

JOZEF FORGÁČ

# DER GEOCHEMISCHE ASPEKT HYDROTHERMAL VERÄNDERTER VULKANISCHER GESTEINE IM GEBIET PUKANEC—RUDNO—NOVÁ BAŇA UND DEREN GENESE



(Abb. 1—6)



**Kurzfassung:** Im Gebiet der Mittelslowakei befindet sich ein mächtiger vulkanischer Komplex, aufgebaut durch Gesteine der Reihe Rhyolit — Andesit — Basalt. Der vulkanische Komplex wurde im Baden-Sarmat bis Quartär gebildet. In der vorliegenden Arbeit wird die Verbreitung der hydrothermal veränderten vulkanischen Gesteine im etwa 20 km langen Streifen Pukanec—Rudno—Nová Baňa beschrieben. Von den hydrothermalen Lösungen wurde der gesamte vulkanische Komplex von der Mächtigkeit ca. 1 km betroffen. Die Gesteine sind chloritisiert und adularisiert. Es wird eine petrographische und geochemische Charakteristik der hydrothermal veränderten Gesteine im Hinblick auf die Genese des hydrothermalen Prozesses dargelegt.

**Резюме:** В области Средней Словакии находится могучий вулканический комплекс построенный породами ряда риолит — андезит — базальт. Вулканический комплекс образовался в течение Бадена — Сарматы до Четвертичного. В работе приводится распределение гидротермально измененных вулканических пород в полосе Пуканец — Рудно — Нова Баня, длиной приблизительно 20 км. От гидротермальных растворов страдает весь вулканический комплекс мощностью приблизительно 1 км. Породы являются хлоритизованными и адularизованными. Авторы приводят петрографическую и геохимическую характеристику гидротермально измененных пород с учетом генезиса гидротермального процесса.

## Einleitung

Die vulkanischen Gesteine im Gebiet der Mittelslowakei sind an einigen Stellen durch die Einwirkung hydrothermaler Lösungen verändert. Eine solcher Stellen stellt die sich im Streifen Pukanec—Rudno—Nová Baňa erstreckende Struktur dar. Mit dem Studium veränderter Gesteine im vulkanischen Gebiet der Mittelslowakei befassten sich in den letzten dreissig Jahren hauptsächlich nachfolgende Wissenschaftler. F. Fiala (1957) gliederte im Gebiet von Kremnica die hydrothermalen Veränderungen auf in solche zu Erznebengestein, welche genetisch mit der Bildung von Au—Ag-Vererzung verbunden sind, und in regionale Veränderungen, welche er für autometamorph erachtete. M. Böhmer (1959, 1961) stellte in der Umgebung von Erzgängen in Kremnica zonale Dislokationen von Veränderungen zu Erznebengestein fest. An der polymetallischen Lagerstätte in Banská Štiavnica (Schemnitz) stellte J. Forgáč (1966) eine markante Zonalität der hydrothermal veränderten Gesteine in der Umgebung der Erzgänge fest, welche lediglich einige Meter in die Umgebung der Erzgänge reicht. Er dokumentierte, dass die bislang als regional bezeichneten, auf weite Entfernung von den Erz-

\* RNDr. J. Forgáč, CSc., Lehrstuhl für Geochemie der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Komenský-Universität in Bratislava, Paulínyho-Tótha 1, 801 00 Bratislava.

gängen verbreiteten Veränderungen der Gesteine nicht auf einen autometamorphen Prozess zurückzuführen sind, sondern auf die Einwirkung hydrothermaler Lösungen, und bezeichnete das Gestein als chloritiert. Im Gebiet von Rudno nad Hronom und Brehy beschrieb und gliederte in der Karte A. Brlay (1975) adularierte Gesteine aus. Der petrographische Charakter der veränderten Gesteine wurde auch anhand struktureller Tiefbohrungen beschrieben. So sind dies im Gebiet Pukanec—Rudno—Nová Baňa die Bohrungen GK-5 — Velká Lehota (E. Karolusová, 1969), GK-9 — Rudno nad Hronom (E. Karolusová, 1976), GK-12 — Devičany (V. Hojstričová, 1970), GK-13 — Nová Baňa (V. Hojstričová, 1975), GK-14, GK-14 — Brehy (A. Brlay, 1973, 1978), als auch die Bohrungen zu Kartierungszwecken (K. Karolus, 1967; A. Brlay, 1975).

