

ANTON PORUBSKY\*

## SUR LE PROBLÈME DES EAUX MINÉRALES DES CARPATES OCCIDENTALES ET LE BESOIN DE COORDONNER LEUR RECHERCHE DANS LE CADRE DE L'ASSOCIATION CARPATHIENNE BALCANIQUE

(Fig. 1)

**Résumé:** Le territoire de la Slovaquie est très riche en eaux minérales et thermales. Sur une superficie de 49 000 km<sup>2</sup> on avait enregistré plus de 1400 sources des eaux minérales, thermales et hyperthermales. La Slovaquie doit cette richesse en eaux minérales et thermales à la structure géologique et tectonique variée.

Les méthodes géologiques et géophysiques modernes procurent aussi de nouvelles connaissances sur la structure géologique et permettent d'étudier plus en détail les conditions hydrogéologiques des formations géologiques individuelles. Il faut aussi introduire de nouvelles méthodes de recherches hydrogéologiques et géochimiques dans la recherche des eaux minérales, thermales ainsi que des eaux hyperthermales. Une attention plus grande doit être consacrée à l'occurrence des isotopes individuels dans les eaux minérales et à la part de l'eau lourde dans la quantité totale des eaux minérales et thermales des sources individuelles.

Ensuite la question actuelle de la recherche des eaux minérales et thermales est aussi la classification géochimique et balnéologique unifiée. Les classifications nationales actuelles des eaux minérales et thermales demandent une généralisation et unification.

Les problèmes mentionnés ne peuvent plus être résolus d'une manière isolée, seulement sur les territoires individuels, mais il faut chercher à les résoudre d'un aspect plus étendu, par exemple même dans le cadre de l'Association Carpato-Balkanique.

**Резюме:** Территория Словакии необыкновенно богата минеральными и термальными водами. На пространстве 49 000 км<sup>2</sup> зарегистрировано свыше 1400 источников минеральных, термальных и гидротермальных вод. За это богатство минеральными и термальными водами, также как и гидротермальными водами Словакия может быть благодарна пестрому геологическому и тектоническому строению.

Новейшие геологические и геофизические методы приносят и новые факты о геологическом строении и дают возможность подробного изучения гидрогеологических условий отдельных геологических образований. При исследовании минеральных и термальных вод как и вод гидротермальных, должны также вводиться методы гидрогеологического и геохимического исследования. Необходимо уделять особое внимание нахождению отдельных изотопов в минеральных водах и содержанию тяжелой воды в общем количестве минеральных и термальных вод в отдельных источниках.

Далее также весьма актуальным вопросом исследования минеральных и термальных вод является общая геохимическая и бальнеологическая классификация. Современную народную классификацию минеральных и термальных вод необходимо приводить в общем и объединенном плане.

Вышеприведенные проблемы нельзя уже решать изолированно на отдельных территориях, но нужно их решать в более широком масштабе, например в рамках Карпато-Балканской геологической ассоциации.

\* RNDr. A. Porubský, C.Sc., Institut géographique de l'Académie des sciences de Slovaquie, Bratislava, Štefániková 41.

Les Carpates Occidentales qui par leur structure géologique et leur étendue géographique se lient substantiellement au territoire de la République Socialiste Slovaque, forment un réservoir naturel fondamental de grandes quantités d'eaux minérales et thermales. Les recherches géologiques et hydrogéologiques des années récentes permettent l'acquisition de nombreuses expériences nouvelles dans la recherche des eaux minérales et thermales qui facilitent la précision des théories sur leur origine, accumulations et ascensions et l'énonciation des prévisions de l'occurrence des eaux hautement thermales. Les eaux minérales et thermales assument un rôle de plus en plus important dans la thérapie comme ressources pour le traitement de nombreuses maladies, puis comme eaux potables curatives et de table, elles sont un facteur remarquable dans la création du milieu de vie et dans un avenir proche les eaux hautement thermales deviendront un élément énergétique important. On peut dire aussi que le temps s'approche, lorsque les eaux à un haut degré de minéralisation deviendront une ressource de matières premières.

Sur le territoire de la Slovaquie d'une superficie de 49.000 km<sup>2</sup> on a pu enregistrer jusqu'à présent plus de 1400 sources des eaux minérales, thermales et hyperthermales. Naturellement que celles-ci remontent à la surface, ou sont captées par puits percés dans les aires de sources dont la situation et la répartition couvre géographiquement presque tout le territoire. Le nombre indiqué des sources minérales et thermales d'une variation géochimique et thérapeutique très diverse doivent leur origine à une composition géologique et tectonique du territoire extraordinairement varié et à l'élargissement géographique et structural des unités géologiques et géographiques individuelles.

Le but de ce rapport n'est pas la description détaillée de la composition géologique des Carpates Occidentales. Une riche littérature accessible existe sur elle par des auteurs remarquables, les pionniers de la science géologique slovaque, tels que D. Andrusov, M. Maheř, J. Bystrický, O. Fuszán, T. Buday, J. Seneš et d'autres. Les expériences et les résultats contenus dans les ouvrages géologiques, tectoniques et géophysiques fondamentaux sont appliqués très utilement par tous les hydrogéologues slovaques et par tous les centres de travaux hydrogéologiques, tant dans ce qui est du ressort du Bureau Géologique Slovaque (Slovenský geologický úrad), ainsi qu'en dehors de lui.

Les ouvrages publiés qui traitent des problèmes hydrogéologiques régionaux de base s'appuient dans l'ensemble presque tous sur les connaissances générales de la priorité des roches carboniques du Mésozoïque dans la formation des eaux minérales, thermales et hyperthermales. Il faut souligner la position dominante des roches carboniques triasiques dans la sphère de la formation quantitative et de l'accumulation des eaux minérales et thermales, mais il ne faut pas négliger non plus dans ce sens l'importance des roches cristallines, du Paléogène et du Néogène. Si nous étudions les eaux comme une source de la géosphère et comme une partie du constituant géochimique de la nature, alors la question de la quantité est seulement un facteur secondaire. La tendance moderne de l'évaluation hydrogéologique des vastes unités territoriales concentre son attention en général sur la répartition territoriale des unités géologiques et tectoniques individuelles et de leur position géologique déduit les lois hydrogéologiques ainsi que les prévisions quand à la qualité et la quantité des eaux minérales, thermales et hyperthermales.

