl zjištěn puklinový systém s úklony 80° až 90° a 60°. Velká porucha byla zjištěna v hloubce 50 až 60 m p.t. Dle karotážního měření je právě tato oblast hlavním zdrojem minerálních vod. Nebyla přitom zjištěna významná hydrochemická vertikální zonálnost. Při HDZ byly ovlivněny Alfréd HJ 10 (během HDZ poklesla hladina o 0,9 m od ustálené hladiny) a méně Alexandra HJ 11 (pokles o 0,3 m). Dlouhodobá HDZ probíhala 222 dní a přelivná zkouška 99 dní, a to za pomoci speciálního obturátoru. Při snížení $s = 18$ m p.t. byla ustálená vydatnost zdroje $Q = 22$ l/min. Obsah volného CO_2 byl 2,4 až 2,6 g/l, který se v závislosti na čerpaném množství významně neměnil. Byl zjištěn vztah mezi atmosférickým tlakem (např. před bouří) a polohou hladiny vody ve vrtu. Po HDZ byl instalován plynotěsný obturátor pro měření přelivu. Byl instalován 2 m pod ustálenou hladinou podzemních vod (HPV) (tj. 2,4 m p.t.). Experimentem byl zjištěn pulzační až eruptivní ráz vývěru. Průměrná vydatnost přelivu, tj. bez čerpání byla $Q = 4,2$ l/min při celkové M cca 7 g/l a koncentraci 2,1 až 2,6 g/l volného CO_2 .

V r. 1990 proběhla definitivní etapa zachycení Alexandry BJ 12, vč. vybudování akumulací šachtice tak, aby mohla minerální voda sloužit pro pitné kúry. Bylo rozhodnuto, že jímání bude zabezpečeno bez zajištění elektrické energie, tedy pouze mobilním plynotěsným obturátorem, což současně vylučovalo přetěžování zdroje (Keprta, 1990a). V r. 2003 proběhla na základě požadavku MZ ČR další HDZ, která trvala 30 dnů. Před zahájením čerpání byl zjištěn přetok o nezměřené vydatnosti přes okraj pažnice. Zkouška byla provedena při 3 sníženích s tím, že při vydatnosti $Q = 54$ l/min byla hladina 33 m p.t. Teplota vody byla 10,5 °C a obsah volného CO_2 cca 2,8 g/l. Při $Q = 48$ l/min byla hladina 26 m p.t. Voda měla koncentraci 2,3 g/l volného CO_2 a totožnou teplotu, a nakonec při $Q = 30$ l/min, kdy byla hladina ustálená 13 m p.t. při obsahu volného CO_2 2,1 g/l a stejné teplotě. Zajímavé je, že po 2 dnech čerpání při $Q = 48$ l/min radikálně klesla vydatnost p. Křížový III, který je vzdálený 1,0 km z $Q = 2,94$ l/min na 0,96 l/min, což svědčí o tom, že hydrochemická příbuznost pramenů není náhodná. Na ostatních pramenech (Ambrožovy, Ferdinand IV a Křížový IV) žádný pokles vydatnosti a ani hladiny zaznamenán nebyl (Pěček, 2004). Od roku 2005 je minerální voda vyvedena v altánu Alexandřina p. (Janoška, 2011).

2.4.3 Ferdinandův pramen

Geologie

Pramen je situován v silně porušených, alterovaných amfibolitech (někdy až šedomodré barvy), které mohou cca od 50 m p.t. přecházet v silně porušené, alterované (místy až kaolinizované) biotitické pararuly. Tektonický vztah mezi amfibolity a pararulami nebylo možné díky velmi silnému zvětrání hornin zjistit. Ojedinele byly zjištěny uzavřené čočky hornin připomínající eklogit až hadce (Pěček, 1991a).

Historie

Údajně se o prameni píše již v císařském rukopise z roku 1528. Rukopis se týká pokusu vyrábět kuchyňskou sůl ze silně mineralizované minerální vody. Sůl se pak z vody skutečně získávala, a to až do roku 1946 (Janoška, 2011). První chemický rozbor vody pochází z první poloviny 19. století, kdy byl zjištěn odparek 4,46 g/l. Je však doloženo, že již císař Ferdinand I. nařídil v r. 1528 provést rozbor, který se ale do dnešní doby nedochoval (Myslil a Václ, 1966). Jímání bylo v r. 1819 zajištěno šachticí hloubkou 6,5 m (Kolářová a Myslil, 1979), které vydrželo až do rekonstrukce v r. 1922 až 1926, kdy s rozvojem lázeňství bylo třeba zvýšit jímané množství. V rámci rekonstrukce bylo vybudováno dalších 6 jímacích vrtů Ferdinand II, III, IV, VI, VII, VIII (Klír, 1953). Po zrekonstruování struktury (Tab. 3) byla úhrnná vydatnost Ferdinandovy struktury až 170 l/min (Dašek, 1948; Vala, 1961). V letech 1945 až 1952 byla průměrná úhrnná vydatnost 124,74 l/min (Klír, 1953), a to z plochy cca 50 x 50 m (Vala, 1961).

Kromě velmi mineralizovaných pramenů Ferdinand I a II, které měly celkovou M cca 8,9 až 10 g/l (Dašek, 1948), byl rekonstrukcí zachycen pramen **Ferdinand VI Excelsior**, který měl naopak mineralizaci velmi nízkou. Proto se minerální voda stáčela do lahví a distribuovala (ukázka etikety Obr. 8). Problém nastal, když se zjistil pokles vydatnosti na přelivu z 13 l/min (1922 až 1924) na 2,3 l/min (1953). Proto byl pramen v roce 1953 rekonstruován. Během rekonstrukce však nedošlo k prohloubení jímání tak, jak je to prováděno u jiných pramenů, ale byl pouze rozšířen. To z toho důvodu, že se předpokládalo zvýšení celkové M při prohloubení pramene, a tudíž by se voda nemohla stáčet. Rekonstrukcí bylo dosaženo zvýšení vydatnosti na 25 až 30 l/min při HPV 0,86 m p.t. (Vala, 1961). U ostatních Ferdinandových p. ke ztracení přelivné úrovně v minulosti nedošlo, pouze je patrný poklesový trend v celkové M u

pramene Ferdinand I, II, IV, VII, VIII a u pramene Ferdinand III, kdy byla současně zjištěna vysoká variabilita chemismu. Více informací není k dispozici, jelikož v závěrečné zprávě autoři Dvořák a Horna (1976) uvádějí pouze roční průměry z 10 až 15 hodnot. Meziroční rozkolísanost průměrů je cca 30 %. Za zmínku stojí, že Švorcová (1980) vodu z p. Ferdinand VI Excelsior testovala na výskyt železitých, manganových a desulfurikačních bakterií a zjistila, že dle jejich počtu se voda podobá Korunní či Ondrášovce.

Tab. 3 - Historie jímání Ferdinandova pramene

	Označení	Lokalizace WGS-84	Rok	Hloubka [m p.t.]	cca Q [l/min]	Celková M [g/l]	Chem. typ	Poznámka
1. jímání			1819	6,50 (Kolářová a Myslíl, 1979)	28 (Klír, 1953)			
2. jímání	I.	49,96232 12,70724	1922	55,40 (Drbal, 2012)	15 (ČIL, 2022)	8,5 (2018)	Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl	* , později voda čerpána
	II.	49,96216 12,70751	1925-6	21,53 (Drbal, 2012)	52 (ČIL, 2022)	7,4 (2018)	Na-SO ₄ -HCO ₃	*
	III.	49,96239 12,70727	1925-6	6,86 (Drbal, 2012)	33 (ČIL, 2022)	2,0 (2018)	Na-HCO ₃ -SO ₄	**
	IV.	49,96229 12,70778	1925-6	6,58 (Drbal, 2012)	11 (ČIL, 2022)	1,4 (2019)	Na-Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	**
	VI Excelsior	49,96260 12,70743	1925-6	10,50 (Vala, 1961)	5,10 (Klír, 1953)			** , rekonstrukce průměr 200 mm
			1953	10,70 (Drbal, 2012)	7,8 (ČIL, 2022)	0,4 (2019)	Na-Ca-Mg-HCO ₃ -Cl-SO ₄	průměr 500 mm
	VII.	49,96216 12,70778	1925-6	3,17 (Drbal, 2012)	1 (ČIL, 2022)	cca 0,9 (1969)	Ca-Na-Mg-HCO ₃	**
	VIII.	49,96204 12,70774	1925-6	2,44 (Drbal, 2012)	1 (ČIL, 2022)	0,8 (2019)	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄	**
3. jímání	HV 43 Augustin	49,96195 12,70839	2013	75 (Drbal, 2014a)	18 (ČIL, 2022)	7,2 (2019)	Na-HCO ₃ -SO ₄	
	HV 44 Edward VII	49,96213 12,70834	2013	70 (Drbal, 2014a)	42 (ČIL, 2022)	5,9 (2019)	Na-HCO ₃ -SO ₄	

Poznámka: * = výtlačná výška nad terén (Klír, 1953), ** = pod terénem, ale odváděno přeřadovým potrubím (Klír, 1953)

V r. 1983 byl na lokalitě proveden podrobný geofyzikální průzkum (Cahyna et al., 1983). Průzkum přinesl zajímavé zjištění, že v určitých bodech bylo plynometrií v hloubce 1 m p.t. změřeno i 100% zastoupení CO₂ v půdním vzduchu. Z výsledků vyplývá, že hlavní výstupní linie CO₂ je ve směru SSZ - JJV a vede skrz kolonádu Ferdinandova pramene. Na ní je kolmá další linie, a obě se protínají přímo v místě vývěru pramene Ferdinand I.



Obr. 8 - Etiketa stáčené vody Excelsior (Klír, 1953)

V r. 1987 vneslo ředitelství Československých státních lázní a zřídla v ČR požadavek na rozšíření zřídelní základny Ferdinandových pramenů. Proto byly realizovány průzkumné práce (Pěček, 1991a), kdy bylo zjištěno, že se v daném místě kříží nejméně tři linie v mělké stavbě a v hlubších vrstvách má pak tektonické porušení směr SZ - JV až SSZ - JJV, což je stejný směr, jako u okolních pramenů (Alexandra BJ 12 a Rudolfovy p.), Pravděpodobně jde o celkový kolektor mineralizované vody. Přírodní dráhy pro CO₂ pak vystupují poruchami ve směru SZ - JV a SV - JZ. Při průzkumu bylo využito poznatků z průzkumných prací na Rudolfově zřídelní struktuře. Během průzkumu byly vyhloubeny vrty Ferdinand HJ 51, 52, 53, 54, 56, 65, 67, 68 a 69 (umístění realizovaných vrtů je patrné z Obr. 9). Výsledky průzkumu jsou shrnuty v Tab. 4.

Tab. 4 - Výsledky hydrogeologického průzkumu (Pěček, 1991a; Pěček, 1996a; Pěček, 1997a; Pěček, 1997b). Změřené hodnoty se vztahují k době probíhajícího průzkumu.

Název	Hloubka [m]	Ustálená HPV [m p.t.)	Q [l/min] / sníž. [m]	CO ₂ [g/l]	Celková M [g/l]	Ovlivnění pozorovacích objektů při HDZ	Chem. typ	Poznámka
Ferdinand HJ 51	31	2,22	3,0 / 12,0	1,1	4,5	-	Mg-Ca-Na-HCO ₃ -SO ₄	zlikvidován
Ferdinand HJ 52	31	1,20	3,0 / 11,2	1,7	11,8	-	Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl	zlikvidován
Ferdinand HJ 53	60	5,82	18,0 / 10,8	2,6	6,0	-	Na-HCO ₃ -SO ₄	zlikvidován
Ferdinand HJ 54	60	1,02	4,8 / 11,4	2,5	11,4	Ferdinand IV a VI Excelsior	Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl	zlikvidován
Ferdinand HJ 56	30	1,95	2,4 / 5,6	2,8	6,3	-	Na-SO ₄ -HCO ₃	
Ferdinand HJ 65	60	4,40	6,0 / 10,7	2,3	9,3	-	Na-SO ₄ -HCO ₃	zlikvidován
Ferdinand HJ 67	30	3,14	9,6 / 0,1	2,4	5,9	Q p. Ferdinand VI Excelsior klesla z 10 l/min na 5 l/min	Na-HCO ₃ -SO ₄	
Ferdinand HJ 68	37	8,74	30 / 10,08	1,6	1,5	Ferdinand IV	Na-HCO ₃ -SO ₄	*
Ferdinand HJ 69	17	4,19	9,6 / 5,14	1,6	0,6	-	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄ -Cl	*

Poznámka: * Jelikož HDZ prokázala zvýšenou vydatnost vrtu, bylo rozhodnuto o provedení rezervního jímacího vrtu Ferdinand HV 101 (Pěček, 1996a), viz Obr. 9.

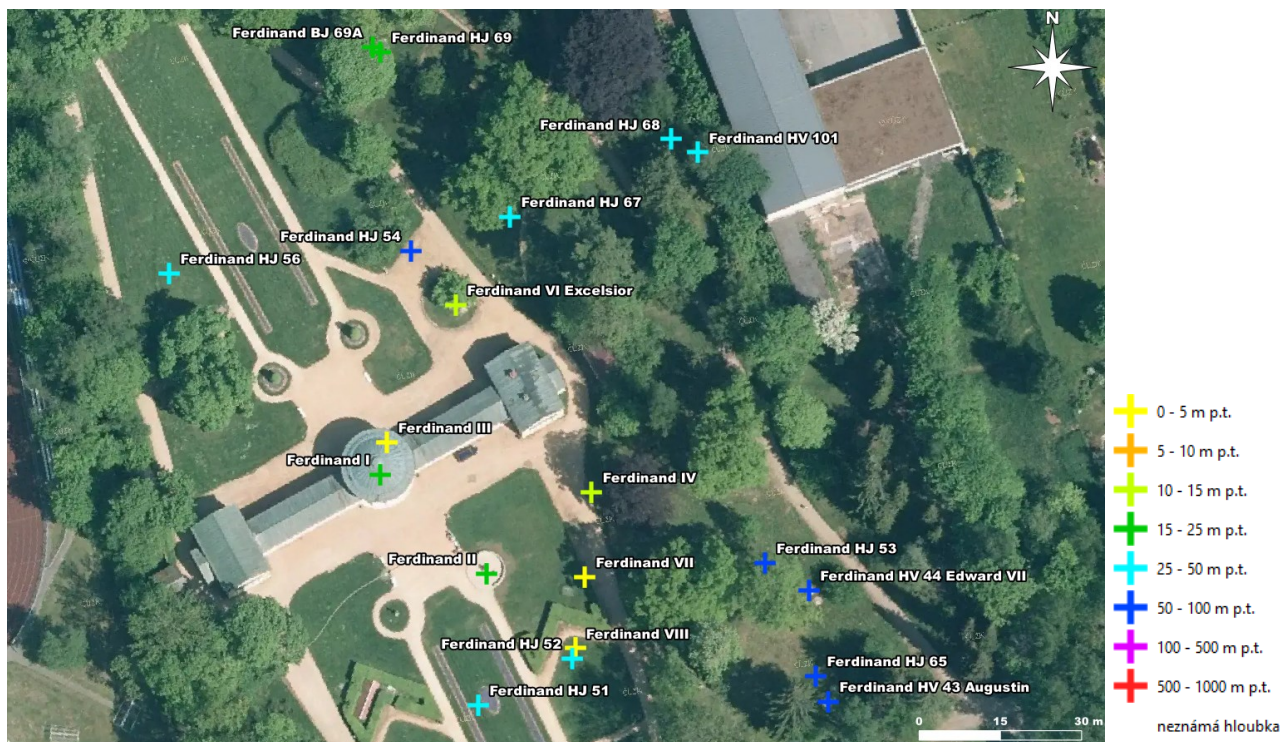
Paradoxem tohoto průzkumu (Pěček, 1991a) je, že žádný z vrtů, až na Ferdinand HJ 53 a HJ 68, nesplňovaly bakteriologické limity. Průzkumem se však podařilo získat alespoň informace o geologickém podloží a tektonice. Bylo zjištěno, že silně zvětralé horniny se nachází nejméně do hloubky 30 m p.t. a že se na uplatňuje V - Z tektonika, která je zřejmě přírodní dráhou pro hlubinný CO₂. Tato V - Z tektonika se zdá být podobného směru jako litoměřický zlom (směr VSV - ZJZ). Samotnou výstupní cestou pro minerální vodu s rozpuštěným CO₂ hlubšího oběhu je pravděpodobně strmě ukloněná tektonika s převládajícím Z až JZ směrem. Hloubka oběhu minerální vody byla stanovena na 50 až 150 m p.t. Bylo též zjištěno ovlivnění vydatnosti srážkami se zpožděním až 1,5 měsíce. S hloubkou byla zjištěna zvyšující se mineralizace. Na závěr zprávy se Pěček (1991a) zmiňuje, že z důvodů velmi složité vertikální hydrochemické zonálnosti budou jakékoliv technické zásahy v místě zřidelní struktury spojeny s rizikem narušení režimu a nežádoucího mísení jednotlivých typů minerálních vod, které byly průzkumem zjištěny. V r. 1994 bylo rozhodnuto o provedení dlouhodobých HDZ (Pěček 1996a) na stávajících vrtech Ferdinand HJ 53, HJ 65, HJ 68 a HJ 69. Celkově HDZ trvala 113 dní. Zkouškou bylo po cca 10 dnech čerpání zjištěno ovlivnění pramenní skupiny Ferdinandových pramenů, a proto bylo čerpané množství sníženo. Na základě výsledků HDZ bylo doporučeno, aby zdroje Ferdinand HJ 53, HJ 65 a HJ 67 zůstaly zachovány jako rezervní. Což se nakonec nestalo (Pěček, 1997a; Pěček, 1997b).

V r. 1996 byl proveden doprůzkum zřidelní oblasti a vyhlouben vrt **Ferdinand BJ 69A** a **Ferdinand HV 101**, které byly vystrojeny jako jímací a bylo zamýšleno je využít jako rezervní zdroje. Na vrtu Ferdinand BJ 69A i HV 101 byla provedena 112denní HDZ, vč. sledování hladin v pozorovacích objektech (Pěček, 1996b). Ve vrtu Ferdinand BJ 69A v konečné fázi HDZ byla při Q 60 l/min hladina ustálená 8,08 m od zhlaví. Obsah volného CO₂ se ustálil na 1,4 g/l, celková M na 1,6 g/l a teplota na 10,1 °C. Ve vrtu Ferdinand HV 101 byla původní ustálená hladina před HDZ 9,48 m od zhlaví. Při čerpání 30 l/min ani po 30 dnech nedošlo k ustálení HPV. Konečná hloubka hladiny byla 12,04 m od zhlaví. Při Q 12 l/min došlo k ustálení hladiny 10,4 m od zhlaví při koncentraci volného CO₂ 1,1 g/l, mineralizaci 1,0 g/l a teplotě 10,1 °C. Z hydrochemického hlediska jsou vody z obou vrtů blízké prameni Ferdinand VI Excelsior. Podstatné zjištění je, že při maximální celkové vydatnosti Q = 90 l/min vykazovaly všechny pozorovací objekty (Ferdinand HJ 53, HJ 65, HJ 67, HJ 68, HJ 69 a PJ-5, PJ-6 a PJ-102) pokles hladiny o 0,3 až 0,5 m. Předpokládá se, že dosah deprese je privilegován ve směru mariánskolázeňského zlomového pásma, tj. ve směru SSZ - JJV (Pěček, 1996b). Hydrogeologické vrty Ferdinand HJ 53, HJ 65, HJ 67, HJ 68 a HJ 69 byly později v r. 1996 zlikvidovány (Pěček, 1997a a Pěček, 1997b). Jelikož jakýkoliv zásah do země představuje potenciální privilegovanou cestu znečištění, proběhly v r. 2013 likvidační práce všech zjištěných stále zachovaných průzkumných i dalších vrtů, které byly ve zřidelní struktuře zjištěny (Čech, 2013; Drbal, 2013b). V r. 2013 byly v místech bývalých průzkumných vrtů Ferdinand HJ 53 a HJ 65 vybudovány nové vrty s označením Ferdinand HV 43 Augustin a Ferdinand HV 44 Edward VII (viz Obr. 10 a Obr. 11) (Drbal, 2014a). Důvodem byl požadavek získání více mineralizované vody pro léčebná zařízení (Drbal, 2012). Výsledky průzkumu jsou shrnuty v Tab. 5.

Tab. 5 - Výsledky hydrogeologického průzkumu (Drbal, 2014a). Data jsou z r. 2013.

Název	Hloubka [m]	Ustálená HPV [m p.t.)	Q [l/min] / HPV [m p.t.]	CO ₂ [g/l]	Celková M [g/l]	Ovlivnění pozorovacích objektů při HDZ	Chem. typ	Poznámka
Ferdinand HV 43 Augustin	75	asi 5,0	28 / 9,7	2,8	7,7	viz níže	Na-HCO ₃ -SO ₄	
Ferdinand HV 44 Edward VII	70	asi 6,0	54 / 11,0	2,7	6,0	viz níže	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄	zjištěna tlaková pulzace hladiny v závislosti na koncentraci volného CO ₂

Během následných dlouhodobých HDZ byl sledován pramen Ferdinand I, II, III, IV, VI Excelsior, VIII, HV 101, BJ 69A, Rudolf BJ 36 a BJ 37. Vydatnost klesla u pramenů Ferdinand IV, VI, VII a VIII, ale spíše díky suchému období, než díky ovlivnění čerpáním. Při stoupací zkoušce byl sledován postupný nárůst elektrické konduktivity u vrtu Ferdinand HV 101 a BJ 69A. Jako optimální je doporučena vydatnost vrtu Ferdinand HV 43 Augustin $Q = 24$ l/min a u vrtu Ferdinand HV 44 Edward VII $Q = 48$ l/min (Drbal, 2014a). Pačes (2014) k hydrochemii pramenů Ferdinand HV 43 Augustin a HV 44 Edward VII uvádí, že díky vyšším koncentracím Cl⁻ jde o geneticky složitý typ minerální vody. Předpokládá, že mineralizace pramene není korigována pouze rozpouštěním horniny a interakcí s endogenním CO₂, ale i alochtonními fosilními solemi, které se do horninového masivu mohly vsáknou během terciární sopečné exhalace. Problematika posouzení vsáklé fosilní mineralizace je dána i složitostí geologických procesů. V horninovém prostředí totiž fosilní vody interagovaly s okolními horninotvornými minerály, ředily se meteorickou vodou, koncentrovaly se vypařováním a diferenciovaly membránovou filtrací v jílových vrstvách. Jelikož jsou Cl⁻ prakticky nereaktivní, tak zůstávají v roztoku a jsou dobrým ukazatelem míry ředění a vypařování. Při posuzování fosilnosti vod Českého masivu lze využít i koncentrací Br⁻ a I⁻, jelikož jsou o ně všechny fosilní vody pravděpodobně obohaceny. Další možností je sledování koncentrací SO₄²⁻ a S (Pačes, 1983).



Obr. 9 - Lokalizace dílčích pramenů struktury

Potenciální ohrožení pramenů

Negativní vliv na stávající zřidelní strukturu měl nevyhovující kanalizační řad, jehož rekonstrukce začala až v r. 2001 (Pechmanová, 2001), a dále nestanovené priority využití mezi Českým inspektorátem lázní a zřidel (ČIL) a uživateli minerálních vod, tj. Bohemia Healing Marienbad Waters a.s. a Léčebné lázně Mariánské Lázně a.s. Limitujícím faktorem k plnému využití této zřidelní struktury je obava ze vzájemného propojení dílčích pramenů. Jde fakticky o stejný problém jako v případě Rudolfovy zřidelní struktury (Pěček, 1996a). Určité znečištění přitom patrně přetrvává, neboť analýza

balené vody ze zdroje Ferdinand VI Excelsior z r. 2023 zjistila mírně zvýšenou koncentraci NO_3^- , tj. 15,7 mg/l (Landa, 2023), což znamená nesplnění limitu pro kojeneckou vodu (10 mg/l) (Česko, 2024).



Obr. 10 - HV 43 Augustin (Foto: Milan Brisuda 13.8.2023)



Obr. 11 - Šachtice HV 43 Augustin (13.8.2023)

2.4.4 Rudolfův pramen

Geologie

Podloží zřidelní struktury je do 15 m p.t. formováno písčitojílovitým eluvium. Následuje zóna alterovaných, místy prokřemenělých amfibolitů, které jsou tektonicky značně porušeny (písčité polohy). Místa byly zjištěny i nezřetelné polohy pararul až amfibolitových biotitických pararul. V části vrtů byla zjištěna zřetelná homogenní vrstva jílu. Tektonický vztah pararul s amfibolity se nepodařilo určit (Pěček, 1989).

Historie

Rudolfův pramen byl zachycen v r. 1865. Rekonstrukce pramene proběhla v r. 1902. Dílčím vývěřům v Rudolfově zřidelní struktuře se říkalo Luční a Příkopový (Dašek, 1948). Pavilon Rudolfova pramene pochází z roku 1902 (Janoška, 2011). Ještě v r. 1902 až 1910 byly Rudolfovy p. I, II a III hluboké 2 až 5 m p.t (viz Tab. 6). V r. 1937 byl vyhlouben uprostřed výstupní cesty nový vrt hluboký 10 m. Voda byla částečně čerpána a vedena až do centra, kde je vyvedena na povrch v pavilonu Křížového a Rudolfova p. (Kolářová a Myslíl, 1979). V 50. letech byla dokonce stáčená a prodávána (Obr. 12). Švorcová (1980) vodu z Rudolfova p. testovala na výskyt železitých, manganových a desulfurikačních bakterií a zjistila, že dle jejich počtu se voda podobá Poděbradce a Kostelnímu p. Dle ní jde o vody, jejichž společným znakem je sklon k tvorbě H_2S a vyšší obsah manganových bakterií. Koncem 80. let prošly oba pavilony rozsáhlou rekonstrukcí, kdy byl dokonce pavilon Rudolfova p. zbourán a o několik metrů dále opět postaven. Důvodem demolice původního pavilonu byla zejména nevyhovující statika objektu (Janeček, 2017).

Tab. 6 - Historie jímání Rudolfova pramene

	Označení	Lokalizace WGS-84	Rok	Hloubka [m p.t.]	cca Q [l/min]	Celková M [g/l]	Chem. typ	Poznámka
1. jímání			1865					
2. jímání	starý	49,95962 12,70934	1937	19,10 (Dovolil, 1959)	3 (ČIL, 2022)	2,2 (1986)	Ca-Mg-HCO ₃	Q (1927-46) 20 l/min
	I	49,96005 12,70905	1902	2,00 (Dovolil, 1959)	I+II 7,53 (Klír, 1953)	cca 2,2 (1960)	Ca-Mg-HCO ₃	likvidace 2004
	II	49,95958 12,70900	1902	2,87 (Dovolil, 1959)		cca 1,9 (1960)	Ca-Mg-HCO ₃	
	III	49,95942 12,70927	1910	5,00 (Dovolil, 1959)	6,61 (Klír, 1953)	cca 1,1 (1969)	Ca-Mg-HCO ₃	
3. jímání	BJ 36	49,95943 12,70974	1989	40	9 (ČIL 2022)	1,9 (2019)	Ca-Mg-HCO ₃	
	BJ 37	49,96002 12,70938	1989	33	14 (ČIL 2022)	2,5 (2023)	Ca-Mg-HCO ₃	

V r. 1983 proběhl na lokalitě podrobný geofyzikální průzkum (Cahyna et al., 1983). Cílem bylo vytipovat vhodná místa pro realizaci nových průzkumných vrtů. Důvodem průzkumu byl nevyhovující stav současného jímání, které je ohrožené mikrobiální kontaminací (Pěček, 1989). Hlavní geofyzikální metodou byla atmogeochemie a plynometrie v 1 m hlubokých zarážených sondách. Bylo zjištěno, že hlavní linie se zvýšenou koncentrací CO_2 v půdním vzduchu je ve směru SZ - JV a že je koncentrace CO_2 v tomto prostoru nižší než ve Ferdinandově struktuře. Určitým nedostatkem této metody je, že v místech, kde se nalézá jílovitá izolační vrstva, mohou být zvýšené akumulace CO_2 , a to i při nižším přírůnu plynu. Výsledky atmogeochemických měření umožnily vyčlenit pásma rozpukání SSV - JJZ směru a na ně kolmá ve směru VSV - ZJZ. Na základě výsledků geofyzikálního průzkumu byly vyhloubeny v r. 1987 až 1988 vrty Rudolf HJ 20 a Rudolf HJ 22. Na vrtu Rudolf HJ 22 posléze proběhlo další geofyzikální měření. Byl potvrzen strukturní směr cca SZ -

JV (Cahyna, 1988). Dle výsledků vrtny bylo vytýčeno dalších 13 průzkumných vrtů (vzájemná poloha viz Obr. 13). Vrtným průzkumem (Pěček, 1989; Kepřta, 1989) bylo zjištěno následující, viz Tab. 7. Průzkumem (Pěček, 1989) bylo zjištěno, že v daném místě probíhá tektonická porucha široká nejméně 50 m, která je cca kolmá ke směru mariánskolázeňského zlomu. Přírodní dráha CO₂ vede do hlubinné části strukturní stavby, která je přibližně ve směru litoměřického zlomu. Samotné výstupní cesty hlubšího oběhu jsou zakotveny do puklinového systému poruch s převládajícím strmým úklonem k Z až JZ.



Obr. 12 - Etiketa stáčené minerální vody z pramene Rudolf starý (Klír, 1953)

Tab. 7 - Výsledky průzkumných hydrogeologických prací. Data jsou z r. 1987 až 1989.

Název	Hloubka [m]	Ustálená HPV [m p.t.]	Q [l/min] / HPV [m p.t.]	CO ₂ [g/l]	Celková M [g/l]	Ovlivnění pozorovacích objektů při HDZ	Chem. typ	Poznámka
Rudolf HJ 20	30	0,36	6 / 12,12	2,5	7,8	Rudolf II (14 m od HJ 20)	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄ -Cl	Indikoval tektonický směr SSZ - JJV
Rudolf HJ 21	36	1,50	11 / 7,93	1,6	2,1	-	Ca-Mg-HCO ₃	Na tomto místě byl později vyvrtán vrt Rudolf BJ 36
Rudolf HJ 22	30	1,04	20 / 15	1,8	2,1	Rudolf HJ 23 o 2,6 m (vzdálenost 50 m)	Ca-Mg-HCO ₃	
Rudolf HJ 23	30	2,03	1 / 25	1,4	2,1	-	Mg-Ca-HCO ₃	
Rudolf HJ 24	30	0,40	22 / 10,2	2,5	3,2	Rudolf HJ 20, 26, 25 a 29	Ca-Mg-Na-HCO ₃ -SO ₄	Ovlivnění se šíří rychleji ve směru SSV
Rudolf HJ 25	30	0,98	20 / 10,1	2,7	4,0	Rudolf HJ 20, 22, 24 a 29	Na-Mg-Ca-HCO ₃ -SO ₄	Vrt HJ 24 vzdálený 60 m J je ovlivněn snížením hladiny o 0,6 m a HJ 29 vzdálený 25 m V pouze 0,3 m
Rudolf HJ 26	30	1,50	10 / 8,8	2,4	2,1	-	Ca-Mg-HCO ₃	
Rudolf HJ 27	40	4,67	34 / 28,36	0,5	2,4	-	Na-Ca-Mg-HCO ₃	Vrt pravděpodobně zachytil východní okraj zřídelní struktury
Rudolf HJ 28	27	4,38	-	0,5	-	-	-	Nízká vydatnost, bez HDZ a plného rozboru
Rudolf HJ 29	30	1,11	17 / 11	2,0	2,3	Rudolf HJ 22, 24 a 25	Mg-Ca-HCO ₃	Depresní kužel se protahuje J směrem
Rudolf HJ 35	60	7,61	13 / 30	2,1	0,9	-	Ca-Mg-HCO ₃	Zjištěna významná porucha v 27 - 30,5 m p.t.
Rudolf BJ 36	40	2,46	15 / 11,64	2,4	1,7	-	Ca-Mg-Na-HCO ₃	Při dalším využití vrtu nesmí být snížena hladina více než 10 m p.t.
Rudolf BJ 37	33	0,61	15 / 17,69	2,5	2,1	HJ 22 o 2 m a dále k odplynění celé struktury*	Mg-Ca-HCO ₃	* Návrat do původního režimu poté trval 6 týdnů. Při dalším využití vrtu nesmí být snížena hladina více než 10 m p.t.

V r. 2004 proběhla likvidace zdrojů Rudolf I a Rudolf II z důvodů jejich nevyužívání. Před likvidací bylo zjištěno, že je Rudolf I hluboký 2,0 m s HPV 1,3 m p.t. a Rudolf II je hluboký 2,87 m, bez vodního sloupce (Pěček, 2005). V současnosti je minerálka z této struktury stáčená ze zdroje Rudolf BJ 37 pod obchodním názvem Rudolfův pramen

(ČIL, 2022). Ta byla testována v r. 2018 na přítomnost farmak a bylo zjištěno, že ve vodě není přítomen nad detekčním limitem žádný ze 40 testovaných léčivých přípravků (Ježková, 2018), což je zcela zásadní zjištění vzhledem k tomu, že jsou pitné kúry z tohoto pramene proslaveny terapeutickými účinky v nefrourologii (Jandová, 2009). V r. 2023 byla analyzována balená voda ze zdroje Rudolf BJ 37 na přítomnost kontaminantu NO_3^- . Bylo zjištěno, že koncentrace NO_3^- je pod detekčním limitem metody, tj. $< 0,5 \text{ mg/l}$, což je nižší hodnota, než deklaruje výrobce (Landa, 2023).



Obr. 13 - Zřídelní struktura Rudolfova pramene. Poznámka: pozice pramene Rudolf I až III není jednoznačná

2.4.5 Oblast okolí Centrálních lázní

Geologie

Ve východní části struktury se vyskytují granity s křemennými žilami a amfibolity (Trojan, 1969), místy tektonické brekie a bělošedé fialově skvrnitě zcela kaolinizované mylonity (Trojan, 1976b). Vrt Marie BJ 1 MP zachytil rozhraní amfibolitů a granitů (Trojan, 1976a). V západní části struktury bylo vrtem Karolina HJ 30 zastíženo granitové eluvium přecházející v hloubce 15 m p.t. do silně rozvětralých načervenalých biotitických střednězrnných granodioritů, které mají pukliny vyplněné křemenem, a vrt Karolina HJ 31 zjistil amfibolicko-biotitické pararuly (Pěček, 1987b).

Mariiny prameny

Původní zachycení Mariiných pramenů je z roku 1912. Dno šachty bylo 3,5 m p.t. a HPV byla 1,5 m p.t. s vydatností 12 l/min a 0,9 až 1,1 g/l volného CO_2 (Dašek, 1948). V r. 1929 proběhla rekonstrukce. V rámci rekonstrukce byl odvrtnán 25,6 m hluboký vrt. V 11 m byly zastíženy velké přítoky vody. Při stavbě šachty 22 x 9 m pak byly v Z části zastíženy drobné vývěry minerálních vod, které byly zvonem zachyceny a nazvány Marie I až VI (historie zachycení je patrna z Tab. 8) (Trojan, 1969). Před rekonstrukcí byla vydatnost pramene $Q = 12 \text{ l/min}$ a po rekonstrukci v r. 1929 celkově $Q = 95 \text{ l/min}$ (Dašek, 1948).

Tab. 8 - Historie jímání Mariina pramene

	Označení	Lokalizace WGS-84	Rok	Hloubka [m p.t.]	cca Q [l/min]	Celková M [g/l]	Chem. typ	Poznámka
Schwefelbad nebo Stenker			1606					již v této době znám (Dvořák a Horna, 1976)
Mariin pramen			1766					
1. jímání			1912	2 až 3				volná šachtyce
2. jímání	I	49,97507 12,70933	1929	25	12 (Dašek, 1948)	0,5 (1986)	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄	hloubka bazénu je 7 m
	II	49,97509 12,70930	1929	25	viz Tab. 10	0,5 (1968)	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄	
	III	49,97510 12,70927	1929	25	- II -	1,2 (1986)	Na-Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	
	IV	49,97510 12,70924	1929	25	- II -	1,3 (1986)	Na-Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	

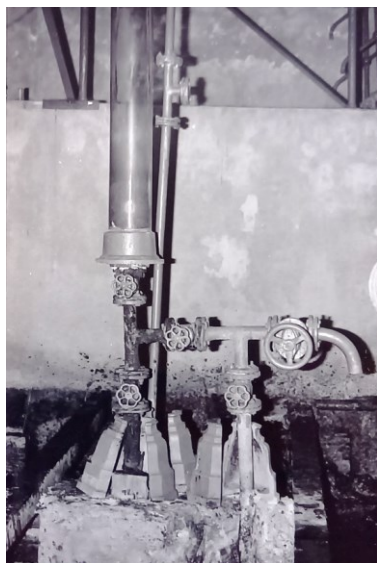
	V	49,97510	12,70923	1929	25	- II -	0,7 (1986)	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄
	VI	49,97511	12,70921	1929	25	- II -	cca 1,0 (1956)	Na-Mg-Ca-HCO ₃ -SO ₄
3. jímání	BJ 6 MP nová	49,97432	12,71197	1974 až 1977	60,4	105 (ČIL, 2022)	0,3 (2019)	Ca-Mg-Na-HCO ₃ -Cl-SO ₄

Mariiny prameny se ihned po rekonstrukci potýkaly s poklesem vydatnosti, kdy je v r. 1932 Ing. Winterem uváděna vydatnost 95 l/min, v r. 1937 až 1946 pak $Q = 50$ l/min, v letech 1947 až 1955 již $Q = 28$ l/min a v r. 1957 již jen $Q = 18,5$ l/min (viz Tab. 9 a Tab. 10). Proto došlo v r. 1958 k další rekonstrukci, kterou prováděl František Drulák. Byl vyčištěn bazén od kolmatace a šterkový zásyp byl vyměněn (Trojan, 1976a). Zajímavé je, že při vyčerpání vody z bazénu Mariiny prameny zanikly. Vyčištěním bazénu se vydatnost Mariiných pramenů I až VI zvýšila (Tab. 10) (Keprta a Pěček, 1984).

Tab. 9 - Změna vydatnosti Mariiných pramenů 1931 až 1956

Vydatnost Mariiných pramenů s výjimkou Marie III [l/min] (Dovolil, 1959)						
1931	1932	1933	1934	1935-1938	1939-1941	1956
50,92	41,46	37,79	49,23	32,29	42,29	20

V r. 1978 proběhl geofyzikální průzkum s cílem lokalizovat výstupní zóny CO₂ v okolí Mariiných pramenů. Průzkumem byl v určitých místech zjištěn až 100% obsah CO₂ v půdním vzduchu a že zvýšené hodnoty CO₂ mají směr Z - V (Škuthan, 1978). Terénní pochůzkou v r. 1984 bylo zjištěno, že celkové krenotechnické řešení je v havarijním stavu (viz Obr. 14 a Obr. 15) (Keprta a Pěček, 1984). Proto bylo rozhodnuto o komplexní rekonstrukci (Keprta, 1988) pramenů, vč. vyčištění bazénu, které proběhlo v r. 1985. Rozsáhlá rekonstrukce Mariiných pramenů probíhala až do r. 1988 (Keprta, 1988). Z bazénu byla vytěžena 10 až 15 cm mocná vrstva kalu. Poté probíhaly čerpací pokusy, při kterých bylo zjištěno, že změna hladiny v bazénu má vliv na obsah CO₂ ve vodě p. Marie I až VI. Rychlost obnovení rozpuštěného CO₂ ve vodě v závislosti na hladině vody v bazénu se přitom projevuje odlišně v každém z jímání od 0,5 do 6 dnů (Keprta, 1986).



Obr. 14 - Přetoková váza pramene Marie IV (Keprta a Pěček, 1984)



Obr. 15 - Torzo bývalé sběrné jímky (Keprta a Pěček, 1984)

Tab. 10 - Změna vydatnosti dílčích Mariiných pramenů 1952 až 1986

Vydatnost [l/min]	1945 až 1952 (Klír, 1953)	1958 (Keprta a Pěček, 1984)	1976 (Trojan, 1976a)	1984 (Keprta a Pěček, 1984)	IV.1986 (Keprta, 1986)
Marie I	9,48	15,03	6,0	Trubka z vrtu je poškozená a minerální voda vytéká na podlahu	21,1
Marie II	2,77	3,06	4,5	Chybí přelivná váza	neměřitelné
Marie III	2,97 (tryská)	1,69	bez přelivu	Chybí přelivná váza	0
Marie IV	1,30	4,19	3,0	Minerální voda nepřetéká (Obr. 14)	0
Marie V	7,64	14,31	2,0	Minerální voda uniká těsně před výstupem z podlahy	2,0
Marie VI	8,77	18,43	bez přelivu	Minerální voda uniká těsně před výstupem z podlahy	0
Celkem	32,56	57,25	15,5	Suchý (Obr. 15) ($Q_{CO_2} = 1,2$ m ³ /min (± 30 %))	23,1

Karolinin pramen

Pramen byl objeven asi v r. 1809 a původně byl pojmenován jako Nový. V r. 1819 byl přejmenován na Karolinin a jmenuje se tak dodnes (Janoška, 2011). Původní jímání bylo hluboké 5,7 m p.t. a vydatnost pramene byla $Q = 10,0$ l/min (Pěček, 1987b). Současný záchyt a jímání pochází z let 1929 až 1930. Minerální voda je zachycena 11,1 m hlubokou studní. Časová následnost jímání je patrná z Tab. 11. Průměrná vydatnost v letech 1945 až 1952 byla $Q = 37,44$ l/min. Později vydatnost Karolinina pramene klesla na $Q = 25$ l/min a v r. 1986 byla již jen $Q = 12$ l/min (Pěček, 1987b).

Tab. 11 - Historie jímání Karolinina pramene

	Označení	Lokalizace WGS-84	Rok	Hloubka [m p.t.]	cca Q [l/min]	Celková M [g/l]	Chem. typ	Poznámka
1. jímání				5,70	10 (Dvořák a Homa, 1976)			1,8 g/l CO ₂
2. jímání		49,97545 12,70718	1929 až 1930	10,80	20 (ČIL, 2022)	1,8 (2020)	Na-Mg-Ca-HCO ₃	2,8 g/l CO ₂ , jímací úsek 9-10,8 m p.t.
3. jímání	HJ 30	49,97526 12,70660	1986	40	10 (ČIL, 2022)	1,3 (2017)	Na-Mg-Ca-HCO ₃	
	HJ 31	49,97540 12,70614	1986	41	10 (ČIL, 2022)	1,5 (2017)	Na-Mg-Ca-HCO ₃ -Cl	

Proto v r. 1986 proběhl v okolí Karolinina pramene geofyzikální průzkum (Škuthan a Suchomel, 1987). Cílem průzkumu bylo upřesnit budoucí umístění nových jímacích vrtů Karolina HJ 30 a HJ 31. V průběhu průzkumu byla zjištěna linie vyšších koncentrací CO₂ v půdním vzduchu, která má směr ZSZ - VJV a též Z - V. Jde o struktury Ústředních, Mariiných pramenů a Hameliky a o strukturu Ambrožových pramenů. Bylo rozhodnuto, že je vhodné nové vrty HJ 30 a HJ 31 vybudovat na křížení těchto struktur. Poloha vrtů je patrná z Obr. 16. Na geofyzikální práce navázal hydrogeologický průzkum (Pěček, 1987b), jehož výsledky jsou shrnuty v Tab. 12. Poté v letech 1989 až 1990 proběhla výstavba šachtic a napojení vrtů na vodojem (Kepřta, 1990b). Tím došlo k definitivnímu konstrukčnímu řešení, kterým byla rozšířena tato zřidelná struktura. Na vrtech Karolina HJ 30 a HJ 31 byly poté v r. 1991 provedeny poloprovozní HDZ (Pěček, 1991c), které například zjistily, že při vysokých úhrnech srážek roste vydatnost Ambrožových pramenů, a to již 24 hod. po srážkové události. Navrhnutá využívaná vydatnost vrtu Karolina HJ 30 je $Q = 7$ l/min a HJ 31 $Q = 13$ l/min.

Tab. 12 - Výsledky hydrogeologického průzkumu v r. 1986

Název	Hloubka [m]	Ustálená HPV [m p.t.)	Přítoky [m]	Q [l/min] / sníž. [m]	CO ₂ [g/l]	Teplota [°C]	Celková M [g/l]	Ovlivnění pozorovacích objektů při HDZ *	Chem. typ
Karolina HJ 30	40,0	0,9	14 - 16 a 25 - 29	24,5 / 13,7 (simultánně 10,0 / 21,5)	2,6	9,0-10,0	1,4	-	Mg-Ca-Na-HCO ₃
Karolina HJ 31	41,0	3,0	9 - 15 a 22 - 26	22,0 / 11,3 (simultánně 20,0 / 24,5)	2,7	9,0-10,0	1,3	-	Mg-Na-Ca-HCO ₃

Poznámky: * pozorovány byly Karolina, Ambrož I až III, Ústřední, Křížový III a IV

V r. 1987 až 1988 proběhla další etapa hydrogeologických prací (Pěček, 1991b), která též vycházela z výsledků geofyzikálního průzkumu. Výsledky vrtných prací jsou shrnuty v Tab. 13.

Tab. 13 - Výsledky hydrogeologického průzkumu v r. 1987 až 1988

Název	Hloubka [m]	Ustálená HPV [m p.t.)	Přítoky [m]	Q [l/min] / sníž. [m]	CO ₂ [g/l]	Teplota [°C]	Celková M [g/l]	Ovlivnění pozorovacích objektů při HDZ *	Chem. typ
Marie HJ 32	124,0**	5,6	96-97 a 101	4,2 / 21,0	2,3	12,3	4,2	-	Ca-Na-HCO ₃
Karolina HJ 33	116,0	3,2	bez	4,8 / 16,7	2,0	9,5	1,5	Karolina HJ 31 - mírné snížení HPV	Mg-Ca-Na-HCO ₃

Poznámky: * pozorovány byly Karolina, Ambrož I až III, Ústřední, Křížový III a IV, Karolina HJ 30 a HJ 31

** ani v této hloubce nebyly zastíženy neporušené hominy masivního charakteru

Ambrožovy prameny

Prameny jsou pojmenovány po tepelském opatovi Jeronýmovi Ambrožovi (Janoška, 2011). Zmínka o nich může pocházet již z roku 1760, kdy Dr. Strinci provedl rozbor vod z těchto míst. První zachycení pochází z roku 1807 a v r. 1911 došlo k rekonstrukci, protože byl sledován pokles mineralizace. Výsledkem bylo, že se obsah železa stabilizoval kolem hodnoty $C = 58 \text{ mg/l}$. V r. 1925 až 1926 bylo prameniště znovu odkryto, protože opětovně docházelo k poklesu obsahu železa na $C = 25 \text{ mg/l}$. Výsledkem rekonstrukce bylo zachycení na ploše 30 m^2 tří dílčích pramenů (viz Tab. 14). Prameny byly zachyceny přímo ze skalního podloží v hloubce 7 m p.t. (Kolářová a Myslíl, 1979), kdy výsledná vydatnost po rekonstrukci byla $Q = 12 \text{ l/min}$ (Dašek, 1948). Vydatnost mezi lety 1945 až 1952 byla $Q = 12,37 \text{ l/min}$ (Klír, 1953).

Zajímavé je, že byl pozorován těsný vztah mezi srážkovou událostí a vydatností pramene, kdy vydatnost pramene roste asi 13 až 16 dnů po srážkové události (Dovolil, 1959). U pramenů je dlouhodobě sledován pokles volného CO_2 i celkové M , vč. vyšší rozkolísanosti chemismu (Dvořák a Horna, 1976; Škuthan et al., 2002). V roce 1987 byly studovány Ambrožovy prameny z hlediska vstřebávání zvýšených koncentrací Fe^{2+} v prameni z minerální vody do těla. Bylo zjištěno, že až 28 % Fe^{2+} se dokáže v lidském těle využít při tvorbě hemoglobinu, zvýšení koncentrace sérové hladiny Fe a zvýšení koncentrace transferinu (Jandová, 2009).

Tab. 14 - Historie jímání Ambrožova pramene

	Označení	Lokalizace WGS-84	Rok	Hloubka [m p.t.]	cca Q [l/min]	Celková M [g/l]	Chem. typ	Poznámka
1. jímání			1807					
2. jímání			1911	???				voda čerpána z jímky
3. jímání	I	49,97473 12,70785	1926	7	11 celkem (ČIL, 2022)	0,5 (2020)	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -Cl-SO ₄	zatěsněno do hl. 7 m, jímání ze dna
	II	49,97472 12,70780	1926	7		0,5 (2019)	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -Cl	
	III	49,97474 12,70782	1926	7		0,5 (2019)	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -Cl	

Ústřední prameny

Pramen **Ústřední I** pochází z r. 1929 až 1931 (Trojan, 1976a). Je 60 m hluboký se zjištěnými přítoky ve 24, 35 a 42 m p.t. Vydatnost je 6,5 až 7,5 l/min (Trojan, 1980) a koncentrace volného $\text{CO}_2 = 2,0$ až 2,3 g/l. Vydatnost pramene mezi lety 1945 až 1952 byla $Q = 7,16 \text{ l/min}$ (Klír, 1953). Pramen vykazuje proměnlivé chemické složení (Dvořák a Horna, 1976).

Pramen **Ústřední II** pochází také z r. 1929 až 1931 (Trojan, 1976a) a je hluboký pouze 24,3 m. Přítoky byly zjištěny v hloubce 20 až 22 m. Vydatnost pramene byla cca $Q = 3,4$ až 5,5 l/min (Trojan, 1980) a koncentrace volného $\text{CO}_2 = 2,0$ až 2,2 g/l. Průměrná vydatnost pramene v letech 1945 až 1952 byla $Q = 12,19 \text{ l/min}$ (Klír, 1953). Pramen vykazuje proměnlivé chemické složení (Dvořák a Horna, 1976). Pramen Ústřední II není v současné době využíván, a tudíž není režimně sledován v rámci pravidelných analýz ČIL (ČIL, 2022).

V r. 1984 byly provedeny geofyzikální práce v okolí Ústředních pramenů s cílem zjistit polohu výstupných cest CO_2 . Důvodem průzkumu byla snaha o vybudování nového lázeňského provozu v této oblasti (Matouš, 1987). Závěry geofyzikálního průzkumu (Škuthan, 1984) jsou takové, že jde o geologicky komplikované území, na kterém pobíhá styk dvou horninových těles (amfibolity v JV části a intrudované granity v S). Kontakt má směr V - Z. Pásmo zvětrání sahá do hloubky 30 až 60 m p.t. a to komplikuje interpretaci geofyzikálních měření. Přírony CO_2 jsou vázány na kolmý směr k mariánskolázeňskému zlomu, tj. ve směru SV - JZ, někdy stočených do S - J. Území je pro stavbu lázeňského zařízení nevhodné

Pramen Hamelika

Pramen Hamelika pochází z roku 1929 (Trojan, 1976a) a záchytná jímka je hluboká 10,5 m s přítokem vody v 9 m p.t. Po ukončení vrtných prací byla vydatnost na přelivu ve výšce terénu až 20 l/min. Nakonec však bylo umístěno čerpadlo 7 m p.t. a bylo čerpáno $Q = 84 \text{ l/min}$ s 1,9 g/l volného CO_2 (Dašek, 1948). Průměrná vydatnost pramene mezi lety 1945 až 1952 byla $Q = 3,5 \text{ l/min}$. Pramen nebyl využíván k pitným kúram (Klír, 1953). Pramen byl čerpán ještě v r. 1976, ale vykazoval proměnlivé chemické složení (Dvořák a Horna, 1976). Bylo zjištěno, že chemismus pramene Hamelika je podobný jako chemismus blízkého potoka. To svědčí o možném nasávání mělké podzemní vody (Dovolil, 1959) a o nabohacování vystupujícím CO_2 . Údaje o současném stavu jímání nejsou k dispozici.

Marie BJ 6 MP Nová

V letech 1974 až 1977 probíhal v oblasti Centrálních lázní hydrogeologický průzkum. Cílem průzkumu bylo zjistit, zda lze uvažovat o rozšíření jímací soustavy v okolí Centrálních lázní. Výsledky průzkumu (Trojan, 1976a; Trojan, 1976b; Trojan, 1976c; Trojan, 1976d; Trojan, 1977a; Trojan, 1977b; Trojan, 1979b; Trojan, 1980) jsou shrnuty v Tab. 15. Poloha vrtů je patrná z Obr. 16. Voda ze zdroje Marie BJ 6 Nová je v současné době stáčena společností Bohemia healing Marienbad waters a.s. pod obchodní značkou Aqua Maria (ČIL, 2022).

Tab. 15 - Výsledky průzkumných hydrogeologických prací. Data jsou z r. 1974 až 1978.

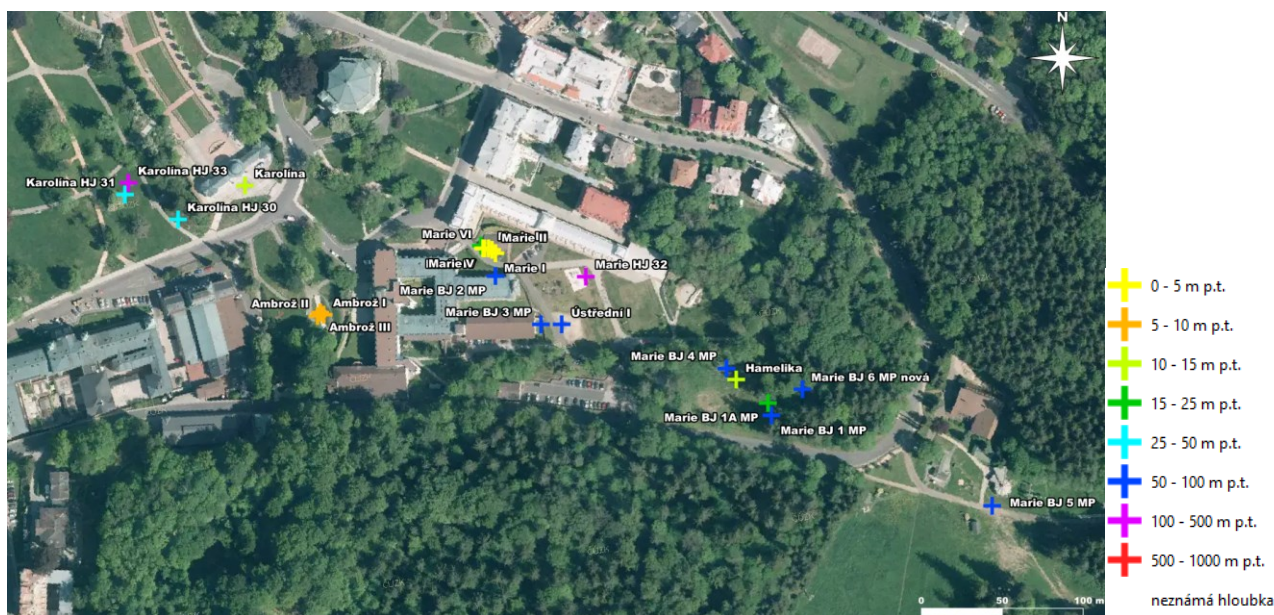
Název	Hloubka [m]	Ustálená HPV [m p.t.]	Q [l/min] / HPV [m p.t.]	CO ₂ [g/l]	Celková M [g/l]	Ovlivnění pozorovacích objektů při HDZ	Chem. typ	Poznámka
Marie BJ 1 MP	60	5,58	46 / 10,59	2,7	0,2	BJ 1A MP i BJ 4 MP a to o 3,21 a 1,99 m*	Fe-Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	
Marie BJ 1A MP	19,6	3,67	55 / 9,14	1,4	0,2		Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃	Bez HDZ, Vrt zlikvidován v r. 1978 (Trojan, 1979b).
Marie BJ 2 MP	58,15	3,66	33 / 15,70	2,8	0,6	Ústřední I i II, Ambrož I-III a Marie I-VI **	Mg-Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄	
Marie BJ 3 MP	65,5	7,25	2 / 18,50	2,8	0,6		Na-Ca-Mg-HCO ₃ -Cl	
Marie BJ 4 MP	70,3	3,05	7,1 / 32,00	2,9	0,4		Fe-Mg-HCO ₃	Vrt zlikvidován v r. 1978 (Trojan, 1979b).
Marie BJ 5 MP	80	4,60	29 / 31,35	0	0,2		Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Vrt zlikvidován v r. 1978 (Trojan, 1979b).
Marie BJ 6 MP nová	60,4	5,16	60 / 9,6 100 / 13	3	0,2	BJ 1, 1A, 4 a Hamelika ***	Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄ -Cl	

Poznámky:

* Při sledování pozorovacích objektů možná došlo k poklesu vydatnosti Mariánských pramenů z Q = 17,6 l/min na 15,6 l/min, ale jde pouze o bodové údaje, takže vliv není jednoznačný, u ostatních se vliv neprojevil (Trojan, 1976a). Vrt byl ponechán pro tlakové čištění jímacího vrtu Marie BJ 6 MP nová (Trojan, 1979b).

** Celkový kumulativní pokles vydatnosti těchto pramenů je o 26,1 l/min.

*** Při poloprovozní 11měsíční HDZ byly předchozí poznatky prohloubeny o to, že nejbližším bodem, který byl ovlivněn je 47 m vzdálená Marie BJ 4 MP, kde se pokles projevil za 24 hod. a pokles byl o 3,05 m při Q = 100 l/min. U vzdálenějších pozorovacích bodů se čerpání (vč. Marie I - VI a Ústřední I - II) neprojevalo.



Obr. 16 - Zřídelní struktura v oblasti Centrálních lázní. Poznámka: pramen Ústřední II se nepodařilo lokalizovat.

2.4.6 Lesní pramen

Geologie

Pramen se nachází v silně alterovaných, tektonicky postižených usměrněných středně zrnitých porfyrických biotitických granitech s uzavřenými polohami amfibolicko-biotitických granodioritů až tonalitového či amfibolitového charakteru. Alterace hornin byla zjištěna do více než 50 m p.t. (Pěček, 2002a).

Historie

Lesní p. byl poprvé zachycen v letech 1827 až 1828 (Tab. 16), přičemž okolí pramene prošlo terénní úpravou (Myslil a Václ, 1966). Altán v klasicistním slohu pochází z roku 1869 (Janoška, 2011). Stávající jímání Lesního p. pochází z roku 1903 (Myslil a Václ, 1966) nebo 1905 a p. je zachycen v hloubce 7,00 m p.t. zvonovitým jímáním s vnitřním průměrem 1,4 m a výstupní trubkou o vnitřním průměru 0,70 m. Přeliv vody je v hloubce 3,00 m p.t. Voda je potrubím vedena do centra města, do míst bývalého Vojenského léčebného ústavu a Nových lázní (Škuthan et al, 1983 z Dovolil, 1959). Průměrná vydatnost pramene 1945 až 1952 byla $Q = 16,64$ l/min (Klír, 1953).

Tab. 16 - Historie jímání Lesního pramene. Lokalizace vývěřů je patrná z Obr. 17.

	Označení	Lokalizace WGS-84		Rok	Hloubka [m p.t.]	cca Q [l/min]	Celková M [g/l]	Chem. typ	Poznámka
1. jímání				1827	1,64			Na-HCO ₃ -SO ₄	
2. jímání				1869	2,34	4,65 (Dvořák a Homa, 1976)		Na-HCO ₃ -SO ₄	
3. jímání		49,98038	12,70016	1905	7,00	5 až 13 (Drbal, 2014b)	3,0 (2019)	Na-HCO ₃ -SO ₄	
4. jímání	HV 40	49,98080	12,70102	2001	100	60 (ČIL, 2022)	1,5 (2017)	Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄	
	HV 42	49,97979	12,70211	2013	96	neznámo	1,5 (2014)	Na-HCO ₃ -SO ₄	

V letech 1978 až 1981 proběhl na lokalitě detailní geofyzikální průzkum. Průzkum (Škuthan et al., 1983) zjistil, že anomálie koncentrace CO₂, tj. přes 10 %, mají v půdním vzduchu směr SV - JZ. Místy je pravděpodobně patrný i směr SZ – JV. Negativní teplotní anomálie měřené v hloubce 1 m p.t. v letních měsících tvoří pruh SZ - JV směru, který probíhá cca 15 m od Lesního p. Je možné, že výstup CO₂ k povrchu probíhá na jednom a proudění podzemních vod po druhém z hlavních směrů mariánskolázeňské zřídelní oblasti. Právě na jejich průniku vyvěrají minerální prameny na povrch. Po SV - JZ tektonice je přiváděn plyn a po tektonice SZ - JV směru pak voda.



Obr. 17 - Zřídelní struktura Lesního pramene

V r. 2000 až 2001 probíhal další geofyzikální průzkum, na který navázal průzkum hydrogeologický. Cílem průzkumu bylo vyhledat nový zdroj minerální vody. Zajímavé je, že výsledky geofyzikálního průzkumu nejsou zcela koherentní, jelikož je uváděno, že výstup minerálních vod je vázán na pukliny S - J až SSV - JJZ a SSZ – JJV směru

(Škuthan, 2000). Na základě výsledků tohoto průzkumu byl vybudován vrt **Lesní HV 40** (Pěček, 2002b) (poloha viz Obr. 17), který je hluboký 100 m a hladina ve vrtu před HDZ byla 2,8 m p.t. Při snížení hladiny o 18,2 m bylo dosaženo vydatnosti 120 l/min. Koncentrace volného CO₂ však byla nízká. Ani takto velké čerpání neovlivnilo vydatnost Lesního p. na přelivu, tj. cca Q = 18 l/min. Dle karotáže jsou velké přítoky mezi 20,0 až 37,5 m p.t., jde však o jen slabě mineralizovanou vodu (Pěček, 2002a). Postupně se však při HDZ začala mineralizace vody i obsah volného CO₂ zvyšovat. Celková M během HDZ vystoupala až na 0,7 g/l a koncentrace volného CO₂ na cca 2,5 g/l (Pěček, 2002b) a růst pokračuje do současnosti. Tento zdroj je v současné době využíván pro poskytování lázeňské péče (ČIL, 2022).

V r. 2013 proběhl další hydrogeologický průzkum (Drbal, 2013a), během kterého byl vyhlouben vrt **Lesní HV 42**, který je hluboký 96 m a HPV je ve vrtu 8 m p.t. Během HDZ bylo čerpáno Q = 6,6 l/min, kdy se HPV ustálila 40 m p.t. Během HDZ byl obsah volného CO₂ 2,5 g/l a celková M 1,5 g/l. Vliv HDZ nebyl na pozorovacích objektech pozorován. Zajímavé však je, že zatímco v r. 2002 byla vydatnost Lesního p. konzistentně 18 l/min, tak v r. 2014 pouze 5 až 13 l/min (Drbal, 2014b), což může svědčit o vzájemném ovlivnění.

2.4.7 Pottovo údolí

Geologie

Prameny se nacházejí v rozpadajících se amfibolitických rulách až amfibolitech a granátických amfibolitech s nehojnými vložkami amfibol-biotitických pararul. V JZ části byla zaznamenána silně porušená, hematitizovaná zóna mylonitů s oboustranným křemenným lemem (Pěček, 1992a). Ve vrtu Pott BJ 5 byly zjištěny dokonce metagabra (Pěček, 1994), což možná svědčí o existenci kontaktu metabazitů a pararul.

Historie

Od roku 1890 byl jímán 6 m hlubokou šachticí Prelátův pramen. Od roku 1905 až 1911 byly zachyceny další prameny, mezi které patří: Prelát boční, Schitmer, Putz, Alfa, Beta, Gama a Delta (Obr. 18). Jímací vrty byly vyhloubeny do hloubek cca 10 m p.t. a měly úhrnnou vydatnost v zimním období Q = 80 až 90 l/min. V letním období byla vydatnost pouze Q = 30 l/min (Dovolil, 1956a; Dovolil, 1959; Hynie, 1963). Vývoj vydatnosti pramenů Pottova údolí je patrný z Tab. 17.

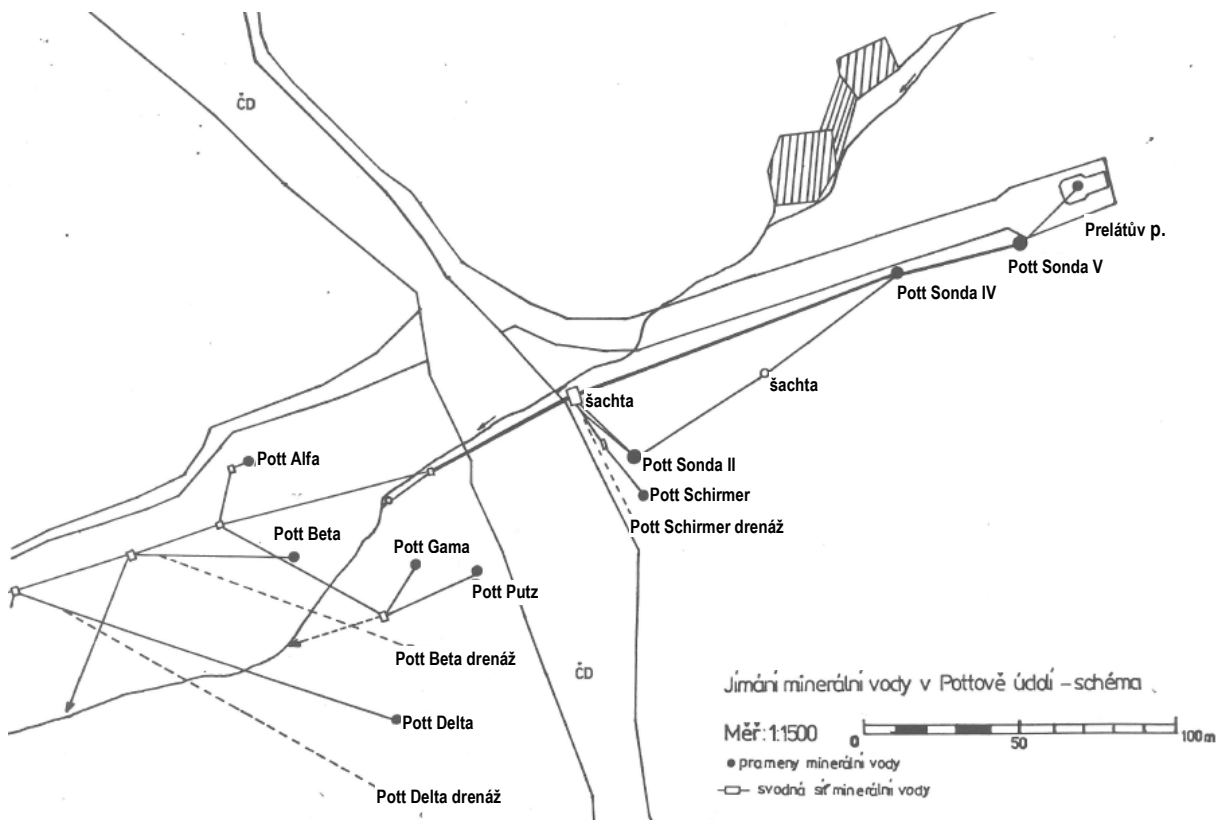
Tab. 17 - Vývoj úhrnné vydatnosti struktury v letech 1936 až 1956

Úhrnná vydatnost Pottova údolí mělkým jímáním [l/min] (Dovolil, 1959)					
1936	1940	1954	1955	1956	
92,4	111,3	103,11	121,88	127,74	

Prameny v Pottově údolí před hydrogeologickým průzkumem v 50. letech byly následující (Pěček, 1997c):

- **Prelátův pramen**, který byl znám již před rokem 1890. V r. 1920 byla provedena rekonstrukce, a jímání prohloubeno do 6 m p.t. (Dašek, 1948). Jako jediný se využíval pro pitné účely (Klír, 1953; Pěček, 1992a). Vydatnost v r. 1958 byla 9,5 l/min (Dovolil, 1959);
- **Prelátův boční pramen**, který byl objeven v r. 1906. Nebyl významně využíván z důvodů ovlivňování Prelátova pramene (Dovolil, 1959);
- **Pott Alfa**, který byl zachycen v r. 1909. Hloubka zachycení je 6,4 m p.t. (Dovolil, 1959). Průměrná vydatnost mezi lety 1964 až 1979 byla 4,33 l/min (Pěček, 1992a);
- **Pott Beta**, který byl zachycen v r. 1910. Hloubka zachycení je 9,8 m p.t. Přeliv je 4,15 m p.t. Průměrná vydatnost mezi lety 1964 až 1979 byla 9,96 l/min. V r. 1992 nebyla ve vodě zjištěna přítomnost CO₂ (Pěček, 1992a);
- **Pott Beta drenáž**, který pochází z roku 1910. Vydatnost je rozkolísaná mezi 1,5 až 8,0 l/min (Dovolil, 1959). Jde o pravděpodobně kameninovou drenáž. Průměrná vydatnost mezi lety 1964 až 1979 byla 13,45 l/min. V r. 1992 nebyla ve vodě zjištěna přítomnost CO₂ (Pěček, 1992a);
- **Pott Gama**, který je z roku 1910 a má hloubku 7,85 m p.t. Přeliv je uložen v 2,9 m p.t. Průměrná vydatnost mezi lety 1964 až 1979 byla 4,52 l/min (Pěček, 1992a);
- **Pott Delta**, který pochází z roku 1910 a má hloubku 7,38 m. Přeliv je ve 4,82 m p.t. Průměrná vydatnost mezi lety 1964 až 1979 byla 5,39 l/min (Pěček, 1992a);

- **Pott Delta drenáž**, který je z roku 1910. Jímání je provedeno kameninovou trubicou s průměrem 7,0 cm. Průměrná vydatnost mezi lety 1964 až 1979 byla 1,39 l/min. V r. 1992 bylo ve vodě zjištěno pouze 0,1 g/l rozpuštěného CO₂ (Pěček, 1992a);
- **Pott Putz**, který pochází z roku 1910 a je jímán v hloubce 8,0 m. Přeliv je uložen 3,5 m p.t. Průměrná vydatnost mezi lety 1964 až 1979 byla 8,68 l/min (Pěček, 1992a);
- **Pott Schirmer + drenáž**, které pochází z roku 1910 a jde o studnu hlubokou 6,1 m. Rekonstrukce proběhla v r. 1921 (Dašek, 1948). Průměrná vydatnost mezi lety 1964 až 1979 byla 26,40 l/min (Pěček, 1992a) a přeliv je umístěn 3,6 m p.t.

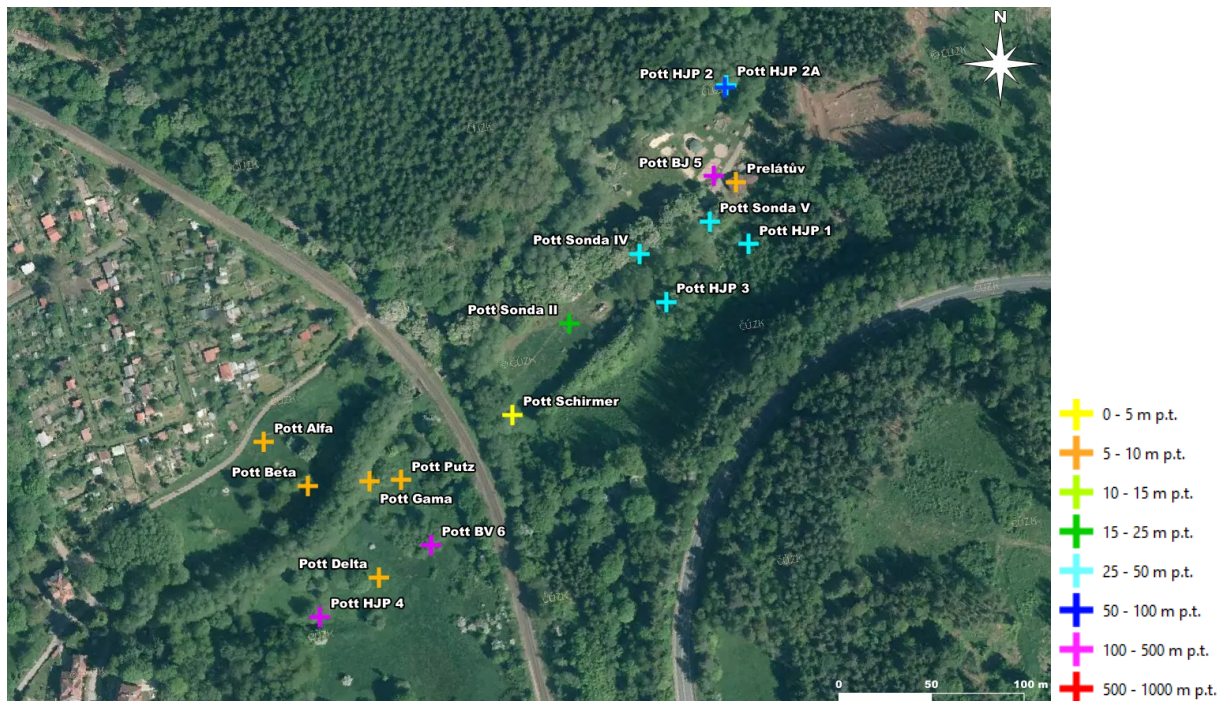


Obr. 18 - Pozice a odvádění minerální vody ze zachycených pramenů v Pottově údolí (Pěček, 1997c)

V r. 1954 až 1955 byl proveden hydrogeologický průzkum struktury s cílem zvýšit jímání množství minerálních vod. Celkem bylo provedeno 5 sond hlubokých od 22,8 m do 49 m p.t. Sondami byla zjištěna vyšší celková M vody než u dosavadních mělkých jímání. Výsledky průzkumu (Dovolil, 1956a) byly následující:

- **Pott Sonda I** byla 21 m hluboká a nejnižší položená. Byla zjištěna velmi nízká vydatnost a nepřítomnost volného CO₂;
- **Pott Sonda II** zjistila zvýšené koncentrace volného CO₂ v 18 m, avšak během HDZ, kdy bylo čerpáno Q = 120 l/min se koncentrace volného CO₂ náhle snížila. Významné je, že čerpání způsobilo pokles vydatnosti Schirmerova pramene a jeho drenáže. Ustálená koncentrace volného CO₂ je 2,7 až 2,9 g/l a vydatnost Q = 12,56 l/min (Pěček, 1992a);
- **Pott Sonda III** zastihla kyselku až v hloubce 22 m p.t. Během HDZ byla zjištěna nejnižší vydatnost při nejvyšším dosahu deprese, kdy u Pott Sondy IV došlo k poklesu hladiny o 0,5 m;
- **Pott Sonda IV** zastihla vodu s cca 1,8 g/l volného CO₂. Tato koncentrace se neměnila ani během HDZ. Ustálená koncentrace volného CO₂ je 2,0 až 2,8 g/l a vydatnost Q = 21,38 l/min (Pěček, 1992a);
- **Pott Sonda V** je hluboká 49 m p.t. (nejhlubší sonda) a zastihla nejvyšší koncentraci CO₂ ve vodě a to ve 32 m p.t. v hadcových polohách. Tato sonda je nejbližší k Prelátovu prameni. Během HDZ hladina v prameni Prelát poklesla o 1,5 m pod přelivnou úroveň. Kolářová a Myslíl (1979) uvádí, že díky čerpání Pott Sondou V přeliv Prelátova p. zcela zanikl. Ustálená koncentrace volného CO₂ je 2,2 až 3,0 g/l a vydatnost Q = 60,00 l/min (Pěček, 1992a).