L'état actuel de l'investigation hydrogéologique et géochimique du territoire, en vue de sa structure tectonique compliquée et extraordinairement variée, ne permet pas encore de créer un schéma caractéristique d'une théorie unifiée pour la catégorisation elle-même, des eaux minérales et thermales, qui est typique au territoire des Carpates

Occidentales. Ce problème doit se résoudre aussi par la coopération avec les Etats voisins et dans le cadre de l'entièvre Association Carpatische Balkanique. Le besoin de cette coopération, par exemple dans les régions du Flysch se pose surtout avec la Pologne. Tant sur notre territoire ainsi que sur celui de la Pologne il y a une abondance des eaux minérales pareilles, où possédant des valeurs géochimiques presque pareilles, dont la formation provient de deux types chimiques et génétiques fondamentaux — des eaux résiduelles de la mer et des eaux du type continental. Parmi les premières on compte surtout les eaux alcalines salées, iodobromées, parmi les secondes les eaux acidulées du Flysch. Souvent ces deux types se rencontrent, s'enrichissent de constituants gazeux et se métamorphosent en types des eaux mélangées, comme sont par exemple les eaux alcalines salées acidulées de Bardejov. Un autre fait d'une coopération nécessaire est la coordination de la recherche et de l'exploitation des eaux hyperthermales dans la partie centrale du bassin danubien. On avait prouvé l'existence fortement aqueuse de la partie du bassin pannionien des deux côtés du Danube, avec l'accumulation riche des eaux hyperthermales qui sont d'une haute contribution économique tant pour la Tchécoslovaquie que pour la Hongrie.

On constate en général que sur le territoire des Carpates Occidentales il s'agit des eaux minérales mélangées, plus ou moins métamorphosées au caractère prédominant de tel ou tel constituant chimique, gazeux ou thermal. On peut le dire de toutes les régions aux sources avec des débits élevés. Cependant, plus le débit ou la température des sources ou des puits sont plus petits, plus l'eau s'approche par son caractère au type géochimique pur de son milieu de la circulation.

Il est aussi un fait généralement connu que des puits forés dans les structures plus anciennes, recouvertes d'unités tectoniques et stratigraphiques plus jeunes, on obtient d'habitude des débits plus grands et continus que de leurs sources vauclusiennes naturelles. A ce sujet on possède de nombreux exemples: Piešťany, Lúčky, Patince, Dudince, Malinovce, etc. Dans les structures non recouvertes, les débits sont très grands au début dans les puits des horizons forés, ils décroissent graduellement, puis se stabilisent pour une longue durée à un débit tout petit peu plus élevé par rapport au débit d'origine des sources naturelles. Peuvent servir d'exemple Bojnica, Sklené Teplice et autres. Si on réussit par les puits à atteindre directement les lignes tectoniques qui sont les voies d'ascension primaires, ensuite le débit augmenté peut être continu.

On peut constater aussi que les eaux minérales froides sont d'un débit beaucoup plus petit que les eaux thermales. L'exception font les eaux minérales de Šafárikovo, où le débit dépasse 10 l/s et les puits des eaux minérales forés récemment à Santovka sont du débit dépassant les 5 l/s.

Dans les régions néogènes des Carpates Occidentales, en Hongrie ainsi que dans les autres Etats, on rencontre des eaux thermales jusqu'à hyperthermales, qui d'habitude, sont hyperminéralisées. Le degré de la minéralisation de l'eau dépend du milieu pétrographique et géologique et la température du degré géothermique qui dans la plaine danubienne est de 17—18 m par 1 °C. Par exemple à Dunajská Streda (basé sur l'étude de l'auteur) par les puits forés on avait capté des eaux hyperthermales des horizons des graviers et sables pannioniens dans les profondeurs de 2300—2500 m. Le débit du puits à l'exutoire est de 16 l/s, à la température de 86 °C, la minéralisation dépassant 6000 mg/l. A Čalovo des mêmes profondeurs le débit à l'exutoire est de 11,3 l/s, à la température de 96 °C, la minéralisation presque égale. Dans les horizons sarmatiens de la plaine Záhorská nížina (faisant partie du bassin néogène viennois) il y a des horizons d'eaux minérales d'un débit plus petit, mais ils possèdent une minéralisation plus élevée — excédant souvent 12 000—20 000 mg/l.

*Certains problèmes relatifs à la recherche des eaux minérales*

La détermination du débit et des paramètres de filtration des puits hydrogéologiques individuels, comme sont les débits spécifiques, l'état spécifique aqueux et l'indice de l'ordre de perméabilité, nous semble pas assez saisissante et représentative dans les puits profonds qui captent les eaux des espaces non homogènes et non limités. Les valeurs données dépendent de nombreux facteurs inconnus, du système de la fissuration, du nombre des fissures, de leur sens tectonique et surtout de la profondeur des puits. Tenant en considération ces faits il paraît impossible de forer un puits hydrogéologiquement idéal, au moyen duquel on pourrait évaluer les paramètres réels des valeurs hydrogéologiques, hydrauliques et hydrochimiques d'une structure fermée, dans laquelle on trouverait un régime fermé de l'écoulement des eaux, à partir de l'infiltration des eaux atmosphériques, en passant par leur écoulement en grandes profondeurs, le métamorphisme, le réchauffement, l'accumulation jusqu'à leur émergence. La plupart des puits actuellement forés, même les soi-disant puits-nocud, de support ou de base, traversaient dans leur profile vertical plusieurs unités ou séries tectoniques, plusieurs failles ou fissures tectoniques, ou le forage de certains puits fut seulement entamé et terminé même avant d'avoir traversé la profondeur finale. Des puits pareils on ne peut pas faire des conclusions qui seraient généralement valides. Dans l'hydrogéologie un fait traditionnel s'était assez établi que la plupart des eaux minérales et thermales émergent à la surface à l'endroit du croisement des failles. En fait il existe de nombreuses des lîtes des eaux minérales qui ne se situent pas forcément toujours au croisement des failles. De nombreuses d'elles se trouvent sur les lignes des failles de démarcation, divisant diverses unités stratigraphiques et tectoniques, parmi lesquelles le plus souvent au moins une est favorable à l'infiltration et à l'accumulation des eaux minérales et thermales. L'eau thermale des structures plus anciennes recouvertes de membres plus jeunes, poussée par les pressions hydrodynamiques, elle cherche sa voie de sortie par les espaces d'une résistance plus petite. Lorsqu'elle la trouve, elle se concentre dans cet espace et forme des sources vauclusiennes dans le terrain, quelques fois individuelles, d'autres fois dispersées jusqu'aux linéaires. Certes, qu'à cette émergence l'eau se mélange avec l'eau des horizons aquifères des roches qu'elle traverse et qui sont aussi tectoniquement désagrégées, souvent par les mêmes perturbations, tout en pouvant se métamorphoser. De son type primaire génétique fondamentale elle se change en type secondaire. Sur le territoire de la Slovaquie il y a de nombreuses localités et aires de sources, dans lesquelles plusieurs types des eaux minérales émergent l'un à côté de l'autre. De telles localités typiques sont par exemple Santovka — Malinovec, Dudince, la station thermale de Bardejov, Liptovský Ján et autres. On peut l'expliquer théoriquement par certains cas, c'est qu'il s'agit de deux unités stratigraphiques avec la formation de leurs propres eaux minérales aux propriétés chimiques primaires et thermales. Par exemple pour ce qui concerne Bojnice on l'explique par le fait que l'aire des sources contient un type d'eau minérale plus froid lié aux conglomérats et aux brèches des conglomérats susjacent et le type plus chaud provient de l'accumulation des dolomites et des calcaires sous-jacents. Une différence géochimique encore plus grande existe dans l'aire de la station thermale Santovka-Malinovec, où il y a deux types des eaux géochimiques — celui de Malinovec est représenté par l'eau hydrocarbonique, chlorée, sodique, hypotonique tiède, à la température de 27 °C, le pH 6.7, le  $\text{CO}_2$  985 mg/l, le résidu sec 3986.0 mg/l. Le second type est l'eau minérale de table de Santovka qui est carbonique, de goût de vase, la température de 14 °C, le pH 6.0, le  $\text{CO}_2$  2400 mg/l et le résidu sec 2590.0 mg/l. Les analyses chimiques des deux types des