Všechny sondy kromě Pott Sonda I byly vystrojeny a připraveny k využití, protože se předpokládalo, že se podaří zajistit trvalý přeliv kyselky, popř. během letní sezóny budou k čerpání využita pístová čerpadla. Celkové množství jímatelné vody po průzkumných pracích mohlo vzrůst až na $Q = 250$ l/min (jímáno 4 objekty) (Dovolil, 1956a). Jako jímací studny byly nakonec z ekonomických i technických důvodů využívány pouze Pott Sonda II, IV a V (Dovolil, 1959) a způsob jímání je přelivem. Celková vydatnost struktury se ale i tak zvýšila z 80 l/min v r. 1945 až 1952 (Klír, 1953) na 168 l/min v r. 1964 až 1979 (Pěček, 1992a). V Obr. 19 nejsou Sondy I a III zakresleny, neboť se je nepodařilo lokalizovat.



Obr. 19 - Zřídelní struktura Pottova údolí. Poznámka: neznámá poloha pramene Prelátův boční, Pott Sonda I a Pott Sonda III. Vedení drenáží je patrné z Obr. 18.

V letech 1984 až 1988 proběhlo v Mariánských Lázních a okolí velké geofyzikální mapování (Škuthan a Suchomel, 1988), které zahrnovalo i toto území. Jeho úkolem bylo sestavit strukturálně tektonickou mapu okolí Mariánských Lázní. Mapování v Pottově údolí proběhlo v r. 1984. Plynometrií byla v Pottově údolí zjištěna až více než 90% koncentrace CO_2 v půdním vzduchu. Byla zjištěna mohutná zóna vysokých koncentrací CO_2 , která má směr SV - JZ, která je pravděpodobně dále rozčleněna SZ - JV tektonikou na: a) tektoniku litoměřického (dominující) a b) mariánskolázeňského pásma. Zajímavé je, že směrem po proudu vodoteče dochází k vyšší oscilaci koncentrací a poklesu měřených hodnot, a to i pod 10 %. Dále bylo překvapením, že se některé pramenní drenáže jako CO_2 anomálie neprojevíly.

V r. 1987 v Pottově údolí proběhly hydrogeologické průzkumné práce s cílem prohloubit dosavadní znalosti o této zřídelní struktuře, aby mohly být prameny efektivněji exploatovány a chráněny. Výsledky průzkumu (Pěček, 1992a; Pěček, 1994) jsou shrnuty v Tab. 18 a vzájemná poloha je patrná z Obr. 19.

Tab. 18 - Výsledky průzkumných prací. Data jsou z r. 1987 až 1993.

Název	Hloubka [m]	Ustálená HPV [m p.t.]	Q [l/min] / HPV [m p.t.]	CO_2 [g/l]	Celková M [g/l]	Ovlivnění pozorovacích objektů při HDZ	Chem. typ	Poznámka
Pott HJP 1	35	-	10 / 25	3,0	1,3		Ca-Mg- HCO_3	Vrt zlikvidován
Pott HJP 2	60	-	15 / 8,8	2,3	1,4	Pott HJP 2A	Ca-Fe-Mg- HCO_3	Vrt zlikvidován
Pott HJP 2A	45	-	-	2,5	0,8	Pott HJP 2 - hladina klesla z 4,15 na 5,5 m p.t.	Ca-Mg- HCO_3	Vrt zlikvidován.
Pott HJP 3	33	2,87	51 / 18	2,5	1,2	Pott Sonda IV - Q na přelivu klesla o 30 %.	Ca-Mg-Fe- HCO_3	Vrt zlikvidován
Pott HJP 4	150	0,00	6,0 / 0,00*	2,5	2,8		Ca-Mg- HCO_3	

Poznámka: * V hloubce cca 80 m byla zjištěna poruchová zóna a došlo ke slabému přelivu. S hloubkou přeliv sílil na 6 l/min. Při vrtání docházelo k plynným erupcím, kdy voda tryskala do výšky až 4 m n.t. Konečná teplota vody ve 150 m byla 14,6 °C a celková M 3,7 g/l. Vrt prokázal hydrochemickou zonalnost. Díky erupcím CO_2 nebylo možno navodit dlouhodobě stav kvaziustáleného snížení, ale karotáž ověřila, že hlavní přítok leží 135-138 m p.t. (Pěček, 1994).

V letech 1993 až 1994 proběhly na nových vrtech dlouhodobé HDZ. Hydraulické zkoušky ukázaly, že v současné struktuře nelze vybudovat další vrty a tím i významně zvýšit odběry minerální vody. Využitelné množství je pravděpodobně $Q = 108$ až 144 l/min. Pozorováním hladin ve vrtech bylo zjištěno ovlivnění srážkami ve výše položených jímáních. Retardace mezi srážkami a změnou vydatnosti je 10 až 15 dnů (Pěček, 1994).

V r. 1995 proběhl další hydrogeologický průzkum (Pěček, 1995), jehož cílem bylo realizovat vrt **Pott BJ 5**, který měl zachytit slabě mineralizovanou minerální vodu. Vrt Pott BJ 5 je hluboký 110 m. HPV před HDZ byla 2 m p.t. Vrtem byla zjištěna voda s obsahem $2,9$ g/l CO_2 a celkovou M $0,8$ g/l. Během HDZ bylo čerpáno $Q = 48$ l/min při ustálené hladině 34 m p.t. (v IX.1996 byla hladina při stejném Q až ve 45,6 m p.t. (Pěček, 1997c)). Nebylo zjištěno ovlivnění pozorovacích objektů, které by se dalo jednoznačně dát do souvislosti s čerpáním na vrtu BJ 5.

V r. 1996 proběhly další vrtné práce (Pěček, 1997c) v rámci nichž byl realizován vrt **Pott BV 6**. Pott BV 6 je hluboký 150 m. Karotážním průzkumem byly zjištěny přítoky ve 108 až 109 m p.t. a 136 až 139 m p.t. Teplota u hladiny byla zjištěna $9,1$ °C a na dně $11,6$ °C. Zajímavým poznatkem bylo zjištění výrazného teplotního skoku v hloubce 108,5 až 109,0 m p.t. o $0,15$ °C. Jde o projev výrazně propustné polohy (Procházka, 1996). Ustálená HPV byla 4,1 m p.t. Pro zahlcování čerpadla CO_2 nebylo možné ustálit hladinu při konstantním čerpání. Při $Q = 6$ l/min došlo ke snížení o 54 m. Byl proto využit obturátor. Při přelivu $1,8$ l/min byla koncentrace volného CO_2 ustálená na $2,5$ g/l a celková M $3,6$ g/l. Pozorováním bylo zjištěno ovlivnění vrtu Pott HJP 4, kdy po 1. fázi čerpání došlo k poklesu vydatnosti.

2.4.8 Antoníčkův pramen

Geologie

Struktura se nachází v jemnozrnných amfibolitech se žilkami křemene a živce. Místy byl zjištěn až amfibolitový pískec šedé barvy střídající se s modravě šedou tektonickou brekcií (amfibolity) se žilkami kalcitu. Lokálně byly zjištěny velmi silně kataklasticky a hydrotermálně postižené biotitické ruly (Sysel, 1973b).

Historie

Antoníček byl historicky jímán cca 15 m pod viaduktem. Technická dokumentace o zachycení nebyla nalezena a pravděpodobně není dochovaná. V 50. letech byla vydatnost pramene cca 18 l/min (Dovolil, 1959). Terénním měřením v r. 1970 bylo zjištěno, že je pramen jímán šachticí hlubokou 4,41 m a širokou 2 m a na dně je umístěna přepadová váza. Odtud je potrubím voda odváděna do dřevěného altánu v Úšovicích (současný stav Obr. 62) (Sysel, 1972). Vydatnost takto zachyceného pramene byla mezi lety 1950 až 1952 cca $Q = 25$ l/min při $2,2$ g/l volného CO_2 (Klír, 1953). Toto staré zachycení bylo označováno jako **Antoníček I**. Klír (1953) se ještě zmiňuje o prameni na hřbitově (**Antoníček u fary**). Má vydatnost $Q = 5$ l/min a $1,9$ g/l volného CO_2 (1953). Pramen byl během II. světové války zachycen a odveden trubkou směrem k cestě. Současný stav je popsán v *kap. 4.1.1.12*. V r. 1972 byl zjištěn další vývěr nezachycené minerální vody u mostu (**Antoníček pod mostem silnice**) (Sysel, 1972). Současný stav je také popsán v *kap. 4.1.1.12*.

V r. 1970 proběhl na lokalitě geofyzikální a poté v r. 1971 až 1972 hydrogeologický průzkum za účelem rozšíření žřidelní struktury. Geofyzikálním průzkumem bylo zjištěno, že tektonické linie jsou téměř svislé. Zjištěny byly dva hlavní tektonické směry a to SSZ - JJV a na něj kolmý VSV - ZJZ (Dvořák, 1971). Výsledky hydrogeologického průzkumu v r. 1971 až 1972 (Sysel, 1973a; Sysel, 1973b; Sysel, 1973c; Sysel, 1973d; Trojan, 1979a) jsou shrnuty v Tab. 19 a vzájemná poloha vrtů je patrná z Obr. 20.

Tab. 19 - Výsledky hydrogeologického průzkumu roku 1971 až 1973

Název	Hloubka [m]	Ustálená HPV [m p.t.]	Q [l/min] / HPV [m p.t.]	CO ₂ [g/l]	Celková M [g/l]	Ovlivnění pozorovacích objektů při HDZ	Chem. typ	Poznámka
Antoníček BJ 1	80,2	1,17	5 / 8,36 8 / 38,18	2,4	3,7		Mg-Ca-HCO ₃	Vrt zlikvidován v r. 1979
Antoníček BJ 2	70,15	4,27	2 / 20,42	0	0,5		Mg-Ca-HCO ₃	Vrt zlikvidován
Antoníček BJ 3	69,6	2,36	3 / 10,20	0	0,4		Mg-Ca-HCO ₃ -SO ₄	Vrt zlikvidován
Antoníček BJ 4	77,0	1,14	5 / 10,34	0	0,5		Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄	Vrt zlikvidován
Antoníček BJ 5	41,8	0,24	11,53 / 5,5	2,8	1,5	Antoníčková pramene z 18,8 l/min na 15,8 l/min + CO ₂	Ca-Mg-HCO ₃	došlo nedopatřením k porušení trubky z pramene do kašny. Vrt byl zlikvidován

Antoniček BJ 6	54,57	1,03	88 / 18,14	2,7	1,0	Antoniček, kdy vydatnost klesla z 18,8 l/min na 15 l/min a CO ₂ z 2,7 až 2,8 g/l na 2,0 g/l *	Ca-Mg-HCO ₃	
----------------	-------	------	------------	-----	-----	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------	--

Poznámka: *Při zvýšení čerpaného množství na 54 l/min (snížení s = 16,5 m p.t.) klesla vydatnost Antoníčkovy p. dokonce na 10,4 l/min a 1,5 g/l volného CO₂ a nakonec při Q = 63 l/min vydatnost pramene klesla na 4,8 l/min s 0,6 g/l CO₂ a dále se snižovala na 0,59 l/min až 0 l/min, obsah CO₂ nebyl Härtlovým přístrojem identifikovatelný. Po ukončení HDZ byl přetok na p. Antoníček po 4 minutách opět obnoven, kdy bylo změřeno Q = 1,3 l/min a velmi rychle se vrátil na původní hodnotu cca 25 l/min. Celková mineralizace vody ve vrtu byla 1,2 g/l. Mineralizace v přírodním prameni je totožná

Antoničkův pramen je tedy od roku 1973 jímán vrtem Antoníček BJ 6. V r. 2005 proběhl v bezprostřední blízkosti J od Antoníčkovy pramene další geofyzikální průzkum, který se zaměřoval na vyhledání anomálií CO₂ v půdním vzduchu a na zjištění hlavních tektonických směrů. V průběhu průzkumu byla u Stanovického potoka zjištěna širší poruchová zóna JZ - SV směru (Škuthan et al., 2005). Tento směr souhlasí s poznatky z roku 1970 z měření (Dvořák, 1971) u Antoníčkovy pramene.



Obr. 20 - Vzájemná poloha vrtů Antoníčkovy pramene

2.4.9 Farská kyselka

Geologie

V místě vývěru se nachází tmavošedé až světlešedě páskované amfibolity s polohami porfyrítů a s přechody k pararulám a projevy silného zvětrání do hloubky cca 30 až 50 m p.t. (Trojan, 1983a; Trojan, 1983b).

Historie

Farskou kys. navštívil v r. 1956 během terénního průzkumu Dovolil (1959) (v evidenci Dovolila pramen č. 119), který změřil teplotu vody 6,5 °C při teplotě vzduchu 15 °C, koncentraci 2,7 g/l volného CO₂, hodnotu pH 6,5 a vydatnost odhadl na Q = 12 l/min. Dále si poznamenal, že je zachycen v dřevěném altánu studní, která je 1,5 m hluboká a její průměr je 1,2 m. Kolářová a Myslík (1979) pak uvádějí vydatnost Farské kys. cca Q = 10 l/min.

V r. 1973 se Generální ředitelství lázní a zříděl pro ČSR rozhodlo, že je třeba zajistit posilovací zdroje minerální vody pro Mariánské Lázně, proto v r. 1976 provedl Škuthan (1976) geofyzikální průzkum, jehož cílem bylo zjištění vhodných míst pro situování vrtů na zachycení minerálních vod. Průzkum proběhl v okolí vývěru na ploše 0,8 x 1 km. Bylo využito kombinované profilování, magnetometrie a spontánní polarizace a na některých místech také plynometrie a vertikální elektrické sondování (VES), termometrie a metoda nabitého tělesa. Průzkumem (Škuthan, 1976) bylo zjištěno, že CO₂ přechází do vývěrové oblasti z JJZ směru systémem zlomů, které jsou cca kolmé k mariánskolázeňské zlomové linii. Ve všech místech, kde byla odporovým profilováním interpretována linie SSZ směru byla zjištěna přítomnost CO₂.

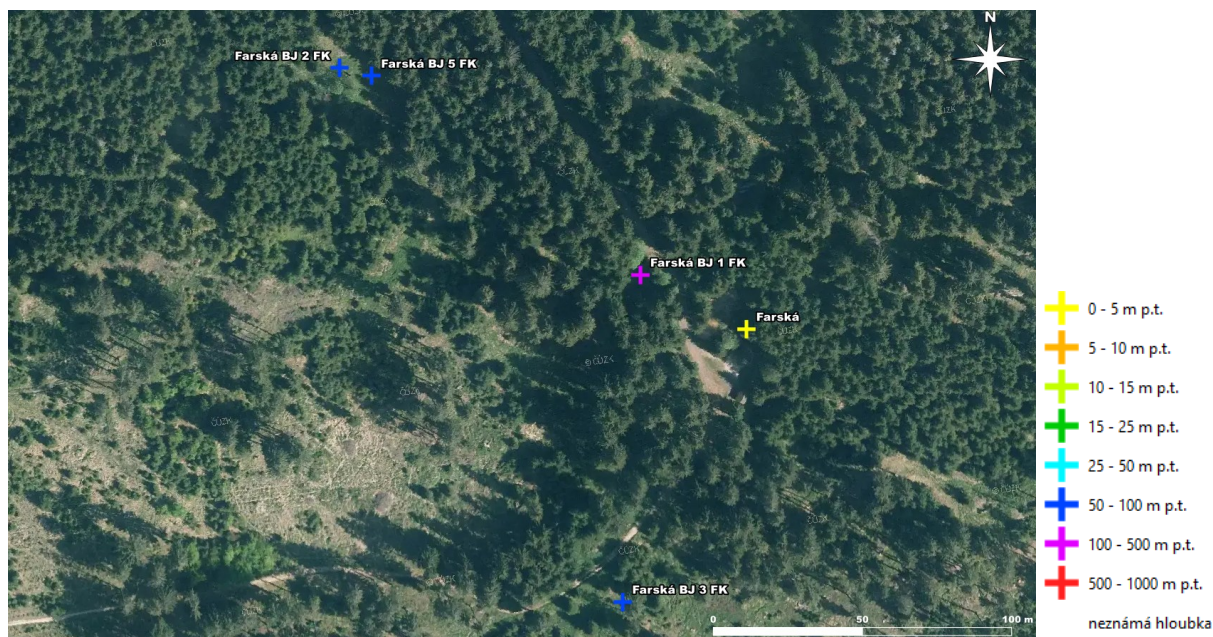
Dále bylo zjištěno, že stávající vývěr Farské kys. leží na styku linií SSV a VSV směru. Byl však do určité míry identifikován i směr SZ.

V r. 1981 započaly vrtné práce, které byly vedeny až do r. 1984. Bylo zde provedeno 5 vrtů (vzájemná poloha je patrná z Obr. 21) a výsledky průzkumu (Trojan, 1983a; Trojan, 1983b; Pěček, 1985a, Pěček, 1986) jsou shrnuty v Tab. 20. Během průzkumných vrtných prací měl vývěr Farské kys. na přelivu vydatnost $Q = 20$ až 30 l/min. Současný stav průzkumných vrtů není znám.

Tab. 20 - Výsledky průzkumných hydrogeologických prací. Data z r. 1981 až 1984.

Název	Hloubka [m]	Ustálená HPV [m p.t.)	Q [l/min] / HPV [m p.t.]	CO ₂ [g/l]	Celková M [g/l]	Ovlivnění pozorovacích objektů při HDZ	Chem. typ	Poznámka
Farská BJ 1 FK	117,6	4,90	69,6 / 40,85	0,9	0,5	nebylo zjištěno ovlivnění přírodního vývěru	Mg-Ca-Fe-HCO ₃	podvrtala pramen Farské kys.
Farská BJ 2 FK	81,16	2,8	80 / 4	2,9	0,8	snížení Q Farské kys. (vzdálena 170 m) o 5 l/min při Q 68 l/min	Mg-HCO ₃	lokalizován na křižovatce hlavní tektonické linie ve směru SSV a linie SZ
Farská BJ 3 FK	90	0,6	63 / 6,5	3,0	0,7		Mg-Ca-HCO ₃	
Farská BJ 5 FK	70	1,7	27 / 0,6 70 / 4	2,5	0,7	Farská BJ 2 FK poklesem hladiny o 1,8 m*	Mg-HCO ₃	

Poznámka: * Reakce přitom byla sledována již po 2 minutách zkoušky. Ovlivněn též přírodní vývěr Farské kys. (150 m vzdálený), kdy při čerpání 60 l/min klesla vydatnost z 20,7 l/min na 12,0 l/min. Při čerpání 150 l/min přírodní vývěr Farské kys. v etapách vysychal



Obr. 21 - Zřídelní struktura Farské kyselky

2.4.10 Balbínův pramen

Geologie

Pramen se nachází v drobnozrnných biotitických, většinou porfyrických, granodioritech (Trojan, 1971a; Pěček, 1987a).

Historie

Balbínův p. se nachází na okraji vytěženého rašeliniště (Trojan, 1971a). Název dostal až po II. světové válce dle Bohuslava Balbína (Janoška, 2011). Ještě Dovolil (1959) pramen zaznamenává jako Slatiništní pramen (v němčině zvaný Moorlagerquellen (Záporožec, 1966)). Původní jímání Balbínova pramene pochází z roku 1905, kdy byly vyhloubeny

jímky I (**Balbín I „pramen“**) a II (**Balbín II „S1“**). Voda byla jímána zářezy a následně akumulována v nádrži, ze které byla přiváděna dálkovým potrubím až do centra Mariánských Lázní. Díky nevyhovujícímu těsnění jímky II postupně klesl průtok z 50 až 60 l/min na 6 l/min, který byl zaznamenán v r. 1915 až 1916 (Zápороžec, 1966). V r. 1921 proto prošel pramen rekonstrukcí, kdy byl přidán jímací objekt **Balbín III „S2“** a zachycení bylo nahrazeno zvonkovým. Rekonstrukce probíhala tak, že v místech vývěřů byly vyhloubeny sondy do hloubky 3 až 4 m, ty byly osazeny perforovanou kameninovou pažnicí a ta zavezena štěrkem. V letech 1945 až 1952 byla celková vydatnost Balbínova pramene 57,80 l/min (Klír, 1953).

V r. 1966 byla provedena Zápороžcem (1966) HDZ, která zjistila na přelivu maximální vydatnost struktury Q = 64 l/min. Je zajímavé, že čerpací zkouškou na prameni Balbín I „pramen“ došlo k poklesu hladiny v Medvědí m p. o cca 25 cm, který je přitom vzdálen cca 600 m. Ovlivnění však nelze potvrdit, jelikož zachycení Medvědího pramene neumožňovalo jednoznačné měření hladiny ani vydatnosti. Například při vydatných srážkách došlo k úplnému zaplavení vývěru prostou vodou (Zápороžec, 1966). Paradoxem zůstává, že v budoucnu Medvědí pramen skutečně zanikl, a je tudíž možné, že k jeho ovlivnění dojít mohlo. Medvědí pramen byl v r. 1991 zachycen vrtem (Štěrba, 1991).

V r. 1968 bylo rozhodnuto o zvýšení vydatnosti Balbínova pramene. Výchozí stav před rozšířením jímání byl takový, že zřidelní struktura obsahovala celkem 3 objekty, které zachycovaly minerální vodu. Tyto jímky Zápороžec (1966) označuje jako Balbínův pramen (Balbín I „pramen“ (viz Obr. 22 a Obr. 23)), S1 (Balbín II „S1“) a S2 (Balbín III „S2“). Jímání přitom bylo naposledy rekonstruováno v r. 1921. V r. 1970 byl tedy vybudován vrt **Balbín BJ 1 nový**, který je hluboký 62,5 m (Trojan, 1971a). I na tomto vrtu byla provedena HDZ, která ověřila, že je vydatnost sktruktury zvýšena na 136 l/min, při snížení hladiny o 17 m p.t. při celkové M = 1,8 g/l a 2,8 g/l volného CO₂. Průzkumem bylo dále zjištěno, že je podloží relativně nepropustné (empirickými vzorci byl odhadnut dosah ovlivnění při Q = 136 l/min na 107 až 153 m), a proto nelze vyloučit, že dalším budováním vrtů nedojde ke vzájemnému ovlivnění. V případě, že by bylo o dalším vrtu rozhodnuto, tak Trojan (1971b) doporučuje, aby byl vrt situován 25 až 35 m SV od současného vrtu Balbín BJ 1 nový a hloubka by mohla být 50 m.



Obr. 22 - Sdružený přítok z Balbín I „pramen“ a Balbín II „S1“ (Trojan, 1971a)



Obr. 23 - Celkový pohled (Foto: Jiří Milota – 1988?)

Škuthan (1971) ve výsledcích následného geofyzikálního průzkumu uvádí, že přítok minerální vody do jímacího vrtu Balbín BJ 1 nový je z V a hlavní přítoková oblast probíhá SV až SSV od vrtu. Ve vzdálenosti cca 40 až 50 m od vrtu byla zjištěna pravděpodobně tektonická linie ve směru SSV – JJZ (mariánskolázeňské zlomové pásmo). Bohumínský et al. (1972) uvádí, že CO₂ tvoří 99,96 objemových % plynné fáze. Dále byl v plynu minerálního pramene zjištěn N₂, O₂, Ar, CH₄ a stopy He. Minerální voda se dle geologického průzkumu Pěčka (1987a) formuje 40 až 80 m p.t. V r. 1987 proběhla další HDZ, která stanovila optimální využitelné množství obezřetněji na Q 100 l/min při snížení 5 m p.t. (Pěček, 1987a) Současný stav je popsán v kap. 4.1.1.1.

2.4.11 Další výskyty minerálních vod

Medvědí pramen

Pramen je situován v tektonicky intenzivně porušených granitoidech (Štěrba, 1991). Medvědí pramen byl původně jímán ve vzdálenosti 4 m od potoka v dutém kmeni (průměr 0,5 m) s hladinou vody 0,3 m. Vydatnost byla nepatrná. Mezi pramenem a potokem byla zakrytá betonová jímka (2,5 x 1,2 m) a v okolí byly patrné drobné vývěry vody

a plynu (Dovolil, 1959). Z analýz, které byly provedeny Dovolilem (1959), vyplývá, že voda původního nekrytého **Medvědího pramene** obsahovala 1,9 g/l volného CO₂ a měla teplotu 9 °C a vydatnost 0,43 l/min (1953). U tohoto původního vývěru však byla vybudována zakrytá betonová jímka, která rozšířila vydatnost místa o 1,07 l/min. Koncentrace volného CO₂ ve vodě byla 2,1 g/l (1953). Myslíl a Václ (1966) k Medvědímu p. uvádějí, že je zachycen v dutém kmeni, má nepatrný přetok a celkovou M přes 2,0 g/l s koncentrací CO₂ až 1,0 g/l. Dle Škuthana a Suchomela (1989) pramen zanikl již v 60. letech díky nevhodným zásahům do jeho režimu při úpravách prameniště. CO₂ unikalo do potoka, který měl dokonce velmi slabou přichuť minerální vody (Klír, 1953). V r. 1960 byl totiž pramen rekonstruován, kdy původní zachycení v dřevěném pařezu bylo nahrazeno betonovou jímkou. V této době pramen začal vysychat. Kolářová a Myslíl (1979) však uvádí, že nově betonovou jímkou jímaný Medvědí pramen má vydatnost na přelivu 4 l/min. Každopádně to vedlo k dalším úpravám, kdy v r. 1967 byla vybudována zídka (stojící dodnes) s nápisem Medvědí pramen. Pramen se však silně mísil s vodou povrchovou. Janoška (2011) uvádí, že pramen vyschl až kolem roku 1985. To by odpovídalo i ústnímu sdělení pamětníků.

V r. 1988 až 1989 proběhl geofyzikální průzkum s cílem najít vhodné místo pro umístění vrtu, kterým by byl opět zaniklý Medvědí p. zachycen. Průzkum byl proveden jak v místě Medvědího p., tak v místě, které je cca 120 m Z proti proudu potoka. Jde o místo, kde byl nalezen pramen Dovolilem (1959). Tento druhý pramen měl v r. 1988 až 1989 vydatnost cca 4,37 až 11,58 l/min (Škuthan a Suchomel, 1989). Průzkumem bylo zjištěno, že pozadňové hodnoty pro obsah CO₂ v půdním vzduchu jsou do 0,5 % a proto koncentrace na 1 % jsou považovány za anomální. Dominantní tektonický směr se zdá být u druhého pramene podél osy SV - JZ a v místě zaniklého Medvědího p. SSZ - JJV. Škuthan a Suchomel (1989) si dále všimají shodných teplot Medvědího i Balbínova pramene. Naopak druhý bezejmenný nově zmapovaný 120 m západně se nacházející pramen má teplotu nižší. Za základě těchto výsledků byl vybudován v r. 1991 hydrogeologický vrt v místě duhého pramene s hloubkou 40 m. Průzkumem (Štěrba, 1991) byla zjištěna voda s celkovou M 1,3 g/l a koncentrací 2,8 g/l volného CO₂. HDZ ověřila, že při Q = 8 l/min je snížení po 72 hod. 0,98 m. Původní hladina před HDZ byla 1,10 m p.t. Současný stav je popsán v *kap. 4.1.1.2.*

Myší pramen

Dovolil (1959) uvádí, že vydatnost pramene je nepatrná, a tudíž neměřitelná a že bylo zjištěno 2,0 g/l volného CO₂. V r. 1989 byl obsah volného CO₂ ve vodě 2,0 g/l při teplotě 7 °C (Křivanec a Milota, 1996). Současný stav je popsán v *kap. 4.1.1.3.*

Vlčí kyselky

Pramen je zachycen v dutém kmeni s průměrem 0,8 m. Vydatnost je cca 3 l/min a koncentrace volného CO₂ 2,2 g/l. Druhý pramen byl zjištěn 6 m JZ. Obsah volného CO₂ ve druhém prameni je 2,2 g/l (Dovolil, 1959). Vydatnost Vlčího p., který je jíman v dutém kmeni v hloubce 0,3 m p.t. je dle Kolářové a Myslíla (1979) cca 1 l/min. V r. 1988 měl Vlčí p. I vydatnost Q = 3 l/min, obsah volného CO₂ 2,2 g/l a teplotu 9 °C. Vlčí II měl teplotu 9 °C a obsah volného CO₂ 2,2 g/l (Křivanec a Milota, 1996). Vlčí prameny jsou, resp. byly zachyceny tři. Současný stav je popsán v *kap. 4.1.1.4.*

Maxova kyselka

V některých materiálech je tento pramen veden jako Údolní nebo U Lunaparku (Dovolil, 1959). Obsah volného CO₂ je 0,6 g/l (Dovolil, 1959). Znovuobjeven byl v r. 2020 a zachycen v r. 2022 (Dolanská, 2023). Současný stav je popsán v *kap. 4.1.1.5.*

Křovištní kyselka

Vydatnost pramene je velmi nízká a obsah volného CO₂ je 2,2 g/l (Dovolil, 1959). V r. 1990 měla Křovištní kys. obsah volného CO₂ 1,7 g/l a teplotu 10 °C (Křivanec a Milota, 1996). Současný stav je popsán v *kap. 4.1.1.6.*

Pirátův pramen

Název pravděpodobně vznikl z názvu Prelátův pramen, který leží dále po toku (Janoška, 2011). Vydatnost pramene byla Q = cca 3 l/min a obsah volného CO₂ 2,4 g/l (Dovolil, 1959). Myslíl a Václ (1966) k prameni uvádí, že je zachycen v dřevěné kruhové jímkce, teplota vody je 7,5 °C a celková M do 0,5 g/l. V r. 1997 byla vydatnost 2,4 l/min a obsah CO₂ 2,4 g/l (Obr. 50) (Pěček, 1997c). V r. 1991 byla teplota Pirátova pramene 8 °C a obsah CO₂ 2,5 g/l (Křivanec a Milota, 1996). Současný stav je popsán v *kap. 4.1.1.7.*

Košská kyselka

Košská kys. se skládá ze dvou dílčích vývěřů. První (Košská I) vyvěrá v pravé straně potoka cca 400 m Z od Chotěnova. Vydatnost pramene je cca $Q = 1$ l/min a obsah volného CO_2 je 2,4 g/l. Druhý (Košská II) vyvěrá v pravé straně potoka blíže k obci na louce u polní cesty. Vzdálenost mezi prameny je cca 150 m. Vydatnost je $Q = 6$ l/min. Obsah volného CO_2 je 2,1 g/l (Dovolil, 1959). Košská kys. I měla v r. 1991 teplotu 6 °C, vydatnost 1,2 l/min a 2,3 g/l rozpuštěného CO_2 . Košská II měla teplotu 11 °C a 2,1 g/l volného CO_2 (Křivanec a Milota, 1996). Současný stav je popsán v *kap. 4.1.1.8*.

Jateční kyselka

K prameni nebyla dohledána žádná historická měření. Vydatnost ani obsah rozpuštěného CO_2 nebyl Křivancem a Milotou (1996) měřen ani při sestavování upraveného registru minerálních vod. Současný stav je popsán v *kap. 4.1.1.9*.

Srnčí pramen

Chybí historická měření. Dovolil (1959) ani Klír (1953) tento pramen ve svých pracích neuvádějí. Měření neprovedli ani Křivanec a Milota (1996). Současný stav je popsán v *kap. 4.1.1.10*.

Hájenský pramen

V tomto prameni se minerální voda mísí ve studni hájovny s vodou prostou. V r. 1953 byla zjištěna teplota vody 11 °C, obsah volného CO_2 0,8 g/l a nepatrná vydatnost (Klír, 1953). Minerální voda byla zjištěna již při hloubení studny. Voda měla v té době hodnotu pH 6,5 až 7,0 a 1,0 g/l volného CO_2 (Dovolil, 1959). Při sestavování registru pramenů v r. 1996 nebyl pramen navštíven (Křivanec a Milota, 1996). Současný stav je popsán v *kap. 4.1.1.11*.

HV 45 u krytého plaveckého bazénu

Na přelomu roku 2013 a 2014 byla v průzkumném hydrogeologickém vrtu hlubokém 70 m, který se nachází nedaleko krytého plaveckého bazénu (Trnka, 2014), zjištěna minerální voda s 2,6 g/l CO_2 a celkovou M 2,0 g/l. Současný stav objektu není znám.

Nelokalizované a neověřené prameny

Při rešerši literatury byly popsány následující mariánskolázeňské prameny, které se nepodařilo lokalizovat.

a) Ubytovna Horník: 2 vývěry v kotelně dané ubytovny. První vývěř je zachycen v jímce, do které ústí drenážní trubky. Má vydatnost $Q = 6$ l/min s 2,1 g/l CO_2 . Druhý je v jímce se stagnující vodou, která nemá průchodný odtok. Voda obsahuje 1,6 g/l volného CO_2 . Voda byla chemicky analyzována (Dovolil, 1959), ale výsledek chemismu se nedochoval. Pramen se nacházel v objektu, který byl zbourán. V daném místě byly později vyhloubeny 25 m hluboké vrty Krym BJ 1 (celková M 1,3 g/l) a Krym BJ 2 (celková M 1,8 g/l) (Trojan et al., 1978), které na minerální vodu také narazily, a proto jsou výsledky průzkumu zahrnuty do zonace pramenů.

b) Dům Oněgin č. p. 429: vývěř ve sklepě daného domu. Pramen je zachycen v jímce, na kterou je připojena i drenážní trubka. Jímka má půdorys 40 x 60 cm. Obsah volného CO_2 je 1,6 g/l. Byl odebrán vzorek na chemický rozbor (Dovolil, 1959), ale výsledek se nedochoval.

c) Stanoviště: vývěř je 3,2 km od Mariánských Lázní, 1 km od Stanoviště a 50 m od břehu Úšovického potoka v nadmořské výšce 540 m n.m. Pramen je zachycen ve studánce 40 x 60 cm. Obsah CO_2 ve vodě je 1,7 g/l. Vydatnost byla $Q = 6$ l/min (Dovolil, 1959). V r. 1991 tento pramen nebyl nalezen (Křivanec a Milota, 1996).

2.5 Hydrochemické klasifikace mariánskolázeňských pramenů

Klasifikovat minerální prameny lze mnoha způsoby od typu morfologie struktury výstupní či infiltrační zóny po zastoupení látek ve vodě. Způsoby klasifikace kompilovala např. Havlín Nováková (2008). V této kapitole je zpracována rešerše literatury, která se zabývá klasifikací mariánskolázeňských pramenů, a to jak dle obsahu hlavních iontů (makrokomponent), vedlejších iontů (mikrokomponent), tak rozpuštěných plynů. Plyny, které doprovázejí minerální prameny se dělí na 2 základní typy. Na plyny, které zůstávají rozpuštěné ve vodě i po výstupu na povrch terénu, a na plyny, které se postupně spontánně uvolňují z minerální vody (Dvořák a Tesař, 1989). Při vyhodnocení chemismu mariánskolázeňských minerálních pramenů je rozlišováno mezi zastoupením hlavních (makrokomponent) a vedlejších prvků (mikrokomponent). Makrokomponenta je definována jako anorganická složka, které je ve vzorku více než 1 %, a mikrokomponenta je zastoupena méně než 1 % (Pitter, 1998).

2.5.1 Makrokomponenty

Koncentrace dílčích iontů přítomných v minerální vodě je závislá na době jejího zdržení ve struktuře, stupni rozkladu (zvětrání) a defragmentaci horniny, eventuálně na vlivu obohacení o vsáklou fosilní mineralizaci a nakonec na litologii, popř. i dalších podmínkách, za kterých dochází k interakci mezi vodou a horninou. Podle některých koncepcí se předpokládá, že v Mariánských Lázních pásmem vzniku a tvoření kyselek s vysokou mineralizací mohou být nejen granity, ale i krystalické břidlice, které jsou silně rozložené, postižené pokročilou kaolinizací, serpenitinizací, chloritizací a dalšími pochody rozkladu (Hynie, 1963). Protože se minerální vody vyznačují, jak již bylo zmíněno, vysokou variabilitou mineralizace, a to od 0,2 g/l (např. Pirátův pramen a Křovištní kys.) až po 11 g/l (Křížový III), i pestrostí chemických typů, rozdělil již Hynie (1949) mariánskolázeňské minerální prameny do pěti skupin:

1. salinicko-alkalicko-muriatické kyselky (¹)
 - Křížový p.
 - Ferdinand I a II
 - Alfrédův p.
 - celková M, kromě Alfrédova p. od 13,2 do 13,7 g/l a koncentrace 2,08 až 2,24 g/l volného CO₂
2. alkalicko-salinicko-muriatické kyselky
 - Lesní p.
 - Ferdinand III, IV a VI
 - celková M od 4,3 do 6,2 g/l a až 3,16 g/l v prameni Ferdinand VI
3. zemité kyselky (²)
 - Rudolfovy p.
 - celková M podobná alkalicko-salinicko-muriatickým kyselkám
4. železité kyselky zemité a salinicko-zemité
 - Ambrožovy p.
 - Prelátův p.
 - Karolinin p. (celková M 3,1 až 4,5 g/l)
5. prosté kyselky
 - Mariiny p. a Hamelika

Klír (1953) tuto klasifikaci upřesnil a vyčlenil dokonce 7 hlavních typů minerálních vod. Obě klasifikace si jsou však velmi blízké. Jde o následující skupiny:

1. salinicko-alkalicko-muriatické (\pm Fe) kyselky
 - Křížový p.
 - Alfrédův p.
 - Alexandřin p.
 - Ferdinand I

¹ muriatické vody je zastaralé označení minerálních vod s převahou chloridů (Cl⁻) (Svoboda et al., 1983)

² zemité vody je zastaralé označení pro minerální vody s převahou iontů Ca²⁺, Mg²⁺ a HCO₃⁻ (Svoboda et al., 1983)

2. salinicko-alkalicko-muriaticko-zemité (\pm Fe) kyselky
 - Ferdinand II
3. alkalicko-salinické (\pm Fe) kyselky
 - Lesní p.
 - Ferdinand III, VI - Excelsior
4. alkalické (\pm Fe) kyselky
 - Ferdinand VII, VIII
5. zemité (\pm Fe) kyselky
 - Karolinin p.
 - Rudolfovy p. starý, I, II a III
 - Pottovo údolí (Alfa a Delta)
 - Balbínův p. I, II
6. železité kyselky
 - Ambrožovy p. I, II, III
 - Ústřední p. I, II
 - Marie IV
 - Pottovo údolí (Beta, Gama, Putz, Schirmer, Schirmer drén, Prelát)
7. prosté kyselky
 - Mariiny p. I, II, V a VI
 - Hamelika
 - Ferdinand IV

Klasifikací pramenů v širší oblasti Mariánských Lázní se zabýval také Dovolil (1959). Dochází k závěru, že existuje významná závislost mezi petrografickým složením horninového prostředí tvoření minerálních vod, tektonikou a výsledným chemickým složením minerální vody. Dovolil (1959) rozlišil prameny na 3 základní a 6 vedlejších skupin, mimo skupinu mofet. Původní ucelený popis této klasifikace se nedochoval. Tři základní skupiny, které jsou nejvýznamnější, jsou následující (viz Dovolil 1959; Dovolil 1961):

1. Mg-HCO₃
 - pásmo tvoření mineralizace vody je v ultrabazických horninách, jako jsou hadce (serpentinity)
 - nejméně rozšířená skupina pramenů s celkovou M do 3,2 g/l (Hynie, 1963)
2. Ca-HCO₃
 - pásmo tvoření mineralizace vody je v bazických horninách, jako jsou amfibolity a metabazity (rozšíření též pro prameny Lázní Kynžvart)
 - společným znakem je velmi nízký obsah K⁺ a Na⁺
 - podrobnější dělení na 3 podskupiny (klasifikace se nedochovala)
 - nejvíce rozšířená skupina pramenů, celková M do 2,5 g/l (Hynie, 1963)
3. Na-SO₄
 - pásmo tvoření mineralizace vody pramenů je v kyselých horninách, jako jsou granity a ruly
 - kromě převažujícího kationtu Na⁺ je přítomný zvýšený obsah K⁺
 - obsah Ca²⁺ je podobný Mg²⁺
 - v porovnání s ostatními skupinami je zvýšená koncentrace Cl⁻
 - celková M až 11,5 g/l
 - podrobnější dělení na 2 podskupiny (klasifikace se nedochovala)
 - druhá nejrozšířenější skupina pramenů
4. přechodná podskupina nezařazená

Dovolil uvádí, že je vždy do jednotlivých podskupin zařazeno méně pramenů než do skupin základních a že možné dílčí nehomogenity složení mohou souviset se změnou chemismu horniny v pásmu tvoření minerální vody, anebo se infiltrovaná voda dostala do interakce s více horninami. Důvodem odlišného složení může být i to, že jde o prameny nevhodně zachycené, a proto dochází k jejich mísení s prostou podzemní nebo povrchovou vodou. Dovolil tímto ve své podstatě zpochybňuje hypotézu, že je mineralizace všech západočeských kyselk způsobena vsáklou fosilní mineralizací,

kteřá je původem z křídových, anebo terciérních struktur. Tato teorie totiž předpokládala, že je minerální voda ze všech západočeských kyselek společného původu z tzv. „*povrchových nádrží českého typu*“ (Zýka, 1961). Neuzavřenou problematikou je však přitom stále obsah Cl^- . Předpoklad, že lze koncentrace iontů v kyselkách spojovat pouze s petrografickým složením horniny, ve které se minerálka formuje, zpochybnili např. již Myslíl a Václ (1966), kteří uvádějí, že vody spadají do skupiny Na- SO_4 mají taktéž více Cl^- , což pro prosté vyluhování žul a rul není příznačné.

Dvořák a Horna (1978) klasifikaci zjednodušili a sestavili na základě celkové M novou klasifikaci. Celkem jsou definovány 4 základní skupiny:

1. Na- SO_4 - HCO_3 -Cl
 - kyselky s vyšší celkovou M od 4 do 11 g/l.
 - Lesní p.
 - Křížový p.
 - Ferdinand I a II
 - Alfrédův a Alexandřin p.
2. Na-Ca-Mg- HCO_3 - SO_4 -Cl
 - kyselky se střední mineralizací od 1 do 4 g/l
 - Ferdinandův III, IV, VI (Excelsior), VII a VIII
 - Karolinin p.
3. Ca-Mg- HCO_3
 - kyselky s nižší mineralizací od 1 do 2,5 g/l
 - Rudolfovy p. starý, I, II a III
4. ostatní
 - prosté kyselky s nízkou mineralizací od 0,1 do 1 g/l se zvýšeným obsahem Fe^{2+}
 - Ambrožovy p., Ústřední, Marie, Hamelika
 - Prelátův a prameny v Pottově údolí.

Všechny výše uvedené klasifikace mají malý nedostatek v tom, že pro zařazení byly vybrány pouze nejvýznamnější mariánskolázeňské prameny. Z uvedených 4 mírně odlišných klasifikací však jednoznačně plyne, že mariánskolázeňské prameny jsou hydrochemicky velmi pestré a že snaha o jejich rozřazení do několika skupin trvá bezmála od první poloviny 20. století.

2.5.2 Mikrokomponenty

Železo

Zajímavým iontem se zdá být v mariánskolázeňských pramenech Fe^{2+} . Na značnou variabilitu koncentrací Fe^{2+} upozornil již Hynie (1963). Koncentrace kolísá od 0,00X mg/l do X0 mg/l. Nutno přitom zdůraznit, že obsah železa ve vodě není přímo úměrný její mineralizaci, i když obecně platí, že více mineralizované prameny ho mohou mít více. Zajímavý je chemický rozbor vody z Medvědího p. HJ 1, kdy bylo v r. 1991 zjištěno dokonce 262 mg/l Fe^{2+} při celkové M 1,3 g/l (Štěrba, 1991). Jde však pravděpodobně o chybné stanovení, neboť je koncentrace Fe^{2+} velmi závislá na správné metodice odběru, konzervaci i skladování vzorků. Vylita navíc uvádí, že nejželezitéjší minerální vodou v ČR je minerálka v Tršicích u Olomouce a v Bochoři u Přerova, kde jsou koncentrace až 50 mg/l Fe^{2+} (Špišák et al., 2010), což hypotézu nevhodného odběru, popř. skladování, potvrzuje. K prostorové zonaci Hynie (1963) uvádí, že obecně mají méně Fe ultrabazické horniny, u kterých bylo zjištěno maximálně 2 až 4 mg/l Fe^{2+} . Klasifikací dle obsahu Fe se podrobněji ale nezabýval.

Lithium

Dle Klíra (1953) zvýšené koncentrace Li^+ v mariánskolázeňských pramenech mohou svědčit o tom, že infiltrační oblast musí být poněkud dále od Mariánských Lázní. V okolí pramenů se horniny s Li nevyskytují. Nejbližší granitová tělesa s vyšším obsahem Li jsou až ve vzdálenosti 3 km severně od Mariánských Lázní. Klasifikace dle obsahu Li^+ ale nebyla více rozpracována. Obecně však mariánskolázeňské prameny vyšších koncentrací Li^+ nedosahují. Více mineralizované prameny mají koncentrace v nižších jednotkách mg/l. Ve světě jsou však termální prameny, které mají

koncentrace i přes 100 mg/l. Jedná se ale o vody s celkovou M v průměru vyšší než 50 g/l. Taktéž se u vod, u kterých je koncentrace $\text{Li}^+ > 1$ mg/l, podařila nalézt souvislost s koncentrací K^+ (Lv et al., 2024).

Fluoridy

Nejvyšší koncentrace F^- jsou v Českém masivu pozorovány právě v západočeské zřidelní soustavě, a to především ve vodách v Karlových Varech a v Teplicích. Jeho přítomnost závisí na minerálech obsahujících fluoridy, na otevřenosti hlubokých zlomů a hloubkovém pásmu tvorby složení podzemní vody (Vrba, 1961). Mariánskolázeňské prameny mají koncentrace F^- v porovnání s ostatními západočeskými prameny nižší (Pitter, 2019). Klasifikace dle obsahu F^- ale nebyla více rozpracována. S pomocí F^- , B a Li^+ se podařilo např. Mas-Plovi et al. (2023) ve východních Pyrenejích rozdělit minerální vody do dvou skupin. Na ty, které jsou hlubšího, a ty, které jsou mělčího oběhu, přitom zvýšené koncentrace přisoudil rozpouštění pegmatitům.

2.5.3 Rozpuštěné plyny

Oxid uhličitý

Úniky hlubinného CO_2 jsou pravděpodobně vázány na struktury ZJZ - VSV směru, které jsou paralelní s oháreckou zónou. Mladší zlomy, které jsou paralelní s mariánskolázeňským zlomem, mají pouze distribuční charakter (Weinlich et al., 1998). Rozpuštěné plyny ve vodách mariánskolázeňských pramenů obsahují 98 až 99 % CO_2 (Škuthan et al., 2002). Jeho koncentrace mimo jiné závisí i na seismické činnosti (Weinlich et al., 2006) a pravděpodobně slapových jevech (Vylita, 1986; Škuthan et al., 2002). Klasifikace pramenů podle koncentrace CO_2 v rozpuštěných plynech je důležitá, protože CO_2 zrychluje rozpouštění a vede k procesu hydrolyzy (Švarcev, 1978). Podle tektonických podmínek lze západočeské minerální prameny rozdělit na dva systémy. Prameny prvního systému jsou vázány na oherský rift a druhého na mariánskolázeňský a hornoslavkovský zlom. Bylo zjištěno, že se oba systémy chovají mírně odlišně. Prameny oherského riftu mají minimální koncentrace CO_2 v únoru a březnu, ale prameny mariánskolázeňského zlomu během dubna a jednotlivá koncentrační minima jsou u každého pozorovacího bodu mírně odlišná. Podobný posun je i u maxim (Škuthan et al., 2002). Klasifikovat vody lze i dle původu CO_2 . V zájmové oblasti je sice přisuzován původ CO_2 doznívající vulkanické aktivitě, ale např. v minerálních vodách v okolí Jessentuki poblíž pohoří Kavkaz, je zdrojem CO_2 i biogenní aktivita (Fillimonova et al., 2019). Zajímavé je v této souvislosti posouzení Barrosové et al. (2021), která uvádí, že možným zdrojem CO_2 ve východobelgických studených minerálních pramenech, hlavně typu Ca- HCO_3 , mohou být taktéž karbonátové horniny, které se nachází více než 2 km p.t.

Dusík

Analýzou plynů v minerálních vodách bylo zjištěno, že v Chebské pánvi je N_2 0,72 až 1,02 %, v Sokolovské pánvi 2,13 až 3,51 %, v Karlových Varech 0 %, v Mariánských Lázních (Mariiny p.) 0,07 % a v Konstantinových Lázních 0,29 %. Rozhodující vliv má geologická predispozice (terciérní sedimentární pánev s uhelnými ložisky vs. krystalinikum) a poměr celkové vydatnosti plynu (Q_g) k vydatnosti pramene (Q_w). Platí, že při nízkém Q_g k vysokému Q_w bude i koncentrace N_2 vysoká, a naopak při vysokém poměru Q_g k nízkému Q_w bude i koncentrace N_2 nízká (Dvořák a Tesař, 1989).

Helium

Izotopové složení helia určuje, jakého je rozpuštěný plyn původu. Může být buď původu primordiálního nebo radiogenního (Class a Goldstein, 2005). Zjištěné koncentrace primordiálního helia v mariánskolázeňských pramenech jsou jedny z nevyšších v Evropě (až > 50 %). Nejvyšší podíl byl nalezen mezi mariánskolázeňským a hornoslavkovským zlomem (Škuthan et al., 2002). Vliv na izotopový poměr má i seismická činnost (Bräuer et al., 2008; Bräuer et al., 2018).

3 Metodika provedených prací

V této kapitole je popsáno, jakým způsobem byla získána data pro hydrochemickou zonaci a následný proces klasifikace. Sled prací lze rozdělit na tři hlavní fáze. V **první fázi** byla provedena rešerše. Ve **druhé fázi** byl uskutečněn terénní průzkum minerálních i prostých pramenů ve vnější i vnitřní zájmové oblasti. Ve **třetí fázi** pak byla získaná data z první i druhé fáze zanalyzována a vyhodnocena.

3.1 Rešeršní práce

Rešerše zahrnovala tyto informační zdroje: archiv ČGS Geofond, archiv ČIL, archiv Jiřího Miloty, archiv Tomáše Vylity, internet a mnohá osobní sdělení. Mezi nejzásadnější konkrétní zdroje informací pro zpracování hydrochemického zhodnocení lze považovat publikaci Klíra (1953), Dovolila (1959) a Dvořáka a Horny (1976). Díky těmto zdrojům bylo možné mnohé, dnes nevyužívané a zanedbané, prameny nalézt a navázat na stará měření. Hlavním zdrojem informací pro plánování terénního průzkumu byla *Úprava registru minerálních vod*, kterou sestavili s použitím archivních zdrojů Křivanec a Milota (1996). Tento registr obsahuje celkem 167 vývěřů minerálních vod v okresech Tachov, Cheb, Sokolov a Karlovy Vary. Pro vytvoření hydrochemické zonace však bylo zapotřebí vyhodnotit i dílčí závěrečné zprávy z vrtných průzkumů. Šlo zejména o chemické analýzy. Při některých vrtných průzkumech na minerální vodu minerálka zjištěna nebyla. Výsledky jsou však do této práce zahrnuty také. Rešerše se zaměřila i na blízká okolí struktur, a i výsledky chemismu podzemní neminerální vody jsou součástí práce.

3.2 Terénní práce

Terénní práce se skládaly z ověřovací, mapovací a odběrové části. Cílem ověřovací části bylo zjistit a zhodnotit současný stav izolovaných minerálních pramenů i pramenů prosté vody, které byly zjištěny rešeršními pracemi. Cílem mapovací části bylo najít nové výskyty minerálek. Odběrová část probíhala jednorázově a cílem bylo zjistit přesné složení ověřených izolovaných i nově zmapovaných minerálních vod. Všechny tři části probíhaly provázaně.

3.2.1 Použité vybavení

Při terénním mapování s cílem vyhledat nové výskyty minerálních vod ve vnitřní zájmové oblasti a ověření stávajících výskytů ve vnější oblasti bylo využito následujících nástrojů a přístrojů (Obr. 24).



Obr. 24 - Vybavení pro terénní mapování minerálních pramenů (zdroje obrázků: promertech.sk (2024), mouser.com (2024), gpslogger.app (2024) a geoobchod.cz (2024))

Termokamera

Indikuje teplotní stopy. V mrazech byla využita při termometrickém průzkumu jako spolehlivý indikátor teplotních stop v povrchových vodotečích i okolní nivě. Čím je teplotní stopa větší nebo má stopa vyšší teplotu, tím lze předpokládat vyšší vydatnost nebo teplotu pramene. K měření byla využita kapesní termokamera FLIR C2 ve výchozím nastavení, kdy při každém spuštění proběhla automatická kalibrace přístroje.

Konduktometr s čidlem na měření teploty

Konduktometrie byla využita v místech, kde byla indikována teplotní stopa. Měření elektrické konduktivity sloužilo k posouzení, zda se jedná o mineralizovanější vodu ve srovnání s pozadím, kterým byla okolní vodoteč, tj. prostá voda. Čím je elektrická konduktivita vyšší, tím je obecně vyšší i celková M. Pomocí konduktometru byla měřena i teplota vody. K měření elektrické konduktivity a teploty byl využit přístroj WTW Multi 340i se sondou TetraCon 325. V termínu 14. až 15.2.2024 byl použit přístroj ECTestr 11+ od výrobce Eutech Instruments. Případně byl využit přístroj Hach Lange HQ40D. Přístroje byly vždy před zahájením terénních prací řádně kalibrovány. Hodnota elektrické konduktivity byla vždy vztažena k teplotě 25 °C.

pH sonda

pH sonda byla využívána shodným způsobem jako sonda na měření elektrické konduktivity. Jelikož je ve všech sledovaných mariánskolázeňských minerálních pramenech přítomen CO₂, je hodnota pH všech pramenů nízká, tj. < 7. Čím je hodnota pH vody nižší, tím lze očekávat vyšší koncentraci rozpuštěného CO₂. K měření hodnoty pH byl využit přístroj WTW Multi 340i se sondou pH-Electrode SenTix 41. Pro měření hodnoty pH 14. až 15.2.2024 byl použit terénní přístroj pHTestr 30 od výrobce Eutech Instruments. Přístroje byly vždy před zahájením terénních prací řádně kalibrovány v 3 mol/l roztoku KCl.

Härtlova trubice

Trubice slouží k měření rozpuštěného CO₂ ve vodě. Vody, kde ho je indikováno více než 1 g/l jsou považovány za minerální. Principem metody je uvolňování plynu z vody, což vede k vytlačení vody z trubice. Uvolnění plynu nastane po zatřepání trubici, která je uzavřená. Natlakovaná trubice se poté vypustí pod úhlem 45°. Tím dojde k uvolnění tlaku a k vystříknutí vody, která je v trubici. Toto natlakování zatřepáním se opakuje do doby, než voda z trubice nepřestane stříkat. Poté se odečte na stupnici množství úbytku vody v mililitrech v Härtlově trubici a hodnota se dle nomogramu přepočte na obsah volného CO₂ ve vodě. Před zahájením měření je důležité, aby voda v trubici měla stejnou teplotu jako trubice. Obsah volného CO₂ nelze přesně určit bez znalosti teploty vody (Überhuberová a Michele, 2014). Specifiky a úskalími použití Härtlovy trubice se detailně věnuje Krajča (1976), kdy např. uvádí, že přesáhnutí celkové M nad 3 až 5 g/l vede k určité chybě měření. K měření byla využita Härtlova trubice o objemu 100 ml bez teploměru.

Diferenciální GPS stanice

Metoda funguje na podobném principu jako běžné měření pomocí mobilních zařízení. Rozdíl je však v tom, že jsou do zařízení nahrávány pomocí internetového připojení zpřesňující koordináty z pozemních stanic ČÚZK a dokáží měřit i nadmořskou výšku. Přesnost diferenciální GPS je v ideálních podmínkách až ± 2 cm, avšak bez rychlého připojení k internetu se přesnost snižuje na ± 50 cm a v případě měření bez signálu je přesnost stanice stejná jako při využití běžné GPS. Přesným měřením teplotních stop pomocí diferenciální GPS stanice je docíleno toho, že lze vývěry s téměř absolutní přesností opět nalézt. Proto byly všechny měrné body zaměřeny pomocí diferenciální GPS. K měření přesných poloh bylo využito zařízení simpleRTK2B – Basic Starter Kit s bluetooth nadstavbou SKU: AS-XBEE-BT-2.4-INT-01. Diferenciální GPS koordináty byly ukládány s využitím mobilní aplikace GPSLogger for Android ve verzi 1.1. Zároveň bylo zařízení upevněno na 2 m vysokou nivelační lať, aby byla data o nadmořské výšce vzájemně porovnatelná. Všechny součásti byly pomocí propojek z 3D tisku k sobě napojeny.

Dřevěné kolíky

Při nalezení teplotní anomálie (stopy) byl v místě zatlučen dřevěný kolík, který měl délku cca 0,5 až 1,0 m a na něj napsán identifikační popisek. Dřevěné kolíky poté usnadňovaly opětovné nalezení pramene i bez využití GPS koordinát.

Měrné nádoby

Nádoby byly zapotřebí k měření vydatnosti pramenů. Vydatnost pramenů byla měřena pomocí stopek a kalibrovaných odměrných nádob. Bylo využito nádob s objemem 0,1 l; 1,5 l; 3 l a 8 l. Volba nádoby závisela na vydatnosti pramene a dispozičních možnostech v okolí vývěřů.

3.2.2 Ověřovací část

Ověřovací část probíhala následujícím způsobem. Nejprve byla do mapy zakreslena místa, kde lze jednotlivé izolované minerální i prosté prameny očekávat. K určení přesné polohy pramene sloužila výše uvedená literatura a dále portál *estudanky.eu* a *mapy.cz*. Poté v prosinci 2022 započalo postupné ověřování pramenů. Při ověření pramene byla změřena elektrická vodivost, teplota, hodnota pH, obsah rozpuštěného CO₂ a vydatnost. Byla též pořízena fotodokumentace. Izolované minerální i prosté prameny byly nepravidelně vícekrát měřeny od prosince 2022 do července 2024, aby se zvýšila reprezentativnost dat a dala se určit sezónní cykličnost. Ověřovací část probíhala ve vnější i vnitřní zájmové oblasti.

3.2.3 Mapovací část

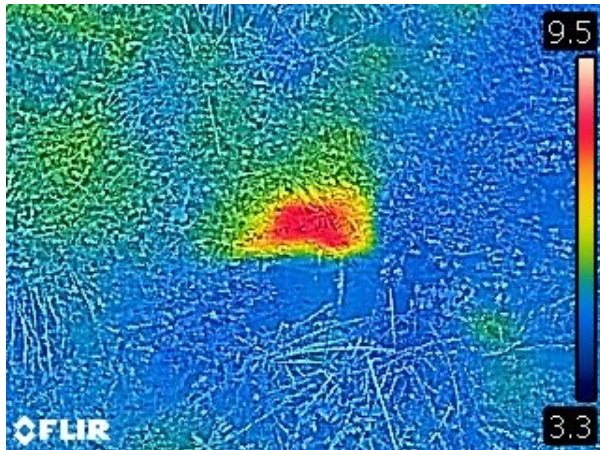
V mapovací části jsem se soustředil na vyhledání nových výskytů minerálních vod ve vnitřní zájmové oblasti. Příprava terénních mapovacích prací započala v prosinci 2022, kdy došlo k vymezení zájmové oblasti a vytipování zájmových vodotečí trvalých i dočasných v Základní bázi geografických dat České republiky (ZABAGED), v jejichž nivě budou prameny termokamerou vyhledávány. V mrazivých dnech pak v lednu 2024 započalo samotné vyhledávání minerálních pramenů pomocí termometrie. Průzkum ve své podstatě navázal na termometrická měření, která za pomoci termometru proběhla v Pottově údolí s cílem nalézt skryté vývěry minerální vody do potoka (Škuthan a Suchomel, 1988). I přesto, že cílem této části bylo nalezení minerálních pramenů, tak kolíkem byly označeny všechny nalezené teplotní stopy (anomálie). To pro případ budoucích měření.

Sled činností při vyhledávání nových minerálních pramenů byl takový, že nejprve byla pomocí termokamery zjištěna stopa (anomálie) v povrchovém toku nebo v jeho těsné blízkosti, která měla vyšší teplotu než pozadí (viz Obr. 25 až Obr. 32). Měření bylo možné provádět pouze v mrazech, tj. max. vhodná teplota pro termometrický průzkum byla 0 °C. Teplotní stopa byla označena dřevěným kolíkem. Kolík byl ručně zaražen, co nejbližší k teplotní stopě do takové hloubky, aby byl stabilizovaný. Na každý kolík bylo napsáno identifikační číslo (ID) potenciálního minerálního pramene. Metodika pojmenovávání teplotních stop byla taková, že první nalezená stopa byla označena P001 a následně se číslo zvyšovalo. „P“ značí pramen. V případě, že se v těsné blízkosti, tj. do cca 15 m od sebe nalézalo více teplotních stop, tak byly označeny např. P001a a P001b. Důvodem takového označení byla nedostatečná přesnost rozlišení vzájemné polohy pramenů pomocí mobilní GPS.

Prvním krokem po nalezení teplotní stopy a označení kolíkem bylo pořízení fotodokumentace vývěru telefonem. V některých případech byla pořízena fotodokumentace i termokamerou, aby byl samotný vývěr lépe identifikovatelný při budoucím opakovaném měření. Dále byl vývěr zaměřen pomocí mobilní GPS a jako bod uložen do telefonu pod ID pramene. Následně mohlo být provedeno shodné měření jako v ověřovací části. Byla měřena elektrická vodivost, teplota, hodnota pH, vydatnost i koncentrace rozpuštěného CO₂. Měření rozpuštěného CO₂ probíhalo buď pomocí Härtlovy trubice, nebo organolepticky ze lžice. Organolepticky probíhalo tam, kde nebylo možné uskutečnit odběr do trubice. Dobrým identifikačním znakem minerálního pramene byly povrchové povlaky okřů (koloidů) železa, dále ve velkých mrazech jeho nezamrzání oproti okolí, případně výrony plynů k povrchu hladiny a též organoleptické testování (chuť, barva, zákal, zápach). Všechny změřené hodnoty, vč. poznámek a orientačního bodu, byly zaznamenány do notesu. Postup se následně opakoval až byly protermometrovány všechny předem stanovené vodoteče. Jak již bylo uvedeno, kolíkem a ID byly označeny všechny termokamerou nalezené teplotní stopy. Další sledování a odběr na chemickou analýzu však probíhal pouze u těch stop, u kterých byla zjištěna přítomnost rozpuštěného CO₂. Těm nejvýznamnějším, dle vydatnosti a koncentrace CO₂, bylo dáno jméno v souladu s názvy okolních pramenů. Pro lepší orientaci je v diplomové práci vždy uveden pramen pod ID i nově přiděleným jménem.

Z Obr. 25 až Obr. 32 je zřejmá velká rozmanitost způsobů vývěru minerálních vod. Teplotní stopy se v korytě potoků projevují elipticky s protažením hlavní osy ve směru proudění vody. Jsou-li prameny izolovány od koryta a jsou položeny výše, pak přes okraj nánosů koloidů železa voda přetéká a vlévá se do blízkého koryta. Málo vydatné prameny se však mimo vývěr v potoce teplotně projevovat nemusí, což je patrné z Obr. 25. Kvantifikace těchto pozorování se však

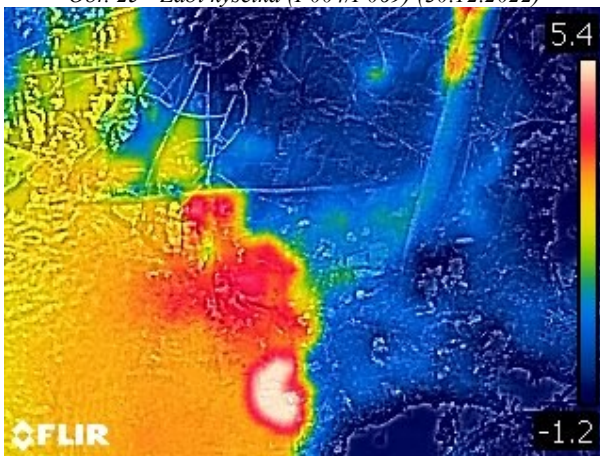
nepodařila, neboť závislost velikosti teplotní stopy na vydatnosti vývěru závisí i na vydatnosti a teplotě okolní vodoteče. V případě kontinuálního měření ale zcela jistě vztah existuje.



Obr. 25 - Žabí kyselka (P004/P069) (30.12.2022)



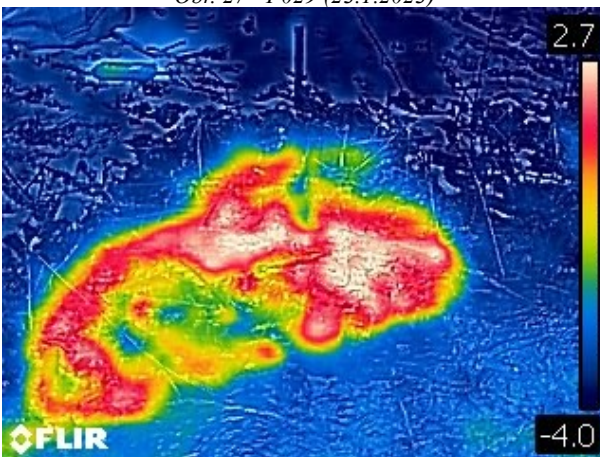
Obr. 26 - Žabí kyselka (P004/P069) (30.12.2022)



Obr. 27 - P029 (23.1.2023)



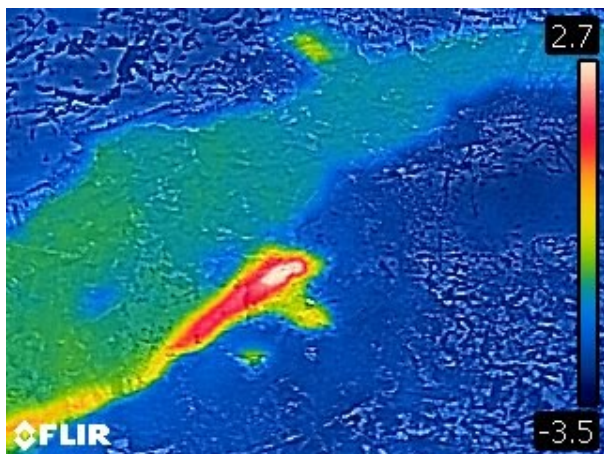
Obr. 28 - P029 (23.1.2023)



Obr. 29 - Šnečí kyselka (P053) (30.1.2023)



Obr. 30 - Šnečí kyselka (P053) (30.1.2023)



Obr. 31 - Sýkorčí kyselka (P054) (30.1.2023)



Obr. 32 - Sýkorčí kyselka (P054) (30.1.2023)

Ke snadnějšímu budoucímu nalezení pramenů byly později (v březnu až dubnu 2023) kolíky přesněji zaměřeny za pomoci diferenciální GPS stanice. Některé kolíky nebyly nalezeny, a proto zůstaly zaměřeny pouze mobilní GPS. Šlo však o stopy výhradně bez přítomnosti CO₂. Důvodem neměření rozpuštěného CO₂ ve všech stopách byla skutečnost, že voda z potenciálního pramene je mnohdy ředěna vodou povrchovou a některá měření probíhala za vyšších vodních stavů. Výsledky získané z měření ve vnitřní a vnější zájmové oblasti byly využity pro návrh nové hydrochemické zonace mariánskolázeňských minerálních pramenů.

Před zahájením řešení diplomové práce byl jeden z dílčích cílů záchyt nalezených minerálních pramenů. Mělo jít o mělká zachycení do cca 1 m p.t. Jímání mělo být provedeno vložení PVC trubky o šířce 0,2 až 0,3 m a délce cca 1,0 m a vykopáním rýhy, která by sloužila k odtoku vody z pramene. Tímto způsobem byl pramen s nejvyšší koncentrací rozpuštěného CO₂ pokusně zachycen pomocí PVC trubky v září 2023 (Obr. 33). Šlo o **Žabí kyselku** (P069/P004). Díky velké časové náročnosti a neuspokojivému výsledku bylo rozhodnuto, že další prameny již žádným způsobem zachycovány v rámci řešení diplomové práce nebudou.



Obr. 33 - Zachycená Žabí kyselka (červený kruh) a odkloněný povrchový tok v horní části snímku (22.1.2024)

3.2.4 Odběrová část a laboratorní analýza

Z nejvydatnějších nově objevených minerálních pramenů, z pramenů prostých vod dohledaných v portále *estudanky.eu* a *mapy.cz* a ze všech izolovaných pramenů ve vnější i vnitřní zájmové oblasti byly odebrány vzorky na chemický rozbor. Způsob odběru se lišil v závislosti na typu vývěru. Nejnáročnější bylo odebírání vzorků z nových pramenů. Nezachycené prameny bylo nutné upravit do stavu, aby byl možný reprezentativní odběr. U zachycených se voda odebrala přímo ze záchytné jímky nebo z výtoku. Odebíraná voda nebyla filtrována, ale dbalo se na to, aby byly vzorky do vzorkovnic nabrány bez rozvření dna. Ke stanovení hlavních kationtů a aniontů byly určeny čiré vzorkovnice o objemu 0,25 l. Vzorek vody nebyl chemicky stabilizován. K určení kovů bylo využito plastových vzorkovnic o objemu 0,05 l. Tyto vzorkovnice byly před výjezdem do terénu okyseleny 1 ml koncentrované kyseliny dusičné pro doplňkovou analýzu vybraných stopových prvků, tj. kovů stanovených metodou atomové absorpční spektroskopie (ETAAS). Okyselení bylo provedeno z důvodu potenciální sorpce kovů na stěny vzorkovnice. Ke stanovení CO₂ titrační metodou byl odebrán vzorek do skleněných vzorkovnic o objemu 0,1 l. V těchto vzorkovnicích bylo přítomno činidlo, které stabilizuje CO₂ v roztoku tak, aby se dal analyzovat. Z každého měrného bodu byly odebrány dva vzorky pro stanovení CO₂. Všechny vzorky byly odebrány bez vzduchové bubliny. Chemické analýzy vod byly provedeny v Centrálních laboratořích ČGS v Praze podle certifikované metodiky laboratoře. Získaná terénní dokumentace i výsledky chemických analýz byly následně uloženy v centrální hydrogeologické databázi ČGS, kde jsou dostupné pro budoucí využití a studium.

3.3 Výsledky a vyhodnocení prací

Pro vytvoření hydrochemické mapy mariánskolázeňských pramenů byly využity chemické analýzy v závěrečných zprávách hydrogeologických průzkumů, výsledky pravidelných analýz prováděné ČIL MZ ČR, nové chemické analýzy (*Příloha 2 - Výsledky nových analýz chemického složení vod*) provedené v rámci diplomové práce a nakonec rozborů publikované ve starších pracích (např. Klír (1953); Dvořák a Horna (1976); Kolářová a Myslil (1979) nebo Drmota a Adamcová (2013)). Vyhodnocení se skládalo ze tří částí. V **první části** byly sloučeny výsledky z v rámci diplomové práce prováděných chemických analýz s výsledky z jiných zdrojů. Z výsledků byl určen chemický typ vody a ten vyjádřen příslušným způsobem. Ve **druhé části** byla ke každé chemické analýze přiřazena poloha a chemismus vyhodnocen v prostoru. Ve **třetí části** byly minerální vody klasifikovány za pomoci shlukové analýzy a tím vytvořena nová hydrochemická zonace. Všechny tři části se prolínaly.

Do vyhodnocení vstupují pouze ty analýzy, které jsou úplné a správné. Za neúplné analýzy jsou považovány ty, kde nebyl stanoven alespoň Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻. Za nesprávné jsou považovány ty rozborů, kde je vůči sobě přebytek aniontů nebo kationtů. U každé rešeršné i nově získané chemické analýzy proto byla vypočtena bilance kationtů a aniontů tak, aby se správnost ověřila. Chemická analýza nebyla ve vyhodnocení využita v případě chyby vyšší než 5 %. V případě, že bylo k prameni, resp. bodu dohledáno více chemických rozborů, byl pro prostorovou i shlukovou analýzu využit ten nejaktuálnější.

Mezi důležité faktory, které ovlivňují výsledky analýz, ale nejsou v práci z důvodu chybějících informací patřičně zohledněny, lze řadit způsob odběrů vzorků, metodika chemických analýz atp. Tyto i další faktory mají vliv na spolehlivost a průkaznost výsledků chemických rozborů. Příkladem je iont Fe²⁺, u kterého správnost následné chemické analýzy závisí na metodice odběru vzorku, protože je dominantním prvkem v sedimentech v okolí vývěrů (Landa, 2024). Při odběru může dojít k rozvření dna a nadhodnocení výsledků. Obsah kovů je zpravidla vyšší v případě, že vzorek není přefiltrován a byl při odběru stabilizován kyselinou. To může vést i k rozpuštění Fe²⁺, které bylo původně v nerozpuštěné formě. Problematickou analýzou železitých oxidů v geovědách se zabýval např. Grygar et al. (2008). Vyhodnocení komplikuje i skutečnost, že ve většině případů není přesná metodika odběrů vody známá a lze předpokládat, že byla časoprostorově nekonzistentní. Proto jsou starší analýzy brány, hlavně v případě mikrokomponent, s rezervou a při sledování časové variability jsou u nejstarších rozborů použitelné pouze základní anionty, tj. Cl⁻, HCO₃⁻ a SO₄²⁻, tak, jak to doporučuje Dvořák a Horna (1976). Důvodem je, že nejstarší chemické analýzy, tj. cca před rokem 1910 udávají koncentrace ve sloučeninách, např. „chlorid sodnatý“, „chlorid draselnatý“, „chlorid horečnatý“ atd. To však neznamená, že v té době nebylo možné prvky ve vodách detekovat. Již před r. 1877 se dařilo v minerálních vodách zjišťovat přítomnost Na, K, Li, Ca, Mg, Sr, Ba, Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Sn, Pb, Ag, Sb, As, Ni, Co, H₂CO₃, Cl, Br, I, F, S (Krejčí, 1877).

3.3.1 Chemická analýza dat

Chemická analýza dat se skládala ze dvou směrů. **Prvním směrem** bylo vyjadřování komponent v koncentracích a **druhým směrem** bylo vyjadřování v ekvivalentních procentech kationtů, resp. aniontů. V případě poměrové analýzy dat byly vždy taktéž uvedeny celkové M vod. Jde o součet všech anorganických rozpuštěných látkových nebo hmotnostních koncentrací disociovaných (kationty a anionty) a nedisociovaných komponent v roztoku. Pro vyhodnocení mineralizace je výhodnější využívat parametr celkové mineralizace (též TDS) než odparku při určité teplotě (nejčastěji sušení při 105 °C nebo 180 °C). Sušení může vnést negativní i pozitivní chybu do interpretace výsledků měření. To z toho důvodu, že se při těchto teplotách HCO_3^- přeměňuje na CO_3^{2-} , CO_2 a H_2O a naopak některé molekuly (např. $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ztrácí při této teplotě jen část vázané vody (Pitter, 1998). Z tohoto důvodu je v práci mineralizace interpretována pouze pomocí celkové M určené součtem disociovaných a nedisociovaných rozpuštěných součástí roztoku.

Do chemické analýzy dat byly kromě minerálních vod zahrnuty i vody podzemní, jejichž chemismus byl nalezen na základě rešerše, a prameny prostých vod. Zdrojem dat chemismů podzemních vod jsou analýzy, které byly v rámci rešerše dohledány v ČGS Geofondu z důvodu potenciálního výskytu minerálky. O minerální vodu ale nešlo. Zdrojem dat chemismů o pramenech prostých vod jsou vlastní měření a chemické analýzy. Zahrnutí jiných než minerálních vod do výsledků práce je z důvodu úplnosti. Výsledkem chemické analýzy dat je znázornění minerálních vod v Piperově diagramu, určení dominantního kationtu a aniontu, resp. chemického typu vody a zařazení do různých klasifikačních systémů. Byly přitom vybrány pouze ty klasifikace, které vody nehodnotí pouze na základě celkové M. A dále, jelikož jsou data souboru získaná z mnoha literárních zdrojů, jsou využity pouze klasifikace dle hlavních iontů (makrokomponent), protože lze předpokládat nekoherentní metodiku získávání dat. I přesto, že i v poslední době vzniká velké množství závěrečných prací, které se věnují českým minerálním vodám (vč. balených), kdy se například pramenům Karlovarského kraje věnovala Nikolovová (2009); Karlově Studánce Habrda (2009); baleným vodám Sekaninová (2012) a Kilianová (2016); Luhačovicím Kolářová (2018); Pasohlávkám Santoris (2019); minerálním vodám na Opavsku Honka (2019); Korunní Šimo (2021); typům minerálních vod Tesařová (2023) a přímo Mariánským Lázním Flosman (2023), tak se žádná nevěnuje klasifikaci minerálních vod v rámci jednoho zřidelného systému a vztahům geologie na chemismus vod. Při zpracování a klasifikaci dat byly prameny jedné zřidelní struktury slučovány do stejné skupiny, aby byla distribuce chemismu pro každou strukturu lépe patrná. Výjimkou je sloučení struktury Křížového p. a Alexandřina, resp. Alfrédova p. do jedné skupiny. Důvodem je hydrochemická blízkost a malé množství pramenů ve strukturách, tj. 2 a 5 v porovnání s ostatními strukturami.

Největším problémem pro určení chemického typu aj. jsou v některých případech zvýšené koncentrace Fe^{2+} . Z tohoto důvodu bylo nutné vyřadit jednu chemickou analýzu, tj. Medvědí HJ 1 pro účely shlukové analýzy. Problematika zvýšených koncentrací Fe^{2+} je totiž dána i tím, že v klasifikacích není pro vyjádření Fe^{2+} prostor, a tudíž např. v Durovově i Piperově diagramu zvýšená zastoupení Fe^{2+} vedou k většímu rozdílu mezi kationty a anionty, tj. kationtů je méně (v případě, že vychází bilance). Tato disproporce mezi kationty a anionty vede k nesprávnému zařazení vody.

3.3.2 Prostorová analýza dat

Prostorová analýza byla provedena na třech souborech dat. **První soubor dat** byly výsledky z mapovací části terénního průzkumu, tj. teplotní stopy. **Druhý soubor** byl stejný jako v případě chemické analýzy dat. Musely být ale odstraněny ty body, které se nepodařilo prostorově identifikovat. Šlo pouze o jeden pramen, tj. Ústřední II. **Třetím souborem dat** byl výsledek shlukové analýzy minerálních vod, který byl doplněn o lokalizaci pramenů, resp. bodů. Třetí soubor dat je podkladem pro vytvoření hydrochemické mapy, což je jeden z hlavních cílů práce (**Příloha 3 - Hydrochemická mapa mariánskolázeňských minerálních vod**). Všechny soubory dat byly vyhodnoceny v programu QGIS, popř. v kancelářském balíku Office. Polohy bodů s chemickou analýzou byly zjištěny ze čtyř zdrojů. **Prvním zdrojem** byly mé vlastní měření GPS polohy pomocí diferenciální popř. mobilní GPS, **druhým zdrojem** byly závěrečné zprávy z vrtných průzkumů, kde byly průzkumné vrty vždy přesně zaměřeny. **Třetím zdrojem** bylo zaměření od ČIL MZ ČR, které pro zpracování diplomové práce koordináty poskytlo. **Čtvrtým zdrojem** byly internetové mapové podklady, tj. *mapy.cz* a *estudanky.eu*. V případě, že zdroje uváděly rozdílné polohy, bylo postupováno hierarchicky s tím, že nejvyšší správnost byla přisouzena vlastnímu měření, poté měření v závěrečných zprávách, poté MZ ČR a nakonec internetovým zdrojům. Vlastní měření nemohlo být provedeno u zlikvidovaných a v terénu nenalezených vrtů. Body byly vynášeny v Křovákově zobrazení S-JTSK a převáděny do WGS-84.

Zdrojem chemismu byly pro prostorovou analýzu dat, jak již bylo uvedeno, výsledky z chemické analýzy dat, zdrojem současných vydatností jsou vlastní měření a povolená čerpaná množství ČIL. Starší data o vydatnosti pramenů byly získány z prací Klíra (1953); Trojana (1969); Kepřty (1986); Pěčka (1992a) a Tonnera (1993) a závěrečných zpráv k daným vrtům. Data o elektrické konduktivitě byla získána terénním měřením v rámci řešení diplomové práce. Zdrojem informací o geologickém podloží byla geologická mapa 1 : 50 000 a vrtné profily v závěrečných zprávách. Zdrojem výšek terénu pro vytvoření profilů uzemím byly data DMR 5. generace dostupné z <https://ags.cuzk.cz/av/>.

Chemické analýzy s přiřazenou lokalizací byly vyneseny do map a umožnily posouzení distribuce chemismu dle hlavních i stopových iontů (pro kationty Li^+ , As , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Al^{3+} a aniony F^- , Br^- , I^-), vydatnosti, elektrické konduktivity aj. Problematickým parametrem byl opět obsah Fe^{2+} . Železo vybráno do prostorové analýzy nebylo pro svojí značnou časoprostorovou koncentrační nestálost a závislosti na metodice sběru dat. Obecně minerální vody v západních Čechách obsahují zvýšený obsah Fe^{2+} . To je také jeden z důvodů, proč ještě v r. 1975 bylo provozováno jen 6 plnění vod (Mariánské Lázně, Korunní, Kyselka, Dolní Kramolín, Františkovy Lázně a Karlovy Vary) (Kolářová a Dvořák, 1975). Pro vyhodnocení celkové M, makrokomponent aj. nebylo využito interpolačních metod, např. IDW (Inverse Distance Weighting), což je metoda, která umožňuje dopočítávání hodnot mezi body na základě známých hodnot v okolí. Každá hodnota neznámého bodu je váženým průměrem hodnot známých a váhy jsou určeny ze vzdálenosti mezi neznámým a známým bodem. Důvodem je, že distribuce minerálních pramenů nelze interpolovat. Minerální vody, tak jak to potvrzují mnohá geofyzikální měření v Mariánských Lázních, jsou vázány na křížení zlomů. Proto interpolace nepřinese relevantní informace o charakteru území, protože jsou výskyty minerální vody ve své podstatě soustředěny do bodu nebo linie.

3.3.3 Shluková analýza dat

Využitím shlukové analýzy v chemii se zabýval již Massart a Kaufman (1983), ale velmi se rozšířila s nástupem dostupné výpočetní techniky. Analýza minerálních pramenů byla úspěšně provedena např. Todorovićem et al. (2016). Podařilo se rozdělit 160 srbských minerálních vod do 6 shluků, které se mezi sebou lišily podílem jednotlivých iontů. Do analýzy byly zahrnuty koncentrace Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , Si , a dále teplota, elektrická konduktivita, hodnota pH a Eh. U dat byla provedena Box-Coxova transformace (Box and Cox, 1964) a standardizace skóre (výpočet z-skór). Podobný postup použil i Bian et al. (2023). Cabidoche et al. (2021) sestavila dendrogram ze 37 parametrů, které zahrnovaly i mikrokomponenty, vč. hodnoty pH. Jednodušší metodiku pro vyhodnocení chemismu minerálních vod zvolili Eggenkamp a Marques (2013), kteří data zlogaritovali. Shluková analýza chemismu mariánskolázeňských pramenů byla provedena za pomoci odborné literatury, ale díky značně nestandardnímu souboru dat byla metodika odlišná. Soubor považují za nestandardní z důvodu nejednotného postupu odběrů, skladování i analyzování vzorků, kdy dlouhodobě dochází ke zlepšování detekčních limitů přístrojů, aj., ale soubor dat musí zahrnovat jak současné, tak až 110 let staré chemické analýzy.

Pro shlukovou analýzu byly vybrány pouze ty chemické analýzy, které byly analyzovány v první části vyhodnocovacích prací, tj. u kterých vycházel poměr mezi kationty a anionty s chybou méně než 5 % a data jsou co nejnovější. Rozdíl v souborech je ale ten, že bylo pro shlukovou analýzu využito chemismů pouze minerálních vod. Důvodem je to, že cílem práce je popsat zonaci minerálních pramenů, ne všech vod v zájmové oblasti. Soubor dat byl z koncentrace v mg/l přepočten na mmol/l, aby si zastoupení molekul vzájemně odpovídalo. Pro značnou variabilitu a potenciální chybovost výsledků, jelikož data pochází z mnoha zdrojů i dlouhého časového období bez konzistentní metodiky odběrů i laboratorního stanovení, bylo nutno data vyjádřit formou, kterou se vyobrazují výsledky v hydrochemických diagramech (např. Piper a Durov), tj. data se přepočítala na procentuální zastoupení v celkové sumě zvlášť pro kationty a zvlášť pro anionty. Do výpočtů pak vstupovaly pouze % meq/l: Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} a Cl^- . Teplota, Fe^{2+} , hodnota pH a ostatní mikrokomponenty zahrnuty nebyly, neboť řada analýz tyto údaje neobsahovala. Jelikož však ani K^+ nebyl stanoven ve všech případech, bylo nutno, stejně jako v Piperově (Piper, 1944) či Durovově diagramu (Durov, 1948), přičíst koncentrace K^+ k Na^+ . Obecně by bylo vhodnější srovnávat celý komplex komponent, vč. mikro, které jsou ve vodách zastoupeny, ale jelikož v řadě případů hodnoty v analýzách chyběly, a to zejména u starších, byly vybrány pro shlukovou analýzu pouze základní kationty a anionty v meq %.

Při vyhodnocování bylo zjištěno, že normalizace ani výpočet standardizovaného skóre (z-skór) nepřináší lepší výsledky než prosté shlukování bez normalizace. Z-skór se ve statistice využívá k vyjádření vzdáleností, jak daleko jsou dané hodnoty od průměru v jednotkách směrodatné odchylky. Jde tedy o nástroj, který pomáhá standardizovat různé hodnoty a umožňuje jejich srovnání. Do výsledné shlukové analýzy vstupují procentuální podíly v meq/l pro kationty a anionty s tím, že je vyjadřováno pouze výše uvedených 6 proměnných. Do shlukové analýzy nevstupuje ani celková M,

jelikož ji nelze u analýz s chybějícími daty zcela spolehlivě dopočítat. Navíc hydrochemický typ vody není dán mineralizací, ale dominantními prvky a jen díky nezapočtení lze lépe zjistit, zda nedochází například k ředění pramene s povrchovou vodou. Dalším důvodem je to, že v Mariánských Lázních byla prokázána vertikální hydrochemická zonálnost, čili by byly ve shlukové analýze hluboké vrty k sobě ve shluku blíže. Shluky byly vytvořeny ve statistickém programu RStudio. Shluková analýza byla provedena nehierarchickým způsobem. Byl testován různý počet shluků metodou K-středů (K-means clustering). Shlukování bylo provedeno výchozí Hartigan-Wongovou metodou a bylo využito Voronoiovy teselace. Shluková analýza pomocí jazyka R byla vytvořena dle Spiwoka (2015). Princip metody je následující: výpočet začne s náhodným množstvím shluků (K-středů). Poté se postupně přesouvají hranice mezi jednotlivými shluky a to tak, aby se co nejvíce snížila variabilita mezi body uvnitř jednoho shluku a maximalizovala variabilita mezi shluky navzájem (Dobrovolný, 2004). Na základě Silhouettova koeficientu i reálnosti výsledků bylo zjištěno, jaký počet shluků nejlépe soubor dat popisuje. Tyto shluky byly následně vyjádřeny pomocí Stiffova diagramu (Stiff, 1951) a celkové M v samostatných krabicových grafech tak, aby bylo patrné, zda je výsledná celková M stejná napříč shluky.

Pro reprodukovatelnost výsledků a pro možné využití postupu v dalších zřídelních oblastech uvádím kód zadaný do programu RStudio. Kód je následující:

```
# otevření knihovny funkcí nutné pro následující operace
library(cluster)
library(factoextra)
# vložení dat
dataVse <- read.csv("C:/cesta k souboru/název souboru.csv", header = TRUE, sep = ";", row.names = 1)
# spuštění funkce k-středů
kmeans_model <- kmeans(dataVse, centers = 4, nstart = 100, algorithm = c("Hartigan-Wong"))
#zobrazení výsledků
clusplot(dataVse, kmeans_model$cluster, color = TRUE, shade = TRUE, labels = 1, lines = 0)
# Silhouettův koeficient
sil <- silhouette(kmeans_model$cluster, dist (dataVse))
# vizualizace výsledku Silhouettova koeficientu
fviz_silhouette(sil)
# uložení výsledku shlukování v csv formátu
tabulka <- data.frame(kmeans_model$cluster)
write.csv(tabulka, "Vysledek.csv", row.names = TRUE)
```

4 Výsledky a diskuze

Od prosince 2022 do července 2024 probíhal terénní průzkum, tj. sběr dat ve vymezené vnější i vnitřní zájmové oblasti. Výsledky jsou rozděleny na čtyři části. V **první části** jsou shrnuty výsledky terénních prací, tj. dat, která byla změřena přímo v terénu. Ve **druhé části** jsou využita i data z rešeršních zdrojů a je využito nových laboratorních analýz. **Třetí část** se zaměřila na novou hydrochemickou klasifikaci mariánskolázeňských pramenů a **čtvrtá** se věnuje fenoménu karlovarského typu minerálních vod v Mariánských Lázních.

4.1 Výsledky terénních prací

Výsledky terénních prací jsou rozděleny na ty, které se týkají izolovaných známých minerálních pramenů, a na ty, týkající se nově objevených výskytů minerální vody. Výsledky terénních měření jsou shrnuty v této kapitole.

4.1.1 Průzkum známých minerálních pramenů

Vyhledávání informací ke známým pramenům bylo zpočátku komplikované, neboť velké množství z nich bylo pojmenováno až po II. světové válce, a tudíž jsou ve starší literatuře uváděny pod jinými názvy (Janoška, 2011). O evidenci pramenů v okolí Mariánských Lázní se pokusil již první úřední lázeňský lékař Karel Josef Heidler, který zaznamenal celkem 123 pramenů (Myslil a Václ, 1966). Informace k dílčím vývěřům se však nepodařilo získat. Nejstarší moderní hydrogeologické posouzení i méně významných pramenů, vč. vyhodnocení chemismu atp. v mariánskolázeňské oblasti, provedl Klír (1953) ve své práci „Zpráva o geologickém a hydrogeologickém průzkumu okolí Mariánských Lázní a Lázní Kynžvartu“. Klír se zaměřuje zejména na vývoj vydatnosti, chemismu a také popisu drobnějších vývěřů v okolí Mariánských Lázní (Tab. 21).

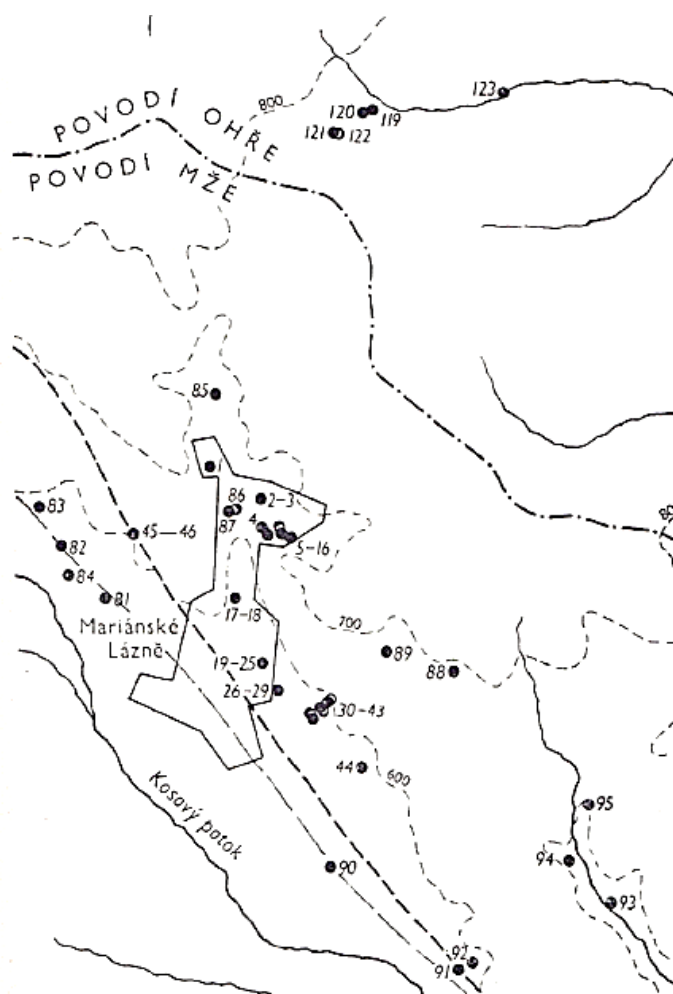
Na tento výzkum navázal Dovolil (1959) ve své dizertační práci „Hydrogeologie oblasti kyselek v Mariánských Lázních a v jejich širokém okolí“. Tato práce nebyla dohledána a lze ji považovat za ztracenou. Byl nalezen (poskytnuto Ing. Jiřím Milotou a RNDr. Tomášem Vylitou PhD.) pouze *obsah práce, kap. 9 – Místní hydrogeologické poměry jednotlivých pramenů a pramenních skupin* a přílohová část s mapou pramenů v širší oblasti Mariánských Lázní. Ani po důkladném hledání se nepodařilo práci dohledat celou. Za klíčovou lze považovat hlavně *kap. 10 - Vztah chemismu vod ku geologické stavbě*. Prací bylo popsáno 138 pramenů, které byly Dovolilem prozkoumány, a z většiny z nich odebrány vzorky na chemické analýzy. Ani ty se dohledat nepodařilo. Svodná mapa je sice dostupná, avšak v terénu jsou prameny jen velmi obtížně dohledatelné, protože Dovolil nevyužil pro zakreslování pramenů detailnější mapy a lokalizační popis místa je strohý. Navíc během uplynutí 60 let od napsání práce se krajina změnila natolik, že řada míst, ke kterým byl bod vztáhnut již neexistuje (např. pramen č. 138: „Druhý pramen leží na jihovýchod od obce u přejezdu polní cesty, vedoucí na jih od Hoštce přes potok ve výšce kolem 660 m n.m.“). Svodná mapa je patrná z Obr. 34.

Nejnovější seznam pramenů sestavil Křivanec a Milota (1996) s názvem „Úprava registrů minerálních vod Slavkovský les, Chebská pánev, Doupovské hory“. Autoři se zaměřili na ověřování výskytů minerálních vod, které byly uvedeny v historických pramenech. Registr celkově obsahuje 167 pramenů. Výhodou této práce je její rozsáhlost. V původní verzi však chyběly souřadnice pramenů a nebyly změřeny ani základní charakteristiky, vč. vydatnosti, hodnoty pH a elektrické konduktivity. Syntéza výskytů izolovaných pramenů v okolí Mariánských Lázní je v Tab. 21. U všech níže uvedených pramenů probíhala v době řešení diplomové práce měření, která jsou v dílčích podkapitolách zanalyzována.

Tab. 21 - Svodná tabulka izolovaných pramenů v zájmové oblasti (v závorce je ID pramene v dané práci)

Název	Lokalizace pramene WGS-84	Klír (1953)	Dovolil (1959) viz Obr. 34	Křivanec a Milota (1996)	Nalezeno terénním mapováním v r. 2022 až 2024
Balbínův	49,97432; 12,68782	ANO (I až III)	ANO (I a II) (č.45 a 46)	-	ANO (jímání vrtem)
Antoniček na hřbitově v Úšovcích (u fary)	49,95192; 12,72081	ANO	-	-	ANO (vyvedení k cestě)
Medvědí	49,96916; 12,68435 Medvědí HJ 1 49,96880; 12,68279 Medvědí starý	ANO (krytý a nekrytý)	ANO (č.81)	-	ANO (suchý), v současnosti jímán vrtem Medvědí HJ 1
Hájenský	49,97354; 12,67677	ANO	ANO (č.82)	ANO (č.103) (nenavštíven)	ANO (studna - prostá voda)
Myší	49,97694; 12,67297	-	ANO (č.83)	ANO (č.105)	ANO

Vlčí	49,97038; 12,67798 Vlčí I 49,97036; 12,67790 Vlčí II 49,97043; 12,67723 Vlčí III	-	ANO (č.84)	ANO (I a II) (č.106 a 107)	ANO (I až III)
Maxova	49,98809; 12,69948	-	ANO (č.85)	-	ANO
Ubytovna Horník	nezjištěno	-	ANO (č.86)	-	NE (objekt zbourán)
Dům Oněgin č. p. 429	nezjištěno	-	ANO (č.87)	-	NE (volně nepřístupný)
Křovištní	49,96139; 12,73583	-	ANO (č.88)	ANO (č.110)	ANO
Pirátův	49,96344; 12,72540	-	ANO (č.89)	ANO (č.109)	ANO
Stanoviště	nezjištěno	-	ANO (č.90)	ANO (č.114) - nenalezen	NE (v terénu nenalezeno)
Košská	49,93285; 12,73863 Košská I 49,93254; 12,73712 Košská II	-	ANO (I a II) (č.91 a 92)	ANO (I a II) (č.115 a 116)	ANO (I a II)
Srncí	49,98090; 12,68145	-	-	ANO (č.104)	ANO
Jateční	49,96315; 12,69119	-	-	ANO (č.108)	ANO



Obr. 34 - Prameny v okolí Mariánských Lázní; 1 = Lesní p., 2 a 3 = Křížový p. III a IV, 4 = Karolinin p., 5 a 6 = Ústřední p. I a II (odkryté sondáže v letech 1929-31), 7 až 12 = Mariin p. I až VI, 13 až 15 = Ambrožovy p., 16 = Hamelika, 17 a 18 = Alfréd a Alexandra, 19 až 25 = Ferdinandovy p., 26 až 29 = Rudolfovy p., 30 až 43 = Pottovo údolí. 44 = Antoničkův p., 45 a 46 = Balbínův p. I a II, 81 = Medvědí p., 82 = Hájenský p., 83 = Myší p., 84 = Vlčí p., 85 = Maxova kys., 86 = Ubytovna Horník, 87 = Dům Oněgin č. p. 429, 88 = Křovištní kys., 89 = Pirátův p., 90 = p. západně od obce Stanoviště, 91 a 92 = Košské kys., 93 = p. Horka, 94 = Vlkovický p., 95 = Milhovské mofety, 119 až 122 = Farská kys., 123 = p. Sitiny (Hynie (1963) z Dovolila (1959))

4.1.1.1 Balbínův pramen

Balbínův pramen je v současné době zachycen vrtem a stále potrubím sváděn do Mariánských Lázní. Terénním měřením bylo zjištěno, že vydatnost pítka, které se nachází v bezprostřední blízkosti vrtu, je 3,09 l/min (měřeno 29.12.2023), voda má elektrickou konduktivitu od 1157 (6.1.2024) až 1289 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (30.12.2022), teplotu 8,4 °C (6.1.2024) až 9,5 °C (14.8.2023) a obsah volného CO_2 2,1 až 2,5 g/l při hodnotě pH 5,7 až 5,9. V okolí pramene nebyly zjištěny žádné parazitní vývěry. Variabilita elektrické konduktivity vody je cca 10 %. Vyšší teplota vody byla pozorována v letním období. Výsledky terénního průzkumu jsou shrnuty v Tab. 22 a současný stav je patrný z Obr. 35 a Obr. 36.

Tab. 22 - Výsledky terénních měření Balbínova pramene.

Pramen	Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	Volný CO ₂ [mg/l]	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu
Balbín BJ 1 nový	30.12.2022	8,6	1289			5,7	
	14.08.2023	9,5	1262	2522			
	29.12.2023	8,7	1197	2148	3,09 *	5,9	
	06.01.2024	8,4	1157				
	29.04.2024	9,0	1212	2393	2,87 *		
	29.06.2024	9,4	1168	2435	3,20 *		

Poznámka: * pítka u pramene



Obr. 35 - Balbínův pramen (30.12.2022)



Obr. 36 - Celkový pohled na Balbínův pramen (6.1.2024)

4.1.1.2 Medvědí pramen

Pramen je v současné době zachycen vrtem Medvědí HJ 1 a voda využívána pouze pro pitné účely v přístřešku Medvědího p. Bylo zjištěno, že vydatnost pramene je vyšší v zimním období (2,14 až 2,52 l/min) než v letním (1,75 l/min) a že elektrická konduktivita je poměrně variabilní, od 531 (29.6.2024) do 731 μS/cm (30.12.2022). Zajímavé je, že při termometrii v lednu 2023 byla nalezena v potoce teplotní anomálie v místech původního zachycení, tj. u sochy medvědí. Jde o teplotní stopu P031. Elektrická konduktivita, tj. 658 μS/cm, teplotní stopy P031 však byla mnohem nižší, než by odpovídalo starému zachycení pramene **Medvědí starý** (celková M 1,8 g/l). Při dalším měření v dubnu 2023 byl kolík ztracen a ani v lednu 2024 se pomocí termometrie nepodařilo jakoukoliv teplotní stopu v potoce v místě původního vývěru zjistit. Pouze u zídky původního zachycení byl objeven sediment Fe³⁺ a u něj nezamrzlá voda. Vydatnost byla neměřitelná a elektrická konduktivita vody byla 349 μS/cm (6.1.2024). Výsledky terénního průzkumu jsou shrnuty v Tab. 23 a současný stav Medvědího starého a HJ 1 je patrný z Obr. 37 až Obr. 40. Z Medvědího p. HJ 1 byl odebrán vzorek na chemickou analýzu, ale došlo k jeho ztrátě v laboratoři.



Obr. 37 - Medvědí pramen po rekonstrukci v 80. letech (Foto: Hamelika)



Obr. 38 - Další pokus o zachycení Medvědího pramene (Foto: Jiří Milota 1.5.1995)

Tab. 23 - Výsledky terénních měření Medvědího pramene.

Pramen	Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	Volný CO ₂ [mg/l]	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu
Medvědí HJ 1	30.12.2022	7,3	731			5,6	
	14.08.2023	8,6	640	2147	1,75		

	29.12.2023	7,7	637	2023	2,14	5,5	
	06.01.2024	7,6	571				
	14.02.2024	7,2	705	2280	2,52	5,3	ANO - vzorek laboratoří ztracen
	29.04.2024	7,5	463	2069	2,35		
	29.06.2024	8,0	531	2282	2,22		
Medvědí starý	06.01.2024	3,7	349				
	22.01.2024		suchý		bez patrného přetoku		
	29.04.2024	9,0	210				
	29.06.2024	16,1	246				

Obr. 39 - Měření CO₂ v Medvědí prameni HJ 1 (14.8.2023)

Obr. 40 - Současný stav Medvědího starého p. Nánosy železa a zvýšená elektrická vodivost indikují možnou přítomnost minerální vody (6.1.2024)

4.1.1.3 Myší pramen

Myší pramen je stále zachycen původním způsobem, tj. ve vykotlaném kmeni. Vydatnost pramene je relativně nízká, tj. 0,60 (15.2.2024) až 1,55 l/min (29.6.2024), kdy zajímavým zjištěním je, že nižší vydatnost byla detekována v zimním období, ale ve stejné době měla voda vyšší elektrickou vodivost, tj. 503 $\mu\text{S}/\text{cm}$. V okolí do 100 m od pramene byly nalezeny tři výskyty (P073, P074, P075) minerální vody s nepatrnou vydatností. Výsledky terénního průzkumu jsou shrnuty v Tab. 24 a současný stav je patrný z Obr. 41 až Obr. 44.

Tab. 24 - Výsledky terénních měření Myšího pramene.

Pramen	Datum	T [°C]	Elektrická vodivost [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Volný CO ₂ [mg/l]	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu
Myší	30.12.2022	8,0	419			5,4	
	14.08.2023	8,7	409	2107	1,16		
	29.12.2023	8,2	422	1883	0,83	5,6	
	07.01.2024	7,8	402				
	15.02.2024	8,3	503	2023	0,60	5,4	ANO
	29.04.2024	8,1	375	2023	1,25		
	29.06.2024	8,5	380	1974	1,55		



Obr. 41 - Myší pramen (Foto: Jiří Milota 28.9.2011)



Obr. 42 - Myší pramen (Foto: Jiří Milota 1.10.2011)



Obr. 43 - Myší pramen po rekonstrukci (Foto: Jiří Milota 2011)



Obr. 44 - Myší pramen (14.8.2023)

4.1.1.4 Vlčí prameny

Vlčí prameny vyvěrají v zamokřené nivě potoka. Termometrií bylo nalezeno mnoho parazitických vývěřů, ale pouze tři jsou (Vlčí I, II a III), nebo v historii byly zachyceny (dle zjištěné antropogenní činnosti). **Vlčí I** vyvěrá do vykotlaného kmene stromu a **Vlčí II** do vykopané prohlubně cca 15 až 20 m po proudu toku a na dohled k Vlčímu I. Za běžných vodních stavů má p. Vlčí II vyšší elektrickou vodivost, tj. cca 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$, než Vlčí I, tj. cca 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ale při vysokých vodních stavech dochází k zaplavení pramene povrchovou vodou. To nastalo při měření 29.12.2023, kdy byl obsah volného CO_2 Härtlovým přístrojem neměřitelný a elektrická vodivost p. Vlčí II klesla na 455 $\mu\text{S}/\text{cm}$. **Vlčí III** byl nalezen náhodně až v únoru 2024, a tudíž byl měřen pouze krátkodobě (1730 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 2,3 g/l CO_2 (14.2.2024)). U pramene byl nalezen cca 1 m vysoký vykotlaný kmen, který pravděpodobně dříve sloužil k zachycení pramene. V současnosti je pramen znečištěný napadanými větvemi a listím. Výsledky terénního průzkumu jsou shrnuty v Tab. 25 a současný stav je patrný z Obr. 45 až Obr. 46.



Obr. 45 - Vlčí III upravovaný k odběru (14.2.2024)



Obr. 46 - Vlčí II blíže a Vlčí I v pozadí (26.12.2015)

Tab. 25 - Výsledky terénních měření Vlčích pramenů.

Pramen	Datum	T [°C]	Elektrická vodivost [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Volný CO_2 [mg/l]	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu
Vlčí I	07.01.2023	6,9	1424			5,7	
	14.08.2023	9,5	1434	2371	1,04		
	29.12.2023	7,2	1205	2118	1,20	5,7	
	06.01.2024	7,1	1218				
	14.02.2024	6,7	1392	2350		5,5	ANO
	29.04.2024	7,5	1379	2323	2,25		
	28.06.2024	8,9	1405	2393	3,75		
Vlčí II	07.01.2023	6,9	1897			5,8	
	14.08.2023	9,1	1854	2476			
	29.12.2023	6,1	455	0		6,5	
	06.01.2024	4,4	580				
	14.02.2024	6,7	1820	1990		5,7	ANO
	29.04.2024	7,9	1730	1978			
	28.06.2024	8,3	1755	2587			

Vlčí III	14.02.2024	6,3	1730	2250	0,60	5,7	ANO
	29.04.2024	8,0	1523	2453	0,37		
	28.06.2024	10,5	1501	2330	neměřitelná		

4.1.1.5 Maxova kyselka

Sezónním měřením znovuobjevené Maxovy kyselky bylo zjištěno, že v letních měsících dochází k poklesu vydatnosti. Zatímco v zimních měsících je vydatnost kyselky cca 3,0 l/min, tak v letním období vydatnost klesá na cca 1,2 l/min. Kyselka tedy má v létě přibližně třetinovou vydatnost oproti zimě. Dále byl indikován i nárůst teploty vody z 5,2 v zimě (14.2.2024) na 11,4 °C v létě (15.8.2023) a koncentrace rozpuštěného CO₂. Koncentrace CO₂ je v létě (2,0 g/l) vyšší než v zimě (1,6 g/l) cca o pětinu. Měřeními během vysokých VS na přelomu r. 2023 a 2024 byla zjištěna i změna elektrické vodivosti, která klesla z průměrné hodnoty 1150 μS/cm na 997 μS/cm (7.1.2024). Velkou chybou je, že v tomto termínu nebyla změřena taktéž vydatnost pramene. Lze ale očekávat, že byla vydatnost pramene nadprůměrná. Výsledky terénního průzkumu jsou shrnuty v Tab. 26 a současný stav je patrný z Obr. 47 a Obr. 48.

Tab. 26 - Výsledky terénních měření Maxovy kyselky.

Pramen	Datum	T [°C]	Elektrická vodivost [μS/cm]	Volný CO ₂ [mg/l]	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu
Maxova	07.01.2023	6,1	1252			6,1	
	15.08.2023	11,4	1180	1983	1,28		
	30.12.2023	5,9	1036	1572	2,94	6,7	
	07.01.2024	5,6	997				
	14.02.2024	5,2	1176	1600	3,06	5,9	ANO
	28.04.2024	6,6	1009	1824	1,38		
	28.06.2024	10,9	1107	2029	1,15		



Obr. 47 - Zachycení Maxovy kyselky (Foto: Jiří Milota 21.2.2022)



Obr. 48 - Maxova kyselka (8.1.2023)

4.1.1.6 Křovištní kyselka

Křovištní kys. je zachycena v betonové skruži, která je cca 1 m hluboká a 0,5 m široká. Pramen byl navštíven v letním i zimním období, avšak v ani jednom případě se nepodařilo změřit vydatnost, neboť voda v prameni nedosahovala přelivové úrovně. Po náhlém odebrání 8 l vody ze skruže, hladina ani po 10 minutách nenastoupala o měřitelnou výšku. Elektrická vodivost pramene se pohybuje mezi 118 (15.8.2023) až 135 μS/cm (6.1.2023) s koncentrací CO₂ mezi 1,3 (15.8.2023) až 1,8 g/l (31.12.2023). Výsledky terénního průzkumu jsou shrnuty v Tab. 27 a současný stav je patrný z Obr. 49.

Tab. 27 - Výsledky terénních měření Křovištní kyselky.

Pramen	Datum	T [°C]	Elektrická vodivost [μS/cm]	Volný CO ₂ [mg/l]	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu
Křovištní	06.01.2023	8,1	135		bez přetoku	5,2	
	15.08.2023	13,3	118	1320	bez přetoku		
	28.11.2023						ANO
	31.12.2023	8,2	134	1781	bez přetoku		
	28.04.2024	8,7	131	1641	bez přetoku		
	28.06.2024	11,3	130	1663	bez přetoku		



Obr. 49 - Křovištní kyselka (6.1.2023)

4.1.1.7 Pirátův pramen

Pramen má vyrovnané hodnoty elektrické konduktivity od 251 (15.8.2023) do 256 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (30.12.2022), hodnoty pH (4,9 až 5,0), rozpuštěného CO_2 (2,4 až 2,6 g/l) a víceméně i teploty (6,8 až 8,1 $^{\circ}\text{C}$). Pirát má ve srovnání s ostatními, jen mělce zachycenými, mariánskolázeňskými prameny dlouhodobě nejvyšší vydatnost, tj. 3,90 l/min (28.4.2024). V okolí pramene byla nalezena jedna teplotní stopa (P088) v korytě řeky, avšak ověření Härtlovou trubicí přítomnost minerální vody nepotvrdilo. Výsledky terénního průzkumu jsou shrnuty v Tab. 28 a fotodokumentace je patrná z Obr. 50 a Obr. 51.

Tab. 28 - Výsledky terénních měření Pirátova pramene.

Pramen	Datum	T [$^{\circ}\text{C}$]	Elektrická konduktivita [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Volný CO_2 [mg/l]	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu
Pirátův	30.12.2022	7,2	256			4,9	
	15.08.2023	8,1	251	2497			
	28.11.2023						ANO
	01.01.2024	7,7	255	2408	3,70	5,0	
	07.01.2024	6,8	254				
	28.04.2024	7,5	254	2619	3,90		
	28.06.2024	8,1	252	2619	3,69		



Obr. 50 - Pirátův pramen před rekonstrukcí (Foto: Jiří Milota)



Obr. 51 - Pirátův pramen (28.12.2015)

4.1.1.8 Koňská kyselka

Koňská kyselka se skládá ze dvou separátních vývěřů, přičemž první je zachycen v kmeni stromu (Koňská I) a druhý je nezachycený uprostřed podmáčené pastviny (Koňská II). Díky náročnému terénu se nepodařilo Koňský II nalézt před únorem 2024. Bylo však zjištěno, že nezachycený pramen má vyšší elektrickou konduktivitu (1759 $\mu\text{S}/\text{cm}$) než pramen zachycený (1078 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Vydatnost je ovšem nižší (Koňský I, Q = 1,74 l/min a Koňský II, Q = 0,30 l/min). Měření vydatnosti komplikovala skutečnost, že prameništěm protéká vodní tok, takže bylo možné měřit jen vydatnost

okrajové části prameniště. Lze předpokládat, že vydatnost Koňské II může být vyšší. Koňské kys. vyvěrají mimo vnitřní zájmovou oblast, a proto nebyla ověřena přítomnost dílčích parazitických vývěřů. Výsledky terénního průzkumu jsou shrnuty v Tab. 29 a současný stav je patrný z Obr. 52 až Obr. 55.

Tab. 29 - Výsledky terénních měření Koňské kyselky.

Pramen	Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Volný CO_2 [mg/l]	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu
Koňský I	06.01.2023	7,8	1230			6,0	
	14.02.2024	7,1	1078	1872	1,74	5,9	ANO
	28.04.2024	8,2	1060	2023	1,86		
	28.06.2024	8,9	1048	2393	4,53		
Koňský II	14.02.2024	7,5	1759	1950	0,30	6,0	ANO
	28.04.2024	8,1	1585	2241			
	28.06.2024	10,5	1504	2252			

Koňská I



Obr. 52 - Koňská I po rekonstrukci (Foto: Jiří Milota 27.4.1996)



Obr. 53 - Koňská I (14.2.2024)

Koňská II



Obr. 54 - Koňská II (Foto: Jiří Milota 20.1.1996)



Obr. 55 - Koňská II (14.2.2024)

4.1.1.9 Jateční pramen

Jateční kyselka vyvěrá za skupinou garáží v Mariánských Lázních u Chebské ulice. Pramen je ve zcela desolátním stavu, kdy samotný vývěř leží v pneumatikách, které byly jako odpad vyvezeny z blízkých garáží. Terénním měřením bylo zjištěno, že je voda nadprůměrně mineralizovaná, neboť elektrická konduktivita je 3591 (29.4.2024) až 4768 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (29.6.2024). Pravděpodobnost, že by byla vysoká hodnota elektrické konduktivity dána kontaminací je prakticky vyloučená, neboť během odběru vzorků byly pozorovány výrony CO_2 . U pramene nebylo možné měřit vydatnost. Výsledky terénního průzkumu jsou shrnuty v Tab. 30 a současný stav je patrný z Obr. 56 a Obr. 57.

Tab. 30 - Výsledky terénních měření Jatečního pramene.

Pramen	Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Volný CO_2 [mg/l]	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu
Jateční	14.02.2024	6,9	4220	1540		6,2	ANO
	29.04.2024	8,6	3591	1930			
	29.06.2024	10,5	4768	2177			



Obr. 56 - Celkový pohled na prameniště Jateční kys. (14.2.2024)



Obr. 57 - Detail místa s vývěrem Jateční kys., šipka = místo pramene a odběru vzorku (14.2.2024)

4.1.1.10 Srnčí pramen

Vydatnost pramene je relativně nízká, tj. pouze 0,36 až 0,83 l/min. Elektrická konduktivita pramene je poměrně variabilní, kdy kolísá od 375 do 497 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Koncentrace rozpuštěného CO_2 je 2,2 až 2,6 g/l. V okolí do 100 m od pramene bylo pomocí termometrie nalezeno zvýšené množství teplotních anomálií (P057 až P069), kdy u některých z nich byla zjištěna přítomnost rozpuštěného CO_2 (např. P069/004 Žabí kys., viz kap. 4.1.2). Výsledky terénního průzkumu jsou shrnuty v Tab. 31 a současný i dřívější stav pramene je patrný z Obr. 58 a Obr. 59.

Tab. 31 - Výsledky terénních měření Srnčího pramene.

Pramen	Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Volný CO_2 [mg/l]	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu
Srnčí	30.12.2022	7,2	402			5,4	
	14.08.2023	8,7	381	2552			
	29.12.2023	7,5	399	2323	0,36	5,4	
	07.01.2024	6,6	386				
	15.02.2024	7,5	472	2225	0,36	5,3	ANO
	29.04.2024	7,3	375	2252	0,83		
	29.06.2024	8,9	497	2351	0,49		



Obr. 58 - Srnčí pramen před rekonstrukcí (Foto: Jiří Milota 28.9.2011)



Obr. 59 - Současný stav Srnčího pramene (7.1.2024)

4.1.1.11 Hájenský pramen

Dle archivních materiálů by se měl u hájovny s č. p. 667 nalézat v kopané studni vývěr minerální vody. Studna se nachází na soukromém pozemku, ale i přesto se podařilo s pomocí majitele odebrat vzorek vody. Bylo zjištěno, že elektrickou konduktivitou, tj. pouze 87 $\mu\text{S/cm}$ (30.12.2022), ani organoleptickými vlastnostmi nejde o minerální vodu. Pramen lze tedy považovat za zaniklý. Dne 29.04.2024 byla změřena hloubka studny 4,4 m a HPV v 1,5 m p.t. Dle ústního sdělení p. Františka Alexi, majitele hájovny, byla voda proplyněná CO_2 ještě počátkem 60. let. Po napojení hájovny na místní vodovod přestala být studna využívána a další organoleptická zkouška, o 30 let později, již obsah CO_2 nepotvrdila. Možným důvodem zániku pramene je skutečnost, že studna je údajně hluboká až 9 m, a tudíž je možné, že po odtěžení usazeného kalu dojde k obnově proplynění. Výsledky terénního průzkumu jsou shrnuty v Tab. 32 a studna je patrná z Obr. 60 a Obr. 61. Z chemické analýzy vody, odebrané 29.04.2024, kterou majitel poskytl, plyne, že obsah Fe^{2+} je 7,005 mg/l, Mn^{2+} 0,01 mg/l, NH_4^+ 0,416 mg/l, NO_2^- 0,025 a NO_3^- 2 mg/l. Jiné ionty analyzovány nebyly.

Tab. 32 - Výsledky terénních měření Hájenského pramene.

Pramen	Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [$\mu\text{S/cm}$]	Volný CO_2 [mg/l]	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu
Hájenský	30.12.2022	7,6	87			6,4	
	29.04.2024	13,9	149	0			
	29.06.2024	11,7	135	0			



Obr. 60 - Celkový pohled na pramen, tj. studnu u hájovny (29.04.2024)



Obr. 61 - Kopaná studna s minerální vodou, na které sedí Jarka Alexová (r. 1958) (zdroj: archiv Františka Alexi)

4.1.1.12 Antoníčkův pramen

Antoníčkův pramen je sice v současné době jímán vrtem Antoníček BJ 6, ze kterého je přiváděna voda do altánu Antoníčkova p. v Úšovicích. Z archivních materiálů i terénního mapování však bylo zjištěno, že se nachází přirozený pramen pod mostem a dále na hřbitově, který byl pravděpodobně během II. světové války sveden k cestě (Klír, 1953). Výsledky terénního měření ukazují, že dílčí tři vývěry mají odlišné hodnoty elektrické konduktivity. Zatímco **Antoníček BJ 6** má elektrickou konduktivitu od 1225 do 1347 $\mu\text{S/cm}$, tak **Antoníček pod mostem silnice** má elektrickou konduktivitu pouze 932 až 1224 $\mu\text{S/cm}$ a výskyt minerální vody pod farou má dokonce 1407 až 1617 $\mu\text{S/cm}$. Pramen **Antoníček na hřbitově (u fary)** má komplikovaně měřitelnou vydatnost z důvodu všesměrného přetoku z jímky. Ze všech tří míst byly odebrány vzorky na chemický rozbor. Výsledky terénního průzkumu jsou shrnuty v Tab. 33 a současný stav je patrný z Obr. 62 až Obr. 64.

Tab. 33 - Výsledky terénních měření Antoníčkova pramene.

Pramen	Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [$\mu\text{S/cm}$]	Volný CO_2 [mg/l]	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu
Antoníček na hřbitově (u fary)	15.08.2023	11,8	1407	2326			
	30.12.2023	6,7	1506				
	14.02.2024	6,3	1617	2000	2,70	5,9	ANO
	29.04.2024	7,7	1315	2323	0,71		

	28.06.2024	11,1	1380	2214	4,11		
Antoniček pod mostem silnice	15.08.2023	11,2	1002	1893			
	31.12.2023	7,8	932				
	14.02.2024	7,6	1224	1802	0,95	5,8	ANO
	29.04.2024	8,1	969	1832			
	28.06.2024	9,6	1022	2124			
Antoniček BJ 6	30.12.2022	7,2	1225			5,8	
	15.08.2023	13,7	1347	2342			
	23.11.2023						ANO
	31.12.2023	7,5	1305	2408	3,82 - kašna		
	28.04.2024	9,2	1311	2435	3,78 - kašna		
	28.06.2024	13,0	1277	2172	4,97 - kašna		



Obr. 62 - Kašna Antoničkova pramene - místo odběru z pramene Antoniček BJ 6 (7.2.2023)



Obr. 63 - Antoničkův vývěr pod mostem silnice (15.8.2023)



Obr. 64 - Volný výtok Antoničkova p. na hřbitově (u fary) u silnice (14.2.2024)

4.1.1.13 Ověřovací měření dalších pramenů

Během terénních prací byly proměřovány i ostatní mariánskolázeňské minerální a neminerální prameny. V rámci terénních prací byly proměřeny všechny přístupné prameny minerálních i neminerálních pramenů. Neminerální prameny byly měřeny z důvodu potvrzení, jestli jde skutečně o prosté vody. To se nakonec vyplatilo, neboť například Nietzscheův pramen vykázal koncentraci rozpuštěného CO₂ titrováním 243 mg/l a v záchytné jínce byla ve vodě patrná evaze plynů. Pro úplnost jsou veškeré zbývající výsledky terénního průzkumu zachycených pramenů shrnuty v Tab. 34.

Tab. 34 - Výsledky terénních měření ostatních pramenů.

Pramen	Lokalizace pramene WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	Volný CO ₂ [mg/l] *	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu
Alexandra BJ 12 (měřeno v altánu Alexandřina p.)	49,96912	12,70313	06.01.2023	9,8	7220			6,3	
Ambrož I (měřeno u pramene)	49,97473	12,70785	29.06.2024	12,7	690	2209	0,94		
Ambrož II (měřeno u pramene)	49,97472	12,70780	29.06.2024	12,3	748	2466	1,43		

David-A. Landa: Hydrochemická zonace minerálních vod v oblasti Mariánských Lázní

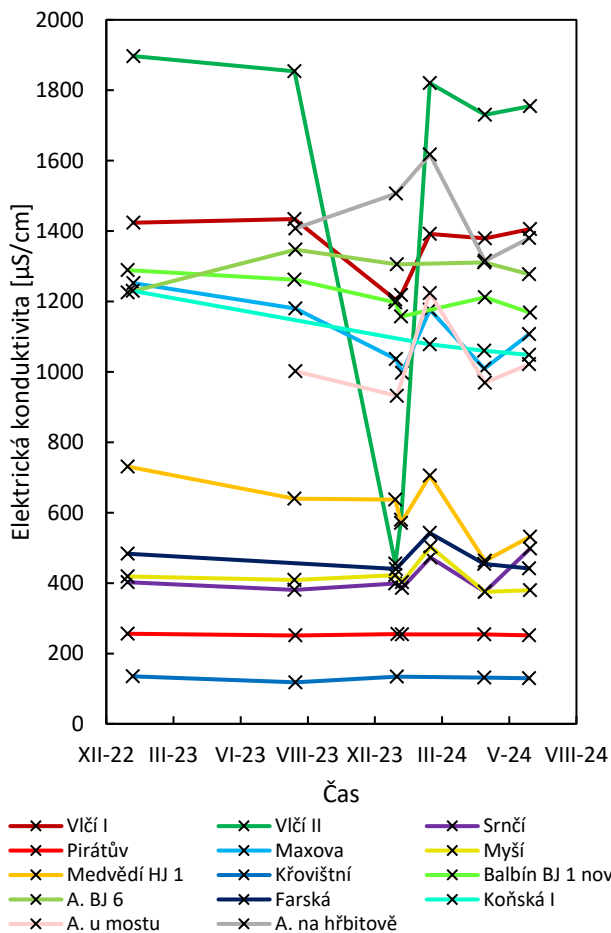
Ambrož III (měřeno u pramene)	49,97474	12,70782	29.06.2024	12,0	787	2534	1,45		
Davidův p.	49,98002	12,70878	31.12.2022	6,9	270			8,2	
			15.08.2023	12,3	190	0			
			29.06.2024	13,3	145	0	3,00		
Farská kys.	50,01485	12,72308	30.12.2022	7,3	483			5,5	
			30.12.2023	7,1	440	2377	34,29	6,2	
			14.02.2024	6,3	542	2550		5,4	ANO
			28.04.2024	7,0	454	2420	16,46		
			28.06.2024	7,7	441	2453	16,36		
Ferdinand HV 43 Augustin (měřeno v hotelu Cristal)	49,96195	12,70839	01.01.2024	13,1	7490				
			29.06.2024	18,2	7019	2028			
Ferdinand HV 44 Edward VII (měřeno v hotelu Cristal)	49,96213	12,70834	01.01.2024	14,3	6290				
			29.06.2024	18,7	6329	1994			
Ferdinand I (měřeno na kolonádě Ferdinandova p.)	49,96232	12,70724	30.12.2022	9,5	9760			6,2	
Horníčkův p.	49,97825	12,72819	06.01.2023	7,0	173				
			15.02.2024	7,2	225	0	4,20	6,9	ANO
Karolin p. (měřeno v pavilónu Křížového p.)	49,97564	12,70732	31.12.2022	11,1	1796			5,7	
			01.01.2024	10,2	1653				
			29.06.2024	18,5	1786	2027			
Karolin p. (měřeno na kolonádě Rudolfova p.)			29.06.2024	12,7	1747	2321			
Kravácká kys.	49,95973	12,73469	06.01.2023	7,0	329			6,8	
Křížový IV (měřeno v pavilónu Křížového p.)	49,97798	12,70657	31.12.2022	13,0	6960			6,0	
			01.01.2024	14,3	6300				
			29.06.2024	18,1	6803	1801			
Lesní p. (měřeno v Martínkově parku)	49,98038	12,70016	30.12.2022	8,0	3120			6,0	
			15.08.2023	9,4	2740	2434			
			01.01.2024	7,5	2510	2282	11,09	6,0	
			28.04.2024	8,1	2896	2364	15,25		
			28.06.2024	9,6	2991	2203	12,69		
Lesní p. (měřeno venkovní pitko na Nových lázních)			29.06.2024	18,3	3168	2285	1,01		
Lesní studánka	49,97551	12,72277	06.01.2023	7,1	329			7,8	
Luccina kys.	49,98931	12,69905	07.01.2023	7,0	680			6,4	
			15.08.2023	11,0	642	600			
			07.01.2024						
Marie BJ 6 MP nová (měřeno v budově Centrálních lázní)	49,97432	12,71197	31.12.2022	16,1	414			5,2	
			29.06.2024	14,8	399	1976	1,78		
Nietzschův p.	49,97074	12,71266	06.01.2023	6,6	259			7,1	
			15.02.2024	7,0	313	0 (titr. 243)	22,50	6,3	ANO
			28.06.2024	9,4	263	0	3,00		
Pavlinčin A p.	49,98845	12,69961	07.01.2023	6,2	613			6,1	
			15.08.2023	11,8	580	0			
			07.01.2024	3,7	330				
Pavlinčin B p.	49,98828	12,69971	07.01.2023	6,9	202			6,4	
Pod modrým kamenem	50,00649	12,69761	06.01.2023	5,3	117			8,3	
Rudolf BJ 36 (měřeno v pavilónu Křížového p.)	49,95943	12,70974	31.12.2022	11,2	1633			6,0	
			01.01.2024		1608				
			29.06.2024	18,7	1523	1676			
Rudolf BJ 36 (měřeno na kolonádě Rudolfova p.)			29.06.2024	17,1	1489	1605			
Smraďoch	50,01300	12,71655	14.02.2024	3,2	1050			2,9	ANO - nevychází chemická bilance, a proto není zahrnut do zonace
Taormína	49,96500	12,70813	06.01.2023	7,6	281			8,2	
			15.02.2024	7,2	330	0	18,00	7,0	ANO
			28.06.2024	11,0	285	0	7,38		
Valesův p.	49,96689	12,72474	06.01.2023	7,4	193			7,9	
			15.02.2024	7,3	294	0	8,16	6,6	ANO

Poznámka: * měřeno Härtlovou trubicí

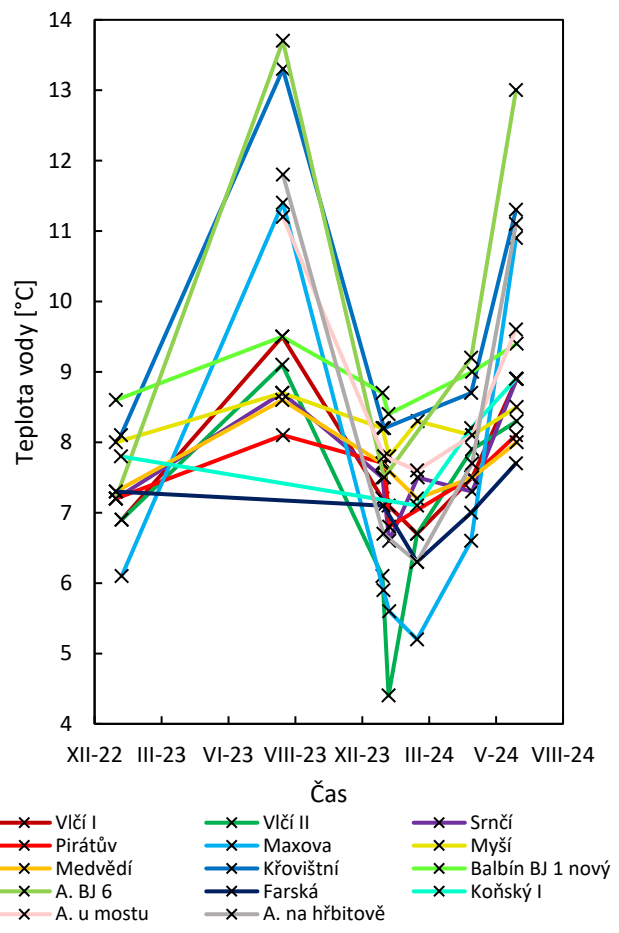
4.1.1.14 Zhodnocení terénních prací známých pramenů

Terénním průzkumem byl ověřen stav známých izolovaných mariánskolázeňských pramenů v okolí města. Celková vydatnost mnou měřených izolovaných pramenů, které nejsou ČIL pravidelně sledovány, v blízkém okolí Mariánských Lázní, je cca 20 až 30 l/min, v závislosti na roční době a vodních stavech. Elektrická konduktivita minerálních pramenů je dosti proměnlivá, od 118 $\mu\text{S/cm}$ u Křovištní kyselky (Hájenský p. má sice 87 $\mu\text{S/cm}$, ale nejde o minerální p.) až po 4768 $\mu\text{S/cm}$ u Jateční kyselky. Z nepravidelného měření elektrické konduktivity vyplývá relativní stabilita celkové M v čase. Rozkolísanost elektrické konduktivity je do 20 až 30 %. Problém lze očekávat u pramenů, které nejsou zachycené, např. Jateční kys., jelikož může docházet k ředění povrchovou vodou. Více než 30% rozkolísanost se projevila pouze u pramene Vlčí II, u kterého, vlivem vysokého vodního stavu, došlo k zaplavení vývěru povrchovou vodou, a tím k velkému poklesu elektrické konduktivity.

Měřením teploty bylo zjištěno, že některé prameny mají menší teplotní rozkolísanost než jiné. Obecně je teplota pramenů vyšší v létě než v zimě, ale může záviset i na vydatnosti a kvalitě zachycení. Vydatné prameny, které jsou kvalitně zachyceny by měli mít teplotní rozkolísanost nižší (např. Pirátův p.). Nejvyšší rozkolísanost byla zjištěna u Antoničkova p. BJ 6, která je dána patrně tím, že měřeným místem nebyl vrt Antoniček BJ 6, ale kašna, do které je voda z vrtu přiváděna, a tudíž je voda v letním období oteplována okolím potrubí. Nejvyšší teplota v zimním období byla změřena v Balbínově prameni, což je patrně dáno tím, že je jímán 65,5 m hlubokým vrtem. Trendy změn elektrické konduktivity jsou patrné z Obr. 65 a změny teploty z Obr. 66. Průzkumem známých izolovaných pramenů je dále zjištěno, že řada pramenů, které byly v minulosti využívány, v současné době neexistují, anebo jejich zachycení chátrá. Nejde přitom o nové zjištění, ale spíše o dlouhodobý stav (Stoček et al., 1972; Kolářová a Dvořák, 1975), a to i přes stále nedostatečnou vydatnost mariánskolázeňských pramenů pro lázeňské účely (Zörkendörfer, 1932; Duben, 1935; Dašek, 1941; Drbal, 2012).



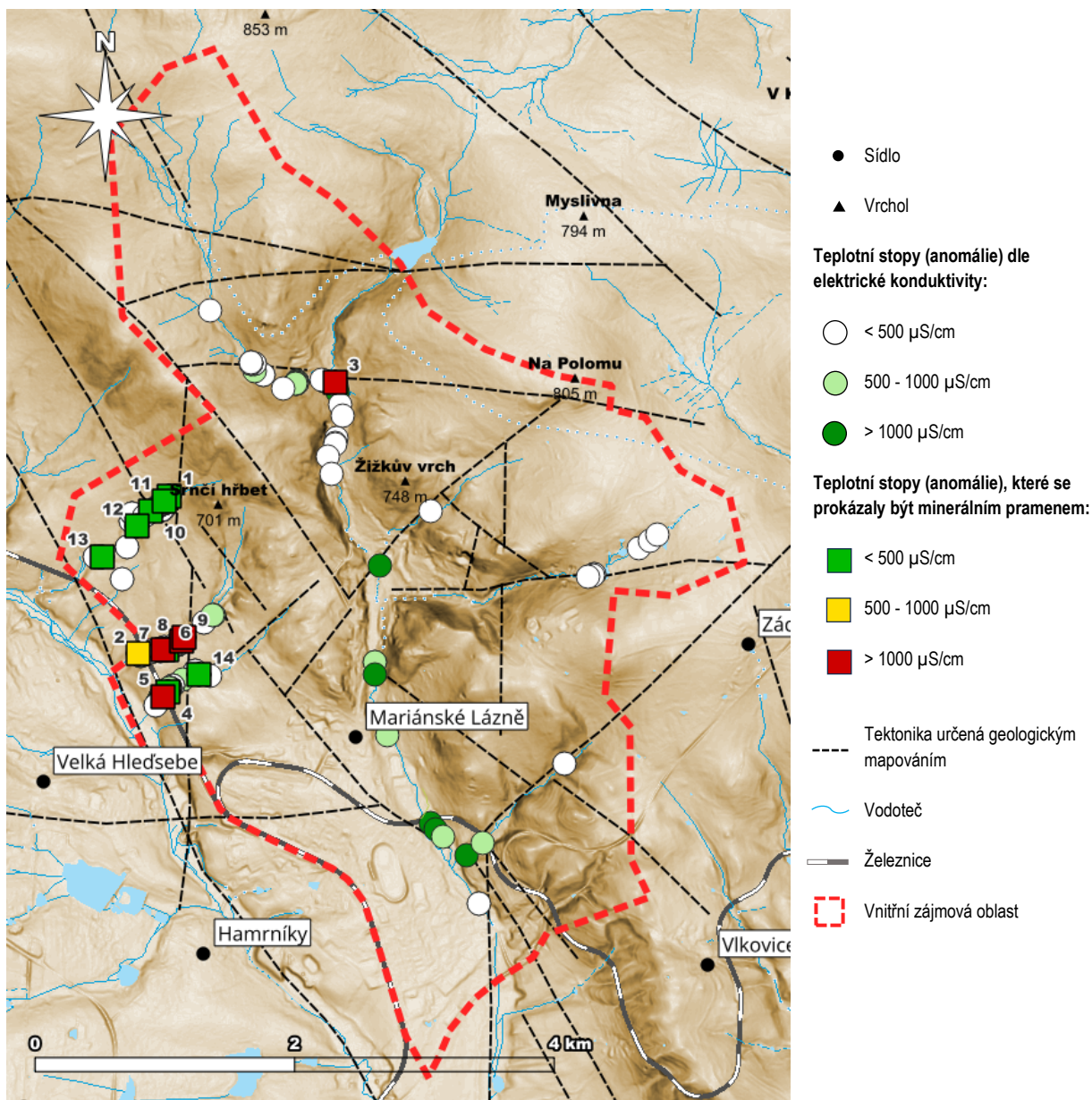
Obr. 65 - Časový vývoj elektrické konduktivity pro vybrané minerální prameny. Pozn.: A. = Antoniček, Vlčí II = 29.12.2023 a 6.1.2024 naředěno potokem



Obr. 66 - Časový vývoj teploty pro vybrané minerální prameny. Pozn.: A. = Antoniček,

4.1.2 Průzkum nových minerálních pramenů

Termometrií bylo zjištěno 131 teplotních stop na 20 km vodních toků, které jsou soustředěny zejména do čtyř oblastí. První oblast se nachází mezi Myším p. a Srněm p., kdy vody mají elektrickou konduktivitu vždy do 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, druhá oblast mezi Vlčím a Balbínovým p. s elektrickou konduktivitou až 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, třetí oblast pod Medvědíím p. s elektrickou konduktivitou dosti podobnou jako u předchozí skupiny a čtvrtá oblast kolem Maxovy kyselky s proměnlivou elektrickou konduktivitou (Obr. 67).



Obr. 67 - Výsledky termometrického průzkumu

1 = P004/P069 Žabí, 2 = P011, 3 = P013A Chudá, 4 = P035, 5 = P037D Ježčí, 6 = P045A, 7 = P047 Mravenčí, 8 = P053 Šnečí, 9 = P054 Sýkorčí, 10 = P059B, 11 = P067A, 12 = P071, 13 = P073, 14 = P116, mapový podklad: DMR 5. generace

Několik teplotních stop bylo nalezeno i v centru města, avšak jde zpravidla o vyústění potrubí do potoka. Pravděpodobně může jít o vypouštění přebytečné minerální vody při provozu léčebných zařízení. Znalost polohy míst vtoků minerální vody do potoka může pomoci při výpočtu bilance. Zajímavý vývěr (P077a až c) se našel na dně Labutího jezírka naproti budově na Hl. třídě 44/22. Ze dna jezírka uniká plyn a při vypuštění v r. 2023 byly nalezeny 3 dílčí drobné vývěry kyselky s elektrickou konduktivitou 1725 $\mu\text{S}/\text{cm}$. V r. 2024 již vývěry nalezeny nebyly, neboť Labutí jezírko nebylo zcela vypuštěno, a tudíž se vyvěrající vody silně ředily s potoční (Úšovický potok). Výsledky termometrických měření v zájmové oblasti jsou patrné z Obr. 67, vč. ověřených vývěrů minerální vody. Dostí problematické jsou vývěry přímo do středu koryta potoka, neboť termometrií jsou sice prameny nalezitelné, avšak nedají

se snadným způsobem objektivně měřit. Výsledky průzkumu na potvrzených minerálních vývěrech jsou uvedeny v Tab. 35, ale z výše uvedeného důvodu je celkový výčet teplotních stop uveden i v *Příloze 1 - Seznam termometrických anomálií zjištěných terénním výzkumem*. Z celkového počtu 131 teplotních stop měření Härtlovou trubicí přineslo zjištění, že pouze 14 pramenů má zvýšený obsah volného CO₂ (Obr. 67).

Tab. 35 - Výsledky terénního průzkumu vyhledávání nových vývěrů minerální vody

Pramen	Lokalizace WGS-84	Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	Volný CO ₂ [mg/l]	Q [l/min]	pH	Odběr na analýzu	
P004/P069 Žabí kys.	49,98133 12,68131	30.12.2022	7,2	313			5,2		
		05.02.2023	6,7	312			6,4		
		14.08.2023	10,6	311	2368				
		08.01.2024	6,6	178					
		22.01.2024	5,2	269	1483				
		15.02.2024	7,1	348	1596	0,28	5,1	ANO	
		29.04.2024	7,6	273	2282				
P011	49,97042 12,67795	29.06.2024	9,6	284	2332	0,50			
		07.01.2023	5,5	667			5,5		
		14.08.2023	10,9	732	2102				
		06.01.2024	5,3	430					
		22.01.2024	3,8	586	1854	0,30		ANO	
		14.02.2024	6,4	642			5,4		
P013A Chudá kys.	49,98923 12,69908	29.04.2024	8,9	714	2019				
		29.06.2024	9,9	706	1838				
		07.01.2023	5,8	1547			5,8		
		15.08.2023	suchý						
		07.01.2024	2,2	1080					
		22.01.2024	3,4	1426	2076	0,17			
P035	49,96780 12,68112	15.02.2024	6,1	1523	1975	0,38	5,9	ANO	
		28.04.2024	8,3	1396	1933				
		28.06.2024	12,5	1482	1878				
		29.01.2023	1,8	470			6,2		
		14.08.2023	suchý						
		06.01.2024	4,4	590	> 500*				
P037D Ježčí kys.	49,96747 12,68058	22.01.2024	1,2	404		0,03			
		29.04.2024	7,4	599	871				
		29.06.2024	12,9	629	1159				
		06.01.2024	4,7	1126					
P045A	49,97075 12,68097	22.01.2024	2,1	1101	1546	0,05		ANO	
		29.04.2024	8,0	1927	1497				
		29.06.2024	11,6	1950	1584				
		29.06.2024	7,6	264					
P047 Mravenčí kys.	49,97069 12,68061	30.01.2023	2,4	379					
		06.01.2024	5,2	330	> 500*				
		22.01.2024	2	336					
		29.06.2024	suchý						
		30.01.2023	2,2	968			5,8		
		06.01.2024	5,9	970					
P053 Šnečí kys.	49,97128 12,68259	22.01.2024	4,4	1084	2171	0,04			
		14.02.2024	7,3	1162	1995	0,07	5,5	ANO	
		29.04.2024	7,4	1086	2118				
		29.06.2024	10,7	1005	2140	0,05			
		30.01.2023	7,3	1009			5,3		
P054 Sýkorčí kys.	49,97160 12,68289	06.01.2024	7,5	1070					
		22.01.2024	5,9	1056	1635	0,60		ANO	
		29.04.2024	7,4	1134	2210	0,37			
		29.06.2024	9,4	1303	2351	0,57			
P054 Sýkorčí kys.	49,97160 12,68289	30.01.2023	4,1	1153					
		06.01.2024	6,4	1072					
		22.01.2024	4,9	1119	2312	0,75			
		15.02.2024	7,1	1020	1929		5,6	ANO	

			29.04.2024	7,5	1115	2159		
			29.06.2024	10,3	1160	2411	0,39	
P059B	49,98032	12,67926	05.02.2023	2,3	390			
			07.01.2024	5,9	321			
			22.01.2024	4,8	360	1257	0,07	ANO
			29.04.2024	9,6	238	0		
			29.06.2024	13,1	311	1780		
P067A	49,98099	12,68079	05.02.2023	3,3	330			6,1
			07.01.2024	4,1	312			
			22.01.2024	2,8	274	822		ANO
			29.04.2024	9,4	253	997		
			29.06.2024	14,4	507	1306		
P071	49,97926	12,67774	05.02.2023	3,2	351			7,0
			14.08.2023	16,1	331	0		
			07.01.2024	5,4	311			
			22.01.2024	3,4	336	506		ANO
			29.04.2024	7,7	320	673		
			29.06.2024	13,3	318	753		
P073	49,97714	12,67405	05.02.2023	3,6	281			
			07.01.2024	4,4	314			
			22.01.2024	3,2	309	1012	0,09	ANO
			29.04.2024	7,4	311	1052		
			29.06.2024	12,0	307	1249	0,12	
P116	49,96898	12,68447	14.08.2023	13,0	253			
			29.12.2023	6,3	404			
			06.01.2024	4,2	439	> 500*		
			22.01.2024	2,3	304		0,01	
			29.04.2024	8,4	298			
			29.06.2024	12,3	248	> 500*		

pozn.: * pro nepatrnou vydatnost nebo špatnou odebratelnost zjišťován obsah rozpuštěného CO₂ pouze organolepticky

Nové vývěry vykazují mnohem větší rozkolísanost naměřených hodnot než prameny zachycené. Například Chudá kyselka (P013a) v srpnu 2023 spolu s P035 zcela vyschla nebo vývěr P071 v létě zvýšil 5x svoji teplotu (z 3,2 °C na 16,1 °C). Důvodem je pravděpodobně skutečnost, že jsou prameny méně vydatné, a tudíž více náchylné na vysychání v letních obdobích, z důvodu vyšší evapotranspirace, což vede k tomu, že pramen ztrácí přirozený přetok a voda se ve vývěru ohřívá. Ve všech pramenech, ve kterých byla teplota měřena i v létě, došlo ke zvýšení teploty cca více než 2x. Nízká teplota vývěrů v mrazech značí nižší vydatnost.