eaux sont indiquées dans les tableaux Ia et Ib. Le troisième type de l'eau fut trouvé dans la localité de Budzgov (1,5 km au nord de Santovka), dont la minéralisation totale dépasse 6000 mg/l (ses analyses complètes n'ont pas été mises à la disposition, lors de l'élaboration de ce rapport). Le premier type de l'eau sort directement des calcaires mésozoïques et des dolomites, le second des couches néogènes sarmatiennes. A présent ces deux eaux sont captées par les puits forés — la première pour les piscines des stations et la seconde est utilisée comme eau minérale potable de table sous le nom connu de Santovka.

De pareils problèmes qui nécessitent une fois l'étude de la structure géologique une seconde fois l'échange chimique d'ions, sont nombreux en Slovaquie et il n'est pas toujours certain, quelle est l'influence qui joue le rôle primaire. Trouver les réponses à ces questions nécessitera encore un temps assez long, car on pourra établir les conditions des différentiations chimiques et thermales expressives dans de nombreuses localités des sources irrégulièrement réparties, comprenant plusieurs groupes génétiques des eaux minérales et thermales, seulement en accord avec tous les problèmes de l'entier système carpato-balkanique et carpato-alpin.

Dans le cadre de l'introduction de nouvelles méthodes dans la recherche hydrogéologique, il faut mentionner aussi les méthodes de recherches les plus récentes, comme sont les méthodes de diverses formes d'essais radiométriques, strontiométriques, isotopiques et la recherche de la présence et de l'origine non seulement de la radioactivité des eaux minérales et thermales, mais aussi le pourcentage de la présence de l'eau lourde en elles.

Nous savons que de nombreuses réactions chimiques ont lieu, sous la présence de l'eau lourde, plus lentement. Il est généralement connu que son volume dans les eaux souterraines augmente avec la profondeur, surtout au contact avec les roches anciennes métamorphosées, le plus souvent avec les chlorides métamorphosés qui contiennent un volume accru des eaux lourdes. Un second problème important est l'occurrence des isotopes ainsi que de la radioactivité dans les eaux minérales et thermales. Dans ce sens de l'étude hydrogéologique et géochimique des eaux minérales et thermales, on pourra dans l'avenir chercher la réponse aussi aux causes, encore peu connues, des effets curatifs des eaux thermales ordinaires peu minéralisées, qui tirent l'origine de leur formation des roches cristallines et du contact avec elles, ou éventuellement que la présence de l'eau lourde ne permet pas leur enrichissement en sels minéraux. Mais il n'y a pas seulement que ce problème à résoudre, quoique considéré primaire dans ses conséquences de l'utilisation des eaux curatives, cependant, il nous reste encore la question de la génèse de ces eaux, de la région et des voies de leur écoulement. Comme exemple je cite les eaux thermales à Piešťany. Leur région d'infiltration sont les complexes carbonates des montagnes de Považský Inovec. C'est à ces complexes que se lient leurs voies d'écoulement, c'est en eux qu'est l'accumulation primaire de ces eaux, la secondaire est sur la base du néogène sous l'île thermale. On avait constaté par mesures que les eaux thermales à Piešťany possèdent une radio-activité plus grande dans le talus thermal que dans l'accumulation néogène. En Slovaquie on cherche en général l'origine de la radio-activité dans les roches permianes.

Un autre problème dans la recherche des eaux minérales et thermales des Carpates Occidentales est l'origine de la présence de l'anhydride carbonique  $\text{CO}_2$  et du gaz sulfhydrique  $\text{H}_2\text{S}$  en elles. C'est un problème très difficile à résoudre, mais d'autant plus urgent que la présence de ces deux constituants gazeux est considérable dans les eaux minérales et thermales des Carpates Occidentales. La théorie sur l'origine postvolcanique du  $\text{CO}_2$  et de ses émergences le long des lignes des failles, représentées surtout par

O. H y n i e, semble être dépassée à présent. Semblablement plus acceptable est la théorie avancée par M. M a h e l que la plupart des  $\text{CO}_2$  prend lieu par la décomposition thermale des carbonates dans les grandes profondeurs et par la décomposition des carbonates en co-action avec des acides organiques ou anorganiques. En général l'origine de  $\text{H}_2\text{S}$  est attribuée à la décomposition des sulfates provenant des couches werfénienes et des roches du keuper carpatien sous la co-action des bactéries sulfurées.

### *La classification et la typologie des eaux minérales*

Un problème très sérieux dans la coopération internationale, mais surtout dans le cadre de l'Association carpato-balkanique est l'établissement du système typologique des eaux minérales et thermales. On ne possède à présent aucun système classificatoire mondial unifié et légalisé, selon lequel chaque hydrogéologue, géochimiste et balnéologue pourrait, et partant des analyses chimiques des eaux, classifier les eaux suivant les mêmes critères et le même degré de classification. Il est nécessaire d'élaborer un système classificatoire unifié au moins dans le cadre de l'Association carpato-balkanique.