Patrný je i vliv vysokých vodních stavů. Ty nastaly na přelomu prosince 2023 a ledna 2024 a vedly k poklesu elektrické konduktivity téměř všech pramenů. Například Žabí kys. (P004/069) měla během vyšších vodních stavů 178 μS/cm, ale po poklesu hladiny v potoce opět 348 μS/cm. Podobná situace nastala u Chudé kys. (P013A), kde byl pokles z 1547 μS/cm na 1080 μS/cm aj. Důvody poklesu elektrické konduktivity jsou dva. Prvním důvodem je, že zvýšením vodních stavů dochází k růstu tlaku na vývěr pramene, což vede k zániku vývěru na povrch terénu. Druhým důvodem je vylití potoční vody z koryta řeky a odnos sedimentu koloidů železa. To vede k tomu, že ani po poklesu vodních stavů nedojde k obnovení pramene, protože chybí bariéra před ředěním s potoční vodou. Pramen tedy vyvěrá přímo do vodoteče, a to do doby, než se sediment koloidů železa kolem pramene opět vytvoří. Vliv zvýšených vodních stavů před zvýšenou hladinou a během zvýšené hladiny je patrný z Obr. 68 a Obr. 69.

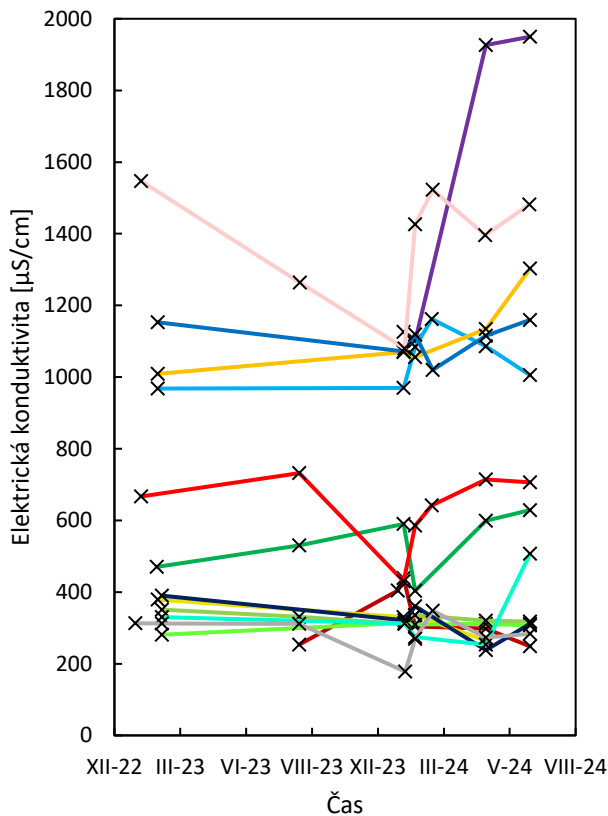


Obr. 68 - Lucčína kys. při nízkém VS 8.1.2023

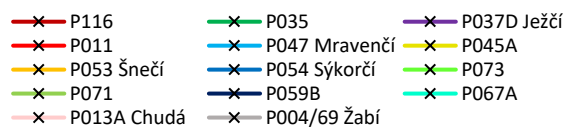
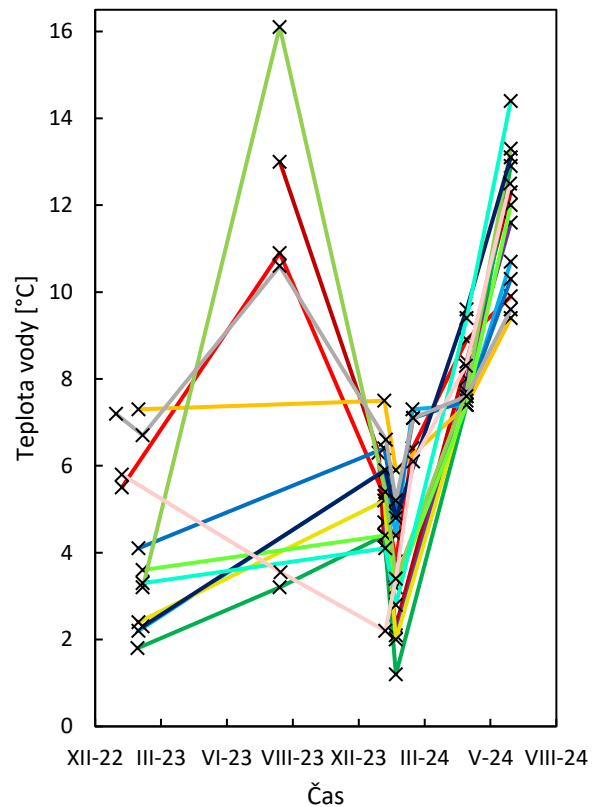


Obr. 69 - Lucčína kys. při vysokém VS 7.1.2024

Z nepravidelného měření dále vyplývá, že zachycení Žabí kys. vedlo ke snížení elektrické konduktivity pramene. K tomuto poklesu mohlo dojít vlivem příliš mělkého zachycení a malého průměru vkládané PVC trubky, navíc byl termokamerou v zimě 2024 nalezen parazitický vývěr v těsné blízkosti zachycení. Stálost elektrické konduktivity i teploty mezitím vykazují víceméně všechny nově zjištěné vývěry. Časové změny elektrické konduktivity a teploty nových vývěrů jsou patry z Obr. 70 a Obr. 71.

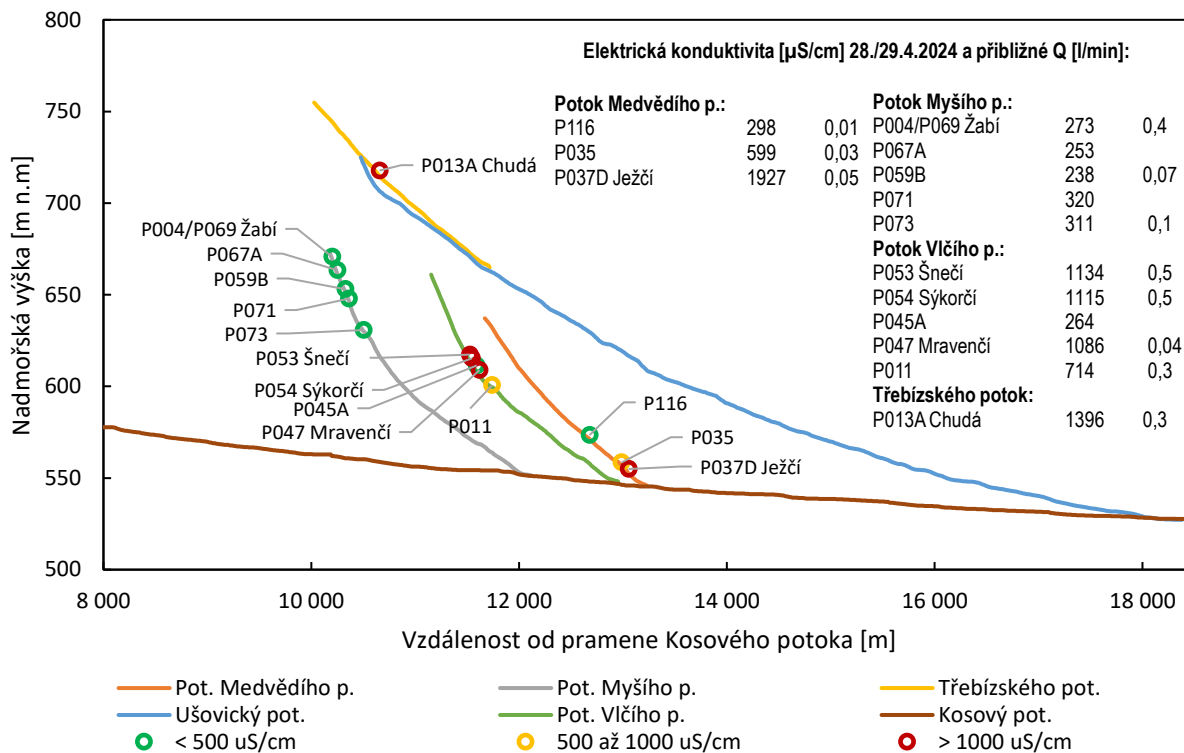


Obr. 70 - Časový vývoj elektrické konduktivity pro nově zjištěné vývěry minerální vody



Obr. 71 - Časový vývoj teploty pro nově zjištěné vývěry minerální vody

Pro lepší představu o morfologii terénu v okolí nových nezachycených vývěrů byl vytvořen Obr. 72. Ten ukazuje, jaký vliv má spád údolí na přítomnost nově objevených pramenů a dále na jejich elektrickou konduktivitu a vydatnost. Graf přináší zajímavé zjištění o změně elektrické konduktivity s nadmořskou výškou. Příkladem může být údolí Myšího p., kdy v horní části toku jsou prameny s elektrickou konduktivitou 253 a 273 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a ve spodní části jsou prameny s elektrickou konduktivitou 311 a 320 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Což je zajímavé, jelikož při srovnání Srněho a Myšího p., kdy má Srně (položený cca ve stejné nadmořské výšce jako P067A) průměrnou elektrickou konduktivitu 416 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a Myší (položený cca ve stejné nadmořské výšce jako P073) má také průměrnou elektrickou konduktivitu 416 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Celková M je však mírně vyšší u níže položeného Myšího p. Podobná situace je pozorovatelná i u potoka Medvědího p., kde je rozdíl ještě více markantní. Naopak u p. Vlčího potoka by bylo nutné rozšířit soubor dat, ale když bychom vzali v potaz Vlčí kys., kde elektrická konduktivita Vlčího II dosáhla 1730 $\mu\text{S}/\text{cm}$, byl by trend patrný zřejmě také. Navíc se z vyhodnocovaného malého souboru dat jeví, že méně mineralizované p. jsou více soustředěny do údolí se strmějším spádem. Naopak vydatnost vlivem velké proměnlivosti v závislosti na ročním období, výšce VS a přesnosti správného měření nelze jednoznačně vyhodnotit. Analýza takto nezachycených pramenů je dosti komplikovaná a pro detailnější studium je vhodné prameny mělce zachytit a pravidelně dlouhodoběji sledovat.



Obr. 72 - Vztah mineralizace vývěřů k nadmořské výšce pro dílčí povodí

4.2 Hydrochemická zonálnost

Hydrochemická zonálnost se projevuje horizontálně, vertikálně i časově. V této kapitole jsou shrnuty výsledky studia těchto zonálností na mariánskolázeňských pramenech. Celkem se podařilo získat pro posouzení hydrochemické zonálnosti chemický rozbor ze 128 historických, současných i nově zmapovaných výskytů minerální vody v zájmovém území. Při řešení diplomové práce byly odebrány vzorky z 28 minerálních a 4 prostých pramenů, ale vzorek Medvědího p. HJ 1 byl ztracen a u vzorku ze Smrad'ocha nevychází bilance kationtů a aniontů. Z celkového počtu 128 rozborů minerálních vod je 26 nových.

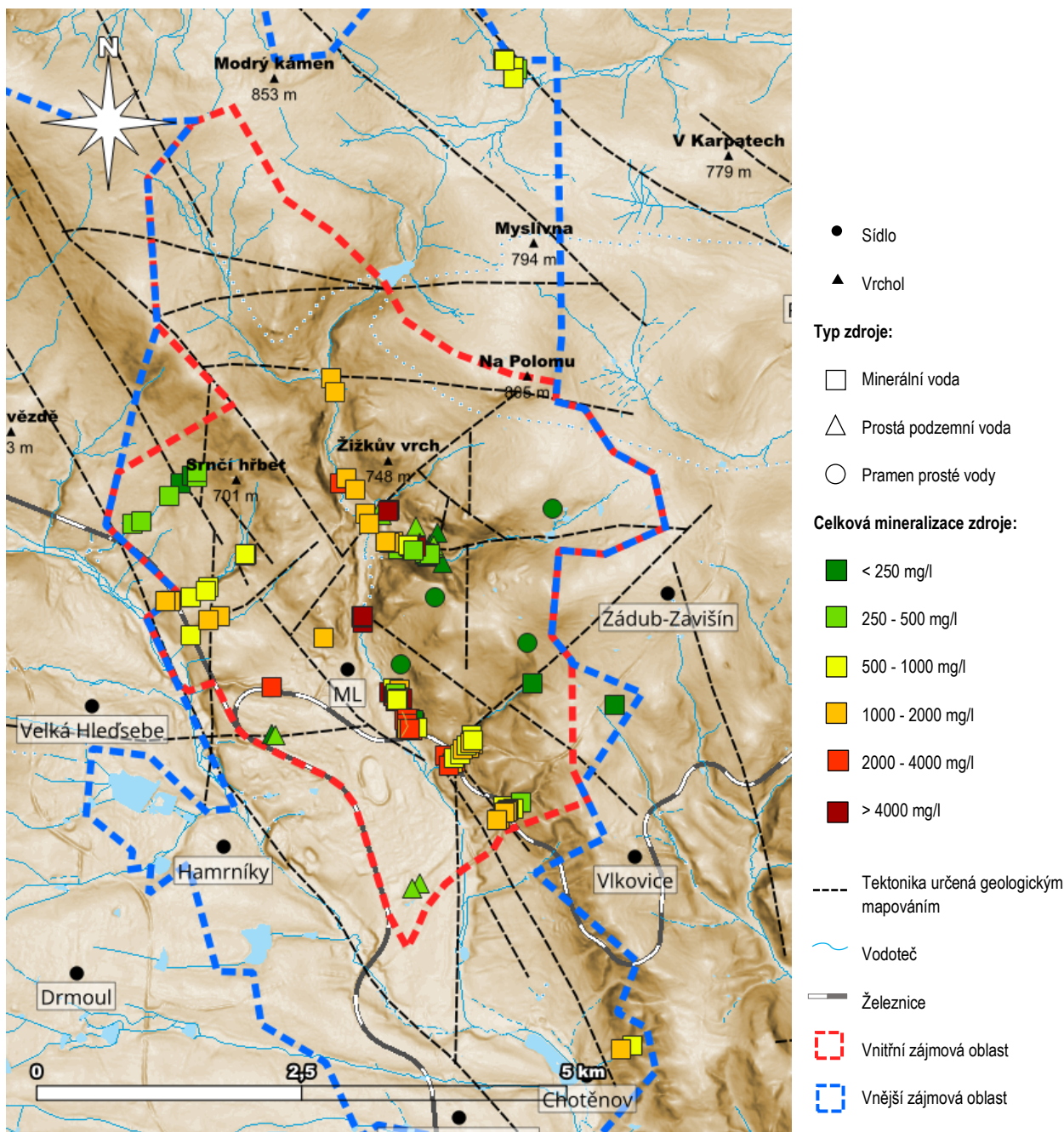
Bylo zjištěno, že v Mariánských Lázních bylo pro záchyt minerálních vod od roku 1970 vyhloubeno cca 60 nových průzkumných hydrogeologických vrtů s cílem zvýšit jímané množství minerální vody. Jde hlavně o struktury: Ferdinand, Rudolf, Alexandra, Centrální lázně, Pottovo údolí, a dále oblast Lesního p., Antoníčková p., Balbínova p., Medvědího p. a Farské kys. Celkem s údaji z období před rokem 1970 byly z daného území získány výsledky chemických analýz ze 102 odběrových bodů (vrtů, pramenů atp.), ve kterých byla zjištěna přítomnost minerální vody.

4.2.1 Horizontální zonálnost

Horizontální zonaci lze provést buď dle chemického složení (disociované i nedisociované látky), dle fyzikálních vlastností (teplota, vydatnost aj.) nebo příslušností ke skupině dle určité klasifikace. Kapitola je proto na tyto tři způsoby členěna.

4.2.1.1 Chemismus: celková mineralizace

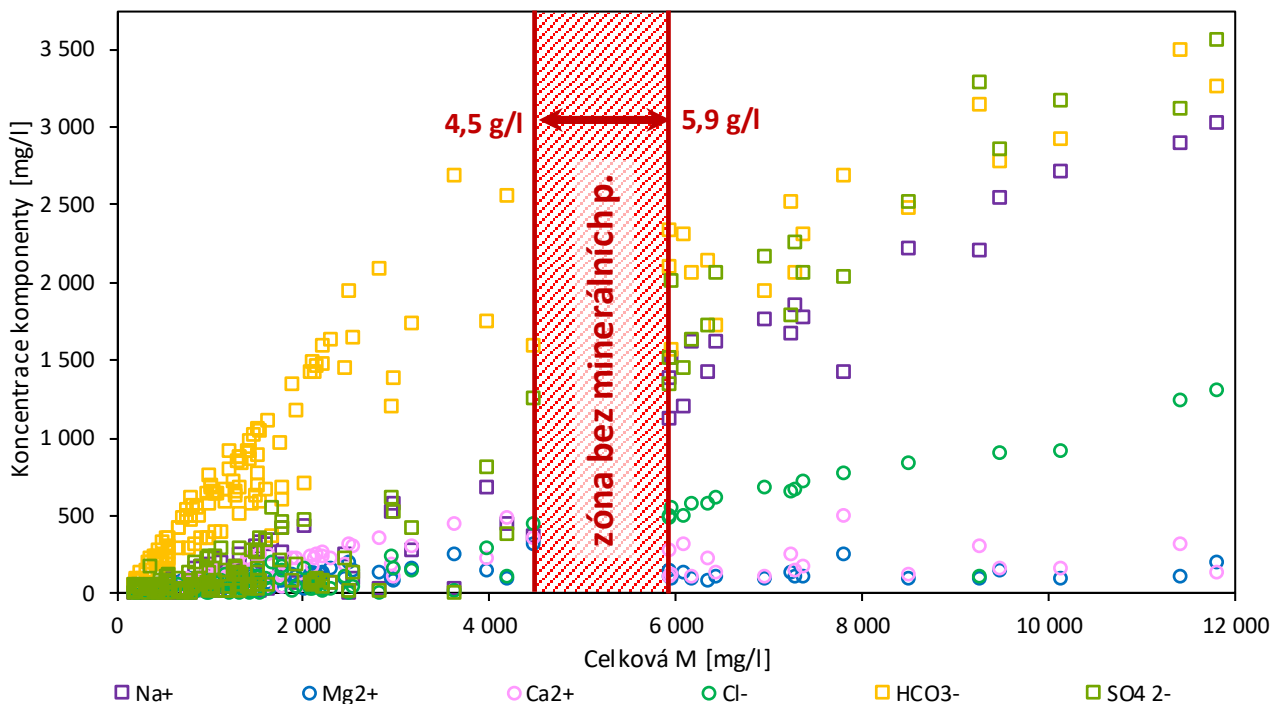
Nejvyšší celkové M jsou zjištěny v protáhlé oblasti, která začíná Křížovým p. a pokračuje J směrem přes Alexandřin p. a končí na hranici Rudolfovy zřídelní struktury (*hl. osa*). Všechny směry od této zóny mineralizace klesá, což je vidět z Obr. 73. Zvýšené hodnoty mineralizace byly zjištěny též v nejnižší položených pramenech Pottova údolí, Lesním p. a Jateční kys.



Obr. 73 - Celkové mineralizace minerálních, podzemních a prostých vod, mapový podklad: DMR 5. generace

4.2.1.2 Chemismus: makrokomponenty

Základní kumulativní zhodnocení zastoupení hlavních iontů je patrné z Obr. 74. Z něj vyplývá, že soubor dat nemá normální rozdělení, a že vztah mezi celkovou mineralizací a koncentrací hlavních iontů není pro celý soubor dat přímo úměrný. Důležitá je zóna celkové M mezi 4,5 g/l a 5,9 g/l, jelikož se v ní nenachází žádné minerální p., tj. nebyly rešeršní ani mapovací části zjištěny. Zároveň je tato oblast hranicí mezi trendy růstu dílčích iontů. Nejpatrněji je nehomogenita sledovatelná na HCO_3^- , kde jeho koncentrace roste relativně strmě, ale po přechodu zóny *bez minerálních p.* koncentrace klesne a znovu roste pozvolněji. Naopak u Na^+ a SO_4^{2-} je patrný opačný skok, kdy dojde k prudkému růstu. Z toho vyplývá, že mariánskolázeňské minerální vody nejsou jednotného původu, ale lze je hrubě rozdělit na více a méně mineralizované. Soubor dat je tedy nutné dále podrobněji analyzovat, např. vyjádřením hydrochemických typů vod.

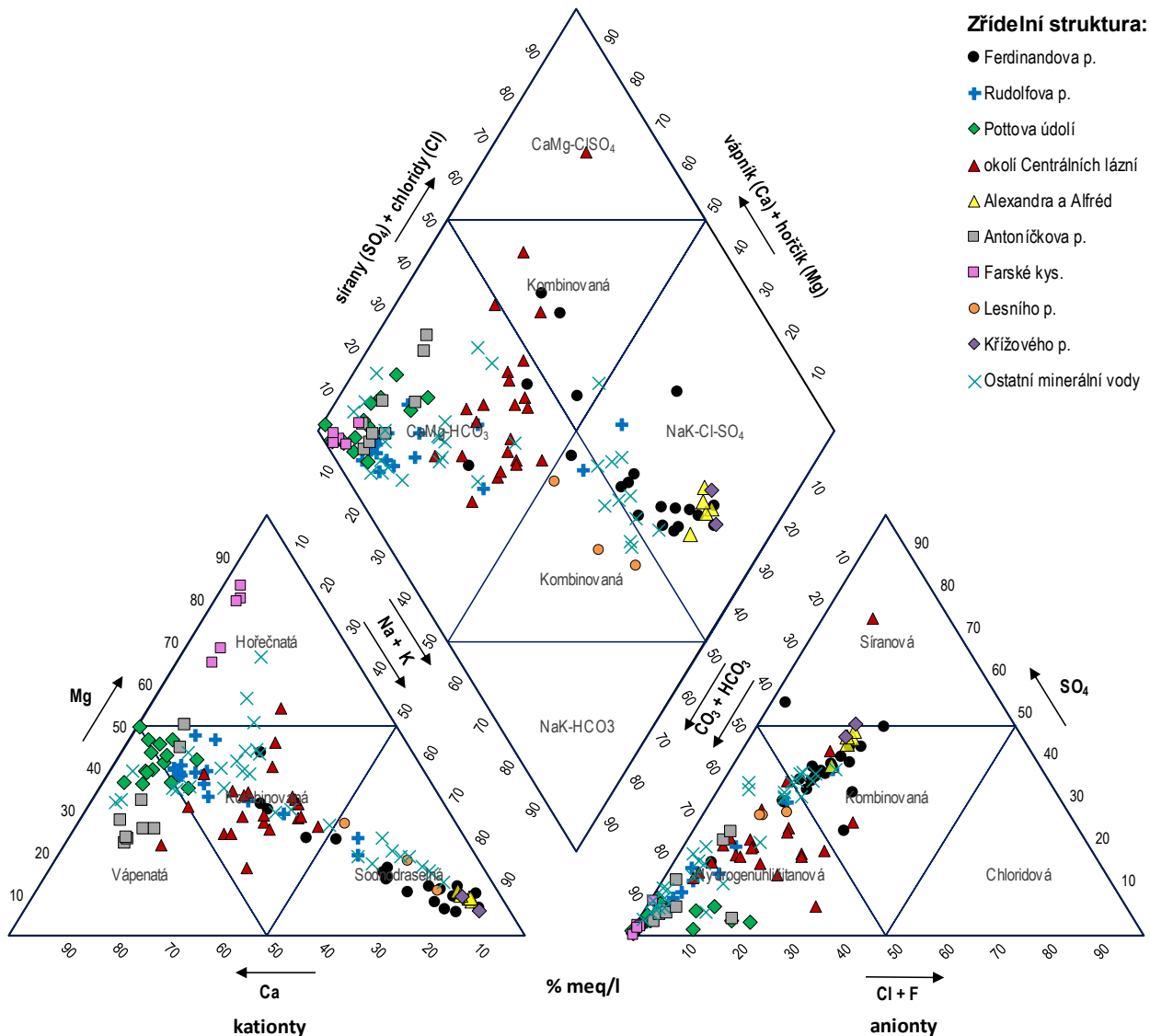


Obr. 74 - Závislost koncentrace hlavních iontů na celkové mineralizaci vody

Na území Mariánských Lázní se dle zastoupení iontů nad 20 % meq/l nachází mnoho hydrochemických typů minerálních vod. Pro lepší pochopení režimu mariánskolázeňských pramenů jsou separátní vývěry posuzovány z hlediska celé zřidelní struktury. Přiřazení pramenů ke zřidelním strukturám je provedeno dle *kap. 2.4*. Z pozic dílčích zřidelních struktur v Piperově diagramu (Obr. 75) plyne, že složení vod je více pestré kationtově než aniontově. V kationtovém trojúhelníku jsou zastoupeny všechny tři typy vod (tj. Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^{+}) dle dominantní složky, ale u aniontů ani jedna chemická analýza nevykazuje, že by v Mariánských Lázních byla nějaká minerální voda s dominancí Cl^{-} a pouze tři vody jsou síranové (SO_4^{2-}). V kationtovém i aniontovém trojúhelníku lze pozorovat, jak jednotlivé struktury mezi sebou hydrochemicky přechází od pramenů v Pottově údolí přes prameny v okolí Centrálních lázní, Lesní po Křížové p. Odchylkou od pozvolného přechodu struktur z jednoho dominantního iontu do druhého je v kationtovém trojúhelníku zřidelní struktura Farské kys. a do jisté míry i prameny Antoničkovy zřidelní struktury, které leží více v hořečnatém nebo vápenatém typu. Tyto struktury jsou nejvíce vzdálené od centra Mariánských Lázní a lze předpokládat, že již vůbec nejsou ve vzájemném vztahu s hypotetickou *hl. osou*. V kompilačním středovém kosočtverci Piperova diagramu lze vyčlenit dvě skupiny. První zahrnuje vývěry v okolí Křížového, resp. Alexandřina pramene a druhá, která vykazuje méně SO_4^{2-} a tvoří shluk kolem Rudolfovy zřidelní struktury.

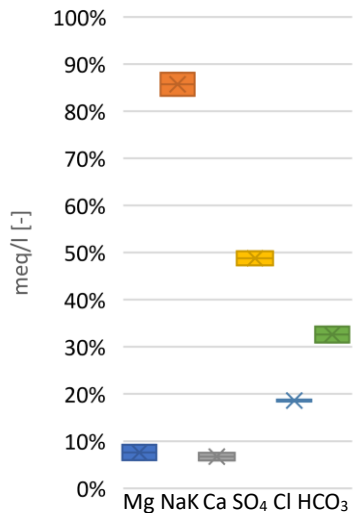
Pro úplnost jsou na Obr. 76 uvedena i procentuální zastoupení dominantních iontů pro jednotlivé zřidelní struktury ve formě krabicových diagramů. Z důvodu lepší názornosti nebyly prameny v okolí Centrálních lázní a izolované vývěry minerální vody dále děleny a jsou uvedeny pod souhrnným označením *okolí Centrálních lázní a Ostatní minerální vody*. Dělení pramenů v okolí Centrálních lázní je patrné z Obr. 77 a ostatních minerálních vod z Obr. 78.

Při vyhodnocování dat v Piperově diagramu je největším problémem přítomnost dalších kationtů, resp. aniontů, které do diagramu zahrnuté nejsou. Diagramy totiž předpokládají, že jsou vody tvořeny právě pouze těmito ionty, což v případě mariánskolázeňských pramenů zcela neplatí. U aniontů diagram složení reflektuje vskutku dobře, ale na straně kationtů nereflektuje přítomnost pátého významného kationtu a tím je Fe^{2+} . Tím, že je ve vodě přítomen, ale neodráží se jeho koncentrace do pozice bodu v diagramu, dochází u některých pramenů, hlavně málo mineralizovaných na kationtové straně, k chybě.

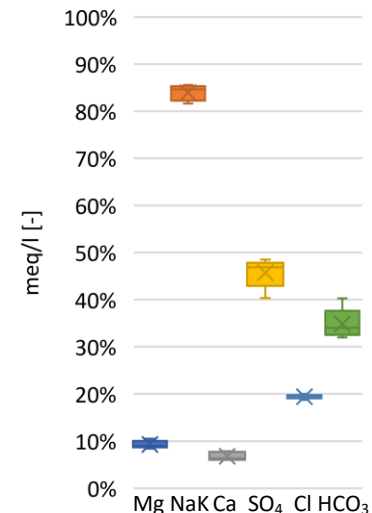


Obr. 75 - Piperův diagram pro mariánskolázeňské vývěry. Pozn: prameny kategorie Centrálních lázní a ostatní minerální vody jsou pro přehlednost dále členěny, viz Obr. 77 a Obr. 78

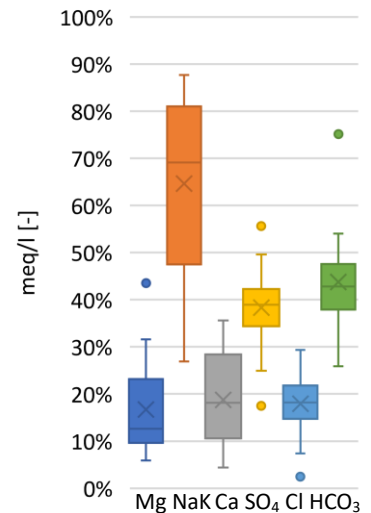
Z krabicových diagramů plyne, že struktury Křížového a Alexandřina p. jsou hydrochemicky prakticky totožné a zároveň vykazují vůbec nejmenší rozptyl chemismu ze všech zřídelních struktur. Pravdou ale je, že jde o nejmenší soubory dat. Proto budou v dalším vyhodnocení sloučeny do jedné skupiny. Křížový a Alexandřin p. by vlastně v širším slova smyslu mohly tvořit jednu zřídelní strukturu, neboť jsou s vysokou pravděpodobností místa hydraulicky propojena (Pěček, 2004). Ferdinandova struktura je specifická tím, že některé vývěry mají chemismus velmi blízký struktuře Křížového a Alexandřina p., ale některé prameny jsou blíže struktuře Rudolfových p. To lze vidět na mírně zvýšeném zastoupení HCO_3^- a celkově vyšší rozkolísanosti výsledků. Struktura Lesního p. vykazuje podobné složení jako Ferdinandovy p., ale obsah SO_4^{2-} je nižší. Limitujícím je pro lepší posouzení struktury malá velikost souboru dat. Struktura okolí Centrálních lázní je typickým příkladem kationtově zcela kombinované vody, protože je zastoupení Ca^{2+} , Mg^{2+} i $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ téměř totožné, tj. cca 30 % pro každý z kationtů, z aniontů ještě více dominuje HCO_3^- a ustupuje podíl SO_4^{2-} . Pro vysoký počet dílčích výskytů minerální vody je v Obr. 77 oblast rozdělena na separátní vývěrová místa. Rudolfova oblast má až na výjimky ještě menší podíl $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ na úkor zvyšujícího se podílu Ca^{2+} . To je pak ještě více patrné ve struktuře Pottova údolí a Antoníčková p., kde $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ klesá až k 10 %, ale Ca^{2+} stoupá k 50 až 60 %. Celkově se zdá, že mariánskolázeňské zřídelní struktury tvoří hydrochemické kontinuum a přechází z jednoho hydrochemického typu do druhého. Odlišným hydrochemickým typem je oblast Farské kys., kde dominuje Mg^{2+} s obsahem 70 % až 80 %.



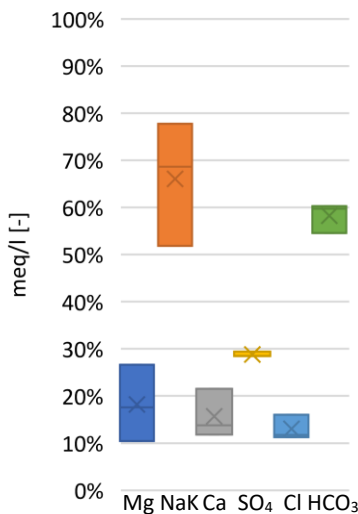
Zřidelní struktura Křižového p., n=2



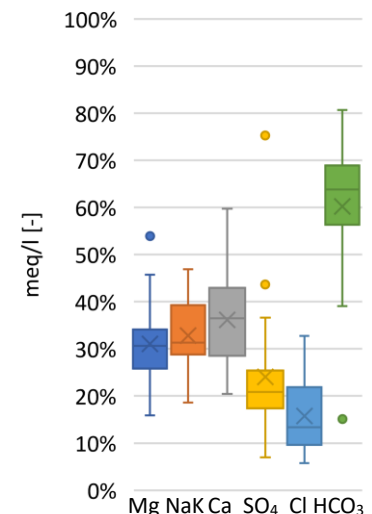
Zřidelní struktura Alexandra a Alfréd, n=5



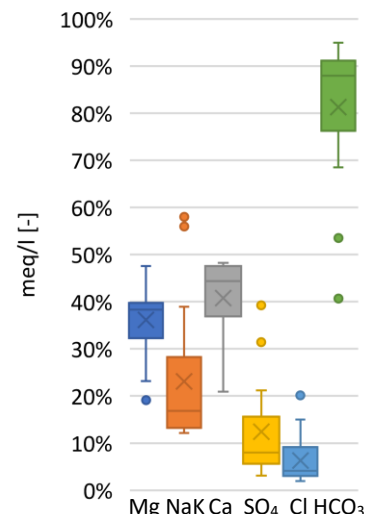
Zřidelní struktura Ferdinandova p., n=20



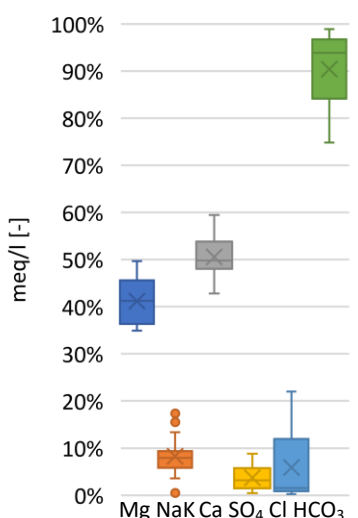
Zřidelní struktura Lesního p., n=3



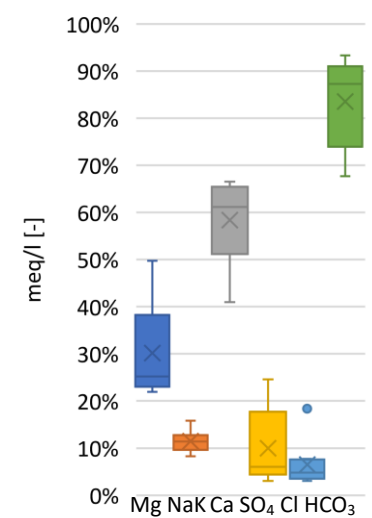
Zřidelní struktura okolí Centrálních lázní, n=23



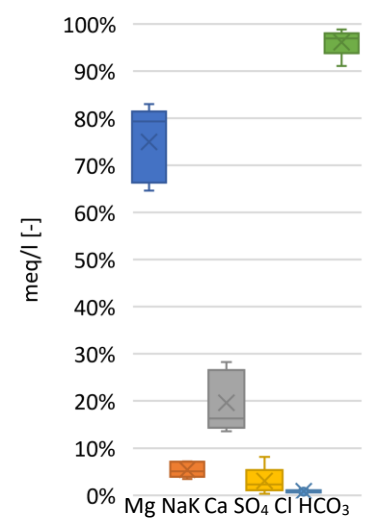
Zřidelní struktura Rudolfova p., n=16



Zřidelní struktura Pottova údolí, n=15

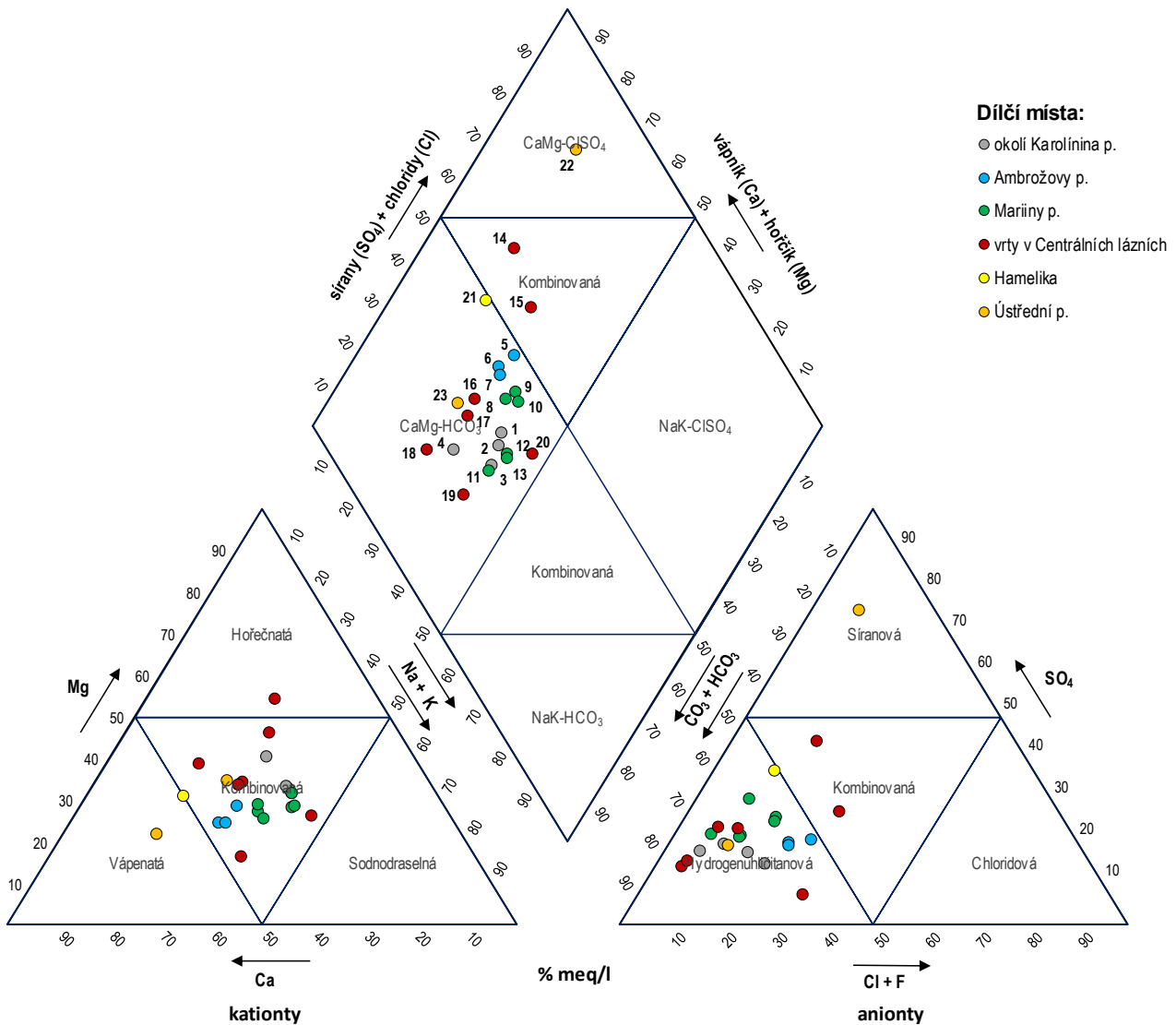


Zřidelní struktura Antoníčková p., n=9



Zřidelní struktura Farské kys., n=5

Obr. 76 - Zastoupení hl. iontů v dílčích strukturách Mariánských Lázní,

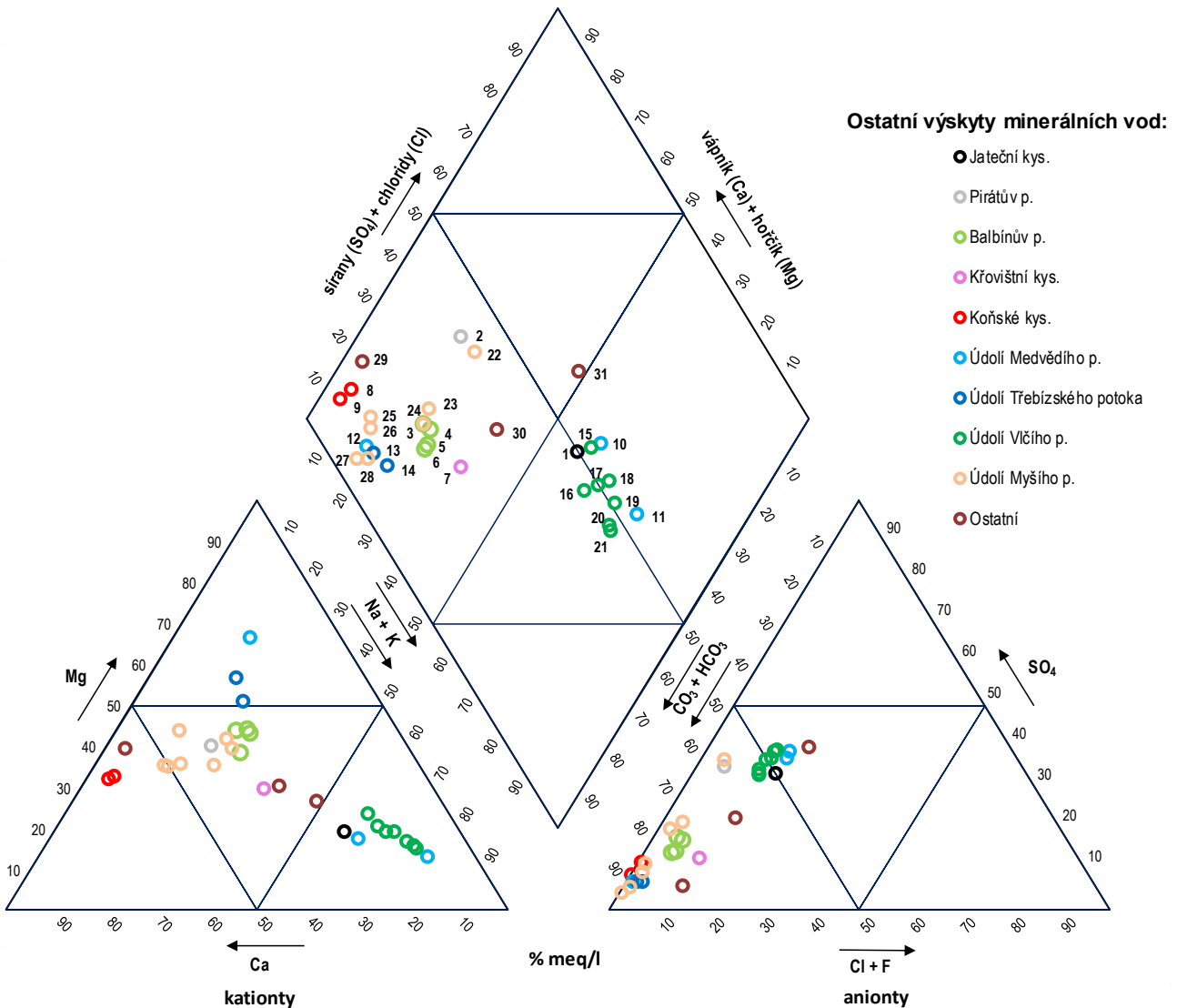


Obr. 77 - Piperův diagram pro vývěry v okolí Centrálních lázní.

1 = Karolína HJ 31, 2 = Karolína HJ 30, 3 = Karolína, 4 = Karolína HJ 33, 5 = Ambrož I, 6 = Ambrož II, 7 = Ambrož III, 8 = Marie II, 9 = Marie I, 10 = Marie V, 11 = Marie VI, 12 = Marie III, 13 = Marie IV, 14 = Marie BJ 1A MP, 15 = Marie BJ 6 MP nová, 16 = Marie BJ 2 MP, 17 = Marie BJ 1 MP, 18 = Marie BJ 4 MP, 19 = Marie HJ 32, 20 = Marie BJ 3 MP, 21 = Hamelika, 22 = Ústřední II, 23 = Ústřední I

I samotná oblast okolí Centrálních lázní, ke kterým se řadí Mariiny p., Karolíniny p., Ústřední p., Ambrožovy p., i výsledky hydrogeologického průzkumu Centrálních lázní, ze kterého vzešel jímací objekt Marie BJ 6 MP nová atd., je velmi pestrá. Dílčí místa si jsou hydrochemicky bližší (viz např. Karolíniny, Ambrožovy p.). Značně problematickým je bod 22 - **Ústřední II**, který má dle chemické analýzy značnou převahu SO_4^{2-} vůči ostatním aniontům. Vzhledem k tomu, že byl tento pramen analyzován pouze jednorázově, nelze jeho složení s určitostí potvrdit ani vyvrátit. Je též možné, že byla voda v Ústředním II kontaminovaná vnějším zdrojem. Pro prostorovou zonaci jsou podstatné i izolované vývěry v bližším okolí Mariánských Lázní. Výsledný Piperův diagram pro jednotlivá místa je patrný z Obr. 78. Piperův diagram na Obr. 78 ukazuje prostorovou variabilitu mezi jednotlivými údolími a izolovanými vývěry v okolí Mariánských Lázní. Již na první pohled vývěry vytváří dva shluky. První shluk tvoří údolí Vlčího p., kam se řadí Vlčí kys. I až III a dále P011, Mravenčí kys., Sýkorčí kys., Šnečí kys. a P045A bez provedené chemické analýzy, údolí Medvědího pramene s analýzou Medvědího starého p. a Ježčí kys. a Jateční kys. Tyto vody se dle procentuálních zastoupení hlavních iontů chemicky podobají Křížovému a Alexandřině p. a vyznačují se zvýšeným podílem SO_4^{2-} a Cl^- . **Medvědí HJ 1** vykazuje odlišné chemické složení. Důvodem je zvýšená koncentrace Fe^{2+} . Druhý shluk je tvořen prameny v údolí Myšího p., Balbínovým p., Chudou, Maxovou a Koňskou kys. Tyto body jsou blízké hlavně Rudolfově zřidelní struktuře a vyznačují se zvýšeným

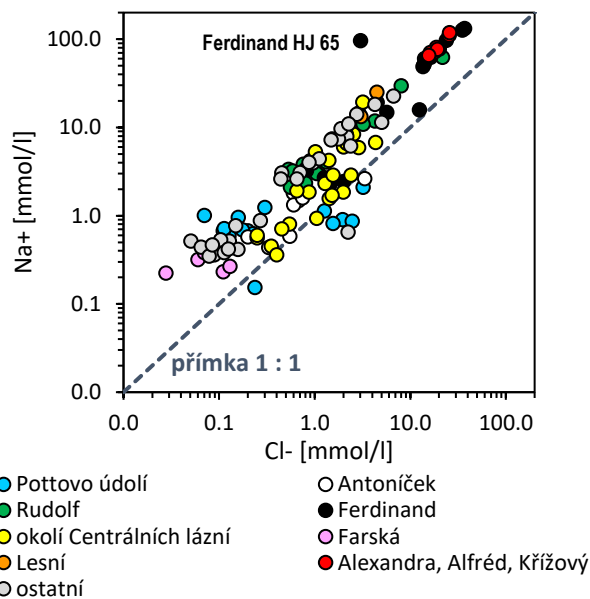
podílem Ca^{2+} , popř. Mg^{2+} . Mezi ostatní vývěry jsou řazeny vrty, které náhodně zjistily přítomnost minerální vody. Jde o HV 45 (Trnka, 2014), Krym BJ 1 a Krym BJ 2 (Trojan et al., 1978).



Obr. 78 - Piperův diagram pro ostatní mariánskolázeňské minerální vody.

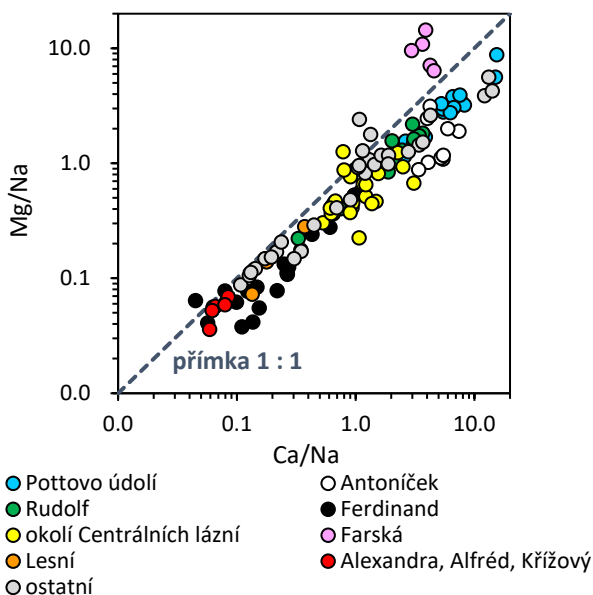
1 = Jateční kys., 2 = Pirátův p., 3 = Balbín BJ 1 nový, 4 = Balbín III „S2“, 5 = Balbín II „S1“, 6 = Balbín I „pramen“, 7 = Křovištní kys., 8 = Koňská I, 9 = Koňská II, 10 = Ježčí kys. P037D, 11 = Medvědí starý, 12 = Medvědí HJ 1, 13 = Chudá kys. P013A, 14 = Maxova kys., 15 = Sýkorčí kys. P054, 16 = P011, 17 = Vlčí III, 18 = Šnečí kys. P053, 19 = Vlčí I, 20 = Vlčí II, 21 = Mravenčí kys. P047, 22 = P059B, 23 = P067A, 24 = Žabí kys. P069/004, 25 = Srnčí, 26 = P071, 27 = Myší, 28 = P073, 29 = HV 45, 30 = Krym BJ 1, 31 = Krym BJ 2.

Hojně se využívají i jiné zobrazovací metody, např. vynesení různých poměrů mezi vybranými kationty a anionty, s tím, že se autoři snaží o co největší rozptýření dat v grafech tak, aby byla lépe patrná charakteristika souboru. Například Jia et al. (2021) nebo Bian et al. (2023) vody charakterizovali dle poměru Na^+ k Cl^- . Tento přístup byl aplikován i pro mariánskolázeňské prameny a výsledek je zřejmý z Obr. 79. Mariánskolázeňské prameny leží přibližně na rostoucí přímce se sklonem 1 : 1. To svědčí o přímém vztahu mezi Na^+ k Cl^- . Poměr zůstává lépe zachován u vyšších hodnot patrně díky lepší přesnosti stanovování vyšších koncentrací. Jedinou výjimkou je zjištěná odchylka ve Ferdinandově zřidelní struktuře, vrt Ferdinand HJ 65, který od přímky výrazně vybočuje. **Ferdinand HJ 65** údajně zastihl vodu s 95,69 mmol/l Na^+ a 3,02 mmol/l Cl^- . Nelze vyloučit, že jde o chybu měření. Autoři pak využili i složitějších poměrů a aplikace tohoto zobrazení výsledků je patrná z Obr. 80 a Obr. 81.

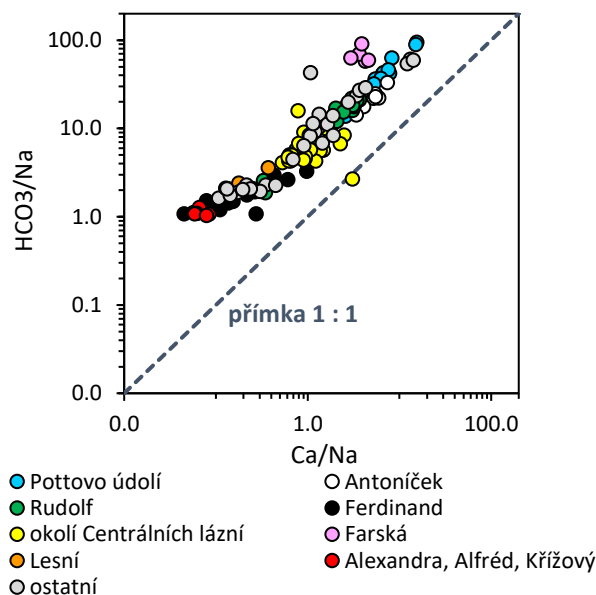


Obr. 79 - Mariánskolázeňské minerální vody dle poměru Na^+ nebo Cl^- .

a) Ca/Na k Mg/Na



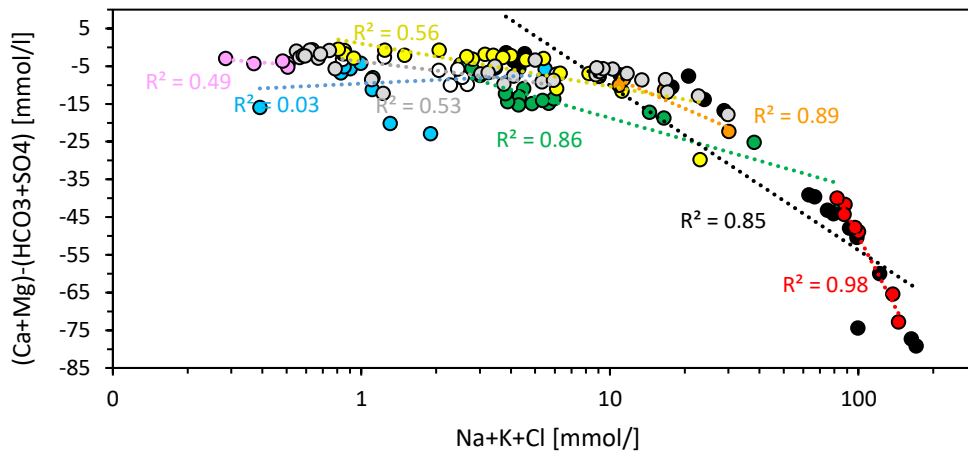
b) Ca/Na k $\text{HCO}_3^-/\text{Na}^+$



Obr. 80 - Klasifikace na základě vybraných hmotnostních poměrů v mg/l mezi kationty a anionty

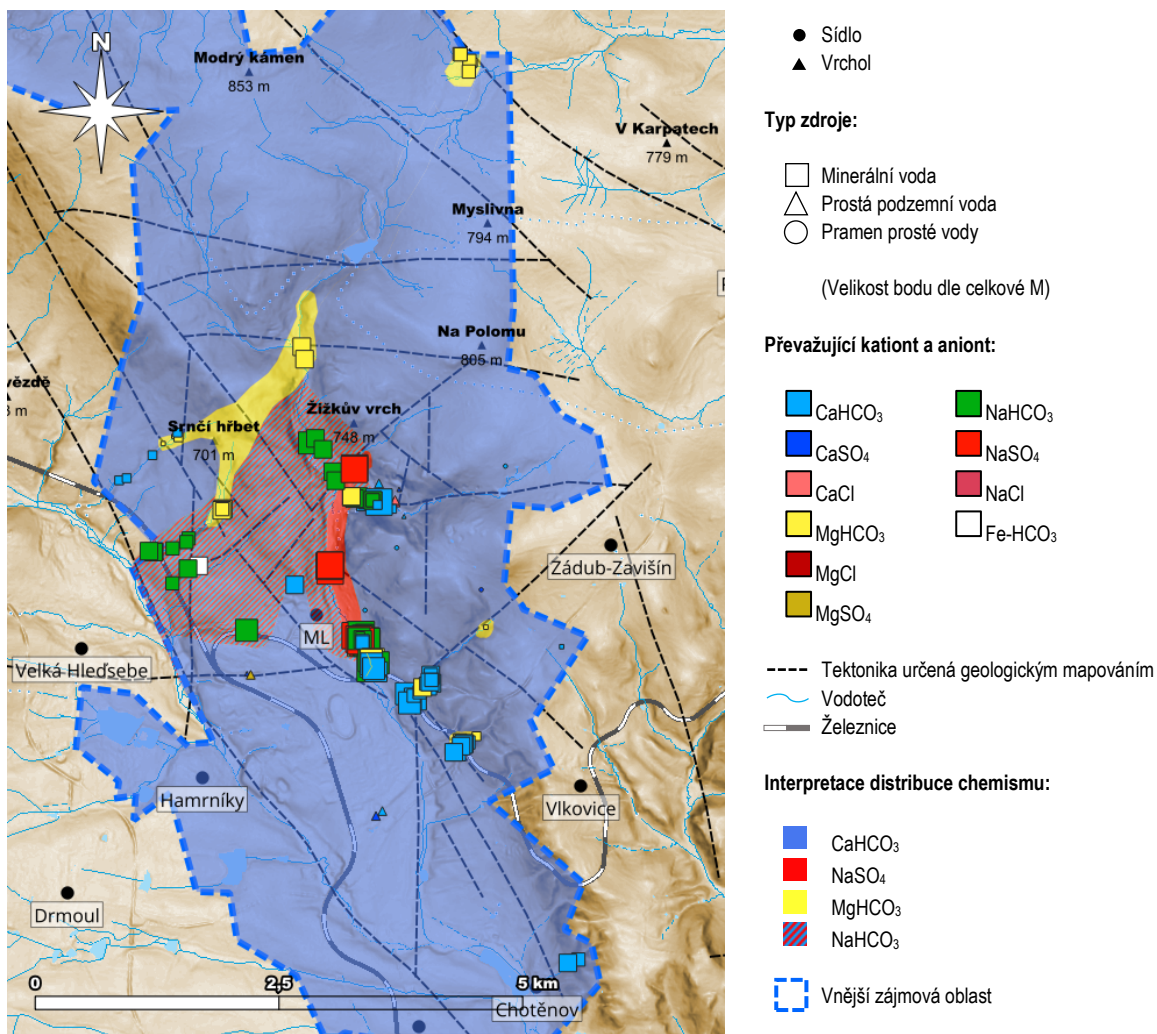
Z poměrů na Obr. 80 je velmi dobře patrné, že jsou prameny na stejné přímce a že jednotlivé zřídelní struktury mezi sebou hydrochemicky přechází, což je stejný závěr, který vyplýval z Piperových diagramů. Mnohem lépe je však pozorovatelné posunutí Farské zřídelní struktury od ostatních mariánskolázeňských pramenů. Jde tedy o zcela odlišný typ minerální vody. Taktéž je zajímavá počáteční deformace křivky bodů na Obr. 80b v oblasti nízkých hodnot velmi mineralizovaných pramenů. Jde o prameny, ve kterých převažuje Na^+ nad Ca^{2+} a přitom hodnota HCO_3^- je vyrovnána s Na^+ . Je možné, že poměr $\text{HCO}_3^- / \text{Na}^+ = 1,0$ je limitní hodnotou pro mariánskolázeňské prameny. Při vnesení dat do těchto složitějších grafů je na Obr. 80b zajímavá malá mezera mezi posledním pramenem Lesního p. a prvním pramenem oblasti Centrálních lázní. Za velmi sofistikovanou poměrovou analýzu považuji tu použitou Jia et al. (2021), kteří na ose x vynášejí součet Na^+ , K^+ a Cl^- a na ose y součet dalších kationtů a z nich odečet ostatních aniontů. Výsledek je pro Mariánské Lázně patrný z Obr. 81. Klasifikace na Obr. 81 je podobná klasifikaci Obr. 79, ale je lépe patrné rozpořádání a trend v mineralizaci. Nejlepších korelací dosahují prameny Křížový, Alexandra a Alfréd a za nimi Ferdinandovy p., Lesní p. a Rudolfovy p. Naopak nejnižší korelace byla zjištěna v Pottově údolí s Antoníčkovou strukturou. Zajímavé je, že ve všech poměrových klasifikacích leží Farská struktura zcela specificky vůči ostatním pramenům. Dílčím zjištěním je, že se na území Mariánských Lázní nalézají pravděpodobně 3 zcela odlišné typy vod. První skupina je vysoce

mineralizovaná a obsahuje vysoký podíl Cl^- . Druhá skupina je minerální voda s nižší mineralizací a téměř bez Na^+ a Cl^- a třetí skupina je bohatá na Mg^{2+} . Jednotlivé typy vod se přitom mezi sebou různě mísí a tvoří komplikovanou hydrochemickou mozaiku mariánskolázeňských chemismů. Při klasifikaci dle hlavního aniontu a kationtu bylo zjištěno, že se na území města nalézají čtyři hlavní hydrochemické typy minerálních vod. Při nezapočítání skupiny Fe-HCO_3 . V případě započtení i chemismu vod neminerálních, je v zájmovém území dle hlavního kationtu a aniontu hydrochemických typů deset. Rozložení hydrochemických skupin v zájmovém území je patrné z Obr. 82.



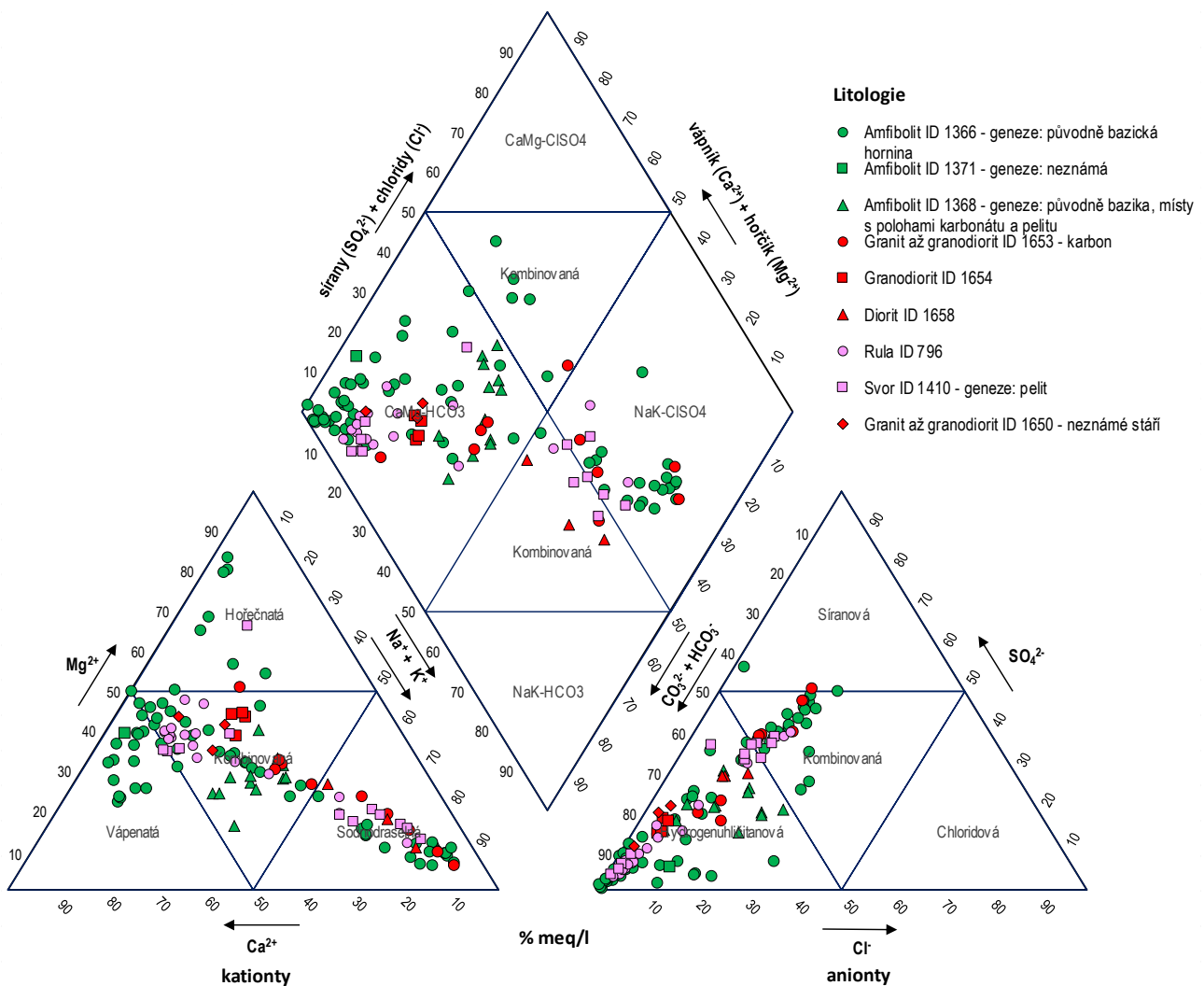
● Pottovo údolí ○ Antoníčkův ● Rudolf ● Ferdinand ● okolí Centrálních lázní ● Farská ● Lesní ● Alexandra, Alfréd, Křížový ○ ostatní

Obr. 81 - Rozdělení mariánskolázeňských struktur dle součtu $\text{Na} + \text{K} + \text{Cl}$



Obr. 82 - Hydrochemická mapa Mariánských Lázní dle dominantních kationtů a aniontů, mapový podklad: DMR 5. generace

Pro názornost byl vytvořen i Piperův diagram, zhodnocující míru vztahu mezi geologií v místě vývěru pramene a chemismem vody. Podkladem byla geologická mapa 1 : 50 000. Litologie byla prameni přiřazena striktně dle místa, ve kterém se vývěr nachází. Výsledek tudíž úzce souvisí s přesností geologického mapování. Pro prameny, u kterých jsou dostupné technické zprávy byla litologie korigována výsledky průzkumných vrtných prací. Z Obr. 83 vyplývá, že exaktně určená geologie z geologické mapy, popř. technické zprávy v místě vývěru neurčuje chemické složení vody. Bylo zjištěno, že korelace s geologií je problematická, a to i přesto, že ve vodách v amfibolitech má teoreticky dominovat Ca^{2+} a HCO_3^- a v granitech typ Na^+ a HCO_3^- . Paradoxní je, že i vývěry např. Farské, Maxovy a Chudé kys. s dominancí Mg^{2+} a HCO_3^- , což svědčí o průchodu infiltrované vody ultrabazickým tělesem, vyvěrají v amfibolitech. Polohy ultrabazitů, např. hadců se v zájmovém území téměř nevyskytují. Od Farské kys. jsou nejbližší hadce zjištěny cca 0,6 km S a od Maxovy malé těleso cca 0,5 km SZ. Vzhledem k výše uvedeným diagramům tedy platí spíše to, že prameny, které se nacházejí ve stejné litologii jsou taktéž ve stejné zřídelní struktuře, což je vůdčím faktorem pro polohu bodů v Piperově diagramu na Obr. 83. Obecně totiž z Piperova diagramu plyne, že žádnou souvislost mezi geologií a chemismem spatřovat nelze. Proto je lepší uvažovat opačným směrem. Lze si totiž říci, že jestliže např. minerální voda v Chudé kys. má 70 % Mg^{2+} v kationtech a nejbližším možným významným zdrojem Mg^{2+} je malé těleso 0,5 km nebo velké 3,9 km vzdálené, znamená to, že tranzitní oblast musí být taktéž minimálně 0,5, resp. 3,9 km dlouhá. Při znalosti dalších parametrů, jako je např. průtok, roční změny teplot vody v prameni, časový rozdíl mezi srážkami a vydatností, lze dle mého názoru poměrně přesně určit směr, hloubku a čas vody strávený v hornině. Je však také nutné mít dobrou znalost o geologickém podloží a znát jeho mineralogické a chemické složení.

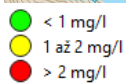
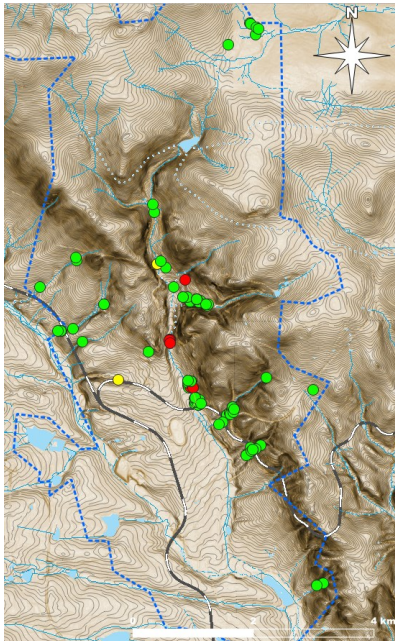


Obr. 83 - Piperův diagram mariánskolázeňských pramenů pro různé litologie

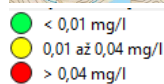
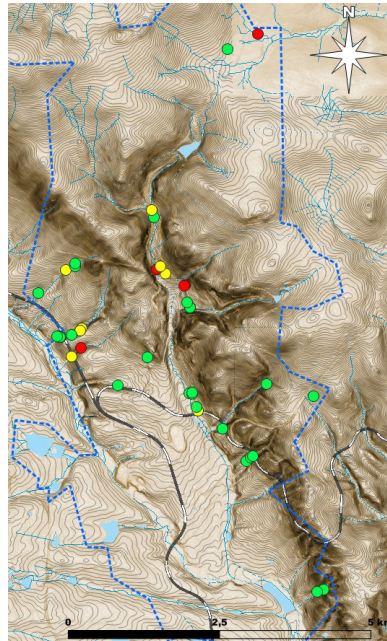
4.2.1.3 Chemismus: mikrokomponenty

Výsledná prostorová variabilita pro stopové kationty je patrná z Obr. 84 a stopové anionty Obr. 85.

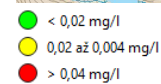
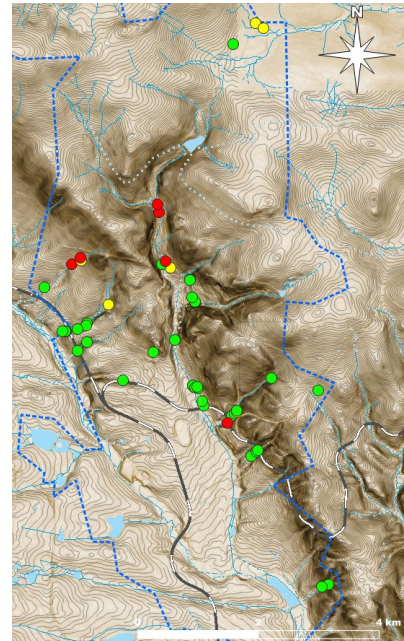
a) Lithium



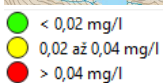
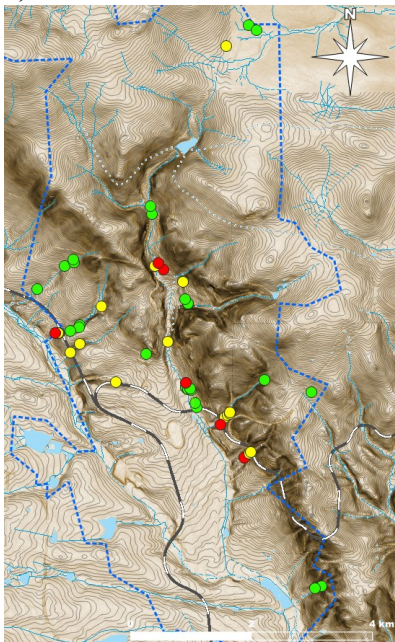
b) Arzén



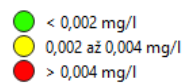
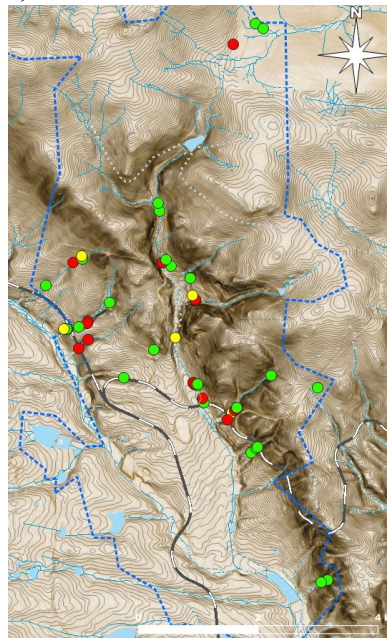
c) Nikl



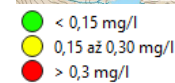
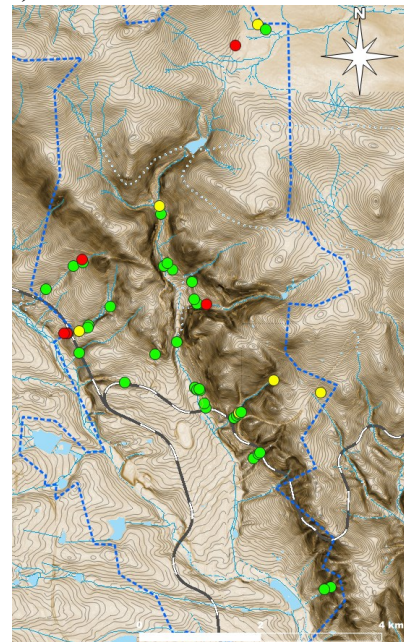
d) Zinek



e) Měď



f) Hliník



Obr. 84 - Prostorová variabilita stopových kationtů v mariánskolázeňských minerálních pramenech, mapový podklad: DMR 5. generace

Lithium

Li^+ může sloužit k určení geneze vody. Jeho nejvyšší koncentrace v západních Čechách jsou ve Františkových Lázních (Glauber IV 10,4 mg/l), ale mariánskolázeňské prameny jsou hned za nimi (Křížový III 5,7 mg/l, Ferdinand HJ 52 4,6 mg/l atd.). Karlovarské minerální prameny mají Li^+ méně (Vřídlo 3,2 mg/l). To by mohlo dle Klíra (1953) svědčit

o tom, že minerální vody, které se nacházejí na *hl. ose* překonávají delší vzdálenost, protože nejbližší těleso s vyšším obsahem Li je více než 3 km daleko. Je však vhodné vztáhnout koncentrace i k celkové M. Při srovnání ekvivalentních procentuálních zastoupení je nejvíce Li⁺ v pramenech v Klášterci nad Ohří (0,9 %), Doubravě (0,6 %) a Františkových Lázních (0,6 %). Až za těmito lokalitami následují Jáchymov (0,5 %), Mariánské Lázně (*hl. osa* 0,4 až 0,6 %, ostatní méně) a Karlovy Vary (0,5 %). Jelikož jsou prameny s vyšší koncentrací Li⁺ vázány pouze na *hl. osu*, lze předpokládat, že koncentrace Li⁺ patrně souvisí s vyšší koncentrací Cl⁻, které jsou na tuto osu vázány také.

Arzén

Zvýšené koncentrace As jsou nalézány v S a Z části zájmového území. Výsledky analýz ukazují, že Křížový III (0,239 mg/l), Lesní p. (0,068 mg/l) i Farská kys. (0,157 mg/l) překračují násobně limit pro pitnou vodu. (viz Tab. 36). Příčina zvýšených hodnot není jistá, neboť ostatní prameny na *hl. ose* zvýšené hodnoty nevykazují. Za zmínku stojí i to, že analýzou sedimentu (půdy) u vývěru Lesního p. byly zjištěny koncentrace As až 1949 mg/kg sušiny, což je mnohonásobné překročení typických hodnot i pro půdy antropogenně ovlivněné (Landa, 2024).

Nikl

Vysoké koncentrace niklu byly změřeny v Maxově (0,049 mg/l), Chudé (0,116 mg/l), Lesním HV 40 (0,078 mg/l), Žabí kys (0,129 mg/l) a dále i ve Farské kys. (0,038 mg/l), Balbínově p. (0,049 mg/l) a v Pott BV 6 (0,200 mg/l). Zvýšené koncentrace Ni²⁺ až na výjimku Pottova údolí tedy tvoří pásmo od Farské po Žabí kys. Všechny tyto uvedené prameny překračují limit pro pitnou vodu.

Zinek

Zvýšené koncentrace Zn jsou v zájmové oblasti více roztráštěny. Zdá se však, že jsou vyšší hodnoty více vázány na chemický typ vody s dominancí Na⁺ a HCO₃⁻, popř. Na⁺ a SO₄²⁻. Jde tedy o vody s obecně zvýšenou mineralizací.

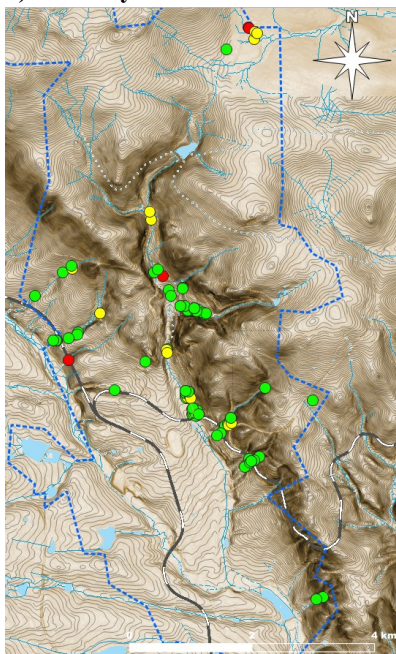
Měď

Koncentrace Cu²⁺ jsou v zájmové oblasti velmi nízké. Vzhledem k tomu, že je limit pro pitnou vodu 1 mg/l a většina mariánskolázeňských pramenů vykazuje koncentrace nižší než 0,002 mg/l, lze konstatovat, že zonálnost není významná.

Hliník

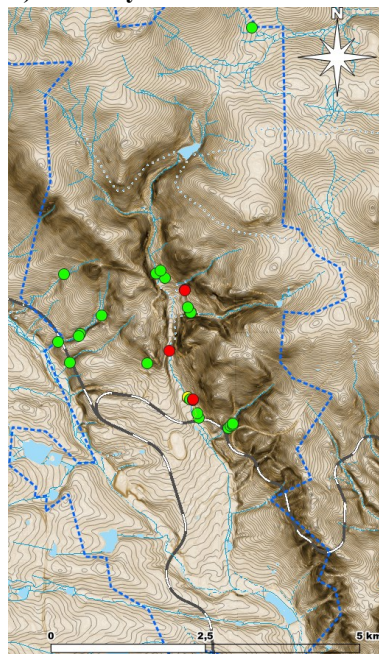
Hliník je ve většině minerálních vod přítomen v minimálním množství. Výjimkou je Žabí (2,04 mg/l), Vlčí II (0,36 mg/l) a III kys. (0,91 mg/l), Ústřední I (0,11 mg/l) a Smraďoch (0,99 mg/l).

a) Fluoridy



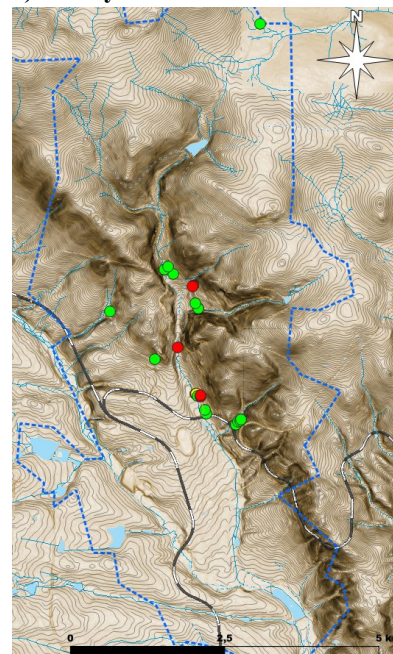
● < 0,3 mg/l
● 0,3 až 0,5 mg/l
● > 0,5 mg/l

b) Bromidy



● < 0,2 mg/l
● 0,2 až 1,0 mg/l
● > 1,0 mg/l

c) Jodidy



● < 0,01 mg/l
● 0,01 až 0,02 mg/l
● > 0,02 mg/l

Obr. 85 - Prostorová variabilita stopových aniontů v mariánskolázeňských minerálních pramenech, mapový podklad: DMR 5. generace

Fluoridy

Z aniontů jsou zvýšené koncentrace F^- zejména v Lesním HV 42 (1,30 mg/l) a Ježčím p. (1,08 mg/l) a Farské zřidelní struktura (až 0,60 mg/l). To může svědčit o interakci vody se slídkami, které jsou na fluor mírně bohatší. Obecně jsou však mariánskolázeňské prameny na fluor chudé. Například v Kyselce (Mattoni 3,9 mg/l) nebo Karlových Varech (Mlýnský p. 6,7 mg/l) jsou koncentrace prakticky desetinásobné (Nevoral a Lstibůrková, 1991).

Bromidy a jodidy

Bromidy a jodidy vypovídají o genezi vody. Br^- a I^- zpravidla doprovázejí Cl^- . Velkým zdrojem Br^- i I^- je mořská voda, fosilní minerální voda a ropné vody (Pitter, 2019). To je vidět i v případě Mariánských Lázní, protože nejvyšší koncentrace Cl^- jsou na *hl. ose* od Křížového přes Alexandřina p. po Ferdinandovy p. a zvýšené koncentrace Br^- i I^- tomu jednoznačně odpovídají.

Pro přehlednost jsou maximální zjištěné koncentrace stopových prvků shrnuty v Tab. 36.

Tab. 36 - Srovnání nejvyšších koncentrací stopových prvků v pramenech s limitem pro pitnou vodu. Jsou využity pouze nejaktuálnější analýzy k jednotlivým minerálním pramenům.

stopový iont	Limit dle vyhl. č. 83/2014 Sb. (Česko, 2014) [mg/l]	Nejvyšší koncentrace [mg/l]	Pramen	Rok analýzy
Li^+	-	5,65	Křížový III	2019
Fe^{2+}	0,20	262	Medvědí HJ 1	1991
F^-	1,5	1,3	Lesní HV 42	2014
Br^-	-	2,41	Ferdinand I	2018
I^-	-	0,058	Ferdinand I	2018
Ni^{2+}	0,020	0,200	Pott BV 6	1996 - kovy ve filtrátu
Zn^{2+}	-	9,80	Pott BV 6	1996 - kovy ve filtrátu
Cu^{2+}	1	0,744	Ambrož II	2019
Al^{3+}	0,20	2,04	Žabí kys. P069/004	2024
As	0,01	0,239	Křížový III	2019
Pb^{2+}	0,010	0,019	Pott BV 6	1996 - kovy ve filtrátu

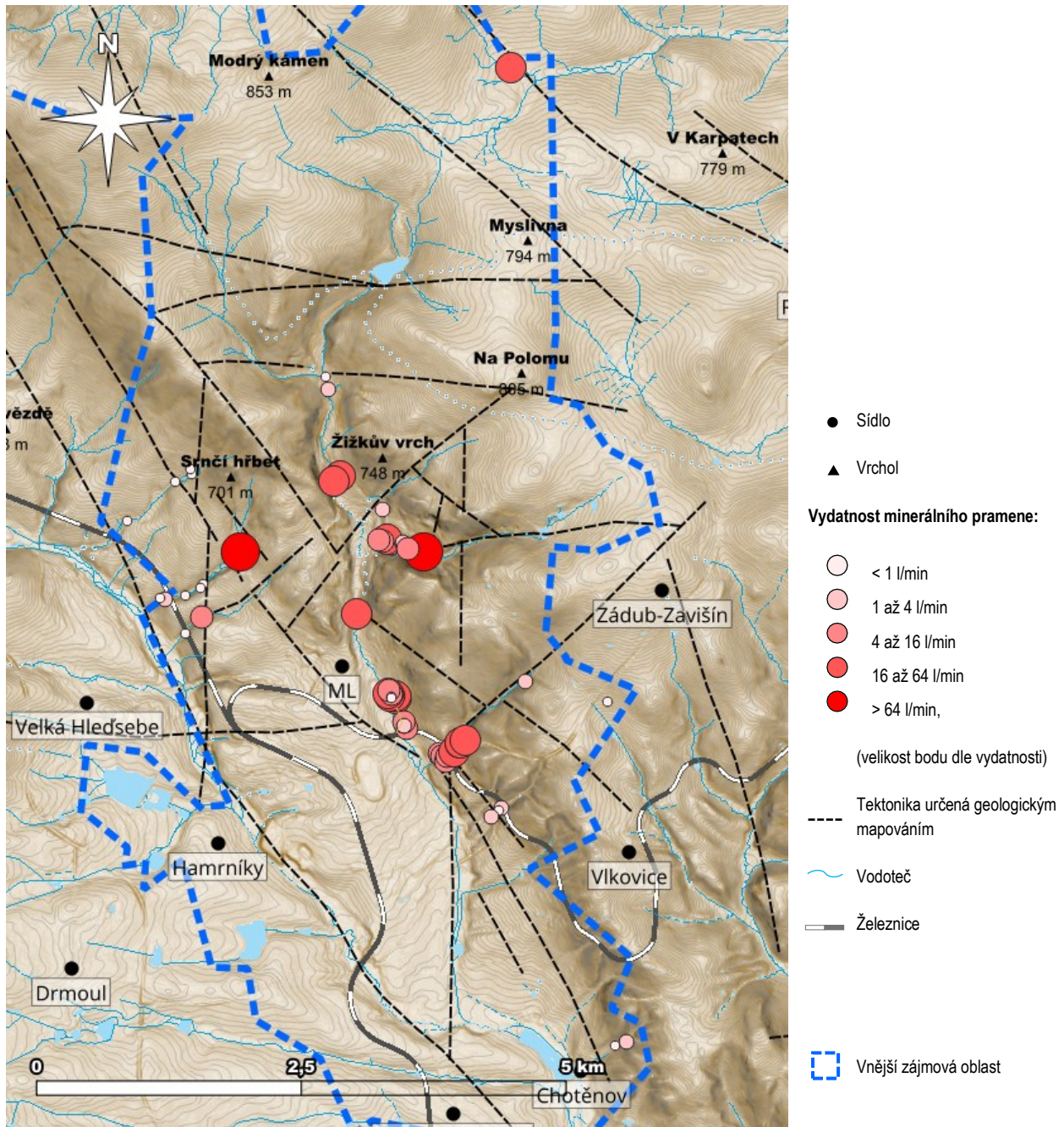
4.2.1.4 Vydatnost

Problematika vydatnosti jednotlivých mariánskolázeňských pramenů je dosti komplikovaná, jelikož by bylo správné rozlišovat mezi čerpaným množstvím, skutečnou vydatností přetoku přes přelivovou hranu přibližně v úrovni terénu a také vydatností celé zřidelní struktury. Například ve struktuře Ferdinandova p. jsou vrty, které se ovlivňují a jímají vodu podobného chemismu, započítávají se separátně, ale teoreticky by mohly být vydatnosti vrtů sečteny. Opakem je pak vydatnost struktury Alexandřina p., kde je pouze jeden jímací vrt **Alexandra BJ 12**, což vydatnost na první pohled zvyšuje. Z tohoto důvodu je výsledná syntéza vydatností mariánskolázeňských pramenů velmi variabilní. Obecně lze sice říci, že je vydatnost velmi mineralizovaných pramenů menší než těch méně mineralizovaných, na druhou stranu je velký rozdíl ve způsobech jímání. Příklad velkých rozdílů v jímání pramenů je patrný i na *hl. ose*, kde např. vrt **Ferdinand HV 44 Edward VII** a **HV 43 Augustin** vodu přímo čerpají a je povolena určitá úroveň snížení a čerpání. U Alexandřina p. je naopak instalován v určité hloubce plynotěsný obturátor a u Křížového p. dochází k samovolnému vývěru na povrch terénu. Z tohoto důvodu je také vydatnost Křížových p. nejnižší ve srovnání s ostatními prameny na *hl. ose*.

Zónou s nejvyšší vydatností je údolí Úšovického potoka (viz Obr. 86), ve kterém se nalézá Lesní, Ferdinandova i Rudolfova zřidelní struktura. Zajímavým zjištěním je vysoká vydatnost Farské kys., což je neočekávané vzhledem k tomu, že jde o nejvýše položený pramen v zájmové oblasti. Je pravděpodobné, že vydatnost pramenů je předurčena tektonicky, kdy na celkovou vydatnost má vliv stáří puklin, tektonická expozice, petrografické složení hornin, tvar horninových těles, rozpustnost hornin a hydraulické gradienty v puklinových systémech. Obecně jsou zřejmě propustnější kyselá hornina než bazická (Hynie, 1963), což na příkladě mariánskolázeňských pramenů patrně není. Z Obr. 86 můžeme dále vyčíst to, že nejvydatnější prameny jsou ty, ze kterých se čerpá. Jde hlavně o Balbín BJ 1 nový ($Q = \max. 99,6$ l/min), Marie BJ 6 MP nová ($Q = \text{cca } 100$ l/min) a Lesní HV 40 ($Q = \max. 60$ l/min). Z hlediska přirozeného přetoku je pravděpodobněji nejvyšší vydatnosti dosahováno u Farské kys. ($Q = 16$ až 34 l/min), Lesního p. ($Q = \max. 20$ l/min) a starých zachycení ve Ferdinandově zřidelní struktuře (Ferdinand II $Q = \max. 52$ l/min) a Pottově údolí (Sonda V $Q = \max. 60$ l/min). I to je však problematičtěji objektivně vyhodnotitelné, neboť přelivové výšky jsou uloženy v různé hloubce

pod terénem a při mnohých rekonstrukcích se přelivné úrovně umisťovaly hlouběji a hlouběji. Na druhou stranu jsou jisté nejméně vydatné nově objevené prameny a ty, které jsou zachyceny pouze ve vykotlaných kmenech v okolí Mariánských Lázní.

Pro srovnání uvádím, že centrální část Slavkovského lesa (Prameny, Sítiny - Mnichov, Louka - Nová Ves, Číhaná, Hoštec - Jankovice, Farská kyselka a Luční kyselka (Lázně Kynžvart)) má využitelnou vydatnost přes 1200 l/min (Pěček, 1996c). Dokonce 7 výtěrů v oblasti Číhaná mělo celkovou průměrnou vydatnost 480 l/min (Hynie, 1963) a při rozšiřování jímací základny v r. 1992 5 přidaných nových vrtů do struktury mělo úhrnnou vydatnost 340,8 l/min (Reitrová, 1992). Menší vydatnost mají Lázně Kynžvart, kde ve 40. letech byla celková vydatnost 40 l/min (prameny Marie, Viktorie, Helena a Richard). Tato vydatnost byla v 50. letech zvýšena tím, že byly vyhloubeny nové vrty hluboké až 80 m (Hynie, 1963).



Obr. 86 - Čerpaná množství, resp. vydatnost mariánskolázeňských pramenů, mapový podklad: DMR 5. generace

4.2.1.5 Klasifikační systémy

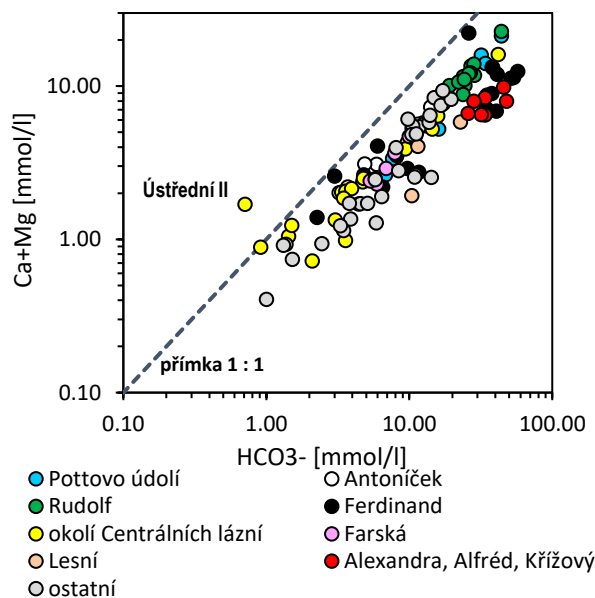
Zonálnost mariánskolázeňských pramenů je provedena dle běžně využívaných klasifikačních systémů.

Klasifikace Alekina

Dle klasifikace Alekina (1946) a úpravě Posochova (1966) lze přírodní vody dělit na:

- I. typ $\text{HCO}_3^- > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ [mmol/l]
- II. typ $\text{HCO}_3^- < (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) < (\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ [mmol/l]
- IIIA. typ $\text{Na}^+ > \text{Cl}^- > (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ [mmol/l]
- IIIB. typ $\text{Cl}^- > (\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+})$ [mmol/l]
- IV. typ $\text{HCO}_3^- = 0$ [mmol/l]

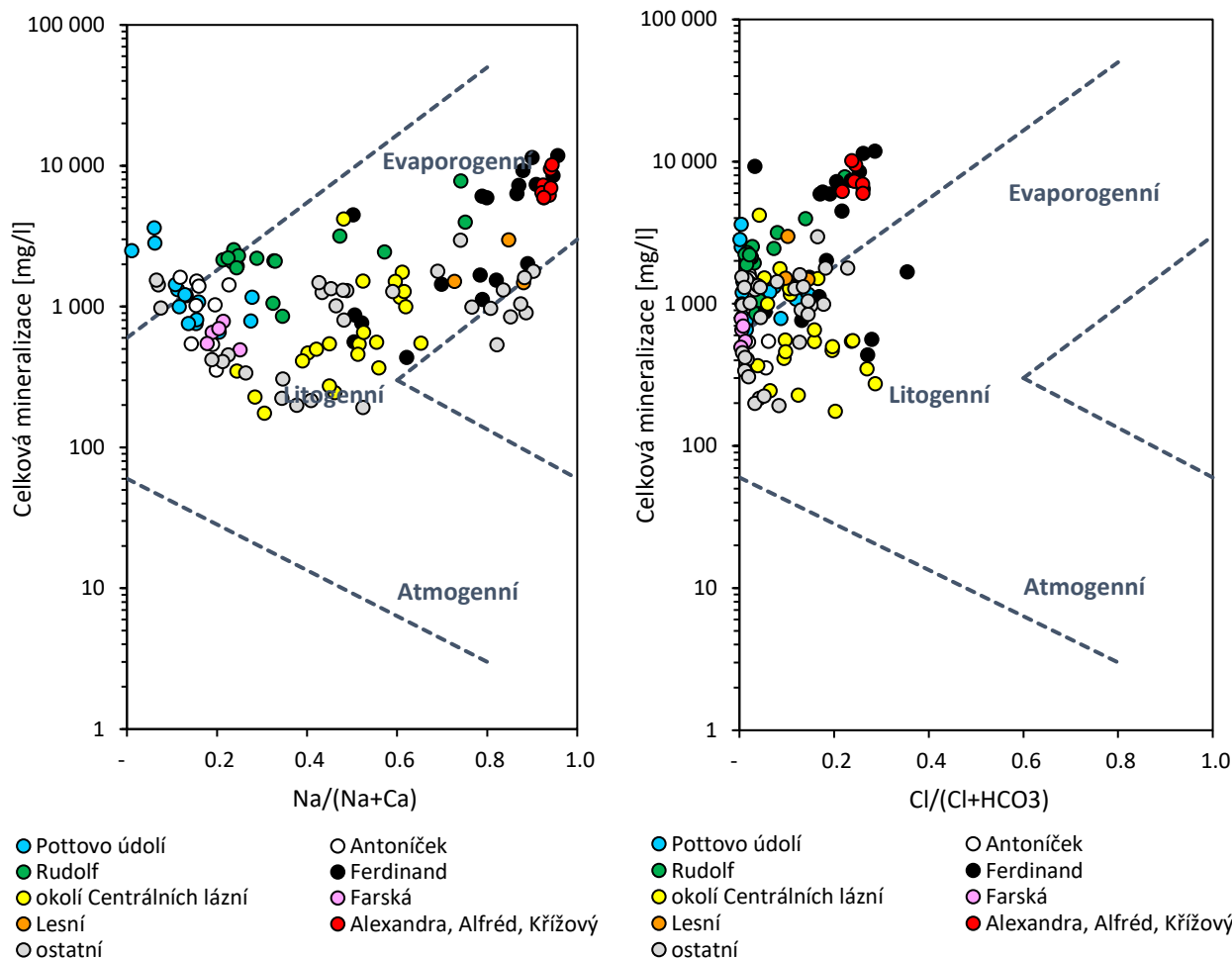
Dle této klasifikace jsou všechny mariánskolázeňské prameny I. typu až na v současné době nevyužívaný bývalý jímací vrt **Ústřední II**. Chemismus Ústředního II je, jak již bylo uvedeno výše, velmi problematický z důvodu neočekávaně vysoké koncentrace SO_4^{2-} na úkor jiných aniontů, tj. i HCO_3^- . Voda z Ústředního II má mít 2,3 g/l rozpuštěného CO_2 a celkovou M 0,3 g/l (Trojan, 1969). Minerální voda z tohoto vrtu je II. typu. To, že jsou všechny výskyty minerální vody v Mariánských Lázních, až na jednu výjimku I. typu je zřejmé z Obr. 87. Výsledkem pokusu o klasifikaci dle Alekina je zjištění, že tento klasifikační systém není pro mariánskolázeňské vývěry vhodný, neboť všechny výskyty minerální vody až na jednu výjimku spadají do stejné skupiny.



Obr. 87 - Poměr HCO_3^- k sumě Ca^{2+} a Mg^{2+} dle Alekina pro mariánskolázeňské prameny

Klasifikace Gibbse

I přesto, že rozdělení přírodních vod na evaporogenní, litogenní a atmogenní dle vybraných hmotnostních poměrů mezi kationty a anionty bylo stanoveno pouze na základě vzorků říčních, jezerních a oceánských vod (Gibbs, 1970), tak se nesprávně (Marandi a Shand, 2018) využívá i v hydrochemii minerálních (Bian et al., 2023) a podzemních vod (Liu et al., 2023). Problematické jsou i jednotky. Samotný hmotnostní poměr i celková M by se dle mého názoru měla spíše vztahovat k molárním koncentracím (mmol/l) než k hmotnostním koncentracím (mg/l). I přes tyto nedostatky byly mariánskolázeňské prameny dle této klasifikace zařazeny a výsledek je patrný z Obr. 88. Z Gibbsových diagramů vyplývá, že řada výskytů minerálních vod vůbec neleží v oblasti pro evaporogenní nebo litogenní vody. Správně by totiž všechny vody měly ležet mezi modře přerušovanými čarami, tj. v evaporogenní, litogenní nebo atmogenní oblasti. Důvodem značného posunu oproti vymezeným kritériím je zvýšený obsah HCO_3^- a zároveň přítomnost Cl^- . Mineralizace je tedy vysoká, ale poměr velmi nízký. Z výsledků tedy plyne, že i přes používání této klasifikace zahraničními autory, není vhodná pro jiné než povrchové vody, tedy pro soubor dat, na kterém byla v r. 1970 klasifikace definována. Důvodem jejího širokého rozšíření je jednoduchost použití.



Obr. 88 - Gibbsovy diagramy (hmotnostní podíly v mg/l) pro mariánskolázeňské minerální prameny

Klasifikace Acciaiuoliho (Acciaiuoli, 1952) je sofistikovanější, neboť dělí vody i na základě obsahu Fe^{2+} , Al^{3+} , NO_3^- . Tato klasifikace nebyla provedena z důvodu chybějících hodnot v souboru dat. V zahraničí se ale využívá.

Klasifikace Stuyfzanda (Stuyfzand, 1986; Stuyfzand, 1988) vody dělí do skupin dle alkality (HCO_3^-) a celkové tvrdosti ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$). Díky dělení na velký počet skupin bylo členění zjednodušeno dle Eggenkamp a Marques (2013) na následující viz Tab. 37. Klasifikace nedává pro mariánskolázeňské prameny smysl, neboť hlavním klasifikačním kritériem v Mariánských Lázních jsou koncentrace Cl^- , a ty do této klasifikace vůbec nevstupují. Navíc jsou meze skupin určeny dohodou.

Tab. 37 - Klasifikace mariánskolázeňských pramenů dle Stuyfzanda

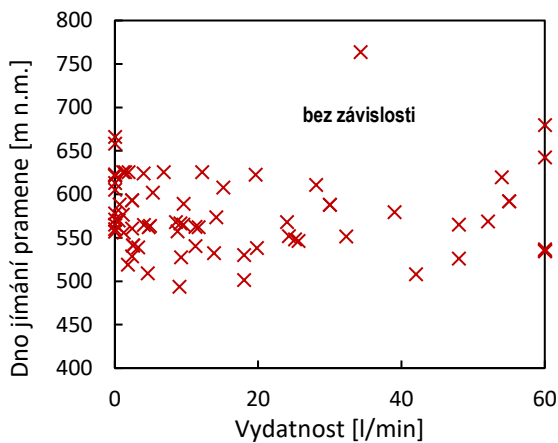
Počet pramenů v každé skupině		Celková tvrdost [mmol/l]		
		0 - 1	1 - 8	> 8
Alkalita [meq/l]	0 - 1	2	1	0
	1 - 8	6	35	0
	> 8	0	51	33

4.2.2 Vertikální zonálnost

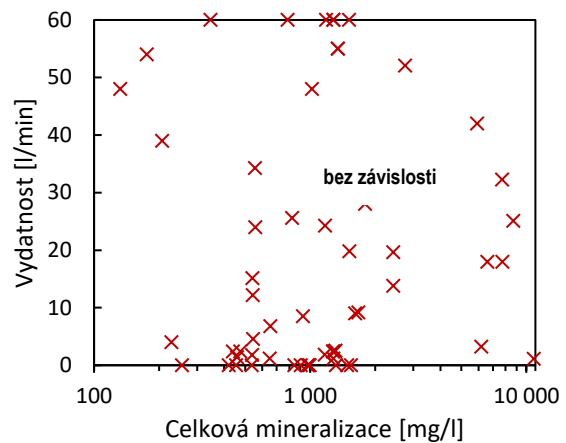
4.2.2.1 Globální vertikální variabilita

Vertikální variabilita je také důležitou součástí celkové rozmanitosti mariánskolázeňských pramenů. Nelze však sestavit hydrochemické mapy, tak jako např. Rosca et al. (2016) v Rumunsku, neboť nejde o jednoznačně definovatelné vrstvy s různým chemismem vod. Hynie (1949) uvádí, že vydatnost pramenů a zřídelných struktur je silně závislá na výškové poloze. Nejvydatnější prameny jsou ty, které se nacházejí nejjižněji, jsou tedy v nižší nadmořské výšce a vydatnost klesá směrem ke Křížovému prameni, tedy se vzrůstající nadmořskou výškou. Pro ověření této hypotézy byl sestaven graf Obr. 89. Z grafu je patrné, že závislost mezi nadmořskou výškou jímání minerální vody a vydatností není

průkazná. Je to dáno zejména tím, že záleží na způsobu jímání. V tomto ohledu nepomohla ani redukce souboru dat na prameny, které mají volný přetok nebo odfiltrování nově objevených, a přitom málo vydatných, pramenů. Čerpáním lze dosáhnout vyšší vydatnosti než přelivovou vázou. Dalším aspektem je i množství jímacích objektů v rámci zřidelní struktury. Ukázkou různorodosti vydatnosti je právě **Farská kys.**, která má 16 l/min (28.6.2024) až 34 l/min (30.12.2023) a je zároveň nejvýše položeným pramenem v Mariánských Lázních. Naopak nízko je položen p. **Antoníček BJ 6**, který má vydatnost vyvedení do kašny 4,97 l/min (28.6.2024) a o jeho dalším využití nejsou informace. Stejným případem je i **Koňská kys.** se svou vydatností 1,86 l/min (28.4.2024). Za nejvydatnější zřidelní struktury lze považovat strukturu okolí Centrálních lázní, Ferdinandova p. a Pottovo údolí, které mají přibližně stejné vydatnosti, cca 160 l/min, ale leží v různých nadmořských výškách. Pro úplnost byl v této souvislosti vytvořen i graf závislosti Q pramenů na celkové M viz Obr. 90. Ani zde není závislost zřejmá, a to přesto, že obecně při vyšších vydatnostech lze předpokládat vyšší rychlost proudění podzemní vody, a tím kratší kontakt vody s okolní horninou, což vede k nižší mineralizaci. Důvodem je, pravděpodobně, opět technologie odběru vod (čerpání).

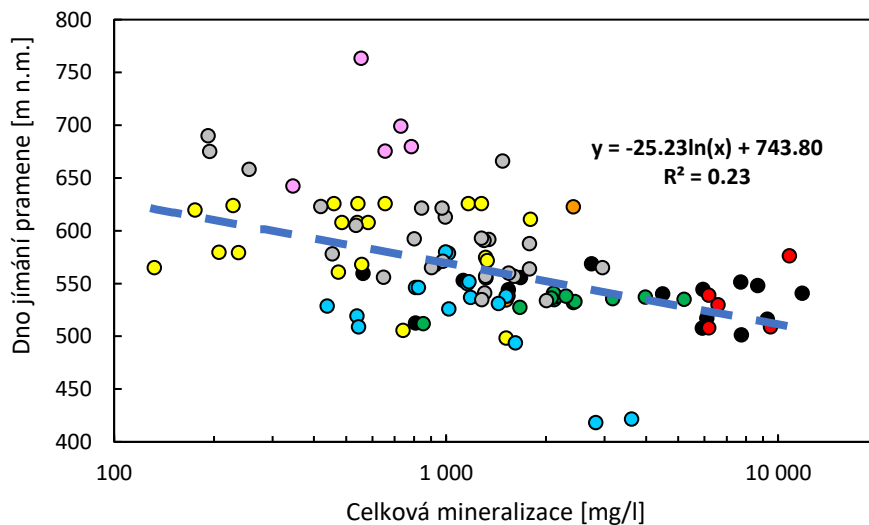


Obr. 89 - Vztah vydatnosti zdroje k nadmořské výšce



Obr. 90 - Vztah celkové mineralizace k vydatnosti zdroje

Hynie (1963) dále uvádí, že závislost celkové M na nadmořské výšce již tak patrná není. Proto byl sestaven i graf na Obr. 91. Zde závislost patrná naopak je. Více mineralizované prameny jímají vodu z větší hloubky než ty méně mineralizované. Korelace by byla ještě lepší, kdyby se nezapočítala anomální zřidelní struktura Farské kys. a velmi hluboké vrty v Pottově údolí, které zastihly méně mineralizovanou vodu. Při interpretaci zvyšující se mineralizace s hloubkou jímání je důležité myslet ale na to, že v Mariánských Lázních se vyskytuje více hydrochemických typů vody, a tudíž graf znázorňuje i to, že specifický typ vody je vázaný na určité místo v dané nadmořské výšce.

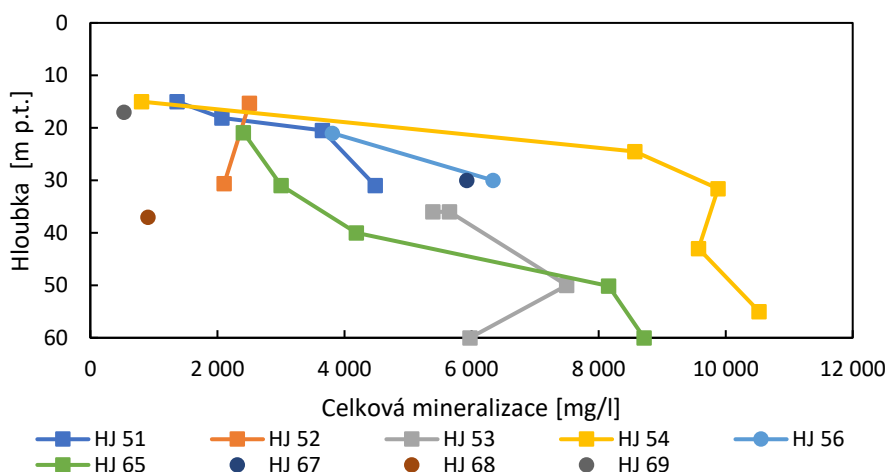


- Farská
- Ferdinand
- Křížový, Alexandra a Alfréd
- Lesní
- Oblast cent. lázní
- Pottovo údolí a Antoníček
- Rudolf
- ostatní

Obr. 91 - Vztah celkové mineralizace k nadmořské výšce pro mariánskolázeňské prameny

4.2.2.2 Lokální vertikální variabilita

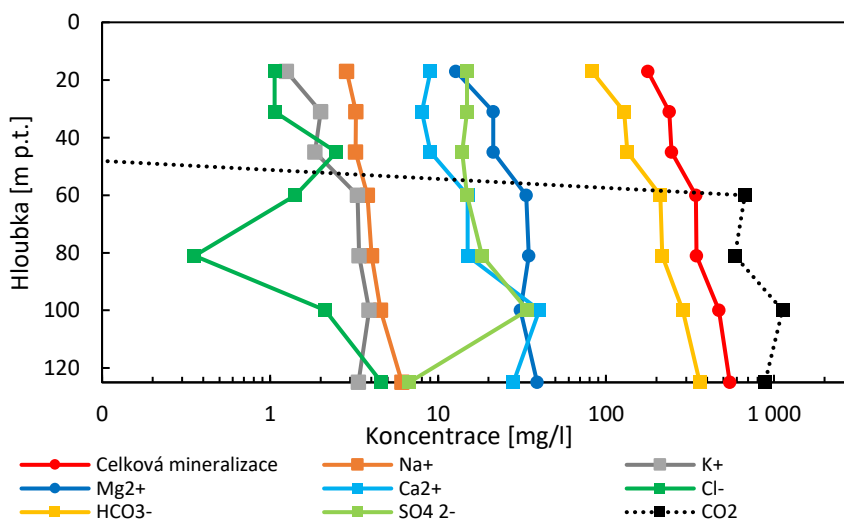
Vertikální změna v celkové M není patrná jen napříč zřídelními strukturami, ležícími v různých nadmořských výškách, ale i v konkrétních vrtech, ve kterých se vzrůstající hloubkou roste koncentrace iontů. Příkladem jsou Ferdinandovy p. (Obr. 92) nebo vrt Farská BJ 1 FK (Obr. 93).



Obr. 92 - Vertikální zonálnost zřídelní struktury Ferdinandova p. (zdroj dat: Pěček, 1991a)

Důvodem pouze bodových informací z vrtu **Ferdinand HJ 67, 68 a 69** je, že nebylo při vrtných pracích provedeno více rozborů. Způsob vrtní byl takový, že se v pravidelných intervalech zastavily vrtné práce a usutečnila tzv. informační HDZ, která trvala nejčastěji 3 dny. Při čerpání byl odebrán vzorek vody na chemickou analýzu a po ukončení HDZ se pokračovalo ve vrtných pracích. Z Obr. 92 plyne, že každý vrt zastihl velmi mineralizovanou vodu v jiné hloubce a to i přesto, že jsou paty vrtů přibližně ve stejných nadmořských výškách. Z toho plyne to, že jsou i jednotlivé zřídelní struktury s narůstající hloubkou p.t. hydrochemicky heterogenní, a to již na vzájemnou vzdálenost několika desítek metrů. Svědčí to i o tom, že vody stejné celkové M nejsou v rámci jedné struktury vázány na stejnou hloubku, tj. že po dosažení určité hloubky bude zjištěna stejná mineralizace. Pokles celkové M u vrtu Ferdinand HJ 52 a HJ 65 může být dán precizností odběru nebo tím, že jsou mineralizovanější vody vázány jen na určitou hloubku. K ověření hypotézy by bylo třeba vrty udělat hlubší nebo zhustit odběrový interval vzorků.

Vertikální zonálnost, již ne pouze v rostoucí celkové M, ale i hlavních kationtů a aniontů je pozorovatelná i ve Farské zřídelní struktuře, např. ve vrtu **Farská BJ 1 FK** (Obr. 93). Mineralizace s hloubkou roste a stejně tak i všechny hlavní ionty. Ty však nerostou proporcionálně stejně rychle. Při srovnání výsledku analýzy v 17 m p.t. a 125 m p.t. vychází, že koncentrace HCO_3^- a Cl^- rostou tempem 1,4 % / 1 m, ale Na^+ a K^+ rostou pouze o 0,8 a 0,9 % / 1 m. To znamená, že se s hloubkou potenciálně mění i hydrochemický typ vody. Přítomnost rozpuštěného CO_2 ve vodě byla zjištěna až od hloubky 60 m p.t., v nižších hloubkách CO_2 detekováno nebylo.



Obr. 93 - Vertikální zonálnost vrtu Farská BJ 1 FK (zdroj dat: Trojan, 1983a)

Při vyhodnocování všech výsledků vrtných průzkumů bylo zjištěno, že lze rozdělit zřidelní struktury na ty, ve kterých se vertikální zonálnost projevila a na ty, ve kterých se neprojevila. Příkladem struktury bez zjištěné vertikální zonálnosti je Rudolfova struktura. V r. 1989 byl ukončen vrtný průzkum, v rámci něhož se vybudovalo 13 průzkumných cca 30 m hlubokých vrtů. Vertikální zonálnost, tak jako tomu bylo v případě Ferdinandovy struktury, která je vzdálena pouze 300 m, se ale neprojevila. Důvodem může být nedostatečná hloubka vrtů, tj. pouze cca 30 m, nižší preciznost při správném odběru vzorků, ale i to, jak vypadá morfologie přírodních cest minerální vody k průzkumným vrtům. Rudolfovy p. jsou totiž, až na výjimky vody s dominancí iontu Ca^{2+} a HCO_3^- a vody jsou méně mineralizované. Na rozdíl od Ferdinandovy struktury, kde jsou vody více mineralizované, a hlavně s dominancí Na^+ a SO_4^{2-} . Z toho plyne to, že každá vřidelní struktura je patrně specifická i morfologií přírodní cesty a geologickou predispozicí, která např. díky jílovité vrstvě může izolovat minerální vody více typů.

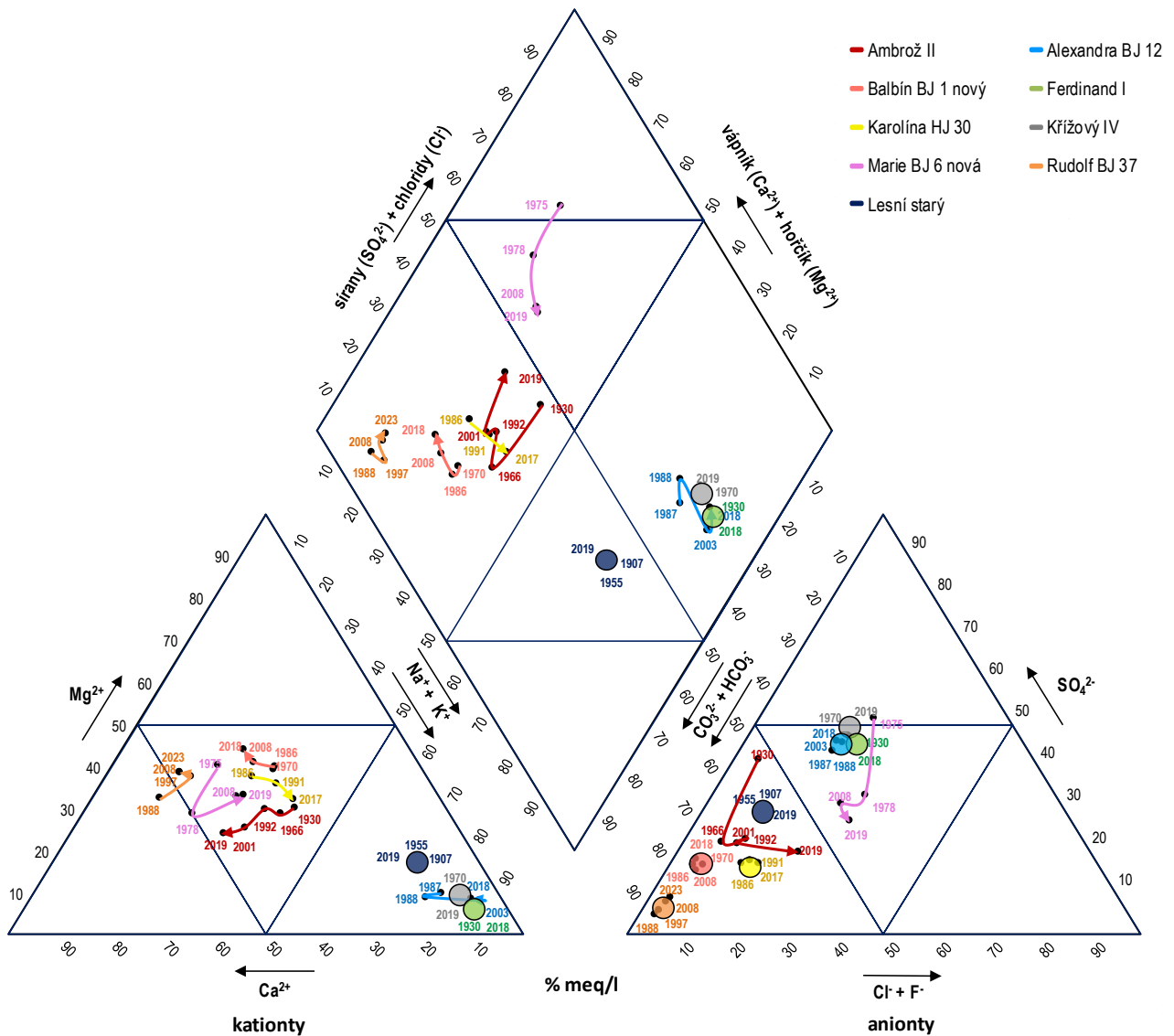
4.2.3 Časová variabilita

Z hlediska posouzení časové variability byl klíčový rok 1927, kdy bylo zavedeno pravidelné pozorování a měření jímaných a využívaných pramenů v Mariánských Lázních (Myslil a Václ, 1966). Proto je starších analýz mnohem méně. V této kapitole jsou tyto historické chemické analýzy vyhodnoceny v kontextu nových měření.

4.2.3.1 Rozpuštěné látky

Mezi lety 1964 až 1974 řešil Dvořák a Horna (1976) výzkumný úkol, který měl za cíl zjistit změny chemismu vybraných jímaných pramenů. Byla provedena důkladná rešerše archivních analýz, kdy první analýzy pochází již z roku 1817, kdy byl analyzován Křížový p. Bylo však nutné přepočítat koncentrace ze solí na dnes užívané vyjadřování v iontech. Informačně využitelné byly pouze ty soli, které byly jasně definované (NaCl , K_2SO_4 atp.). S přijatelnou přesností mohly být vypočteny koncentrace SO_4^{2-} a Cl^- . První vyjádření koncentrací v dnes užívané podobě provedl Zörkendörfer v r. 1911. Během úkolu (Dvořák a Horna, 1976) bylo z vybraných pramenů odebíráno po dobu 10 let 10 až 15 vzorků ročně na analýzu HCO_3^- , Cl^- a SO_4^{2-} tak, aby mohla být data porovnatelná. Vesměs byl zjištěn poklesový trend mineralizace. Na jejich práci je touto kapitolou navázáno. Pro posouzení změn chemismu byly vybrány ty prameny, které mají dostatečnou časovou řadu pozorování a které jsou stále využívané pro lázeňské účely (PLZ). Zároveň byly vybrány prameny málo i velmi mineralizované, tak aby se daly výsledky vztáhnout k celému mariánskolázeňskému zřidelnímu systému. Souhrn změn ve složení vybraných mariánskolázeňských pramenů je zřetelný z Obr. 94.

Z Obr. 94 plyne, že se chemismus minerálních pramenů v posledních desetiletích značně proměnil. To i přesto, že jsou vybrané prameny v ochranném pásmu, které bylo prvně plošně vymezeno v r. 1866, v r. 1920 spojeno s Lázněmi Kynžvart (Myslil a Václ, 1966) a moderně ustanoveno již 13.11.1959 (MZ, 1959) a rozšířeno 30.5.2005 (MZ, 2005). Všechny sledované prameny náleží do I. stupně pro přírodní léčivé zdroje zřidelní oblasti. Obecně lze říci, že jsou v minerálních vodách koncentrace aniontů stálejší než kationtů. Největší změna chemismu nastala u pramene **Ambrož II** a **Marie BJ 6 MP nová**. Nelze ale pozorovat společný trend změny chemismu pro všechny mariánskolázeňské p. Dlouhodobě stálé poměry hlavních iontů v meq/l vykazují prameny Ferdinand I, Lesní a Křížový IV. I přesto, že poměry zůstávají zachovány, tak se u těchto pramenů mění celková M. Na časových změnách je kromě směru podstatné sledovat i průběh trajektorie a rychlost změny. Jak je vidět z Obr. 94, u některých pramenů je vývoj chemismu cca lineární (např. Balbín BJ 1 nový), ale u některých je trend v čase proměnlivý. Například Ambrož II vykazoval nejprve zvyšování podílu HCO_3^- , ale od roku 1966 dochází k opětovnému poklesu podílu, společně se vzrůstajícím podílem Cl^- . Podobným případem je i **Rudolf BJ 37**, u kterého došlo v r. 1997 k ukončení růstu podílu Mg^{2+} a začal stoupat podíl Ca^{2+} na úkor Na^+ a K^+ . Důvody těchto změn nejsou jasné. Vyhodnocení rychlostí změn je provedeno v Tab. 38

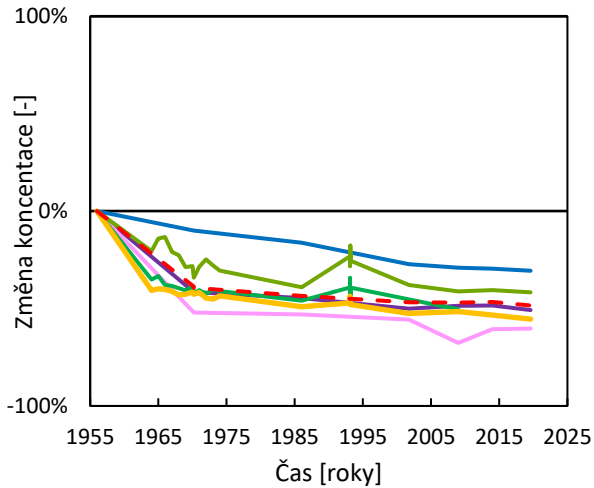


Obr. 94 - Časová změna poměrů mezi hlavními ionty u vybraných mariánskolázeňských pramenů

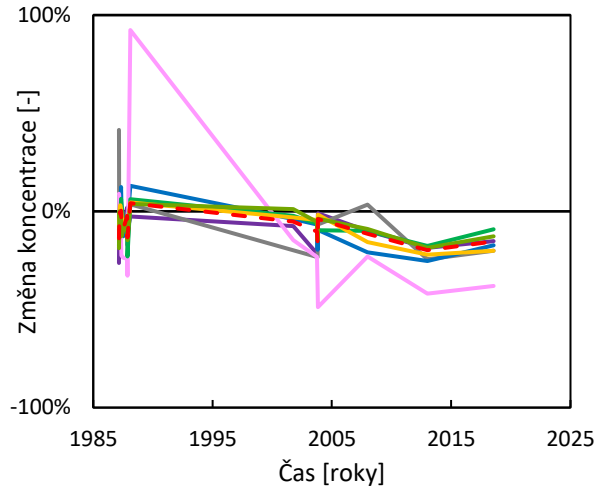
Změny ve složení minerálních vod byly a jsou pozorovány i na jiných lokalitách v ČR, např. v Teplicích v Čechách (Polívková, 2012), Karlově Studánce (Habrda, 2009), Šaraticích (Oujezdský, 2009) aj. Nutno podotknout, že tak, jak je tomu i u jiných zřídelních struktur (Františkovy Lázně, Dolní Kramolín, Konstantinovy Lázně), tak i v mariánskolázeňských pramenech došlo v 80. a 90. letech k náhlému zvýšení NO₃⁻ i NH₄⁺. Jejich zdrojem byla jak zemědělská činnost, konkrétně hnojení, tak atmosférické emise NO_x (Škuthan et al., 2002).

Jak již bylo zmíněno, mariánskolázeňské prameny se vyznačují časově proměnlivým složením. Obecně můžou koncentrace iontů ve vodě zůstat neměnné, nebo mohou stoupat anebo klesat. Případně může dojít ke kombinaci trendů pro jednotlivé ionty, a díky tomu se pramen v Piperově diagramu posouvá. Pro detailní posouzení toho, co se skutečně v čase s chemismem minerálních pramenů děje, byly vytvořeny Obr. 95 a Obr. 96, na kterých jsou prokázány změny hydrochemického složení v čase. Vývoj je vyjádřen v procentech změny z iniciálního stavu, čímž jsou myšleny nejstarší chemické analýzy minerální vody z daného pramene nebo ukončení prvotních HDZ. Za velkou škodu považují, že se nepodařilo převést do vyhodnotitelné podoby všechny historické analýzy. Jde hlavně o pravidelné rozборы PLZ z 80. a 90. let. Byly totiž ukládány do formátu souboru, který se nepodařilo otevřít. Patrně šlo o specifický typ určený pouze na chemické analýzy a možná byl vytvořen speciálně pro danou organizaci. Ve fyzické podobě se rozборы dohledat nepodařilo.

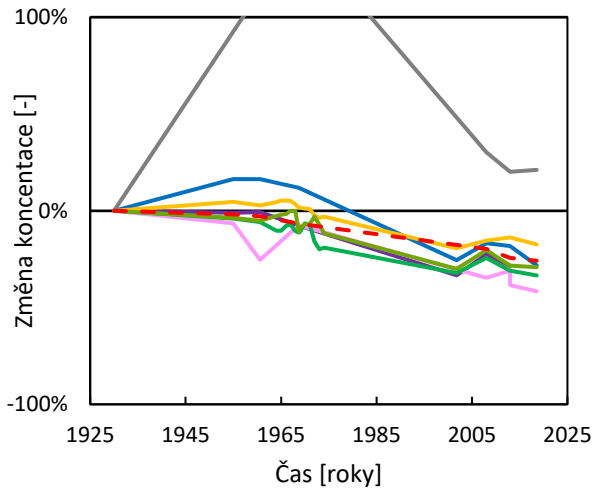
a) Křížový IV



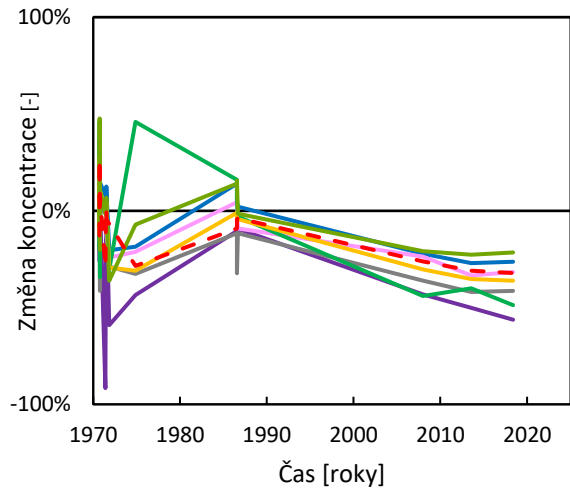
b) Alexandra BJ 12



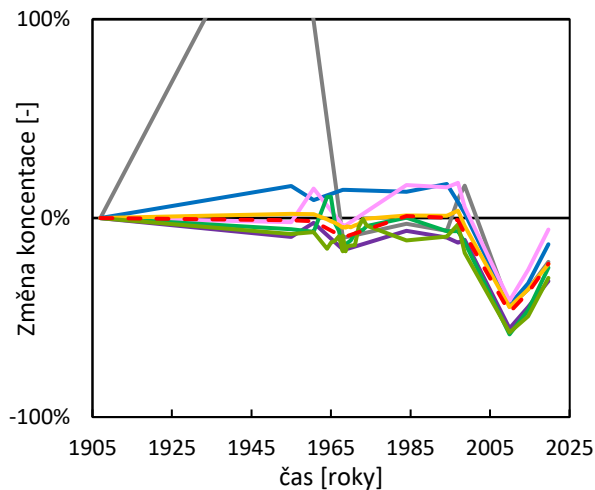
c) Ferdinand I



d) Balbín BJ 1 nový



e) Lesní

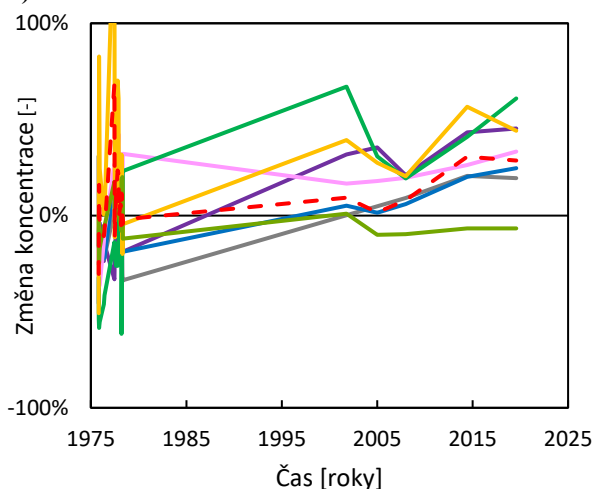


Obr. 95 - Vybrané mariánskolázeňské prameny s klesající, popř. stabilní mineralizací;
 — Na^+ , — Ca^{2+} , — K^+ , — Cl^- , — Mg^{2+} , — HCO_3^- , — SO_4^{2-} , - - - Celková M

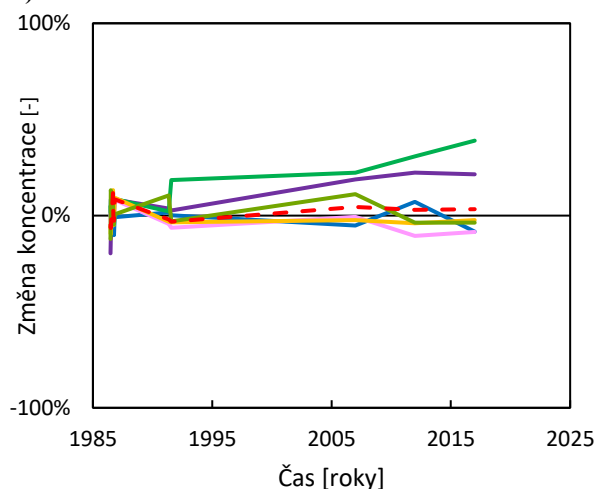
Zjištění dlouhodobých trendů mineralizace přináší zásadní poznatek v tom, že nejvíce mineralizované prameny, tj. **Křížový IV**, **Alexandra BJ 12** a **Ferdinand I**, zcela prokazatelně vykazují pokles všech hlavních iontů. Výjimkou může být K^+ u Ferdinandova p. I. U pramene Alexandra BJ 12 trend není v takové míře pozorovatelný z důvodu kratší časové řady. Pokles svědčí buď o vymývání horninového prostředí, tudíž ubývá vsáklé fosilní mineralizace, anebo je pouze pramenní struktura nadužívána a dochází k jejímu přetěžování. K tomu by ale minimálně u Křížového IV, resp.

celé zřidelní struktury Křížového p., docházet nemělo, neboť není čerpáno. Obecně přijímanějším vysvětlením je i přesto přetěžování struktury, neboť je koncepce vsáklé mineralizace v puklinovém prostředí hůře představitelná. Na druhou stranu by to pak vedlo k tomu, že složení vody v Mariánských Lázních je dáno pouze funkcí rozpustnosti horninotvorných minerálů v horninách. Na třetí stranu by pak měla koncentrace Cl^- a Na^+ ve vodách klesat rychleji než ostatní ionty, což není sledováno. Na čtvrtou stranu je možné, že k přetěžování stačí, aby se čerpalo kdekoliv na *hl. ose* a prameny jsou hydraulicky provázány. Problematika poklesu mineralizace je ve vztahu ke genezi vod dále rozebírána v *kap. 4.4 o karlovarském typu minerálních vod*. Z výsledků je dále patrné, že u nejvíce mineralizovaných pramenů ubývá nejrychleji Ca^{2+} . Velmi zajímavé zjištění přináší **Lesní p.**, protože během pozorování od r. 1905 do r. 1998 bylo složení téměř vyrovnané. Zvýšení K^+ je pravděpodobně dáno chybou měření, tak jako v případě Ferdinanda I, ale poté měření v r. 2009 prokázalo náhlý pokles mineralizace o cca 60 %. Vzhledem k průzkumným hydrogeologickým pracím se lze domnívat, že je změna zapříčiněna novým jímacím vrtem **Lesní HV 40**, který byl vybudován do hloubky 100 m v r. 2001. Vrt při HDZ čerpal až 120 l/min při snížení 18,2 m (viz *kap. 2.4.6 Lesní pramen*). Od té doby dochází k pozvolnému navrácení koncentrací iontů na původní úroveň. Nutno podotknout, že k obnově struktury nedošlo ani po 10 letech od dramatického poklesu. Trend růstu je natolik pomalý, že není pozorován ani nepravidelným vlastním měřením v r. 2022 až 2024.

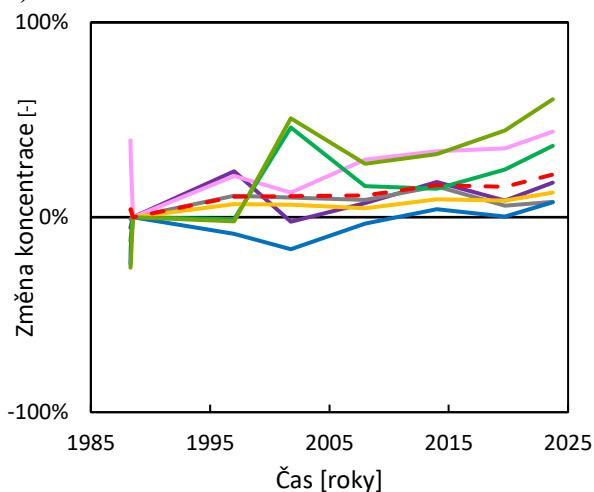
a) Marie BJ 6 MP nová



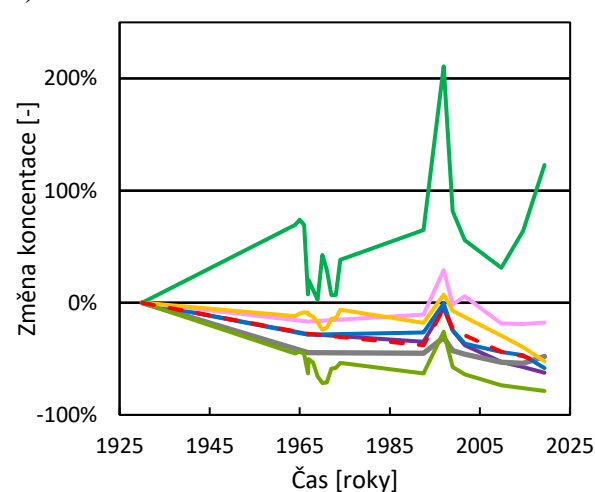
b) Karolina HJ 30



c) Rudolf BJ 37



d) Ambrož II



Obr. 96 - Vybrané mariánskolázeňské prameny se vzrůstající mineralizací;

— Na^+ , — Ca^{2+} , — K^+ , — Cl^- , — Mg^{2+} , — HCO_3^- , — SO_4^{2-} , - - - Celková M

Značná rozkolísanost v počátku měření u Balbínova p. BJ 1 nový a Marie BJ 6 MP nová je dána dlouhodobou HDZ, při které se měnila vydatnost, hladina i pozice čerpadla. Metodika odběru vzorků přitom není známa. Velmi zajímavé hydrochemické změny jsou pozorovatelné v p. **Ambrož II**, protože dokonce postupně dochází ke změně chemického typu z Na-Mg-Ca- HCO_3 - SO_4 (1930) na Ca-Na-Mg- HCO_3 -Cl (2019). Zatímco Cl^- stoupá, tak ostatní ionty pozvolně klesají. Podobný trend je pozorovatelný i u pramene Ambrož I a III, ale na jiných pramenech toto zjištěno

nebylo. Pro přehlednost svodná Tab. 38 udává procentuální změny hlavních iontů v čase. Vývoji makrokomponent v čase se v minulosti věnoval Dvořák a Horna (1976) a nové analýzy se starými poznatky víceméně korespondují. Dílčím závěrem je poznatek, že u málo mineralizovaných pramenů mineralizace stoupá nebo pokles není tak dramatický, jako u nejhodnotnějších mariánskolázeňských p., kde ve všech sledovaných parametrech dochází k poklesu. Zůstává ale otázkou, jak je možné, že u méně mineralizovaných pramenů dochází k významným růstům koncentrací Cl^- , zatímco u více mineralizovaných dochází k pozvolným poklesům. Důvodem mohou být antropogenní vlivy i určitá souvislost s genezí mineralizace ve vodách.

Tab. 38 - Změny v chemickém složení pramenů v % / 10 let

	Celková M	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Iniciální stav*	Současný stav
Alexandra BJ 12	-5 %	-5 %	-6 %	-5 %	-12 %	-3 %	-6 %	-4 %	18.3.1987	24.7.2018
Balbín BJ 1 nový	-7 %	-12 %	-9 %	-6 %	-7 %	-10 %	-8 %	-5 %	27.6.1971	22.5.2018
Ferdinand I	-3 %	-3 %	2 %	-3 %	-5 %	-4 %	-2 %	-3 %	1930	24.7.2018
Karolina HJ 30	1 %	7 %	2 %	-3 %	-3 %	13 %	-1 %	-1 %	19.9.1986	1.1.2017
Křížový IV	-8 %	-8 %	**	-6 %	-9 %	-8 %	-9 %	-7 %	1956	6.8.2019
Marie BJ 6 MP nová	7 %	11 %	5 %	6 %	8 %	15 %	11 %	-2 %	14.12.1977	30.7.2019
Rudolf BJ 37	6 %	5 %	2 %	2 %	13 %	10 %	4 %	17 %	13.7.1988	21.9.2023
Ambrož II	-6 %	-7 %	-5 %	-7 %	-2 %	14 %	-6 %	-9 %	1930	13.5.2019
Lesní ***	-2 %	-3 %	-2 %	-1 %	-1 %	-2 %	-2 %	-3 %	1907	16.9.2019

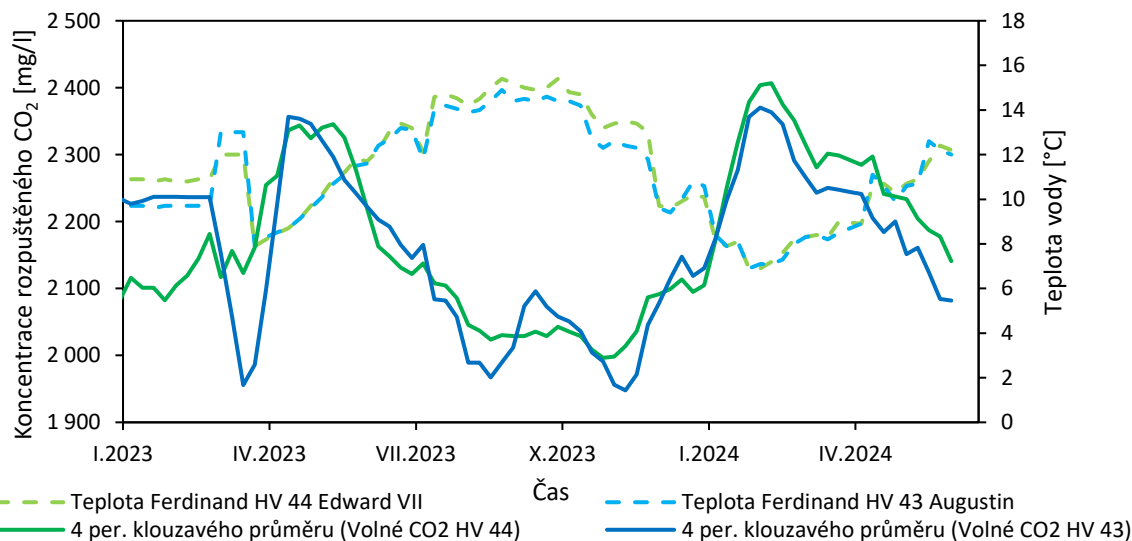
Poznámka: * iniciální stav byl zvolen s ohledem na kvazi ustálené chemické složení během HDZ

** chybí z důvodu nestanovení parametru během iniciálního měření

*** do roku 1998 bylo složení zcela beze změn, v r. 2009 byl zaznamenán dramatický pokles a postupné zvyšování mineralizace, která zatím stále nedosáhla původních hodnot

4.2.3.2 Rozpuštěné plyny a teplota

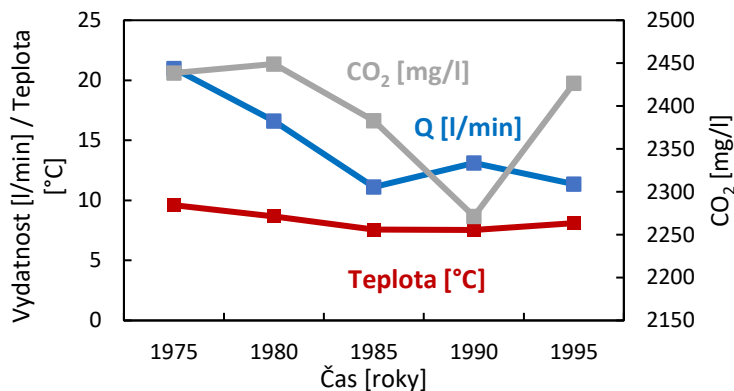
Kolářová a Myslík (1979) uvádějí, že se teploty mariánskolázeňských pramenů pohybují od 7 do 10 °C a obsah rozpuštěného CO_2 závisí na barometrickém tlaku. Dále uvádějí, že se většinou při snížení barometrického tlaku zřetelně ve vodách zvyšuje koncentrace CO_2 . To je zajímavé konstatování, neboť se obecně předpokládá, že se při vyšším atmosférickém tlaku ve vodě rozpouští CO_2 více, a tudíž i výsledná koncentrace by měla být vyšší. Z více než ročního měření izolovaných i zachycených pramenů hlubokými vrty byla zjištěna relativně vysoká rozkolísanost teplot vody, která se pohybuje od 6 °C do 15 °C. Kontinuální měření pramene **Ferdinand HV 44 Edward VII** a **HV 43 Augustin** v místě akumulace ukazují, že maximální teplota vody nastává v září a minimální v dubnu. Oscilace teploty je mezi 8 až 15 °C (Obr. 97). Protože sledování rozpuštěného CO_2 pomocí Härtlovy trubice silně závisí na teplotě (čím vyšší je teplota, tím nižší koncentrace CO_2), nelze jasně prokázat správnost zjištění Kolářové a Myslíka (1979), že tlak vzduchu ovlivňuje koncentraci rozpuštěného CO_2 ve vodě. Na druhou stranu, při delším pozorování, data mohou sloužit ke zpřesnění hloubky oběhu minerální vody, díky určení střední teploty a roční oscilace hodnot. Využilo by se přitom předpokladu, že vhodně zachycené prameny s hlubším oběhem by měly mít nižší sezónní rozkolísanost.



Obr. 97 - Sezónní kolísání rozpuštěného CO_2 v HV 44 Edward VII a HV 43 Augustin (vodu analyzoval: Milan Brisuda - odpovědný technik Orea Spa Hotel Cristal)

Dlouhodobé průměrné hodnoty na příkladech p. **Ferdinand IV, VII a VIII** ukazují, že v čase dochází k oscilaci rozpuštěného CO₂, mírnému poklesu teploty i vydatnosti (Obr. 98). Podrobnější data nejsou k dispozici. Mírně klesající trend koncentrace rozpuštěného CO₂ v pramenech byl zjištěn i ve Františkových Lázních, stejně jako málo významný nepřímý vztah mezi atmosférickým tlakem a rozpuštěným CO₂ (Hlaváčková, 2014). Klesající tendence vydatnosti, a možná i teploty, svědčí o stárnutí jímacích zařízení, protože díky kolmataci dochází k ucpávání přírodních zón a zvýšení odporu na plášti jímání.

Radon je v minerálních vodách přítomen také, avšak jeho koncentrace jsou nízké. Jeho přítomnost vede k radioaktivitě vody, která určuje její balneologickou hodnotu. Po odběru vody je její aktivita proměnlivá. Zpravidla se ustálí v řádu prvních hodin. Změnou aktivity v čase po odběru se na příkladu karlovarských pramenů zabýval Goliáš et. al. (2009). Podobný průzkum nebyl v Mariánských Lázních z důvodu nižší aktivity realizován.