En Tchécoslovaquie un système propre de classification des eaux minérales et thermales, stipulé par les normes ČSN 86 8000, est en vigueur. Dans le sens international, on peut le considérer aussi comme national, car plusieurs Etats du monde possèdent leurs propres systèmes classificatoires. Selon la norme tchécoslovaque les eaux sont classifiées, divisées et évaluées en types suivant la minéralisation totale, les principaux constituants d'ions, suivant le contenu des gaz dissous, les facteurs importants du point de vue biologique et pharmacologique, la pression osmique, la température et la radioactivité. On emploie couramment deux systèmes classificatoires: géochimique et balnéologique. En Slovaquie pour l'évaluation et la classification des eaux minérales et thermales, par raison d'usage, on préfère le système balnéologique au système géochimique.

Les eaux minérales et thermales de la région des Carpates Occidentales se divisent, suivant les constituants chimico-physiques, en types et sous-types suivants:

1. Les eaux acidulées ordinaires, 2. les eaux salées et acidulées authentiques, 3. les eaux salées et acidulées basiques, 4. les eaux acidulées-salées-terreuses, 5. les eaux acidulées glauberiques terreuses, 6. les eaux acidulées salées terreuses, 7. les eaux acidulées plâtreuses basiques, 8. les eaux basiques sulfatées et acidulées, 9. les eaux terreuses authentiques, 10. les eaux acidulées terreuses carboniques authentiques, 11. les eaux acidulées sulfatées terreuses, 12. les eaux sulfatées terreuses amères, 13. les eaux sulfatées, 14. les eaux acidulées plâtreuses, 15. les eaux sulfhydriques ordinaires, 16. les eaux acidulées salées basiques, terreuses plâtreuses carboniques, 17. les eaux salées sulfhydriques, 18. les eaux salées basiques sulfhydriques, 19. salées basiques terreuses carboniques sulfhydriques, 20. basiques sulfhydriques, 21. terreuses carboniques sulfhydriques, 22. terreuses plâtreuses sulfurées, 23. plâtreuses sulfhydriques, 24. eaux acidulées ferreuses, 25. eaux acidulées salées basiques terreuses plâtreuses ferreuses, 26. salées basiques ferreuses, 27. basiques ferreuses, 28. basiques terreuses ferreuses, 29. terreuses ferreuses, 30. terreuses plâtreuses ferreuses, 31. vitriolées, 32. salées iodées bromées, 33. salées basiques bromées acidulées, 34. salées terreuses iodées bromées et d'autres non encore identifiées.

Comme on peut le voir des divers types variés des eaux minérales indiqués plus haut, il y a sur le territoire de la Slovaquie une considérable quantité de celles-ci. Nombreuses d'elles sont tellement typiques pour le territoire des Carpates Occidentales que O. F r a n k o (1964) suggère de les indiquer comme types slovaques.

Les tableaux annexes no. 1, 1a, 1b, 1c contiennent les analyses chimiques des eaux minérales et thermales les plus typiques se trouvant sur le territoire de la Slovaquie. Les localités indiquées sont topographiquement illustrées aussi sur la carte annexe de la Slovaquie (fig. 1).

La classification balnéologique que nous indiquons plus loin est basée sur le contenu du sel et s'exprime par les cations et anions prédominants, voir tableau no. 2.

Selon cette classification balnéologique, les eaux minérales et thermales en Slovaquie se divisent en 9 groupes fondamentaux: 1. les eaux thermales ordinaires, comme par exemple celles de Bojnice, Rajecké Teplice, Vyhne, 2. les eaux acidulées ordinaires (eaux carboniques), comme par exemple celles de Maštinec, Bardejov et toute une série des autres localités — en Slovaquie elles sont les plus nombreuses, 3. les sources des eaux salées et acidulées qui se divisent en d'autres 5 sous-groupes. Parmi elles comptent par exemple Cigelka, Sobrance, Santovka, 4. eaux basiques et acidulées provenant des localités plus connues, Nimnica, Zá turčie, Baldovce, 5. les sources des eaux terreuses et acidulées, parmi lesquelles on compte aussi les localités de Sliač, Liptovský Ján, Ružbachy, Šafárikovo, 6. les eaux plâtreuses et acidulées, parmi lesquelles on compte Turčianské Teplice, Sklené Teplice, Kováčová, Brusno, 7. les eaux sulfhydriques et sulfurées et acidulées qui se trouvent à Piešťany, Smrdáky, Bojnice, Patince, Bišta, Sobrance, Trenčianské Teplice, 8. les eaux ferreuses et acidulées dans les localités de Bardejov, Maštinec, Korytnica, Baldovce, 9. les eaux iodées bromées dont les représentants principaux sont Oravská Polhora, la station de Bardejov, Čiž, Sobrance et Cigelka.

En Slovaquie à présent on exploite et on utilise thérapeutiquement les eaux minérales et thermales des 17 stations thermales d'une importance nationale: Piešťany, Dudince, Kováčová, Rajecké Teplice, Lúčky, Ružbachy, Sliač, Korytnica, Nimnica, Brusno, Čiž, Smrdáky et Bardejov. Comme eaux minérales de table et curatives mises en bouteilles sont celles des localités de Lipovce (connue sous le nom de Salvátorka), Baldovce, Santovka, Korytnica, Slatina, Zá turčie (connue sous le nom de Fatra), Cigelka et Maštinec.

Comme on le voit, le territoire de la Slovaquie abonde en grandes quantités des eaux minérales et thermales de variétés géochimiques et balnéothérapeutiques les plus diverses. Le problème de leur recherche est très prétentieux et on peut dire que c'est le problème de toute l'Association carpato-balkanique. Ce pourquoi, dans l'avenir, il faut resserrer davantage la coopération de recherches de tous les Etats de l'Europe Centrale et Orientale.

L'exploitation des eaux minérales et thermales, par rapport à leur quantité, est relativement petite. Cependant, il faut dire qu'elle est suffisante, dans la mesure actuelle de leur connaissance, vue leur protection naturelle, pour éviter le prélevement excessif des eaux des régions individuelles des sources.