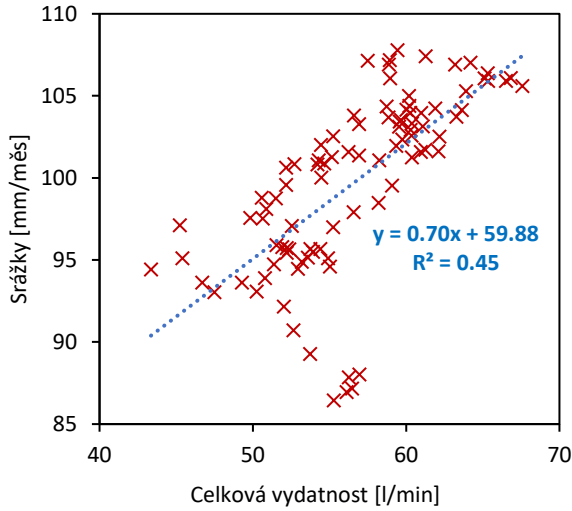
Obr. 98 - Vývoj průměrné teploty, celkové vydatnosti a obsahu rozpuštěného CO₂ v části zřidelní struktury Ferdinandova p. (Ferdinand IV, VII a VIII) (zdroj dat: Pěček, 1996b)

4.2.3.3 Vydatnost

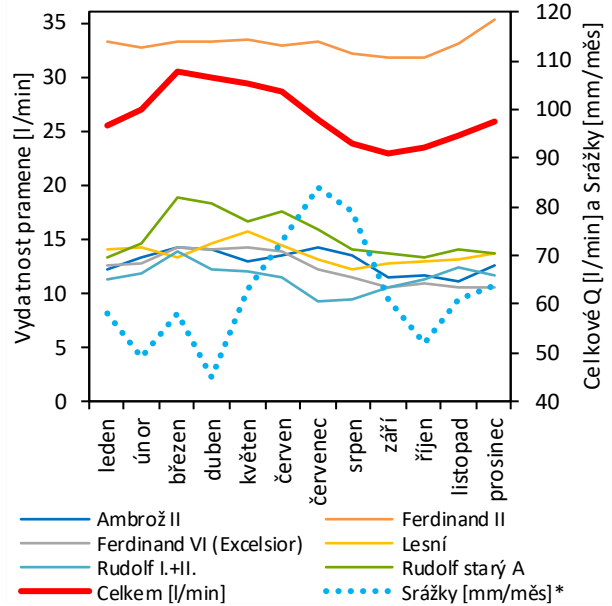
Jak již bylo popsáno výše (viz též Obr. 98), vydatnost pramenů se v čase výrazně mění. Nejpatrněji se mění v závislosti srážkových úhrnech, což bylo sledováno např. ve Františkových Lázních (Hlaváčková, 2014). Variabilitě vydatnosti pramenů v ML se věnoval např. Tonner (1993). V závěrech uvádí, že „*Vydatnost minerálních pramenů reaguje na dešťové srážky s dvouměsíčním zpožděním. Vydatné stoupnutí vydatnosti pramenů je možno přičíst na úkor mělkého zachycení minerálních vod, do nichž buď vteče dešťová voda, nebo je prudké stoupnutí vydatnosti způsobeno vzájemnou hydrogeologickou spojitostí prosté podzemní vody a vody minerální.*“ V práci však chybí jakékoliv vyhodnocení, vč. grafů, korelačních koeficientů atp. Jelikož považují časovou variabilitu ve vydatnosti za velmi důležitou, jsou data z práce nově vyhodnocena. Celková vydatnost pramenů je uvedena jako součet pramene Ambrož II, Ferdinand II, Ferdinand VI Excelsior, Lesní, Rudolf I a II a Rudolf starý. Výsledek je patrný z Obr. 99, Obr. 100 a Obr. 101.

Analýzou dat bylo zjištěno, že při vynesení dat bez klouzavého průměru není vztah srážek k vydatnosti pramenů patrný. Při větším okně klouzavého průměru se zvyšuje i míra závislosti. 24 měsíců je nejdelší možná doba pro interpretaci ve vztahu k celkové délce řady (10 let). Nejvyšší korelační koeficient vychází při zpoždění vydatnosti pramenů ke srážkám při rozdílu 3 měsíců. Při nastavení delšího nebo kratšího rozestupu se korelace opět snižuje. Při průměrování 24 hodnot (2 roky) a odstupu 3 měsíců mezi srážkami a vydatností je $R^2 = 0,45$ (Obr. 99), což je podobná doba zdržení, jakou uváděl např. Hynie (1949). Závěry Tonnera (1993) jsou zřejmě nesprávné, neboť i každý pramen na srážky reaguje zcela odlišně (Obr. 101) a nejlepší korelace celkové vydatnosti ke srážkám nastává po 3 měsících. Bylo zjištěno, že nejnižší vydatnosti pramenů jsou zjišťovány v září a maximální v březnu (Obr. 100). To je docela paradoxní, jelikož nejdešivějším měsícem je červenec a nejsuššími jsou měsíce jarní. Důvody jsou dva. Prvním je zmíněné zpoždění mezi srážkou a změnou vydatnosti a druhým důvodem je v létě mnohonásobně vyšší evapotranspirace, která zabraňuje obohacení zásob podzemních vod. Za zmínku dále stojí, že vliv na vydatnost patrně má i seismická činnost (Gaždová et al., 2011).

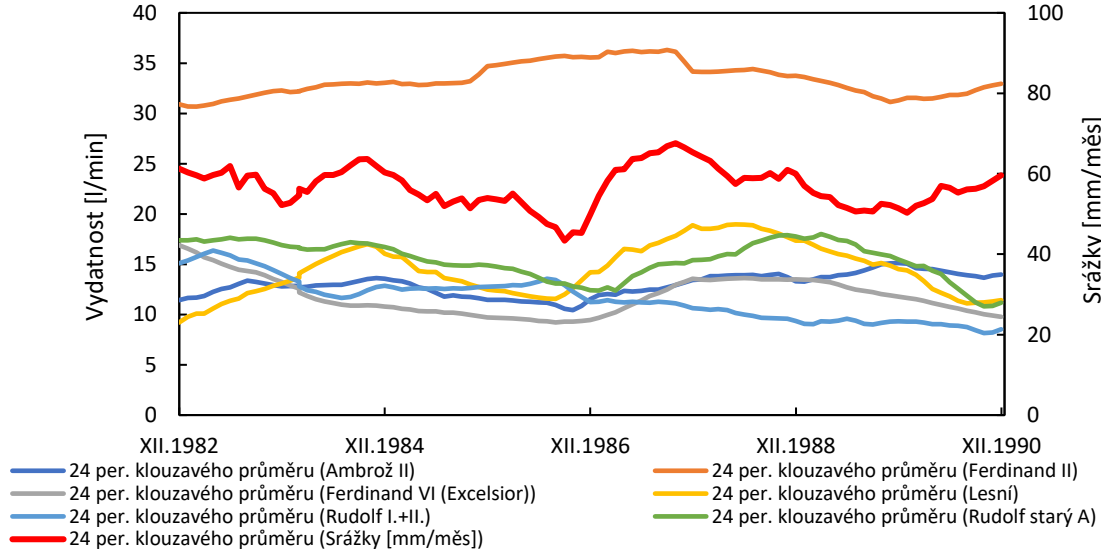
Obecně celková vydatnost mariánskolázeňských pramenů roste, kdy ještě Hynie (1949) uvádí, že celková úhrnná vydatnost mariánskolázeňských pramenů je přes desetiletí asi 390 l/min, přitom v letní sezóně je vydatnost nižší (např. červenec 1947 byla 337 l/min). V r. 1952 pak dle Klíra (1953) byla vydatnost 424 l/min, v 80. letech přibližně 550 l/min (výpočet ze závěrečných zpráv k hydrogeologickým průzkumům) a v současné době je vydatnost dle ČIL (2022) přibližně 720 l/min. Trend vydatností je zřejmý z Obr. 102.



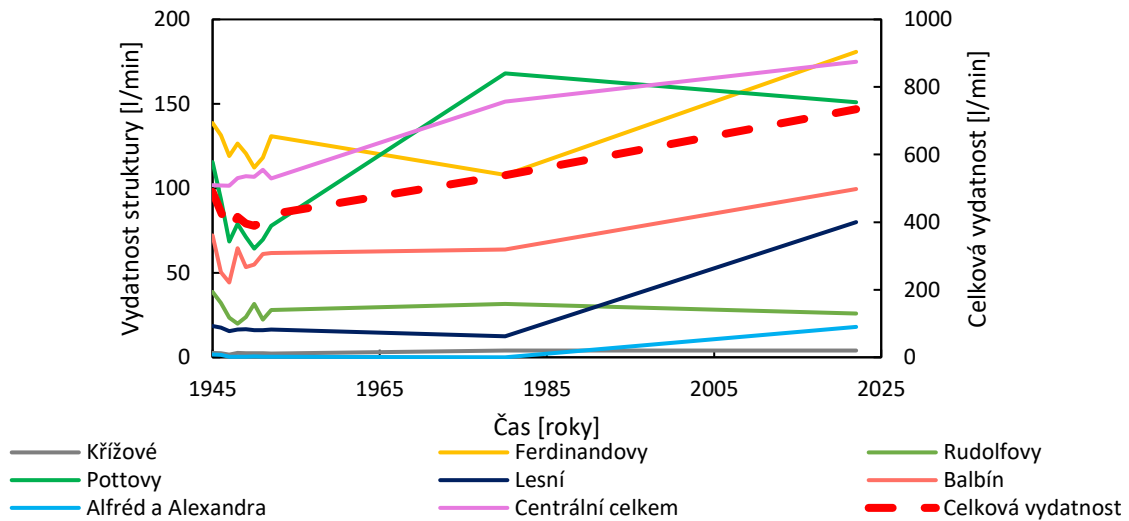
Obr. 99 - Závislost srážek na vydatnosti s odstupem 3 měsíců a klouzavým průměrem 24 (zdroj dat: Tonner, 1993)



Obr. 100 - Průměrná vydatnost pramenů během roku (zdroj dat: Tonner, 1993) * = normál 1981 až 2010 Karl. kraj



Obr. 101 - Změny vydatnosti mariánskolázeňských pramenů v čase a srážky (zdroj dat: Tonner, 1993)

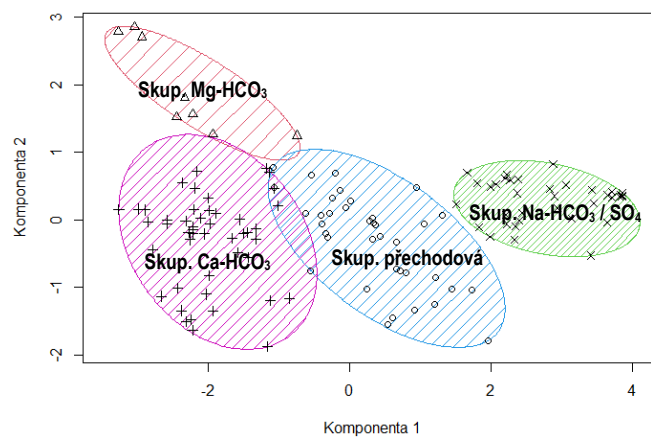


Obr. 102 - Vydatnost mariánskolázeňských zřídelních struktur (zdroj dat: Klir (1953); Trojan (1977b); Pěček (1992a); Tonner (1993); Pěček (1996b) a archiv ČIL)

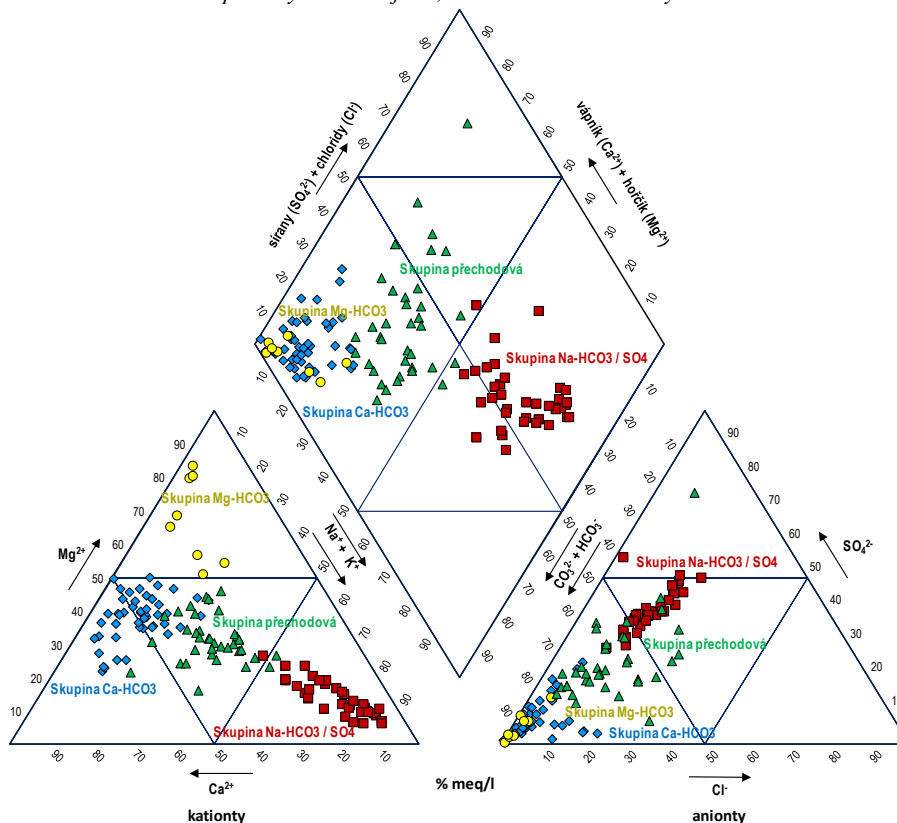
Vydatnost mariánskolázeňského zřidelního systému od 50. let vzrostla díky novým jímacím vrtům, a to i přes názor Dovolila (1961), že již se zvýšením celkové vydatnosti pramenů nelze počítat. Do budoucna lze očekávat, že trend bude i nadále pokračovat, neboť proběhlé hydrogeologické průzkumy naznačují, že stále nebylo dosaženo čerpatelného limitu. Dojde tedy k dalšímu rozšíření zřidelních struktur o jímací vrty. Jímací vrty přitom budou ještě hlubší. Vrtné akce s cílem zachytit minerální vodu probíhaly, resp. probíhají v celých západních Čechách (např. Vylita a Vylita, 1993).

4.3 Nová klasifikace mariánskolázeňských pramenů

I přes složitost datového souboru, kdy do shlukové analýzy nevstupují žádné statistické transformace (viz kap. 3.3.3), tak shluková analýza přinesla dobré výsledky. Nutno podotknout, že cílem shlukové analýzy nebylo provést sofistikované vyhodnocení mikronehomogenit v souboru dat, nýbrž pouze rozdělení vod na nejzákladnější skupiny. Pomocí shlukové analýzy bylo rozděleno 128 mariánskolázeňských výskytů minerálních vod na 4 skupiny, tj. skupinu Na-HCO₃ / SO₄, skupinu Mg-HCO₃, skupinu Ca-HCO₃ a poslední skupinu přechodovou. V této kapitole jsou popsány. Na Obr. 103 jsou znázorněny shluky bodů, které jsou z vícerozměrného prostoru převedeny do dvourozměrného a program je rozdělil na čtyři shluky. Obr. 104 poté tyto výsledné shluky vyobrazuje klasickou formou v Piperově diagramu.



Obr. 103 - Výsledné rozprostření chemismu vod do 2D prostoru s určením čtyř hlavních hydrochemických skupin vod. Tyto dvě komponenty znázorňují 85,89 % veškeré variability bodů.



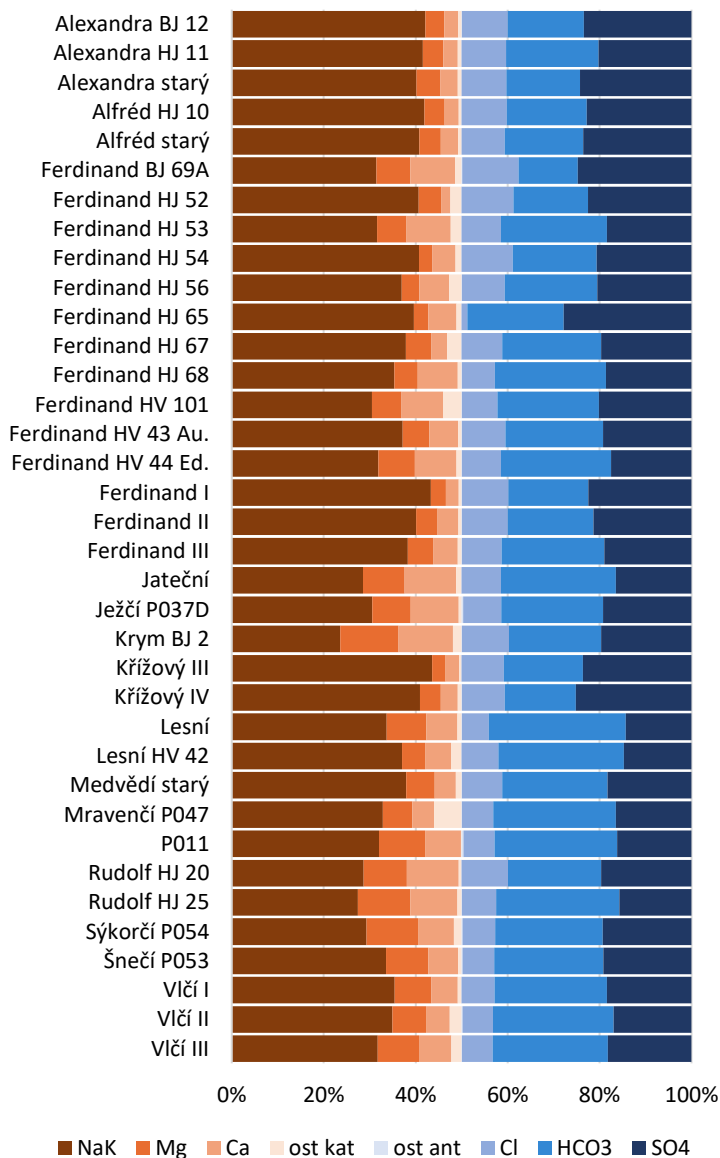
Obr. 104 - Skupiny minerálních vod v Piperově diagramu

4.3.1 Skupina Na-HCO₃ / SO₄

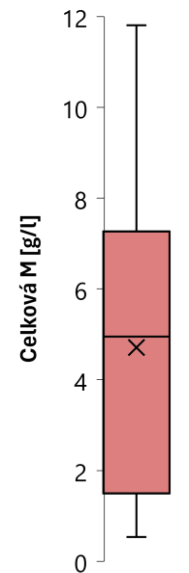
Skupině náleží celkem 36 bodů a zejména se vyznačuje zvýšeným podílem Na⁺ + K⁺ vůči ostatním kationtům. Skupinu lze vymezit podílem Na⁺ + K⁺, který je vyšší než 45 % meq/l, Mg²⁺ je méně než 25 % meq/l, Ca²⁺ je méně než 25 % meq/l. Cl⁻ je méně než 25 % meq/l, HCO₃⁻ je 25 až 60 % meq/l a SO₄²⁻ je více než 25 % meq/l. Řadí se sem nejhodnotnější mariánskolázeňské prameny (struktura Křížového p., Alexandry, část Ferdinandovy struktury a vody jim chemicky blízké). Jde o nejvíce mineralizovanou skupinu. Prameny, které do této skupiny náleží, jsou uvedeny na Obr. 105. Z obrázku je navíc zřejmé, že variabilita celkové M je vysoká.

Skupinu lze dále dělit na 2 podskupiny, kdy jedna je více mineralizovaná (cca > 6 g/l) a druhá méně (cca < 4 g/l). Je otázkou, do jaké míry má na tuto distribuci vliv hloubka jímání a s tím spojené ředění prostou podzemní vodou. Většina z méně mineralizovaných pramenů totiž není zachycena v hloubce, a naopak, většina více mineralizovaných pramenů je. Ve srovnání celkových M jsou i méně mineralizované prameny této skupiny více mineralizované, než je běžné u ostatních skupin. Více mineralizované vody, které náleží do této skupiny, lze považovat za karlovarského typu, právě z důvodu vyššího zastoupení Cl⁻, SO₄²⁻ a Na⁺ + K⁺ ve složení. Jde tedy o vody nejcennější právě z důvodu pravděpodobné neobnovitelnosti takovéto mineralizace. Karlovarskému typu je věnována *kap. 4.4*. Vody podobného složení jsou např. v Karlových Varech, Františkových Lázních, Podlesí, Dolních Pasekách aj.

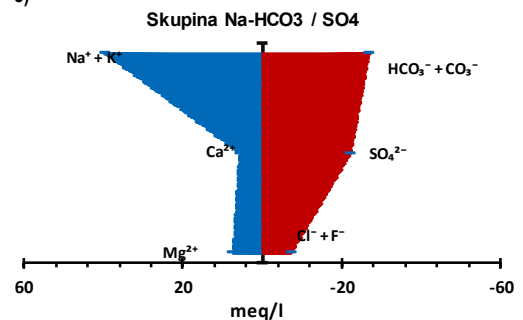
a)



b)



c)

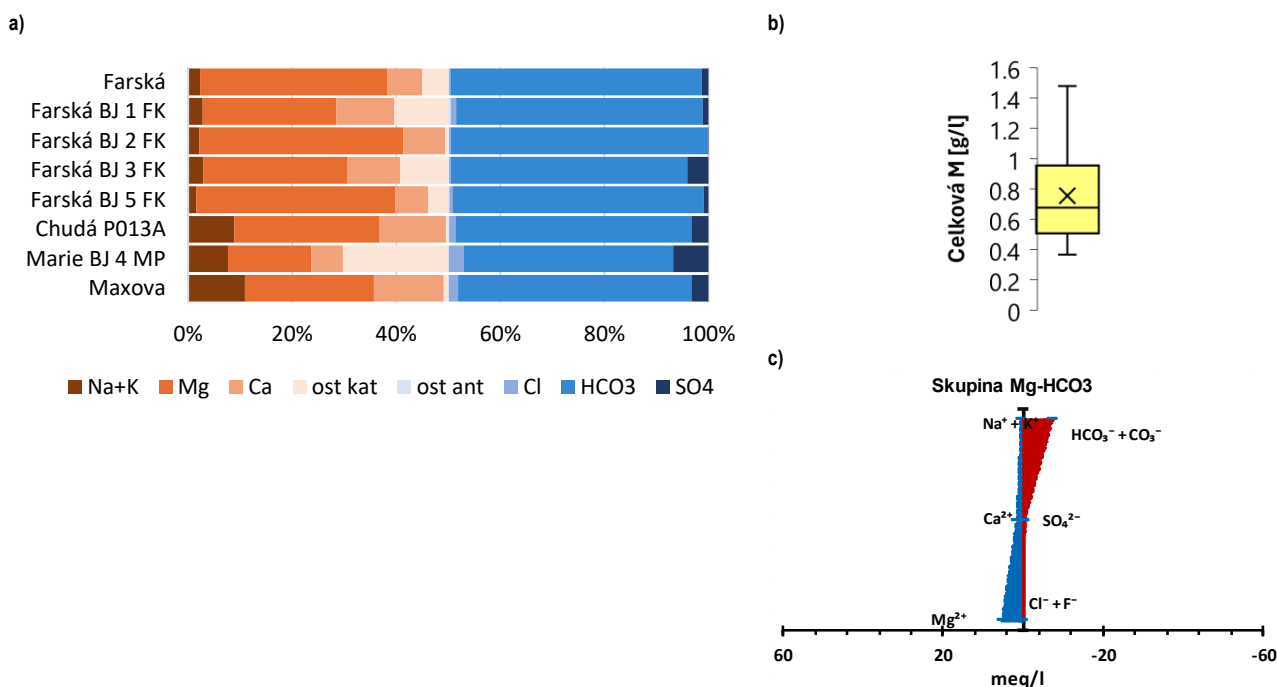


Obr. 105 - Skupina Na-HCO₃ / SO₄, Au. = Augustin, Ed. = Edward VII

4.3.2 Skupina Mg-HCO₃

Skupině náleží celkem 8 bodů a vyznačuje se zejména zvýšeným podílem Mg²⁺. Skupinu lze vymezit následujícím způsobem. Na⁺ + K⁺ je méně než 25 % meq/l, Mg²⁺ je více než 50 % meq/l (Marie BJ 4 MP má 30 % meq/l), Ca²⁺ je méně než 30 % meq/l. Dále Cl⁻ je méně než 10 %, HCO₃⁻ je více než 80 % meq/l, SO₄²⁻ je méně než 15 % meq/l. Řadí se sem oblast Farské kyselky a vody jí chemicky blízké, což je Maxova a Chudá kyselka. Do skupiny byl přiřazen na základě shlukové analýzy i průzkumný vrt **Marie BJ 4 MP**, ale jde patrně o chybné přiřazení, jelikož více než 40 % kationtů tvoří ostatní, tj. zejména Fe²⁺. Bilance vody ale vychází. Prameny, které do této skupiny náleží, jsou uvedeny na Obr. 106.

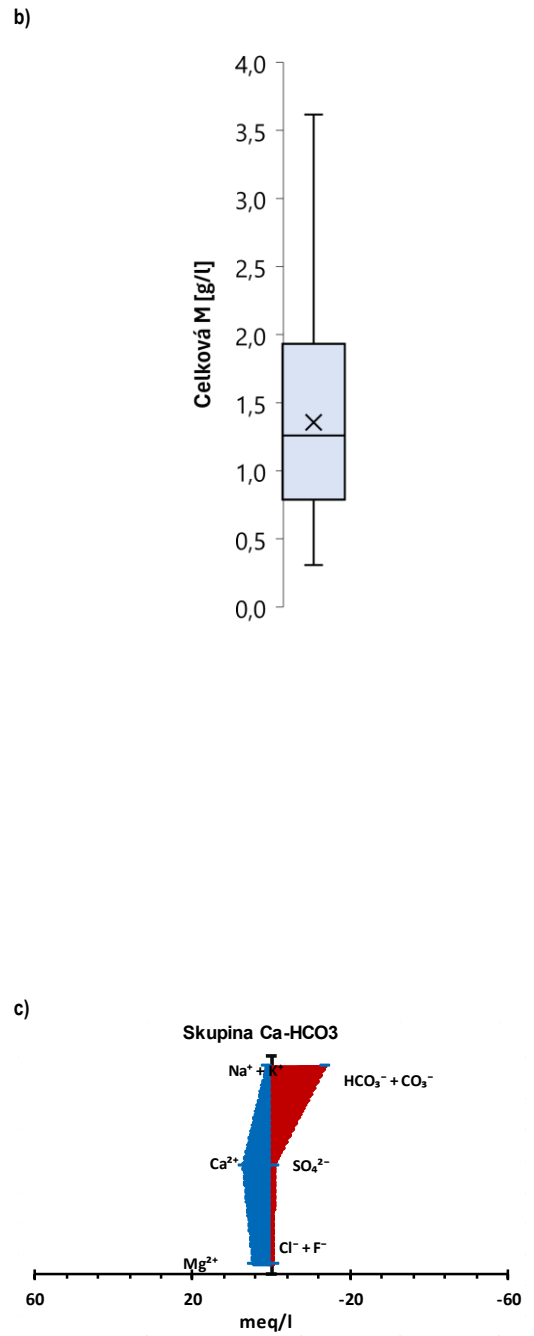
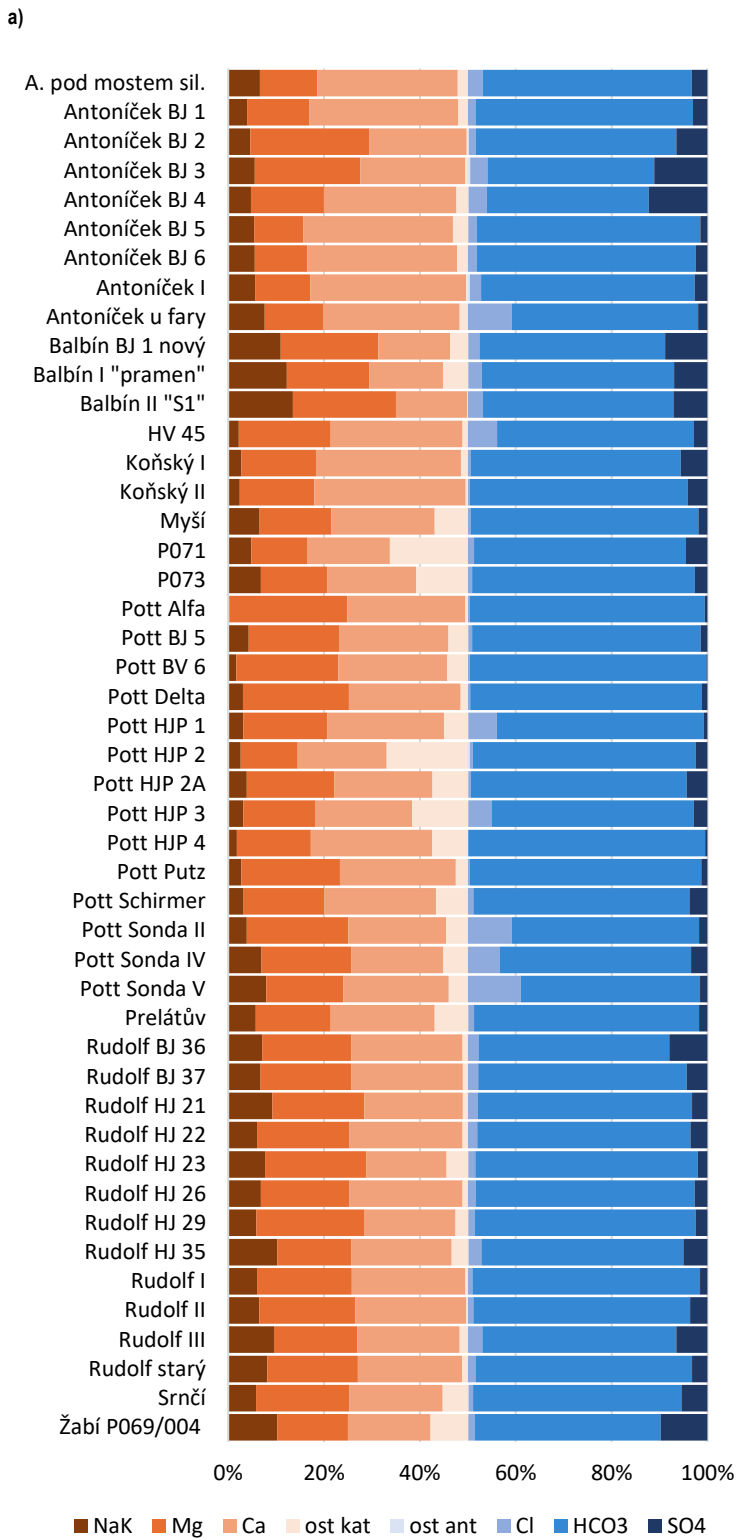
Zajímavým zjištěním je to, že rozdílem mezi zřidelní strukturou Farské kys. a Chudou, resp. Maxovou kyselkou, je obsah Na⁺ + K⁺, který je u těchto vod vyšší, což může svědčit o menším smíchávání vod dvou typů. Tato skupina kyselek je méně mineralizovaná, tj. cca od 0,4 do 1,0 g/l. Složením vod s vyšším podílem Mg²⁺ ve Slavkovském lese se zabýval např. René (1996), který se věnoval i problematice kolísavých koncentrací Fe²⁺ ve vodách tohoto typu. Vody čistě hořečnatého typu, kde převládá z 80 až 90 % meq/l, jsou rozšířeny hlavně v okolí Mnichova u Mariánských Lázní a pramenů a jsou vázány na hadcová tělesa. I v Mariánských Lázních je však tento typ svým způsobem zastoupen, a to přes skutečnost, že jsou hadce v zájmové oblasti zjištěny jen na velmi malé ploše.



Obr. 106 - Skupina Mg-HCO₃

4.3.3 Skupina Ca-HCO₃

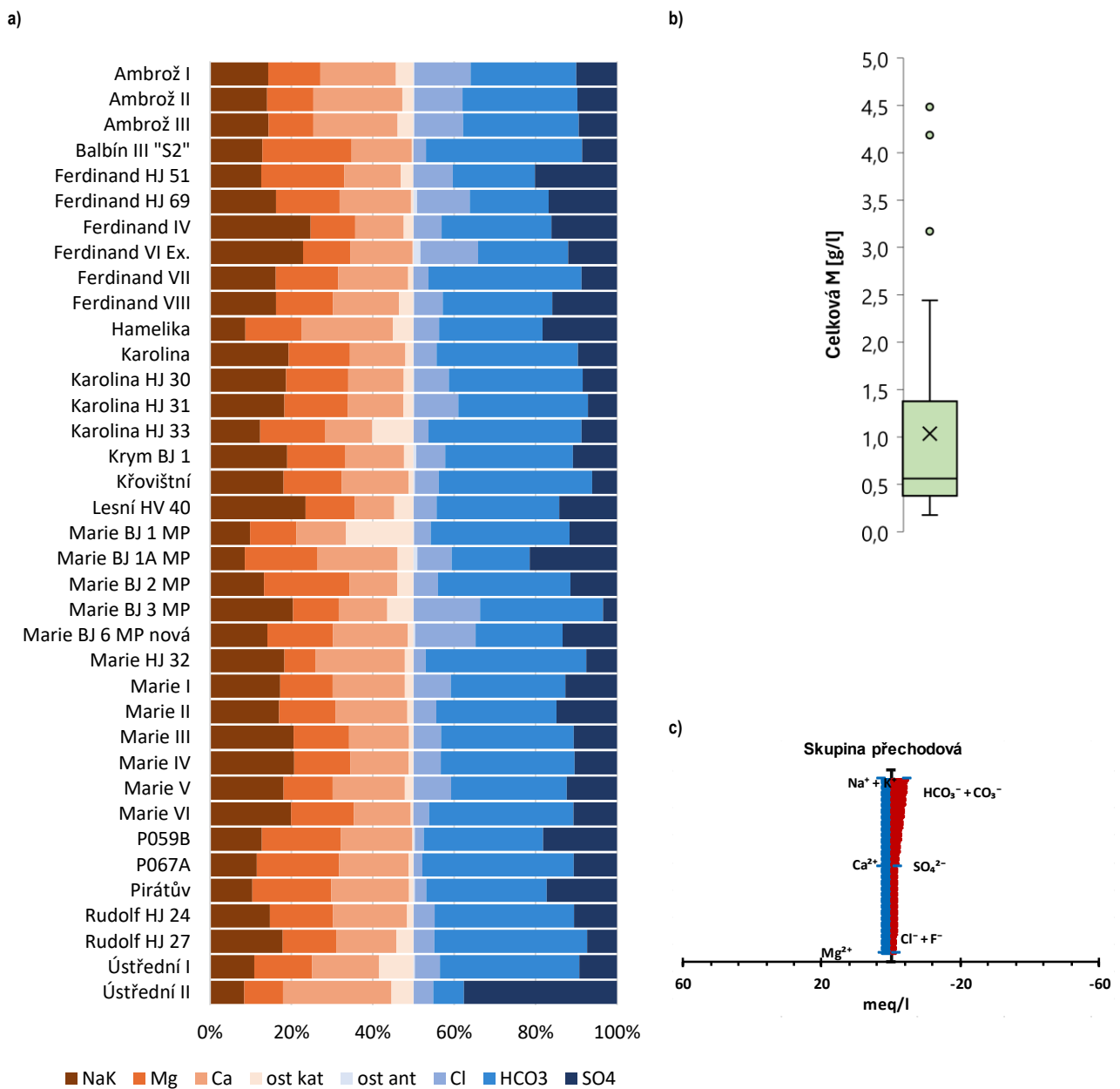
Skupině náleží celkem 47 bodů, což znamená, že jde o nejpočetnější skupinu kyselek v zájmové oblasti. Tato skupina se vyznačuje zejména zvýšeným obsahem Ca²⁺ na úkor ostatních kationtů. Skupinu lze vymezit dle Na⁺ + K⁺, kterého je méně než 30 % meq/l, Mg²⁺ je méně než 50 ale více než 20 % meq/l, Ca²⁺ je více než 30 % meq/l. Cl⁻ je méně než 25 % meq/l, HCO₃⁻ je více než 65 % meq/l, SO₄²⁻ je méně než 25 % meq/l. Do této skupiny náleží zejména prameny, které se vyskytují v JV části města. Jde o strukturu Rudolfova p, strukturu Pottova údolí, Antoníčkova p. a Koňské kys. Tento typ byl zjištěn i u izolovaných pramenů v Z části zájmové oblasti. Tento chemický typ byl totiž zjištěn u Žabí, Srní a Myší kys. Prameny, které do této skupiny náleží, jsou uvedeny na Obr. 107. Minerální vody této skupiny mají celkovou M zejména mezi 0,5 až 2,5 g/l. Minerální vody podobného složení se vyskytují např. v Lázních Kynžvart, kde jsou všechny vody bez výjimky tohoto typu.



Obr. 107 - Skupina Ca-HCO₃, A. = Antoníček, sil. = silnice

4.3.4 Skupina přechodová

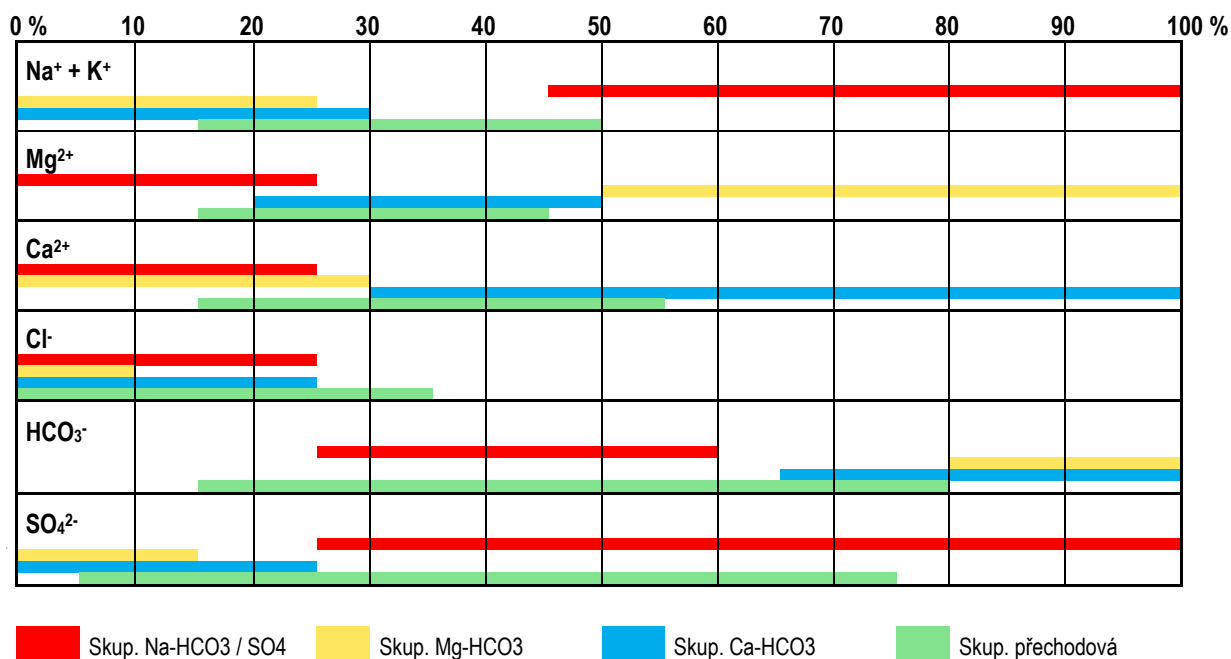
Skupině náleží celkem 37 bodů. Jde o komplikovaně vymežitelnou skupinu. Pro účely klasifikace mariánskolázeňských pramenů zde však platí, že $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ je 15 až 50 % meq/l, Mg^{2+} je 15 až 45 % meq/l, Ca^{2+} je 15 až 55 % meq/l. Cl^- je méně než 35 % meq/l, HCO_3^- je 15 až 80 % meq/l a SO_4^{2-} je 5 až 75 % meq/l. Jde o skupinu, která je na přechodu mezi vodou skupiny Na- $\text{HCO}_3 / \text{SO}_4$, vodou skupiny Ca- HCO_3 a v menší míře i Mg- HCO_3 . Složení kationtů má tedy přibližně vyrovnané, protože na rozdíl od skupiny Ca- HCO_3 má méně Ca^{2+} , ale na rozdíl od skupiny Na- $\text{HCO}_3 / \text{SO}_4$ má méně $\text{Na}^+ + \text{K}^+$. Řadí se sem prameny okolí Centrálních lázní, část Rudolfovy zřidelní struktury a izolované málo mineralizované vývěry v okolí města, např. Pirátův p., Křovištní kys. aj. Prameny, které do této skupiny náleží, jsou uvedeny na Obr. 108. Problematickým pramenem v této skupině je Ústřední II, který má mít dle chemické analýzy přes 75 % SO_4^{2-} v aniontech. Nelze však ověřit správnost analýzy, neboť byl analyzován pouze jednou, a ani není známa jeho přesná poloha a současný stav jímání. Vzhledem k distribuci pramenů v krabicovém diagramu docházím k dílčímu závěru, že je skupina tvořená jak prameny, které vznikají mícháním vod výše uvedených skupin, tak i těmi, které jsou velmi mělkého oběhu (např. Křovištní a Pirátův p.) a vykazují téměř shodné chemické složení s prameny prostých vod (např. Taormína).



Obr. 108 - Skupina přechodová, Ex. = Excelsior

4.3.5 Zhodnocení nové klasifikace

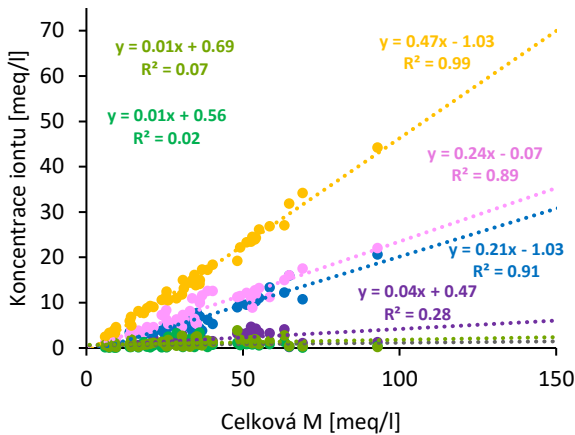
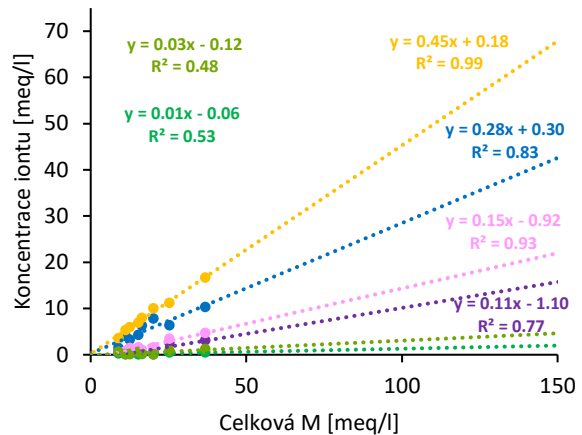
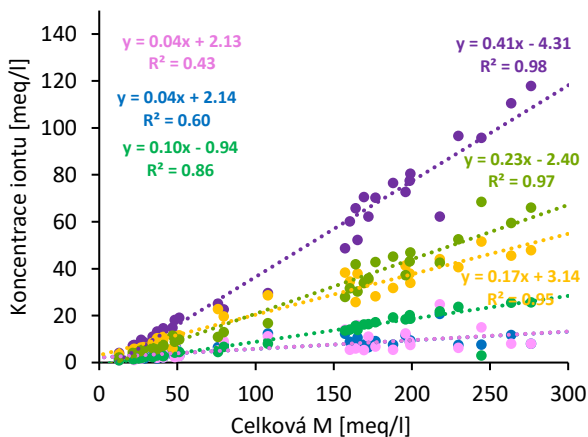
Prostorové rozšíření vymezených klasifikovaných hydrochemických skupin je patrné v *Příloze 3 - Hydrochemická mapa mariánskolázeňských minerálních vod*. I přesto, že hranice mezi typy vod určené shlukovou analýzou nejsou kontrastní a klasifikace je aplikovatelná pouze pro oblast západních Čech, domnívám se, že lépe reflektuje složité procesy, které se při infiltraci, i proudění vody v podzemí odehrávají. Pro přehlednost a případně budoucí využití této klasifikace v Mariánských Lázních Obr. 109 znázorňuje přibližné hranice mezi skupinami vod. Ze srovnání se staršími klasifikacemi, např. dle Dvořáka a Horny (1978), vyplývá, že jsou prameny klasifikovány v určitém ohledu shodně. Např. do skupiny Na-SO₄-HCO₃-Cl Dvořák s Hornou řadí taktéž Lesní, Křížový, Ferdinandův a Alexandřin p. Rozdíl je však v tom, že se autoři omezovali pouze na hlavní mariánskolázeňské p., a tudíž již do skupiny nezahrnuli např. Jateční nebo Vlčí kys. Nejlepší shodu s novou klasifikací vykazuje rozdělení dle Dovolila (1959), který vody taktéž dělil na čtyři skupiny. Vody dělí na skupinu Mg-HCO₃, Ca-HCO₃, Na-SO₄ a přechodnou. To svědčí o správnosti provedení shlukové analýzy i Dovolilova úsudku. Všechny budoucí prameny lze dle níže uvedeného klíče klasifikovat.



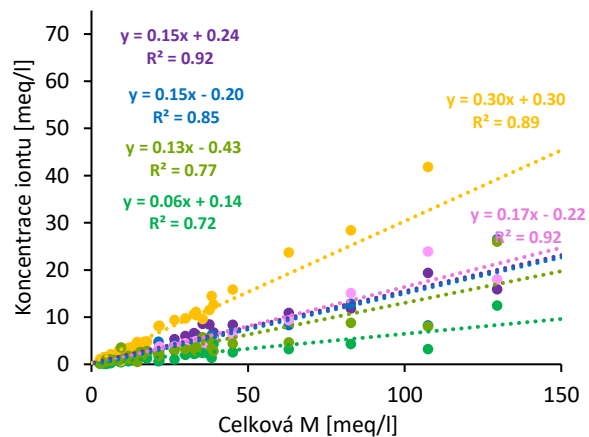
Obr. 109 - Svodná tabulka pro zařazení dalších minerálních pramenů do nové klasifikace. Jednotky % meq/l

Vztah koncentrací hlavních iontů a celkové M je patrný z Obr. 110. Z něj vyplývá, že ve všech skupinách je lineární vzestup s celkovou M pouze u HCO₃⁻. Ca²⁺ a Mg²⁺ s R² vyšším než 0,7 lineárně nestoupá u skupiny Na-HCO₃ / SO₄, Na⁺ s R² vyšším než 0,7 nestoupá u skupiny Ca-HCO₃. SO₄²⁻ s R² vyšším než 0,7 lineárně nestoupá u skupiny Ca-HCO₃ a Mg-HCO₃ a Cl⁻ lineárně roste pouze u přechodové a Na-HCO₃ / SO₄ skupiny. Z toho plyne, že se skutečně v Mariánských Lázních vyskytují 3 na sobě nezávislé základní hydrochemické skupiny kyselék. Přitom prameny, jejichž zdrojem je mineralizace dvojího, popř. i trojího původu, mají přechodový chemismus, jelikož dochází k mísení. Příkladem je minerální voda z vrtu Ferdinand HJ 51, Marie HJ 32, Rudolf HJ 24, HJ 27, ale i Karolína, Lesní HV 40 a Ferdinand IV. To je patrné i na lineárních trendech, kdy přechodová skupina je má pro jednotlivé ionty zpravidla pozvolnější. Výjimkou je Cl⁻. Do přechodové skupiny se řadí i několik pramenů, které mají chemismus téměř totožný s prameny prosté vody.

Patrně nejzajímavější je skupina Na-HCO₃ / SO₄, kde lze rozdělit vody do dvou podskupin. Na ty, kde je celková M do 50 meq/l, a na ty, kde je vyšší než 150 meq/l. To vyvolává otázku, zda je geneze mineralizace obou podskupin stejná. Mezi těmito skupinami se navíc nalézají tři anomální prameny. Jde o pramen Lesní, s celkovou M 76 meq/l (3,0 g/l), Jateční kys., s celkovou M 80 meq/l (3,0 g/l), a Rudolf HJ 25, s celkovou M 108 meq/l (4,0 g/l). Z toho vyplývá, že možná i méně mineralizované prameny této skupiny jsou stejného původu jako ty více mineralizované, ale jsou např. s fosilní mineralizací v kontaktu kratší dobu. Druhým možným vysvětlením je pak to, že jsou méně mineralizované vody vázány na rozpukanější granitová tělesa, která jsou zdrojem oné mineralizace.

a) Skupina Ca-HCO₃b) Skupina Mg-HCO₃c) Skupina Na-HCO₃ / SO₄

d) Skupina přechodová



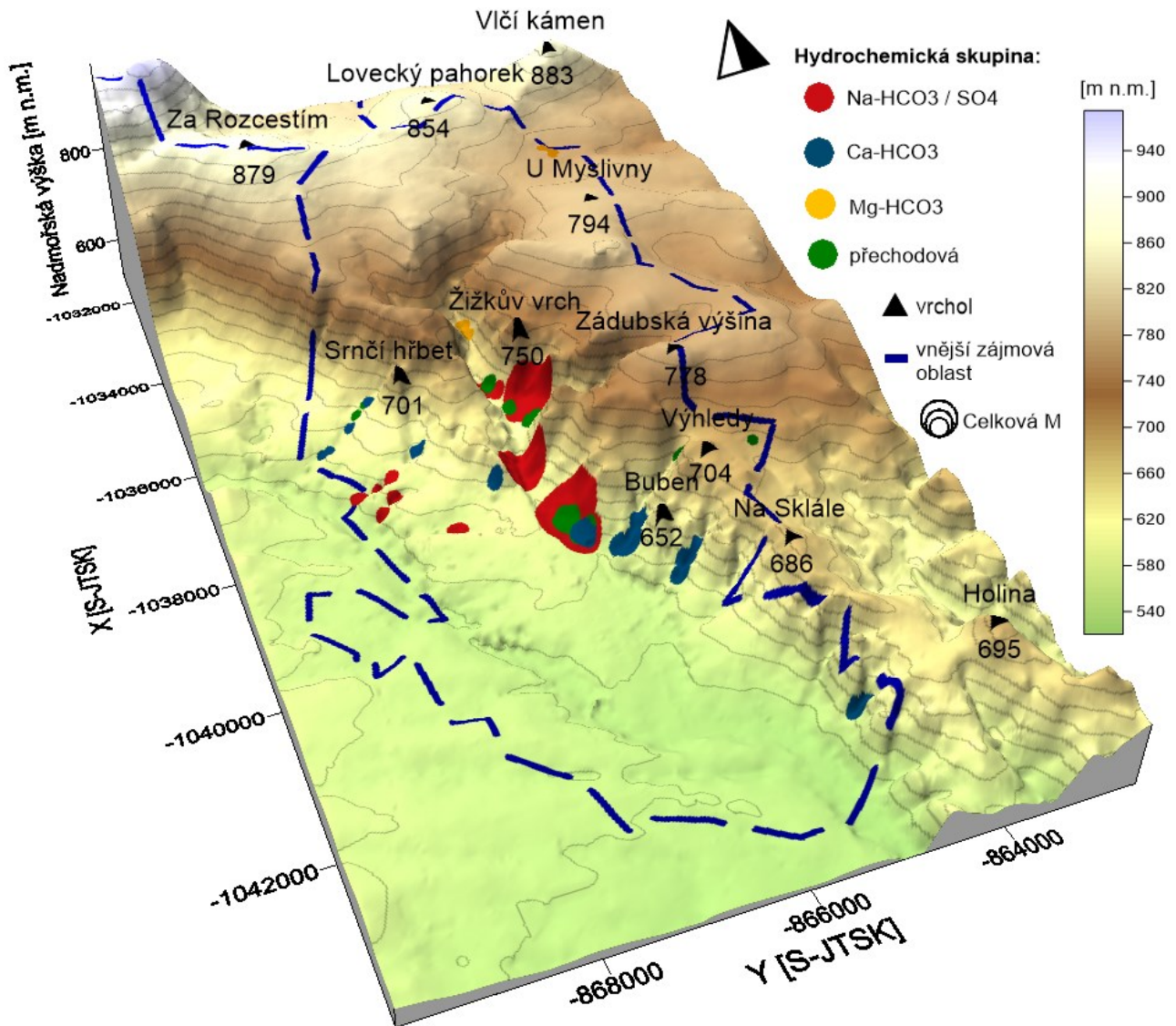
Obr. 110 - Vztah celkové M ke koncentracím iontů pro jednotlivé skupiny minerálních vod

● = Na⁺, ● = Mg²⁺, ● = Ca²⁺, ● = HCO₃⁻, ● = SO₄²⁻, ● = Cl⁻

4.3.6 Vliv geologie a geomorfologie na chemismus minerálních vod

Pro lepší pochopení prostorového rozložení jednotlivých skupin minerálních vod byla vytvořena 3D mapa území (Obr. 111) a dále definovány profily, které jsou doplněny i o geologické podloží. To vede k lepšímu posouzení vlivu geologie na chemismus minerální vody. Vedení profilů je patrné z Obr. 112 a samotné výsledné profily z Obr. 113 až Obr. 116. Z distribuce skupin v zájmové oblasti plyne, že se v S části města vyskytuje pouze skupina Mg-HCO₃, naopak v J až JV části města pouze skupina Ca-HCO₃ a nakonec uprostřed oblasti skupina Na-HCO₃ / SO₄. Kyselky, které se nalézají na přechodu mezi dílčími oblastmi jsou řazeny do přechodové skupiny. Zároveň mineralizace v globálním měřítku od středu oblasti směrem k okrajům klesá. Středem oblasti se zdá být struktura Alexandřina p.

Z Obr. 111 vyplývá, že morfologicky jsou minerální prameny vázány spíše na hlubší údolí. Zároveň jsou zaznamenány dvě výjimky, kdy Farská a Křovištní kys. prameny ve výše položených částech Slavkovského lesa vzhledem k morfologii okolního terénu. Distribuce definovaných hydrochemických skupin je taková, že nejnižší položené vývěry spíše spadají do hydrochemické skupiny Na-HCO₃ / SO₄. Prameny ve středních nadmořských výškách jsou skupiny Ca-HCO₃ a prameny ve výše položených oblastech skupiny Mg-HCO₃. Prameny přechodové oblasti jsou pak rozestě mezi těmito skupinami. Zajímavé přitom je, že právě ty prameny, které jsou situovány v nejstrmějších údolích patří do skupiny Ca-HCO₃. Jde např. o Koňské kys., Antoníčkův p., Pottovo údolí a Srnčí p. Naopak skupina Na-HCO₃ / SO₄ dominuje v oblastech s nižším sklonem terénu, což je pozorovatelné u Vlčích kys., Medvědího starého p., Jateční kys., a na hl. ose. Z celkové M opět plyne, že níže položené vývěry mají spíše vyšší mineralizaci než ty, které jsou položené výše, což je patrné i z Obr. 91.



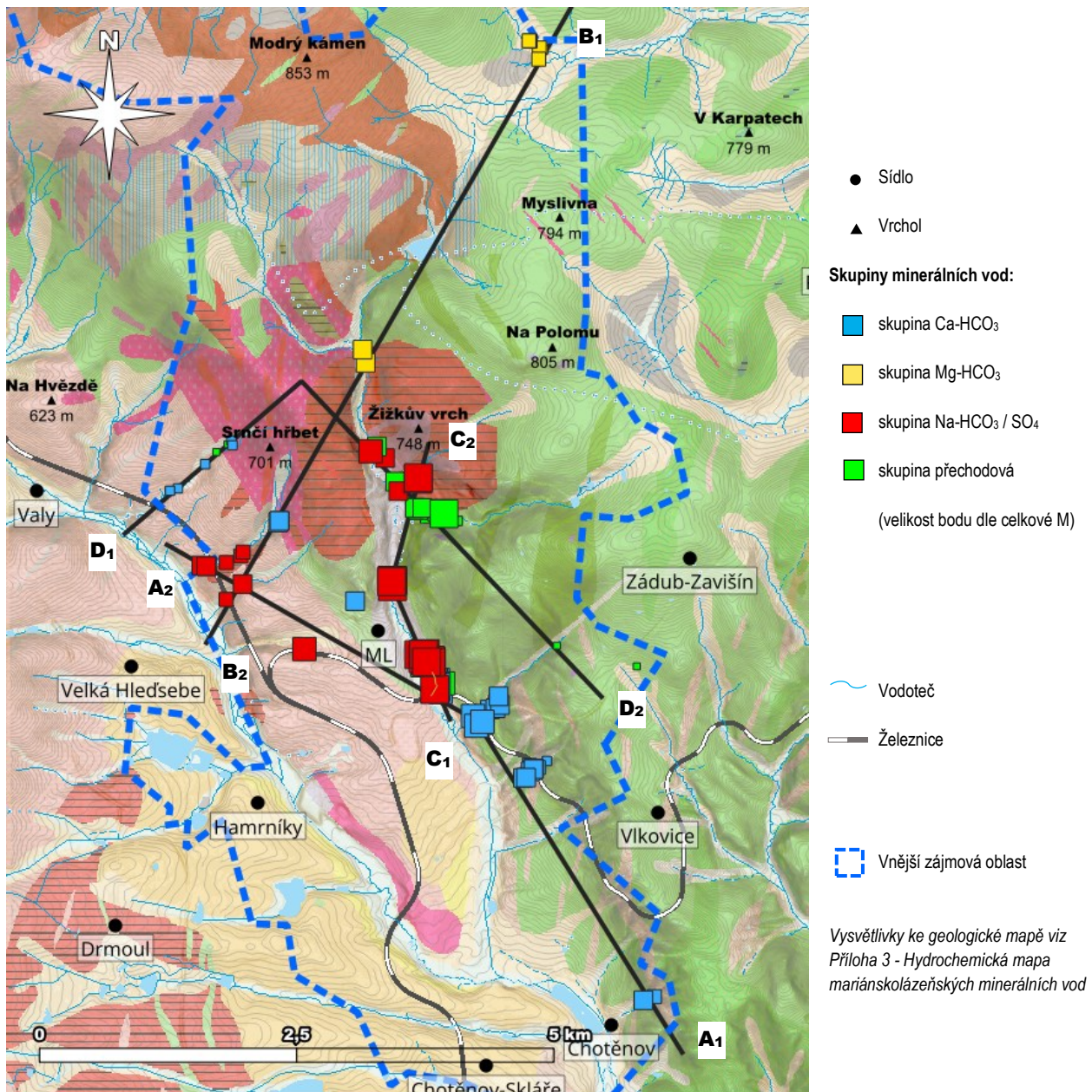
Obr. 111 - 3D mapa zájmového území, mapový podklad: DMR 5. generace

Profil A₁ - A₂ (Obr. 113) měl za cíl zachytit přechod mezi kyselkami skupiny Ca-HCO₃ a Na-HCO₃ / SO₄, což se podařilo. Profil sice nepřekonává velké výškové rozdíly, ale zato zastihl významný litologický přechod mezi svory / granity až granodiority a amfibolity / rulami. Profil naznačuje, že jsou kyselky typu Na-HCO₃ / SO₄ více vázané na svory a granity a kyselky skupiny Ca-HCO₃ více na amfibolity. K ověření této hypotézy byl vytvořen druhý profil B₁ - B₂ (Obr. 114). Ten začíná v nejvýše položené partii zájmové oblasti a sestupuje od Farské kys. až k Medvědímu p. Tento profil interpretaci vlivu hornin na chemismus vod mírně komplikuje, neboť ve vrcholové části dominují vody hořečnaté skupiny, ale podloží je tvořeno amfibolity. Interpretace je taková, že se voda z nejvýše položených partií okolí Farské kys., např. Vlčí kámen - 883 m n.m., který je formován hadci, infiltruje a vyvěrá na příslušných níže položených místech, které jsou sice formovány jinou horninou, ale svůj původní chemismus si ve značné míře uchovávají. To je patrné i u níže položených pramenů ve směru profilu, kdy Chudá, resp. Maxova kys., mají Mg²⁺ méně, ale stále tento iont dominuje. To může svědčit o míchání vod dvou hydrochemických typů.

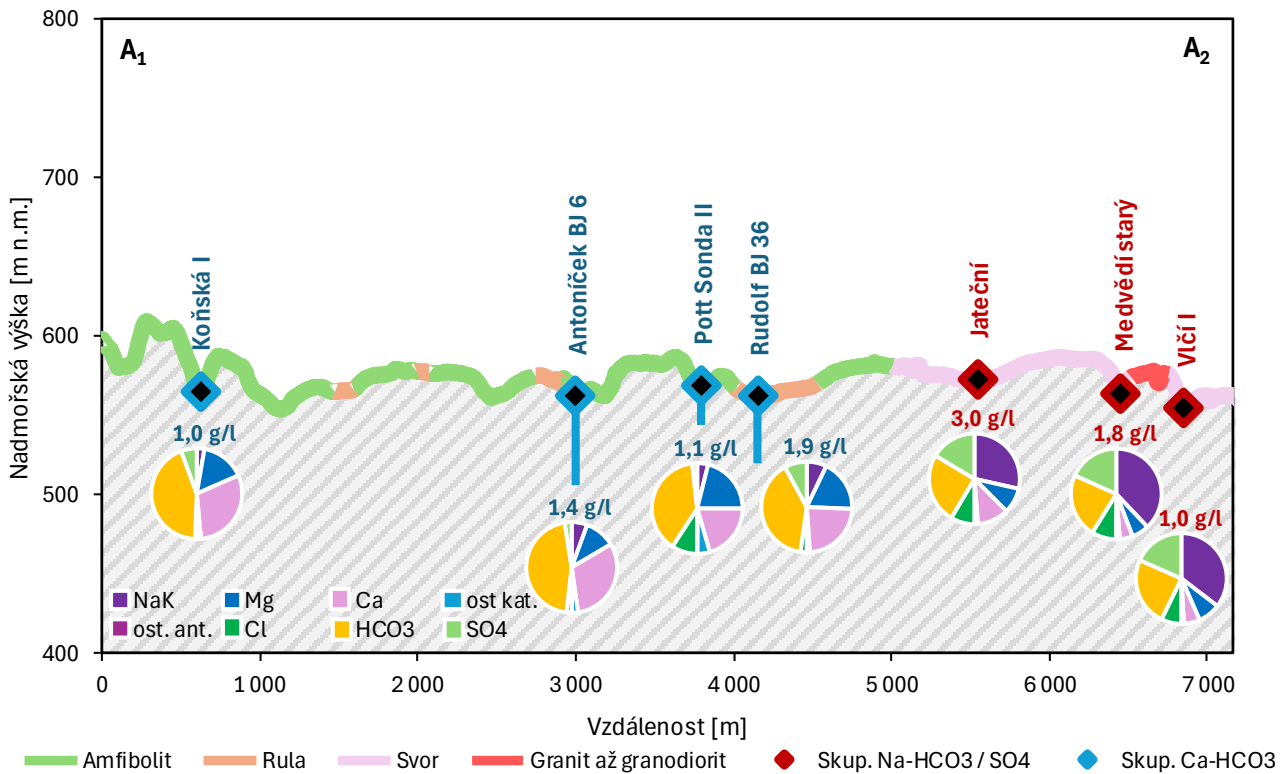
Dále byl vytvořen profil C₁ - C₂ (Obr. 115), jehož cílem bylo zhodnotit změnu chemismu se vzrůstající nadmořskou výškou v údolí Úšovického pot., v centru Mariánských Lázní. Bylo zjištěno, že nejprve dominuje skupina Ca-HCO₃, ale pod okrajem struktury Rudolfova p. začíná zóna více mineralizované vody chemické skupiny Na-HCO₃ / SO₄. Ta pak vede až ke Křížovému p. Na několika místech přitom byla zjištěna voda přechodového typu. Z geologického profilu nelze jasně říci, jaká mineralizace je vázána na kterou horninu, a to pravděpodobně z důvodu přítomnosti fosilní vsáklé mineralizace, která ovlivňuje jen některé prameny. To potvrzuje i poslední profil D₁ - D₂ (Obr. 116), kde i přesto, že jsou prameny na svahu, jehož vrcholová partie je tvořena granitovým tělesem, mají typ Ca-HCO₃ a jsou velmi málo

mineralizované. Naopak údolí Úšovického pot. soustředí vody, které jsou více mineralizované, a navíc skupiny přechodové nebo rovnou skupiny Na-HCO₃ / SO₄.

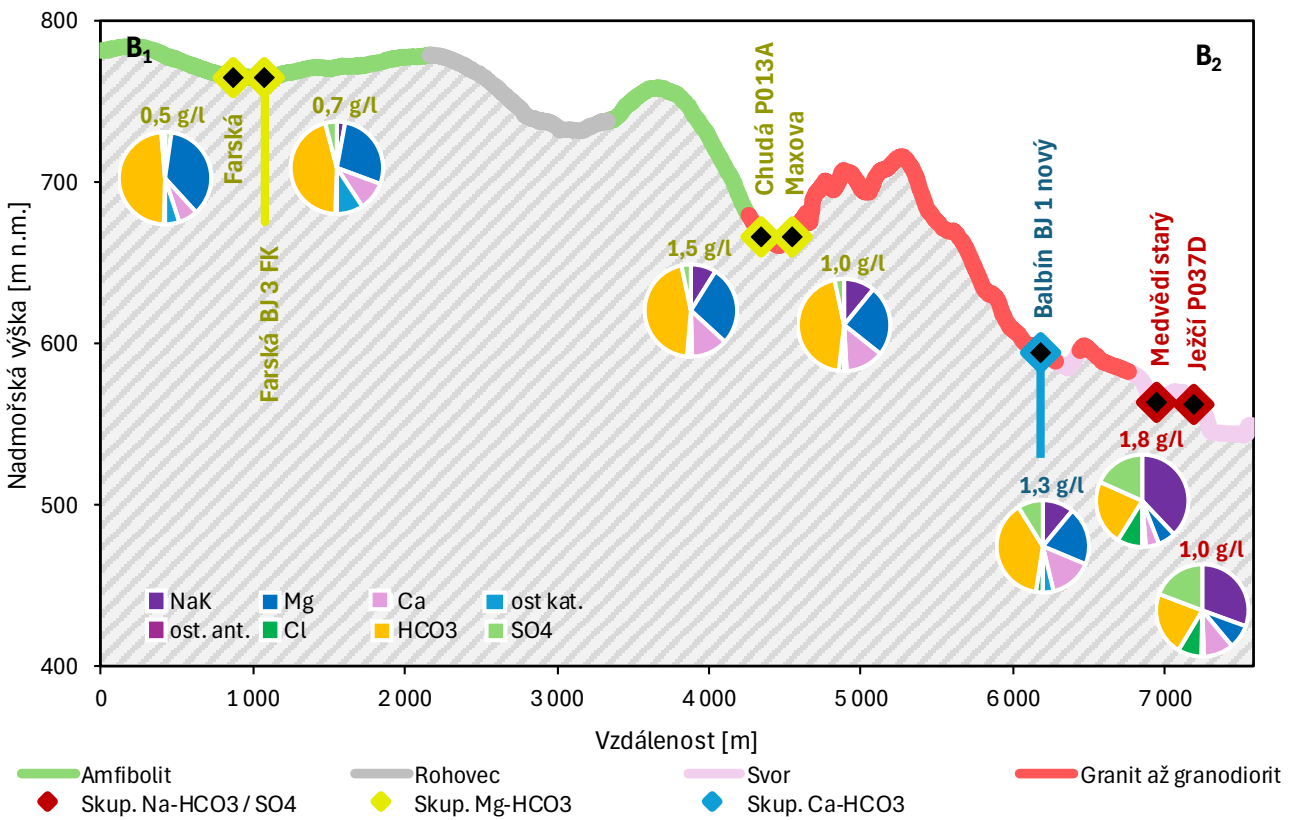
Při zhodnocení všech profilů a dostupných informací docházím k závěru, že velmi proměnná geologie vede k velmi proměnnému chemickému složení vody. Domnívám se však, že v zájmové oblasti skupina vod Mg-HCO₃ pochází z hadcových těles a skupina Ca-HCO₃ z amfibolitových těles. A to i přesto, že hornina v místě vývěru s chemismem vody nekoresponduje. Problematickými zůstávají prameny v údolí Myšího pot., kde amfibolity v okolí nejsou přítomny a Maxova s Chudou kys., u kterých by to mohlo znamenat až 3,9 km dlouhou tranzitní zónu. Více mineralizované prameny skupiny Na-HCO₃ / SO₄ jsou vázány na v minulosti vsáklou mineralizaci, s tím, že je opět otázkou, zda prameny v okolí Vlčích kys. a Medvědího p., jsou vázány čistě na granity a ruly či také na fosilní mineralizaci. Vymezení rozšíření přítomnosti vsáklé mineralizace je přitom značně problematické, ale patrně je plocha malá, vzhledem k tomu, že jsou vody tohoto typu izolovány na takto malém území. Poslední přechodová skupina pak vzniká mícháním vod výše uvedených skupin, popř. vodami blízkými pramenům prosté vody. Velký vliv na provázání chemismů vod by jistě měla mít tektonika, ale jak je patrné z *Přílohy 3 - Hydrochemická mapa mariánskolázeňských minerálních vod*, tak tektonická spojitost, např. mezi Křížovým a Alexandřiným p., není zjištěná. Na druhou stranu je patrné určité tektonické provázání Křížového a Medvědího p., anebo spojení mezi Chudou, resp. Maxovou kys. a hadcovou polohou.



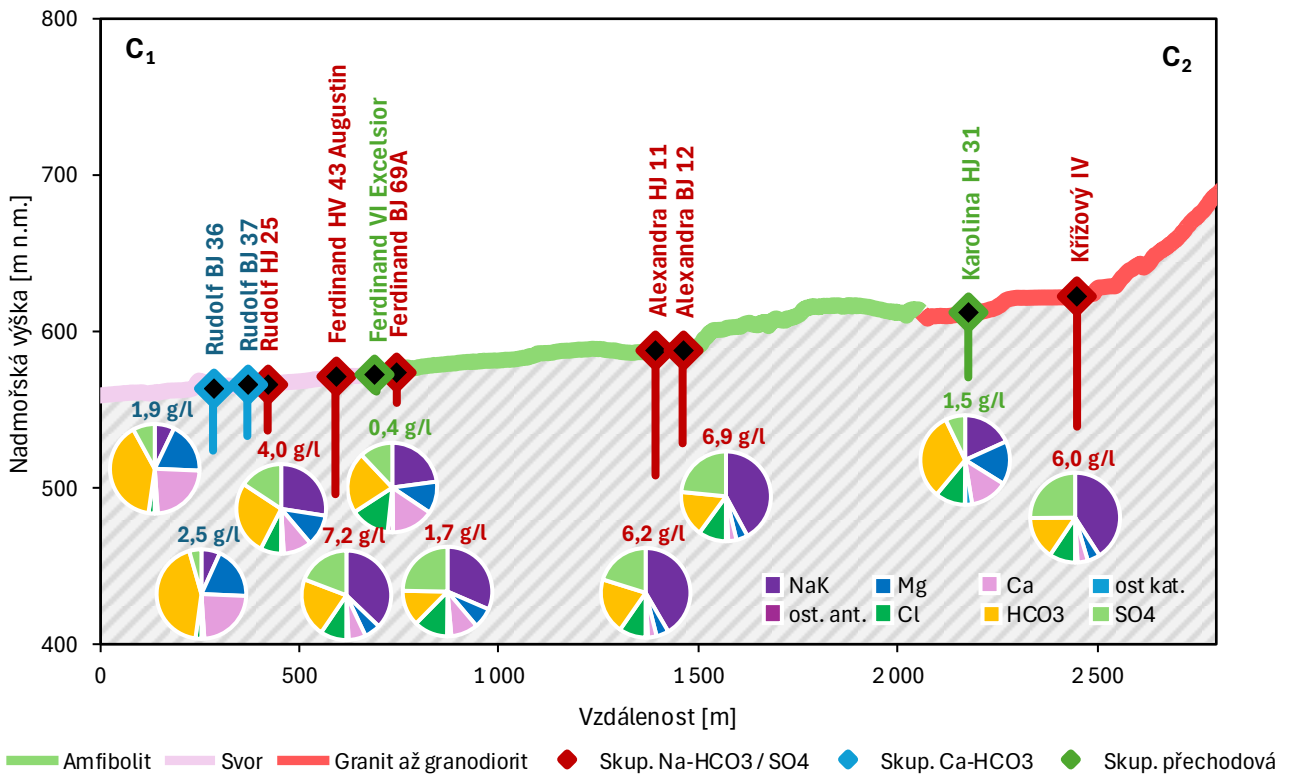
Obr. 112 - Profily zájmovou oblastí



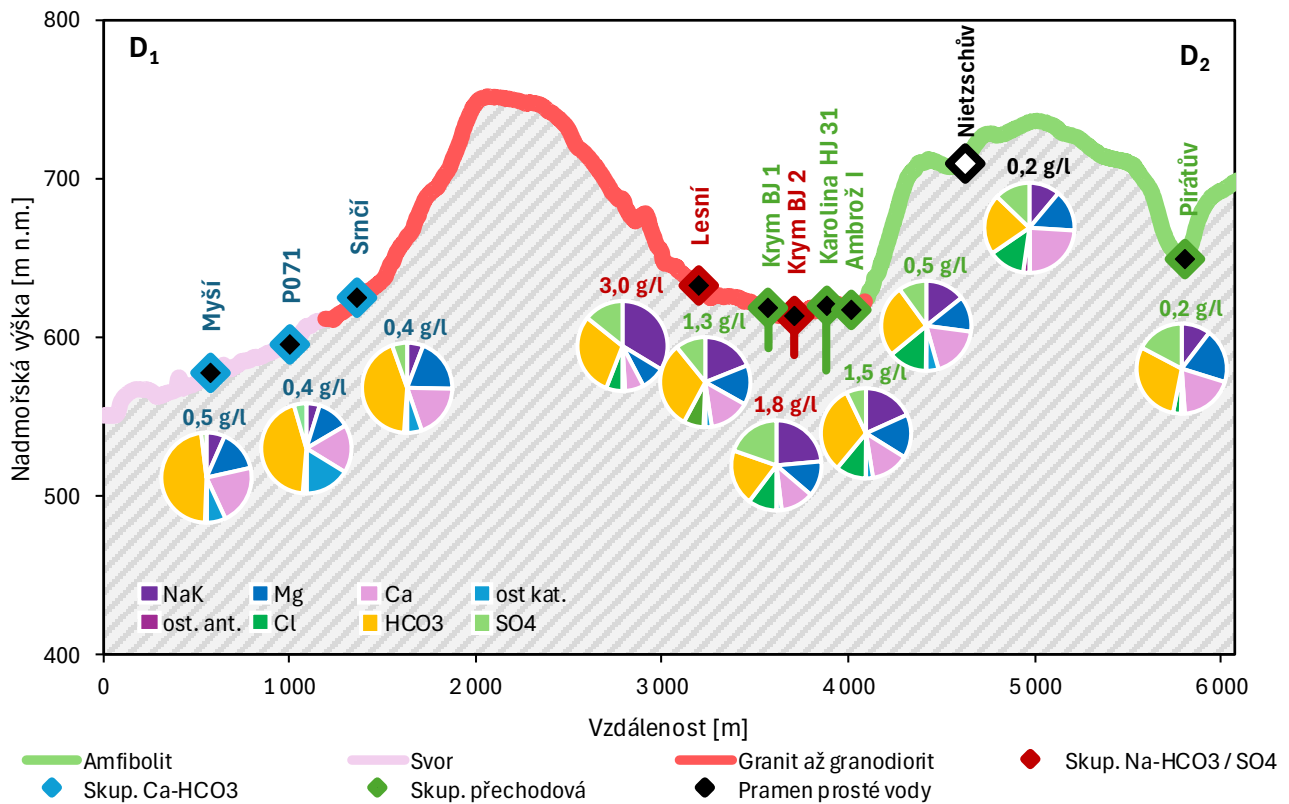
Obr. 113 - Profil z bodu A₁ do A₂; číslo nad koláčovým grafem = celková M, délka čáry pod pramenem = hloubka vrtu



Obr. 114 - Profil z bodu B₁ do B₂; číslo nad koláčovým grafem = celková M, délka čáry pod pramenem = hloubka vrtu



Obr. 115 - Profil z bodu C₁ do C₂; číslo nad koláčovým grafem = celková M, délka čáry pod pramenem = hloubka vrtu



Obr. 116 - Profil z bodu D₁ do D₂; číslo nad koláčovým grafem = celková M, délka čáry pod pramenem = hloubka vrtu

4.4 Karlovarský typ minerálních vod v Mariánských Lázních

4.4.1 Problematika vod karlovarského typu

V literatuře, která se zabývá hydrogeologií a hydrochemií Mariánských Lázní se hojně využívá spojení karlovarský typ minerální vody i v souvislosti s mariánskolázeňskými prameny. Karlovarský typ minerálních vod není přesně koncentračně vymezen, ale obecně se vyznačuje dominancí Na^+ v kationtech a HCO_3^- , SO_4^{2-} a Cl^- v aniontech, proměnlivou teplotou a obsahem rozpuštěného CO_2 (Krásný et al., 2012). Hlavním poznávacím znakem karlovarských minerálních vod je zvýšený obsah Cl^- (cca 15 až 25 %). V Karlových Varech jde o vody, které mají mineralizaci cca 6,3 g/l. Mineralizace však není hlavním kritériem, a k vodám karlovarského typu se řadí i prameny v Doubravě, Dolních Pasekách, Podlesí, Kyseleckém Hamru, Jedlové aj. (Krásný et al., 2012). V Mariánských Lázních se tímto termínem označují ty prameny, které dosahují vyšších mineralizací. Jde tedy o Křížový p., Alexandřin p., zaniklý Alfrédův p., některé prameny ve Ferdinandově zřidelní struktuře, např. Ferdinand I a chemickým složením blízký vrt Rudolf HJ 20 v Rudolfově zřidelní struktuře s celkovou mineralizací 7,8 g/l (Pěček, 1989).