### *Les possibilités d'occurrence des eaux hyperthermales*

La structure géologique des Carpates Occidentales avec ses roches carbonates, bassins néogènes et une riche tectonique crée toutes les conditions pour la formation et l'accumulation des eaux hyperthermales (la température dépasse 50 °C). L'importance de l'utilisation des eaux hyperthermales pour l'économie nationale comme une source d'énergie n'a pas besoin d'être soulignée, car ces eaux sont exploitées presque dans chaque Etat où elles se trouvent. Sur notre territoire aussi ces eaux hyperthermales sont utilisées depuis un temps assez long pour le chauffage des stations thermales et des serres à Piešťany et Turčianské Teplice.

Tableau 1. Le chimisme des eaux minérales et thermales les plus connues

Composition chimique mg/l	La localité — le nom de la source							
	Piesťany pramen Trajan	Trenčianske Teplice — Sina	Rejčeké Teplice pramen III.	Turčianske Teplice — Modrý bazén	Dudince S-č	Bojnice termálne jazero	Ružbachy prameň Izabela	Kovačová vrt
Température de l'eau °C	6,7	39,8	41	41,5	33	28	38,5	22
pH	57,6	6,5	6,9	6,6	6,7	6,9	6,3	6,4
masse volumique (20°)	1,0012	1,0025	1,0006	1,0015	1,0026	1,0036	1,0008	1,0013
résidu sec 10,5 %	1326,0	2705,0	532,0	1373,0	2023,0	3967,0	544,0	1336,0
dureté totale °rem	46,07	96,57	27,81	50,69	99,48	71,56	22,71	62,0
Li <sup>+</sup>	77,47	99,08	10,34	45,52	13,38	1,063,06	26,14	82,9
Na <sup>+</sup>	0,22	—	—	—	—	pozit.	0,3	—
K <sup>+</sup>	225,24	492,48	112,2	261,35	517,03	275,75	108,21	304,0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	56,48	120,17	52,53	61,29	117,71	143,0	33,07	85,0
Ca <sup>2+</sup>	—	—	—	—	—	tr.	0,09	0,08
Mg <sup>2+</sup>	0,12	0,84	0,07	0,09	0,11	tr.	—	0,49
Fe <sup>2+</sup>	—	—	—	—	—	tr.	—	3,1
Fe <sup>3+</sup>	—	—	—	—	—	tr.	—	—
Al <sup>3+</sup>	tr.	—	—	0	0	tr.	tr.	0
Mn <sup>2+</sup>	—	—	—	—	—	tr.	—	0,25

Total:	1583,08	712,24	175,14	368,20	668,23	1681,81	165,81	473,51	734,57	705,14
Cl <sup>-</sup>	113,0	100,8	1,2	5,5	2,2	600,0	3,6	4,0	20,5	4,0
Br <sup>-</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
I <sup>-</sup>	0	—	—	—	0	—	—	—	—	—
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	547,70	1883,87	563,4	536,6	1660,41	568,53	113,98	1602,3	1088,4	1285,52
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	274,60	633,22	69,95	563,1	341,70	2668,0	408,82	1250,8	1019,—	762,22
NO <sub>3</sub>	—	tr.	—	—	—	—	1,0	tr.	—	—
NO <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	—	tr.	—	—	—
Total:	935,36	1917,89	614,25	1085,2	1806,31	3797,53	526,40	2857,2	2127,9	2052,74
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	46,73	20,77	15,57	29,85	24,66	23,36	22,0	—	—	7,79
HBO <sub>2</sub>	3,4	4,9	3,2	2,7	13,1	3,2	—	—	—	1,25
CO <sub>2</sub>	53,68	316,0	53,68	8,8	1,310	46,0	1200	855,0	820,0	—
H <sub>2</sub> S	6,13	3,65	—	171,6	0	6,77	1,27	—	—	—

Trabla et al. Le climatisme des eaux minérales et thermales les plus connues

Composition chimique mg/l	La localité — le nom de la source									
	Bardejov prameň Hlaviny	Ciž prameň Hýgiea	Sliač prameň Kúpeň	Cigalka plniareň	Korytnica prameň Klement	Salvator plniareň	Santovka prameň	Fatra vŕtaná studňa	Máštinec plniareň	Budis vŕt B-2
Température de l'eau °C	11,3	15,0	33,0	10,0	5,0	15,0	14,0	11,0	9,2	12,0
pH	6,5	7,3	6,4	7,0	6,0	6,4	6,0	6,7	4,7	6,5
masse volumique (20°)	1,0041	1,009	1,0036	1,017	1,003	1,0024	—	1,0068	1,0006	1,00383
résidu sec 105 °C	4091,0	12856,0	3600,0	17294,0	3290,0	1568,0	2590,0	6086,0	108,0	3362,50
durée totale nom	31,07	52,20	144,26	31,60	131,78	70,32	78,06	50,02	2,58	—
$\frac{\text{Li}^+}{\text{Na}^+}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\frac{\text{K}^+}{\text{NH}_4^+}$	—	5,40	—	6,0	—	—	—	—	0,08	0,3
$\frac{\text{Ca}^{2+}}{\text{Mg}^{2+}}$	189,17	173,95	700,59	111,4	657,3	306,2	431,2	974,59	10,42	357,01
$\frac{\text{Fe}^{2+}}{\text{Fe}^{3+}}$	19,96	121,41	200,39	68,58	172,6	119,2	76,85	159,53	4,86	99,82
$\frac{\text{Al}^{3+}}{\text{Mn}^{2+}}$	Ir.	0,88	1,14	1,10	20,0	1,5	0,16	2,30	1,05	5,62
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,045
	0	—	—	1,38	0	2,37	0,17	0	0	0,22

Total:	357,53	4503,45	961,66	6909,08	886,29	545,87	889,71	2738,22	37,40	1232,46
Cl <sup>-</sup>	515,0	6603,17	88,0	3005,0	7,5	39,0	256,4	67,10	8,60	48,22
Br <sup>-</sup>	9,0	70,0	—	14,0	—	—	—	—	—	0,009
J <sup>-</sup>	0,60	35,0	0,1	0,4	tr.	—	0	tr.	—	682,51
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6,99	34,56	224,0	21,80	1406,0	79,83	324,6	304,92	10,70	2612,51
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	3294,9	811,54	1135,0	13326,3	1159,3	167,80	1862,27	7175,7	73,22	—
NO <sub>3</sub>	—	3,0	—	tr.	—	—	—	—	10,00	—
NO <sub>2</sub>	—	—	—	0	—	—	—	—	tr.	3343,249
Total:	3826,40	7557,27	1447,1	16367,5	2572,8	286,63	1423,7	7547,72	102,52	43,42
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	—	29,85	—	5,19	—	14,28	—	11,68	11,68	4,53
HBO <sub>2</sub>	—	36,06	—	3600	—	—	29,85	14,8	0	2174,4
CO <sub>2</sub>	2670,0	37,84	1025,0	2630,0	3820,0	2620,0	2400,0	2450	2250,0	0,49
H <sub>2</sub> S	—	—	0	—	—	0,97	0,49	—	—	—