Problematika minerálních vod karlovarského typu spočívá hlavně v tom, že minerální voda má složení, které patrně nelze vysvětlit prostým rozpouštěním hornin, které se nalézají v místě vývěru, tj. v případě Karlových Varů a Mariánských Lázní hlavně granity, granodiority a diority. Nejproblematičtější původ má ve vodě Cl^- , ale i SO_4^{2-} a Na^+ . Obecně jsou tři skupiny teorií, jakým způsobem vzniká karlovarský typ vod. První skupina teorií předpokládá, že je způsobena pouze infiltrací, tj. vody jsou zcela recentního původu a horniny se do vody postupně kontinuálně rozpouští (Hauer et al., 1880; Dovolil, 1959). Druhá skupina předpokládá, že jde o vody, popř. mineralizaci ryze fosilního původu (Suess, 1903; Behrend a Berg, 1927; Zýka, 1961). Suess předpokládal, že je voda navázaná na sopečnou třetihorní aktivitu, kdy kondenzace vodních par vede k tvorbě minerálních vod karlovarského typu. To by například znamenalo, že by tyto vody neměly definovatelnou infiltrační oblast.

Třetí skupina teorií předpokládá, že jde o vody recentního či subrecentního endogenního původu s možným pravděpodobným ovlivněním fosilní mineralizací (Pačes, 1962; Hynie, 1963; Myslík a Václ, 1966; Pazdera, 1979; Pačes, 1980; Pazdera, 1984, Dvořák, 1998). Pačes (1980) např. vytváří graf, kde dělí minerální vody na meteorické a fosilní, přitom meteorické tvoří otevřenou strukturu a fosilní uzavřenou. Karlovarské prameny zakresluje do tzv. přechodové zóny, kterou nazývá polootevřená struktura. Zdrojem fosilní mineralizace přitom může být třetihorní sopečná činnost a nahromadění sopečných produktů v terciérních bezodtokých jezerech (Pačes, 2014). Velmi přijímaná je koncepce Dvořáka (1998), který předpokládal, že základní složkou karlovarského typu minerální vody je silně mineralizovaná solanka, která mohla vzniknout v místě bezodtokého jezera, v semiaridních až aridních klimatických podmínkách, které v západních Čechách panovaly. Přitom docházelo k tomu, že v bezodtokých podmínkách tohoto riftového jezera postupně docházelo ke zjednodušení složení vody vlivem výparu (Šmejkal a Pačes, 1992). Konečným typem byla voda $\text{Na-SO}_4\text{-Cl}$. Tyto solanky se infiltrovaly do silně rozpukaných hornin, a tím, že měly vyšší hustotu, vytlačily vodu méně mineralizovanou, tj. prostou podzemní. Tím došlo k jejich zakonzervování v podložních horninách.

Problematika této teorie je kriticky zhodnocena Krásným (2001; 2007 a 2009). V recentní, resp. subrecentní době pak dochází k interakcím mezi silně mineralizovanou a prostou podzemní vodou. Do vod se dostávají i zbylé ionty, mezi které se řadí hlavně HCO_3^- , které se do vod dostávají při interakci s CO_2 hlubinného původu. To také způsobuje značnou vydatnost karlovarských term. Podobný mechanismus vzniku je přitom připisován i jiným více mineralizovaným vodám. Příkladem můžou být minerální vody v Bosně a Hercegovině, konkrétně oblast Kiseljak, kde jsou vody o teplotě 10 až 12 °C a s celkovou M od 4,5 do 7,1 g/l. Skopljak a Vlahović (2011) tvrdí, že zvýšené koncentrace SO_4^{2-} pocházejí z permských evaporitů, přitom samotná voda je atmosférického původu. Navíc je u minerálních pramenů, tak jako v Mariánských Lázních, pozorován přechod chemismu vod, kde dominuje SO_4^{2-} , k vodám s dominancí HCO_3^- .

To, že jsou vody složeny z mineralizace dvojího původu, tj. vyluhováním horniny do vody a vsáklou terciérní mineralizací, ilustruje i pestrost ve složení západočeských minerálek se zvýšenou mineralizací. Ta se odvíjí i od hloubky a intenzity proudění vody (např. Františkovy Lázně). Detailním studiem karlovarského typu vod se zabýval i Šmejkal (1974) a Šmejkal a Pačes (1992), kteří studovali izotopy síry. Podařilo se jim prokázat evaporitový původ sulfátové síry v sedimentech sokolovské pánve a v karlovarských minerálních vodách. Přítomnost solanek v západních Čechách dokazují i paleontologické nálezy slanomilných rostlin v cyprisovém souvrství (Bůžek et al., 1982). To, že je mineralizace neobnovitelným zdrojem exogenního původu by vysvětlovala i skutečnost, že mineralizace nejvíce mineralizovaných mariánskolázeňských a františkolázeňských pramenů v čase klesá (Springorum, 2000; Škuthan et al., 2002 a viz kap.

4.2.3). U mariánskolázeňských pramenů však nedochází, tak jako v případě např. Hraničního p. (Grenzquelle) v Bad Brambachu, k poklesu hlavně Cl^- , SO_4^{2-} a Na^+ (Carlé, 1975). U mariánskolázeňských pramenů je pokles u nejvíce mineralizovaných pramenů pro všechny látky přibližně proporcionální.

Rešerší historických materiálů Carlé (1975) navíc zjistil, že se solanky nalézaly i na severní straně Krušných hor. Například na lokalitě Altensalz byla zjištěna celková M minerální vody až 13 g/l a podobné ale i vyšší mineralizace byly zjišťovány i na jiných místech (Blüher, 1960; Carlé, 1975; Storch et al., 2000). Vůbec nejvyšší mineralizace v české části Podkrušnohoří, tj. 133 g/l, byly zjištěny nedaleko Jindřichova u Chebu, ve vrtu HV-18c Jindřichov (hloubka 700 m), který zastihl podloží chebské pánve tvořené krystalinickými horninami. Samotná solanka je pak vázaná na řídkou síť puklin v metamorfovaných horninách, tvořených svory s vložkami krystalických vápenců a metabazitů. Chemickou analýzou bylo zjištěno, že jde o vodu typu Na-SO₄-Cl, což je chemismus běžný pro některá jezera kontinentálních riftů (Pačes et al., 1981). Velmi vysoká mineralizace byla zjištěna i v r. 2008 v Německu v Bad Elster (Krásný et al., 2012). V chebské pánvi byla zjištěna i termální voda (ve vrtu HV 14 v hloubce 382 m teplota 34,9 °C, celková M 11,9 g/l, typ Na-HCO₃-SO₄, 2,1 g/l rozpuštěného CO₂) u východního okraje chebské pánve, v žulovém podloží (Klír a Pazdera, 1976). Velmi mineralizované vody byly zjištěny i v širším okolí západních Čech pomocí vrtného průzkumu i důlní činnosti. Příkladem může být solanka v dole Vítkov 2, v hloubce 716 až 922 m, v granitech (Hanzlík a Krásný, 1998) nebo i super hluboký vrt KTB (Kontinentale Tiefbohrung), kde se ve 4000 m p.t. zjistila voda s celkovou mineralizací 68 g/l (Behr et al., 1993). Voda z vrtu KTB však nelze považovat za karlovarského typu z důvodu vyšších koncentrací Ca²⁺ aj.

Šmejkal a Pačes (1992), kteří se problematikou vod karlovarského typu detailně zabývali, vytvořili mapu výskytu vod s třetihorní mineralizací v Karlovarském kraji. Z ní vyplývá, že karlovarský typ tvoří dvě pásma výskytu. První pásmo je paralelní s mariánskolázeňským zlomem a zahrnuje např. Mariánské Lázně, Podlesí, Kyselecký Hamr, Doubravu a Dolní Paseky. Druhé pásmo, zahrnující např. Karlovy Vary, Milhostov a Hájek, je paralelní s oháreckým. Pásma se protínají v Chebské pánvi. Jak již bylo zmíněno, z hlediska interpretace původu jsou nejproblematičtější zvýšené koncentrace Cl^- . Syntézou poznatků se zabýval i Jetel (1970b). Dochází k závěru, že solanky na území Českého masivu musely vzniknout nejen během terciéru, ale i dříve (např. v permokarbonu) (Krásný, 2009). Distribuce je přitom nerovnoměrná, kdy jsou solanky nalézány pouze v severní části Českého masivu a jižní část je o ně ochuzená. Možným vysvětlením je to, že jižní část masivu je více erodovaná.

4.4.2 Srovnání mariánskolázeňských pramenů s karlovarským Vřídlem

Do svodné tabulky, která srovnává mariánskolázeňské minerální vody s vodou z Karlových Varů, byly vybrány pouze ty, které mají alespoň 0,4 g/l Cl^- , protože jde o hlavní znak vody a celkovou M vyšší než 5 g/l. Šmejkal a Pačes (1992) do vod karlovarského typu přiřadili i minerální vody v Podlesí s koncentrací 0,2 g/l Cl^- a celkovou M 3,0 g/l (Kolářová a Myslík, 1979). Jako voda reprezentující karlovarský typ byl vybrán vrt BJ 35 Vřídlo. Srovnání vod z Karlových Varů s vodami z Mariánských Lázní je patrné z Tab. 39.

Ze svodné tabulky plyne, že hlavní rozdíl mezi karlovarskými a mariánskolázeňskými prameny je v koncentraci K^+ a Mg^{2+} , kdy mariánskolázeňské vody ve většině případů obsahují více než dvojnásobnou koncentraci Mg^{2+} , a naopak K^+ je v mariánskolázeňských pramenech ve většině případů méně než polovina oproti karlovarským pramenům. Pravděpodobným důvodem je to, že horniny v okolí Mariánských Lázní jsou na Mg^{2+} bohatší a na K^+ chudší. Vliv na konečnou koncentraci iontů ve vodě může mít i teplota. Dalším charakteristickým rozdílem je značně proměnlivá celková M, která je v některých případech i dvojnásobná oproti karlovarské vodě. Je přitom zajímavé, že největší počet pramenů má skutečně mineralizaci cca 6 g/l, což odpovídá karlovarské vřidelní vodě. Z pohledu hydrochemických typů jsou si vody navzájem podobné, ale problematické je, že v řadě případů v Mariánských Lázních převažují proporcionálně SO_4^{2-} nad HCO_3^- , což pro karlovarské prameny neplatí. Paradoxně HCO_3^- u mariánskolázeňských pramenů začíná dominovat až u méně mineralizovaných pramenů. Důvodem může být opět teplota, kdy rozpustnost CO₂ se vzrůstající teplotou klesá. Hydrochemicky podobné si jsou s karlovarským vřídlem vody z bývalého vrtu Ferdinand HJ 53, HJ 67 a hlavně jímací vrt Ferdinand HV 43 Augustin a 44 Edward VII, kde je dokonce shodná celková M, tj. cca 6 g/l.

Pro pochopení prostorových zákonitostí distribuce Cl^- byl sestaven Obr. 117. Z něj vyplývá, že oblast nejvyšších koncentrací Cl^- , tj. > 0,4 g/l má generelně směr S - J, a je definována oblastí Křížového, Alexandrina, resp. Alfredova, Ferdinandova p. a končí na severním okraji Rudolfovy zřídelní struktury. Nad 0,1 g/l Cl^- bylo zjištěno i v blízkém okolí této hlavní struktury, v severní části v Lesním p., p. Karoliny, ve vrtu Krym BJ 2 a v jižní části struktury, v Jateční kys. a zaniklém prameni Medvědí starý.

Tab. 39 – Srovnání kationtů a aniontů velmi mineralizovaných pramenů v Mariánských Lázních

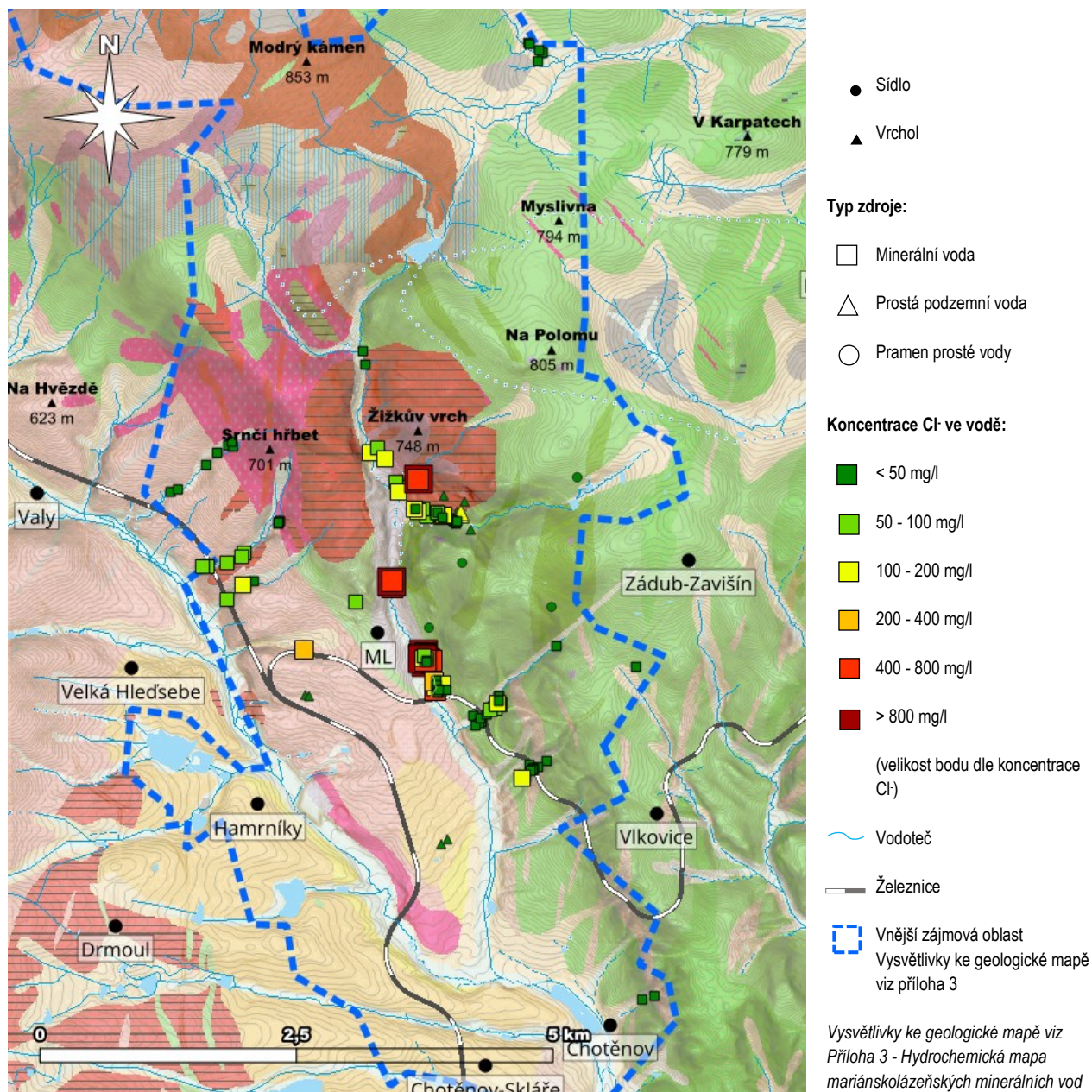
Název	Odběr	Zdroj	Celková M mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Chemický typ
Karlovy Vary											
BJ 35 Vřídlo	2017	ČIL	6 377	1 690	93	42	122	597	2 110	1 600	Na-HCO ₃ -SO ₄
Mariánské Lázně											
Alexandra BJ 12	2018	Laboratorní protokol č.: RL 124 - 18	6 947	1 760	33	92	109	682	1 940	2 165	Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl
Alexandra HJ 11	1985	Pěček (1985b)	6 174	1 620	28	92	107	574	2 065	1 628	Na-SO ₄ -HCO ₃
Alexandra starý	1900	Dovolil (1956a) z Klír (1953)	6 427	1 614	34	112	137	610	1 724	2 058	Na-SO ₄ -HCO ₃
Alfréd HJ 10	1985	Pěček (1985b)	9 474	2 540	42	143	160	904	2 782	2 858	Na-SO ₄ -HCO ₃
Alfréd starý	1900	Dovolil (1956a) z Klír (1953)	7 274	1 850	35	114	150	662	2 068	2 255	Na-SO ₄ -HCO ₃
Ferdinand HJ 52	1988	Pěček (1991a)	11 806	3 030	57	194	136	1 310	3 265	3 562	Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl
Ferdinand HJ 53	1995	Pěček (1996a)	6 091	1 200	19	130	321	495	2 313	1 451	Na-HCO ₃ -SO ₄
Ferdinand HJ 54	1990	Pěček (1991a)	11 427	2 900	80	109	321	1 241	3 499	3 122	Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl
Ferdinand HJ 56	1988	Pěček (1991a)	6 338	1 429	33	79	220	580	2 136	1 720	Na-SO ₄ -HCO ₃
Ferdinand HJ 67	1990	Pěček (1991a)	5 925	1 382	28	107	110	499	2 108	1 516	Na-HCO ₃ -SO ₄
Ferdinand HV 43 Augustin	2019	Laboratorní protokol č.: RL 331 - 19	7 234	1 670	40	140	248	651	2 520	1 790	Na-HCO ₃ -SO ₄
Ferdinand HV 44 Edward VII	2019	Laboratorní protokol č.: RL 332 - 19	5 923	1 120	29	149	281	481	2 340	1 340	Na-HCO ₃ -SO ₄
Ferdinand I	2018	Laboratorní protokol č.: RL 121 - 18	8 493	2 220	43	91	126	842	2 480	2 523	Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl
Ferdinand II	2018	Laboratorní protokol č.: RL 122 - 18	7 375	1 780	37	110	177	714	2 310	2 069	Na-SO ₄ -HCO ₃
Křížový III	2019	Laboratorní protokol č.: RL 144 - 19	10 135	2 710	49	97	160	910	2 920	3 170	Na-SO ₄ -HCO ₃
Křížový IV	2019	Laboratorní protokol č.: RL 145 - 19	5 964	1 510	20	89	120	554	1 570	2 010	Na-SO ₄ -HCO ₃
Rudolf HJ 20	1987	Pěček (1989)	7 798	1 430	28	252	497	771	2 685	2 041	Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄ -Cl

Poznámka: **zelené** = rozdíl od BJ 35 Vřídlo do $\pm 20\%$, **žluté** = rozdíl od BJ 35 Vřídlo $> \pm 20\%$, ale méně než dvojnásobek, resp. polovina, **červené** = menší než poloviční a větší než dvojnásobný rozdíl od BJ 35 Vřídlo

4.4.3 Diskuze nad karlovarským typem vod v Mariánských Lázních

Z rešerše dostupné literatury vyplývá, že by mělo jít o vodu, jejíž mineralizace je dvojí geneze. Část je dána rozpouštěním horniny do vody a druhá pochází ze vsáklé fosilní mineralizace. Na druhou stranu z vyhodnocených historických dat, i z nových analýz, není zřejmé, že by za dobu více než 100letého pozorování Lesního i Ferdinandova p. (Obr. 95) docházelo k poklesu Cl⁻ na úkor jiných iontů, a to i přesto, že je pokles celkové M, např. u p. Křížový IV za posledních 60 let, zcela evidentní. Nejistota v určení trendu vymývání vsáklé mineralizace ještě vzrůstá při vnesení časových řad do Piperova diagramu (Obr. 94). Protože více mineralizované vody zůstávají na \pm stejné pozici a proporcionální složení se mění pouze u málo až středně mineralizovaných vod. Směr pohybu v diagramu navíc není stejný pro všechny vody, což by se dalo očekávat, s ohledem na skutečnost, že zdrojem Cl⁻ by snad měly být solanky homogenního složení.

Zcela zásadní rozdíly mezi na Cl⁻ bohatými prameny v ML a v Karlových Varech jsou teplota vody, úhrnná vydatnost (např. průzkumný vrt HJ-25 v Karlových Varech Q = 1600 l/min), směr proudění vody ve vrtech, a že v Karlových Varech je výstupní cesta termy soustředěná a strmá (Vylita a Pěček, 1981). Podstatné však je, že jiné termy ležící na ohárecké riftové struktuře, mají celkovou M i množství výše popsanych iontů, mnohem nižší. Např. termální vody zjištěné 420 m hlubokým vrtem DC-1 v Děčíně, zachytily minerální vodu typu Ca-HCO₃ s teplotou 27 °C a celkovou M pouze 0,2 g/l (Šula, 1981).

Obr. 117 - Prostorové rozložení koncentrací Cl⁻ v zájmové oblasti.

Prínosné by bylo, v souvislosti s touto problematikou, provést detailní izotopové analýzy pro všechny mariánskolázeňské p. Nebylo by přitom nutné provádět izotopové analýzy $\delta^2\text{H}$ a $\delta^{18}\text{O}$, tak jak bylo provedeno např. v Korunní (Šimo, 2021), v severních Čechách (Fízková, 2020) a na Ondrášovsku (Pasternáková, 2019), jelikož již v minulosti bylo zjištěno a dokázáno, že jde o vody meteorického původu (Šmejkal a Pačes, 1992). Pozornost by se měla spíše upřít na studium izotopů vzácných zemin a dále např. na Fe, Sr, Nd, Pb, popř. i C. Dobré výsledky přineslo studium tradičních i netradičních izotopů např. v Kyselce a Jáchymově, kde se Möllerovi et al. (1998) podařilo přibližně určit podíl dotace mineralizace z granitů a neovulkanitů. Nebo dále např. Schuessler et al. (2016) v minerálních pramenech v Bad Brambachu zjistil specifické oscilace v izotopovém složení Fe. Bylo pozorováno, že dochází k prodlévě mezi seismickou aktivitou a změnou složení vody.

Při potenciálním navazujícím studiu by bylo vhodné zaměřit pozornost i na to, zda shodnost celkové M u hydrochemicky totožných vod s karlovarským Vřídlem je náhodná nebo existuje určitá geologická, tektonická, hydrogeologická či morfologická spojitost. A nakonec také tomu, kde se nalézá zdroj vsáklé mineralizace, protože vrtný průzkum na rudy v předpokládané infiltrační oblasti, tj. v oblasti Slavkovského lesa, žádné solanky nepotvrdil, a to ani ve vrtech hlubších než 100 m. Proto zůstává otázkou, kde zdroj Cl⁻ mineralizace leží. Souhrn poznatků o genezi mariánskolázeňských pramenů je sveden do Tab. 40. V souvislosti s Cl⁻ je zajímavá studie Lavrushina et al. (2020), kteří

u vod bohatých na Cl⁻ v okolí Kavkazu zjistili pozitivní korelaci mezi koncentrací Cl⁻ a δ¹⁸O. Domnívají se, že to může souviset s v minulosti vsáklými slanými vodami. Nebo též portugalská studie o původu Cl⁻ v minerálkách, kde využívali izotopového poměru ³⁷Cl / ³⁵Cl (Marques et al., 2020). Dále též studie Mas-Pla et al. (2023), kteří se pokusili určovat stáří minerálních vod s CO₂ pomocí tritia a radiokarbonového datování. Objektivnost výsledků je však dle mého názoru problematická. Problematičnost této metody totiž zdůrazňuje na příkladu datování belgických minerálek např. Barrosová et al. (2021). Nakonec bych za velmi užitečné považoval rozšíření zájmové oblasti na celé západní Čechy, což by jednotlivé hypotézy této práce buď potvrdilo nebo vyvrátilo.

Tab. 40 - Zhodnocení přijímaného názoru na genezi vod karlovarského typu v Mariánských Lázní

Minerální vody karlovarského typu obsahují část vsáklé fosilní mineralizace z bezodtokého jezera		
č.	Argumenty dokládající tvrzení	Argumenty zpochybňující tvrzení
1.	Mineralizace pramenů je natolik vysoká, že by prostým vyložení okolo hornin, při odhadnuté době zdržení cca 3 měsíce a hloubce oběhu jen výjimečně vyšší než 100 m, zcela jistě vzniknout nemohla.	V ML je sice pokles mineralizace u vod karlovarského typu prokázán, ale jednotlivé komponenty klesají ± stejným tempem. Naopak z Tab. 38 plyne, že spíše rychleji klesá koncentrace Ca ²⁺ než Cl ⁻ . Je dokonce sledovatelný zajímavý fenomén zvyšování koncentrací Cl ⁻ u méně mineralizovaných pramenů.
2.	Podobný chemismus vod je pozorovatelný i na jiných místech v západních Čechách, a tudíž chemismus vody přímo nezávisí na geologii v okolí vývěru.	Při prohlubování jímání ve zřidelní struktuře Křížového p. ke zvýšení celkové M nedošlo.
3.	Izotopické složení sulfátového kyslíku ukázalo to, že hodnota δ ¹⁸ O je u recentních sulfátů vzniklých oxidací sulfidů negativní (-2 až -6 ‰), kdežto v karlovarských sulfátech má hodnotu kolem +6 ‰ (Šmejkal, 1979). To dokládá, že síra ve vodách není recentního původu.	Proces vymývání vsáklé fosilní mineralizace si lze prakticky vysvětlit pouze u průlinové propustnosti horninového prostředí (Františkovy Lázně). V ML je propustnost hornin puklinová.
4.	Izotopové analýzy síry zjistily, že pro karlovarský typ je obvyklý poměr ³⁴ S / ³² S 6,3 ± 0,3 ‰. Pokud by přitom zdrojem SO ₄ ²⁻ byla pouze vulkanická činnost, měl by být poměr 0 až 2 ‰. Vysvětlením tohoto posunu je bakteriální redukce v zaniklém jezeře. Navíc celková izotopická homogenita sulfátové síry napříč územím (Karlovy Vary δ ³⁴ S 6,25 ± 0,16 ‰, Františkovy Lázně δ ³⁴ S 6,2 ± 0,3 ‰, Mariánské Lázně δ ³⁴ S 6,4 ± 0,2 ‰), svědčí o existenci jednotného sulfátového zdroje (jezera) v západních Čechách, který se později mohl rozdělit na chebskou a sokolovskou část. Pro úplnost uvádím, že aritmetický průměr pro minerální vody mimo západní Čechy je 11,2 ± 19,8 ‰ (Šmejkal et al., 1981 In Šmejkal a Pačes, 1992).	V případě, že je skutečně infiltrační oblastí vrcholová část Slavkovského lesa, tak stále nebyla v této oblasti žádná, více mineralizovaná a neproplyněná, voda vrtným průzkumem zjištěna. Taktéž nebyly zjištěny relikty terciérních uloženin.
5.	Západočeské minerální vody, ve kterých převládají SO ₄ ²⁻ a Cl ⁻ , mají poměr cca od 1,6 do 4,9, ale ve vodách, např. v podloží české křídové pánve, má poměr rozsah přes 4 řády (Šmejkal a Pačes, 1992).	V případě, že skutečně dochází k vymývání puklin, které obsahují vsáklou fosilní mineralizaci, tak není patrná zvyšující se vydatnost pramenů, které karlovarský typ vody jímají vlivem úbytku hmoty v horninovém masivu.
6.	Koncentrace Ca ²⁺ a Mg ²⁺ se napříč ML prameny nezvyšují s celkovou M stejným způsobem, jako SO ₄ ²⁻ a Cl ⁻ , což svědčí o tom, že více mineralizované vody nedosáhly pouze delší doby zdržení.	Vertikální zonálnost byla zjištěna i ve Farské zřidelní struktuře, kde pramení voda spadající do skupiny Mg-HCO ₃ .

7.	Doložená přítomnost zaniklého bezodtokého jezera v západních Čechách, které je zdrojem mineralizace na základě paleontologických nálezů (Bůžek et al., 1982).	Nejsou známy informace, že by docházelo ke kontinuálnímu poklesu mineralizace u karlovarských minerálních pramenů.
8.	V podloží chebské pánve nalezeny neproplyněné silně mineralizované vody (Pačes et al., 1981).	V případě, že je vsáklá mineralizace izolována pouze v centru ML, na spojnici Křížového a Ferdinandova p. (<i>hl. ose</i>), tak četná karotážní měření neidentifikovala přítoky do vrtů vertikálně, nýbrž výhradně horizontálně.
9.	U minerálních vod karlovarského typu v ML sledujeme pokles mineralizace.	V případě, že vody nejsou mělkého oběhu, jak uvádí mnozí autoři, tak chybí vysvětlení nízké teploty pramenů.
10.	V ML byla prokázána vertikální zonálnost ve Ferdinandově zřídelní struktuře, která jímá i karlovarský typ vody, což je podobná situace jako ve Františkových Lázních.	Více mineralizované vody nebyly vrtným průzkumem nalezeny nikde v bližším okolí ML.
11.	Při vrtném průzkumu v centru ML nebyla u mnoha vrtů kompaktní hornina zjištěna ani více než 70 m p.t., tj. byly zjištěny jen silně porušené horniny.	Šmejkal a Pačes (1992) uvádějí, že při cirkulaci podzemní vody alespoň 400 až 600 m, je výskyt minerální vody karlovarského typu v Z Čechách běžný. Pro ML je však všude uváděna hloubka cirkulace vody cca pětina.
12.	Nejmineralizovanější ML prameny mají i zvýšené koncentrace Li^+ , Br^- a I^- , což jsou stopové prvky typické pro mořské, fosilní a ropné vody (Pitter, 2019)	V oblasti ML a v ašském výběžku mají některé vývěry izotopové složení, které se od typického karlovarského typu poněkud liší (izotopově těžší $\delta^{34}\text{S}$). Též je vyšší variabilita poměru $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$ než u jiných míst s vodou karlovarského typu (Šmejkal a Pačes, 1992).
13.	<i>Uspokojivější vysvětlení neexistuje.</i>	

5 Závěr

Práce přinesla zásadní poznatky o režimu mariánskolázeňských pramenů. Za hlavní závěry lze považovat, následující:

1. termometrií bylo ve vnitřní zájmové oblasti zaznamenáno 131 teplotních stop na 20 km vodních toků. Z těchto 131 teplotních anomálií bylo pomocí konduktometrie, měření rozpuštěného CO_2 a hodnoty pH zjištěno, že 14 anomálií je minerální vodou. Tyto prameny jsou přitom soustředěny do několika oblastí. Nelze však vyloučit, že z celkové sumy nalezených teplotních stop jich není minerálních více. Těchto 14 nově objevených minerálních, málo vydatných, pramenů bylo, vč. těch zachycených, po celou dobu řešení diplomové práce sledováno. Díky tomu se podařilo prokázat, že je elektrická konduktivita, teplota i vydatnost pramenů u zachycených izolovaných vývěrů relativně stálá. Zároveň se podařilo posoudit, jakým způsobem u zachycených i nezachycených pramenů sezónně osciluje teplota, vydatnost, elektrická konduktivita, rozpuštěné CO_2 a hodnota pH;
2. rešerší se dále podařilo získat hydrochemická data ke 102 dalším místům, kde byla minerální voda v zájmové oblasti zjištěna;
3. podařilo se odebrat vzorky a využít analýzu z celkem 30 pramenů (26 minerálních a 4 prosté vody), ke kterým chyběla chemická analýza anebo byla provedena v dávné minulosti. Chemismus prostých vod pro klasifikaci využít nebyl, analýzy ale byly zahrnuty do mapy elektrické konduktivity aj. **Celkově se podařilo, jako podklad pro hydrochemickou zonaci minerálních vod, získat soubor dat obsahující informace o 128 unikátních místech s minerální vodou přímo v Mariánských Lázních, tj. ke všem 128 místům byla dohledána, případně nově provedena, chemická analýza;**
4. následná shluková analýza potvrdila hypotézu, že se v zájmové oblasti nalézají minerální vody vícero typů. Celkově se podařilo určit vody tří původů, které se v různých poměrech ředí. První skupinou jsou minerálky, které byly přiřazeny ke skupině **Ca-HCO₃**, dále skupina **Mg-HCO₃**, **Na-HCO₃ / SO₄** a nakonec skupina **přechodová**, která zahrnuje prameny na přechodu mezi skupinami, popř. typově složitě málo mineralizované vody chemicky podobné pramenům s prostou vodou;
5. jednotlivé skupiny minerálních vod nejsou v zájmové oblasti rozmístěny náhodně. V každé části zájmové oblasti dominuje vždy určitá hydrochemická skupina. V severní části dominuje skupina Mg-HCO₃ (Farská, Maxova a Chudá kys.). V centru města, v údolí Úšovického potoka, na *hl. ose* začínající Křížovým p. a pokračující přes Alexandřin, Ferdinandův a končící na hranici Rudolfovy zřidelní struktury, dominují kyselky skupiny Na-HCO₃ / SO₄ s vyšší mineralizací. Prameny v oblasti mezi Vlčí a Jateční kys. jsou taktéž řazeny ke stejné skupině, ale mineralizaci mají nižší. V jižní části zájmového území jsou pak již pouze minerální vody skupiny Ca-HCO₃. Minerální vody přechodové skupiny jsou rozesety mezi jednotlivými oblastmi, s tím, že nejvíce pramenů této skupiny se nachází po obvodu oblasti skupiny Na-HCO₃ / SO₄;
6. nejvíce mineralizované p. se nacházejí v centru Mariánských Lázní, v údolí Úšovického potoka, směrem od této protáhlé oblasti celková M pramenů všemi směry klesá, vč. hydrochemických změn. Z tohoto vyplývá, že **mariánskolázeňské prameny tvoří kontinuální hydrochemický přechod**. To je patrné i při vzájemném srovnání struktur, kdy, dle podílů Na⁺ a SO₄²⁻, struktura Křížového a Alexandřina p. přechází ve Ferdinandovu strukturu, následně Lesní, pak ve strukturu okolí Centrálních lázní, Rudolfovu, a nakonec končí v Pottově údolí a struktuře Antoníčkova p.;
7. každá skupina má své specifické hydrochemické zákonitosti, které jsou následující (ionty jsou seřazeny sestupně dle míry růstu trendu). U **skupiny Ca-HCO₃** se vzrůstající celkovou M lineárně roste koncentrace HCO₃⁻, Ca²⁺ a Mg²⁺, u **skupiny Mg-HCO₃** lineárně roste koncentrace HCO₃⁻, Mg²⁺, Ca²⁺ a Na⁺, u **skupiny Na-HCO₃ / SO₄** lineárně roste Na⁺, SO₄²⁻, HCO₃⁻ a Cl⁻ a nakonec u **přechodové skupiny** lineárně roste HCO₃⁻, Ca²⁺, Na⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ i Cl⁻ (čili všechny hlavní ionty);
8. **byla vytvořena nová hydrochemická klasifikace pro mariánskolázeňské minerální prameny. Díky definovanému klíči budou moci být do této klasifikace přidány i v budoucnu nově objevené prameny;**
9. nejvíce mineralizované mariánskolázeňské minerální vody, které jsou bohaté na Na⁺, Cl⁻ a SO₄²⁻, jsou řazeny k vodám **karlovarského typu**. Dle převládajícího názoru jsou tyto ionty fosilního původu, které se do horninového prostředí dostaly vsakem v terciéru ze dna bezodtokého jezera. Tuto teorii dokládají izotopická, paleontologická i hydrochemická data. V případě vztáhnutí této teorie na mariánskolázeňské prameny však hypotéza vede k určitým nesrovnalostem, které bude ještě přínosné dovysvětlit;

10. z dat o zastoupení stopových prvků v minerálních vodách se nepodařilo určit jednoznačné zákonitosti. Pouze lze konstatovat, že **nejmineralizovanější prameny, které jsou řazeny do skupiny Na-HCO₃ / SO₄, mají násobně více Li⁺, Br⁻ a I⁻ ve srovnání s ostatními prameny**. Br⁻ a I⁻ obvykle doprovázejí Cl⁻ a vyskytují se v mořské vodě, vodách naftového typu a fosilních minerálních vodách;
11. vztah mezi geologií a chemismem tak, jak ho popisují starší práce, neodpovídá zcela skutečnosti. **Velké množství chemických rozborů prokázalo, že skutečnost je komplikovanější, jelikož chemismus vod není ovlivněn pouze horninou, ale i chemismem vsáklé fosilní mineralizace. Navíc není dán pouze litologií v místě vývěru, ale i v místě infiltrace a tranzitní oblasti**. Lze však souhlasit s názorem, že hadcová tělesa vytvářejí minerální vody s dominancí Mg²⁺ iontů, což vede k minerálním vodám náležícím do skupiny Mg-HCO₃. Amfibolitové polohy pak vedou k chemismu Ca-HCO₃. Jde jen pouze o ideální stav. Na chemismu více mineralizovaných minerálních pramenů se totiž podílí fosilní vsáklá mineralizace a ta s litologií nemá přímou souvislost. Na druhou stranu zůstává otázkou, zda i méně mineralizované prameny (např. Vlčí kys., Medvědí starý, Mravenčí aj.) jsou touto fosilní složkou ovlivněny. To by mohla určit izotopová analýza. Vzhledem však k tomu, že se mezi více (> 150 meq/l) a méně (< 50 meq/l) mineralizovanými prameny nalézá Lesní p., Jateční kys. a Rudolf HJ 25, je možné, že skutečně souvislost existuje, jen se stále nepodařilo prameny s mineralizací v tomto intervalu nalézt. Jde jen pouze o spekulaci;
12. problematickým zůstává i **vztah mezi tektonickou predispozicí a výskytem minerálních pramenů**, popř. též vydatností a chemismem. Zcela jistě určitá souvislost existuje, a proto se domnívám, že detailní studium vrtných jader, karotážních měření i strukturně-geologických dat povede k zásadním poznatkům týkajících se geneze jednotlivých mariánskolázeňských pramenů. To by umožnilo zefektivnit balneologické využití jednotlivých typů vod;
13. zjišťování vertikální proměnlivosti prokázalo, že existuje určitý vztah mezi nadmořskou výškou a celkovou M. Je však nutné vzít v úvahu i to, že jde o vody jiného složení, a tím i původu. Lze přitom pozorovat, že nejvýše položené prameny patří spíše do skupiny Mg-HCO₃, a naopak níže situované, ve vztahu k morfologii okolí, spadají spíše do skupiny Na-HCO₃ / SO₄ než Ca-HCO₃. Tento vztah je však dán i horizontální proměnlivostí, a tudíž ho nelze považovat za zcela rozhodující. Naopak se prokázalo, že **neexistuje jasný vztah mezi vydatností a nadmořskou výškou vývěru**. Nebyl zjištěn ani vztah mezi celkovou M a vydatností;
14. byla zjištěna zonálnost i v rámci jednotlivých zřídelních struktur. Nejlépe patrná je ve Ferdinandově struktuře, naopak v pouze 300 m vzdálené Rudolfově se neprojevuje. Stanovení vertikální zonálnosti uvnitř struktury se odvíjí od proběhlých hydrogeologických vrtných průzkumných prací, a tudíž výsledky nejsou dostupné pro celou zájmovou oblast;
15. časová proměnlivost je pro mariánskolázeňské prameny zásadní. Sledujeme sezónní i dlouhodobé trendy. Sezónní trend spatřujeme např. v koncentraci rozpuštěného CO₂, teplotě, či rozkolísanosti vydatností pramenů v závislosti na srážkách. **Odstup mezi srážkou a změnou vydatnosti je průměrně 3 měsíce**. Dlouhodobé trendy jsou také výrazné. Jde např. o změnu chemického složení vody. Lze sledovat proměnlivost dvojího typu. Prvním typem jsou situace, kdy klesá celková M, ale poměry iontů jsou zachovány. U druhého typu dochází i ke změně iontových poměrů. První typ je charakterističtější pro více mineralizované vody náležící do skupiny Na-HCO₃ / SO₄, zatímco u ostatních pramenů jsou sledovatelné i změny iontových poměrů. **V dlouhodobém časovém měřítku lze nadále očekávat pokles balneologického významu nejvíce mineralizovaných mariánskolázeňských pramenů**. Dalším rozdílem je to, že vody více mineralizované obecně zaznamenávají pouze klesající trend celkové M, zatímco u ostatních může docházet i k tendenci rostoucí. Dlouhodobé trendy však pozorujeme i ve vydatnosti dílčích pramenů, která obecně klesá. **Vlivem rozšiřování jímací základny a zdokonalování krenotechnického řešení ale celková vydatnost Mariánských Lázní stoupá**.

Rešerše i vlastní výzkum potvrdily, že **bez racionální ochrany nelze** prameny v zájmové oblasti dlouhodobě využívat, aniž by nedocházelo k negativním změnám jejich původních vlastností. Mariánskolázeňské prameny je třeba cíleně, a hlavně efektivně, chránit před negativními vlivy tak, aby nedocházelo k jejich kontaminaci, ke snižování mineralizace, koncentrace rozpuštěného CO₂, poklesu teploty a ani vydatnosti. Zásadní význam proto mají všechny informace, které zvýší jak pochopení všech faktorů ovlivňující režim pramenů, tak i dopadů realizovaných ochranných opatření. Hlavní význam přitom mají hydrochemické procesy a jejich projevy. Ty lze posoudit pouze v případě objektivní hydrochemické zonace vod v dané oblasti. Proto doporučuji, aby byla podobná studie provedena pro celou oblast západních Čech.

6 Použitá literatura

- Acciaiuoli, L. M. C. (1952): Le Portugal Hydromineral. I Volume, Direction Generale des Mines et des Services Geologiques, Lisbonne, 284 pp.
- Alekin, O. A. (1946): Physics and chemistry of water in Lake Issyk Kul, in Molchanov, I.V. (ed), Lake Issyk Kul, Gidrometeoizdat, Leningrad, pp. 80–102.
- Barros, R., Defourny A., Collignon, A., Jobe, P., Dassargues, A., Piessens, K., Welkenhuysen, K. (2021): A review of the geology and origin of CO₂ in mineral water springs in east Belgium. *Geologica Belgica* (2021) 24/1-2: 17-31, DOI: <https://doi.org/10.20341/gb.2020.023>.
- Behr, H. J., Gerler, J., Hein, U. F., Reutel, C. J. (1993): Tectonic Brines und Basement Brines in den mitteleuropaeischen Varisziden: Herkunft, metallogenetische Bedeutung und geologische Aktivität. - *Göttinger Arb. Geol. Palaont.* 58, 3-28.
- Behrend, F., Berg, G. (1927): *Chemische Geologie*. Enke. Stuttgart.
- Bian, J., Sun, W., Li, J., Li, Y., Ma, Y., Li, Y. (2023): Hydrochemical Formation Mechanism of Mineral Springs in Changbai Mountain, China. *College of New Energy and Environment, Jilin University, Environmental Earth Sciences* 82:145. <https://doi.org/10.1007/s12665-023-10795-5>.
- Blüher, H.-J. (1960): Zur Geologie des Oberkarbons und Rotliegenden im westlichen Erzgebirgischen Becken. - *Geologie (Berlin)* 9, 8, 909-929.
- Bohumínský, L., Hájek, M., Kořenský, B., Krajča, J., Mareš, J., Ocelka, P., Teplý, J. (1972): Speciální hydrogeologický výzkum plynem sycených minerálních vod české socialistické republiky, dílčí závěrečná zpráva (1970 - 1972) státního úkolu C-52-347-016/2. Základní výzkum minerálních vod ČSR. Výzkumný ústav geologického inženýrství, Brno.
- Bowes, D. R., Aftalion, M. (1991): U-Pb zircon isotope evidence of Early Ordovician and Late Proterozoic units in the Mariánské Lázně Complex, Central European Hercynides. *NJbM, Mh.* 7, Stuttgart. p. 315-326.
- Box, G. E. P., Cox D. R. (1964): An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society*. Published By: Oxford University Press, Series B (Methodological), Vol. 26, No. 2 (1964), pp. 211-252 (42 pages)
- Bräuer, K., Kämpf, H., Niedermann, S., Strauch, G. (2018): Monitoring of helium and carbon isotopes in the western Eger Rift area (Czech Republic): Relationships with the 2014 seismic activity and indications for recent (2000–2016) magmatic unrest. *Chemical Geology*, 482, 131-145. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.02.017>.
- Bräuer, K., Kämpf, H., Niedermann, S., Strauch, G., Tesař, J. (2008): Natural laboratory NW Bohemia: Comprehensive fluid studies between 1992 and 2005 used to trace geodynamic processes, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9, Q04018, doi:10.1029/2007GC001921.
- Bůžek, Č. et al. (1982): Paleobotanická data k biostratigrafii a korelaci uložen Chebské pánve. - *Acta montana (Praha)* 60, 49-82.
- Cabidoche, M., Vanbrabant, Y., Brouyère, S., Stenmans, V., Meyvis, B., Goovaerts, T., Petitelerc, E., Burlet, C. (2021): Spring Water Geochemistry: A Geothermal Exploration Tool in the Rhenohercynian Fold-and-Thrust Belt in Belgium. *Geosciences* 2021, 11, 437. <https://doi.org/10.3390/geosciences11110437>
- Cahyna, F. (1988): Rudolfův pramen v Mariánských Lázních - geofyzikální měření na vrtech HJ-20 a HJ-22 - Závěrečná zpráva. *Geofyzika n.p. Brno, závod Praha. Číslo úkolu zpracovatele: 53 82 00. Praha.*
- Cahyna, F., Krčmář, B., Eremiášová, E., Matušek, P., Remsová, Z. (1983): Geofyzikální výzkum lokalizace přírodních cest Rudolfových a Ferdinandových pramenů v mariánskolázeňské zřidelní oblasti - Závěrečná zpráva. *Geofyzika n.p. Brno, závod Praha.*
- Cahyna, F., Škuthan, B., Matoušek, P., Mazač, O. (1981): Lokalizace přírodních pramenů Alfréd a Alexandr v mariánskolázeňské zřidelní oblasti. *Geofyzika n.p. Brno, závod Praha.*
- Carlé, W. (1975): Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa. *Geologie, Chemismus, Genese*. - *Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft MBH. Stuttgart.*

- Class, C., Goldstein, S.L. (2005): Evolution of helium isotopes in the Earth's mantle. *Nature* 436, 1107–1112. <https://doi.org/10.1038/nature03930>.
- Collett, S., Štípská, P., Schulmann, K., Peřestý, V., Soldner, J., Anczkiewicz, R., Lexa, O., Kylander-Clark, A. (2018): Combined Lu-Hf and Sm-Nd geochronology of the Mariánské Lázně Complex: New constraints on the timing of eclogite- and granulite-facies metamorphism. *Lithos*. 304-307. 10.1016/j.lithos.2018.02.007.
- Čech, S. (2013): Likvidace vrtů, lokalita Mariánské Lázně, lázeňský park, pod solivárnou nad Ferdinandovým pramenem vrt HJ-7 a vrt PJ-6, Studnařství BČ s.r.o., číslo zakázky: 34113020000, objednatel: Aquatest a.s., Závěšín.
- Česko (2001): Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 423/2001 Sb. ze dne 06.12.2001. Vyhláška MZ, kterou se stanoví způsob a rozsah hodnocení přírodních léčivých zdrojů a zdrojů přírodních minerálních vod a další podrobnosti jejich využívání, požadavky na životní prostředí a vybavení přírodních léčebných lázní a náležitosti odborného posudku o využitelnosti přírodních léčivých zdrojů a klimatických podmínek k léčebným účelům, přírodní minerální vody k výrobě přírodních minerálních vod a o stavu životního prostředí přírodních léčebných lázní (vyhláška o zdrojích a lázních). In: *Sbírka zákonů České republiky č. 159/2001*.
- Česko (2014): Vyhláška č. 83/2014 Sb. ze dne 14.5.2014. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů České republiky č. 34/2014*.
- Česko (2024): Vyhláška č. 13/2024 Sb. ze dne 21.2.2024. Vyhláška o požadavcích na jakost balených vod a o způsobu jejich úpravy. In: *Sbírka zákonů České republiky č.13/2024*.
- ČGS (2024): GDO ID 565330 Křížový IV, provádějící organizace: Stavební geologie n.p. Praha. Česká geologická služba, databáze geologicky dokumentovaných objektů, výpis pořízen dne: 16.07.2024.
- ČHMÚ (2020a): Průměrná roční teplota vzduchu za období 1991 - 2020. [chmi.cz](https://www.chmi.cz/), Český hydrometeorologický ústav, dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/T_normal19120.gif, [dostupné 27.6.2024].
- ČHMÚ (2020b): Evidenční list hlásného profilu č.164. [chmi.cz](https://www.chmi.cz/), Český hydrometeorologický ústav, dostupné z: https://web.archive.org/web/20200807211120/http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=2505281, [dostupné 27.6.2024].
- ČIL (2022): Český inspektorát lázní a zřidel, hodnocení VZ 2022: Bohemia healing Marienbad waters a.s., Grand Hotel Marienbad Betriebs s.r.o., Léčebné Lázně Mariánské Lázně a. s., hodnocení VZ 2021: Cristal Palace s.r.o. (do 06/2022 a.s.). Praha.
- Dašek, V. (1941): Doprava vod uhličitých – věstník čes. fysiatr. spol. 21, Praha.
- Dašek, V. (1948): Prameny v Mariánských Lázních. Státní inspektorát pro přírodní léčivé zdroje.
- Dědeček, P., Šafanda, J., Uxa, T., Holeček, J., Burda, J., Dudková, I., Kachlíková, R., Paleček, M., Kloz, M., Holečková, P. (2022): Mapy potenciálu geotermální energie v různých hloubkových úrovních a mapy střetu zájmů na území ČR, dostupné z: https://mapy.geology.cz/geotermalni_potencial/, [dostupné 27.6.2024].
- Deetjen, P., Falkenbach, A., Harder, D., Jöckel, H., Kaul, A., Philipsborn, H. V. (2005): Radon als Heilmittel. Therapeutische Wirksamkeit, biologischer Wirkungsmechanismus und vergleichende Risikobewertung. - Verlag Dr. Kovač. Hamburg. 111p.
- Depret, M., Bruni, Y., Dassargues, A., Defourny, A., Marion, J.-M., Vanderschueren, H.-W., Hatert, F. (2021): Mineralogical and hydrogeological study of "pouhons" in the lower Palaeozoic formations of the Stavelot-Venn Massif, Belgium. *Geologica Belgica* (2021) 24/3-4: 109-124, DOI: <https://doi.org/10.20341/gb.2021.001>.
- Dietl, A. (1942): Die Sauerlinge des Egerlandes. *Der Balneologe*, 9. Jahrg., Heft 9.
- Dobrovolný, P. (2004): Statistické metody a zpracování dat - shluková analýza. Prezentace. Masarykova univerzita, dostupné z: https://is.muni.cz/el/1431/podzim2004/Z0069/um/143953/Statistika_vicerozmerne_metody_2.pdf, [dostupné 21.6.2023].
- Dolanská, J. (2023): Parta nadšenců objevila zapomenutý pramen, dostal jméno Maxova kyselka. [iDNES.cz](https://www.idnes.cz/), vydavatelství Mafra, dostupné z: https://www.idnes.cz/karlovy-vary/zpravy/priroda-lazne-prameny-spolek-obnoveny-vyver-maxova-kyselka.A230421_720907_vary-zpravy_melu, [dostupné 21.4.2023].

- Dovolil, M. (1956a): Zvětšení využití vydatnosti zdrojů kyselky v Pottově údolí ve zřidelní oblasti Mariánských Lázní. Universitas Carolina, Geologica vol. 1, No.2. p. 45-55.
- Dovolil, M. (1956b): Návrh rekonstrukce jímání pramene Alfrédova. Praha.
- Dovolil, M. (1959): Hydrogeologie oblasti kyselek v Mariánských Lázních a v jejich širokém okolí. – Ms. Dizertační práce, Přírodovědecká fakulta UK Praha
- Dovolil, M. (1961): Hydrogeologie oblasti kyselek v Mariánských Lázních a v jejich širokém okolí, Přírodovědecká fakulta UK Praha.
- Drbal, M. (2012): Hydrogeologické posouzení možnosti využití Ferdinandových pramenů v Mariánských Lázní - Závěrečná zpráva. Aquatest a.s. Geologická 4, 152 00 Praha 5. Kód zakázky: Mariánské Lázně - Ferdinandovy prameny - HG, číslo zakázky: 341120171000, objednatel: Cristal Palace a.s., Karlovy Vary.
- Drbal, M. (2013a): Hydrogeologický průzkum pro získání perspektivního zdroje minerální vody pro lázeňský hotel „Evropa“ v Mariánských Lázních - Závěrečná zpráva. Aquatest a.s. Geologická 4, 152 00 Praha 5. Kód zakázky: Mariánské Lázně - HV-42 - HGP, číslo zakázky: 341130068000, objednatel: AME Holding s.r.o., Karlovy Vary.
- Drbal, M. (2013b): Posouzení nevyužívaných vrtů HJ-7, HJ-68, PJ-5 a PJ-6 ve zřidelní struktuře Ferdinandových pramenů v Mariánských Lázních - Závěrečná zpráva. Aquatest a.s. Geologická 4, 152 00 Praha 5. Kód zakázky: Mariánské Lázně - Ferdinandovy prameny - posouzení vrtů, číslo zakázky: 341130211000, objednatel: ČR - Ministerstvo zdravotnictví, Český inspektorát lázní a zřidel, Karlovy Vary.
- Drbal, M. (2014a): Hydrogeologické odzkoušení průzkumných hydrogeologických vrtů HV-43 a HV-44 ve zřidelní struktuře Ferdinandových pramenů v Mariánských Lázních - Závěrečná zpráva. Aquatest a.s. Geologická 4, 152 00 Praha 5. Kód zakázky: Mariánské Lázně - Ferdinandovy prameny - HGP, číslo zakázky: 341130271000, objednatel: Cristal Palace a.s., Karlovy Vary.
- Drbal, M. (2014b): Hydrogeologické odzkoušení průzkumného hydrogeologického vrtu HV-42 ve zřidelní struktuře Lesního pramene v Mariánských Lázních - Závěrečná zpráva. Aquatest a.s. Geologická 4, 152 00 Praha 5. Kód zakázky: Mariánské Lázně - HV-42 - HDZ, číslo zakázky: 341130210000, objednatel: AME Holding s.r.o., Karlovy Vary.
- Drmotá, A., Adamcová, D. (2013): Vlastnosti minerálních vod lesních a neudržovaných pramenů v okolí Mariánských Lázní. Gymnázium Přírodní škola, o.p.s. Praha.
- Duben (1935): Ztráty kyslíčnicku uhličitého během přepravy minerálních vod. – věstník pro vodní hospodářství, Praha.
- Dupalová, T. (2012): Geneze složení podzemních vod hlubokých pánevních struktur na příkladu vztahu české křídové pánve a ohřeckého riftu. Doktorská dizertační práce. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav hydrogeologie, inž. geologie a užitá geofyziky.
- Durov, S. A. (1948): Natural Waters and Graphic Representation of Their Composition. Doklady Akademii Nauk SSSR, 59, 87-90.
- Dvořák, J. (1971): Geofyzikální měření na lokalitě Mariánské Lázně - pramen Antonín. Ústav užitá geofyziky, Brno, závod Praha, Černošice.
- Dvořák, J. (1998): Hydrogeology and the genesis of mineral Waters of the Carlsbad type in western Bohemia In: Annau, R. - Bender, S. - Wohnlich, S. (eds): Hardrock Hydrogeology of the Bohemian Massif. Proc. 3rd Internat. Workshop, 1998, Windischeschenbach. Münchner Geol. Hefte, B8, 63-69. - München.
- Dvořák, J., Horna V. (1976): Hydrogeologický vývoj zřidelních struktur - Hydrogeologický vývoj zřidelní struktury v Mariánských Lázních - Závěrečná zpráva. Výzkumný ústav balneologický, Mariánské Lázně, Ruská 487, úkol č. 23 - 02 - 1, Mariánské Lázně.
- Dvořák, J., Horna V. (1978): Hydrogeologický vývoj zřidelních struktur - Průběžná zpráva o výzkumu v 6. pětiletce (1976 a 1977). Výzkumný ústav balneologický, Mariánské Lázně, Ruská 487, úkol č. 23 - 02 - 01, Mariánské Lázně.
- Dvořák, J., Tesař, J. (1989): Geochemická zonálnost plynné fáze minerálních vod v západočeské kyselkové oblasti - Závěrečná zpráva. Výzkumný ústav balneologický, Mariánské Lázně, Ruská 487, úkol č. 23 - 02 - 01-a Výskyt a hodnocení přírodních léčivých zdrojů, Františkovy Lázně.

- Eggenkamp, H. G. M., Marques, J. M. (2013): Classification of mineral waters: Occurrence and distribution of different water types in Portugal (including Madeira and the Azores). *Journal of Geochemical Exploration*. 132. 125-139. 10.1016/j.gexplo.2013.06.009.
- Felbinger, J. N. (2009): *Kronika Mariánských Lázní 1786 – 1855 – Chronik des Kurortes Marienbad 1786 – 1855; Městské muzeum Mariánské Lázně, Scriptorium*. ISBN: 978-80-86197-99-9.
- Fillimonova, E., Lavrushin, V., Kharitonova, N., Sartykov, A., Maximova, E., Baranovskaya, E., Korzun, A., Maslov, A., Baidariko, E. (2019): Hydrogeology and hydrogeochemistry of mineral sparkling groundwater within Essentuki area (Caucasian mineral water region). *Environmental Earth Sciences* (2020) 79:15, <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8721-2>.
- Fischer, T., Štěpánčiková, P., Karousová, M., Tábořík, P., Flechsig, Ch., Gaballah, M. (2012): Imaging the Mariánské Lázně Fault (Czech Republic) by 3-D ground-penetrating radar and electric resistivity tomography. *Studia Geophysica et Geodaetica*, Volume 56, pages 1019–1036, (2012).
- Fízková, K. (2020): Charakteristika a složení vybraných minerálních vod severočeské oblasti. *Bakalářská práce*, vedoucí Mihaljevič, Martin. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů.
- Flašar, J. (2022): Late Cenozoic response of the selected fluvial systems of the Bohemian Massif to tectonics. *Dizertační práce*, vedoucí Martínek, Karel. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav geologie a paleontologie, Praha.
- Flosman, P. (2023): Složení minerálních pramenů v Mariánských Lázních a jejich účinek na zdraví jedince [online]. Plzeň, [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/oirstv/>. *Bakalářská práce*. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta pedagogická. Vedoucí práce Ing. Jan Hrdlička, Ph.D.
- Franko, O., Porubský, A., Tkáčik, P. (1980): Doterajší národohospodársky prínos výskumu a prieskumu minerálnych a termálnych vôd na Slovensku. *Geologický průzkum* 22, 1, 5-7.
- Gaždová, R., Novotný, O., Málek, J., Valenta, J., Brož, M. and Kolínský, P. (2011): Groundwater level variations in the seismically active region of western Bohemia in the years 2005-2010. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 8(1), 17+, [accessed 03 Mar 2024]. Available: <https://link.gale.com/apps/doc/A281564509/AONE?u=anon~86400776&sid=googleScholar&xid=a6d58d3d>
- Gibbs, J. R. (1970): Mechanisms controlling world water chemistry. *Science* (80-.) 170, 1088–1090. DOI: 10.1126/science.170.3962.1088.
- Goliáš, V., Vylita, T., Trískala, Z., Procházka, R., Pittauerová, D. (2009): Short-term radioactive disequilibrium in thermal mineral waters in Karlovy Vary (Carlsbad) spa, Czech Republic. *Radioprotection* 44(5), DOI:10.1051/radiopro/20095033.
- Grygar, T., Šebek, O., Mihaljevič, M., Strnad, L., Rychlovský, P., Ettler, V., Rohovec, J., Řanda, Z., Příkryl, R. (2008): *Moderní analytické metody v geologii*. Skripta projektu Pražské analytické centrum inovací v grantovém schématu JPD3: Spolupráce výzkumných a vývojových pracovišť s podnikatelskou sférou, podpora inovací. Praha.
- Haberlandt, H. (1929): Petrographische Studien am Tiefengesteinskern von Marienbad. - *Jb. Geol. Bundesanst.* 79. 257-306, Wien.
- Habrda, L. (2009): Vývoj kvantitativních a kvalitativních parametrů minerální vody jímané v Karlově Studánce [online]. Brno, [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/gt9r8/>. *Bakalářská práce*. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Tomáš KUCHOVSKÝ.
- Hadač, E., Brožek, B., Pokorná, V. (1953): *Československé peloidy: (léčivá bahna, rašeliny a slatiny)*. Praha: Státní zdravotnické nakladatelství
- Hanzlík, J., Krásný, J. (1998): Brine occurrences in Czech-German border region. In: Annau, R. - Bender, S. - Wohnlich, S. (eds): *Hardrock Hydrogeology of the Bohemian Massif*. Proc. 3rd Internat. Workshop 1998. Windischeschenbach. *Münchener Geol. Hefte*, B8, 71-78. - München.
- Hauer, F. Hochstetter, F., Wolf, H. (1880): Geologische Gutachten betreffend den Schutz der Karlsbader Thermen. Auszug aus dem Protokolle aufgenommen am 20. Mai in Karlsbad. In: Rosiwald, A. (1895): *Über neue Massnahmen zum Schutze der Karlsbader Thermen*. - *Jb. Geol. Reichsanst.* (Wien) 44, 4, 768-771.

- Havlín Nováková, D. (2008): Minerální vody České republiky - pro vnitřní potřeby Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně a Univerzity Karlovy v Praze. ČGS Brno.
- Hazdrová, M. (1959): Vysvětlivky ke generální mapě M-33-XIX Mariánské Lázně: podzemní vody. Ústřední ústav geologický, Praha.
- Hejtman, B. (1984): Petrografie vyvěřelých hornin Českého masívu - část I. Intruzivní vyvěřelé horniny z. a sz. Čech. Univerzita Karlova, Praha.
- Hlaváčová, M. (2014): Vliv srážek na mělké jímání minerálních vod. Diplomová práce, vedoucí Hrkal, Zbyněk. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav hydrogeologie, inž. geologie a užité geofyziky.
- Holubec, J. (1990): Struktura Českého masívu. Praha: Ústřední ústav geologický. ISBN 80-7075-062-6.
- Honka, D. (2019): Prameny a lázeňská místa na Opavsku - historické lokality výskytu lázeňských míst a využití pramenů v zájmovém regionu Opavska [online]. Olomouc, [cit. 2024-03-03]. Available from: <https://theses.cz/id/wxkcf/>. Master's thesis. Palacký University Olomouc, Faculty of Physical Culture. Thesis supervisor doc. RNDr. Irena Smolová, Ph.D.
- Hrabálek, A. (1951): Změny chemického složení minerální vody ve vztahu k hydrotechnice. Ústřední ústav geologický Praha, Geotechnica 12.
- Hynie, O. (1949): Geologie minerálních zřidel v Čechách a na Moravě. Praha: Státní geologický ústav ČSR.
- Hynie, O. (1963): Hydrogeologie ČSSR. II, Minerální vody. Praha: Nakl. ČSAV.
- Hynie, O., Zoubek, V. (1948): Geologické poměry našich lázeňských míst. Příspěvek pro Almanach lázní československých. Státní geologický ústav Československé republiky.
- Cháb, J., Breiter, K., Fatka, O., Hladil, J., Kalvoda, J., Šimůnek, Z., Štorch, P., Vašíček, Z., Zajíc, J., Zapletal, J. (2020): Stručná geologie základu Českého masívu a jeho karbonského a permského pokryvu. Vydání 2. Praha: Česká geologická služba, ISBN 978-80-7075-975-2.
- Jandová, D. (2009): Balneologie. Grada Publishing, a.s., s.424, ISBN 978-80-247-2820-9.
- Jandová, D. (2014): Základy balneologie. Národní centrum ošetřovatelství a nelékařských zdravotnických oborů. ISBN 978-80-7013-573-0.
- Janeček, P. (2017): Rekonstrukce areálu kolonády v Mariánských Lázních v letech 1973-1991 ve vzpomínkách projektanta. Praha: ČKAIT. ISBN 978-80-87438-95-4.
- Janoška, M. (2011): Minerální prameny v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. Academia, ISBN 978-80-200-1615-7.
- Jetel, J. (1969a): Hlavní zákonitosti výskytu minerálních vod Evropy a Asie. - Sborník seminářů Hydrogeologie na 23. Mezinárodním geologickém kongresu v Praze 1968, s. 27-38. - Československá vědecko-technická vodohospodářská společnost Brno.
- Jetel, J. (1969b): Recenze knihy V. V. Ivanova a G. A. Něvrajeva: „Klasifikacija podzemnych minerálních vod“. - Hydrogeologická ročenka 1969, s. 71-83.
- Jetel, J. (1970a): Chlór v podzemních vodách Českého masívu. - MS Geofond Praha.
- Jetel, J. (1970b): Scheme of hydrogeochemical zoning in the Bohemian Cretaceous and Permo-Carboniferous Basin. - Věst. Ústřední ústav geologický 45, 3, 183-186.
- Ježková, J. (2018): Farmaka v přírodních a léčivých minerálních vodách v ČR. Svaz minerálních vod. Karlovy Vary. svaz-mv.cz, dostupné z: <https://svaz-mv.cz/wp-content/uploads/2018/08/Farmaka-v-minerálních-vodách.pdf>, [dostupné 21.6.2024].
- Ježková, J., Mackovič, M., Procházka, V., Škuthan, B., Trojan, Č. (1992): Problematika ochrany zdrojů léčivých minerálních vod. Geologický průzkum 34, 1 (397), 2 - 6.
- Jia, B., Si, J., Xi, H., Qin, J. A. (2021): Characterization of the Hydrochemistry and Main Controlling Factors of Lakes in the Badain Jaran Desert, China. Water; Soil Hydrological Processes in Desert Regions. 13(20):2931. <https://doi.org/10.3390/w13202931>

- Jiroušek, Z. (1990): Posouzení stávajícího stavu a návrh způsobu utěsnění prostoru mezi suterénem a kolektorem u Křížova pramene v Mariánských Lázních. Stavební geologie, státní podnik, Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Křížový pramen, číslo úkolu: 0390 0885 02 KI, pořadové číslo na úkolu: 1, Praha.
- Jonker, C. Z. (2016): *Balneological Classification of South African Thermal Springs*, University of South Africa, 706 s.
- Kastl, E., Tonika J. (1984): The Marianske Lazne metaophiolite complex (West Bohemia), *Krystalinikum*, 17 (1984), pp. 59-76.
- Keprta, M. (1986): Mariánské Lázně - Mariiiny prameny - Zpráva za II. etapu. Stavební geologie n.p., Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - LO - Mariiiny prameny, číslo úkolu: 0383 1076 13 KH, pořadové číslo na úkole: 2, Praha.
- Keprta, M. (1988): Zpráva o rekonstrukci jímání Mariiinych pramenů v Mariánských Lázních. Stavební geologie n.p., Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Mariiiny prameny II, číslo úkolu: 0386 1700 13 KH, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Keprta, M. (1989): Zpráva o balneotechnickém řešení exploatace minerální vody z vrtů BJ - 36 a BJ - 37. Stavební geologie, státní podnik, Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Rudolf, číslo úkolu: 0389 0363 13 KH, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Keprta, M. (1990a): Zpráva o balneotechnickém řešení exploatace minerální vody z vrtu BJ - 12 v Mariánských Lázních. Stavební geologie, státní podnik, Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Alexandra, číslo úkolu: 0389 0364 13 KH, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Keprta, M. (1990b): Zpráva o balneotechnickém řešení exploatace minerální vody z vrtů HJ - 30 a HJ 31. Stavební geologie, státní podnik, Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Karolina, číslo úkolu: 0389 0365 13 KH, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Keprta, M., Pěček, J. (1984): Mariánské Lázně - Mariiiny prameny - Zpráva za I. etapu. Stavební geologie n.p., Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - LO - Mariiiny prameny, číslo úkolu: 0383 1076 13 KH, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Kilianová, I. (2016): Balené vody v prodejní síti ČR z pohledu minerálního složení [online]. Brno, [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/iikeera/>. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta. Vedoucí práce prof. RNDr. Hana Dočekalová, CSc.
- Klír, S. (1953): Zpráva o geologickém a hydrogeologickém průzkumu okolí Mariánských Lázní a Lázní Kynžvartu. Přírodovědecká fakulta University Karlovy, Praha.
- Klír, S., Pazdera., A. (1976): Nový výskyt termální vody v Chebské pánvi. - *Geologický průzkum* 18, 10, 313.
- Kolářová, A. (2018): Analýza vlivu lidské činnosti na zdroje minerálních vod v Luhačovicích [online]. Brno, [cit. 2024-03-03]. Available from: <https://is.muni.cz/th/nl8ez/>. Bachelor's thesis. Masaryk University, Faculty of Education. Thesis supervisor Jiří JAKUBÍNSKÝ.
- Kolářová, M., Dvořák, J. (1975): *Katastr minerálních vod Západočeského kraje*. Ústřední ústav geologický, Praha.
- Kolářová, M., Hrkal, Z. (1986): Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1 : 200 000, list 11 - Karlovy Vary, list 01 - Vejprty. Ústřední ústav geologický, Praha.
- Kolářová, M., Myslík, V. (1979): *Minerální vody Západočeského kraje*. Ústřední ústav geologický, Vyd. 1., 286 s., [12] s. obr. příl.
- Komatina, M. M. (2004): *Medical geology - Effects of geological environments on human health*, Vol.2, Elsevier Science, Amsterdam, ISBN: 0-444-51615-8, 488 s.
- Krahulec, P., Melioris, L., Trnovec, A. (1992): Súčasný stav zdrojov minerálnych a termálnych vôd Slovenskej republiky. *Geologický průzkum* 34, 9 (405), 261-262.
- Krajča, J. (1976): Haertlův přístroj a jeho používání. *Geologický průzkum* 18, 7 (211), 211-213.
- Krám, P., Veselovský, F., Čuřík, J., Myška, O. (2017): Látkové toky v amfibolitovém povodí Na zeleném u Vodního díla Mariánské Lázně. In: Brych K., Tesar M: *Hydrologie malého povodí 2017*. Praha: Ústav pro hydrodynamiku Akademie věd ČR. ISBN 978-80-87117-15-6.

- Krásný, J. (2001): Carlsbad mineral water origin in context of Post-Variscan development in Central Europe. In: Seiler, K.-P. - Wohnlich, S. (eds): New approaches characterising groundwater flow. Proc. 31 IAH Congress, Munich, Sept. 10-14, 2001, 989-993. - Balkema. Rotterdam.
- Krásný, J. (2007): Analysing paleohydrogeologic and paleoclimatic development of Central Europe: a key to mineral water origin in the Bohemian Massif. In: Marques, J. M. - Chambel, A. - Ribeiro, L. (eds): Proc. of the Symposium on Mineral and Thermal Waters in Hard Rock Terrains, Sept. 2007, 7-21. - Lisbon.
- Krásný, J. (2009): Znalost geneze minerálních vod karlovarského typu - klíč k jejich ochraně (Význam paleohydrogeologické, paleogeografické a paleoklimatologické analýzy při řešení geneze minerálních vod). In: Rapantová, N. - Grmela, A. (eds): Sbor. 10. česko-slovenského mezinárodního hydrogeologického kongresu, 267-270. - Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- Krásný, J., Císlerová, M., Datel, J., Dvořák, J., Grmela, A., Hrkal, Z., Kříž, H., Marszałek, H., Šantrůček, J., & Šilar, J. (2012): Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod. Česká geologická služba, ISBN 978-80-7075-797-0.
- Krásný, J., Kněžek, M., Šubová, A. (1982): Odtok podzemní vody na území Československa. - Čes. hydrometeorologický ústav Praha.
- Krejčí, J. (1877): Geologie čili nauka o útvarech zemských se zvláštním ohledem na krajiny československé. S vyobrazeními. Nákladem vlastním - knihtiskárna: J. Otto. Praha. 1035 s., 70.
- Křivanec, J., Milota, J. (1996): Úprava registrů minerálních vod Slavkovský les, Chebská pánev, Doupovské hory. Aquatest - Stavební geologie, akciová společnost, Praha 1, Karlovy Vary.
- Landa, D.-A. (2023): Odběr a analýza vody z lokality Mariánské Lázně – Rudolfův a Ferdinandův p. Protokol odběru vody, Geochemie - cvičení. PřF UK, Praha.
- Landa, D.-A. (2024): Odběr a analýza půdy z lokality Mariánské Lázně – Lesní pramen. Protokol odběru zemin, Geochemie - cvičení. PřF UK, Praha.
- Lavrushin, V. Y., Lisenkov, A. B., Aidarkozhina, A. S. (2020): Genesis of the Yessentuki Deposit of Carbonated Waters, North Caucasus. ISSN 0016-7029, Geochemistry International, 2020, Vol. 58, No. 1, pp. 77–90. DOI: 10.1134/S0016702920010085.
- Liu, J., Gao, Z., Feng, J., Wang, M. (2023): Identification of the hydrochemical features, genesis, water quality and potential health hazards of groundwater in Dawen River Basin, North China. Ecological Indicators, 149, p. 110175. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110175>.
- Lukeš, J., Pitrák, M. (2006): Karotážní měření ve vrtech KP-3 a KP-4 Křížového pramene, Mariánské Lázně - Závěrečná zpráva. Aquatest a.s. Geologická 4, 152 00 Praha 5. Kód zakázky: Křížový pramen - karotáž, číslo zakázky: 321050323034, objednatel: Léčebné lázně Mariánské Lázně, a.s., Praha.
- Lv, G., Zhang, Y., Liu, J., Yang, M., Wang, S. (2024): Geochemical Characteristics, Li Source and Genesis Mechanism of Thermal Mineral Water in Sichuan Basin, Sw China. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4724856> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4724856>.
- Malý, J., Malá, J. (1996): Chemie a technologie vody. Vydavatelství Neol 2000, ISBN: 80-86020-13-4. Brno.
- Marandi, A., Shand, P. (2018): Groundwater chemistry and the Gibbs Diagram. Applied Geochemistry. 97 (2018) 209–212., <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.07.009>.
- Marques, J. M., Eggenkamp, H. G. M., Carreira, P. M., Antunes da Silva, M. (2020): Origin and evolution of Cl in CO₂-rich thermal and mineral waters from northern Portugal. Applied Geochemistry, volume 116, May 2020, 104569, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104569>.
- Mas-Pla, J., Brusi, D., Roqué, C., Soler, D., Menció, A., Costa, J. M., Zamorano, M., Meredith, W. (2023): Hydrogeological origin of the CO₂-rich mineral water of Vilajuïga in the Eastern Pyrenees (NE Catalonia, Spain). Hydrogeol J 31, 661–684. <https://doi.org/10.1007/s10040-023-02601-0>.
- Massart, D. L., Kaufman, L. (1983): The Interpretation of Analytical Chemical Data by the Use of Cluster Analysis. Wiley, New York.
- Matouš, J. (1987): Zpráva o doplňujícím inženýrskogeologickém a hydrogeologickém průzkumu na staveništi určeném pro výstavbu léčebného komplexu Balneoterapie v Mariánských Lázních, okres Cheb. Stavební geologie n.p.,

Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Ústřední lázně, číslo úkolu: 0385 1537-12-KI, pořadové číslo na úkole: 2, Praha.

- Möller, P., Dulski, P., Gerstenberger, H. (1998): Rare earth elements, yttrium and H, O, C, Sr, Nd and Pb isotope studies in mineral waters and corresponding rocks from NW-Bohemia, Czech Republic. *Applied Geochemistry*, Vol. 13, No. 8, pp. 975-994, 1998
- Myslil, V., Václ, J. (1966): Západočeská lázeňská oblast. Geologický průvodce. Ústřední ústav geologický v Akademii, nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- MZ, (1959): Ochranná pásma pro přírodní léčivé zdroje zřídelní oblasti Mariánských Lázní č. 943. Ministerstvo zdravotnictví - Inspektorát pro ochranu přírodních léčebných lázní a přírodních léčivých zdrojů.
- MZ, (2005): Vyhláška o stanovení ochranného pásma I. stupně přírodního léčivého zdroje minerální vody jímané vrtem HV-40 v Mariánských Lázních. Sbírka zákonů, Česká republika, částka 78, rozeslána dne 30.5.2005.
- Nevoral, V., Lstibůrková, M. (1991): *Hydrochémia* 91, s. 112, Bratislava.
- Nikolovová, S. (2009): Minerální prameny Karlovarského kraje. Bakalářská práce, vedoucí Teodoridis, Vasilis. Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta, Katedra biologie a environmentálních studií.
- Oujezdský, M. (2009): Šaratice - významný zdroj minerální vody [online]. Brno, [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/mqvqg/>. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Miroslav KOLÁŘ.
- Pačes, T. (1962): Příspěvek ke geochemickému studiu karlovarských vod. - *Čs. Mineral. Geol.* 7, 4, 418-427.
- Pačes, T. (1980): Genetické typy podzemních vod a hydrochemické pole v Českém masivu. - *Geologický průzkum* 22, 8, 229-231.
- Pačes, T. (1983): *Základy geochemie vod*. Československá akademie věd, nakladatelství Academia. Praha.
- Pačes, T. (2014): Hydrogeochemie minerální vody z vrtů HV-43 a HV-44 v Úšovicích, Mariánské Lázně. Praha.
- Pačes, T., Šmejkal, V., Pazdera, A., Kobrová, M., Barnet, I. (1981): Ojedinelý typ solanky v podloží chebské pánve. - *Geologický průzkum* 23, 7 (271), 196-198.
- Pasternáková, B. (2019): Geneze minerální vody na Ondrášovsku [online]. Brno, [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/j3eq/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Tomáš Kuchovský.
- Pazdera, A. (1979): Příspěvek ke genezi mineralizovaných vod krušnohorského plutonu. Sborník 7. hydrogeologická konference Ústí nad Labem, 33-52. - *Geoindustria*. Praha.
- Pazdera, A. (1984): Teplé a termální vody západních Čech. Zborník 8. celošt. hydrogeol. konfer. Račková dolina, 259-264. - *Geol. úst. Dion. Štúra*. Bratislava.
- Pěček, J. (1985a): Zpráva o hydrogeologické průzkumu zřídelní struktury Mariánské Lázně - Farářská kyselka - jímací vrt BJ - 5 FK. Stavební geologie n.p., Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Farářská kyselka, číslo úkolu: 0374 0051 - 13 KH - 76 568 - 13 KH, pořadové číslo na úkole: 3, Praha.
- Pěček, J. (1985b): Hydrogeologický průzkum v prostoru zaniklých pramenů Alfréd a Alexandra. Zpráva. Stavební geologie n.p., Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - LO, číslo úkolu: 0384 0164 13 KH, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Pěček, J. (1986): Zpráva o hydrogeologickém průzkumu zřídelní struktury Mariánské Lázně - Farářská kyselka průzkumný vrt BJ - 3 FK. Stavební geologie n.p., Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Farářská kyselka, číslo úkolu: 0374 0051 - 13 KH, pořadové číslo na úkole: 3, Praha.
- Pěček, J. (1987a): Ověření využitelné vydatnosti přírodního léčivého zdroje Nový Balbín. Stavební geologie n.p., Praha, název úkolu: Mariánské Lázně - Balbín, číslo úkolu: 0386 0505 13 KH, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Pěček, J. (1987b): Hydrogeologický průzkum zřídelní struktury pramene Karolina v Mariánských Lázních. Stavební geologie n.p., Praha, název úkolu: Mariánské Lázně - Karolina, číslo úkolu: 0386 0372 13 KH, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.

- Pěček, J. (1988): Zachycení proplyněné minerální vody v prostoru zaniklých pramenů Alfred a Alexandra na základě výsledků předchozího hydrogeologického průzkumu jímacím vrtem BJ - 12 - Zpráva. Stavební geologie n.p., Praha, název úkolu: Mariánské Lázně - Alexandra JV, číslo úkolu: 0386 1409 13 KH, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Pěček, J. (1989): Zpráva o hydrogeologickém průzkumu v prostoru Rudolfových pramenů v Mariánských Lázních. Stavební geologie, státní podnik, Praha, název úkolu: Mariánské Lázně - Rudolf, číslo úkolu: 0384 0690 13 KH, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Pěček, J. (1991a): Hydrogeologický průzkum zřidelní struktury skupiny Ferdinandových pramenů. Zpráva za II. fázi. Stavební geologie, státní podnik, Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Ferdinand, číslo úkolu: 0387 0401 13 KH, pořadové číslo na úkole: 2, Praha.
- Pěček, J. (1991b): Hydrogeologický průzkum centrální části lázeňského místa Mariánské Lázně. Stavební geologie, akciová společnost, Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Ústřední lázně, číslo úkolu: 0384 0164 13 KH, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Pěček, J. (1991c): Poloprovozní čerpací zkouška na jímacích vrtech HJ-30 a HJ-31 v pramenní skupině Karolina - Mariánské Lázně. Stavební geologie Aquatest, akciová společnost, Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Karolina, číslo úkolu: 91 0162 7000, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Pěček, J. (1992a): Hydrogeologický průzkum oblasti vývěrů proplyněných podzemních vod v Pottově údolí v Mariánských Lázních. Aquatest, stavební geologie a.s., Název úkolu: Mariánské Lázně - Pottovo údolí, číslo úkolu: 0387 0402 13 KH, pořadové číslo na úkole: 1, Karlovy Vary.
- Pěček, J. (1992b): Zpráva o hydrogeologickém průzkumu na lokalitě Číhaná u Mariánských Lázní. Aquatest, stavební geologie a.s., Název úkolu: Mariánské Lázně - Číhaná, číslo úkolu: 91 0038 2000, pořadové číslo na úkole: 1, Karlovy Vary.
- Pěček, J. (1993): Zpráva o reparaci přírodního režimu Křížových pramenů III a IV v Mariánských Lázních. Aquatest, stavební geologie a.s., Název úkolu: Mariánské Lázně - Křížový pramen, číslo úkolu: 93 0122/30, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Pěček, J. (1994): Hydrogeologický průzkum zdrojů studených kyselých vod v Pottově údolí - I. etapa - dlouhodobé HDZ. Aquatest, stavební geologie a.s., Název úkolu: Mariánské Lázně - Pottovo údolí, číslo úkolu: 930414/300, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Pěček, J. (1995): Hydrogeologický průzkum zdrojů studených kyselých vod v Pottově údolí - II. etapa - jímací vrt BJ-5 - Zpráva. Aquatest, stavební geologie a.s., Název úkolu: Mariánské Lázně - Pottovo údolí, číslo úkolu: 930414/300, pořadové číslo na úkole: 2, Praha.
- Pěček, J. (1996a): Hydrodynamické odzkoušení průzkumných hydrogeologických vrtů na lokalitě Mariánské Lázně - Ferdinandovy prameny - Závěrečná zpráva. Aquatest stavební geologie a.s. Senovážné náměstí 7, 110 00 Praha 1. Název zakázky: Ferdinandovy prameny - HDZ, číslo úkolu: 30-95-0335, objednatel: MZ ČR, Český inspektorát lázní a zřidel, Praha.
- Pěček, J. (1996b): Hydrogeologický průzkum jímacího území skupiny Ferdinandových pramenů v Mariánských Lázních - Závěrečná zpráva. Aquatest stavební geologie a.s. Senovážné náměstí 7, 110 00 Praha 1. Název zakázky: Ferdinandovy prameny - doprůzkum, číslo úkolu: 30-96-0067, objednatel: Marienbad Waters a.s., Minerální vody, Praha.
- Pěček, J. (1996c): Hydrogeologický průzkum za účelem aktualizace ochrany přírodních minerálních vod v západočeské oblasti. Závěrečná zpráva za II. etapu. Aquatest stavební geologie a.s. Senovážné náměstí 7, 110 00 Praha 1. Název zakázky: Západočeský region - HG, číslo úkolu: 93 0320/300, objednatel: MZČR - Český inspektorát lázní a zřidel, Praha.
- Pěček, J. (1997a): Likvidace hydrogeologických průzkumných vrtů HJ-53, HJ-65 na lokalitě Mariánské Lázně - Ferdinandovy prameny - Závěrečná zpráva. Aquatest stavební geologie a.s. Senovážné náměstí 7, 110 00 Praha 1. Název zakázky: Mariánské Lázně - Ferdinandovy prameny - likvidace vrtů - I. etapa, číslo úkolu: 30-96-0401, objednatel: MZČR - Český inspektorát lázní a zřidel Praha, Praha.
- Pěček, J. (1997b): Likvidace hydrogeologických průzkumných vrtů HJ-67, HJ-68 a HJ-69 na lokalitě Mariánské Lázně - Ferdinandovy prameny - Závěrečná zpráva. Aquatest stavební geologie a.s. Senovážné náměstí 7, 110 00 Praha 1. Název zakázky: Mariánské Lázně - Ferdinandovy prameny - likvidace vrtů - II. etapa, číslo úkolu: 30-96-0408, objednatel: MZČR - Český inspektorát lázní a zřidel Praha, Praha.

- Pěček, J. (1997c): Hydrogeologický průzkum zdrojů studených kyselek v Pottově údolí - Závěrečná zpráva za II. etapu. Aquatest stavební geologie a.s. Senovážné náměstí 7, 110 00 Praha 1. Název zakázky: Mariánské Lázně - Pottovo údolí, číslo úkolu: 93 0414/300, objednatel: MZČR - Český inspektorát lázní a zříděl Praha, Praha.
- Pěček, J. (2002a): Hydrogeologický průzkum zřidelní struktury Lesního pramene v Mariánských Lázních HDZ na vrtu HV-40 - Závěrečná zpráva. Aquatest a.s. Geologická 4, 152 00 Praha 5. Kód zakázky: Mariánské Lázně - Lesní pramen - HG, číslo zakázky: 341010320000, objednatel: Léčebné lázně Mariánské Lázně a.s., Karlovy Vary.
- Pěček, J. (2002b): Hydrogeologický průzkum zřidelní struktury Lesního pramene v Mariánských Lázních vrt HV-40 - dílčí zpráva. Aquatest a.s. Geologická 4, 152 00 Praha 5. Kód zakázky: Mariánské Lázně - Lesní pramen - HG, číslo zakázky: 341010320000, objednatel: Léčebné lázně Mariánské Lázně a.s., Karlovy Vary.
- Pěček, J. (2004): Dlouhodobá hydrodynamická zkouška na vrtu BJ 12 v Mariánských Lázních - Závěrečná zpráva. Aquatest a.s. Geologická 4, 152 00 Praha 5. Kód zakázky: Mariánské Lázně - vrt BJ 12 - HDZ, číslo zakázky: 341030353000, objednatel: Grand Hotel Marienbad s.r.o., Karlovy Vary.
- Pěček, J. (2005): Hydrogeologické posouzení využívání přírodních léčivých zdrojů v Mariánských Lázních: likvidace objektů Rudolf I a Rudolf II - Závěrečná zpráva. Aquatest a.s. Geologická 4, 152 00 Praha 5. Kód zakázky: Mariánské Lázně - posouzení - likvidace, číslo zakázky: 341030335000, objednatel: Léčebné lázně Mariánské Lázně, a.s., Karlovy Vary.
- Pěček, J. (2006): Posouzení pramenů Křížový III a Křížový IV v Mariánských Lázních - Závěrečná zpráva. Aquatest a.s. Geologická 4, 152 00 Praha 5. Kód zakázky: Mariánské Lázně - Křížové prameny - posouzení, číslo zakázky: 341050323000, objednatel: Léčebné lázně Mariánské Lázně, a.s., Karlovy Vary.
- Pechmanová, R. (2001): Výchozí stav monitoringu chemizmu podzemních vod v Mariánských Lázních před rekonstrukcí kanalizace - hydrogeologický monitoring. Geonika s.r.o. Svatoplukova 15/549, Praha 2, Program Phare CBC CZ 9914/106, Karlovy Vary.
- Peřestý, V. (2012): Polyfázový strukturní vývoj rozhraní suprastruktury a infrastruktury v orogenních zónách. Diplomová práce, vedoucí Lexa, Ondřej. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav petrologie a strukturní geologie.
- Peřestý, V. (2019): The role of deformation partitioning on the tectonic evolution of the superstructure-infrastructure transition in the Teplá-Barrandian domain. Dizertační práce, vedoucí Lexa, Ondřej. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav petrologie a strukturní geologie.
- Piper, A. M. (1944): A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses. Transactions, American Geophysical Union, Vol. 25, No. 6, 1944, pp. 914-923. <http://dx.doi.org/10.1029/TR025i006p00914>
- Pitter, P. (1998): Výpočet celkové mineralizace a její význam v hydrochemii. Ústav technologie vody a prostředí, Vysoká škola chemicko-technologická, Praha. Chemické listy 92, 772 - 776
- Pitter, P. (2019): Hydrochemie. 5. vydání, Praha: Vydavatelství VŠCHT, ISBN: 978-80-7080-928-0.
- Pivec, E., Novák, J. K. (1996): The Mariánské Lázně granite: petrology and geochemistry western Bohemia. Geologický ústav Akademie věd ČR. Journal of the Czech Geological Society, 41/1-2.
- Polanský, J., Klír, S. (1975): Strukturně tektonická studie západních Čech na základě reinterpretace geofyzikálních výsledků, 1. Chebsko-sokolovská pánev a její širší okolí, 2. Český les (list Mariánské Lázně). číslo úkolu: 0000 4009, Geofyzika Brno, závod Praha.
- Polívková, J. (2012): Jakost minerální vody v lázních Teplice (Česká republika). Bakalářská práce, vedoucí Šantrůček, Jaromír. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav hydrogeologie, inž. geologie a užitá geofyziky.
- Posochov, J. V. (1966): Formirovanije chimičeskogo sostava podzemnyh vod. Gidrometeorologičeskoje izdatelstvo, Leningrad.
- Procházka, M. (1996): Karotážní měření ve vrtu BV-6, Pottovo údolí v Mariánských Lázních. Aquatest, Stavební geologie, a.s. Praha 1, Senovážné náměstí 7. Název úkolu: Mariánské Lázně - Pottovo údolí, číslo úkolu: 93 0414/300, Praha.
- Reitrová, J. (1992): Zpráva o výsledcích průzkumně - jímacích vrtů na lokalitě Číhaná u Mariánských Lázní. Soukromý podnik „Artezia“, Název úkolu: Číhaná u Mariánských Lázní, číslo úkolu: 031 0021, Praha.

- René, M. (1996): Vztah chemického složení minerálních vod a horninového podloží na lokalitě Prameny. Zprávy o geologických výzkumech v roce 1996. 30, 1997 (ZGV v roce 1996), str. 176–177.
- Rosca, M., Bendea, C., Vijdea, A. (2016): Mineral and Thermal Waters of Romania. University of Oradea, Oradea, Romania, 10.1007/978-3-319-25379-4_6.
- Santoris, M. (2019): Hydrogeochemie zdroje minerálních vod Pasohlávky [online]. Brno, [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/gkvuh/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Pavel PRACNÝ.
- Sekaninová, R. (2012): Minerální a léčivé vody z pohledu léčebné výživy [online]. Brno, [cit. 2024-03-03]. Available from: <https://theses.cz/id/cym0va/>. Bachelor's thesis. Masaryk University, Faculty of Medicine. Thesis supervisor Mgr. Jana Petrová.
- Schuessler, J., Kämpf, H., Koch, U., Alawi, M. (2016): Earthquake impact on iron isotope signatures recorded in mineral spring water, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 121, 8548–8568, doi:10.1002/2016JB013408.
- Skokov, J. (1992): Regionální surovinová studie pro potřeby úřadů České republiky, okres: Cheb. Ministerstvo pro hospodářskou politiku a rozvoj České republiky odbor surovinové politiky a Národní informační středisko ČR středisko Geofond. Zpracovatelská organizace: Keramické a sklářské suroviny - služby, Karlovy Vary-Sedlec, Praha.
- Skopljak, F., Vlahović, T. (2011): The origin of mineral waters in Kiseljak near Sarajevo, Bosnia and Herzegovina, *Environ Earth Sci* (2012), Springer-Verlag. 66:809–822, DOI 10.1007/s12665-011-1290-7.
- Spahic, M. (2005): Land hidrography- ground waters. Faculty of Science, Sarajevo.
- Spiwok, V. (2015): Statistická analýza dat v R. Ústav biochemie a mikrobiologie VŠCHT Praha. dostupné z: <http://web.vscht.cz/spiwok/statistika>, [dostupné 24.6.2024].
- Springorum, K. A. (2000): The Cheb basin and mineral springs of Františkovy Lázně (Franzensbad), Czech Republic. Two centuries of (hydro)geological research and new evidence for a continuing demineralisation of the Františkovy Lázně springs. - MS Dipl. thesis Rhein. - Westfälische Technische Hochschule Aachen and Charles University Prague.
- Stiff, H. A. (1951): Interpretation of Chemical Water Analysis by Means of Pattern. *Journal of Petroleum Technology*, 3, 15-17. <https://doi.org/10.2118/951376-G>
- Stočes, I., Rada, J., Šrámková, Z. (1972): Průzkum a evidence pramenů v povodí 1-10-01 „Mže nad Radbuzou“ etapová zpráva - I. etapa. Stavební geologie n.p. Praha 1 - Gorkého náměstí 7. Objednatel a investor: Hydrometeorologický ústav, hydrologická služba, odbor podzemních vod Praha 5. Plzeň.
- Stočes, I., Stehlík, O. (1974): Průzkum a evidence pramenů v povodí 1-13-02 „Teplá a Ohře od Teplé po Libocký potok“ etapová zpráva - I. etapa. Stavební geologie n.p. Praha 1 - Gorkého náměstí 7. Objednatel a investor: Hydrometeorologický ústav, hydrologická služba, odbor podzemních vod Praha 5. Plzeň.
- Storch, K. V., Jordan, H. P., Glässer, W., Abraham, T., Grimm, R., Müller, B. (2000): Mineral- und Thermalwässer in Sachsen. - Geoprofil. Freiberg.
- Stuyfzand, P. J. (1986): A new hydrochemical classification of water types: principles and application to the coastal dunes aquifer system of the Netherlands, Delft Univ. Techn. (Ed.), Proc. 9th Salt Water Intrusion Meeting, Delft 12–16 may 1986, pp. 641-655.
- Stuyfzand, P. J. (1988): De alkaliteit, het redoxniveau en de verontreinigingsindex als parameters en keuzemogelijkheden in een hydrochemische classificatie van watertypen, *H₂O*, 21 (1988), pp. 63-66
- Suess, E. (1903): Über heisse Quellen. - *Versammlung Deutsch. Naturforscher u. Ärzte zu Karlsbad 1902*. Leipzig.
- Svoboda, J., Kukul, Z., Chlupáč, I., Fusán, O., Roth, Z., Eliáš, M et al., (1983): Encyklopedický slovník geologických věd. Academia, Praha.
- Sysel, P. (1972): Zpráva o hydrogeologickém průzkumu v okolí pramene Antoníček v Mariánských Lázních - Úšovicích - 1.etapa. Stavební geologie n.p., Praha. Číslo úkolu: 12240 KHM-13, Praha.
- Sysel, P. (1973a): Zpráva o provedení průzkumného vrtu BJ-1 v Mariánských Lázních - Úšovicích. Stavební geologie n.p., Praha. Číslo úkolu: 12240 KHM-13, Praha.

- Sysel, P. (1973b): Zpráva o provedení průzkumného vrtu BJ-2,3,4 v Mariánských Lázních - Úšovicích. Stavební geologie n.p., Praha. Číslo úkolu: 12240 KHM-13, Praha.
- Sysel, P. (1973c): Zpráva o provedení průzkumného vrtu BJ-5 v Mariánských Lázních - Úšovicích. Stavební geologie n.p., Praha. Číslo úkolu: 12240 KHM-13, Praha.
- Sysel, P. (1973d): Vyhodnocení jímacího vrtu BJ 6 Mariánské Lázně - Úšovice - Antoníček. Stavební geologie n.p., Praha. Číslo úkolu: 51 906 KHM-13, Praha.
- Šalanský, K. (1971): Letecké geofyzikální mapování, XI. západní Čechy. MS Geofond Praha.
- Šimo, P. (2021): Hydrogeologické poměry zřídelní struktury Korunní [online]. Brno, [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/bna03/>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Tomáš Kuchovský.
- Škuthan, B. (1971): Geofyzikální měření v okolí pramene Balbín - závěrečná zpráva. Ústav užité geofyziky - Brno, závod Praha, Podbělohorská 47, Praha.
- Škuthan, B. (1976): Vyhledávání výstupních a přírodních cest minerální vody vývěřů Farářské kyselky v Mariánskolázeňské zřídelní oblasti - závěrečná zpráva. Geofyzika n.p. Brno, závod Praha.
- Škuthan, B. (1978): Výzkum plynné aureoly CO₂ v prostoru centrálních pramenů Mariánských Lázní - Závěrečná zpráva. Geofyzika n.p. Brno, číslo úkolu: 523501, Podbělohorská 47, Praha 5, závod Praha.
- Škuthan, B. (1984): Geofyzikální průzkum okolí Ústředních pramenů - Závěrečná zpráva. Geofyzika n.p., Geologická 2, 152 00 Praha 5, závod Praha.
- Škuthan, B. (2000): Lesní pramen - Geofyzikální průzkum zřídelní struktury (realizace zakázky a.s. Léčebné Lázně Mariánské Lázně) - Závěrečná zpráva. Gekon-GF s.r.o., Praha.
- Škuthan, B., Hron, J., Man, O., Matoušek, P., Kotek, J., Pěček, J., Knapp, K., Náměstek, V., Čudová, H., Matějčík, Z. (2002): Průzkum tlakového pole oxidu uhličitého v regionu západočeských lázní, sdružená etapa výzkumu a vyhledávání, závěrečná zpráva. Gekon - GF s.r.o., objednatel: Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.
- Škuthan, B., Hron, J., Matoušek, P., Kotek, J. (2005): Mariánské Lázně - Úšovice (geofyzikální průzkum území plánovaného pro bytovou výstavbu) - Závěrečná zpráva. Gekon-GF s.r.o., Praha.
- Škuthan, B., Novotná, V., Matoušek, P., Cahyna, F., Hanuš, E. (1983): Geofyzikální výzkum - Severovýchodní okraj mariánskolázeňské zřídelní struktury v prostoru Lesní pramen - Prameny. Geofyzika n.p. Brno, závod Praha. Úkol č. 0374-0052-13-KH, Praha.
- Škuthan, B., Suchomel, J. (1987): Geofyzikální průzkum pramene Karolina v Mariánských Lázních - Závěrečná zpráva. Geofyzika n.p. Brno, číslo úkolu: 648 500, závod Praha.
- Škuthan, B., Suchomel, J. (1988): Geofyzikální průzkum mariánskolázeňské zřídelní oblasti v prostoru Pottovo údolí - Prameny - Nová Ves - Závěrečná zpráva. Geofyzika n.p. Brno, číslo úkolu: 648 300, závod Praha.
- Škuthan, B., Suchomel, J. (1989): Mariánské Lázně - Medvědí pramen - geofyzikální průzkum zdroje minerální vody - Závěrečná zpráva. Geofyzika n.p. Brno, závod Praha. Úkol č. 658 008, Praha.
- 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. - Ústřední ústav geologický Praha.
- Šmejkal, V. (1979): Oxygen isotopic composition of sulphates from some mineral waters and mine Waters in western Bohemia. Proc. Symp. Isotop. Hydrol. 1, 83-98. IAEA. Vienna.
- Šmejkal, V., Pačes, T. (1992): Vznik minerálních vod karlovarského typu. Geologický průzkum 34, 2 (398), 33 - 37.
- Špišák, L., Rušavý, Z., Burachovič, S., Křížek, V., Šolc, P., Vylita, T., Fínek, J., Mach, V., Dušek, L., Boček, P., Vaněk, P., Zdeněk, P., Pešek, M., Micková, M., Jandová, D., Koudela, K., Vurm, V., Hornátová, H., Motáň, J., Toufarová, P., Janů, L., Novotný, J., Cetkovská, P., Gojová, M., Rokyta, Z., Kozma, J., Stožický, F., Nebesař, J., Nečasová, A., Kolský, A. (2010): Klinická Balneologie. Univerzita Karlova v Praze, Nakladatelství Karolinum, Praha, ISBN 978-80-246-1654-4. 276 s.

- Štědrá, V. (2001): Tectonometamorphic evolution of the Mariánské Lázně Complex, Western Bohemia, based on the study of metabasic rocks. PhD Thesis, Charles University, Prague. 136 s. Praha: PřFUK.
- Štědrá, V. (2003): Pre-Carboniferous metamorphic history recorded by metabasites of the Mariánské Lázně Complex, Western Bohemia. *Journal of the Czech Geological Society. Abstract volume*. 48, 1-2, 3 s. ISSN 1210-8197.
- 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*. 20 s. London: The Geological Society of London. ISBN 1-86239-118-1. Geological Society Special Publication No.201.
- Štědrá, V., Krám, P., Farkaš, J. (2014): Petrologie a geochemie metabazických hornin zastižených jádrovými vrty v povodích Na zeleném a Pluhův bor ve Slavkovském lese v západních Čechách. *Zprávy o geologických výzkumech v r. 2014/D - Mineralogie, petrologie a geochemie, Česká geologická služba*. Praha. p. 103-108.
- Štěrbá, J. (1991): Zpráva o hydrogeologickém průzkumu lokality Medvědí pramen v Mariánských Lázních. *Stavební geologie, státní podnik, Praha*. Název úkolu: Mariánské Lázně - Medvědí pramen, číslo úkolu: 0390 0608, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Šterev, K. D. (1971): O principach klasifikacii podzemnych mineralnych vod (gidromineralnych rastvorov). - *Spis. balg. geol. Druž.* 32, 3, s.327-343.
- Šula, S. (1981): K praktickému využití termálních vod v Děčíně. *Geologický průzkum* 22, 8-9 (272-273), 254-255.
- Švarcev, S. L. (1978): *Gidrochimija zony gipergeneza*. - Izdat. Nedra. Moskva.
- Švorcová, L. (1980): Autochtonní mikroflóra minerálních vod. *Geologický průzkum* 22, 3 (255), 86-88.
- Tesařová, N. (2023): Zvolené minerální vody, vybrané geologické a chemické souvislosti [online]. Pardubice, [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/e45jqx/>. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická. Vedoucí práce Ing. Libor Dušek, Ph.D.
- Timmermann, H., Štědrá, V., Gerdes, A., Noble, S. R., Parrish, R. R., Dörr, W. (2004): The Problem of Dating High-pressure Metamorphism: a U–Pb Isotope and Geochemical Study on Eclogites and Related Rocks of the Mariánské Lázně Complex, Czech Republic. *Journal of Petrology*, Volume 45, Issue 7, July 2004, Pages 1311–1338, <https://doi.org/10.1093/petrology/egh020>.
- Todorović, M., Štrbački, J., Čuk, M., Andrijasevic, J., Sisovic, J., Papić, P. (2016): Mineral and Thermal Waters of Serbia: Multivariate Statistical Approach to Hydrochemical Characterization. *Faculty of Mining and Geology, University of Belgrade*, 10.1007/978-3-319-25379-4_5.
- Tonika, J., ed. (1983): Základní geologická mapa ČR 1 : 50 000, list 11-41 Mariánské Lázně. Ústřední ústav geologický, Praha.
- Tonner, R. (1993): Geologické a hydrogeologické poměry mariánskolázeňské oblasti. Diplomová práce. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Katedra hydrogeologie a inženýrské geologie, Praha.
- Trnka, Z. (2014): Mariánské Lázně mají nový pramen. O jeho budoucnosti se teprve rozhodne. [online] [cit. 2024-03-03]. Dostupné z: <https://vary.rozhlas.cz/marianske-lazne-maji-novy-pramen-o-jeho-budoucnosti-se-teprve-rozhodne-6815914>, Český rozhlas, Karlovy Vary.
- Trojan, Č. (1969): Vyhodnocení hydrogeologického průzkumu pro budoucí staveniště (v blízkosti minerálních pramenů Hamelika, Marie, Ústřední). *Stavební geologie n.p. Praha 1 - Gorkého nám. 7*. název úkolu: Mariánské Lázně - Urologický ústav, číslo úkolu: 9938-HM - 13, Praha.
- Trojan, Č. (1971a): Vyhodnocení průzkumných prací na prameni Balbín v Mariánských Lázních. *Stavební geologie n.p. Praha 1 - Gorkého nám. 7*. název úkolu: Mariánské Lázně - Balbín, číslo úkolu: 9937 K HM - 13, Praha.
- Trojan, Č. (1971b): Mariánské Lázně pramen Balbín - dodatek zprávy. *Stavební geologie n.p., Praha 1 - Gorkého n.7*, číslo úkolu: 9937 K HM 13, Praha.
- Trojan, Č. (1976a): Vyhodnocení průzkumného vrtu BJ 1 - MP Mariánské Lázně - Mariiny prameny (dílčí zpráva). *Stavební geologie n.p., Praha 1 - Gorkého n.7*, číslo úkolu: 76 550 13 KH, Praha.
- Trojan, Č. (1976b): Vyhodnocení průzkumného vrtu BJ 2 - MP Mariánské Lázně - Mariiny prameny (dílčí zpráva). *Stavební geologie n.p., Praha 1 - Gorkého n.7*, číslo úkolu: 76 550 13 KH, Praha.

- Trojan, Č. (1976c): Vyhodnocení průzkumného vrtu BJ 4 - MP Mariánské Lázně - Mariiny prameny (dílčí zpráva). Stavební geologie n.p., Praha 1 - Gorkého n.7, číslo úkolu: 76 550 13 KH, Praha.
- Trojan, Č. (1976d): Vyhodnocení průzkumného vrtu BJ 5 - MP Mariánské Lázně - Mariiny prameny (dílčí zpráva). Stavební geologie n.p., Praha 1 - Gorkého n.7, číslo úkolu: 76 550 13 KH, Praha.
- Trojan, Č. (1977a): Vyhodnocení průzkumného vrtu BJ 3 - MP Mariánské Lázně - Mariiny prameny (dílčí zpráva). Stavební geologie n.p., Praha 1 - Gorkého n.7, číslo úkolu: 76 550 13 KH, Praha.
- Trojan, Č. (1977b): Vyhodnocení průzkumného vrtu BJ 6 - MP Mariánské Lázně - Mariiny prameny (dílčí zpráva). Stavební geologie n.p., Praha 1 - Gorkého n.7, číslo úkolu: 76 550 13 KH, Praha.
- Trojan, Č. (1979a): Zpráva o likvidaci vrtu BJ 1 v prostoru pramene Antoniček v Mariánských Lázních. Stavební geologie n.p., Praha. Číslo úkolu: 0379 0711, Praha.
- Trojan, Č. (1979b): Dílčí zpráva (7) o likvidaci průzkumných vrtů BJ 1 - 5 v Mariánských Lázních - Mariiny prameny. Stavební geologie n.p., Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Mariiny prameny, číslo úkolu: 76 550 13 KH / 037 400 50, Praha.
- Trojan, Č. (1980): Závěrečná zpráva Mariánské Lázně - Mariiny prameny o vyhodnocení poloprovodní čerpací zkoušky na jímacím vrtu BJ - 6. Stavební geologie n.p., Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Mariiny prameny, číslo úkolu: 76 550 13 KH / 037 400 50, Praha.
- Trojan, Č. (1983a): Zpráva o hydrogeologickém průzkumu zřidelní struktury - Mariánské Lázně Farářská kyselka - vrt BJ 1 - FK. Stavební geologie n.p., Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Farářská kyselka, číslo úkolu: 0374 0051 - 13 KH - 76 568 - 13 KH, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Trojan, Č. (1983b): Zpráva o hydrogeologickém průzkumu zřidelní struktury - Mariánské Lázně Farářská kyselka - vrt BJ 2 - FK. Stavební geologie n.p., Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Farářská kyselka, číslo úkolu: 0374 0051 - 13 KH - 76 568 - 13 KH, pořadové číslo na úkole: 2, Praha.
- Trojan, Č., Matouš, J., Prášil, J. (1978): Vyhodnocení hydrogeologických vrtů BJ 1, BJ 2, BJ 3 a BJ 5 v Mariánských Lázních v prostoru lázeňského domu Krym (1. dílčí zpráva). Stavební geologie n.p., Praha. Název úkolu: Mariánské Lázně - Krym, číslo úkolu: 21 888 12 KI, pořadové číslo na úkole: 1, Praha.
- Turnová, Š. (2019): Léčivé radioaktivní minerální prameny v oblasti Skalná - Bad Brambach. Diplomová práce, vedoucí Goliáš, Viktor. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů.
- Überhuberová, R., Michele, L. (2014): Jak neměřit Härtlovým přístrojem. Aqua enviro s.r.o., Ječná 1321/29a, Brno. Odborný kurz: Teoretická balneotechnická průprava, Františkovy Lázně.
- Vala, J. (1961): Hydrogeologické a zřidelně-technické vyhodnocení výsledků rekonstrukce pramene „Excelsior“ v Mariánských Lázních. Ministerstvo zdravotnictví - ústřední správa lázní a zřidel, Praha.
- Valenta, J., Rapprich, V., Skácelová, Z., Gaždová, R., Fojtíková L. (2014): The newly discovered Neogene maar volcano near the Mariánské Lázně, Western Bohemia. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 11, No. 2 (174), 107–116, 2014, DOI: 10.13168/AGG.2013.0061.
- Varga, C. (2010): Problems with classification of spa waters used in balneology. Department of Environmental Health, University of Pécs, Pécs, Hungary, Health, Vol.2, No.11, 1260-1263 (2010), doi:10.4236/health.2010.211187.
- Vejnar, Z., Zoubek, V., Ambrož, V., Balatka, B., Čepek, L., Dohnal, Z., Hazdrová, M., Kopecký, L., Polák, A., Sládek, J. (1962): Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1 : 200 000. M - 33 - XIX Mariánské Lázně a M - 33 - XXV Švarcava. Vydal Geofond v nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- Vrba, J. (1961): Hydrogeologický výzkum fluoru při řešení geneze a režimu minerálních vod západočeské zřidelní soustavy. Vodní zdroje, Praha.
- VÚV T.G.M. (2004a): Chemický typ podzemních vod. Výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše G. Masaryka Praha. Platné k 31.12.2004. [online] [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: https://heis.vuv.cz/data/spusteni/projekty/ramcovasmernice/dokumenty/zprava/obr_map/pzv_chemtyp.htm.
- VÚV T.G.M. (2004b): Typ propustnosti. Výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše G. Masaryka Praha. Platné k 31.12.2004. [online] [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: https://heis.vuv.cz/data/spusteni/projekty/ramcovasmernice/dokumenty/zprava/obr_map/pzv_propustnost.htm.

- VÚV T.G.M. (2004c): Specifický základní odtok. Výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše G. Masaryka Praha. Platné k 31.12.2004. [online] [cit. 2024-04-11]. Dostupné z: https://heis.vuv.cz/data/spusteni/projekty/ramcovasmernice/dokumenty/zprava/obr_map/utv_pzv_spec_odtok_p.htm.
- Vylita, B. (1957): Zákonitosti režimu karlovarských terem. Kandidátská disertační práce, Karlovy Vary.
- Vylita, B. (1980): Závěrečná zpráva o stopovacích zkouškách na malých karlovarských pramenech. Stavební geologie n.p., Praha. Název úkolu: Karlovy Vary - malé prameny - stopovací zkoušky, číslo úkolu: 0379 0679 - 13 GH, Praha.
- Vylita, B., Pěček, J. (1981): Průzkum karlovarské zřidelní struktury. Geologický průzkum 23, 6 (270), 161-164.
- Vylita, T. (1986): Slapové síly a jejich projevy v režimu minerálních vod. Diplomová práce, Přírodovědecká fakulta University Karlovy, Praha
- Vylita, T. (2023): Minerální vody v ČR. Lázeňství a balneologie - Spa and balneology, Institutu lázeňství a balneologie, VV.I., 3/2023, str.10 - 15. ISSN 2788-3108 (on-line)
- Vylita, T., Vylita, B. (1993): Hydrogeologický průzkum - stolní minerální vody - Chebsko. Závěrečná zpráva úkolu. Břetislav Vylita (Terratest - hydrogeologické a inženýrsko-geologické práce), Karlovy Vary
- Weinlich F.H., Tesař J., Weise S. M., Bräuer K., Kämpf H. (1998): Gas flux distribution in mineral springs and tectonic structure in the western Eger Rift. Journal of the Czech Geol.Society 43/1-2(1998).
- Weinlich, F.H., Faber E., Boušková A., Horálek J., Teschner M., Poggenburg J. (2006): Seismically induced variations in Mariánské Lázně fault gas composition in the NW Bohemian swarm quake region, Czech Republic — A continuous gas monitoring. Tectonophysics, Volume 421, Issues 1–2, 18 July 2006, Pages 89-110., <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2006.04.012>.
- Winter, B. (1932): Die Heilquellen Marienbads, ihr Aufbau und ihre technische Gestaltung. Marienbad.
- Yan, B., Xiao, Ch., Liang, X., Wei, R., Wu, S. (2014): Characteristics and genesis of mineral water from Changbai Mountain, Northeast China. Environ Earth Sci (2015) 73:4819–4829, DOI 10.1007/s12665-014-3774-8.
- Záporožec, A. (1966): Zpráva o dlouhodobé čerpací zkoušce na prameni Balbín v Mariánských Lázních. Inženýrsko-geologický a hydrogeologický průzkum n.p. Žilina, Závod 01, Praha 1 - Gorkého nám. 7. číslo úkolu: 6134 - HM, název úkolu: Mariánské Lázně - Balbín, Praha.
- Zörkendörfer, K. (1911): Die alten Marienbader Mineralquellen in Ionentabellen dargestellt. Prager Medizinischer Wochemschrift, XXXVI. Jahrg., Nr. 4.
- Zörkendörfer, K. (1932): Zur Frage der Fernleitung kohlensaurehaltigen Mineralwasser – Intern. Mineralquellenzeitung, Wien.
- Zýka, V. (1961): Minerální vody ČSSR. Vydavatel'stvo Osveta, 134 stran, Bratislava.

Zdroje internetových obrázků

<https://cz.mouser.com/ProductDetail/ArduSimple/AS-STARTKIT-BASIC-L1L2-NH-02?qs=GBLS12Akiru%2FUw8RAcKyUw%3D%3D>

<https://gpslogger.app>






<https://promertech.sk/flir-c2-termokamera/diskusia>






<https://www.geoobchod.cz/cs/dreveny-suseny-kolik-50cm/product>





Seznam zkratek

AOX	halogenované organické sloučeniny
C	koncentrace
celková M	celková mineralizace
ČGS	Česká geologická služba
ČIL	Český inspektorát lázní a zřidel
ČIŽP	Česká inspekce životního prostředí
ČR	Česká republika
ČÚZK	Český úřad zeměměřický a katastrální
DMR	digitální model reliéfu
GPS	satelitní navigační systém (z anglického: Global Positioning System)
HDZ	hydrodynamická zkouška
hl. osa	linie spojující nejmineralizovanější mariánskolázeňské prameny, tj. Křížový p. s okrejem Rudolfovy zřidelní struktury
hl.	hlavní
HPV	hladina podzmeních vod
chem.	chemický
ID	identifikační číslo
IDW	vážené inverzní vzdálenosti
IG	inženýrská geologie
kap.	kapitola
Karl. kraj	Karlovarský kraj
kys.	kyselka
m n.m.	metry nad mořem
m p.t.	metry pod úrovní terénu
měs	měsíc
ML	Mariánské Lázně
MZ ČR	Ministerstvo zdravotnictví České republiky
MŽP ČR	Ministerstvo životního prostředí České republiky
n	velikost souboru dat
NEL	nepolární extrahovatelné látky
p.	pramen
PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky
PLZ	přírodní léčivý zdroj
pot.	potok
Q	vydatnost / čerpané množství
Qg	vydatnost plynu
Qw	vydatnost vody
r.	roce
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
sníž.	snížení
T	teplota
TBO	tepelsko-barrandienská oblast
TDS	celková mineralizace (z anglického: Total dissolved solids)
titr.	titračně
VES	vertikální elektrické sondování
VS	vodní stav
WGS-84	Světový geodetický systém 1984
ZABAGED	Základní báze geografických dat České republiky





Příloha 1 - Seznam termometrických anomálií zjištěných terénním výzkumem






Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [µS/cm]	pH	Fotodokumentace
P001	49.9689500	12.6856250	30.12.2022		89	7,9	
			07.01.2024	- bod nenalezen			
P002	49.9796580	12.6771387	30.12.2022	5,8	225	5,9	
			14.08.2023	neměřeno			
			07.01.2024	5,0	235		
P003 Evina	49.9801285	12.6772770	30.12.2022	6,0	214	5,7	
			14.08.2023	12,3	211		
			07.01.2024	5,6	169		
			15.02.2024	6,3	241	5,7	
P004/P06 Žabí	49.9813332	12.6813057	30.12.2022	7,2	313	5,2	
			05.02.2023	6,7	312	6,4	
			14.08.2023	10,6	311		
			08.01.2024	6,6	178		
			22.01.2024	5,2	269		
			15.02.2024	7,1	348	5,1	
			29.04.2024	7,6	273		
29.06.2024	9,6	284					
P005	49.9813147	12.6813110	30.12.2022	6,3	312	5,3	
			07.01.2024	3,5	175		
P006	50.0148440	12.7230850	30.12.2022	chutná po CO ₂ , ale nelze měřit			
P007	49.9703540	12.6780625	07.01.2023	5,4	1005	5,7	
			14.08.2023	17,0	970		
			06.01.2024	5,1	967		

Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace	
P008	49.9703122	12.6781780	07.01.2023	6,2	788	6,0		
			14.08.2023	neměřitelné				
			06.01.2024	6,4	717			
P009	49.9703590	12.6782157	07.01.2023	6,0	828	6,2		
			14.08.2023	suchý				
			06.01.2024	4,8	541			
P010	49.9704375	12.6782455	07.01.2023		746	6,3		
			14.08.2023	- kolík nenalezen				
			06.01.2024	3,9	239			
P011	49.9704162	12.6779452	07.01.2023	5,5	667	5,5		
			14.08.2023	10,9	732			
			06.01.2024	5,3	430			
			22.01.2024	3,8	586			
			14.02.2024	6,4	642	5,4		
			29.04.2024	8,9	714			
			29.06.2024	9,9	706			
P012	49.9703740	12.6783195	07.01.2023	3,0				
			15.08.2023	- nenalezeno				
			06.01.2024	4,6	322			
P013A Chudá	49.9892318	12.6990782	07.01.2023	5,8	1547	5,8		
			15.08.2023	suchý				
			07.01.2024	2,2	1080			
			22.01.2024	3,4	1426			
			15.02.2024	6,1	1523	5,9		
			28.04.2024	8,3	1396			

Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace	
			28.06.2024	12,5	1482			
P013B			15.08.2023	13,2	960			
			07.01.2024	- kolík nenalezen				
P014	49.9890398	12.6991117	07.01.2023	5,5	1284	6,1		
			07.01.2024	- kolík nenalezen				
P015	49.9889070	12.6992730	07.01.2023	5,9	290	6,0		
			07.01.2024	- kolík nenalezen				
P016A	49.9885333	12.6994013	07.01.2023	6,4	1237	6,0		
			15.08.2023	suchý				
			07.01.2024	suchý				
P016B			15.08.2023	11,6	1433			
			07.01.2024	vysoký stav vody				
P016C			15.08.2023	12,9	1441			
			07.01.2024	- kolík nenalezen				
P017	49.9897812	12.6986475	21.01.2023	7,9				
			07.01.2024	- kolík nenalezen				
P018	49.9964775	12.7047992	21.01.2023	7,0				
			07.01.2024	- kolík nenalezen				
P019 (A1)	49.9943940	12.7002197	21.01.2023	4,9				
			07.01.2024	- kolík nenalezen				
P020 (A2)	49.9957025	12.7030098	21.01.2023	4,7				
			07.01.2024	- kolík nenalezen				
P021	49.9876382	12.6995868	22.01.2023	5,1	265			
			07.01.2024	- kolík nenalezen				
P022	49.9868695	12.6999200	22.01.2023	3,5	153			






David-A. Landa: Hydrochemická zonace minerálních vod v oblasti Mariánských Lázní






Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace
			07.01.2024	- kolík nenalezen			
P023	49.9853160	12.6992750	22.01.2023	3,5	197		
			07.01.2024	- kolík nenalezen			
P024	49.9850513	12.6990692	22.01.2023	3,0	201		
			07.01.2024	- kolík nenalezen			
P025	49.9849283	12.6990303	22.01.2023	3,9	200	8,0	
			07.01.2024	- kolík nenalezen			
P026	49.9840250	12.6983075	22.01.2023	5,2	221	8,8	
			07.01.2024	- kolík nenalezen			
P027	49.9829057	12.6987025	22.01.2023	2,6	280	8,3	
			07.01.2024	- kolík nenalezen			
P028	49.9692058	12.6841788	23.01.2023	3,1	160	6,4	
			14.08.2023	13,2	295		
			06.01.2024	5,2	127		
P029	49.9691973	12.6840962	23.01.2023	6,3	429	5,6	
			14.08.2023	10,2	495		
			06.01.2024	4,9	180		
P030	49.9692320	12.6840085	23.01.2023	6,4	330	5,5	
			14.08.2023	11,5	400		
			06.01.2024	5,2	161		
P031	49.9686810	12.6827280	29.01.2023	3,6	658	6,0	
			06.01.2024	kolík nenalezen, bod nenalezen ani termokamerou. Kolík ztracen již v létě 2023			
P032	49.9682393	12.6816297	29.01.2023	3,7	820	6,3	
			14.08.2023		752		






Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace
			06.01.2024	4,8	168		
P033	49.9680705	12.6814023	29.01.2023	2,1	1174	6,2	
			14.08.2023	16,0	1050		
			06.01.2024	4,7	403		
P034	49.9681030	12.6813008	29.01.2023	1,9	893	6,5	
			14.08.2023	18,5	1150		
			06.01.2024	4,4	783		
P035	49.9677962	12.6811232	29.01.2023	1,8	470	6,2	
			14.08.2023	suchý			
			06.01.2024	4,4	590		
			22.01.2024	1,2	404		
			29.04.2024	7,4	599		
			29.06.2024	12,9	629		
P036	49.9678273	12.6810687	29.01.2023	1,5	741	6,4	
			14.08.2023		700		
			06.01.2024	5,1	560		
P037A	49.9674772	12.6802945	29.01.2023	3,4	1230	6,2	
			14.08.2023		1400		
			06.01.2024	4,6	190		
P037B	49.9675172	12.6804170	29.01.2023	- neměřeno			
			06.01.2024	4,7	180		
P037C	49.9675343	12.6804188	29.01.2023	- neměřeno			






Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace	
			06.01.2024	4,5	329			
P037D Ježčí	49.9674728	12.6805814	06.01.2024	4,7	1126			
			22.01.2024	2,1	1101			
			29.04.2024	8,0	1927			
			29.06.2024	11,6	1950			
P038	49.9674607	12.6803755	29.01.2023	1,6	1138			
			14.08.2023		940			
			06.01.2024	4,8	163			
P039	49.9671495	12.6800827	29.01.2023	0,0	1635	6,7		
			14.08.2023	- nenalezeno				
			06.01.2024	4,8	180			
P040	49.9671253	12.6800347	29.01.2023	4,2	4260	6,4		
			14.08.2023	- nenalezeno				
			06.01.2024	5,7	3150			
P041	49.9668447	12.6797488	29.01.2023	0,8	1588	7,6		
			14.08.2023	- nenalezeno				






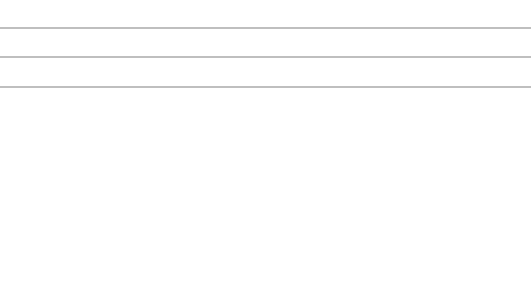

David-A. Landa: Hydrochemická zonace minerálních vod v oblasti Mariánských Lázní

Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace	
			06.01.2024	4,8	229			
P042	49.9706140	12.6791758	30.01.2023	1,0	736	7,8		
			14.08.2023	suchý				
			06.01.2024	3,9	229			
P043	49.9705567	12.6792698	30.01.2023	1,0	858	7,5		
			14.08.2023	- nenalezeno				
			06.01.2024	4,0	313			
P044	49.9708903	12.6807402	30.01.2023	2,4	476	6,2		
			06.01.2024	4,8	279			
P045A	49.9707527	12.6809718	30.01.2023	2,4	379			
			06.01.2024	5,2	330			
			22.01.2024	2	336			
			29.04.2024	7,6	264			
			29.06.2024	suchý				
P045B	49.9707570	12.6809670	30.01.2023	- neměřeno				






Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace
			06.01.2024	4,2	190		
P046A	49.9707200	12.6808192	30.01.2023	3,2	891	5,8	
			06.01.2024	4,2	194		
P046B	49.9707262	12.6808277	30.01.2023	neměřeno			
			06.01.2024	4,2	194		
P047 Mravenčí	49.9706890	12.6806097	30.01.2023	2,2	968	5,8	
			06.01.2024	5,9	970		
			22.01.2024	4,4	1084		
			14.02.2024	7,3	1162	5,5	
			29.04.2024	7,4	1086		
			29.06.2024	10,7	1005		
P048	49.9706640	12.6803677	30.01.2023	4,0	1152	5,8	
			06.01.2024	3,9	301		
P049	49.9707792	12.6811157	30.01.2023	1,4	466		

Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace
			06.01.2024	4,0	246		
P050	49.9709395	12.6816832	30.01.2023	2,0	723		
			06.01.2024	3,6	276		
P051	49.9710878	12.6820855	30.01.2023	2,4	960		
			06.01.2024	4,0	325		
P052A	49.9710792	12.6821793	30.01.2023	2,9	670		
			06.01.2024	4,3	476		
P052B	49.9711023	12.6822238	30.01.2023	- neměřeno			
			06.01.2024	3,5	549		
			30.01.2023	- neměřeno			
P052C	49.9711190	12.6822595	06.01.2024	3,9	332		
P053 Šnečí	49.9712752	12.6825927	30.01.2023	7,3	1009	5,3	
			06.01.2024	7,5	1070		
			22.01.2024	5,9	1056		
			29.04.2024	7,4	1134		






Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace
			29.06.2024	9,4	1303		
P054 Sýkorčí	49.9715987	12.6828945	30.01.2023	4,1	1153		
			06.01.2024	6,4	1072		
			22.01.2024	4,9	1119	5,6	
			15.02.2024	7,1	1020		
			29.04.2024	7,5	1115		
			29.06.2024	10,3	1160		
P055	49.9726427	12.6849713	30.01.2023	6,7	214		
			06.01.2024	4,4	230		
P056A	49.9730828	12.6859995	06.01.2024	3,9	523		
P056B	49.9730972	12.6860330	06.01.2024	4,4	581		
P056C	49.9730812	12.6859163	06.01.2024	4,4	571		
P057A	49.9804152	12.6805342	04.02.2023	1,2	411	6,9	
			07.01.2024	2,8	357		
P057B	49.9804033	12.6804508	04.02.2023	3,0	297		
			07.01.2024	2,2	280		
P057C			07.01.2024	2,8	590		
			22.01.2024		0		
P058	49.9801267	12.6790098	04.02.2023	1,6	172	7,7	
			07.01.2024	2,2	258		
P059A	49.9802987	12.6792458	05.02.2023	1,8	246	6,0	
			07.01.2024	2,1	99		

Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace
P059B	49.9803218	12.6792618	05.02.2023	2,3	390		
			07.01.2024	5,9	321		
			22.01.2024	4,8	360		
			29.04.2024	9,6	238		
			29.06.2024	13,1	311		
P060	49.9805615	12.6799753	05.02.2023	2,3	137		
			07.01.2024	4,3	175		
P061	49.9806303	12.6801138	05.02.2023	0,9	363	6,5	
			07.01.2024	1,0	183		
P062	49.9807467	12.6803355	05.02.2023	1,7	365	6,3	
			07.01.2024	2,6	120		
P063	49.9807900	12.6805443	05.02.2023	0,9	352	8,5	
			07.01.2024	0,4	213		
P064	49.9808173	12.6806745	05.02.2023	2,9	315		
			07.01.2024	3,0	112		
P065	49.9807750	12.6806393	05.02.2023	3,2	241	8,3	
			07.01.2024	4,5	194		
P066	49.9809057	12.6806808	05.02.2023	1,6	401	5,9	

David-A. Landa: Hydrochemická zonace minerálních vod v oblasti Mariánských Lázní





Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace
			07.01.2024	1,8	252		
P067A	49.9809923	12.6807892	05.02.2023	3,3	330	6,1	
			07.01.2024	4,1	312		
			22.01.2024	2,8	274		
			29.04.2024	9,4	253		
			29.06.2024	14,4	507		
P067B	49.9809955	12.6807438	05.02.2023	- neměřeno			
			07.01.2024	3,5	282		
P068	49.9813042	12.6813098	05.02.2023	2,8	215	5,9	
			07.01.2024	2,7	128		
P070	49.9799335	12.6786607	05.02.2023	5,0	315	6,9	
			07.01.2024	3,9	274		
P071	49.9792598	12.6777373	05.02.2023	3,2	351	7,0	
			14.08.2023	16,1	331		
			07.01.2024	5,4	311		
			22.01.2024	3,4	336		
			29.04.2024	7,7	320		
			29.06.2024	13,3	318		
P072	49.9778210	12.6767425	05.02.2023	2,5	155		
			07.01.2024	3,2	88		
P073	49.9771448	12.6740510	05.02.2023	3,6	281		
			07.01.2024	4,4	314		
			22.01.2024	3,2	309		
			29.04.2024	7,4	311		






David-A. Landa: Hydrochemická zonace minerálních vod v oblasti Mariánských Lázní



Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [µS/cm]	pH	Fotodokumentace
			29.06.2024	12,0	307		
P074A	49.9771512	12.6736753	05.02.2023	3,6	204	6,7	
			07.01.2024	2,3	153		
P074B	49.9771463	12.6738423	05.02.2023	- neměřeno			
			07.01.2024	4,1	200		
P074C			07.01.2024	1,4	299		
P075	49.9770967	12.6732183	05.02.2023	1,6	270		
			07.01.2024	2,4	118		
P076	49.9756112	12.6762557	05.02.2023	1,5	227		
			07.01.2024	2,0	190		
P077A	49.9765580	12.7039332	06.02.2023	5,4	1725	6,3	
			07.01.2024	suchý, tůňka ale intenzivně bublá			
P077B	49.9765712	12.7038932	06.02.2023	neměřeno			
			07.01.2024	suchý, tůňka ale intenzivně bublá			
P077C	49.9765690	12.7038820	06.02.2023	neměřeno			
			07.01.2024	suchý, tůňka ale intenzivně bublá			
P078 ()	49.9698525	12.7034232	06.02.2023	6,6	6860		
			07.01.2024	- neměřeno			
P079 ()	49.9698430	12.7034085	06.02.2023	5,4	682	8,0	






Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace
			07.01.2024	- neměřeno			
P080 ()	49.9690433	12.7034185	06.02.2023	4,7	2650		
			07.01.2024	- neměřeno			
P081	49.9647827	12.7046427	06.02.2023	4,1	761		
			07.01.2024	- neměřeno			
P082	49.9587007	12.7092987	06.02.2023	9,0	2040		
			07.01.2024	- neměřeno			
P083	49.9582808	12.7098718	06.02.2023	7,1	1353	7,3	
			07.01.2024	- neměřeno			
P084	49.9578303	12.7107270	06.02.2023	5,4	757	7,5	
P085A	49.9531833	12.7146023	06.02.2023	2,2	850		


David-A. Landa: Hydrochemická zonace minerálních vod v oblasti Mariánských Lázní

Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace
			07.01.2024	6,2	330		
P085B			07.01.2024	Vysoký stav vody			
			07.02.2023	7,2	1075		
P086	49.9565180	12.7132557	07.01.2024	- neměřeno			
			07.02.2023	6,0	666		
P087	49.9573728	12.7149045	07.01.2024	- neměřeno			
			07.02.2023	4,7	284	6,6	
P088	49.9628038	12.7237590	07.01.2024	4,3	177		
P089	49.9803282	12.7093032	04.03.2023	4,9	237		
P090	49.9826018	12.7139352	04.03.2023	- neoznačeno kolíkem, neměřitelný			
P091	49.9837967	12.7184412	04.03.2023	- neoznačeno kolíkem, neměřitelný			
P092	49.9777412	12.7316555	05.03.2023	2,9	290	7,9	
P093	49.9782817	12.7329075	05.03.2023	5,1	420	7,5	

Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace
			15.08.2023	- nenalezeno			
P094	49.9787000	12.7336570	05.03.2023	1,8	130	8,4	
			15.08.2023	- nenalezeno			
P095	49.9759105	12.7268943	05.03.2023	4,6	325	7,3	
			15.08.2023	12,4	305		
P096	49.9758652	12.7268018	05.03.2023	3,3	281		
			15.08.2023	- v bažině nenalezeno			
P097	49.9757795	12.7262423	05.03.2023	3,5	182		
P098	49.9715000	12.6824375	14.08.2023	15,7	2250		

Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace
			06.01.2024	5,1	398		
P101	49.9891203	12.6987463	21.01.2023	2,5	435		
			07.01.2024	- kolík nenalezen			
P102	49.9893118	12.6979780	21.01.2023	4,1	720		
			07.01.2024	- kolík nenalezen			
P103	49.9893173	12.6978377	21.01.2023	3,0	750		
			07.01.2024	suchý			
P104	49.9893360	12.6976600	21.01.2023	3,0	380		
			07.01.2024	- kolík nenalezen			
P105	49.9892635	12.6950265	21.01.2023	0,6	756		
			15.08.2023	12,3	569		
			07.01.2024	2,3	530		
P106	49.9892025	12.6950197	21.01.2023	2,3	930		
			07.01.2024	4,8	759		
P107	49.9891403	12.6949518	21.01.2023	2,1	458		
			07.01.2024	5,0	396		
P108	49.9891055	12.6948427	21.01.2023	1,6	2080		

Název	Souřadnice WGS-84		Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace
			07.01.2024	4,8	789		
P109	49.9888140	12.6934590	21.01.2023	6,7	158		
			07.01.2024	- kolík nenalezen			
P110	49.9897440	12.6914100	21.01.2023	2,5	274		
			07.01.2024	4,0	186		
P111	49.9899750	12.6904630	21.01.2023	2,4	682		
			07.01.2024	- kolík nenalezen			
P112	49.9904700	12.6903930	21.01.2023	2,3	301		
			15.08.2023	- suchý			
			07.01.2024	2,5	159		
P113	49.9904870	12.6900930	21.01.2023	3,6	209		
			15.08.2023	12,8	189		
			07.01.2024	3,6	188		
P114	49.9905620	12.6900540	21.01.2023	1,7	239		
			15.08.2023	13,2	195		
			07.01.2024	2,6	126		
P115	49.9941260	12.6856180	21.01.2023	1,3	358		
			07.01.2024	- kolík nenalezen			
P116	49.9689783	12.6844725	14.08.2023	13,0	253		
			29.12.2023	6,3	404		
			06.01.2024	4,2	439		

Název	Souřadnice WGS-84	Datum	T [°C]	Elektrická konduktivita [μS/cm]	pH	Fotodokumentace
		22.01.2024	2,3	304		
		29.04.2024	8,4	298		
		29.06.2024	12,3	248		

Příloha 2 - Výsledky nových analýz chemického složení vod

č.	Název	Odběr	Volný CO ₂	B	SiO ₂	Celková M	Hlavní kationty							Hlavní anionty					Stopové prvky											
							Na	K	NH ₄	Mg	Ca	Mn	Fe	Li	Cl	NO ₃	HCO ₃	SO ₄	F	Ni	Zn	Pb	Cu	Al	As					
							[mg/l]																							
1	A. pod mostem silnice***	14.02.2024	1996	9,2	58	1 027	37	3,9	0,04	37	150	0,84	13,7	0,11	26	0,05	651	38	0,25	0,010	0,025	0,001	0,0004	0,100	0,002					
2	A. u fary	14.02.2024	2467	13,3	59	1 428	60	5,0	0,05	53	206	1,28	15,3	0,14	118	0,05	862	34	0,05	0,011	0,185	0,000	0,0001	0,100	0,005					
3	Antoniček BJ 6	23.11.2023	2339**	12,7	75	1 393	42	5,3	0,01	46	218	1,25	20,1	0,17	21	0,05	913	38	0,11	0,007	0,031	0,000	0,0014	0,10	0,004					
4	Farská	14.02.2024	2570	6,3	68	494	5	1,3	0,01	49	15	0,57	15,0	0,02	1	0,05	325	7	0,31	0,038	0,018	0,000	0,0001	0,100	0,157					
5	Horníčkův	15.02.2024	0*	15,3	23	163	8	1,5	0,01	6	17	0,00	0,1	0,00	3	3,48	53	33	0,06	0,001	0,003	0,000	0,0001	0,10	0,003					
6	Chudá P013A	14.02.2024	2255	12,2	72	1 479	70	9,1	0,03	125	94	0,62	2,4	0,35	16	1,61	1 016	58	0,44	0,116	0,003	0,002	0,0006	0,220	0,011					
7	Jateční	14.02.2024	1700	15,1	51	2 953	521	19,0	0,04	90	182	0,46	21,9	1,20	237	0,05	1 197	618	0,06	0,004	0,021	0,000	0,0015	0,100	0,005					
8	Ježčí P037D	22.01.2024	1546*	-	43	993	182	6,7	-	27	56	1,29	3,2	-	76	0,50	354	241	1,08	0,011	0,034	0,015	0,0050	0,025	0,025					
9	Košský I	14.02.2024	1785	10,1	32	975	12	5,4	0,01	46	145	1,95	7,7	0,06	5	0,05	645	65	0,14	0,009	0,019	0,000	0,0003	0,100	0,001					
10	Košský II	14.02.2024	2158	10,7	46	1 542	18	7,0	0,03	75	251	2,43	1,9	0,11	5	0,05	1 050	75	0,12	0,001	0,006	0,000	0,0001	0,100	0,001					
11	Křovištní	28.11.2023	1601**	17,7	73	192	10	2,4	0,01	5	9	0,10	0,8	0,01	6	0,05	61	8	0,15	0,003	0,008	0,000	0,0005	0,27	0,003					
12	Maxova	14.02.2024	1904	4,9	52	1 012	60	7,4	0,03	77	69	0,94	4,2	0,30	16	0,05	681	39	0,37	0,049	0,010	0,000	0,0001	0,100	0,010					
13	Medvědí HJ 1	14.02.2024					<i>vzorek ztracen v laboratoři</i>																							
14	Mravenčí P047	15.02.2024	2341	9,9	52	903	171	4,9	0,08	18	22	0,78	36,1	0,32	54	0,05	359	175	0,18	0,015	0,018	0,000	0,0003	0,290	0,008					
15	Myší	15.02.2024	1958	8,6	65	454	12	4,1	0,01	17	41	1,01	16,8	0,06	2	0,05	278	9	0,06	0,016	0,011	0,000	0,0004	0,100	0,003					
16	Nietzschův	15.02.2024	243	10,5	20	188	11	1,2	0,01	8	22	0,01	0,1	0,00	21	6,25	60	28	0,03	0,000	0,003	0,008	0,0004	0,10	0,001					
17	P011	22.01.2024	1854*	-	56	535	92	3,9	-	16	20	0,65	0,0	-	31	0,50	212	101	0,49	0,021	0,080	0,015	0,0050	0,049	0,025					
18	P059B	22.01.2024	1257*	-	53	255	2	4,4	-	15	30	0,79	3,3	-	4	0,10	107	35	0,10	0,047	0,016	0,015	0,0050	0,025	0,025					
19	P067A	22.01.2024	822*	-	46	199	8	3,8	0,12	10	14	0,70	0,3	0,03	3	0,05	93	21	0,01	-	0,005	-	-	0,10	-					
20	P071	22.01.2024	506*	-	46	406	9	2,7	0,25	13	32	0,58	41,5	0,03	4	0,05	238	19	0,01	-	0,005	-	-	0,10	-					
21	P073	22.01.2024	1012*	-	48	337	10	3,0	1,04	13	28	2,14	19,0	0,04	2	0,05	202	9	0,01	-	0,016	-	-	0,10	-					
22	Pirátův	28.11.2023	2536**	4,6	53	223	10	3,1	0,01	11	18	0,42	1,0	0,02	4	0,05	80	37	0,24	0,004	0,014	0,000	0,0010	0,20	0,002					
23	Smradůch****	14.02.2024	2146	14,5	15	160	1	1,8	0,22	1	1	0,02	0,2	0,01	0	0,05	15	107	0,12	0,006	0,029	0,002	0,006	0,990	0,007					
24	Srnčí	15.02.2024	2347	11,5	66	419	8	6,4	0,01	21	34	0,51	12,2	0,06	3	0,05	232	23	0,31	0,027	0,016	0,000	0,0005	0,100	0,002					
25	Sýkorčí P054	22.01.2024	2312*	-	61	972	170	7,5	-	35	40	1,03	11,0	-	63	0,50	352	229	0,28	0,015	0,014	0,015	0,0050	0,025	0,025					
26	Šnečí P053	22.01.2024	1635*	-	50	843	165	6,6	-	25	29	0,91	3,7	-	53	0,50	311	198	0,14	0,013	0,012	0,015	0,0050	0,025	0,025					
27	Taormína	15.02.2024	0*	12,5	23	239	10	1,9	0,01	11	29	0,00	0,0	0,01	6	1,79	84	59	0,11	0,001	0,013	0,000	0,0013	0,10	0,001					
28	Valesův	15.02.2024	0*	2,3	20	159	8	1,1	0,01	7	19	0,00	0,1	0,00	4	7,33	49	41	0,10	0,000	0,003	0,000	0,0001	0,10	0,000					
29	Vlčí I	14.02.2024	2448	11,0	51	1 046	223	5,9	0,03	27	32	0,54	4,5	0,43	67	0,05	392	232	0,09	0,014	0,020	0,000	0,0007	0,100	0,003					
30	Vlčí II	14.02.2024	2215	5,2	55	1 602	322	8,3	0,05	36	43	0,65	25,6	0,69	98	3,91	666	338	0,18	0,020	0,023	0,000	0,0008	0,360	0,003					
31	Vlčí III	14.02.2024	2393	3,5	54	1 313	252	7,7	0,04	38	49	0,70	19,0	0,58	80	0,05	513	294	0,16	0,015	0,054	0,004	0,0040	0,910	0,002					
32	Žabí P069/004	15.02.2024	1903	14,7	49	308	11	5,2	0,07	11	20	0,56	12,0	0,03	3	0,05	150	30	0,11	0,129	0,018	0,006	0,0038	2,040	0,004					

Poznámka:

* měřeno Härtlovou trubicí

** průměrná hodnota měření Härtlovou trubicí za celé období pozorování, jelikož v tomto den CO₂ neměřeno

*** A. = Antoniček

**** nevychází chemická bilance

Příloha 3 - Hydrochemická mapa mariánskolázeňských minerálních vod