Tableau 1b. Le chimisme des eaux minérales et thermales les plus connues

Composition chimique mg/l	Kremnica	Patince	Štúrovo	Kalinčia- kovo — vrt	Malino- vee	La localité — le nom de la source				
						Byšta	Sohranc	Hertany	Kubra	Mitice
Température de l'eau °C	36,5	24,0	39,0	25,6	27,0	11,0	8,0	16,7	9,0	11,0
pH	6,9	7,3	6,9	7,1	6,7	6,7	6,8	6,4	6,1	6,3
masse volumique (20 °C)	1,0007	1,0011	1,0006	1,0008	1,00041	1,00013	1,0005	1,0005	1,00019	1,00024
résidu sec 105 °C	1372,0	682,0	606,0	828,0	3986,0	1525,0	4974,0	(180 °C) 4718,0	1390,0	1452,0
dureté totale °nem,	42,40	23,22	23,78	30,84	70,10	13,46	62,5	—	67,52	78,62
Li	0,80	—	—	—	—	—	—	posit.	—	—
Na <sup>+</sup>	92,6	17,24	19,0	55,17	1018,0	520,55	1265,0	942,1	152,19	25,4
K <sup>+</sup>	19,2	—	2,4	—	—	—	—	51,9	—	5,0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,11	0,15	—	0,38	—	—	—	0,00	neg.	neg.
Ca <sup>2+</sup>	208,42	85,77	101,80	148,29	256,9	52,91	272,5	341,4	378,35	369,53
Mg <sup>2+</sup>	57,39	48,64	41,36	43,78	149,3	26,27	106,0	60,1	63,23	16,73
F <sub>42</sub> <sup>2-</sup>	0,15	—	0,14	0,07	0,05	—	—	6,80	—	—
F <sub>43+</sub>	—	0,07	—	—	—	0,33	0,12	—	0,15	0,16
Al <sup>3+</sup>	—	—	—	—	0	—	13,6	neg.	—	—
Mn <sup>2+</sup>	—	—	—	—	0	—	—	1,44	0,70	0



Tableau I. Le chimisme des eaux minérales et thermales les plus connues

Composition chimique mg/l	Smrdáky	Nimnica vrt	Baldovce	Oravská Polhora	La localité — le nom de la source						
					Brusno	Lipt. Ján vrt	Lipt. Rudolf	Safárikovo	Vinice vrt	Dun. Streda vrt	Komárno vrt M-1
					HPV-1				Agrofligor		
Température de l'eau °C.	13,0	10,0	11,2	8,0	15,0	29,3	17,0	20	85,0	54,5	
pH	7,1	6,1	6,7	7,3	6,0	6,4	5,9	5,8	7,7	6,6	
masse volumique (20 °C)	1,0022	1,0015	1,0022	1,0002	1,0036	1,0030	2,0021				
residu sec 105 °C	2536,0	1117,0	2204,0	236,0	3605,0	3267,0	1537	1990,5	6558,7*	3003,3	
dureté totale °nem	22,31	53,16	92,87	5,38	104,42	141,42	72,42	22,80	4,71	137,2	
Li <sup>+</sup>			7,2	—				1,9	2,8	0	
Na <sup>+</sup>	850,0	72,19	152,4	40,0	448,53	57,2	74,03	370,0	2104,5	356,0	
K <sup>+</sup>	56,40	—	30,4	—	—	23,0		69,0	55,4	56,0	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	—	—	tr.	—	—	—		0,5	21,0	pozit.	
Ca <sub>2</sub> <sup>+</sup>	84,17	294,20	464,93	20,84	493,78	689,37	355,41	99,7	20,84	383,16	
Mg <sup>2+</sup>	65,72	52,04	—	10,70	153,21	495,04	97,28	40,95	7,78	101,17	
Fe <sup>2+</sup>	0,16	—	2,06	—	—	—	—	0,81	0,31	3,44	
Fe <sup>3+</sup>	—	0,81	—	0,18	0,17	0,06	0,15	—	—		
Al <sup>3+</sup>	—	—	—	—	—	—	—	0,45	0,01	0	0,07
Mn <sup>2+</sup>	0	0,35	0,9	0	0	—	—	—	—	—	

PORUBSKÝ

Total:													
Cl <sup>-</sup>	910,0	4,30	100,1	21,20	132,0	25,60	25,20	355,2	583,87	2220,0	584,0	3,5	0,15
Br <sup>-</sup>	-	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	0,15
J <sup>-</sup>	0	0	0,10	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	35,99	3,70	286,40	7,81	1413,91	841,93	251,62	62,95	40,32	899,54	561,36	0	0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1189,85	1336,3	2013,59	176,9	1440,0	2129,53	1403,41	950,95	1983,08	1983,08	1983,08	0	0
NO <sub>3</sub>	-	-	2,0	-	-	-	2,0	tr.	0,5	tr.	3,0	0	0
NO <sub>2</sub>	0	-	-	tr.	-	-	-	-	negat.	0	tr.	0	0
Total:									1369,60				
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	-	49,38	44,43	12,29	22,06	tr.	28,55	37,0	59,71	59,71	59,71	38,94	38,94
HBO <sub>2</sub>	58,5	35,6	21,0	24,3	3,86	6,0	3,5	3,5	pozit.	29,0	29,0	12,9	12,9
CO <sub>2</sub>	211,20	1235,0	2350	816,4	29,8	1350	1410	793,4	0	0	0	600	600
H <sub>2</sub> S	338,45	2,27	tr.	5,35	22,8	-	0,14	0,3	0	0	0	0	0

Tableau 2

Composant ionique	mvat/l	Type de l'eau
$\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$	17	salée
$\text{Na}^+ - \text{HCO}_3^-$	12	basique
$\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-}$	14	glauberique
$\text{Ca}^{+2} (\text{Mg}^{+2}) - \text{HCO}_3^-$	13	terreuse
$\text{Ca}^{+2} (\text{Mg}^{+2}) - \text{SO}_4^{2-}$	16	platreuse
$\text{Mg}^{+2} - \text{SO}_4^{2-}$	10	amère
$\text{Fe}^{+2}$	mg/l	ferreuse
$\text{J}^-$	mg/l	iodée
$\text{Br}^-$	mg/l	bromée
S	mg/l	sulfurée
Composant gazeux	mg/l	
$\text{CO}_2$ libre	mg/l	carbonique-acidulée
$\text{H}_2\text{S}$ libre	mg/l	sulfhydrique
Température de l'eau jusqu'à de au-dessus de	°C	type
	20°	froide
	20 a 50	thermale
	50	hyperthermale

Les sources principales et prometteuses des eaux hyperthermales sur le territoire de la Slovaquie se concentrent surtout en deux formations géologiques, à savoir dans de profondes structures immergées des roches mésozoïques carbonates et dans des régions des bassins sédimentaires néogènes. Localement et avec des débits plus petits elles furent trouvées déjà au cours des années passées, surtout dans le cadre de la recherche du pétrol brut dans les plaines Záhorská et du Danube. La vérification définitive fut effectuée par le forage hydrogéologique à Dunajská Streda qu'avait fait faire l'entreprise nationale Agrofligor, se basant sur l'étude faite par A. Porubský (1969, 1970). Comme déjà mentionné plus haut, le forage avait atteint 2500 m de profondeur, dans lequel on pompe l'eau hyperthermale des graviers pannoniens d'une profondeur de 2300—2500 m. Le débit à la sortie est approx. 16 l/s, la température de l'eau 86 °C, la température du gisement 106 °C. Un forage pareil vient de se terminer à Čalovo, avec des résultats aussi très favorables. Ainsi on avait définitivement prouvé la présence des eaux hyperthermales dans la partie centrale de la plaine danubienne qui s'étend le long des deux rives du Danube. Une autre région prometteuse en occurrence des eaux hyperthermales est la plaine Záhorská nížina qui forme partie intégrante du bassin néogène viennois. Les possibilités de leur occurrence existent aussi dans la plaine de la Slovaquie de l'Est.

Dans les structures immergées du Mésozoïque se trouvent toutes les conditions de l'occurrence des eaux hyperthermales surtout dans le bassin de Liptovská et Turčianská kotlina, puis sous les néovolcans des montagnes Kremnicko-Štiavnické du centre de la Slovaquie, où celles-ci furent forées dans les mines de Kremnica et elles sortent depuis longtemps de la galerie de Banská Štiavnica. Les conditions réelles de leur occurrence se trouvent aussi dans la région de Komárno — Štúrovo, dans les bassins de Žiarská

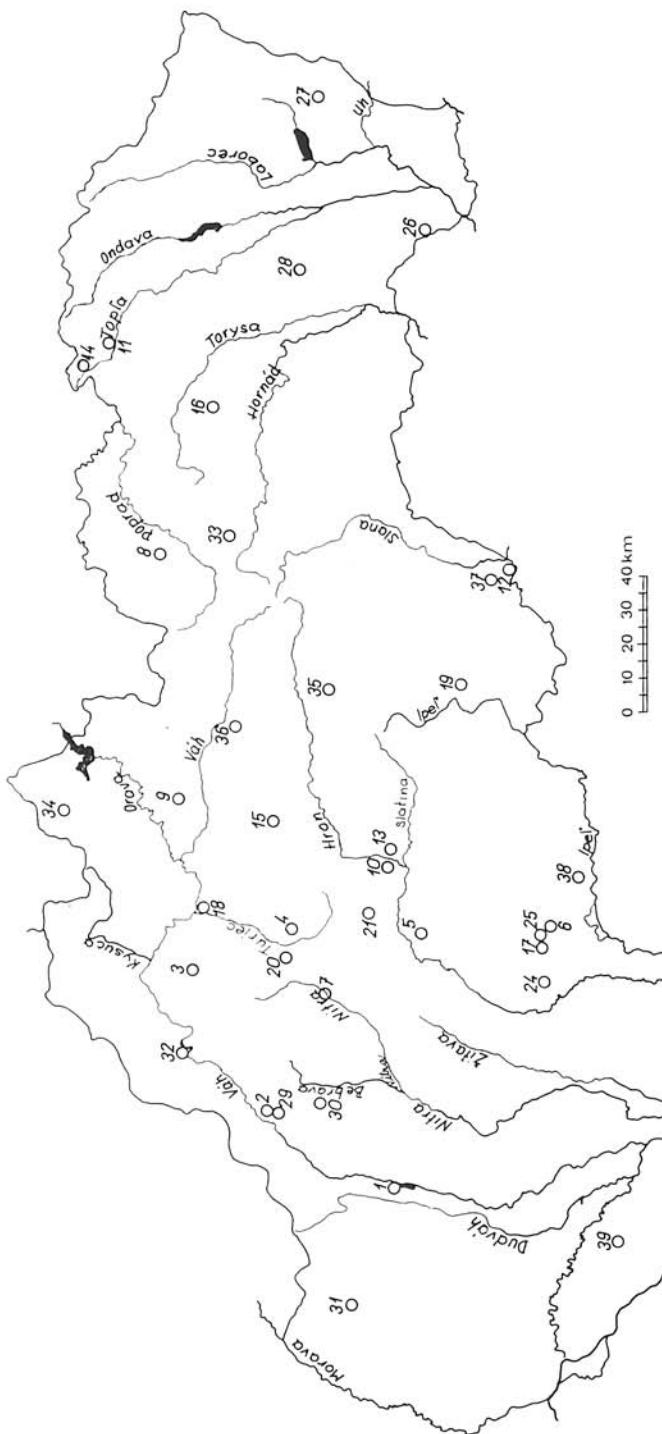


Fig. 1. La carte de présence d'eaux fondamentales minérales et thermales en Slovaquie.

1 — Piešťany, 2 — Trenčianske Teplice, 3 — Rajecké Teplice, 4 — Turčianske Teplice, 5 — Sklené Teplice, 6 — Dudince, 7 — Bojnice, 8 — Ružbachy, 9 — Láčky, 10 — Kováčová, 11 — Bardejov, 12 — Číž, 13 — Slatina, 14 — Štiavica, 15 — Korytnica, 16 — Salvátor, 17 — Šantovka, 18 — Fatra, 19 — Mástince, 20 — Budíš, 21 — Kremnica, 22 — Patince, 23 — Štúrovo, 24 — Kalinčiakovo, 25 — Malinovec, 26 — Bysta, 27 — Sobrance, 28 — Herľany, 29 — Kubra, 30 — Mítice, 31 — Smrdáky, 32 — Nimmica, 33 — Baldovce, 34 — Oravská Polhora, 35 — Brusno, 36 — Liptovský Ján, 37 — Šafárikovo, 38 — Vinica, 39 — Dunajská Streda, 40 — Komárno.

Tableau 3

Localité	Débit l/min	Miner- ali- sa- tion g/l	Produit en sel t/an	Produit de certains éléments par année (t)					
				Sr	Br	J	B	Li	Fe
Bardejov	30	4,9	75						
Bojnice	3000	0,5	777						
Cigefka	10	17,97	93						
Dudince	1500	4,8	4732						
Kováčová	1000	3	1555	5	0,051	0,075	1,1	0,720	0,034
Lúčky			2000	6	1,4	0,388			
Nosice	1000	10	5184						
Oravská									
Polhora	2,5	50	64						
Piešťany			5000	11	1,8	0,174			
Rajecké									
Teplice	150	0,83	64,6						
Sliač	2500	3,5	4536	14	0,065		0,040		
Smrdáky	1000	2,5	1244	1,4	0,673	30,777	0,120	0,665	13
Trenč.									
Teplice	1200		4618	10	0,5		0,220	0,5	
Vyhne	416	1,1	237						
Vyšné									
Ružbachy	5000	2,5	6480						

kotlina, dans celui de Zvolenská kotlina et au contact des montagnes Strážovské vrchy avec celles de Nitrianska pahorkatina.

Dans le cadre des recherches hydrogéologiques et des pronostiques sur l'utilisation des eaux minérales et thermales comme source de matières premières, aucune considération n'en avait été faite dans notre pays. Dans l'avenir une plus grande attention devra être payée à ce problème aussi pour la seule raison que, comme nous l'avons déjà mentionné, la Slovaquie est riche en eaux avec une plus grande quantité des sels minéraux solubles, parmi lesquels se trouvent certainement ceux qui pourront rendre un grand service à notre économie nationale. La question de l'exploitation et de l'utilisation des minéralux comme sources de matières premières occupe le premier rang aussi dans les autres pays et puissances économiques.

Le tableau No. 3 ci-dessus donne le contenu des éléments de certaines sources des eaux minérales en Slovaquie, élaboré par V. Zýka (1961).

Traduit par E. BLEHO.

#### BIBLIOGRAPHIE

- BUDAY, T. et al. 1967: Regionální geologie ČSSR, díl II — Západné Karpaty 2. Ústř. ústav geologický, Praha 651 p.
- FRANKO, O. 1964: Problematika výskumu termálnych vód Slovenska. Geol. práce, Správy (Bratislava), 32, 2, p. 123—140.
- FRANKO, O.—ZBOŘIL, L. 1969: Príspevok geofyzikálneho výskumu k poznaniu štruktúr termálnych vód v oblasti Stredoslovenských neovulkanitov. In: Zborník prác II. Medzinárodného balneologického sympózia (Piešťany), p. 173—190.

- HENSEL, J. et al. 1951: *Balneografia Slovenska*. Slovenská akad. vied a umení, Bratislava, 456 p.
- HYANKOVÁ, K.—KRAHULEC, P.—MELIORIS, L. 1969: Minerálne a termálne vody „Levieckej žriedelnej linie“. In: *Zborník prác II. Medzinárodného balneologickejho sympózia* (Piešťany), p. 191—203.
- HYNIE, O. 1963: *Hydrogeologie ČSSR II. Minerální vody*. ČSAV, Praha, 797 p.
- MAHEL, M. 1952: Minerálne pramene Slovenska so zreteľom na geologickej stavbe. Štát. geol. ústav, Bratislava, 84 p.
- MAHEL, M. et al. 1967: *Regionální geologie ČSSR*, díl II — Západné Karpaty 1. Ústř. ústav geologickej, Praha, 496 p.
- PORUBSKÝ, A. 1960: *Hydrogeologickej výskum minerálnych prameňov v Liptovskom Jáne*. Manuscript. Geofond, Bratislava, 36 p.
- PORUBSKÝ, A.—HOLEČZYOVÁ, Z. 1967: Možnosti získania termálnych vód v Žiari nad Hronom. Manuscript. OVN Žiar nad Hronom, 24 p.
- PORUBSKÝ, A. 1969: Slovensko, zem minerálnych a termálnych vód. In: *Zborník prác II. Medzinárodného balneologickejho sympózia* (Piešťany), p. 10—20.
- PORUBSKÝ, A. 1969: *Hydrogeológia a geochemia žriedelnej sústavy Trenčianske Teplice*. In: *Zborník prác II. Medzinárodného balneologickejho sympózia* (Piešťany), p. 48—62.
- PORUBSKÝ, A.—HLAVATÝ, Z.—OBERNAUER, M. 1969: *Hydrogeologickej pozícia termálnych vód v Kalinčiakove a ich výskum*. In: *Zborník prác II. Medzinárodného balneologickejho sympózia* (Piešťany), p. 208—228.
- PORUBSKÝ, A. 1969: Možnosti získania hypertermálnych vód v Dunajskej Stredie. Manuscript. Geografický ústav SAV, Bratislava, 27 p.
- PORUBSKÝ, A. 1970: Termálne vody neogénu Podunajskej nížiny. *Geografický časopis Slov. akad. vied* (Bratislava), 22, 1, p. 39—50.
- PORUBSKÝ, A. 1972: The mineral and thermal waters of Slovakia. *Geografický časopis Slov. akad. vied* (Bratislava), 24, 2, p. 114—119.
- RAČÍKÝ, M. 1967: Voda ako zdroj nerastných surovín. In: *Nerastné suroviny Slovenska*. Ústř. geologickej úrad, Praha, p. 472—477.
- REBRO, A. 1969: *Saluberrimae pisthinineses thermae*. In: *Zborník prác II. Medzinárodného balneologickejho sympózia* (Piešťany), p. 41—47.
- SKVARKA, L. 1969: Termálne vody v oblasti neovulkanítov stredného Slovenska. In: *Zborník prác II. Medzinárodného balneologickejho sympózia* (Piešťany), p. 203.
- TKAČIK, P. 1967: Minerálne a termálne vody. In: *Nerastné suroviny Slovenska*. Ústř. geologickej úrad, Praha, p. 456—472.

Reviu par Z. HOLÉCZYOVÁ.