In der vorliegenden Arbeit wird die Verbreitung der hydrothermal veränderten vulkanischen Gesteine im Streifen Pukanec—Rudno—Nová Baňa von der Länge ca. 20 km erörtert, deren petrographische und geochemische Charakteristik, im Hinblick auf die Genese des hydrothermalen Prozesses in dessen Verlauf es zu Veränderungen grossen Ausmasses des vulkanischen Gesteins kam.

Die Bergwerke in diesem Gebiet sind längst nicht mehr zugänglich, das Haldenmaterial ist verwittert. Deshalb war es für das Studium der Problematik hydrothermaler Veränderungen notwendig, Material aus obertägigen Aufschlüssen zu verwerten, und auch die aus strukturellen Tiefenbohrungen gewonnenen Erkenntnisse. Für hydrothermale Veränderungen von Gesteinen werden solche erachtet, welche durch Einwirkung hydrothermaler Lösungen auf ebendieses Gestein entstanden. Für hydrothermale Veränderungen werden solche Veränderungen nicht betrachtet, bei welchen es zu einer Entfärbung und allmählich bis zur Aggrillisation des Gesteins kam. Diese zählen zu den hypergenen Veränderungen (J. Forgáč, 1967).

#### *Der geologische Bau des Gebietes*

Am geologischen Bau des Gebietes beteiligen sich ein vulkanischer Komplex und präneogene Gebilde. Über Charakter und Verbreitung der präneogenen Gebilde im Liegenden der Vulkanite, kann lediglich anhand der Ergebnisse von strukturellen Bohrungen erwogen werden. Ältestes Gebilde im Liegenden des vulkanischen Komplexes ist das Kristallinikum. Er wird dargestellt durch Diaphorite von Paragneisen glimmerigen bis phillonitischen Typs und durch Amphibolite vom Typ grüner Schiefer. Von den granitoiden Gesteinen sind dies Granite bis Granodiorite, aplitische Granite bis Aplite (K. Karolus — O. Miko, 1975). Das Kristallinikum tritt nicht an die Oberfläche, aber es ist aus den Tiefbohrungen im Gebiet von Nová Baňa bekannt.

Das jüngere Paläozoikum wird gebildet durch das obere Karbon und das Perm der Choč-Einheit. Die Schichtenfolge des oberen Karbons bilden tonig-sandige und serizitische Schiefer, grauwackige Sandsteine bis Konglomerate (J. Vozář, 1973, 1975). Die grösste Verbreitung im Liegenden des vulkanischen Komplexes hat die Schichtenfolge des Perms. Sie tritt im Gebiet von Malá Lehota und Pila zutage. Im Liegenden der Vulkanite wurde sie anhand einiger Bohrungen (GK-5, GK-9, GK-13, VIK-1) erfasst. Das Perm stellt eine vulkano-sedimentäre Schichtenfolge dar. Sie wird gebildet durch Lagen toniger, tonig-sandiger und serizitischer Schiefer von roter, grauer bis grünlicher Farbe, welche mit Lagen von Sandsteinen und arkoseartiger Sandsteine abwechseln. In der Schichtenfolge befinden sich Lagen von Melaphyren, Tuffen und tuffitischen Sedimenten (J. Vozář, 1973, 1975, 1976).

Das Mesozoikum ist durch die Križna-Einheit vertreten. Diese wurde anhand der Bohrungen GK-9, GK-13, GK-14 im Gebiet von Nová Baňa und Brehy erfasst und

befindet sich im Liegenden der Choč-Einheit. Das Mesozoikum wird gebildet von grauen bis grünen sandigen Schiefern, stellenweise von Quarziten, Dolomiten und schwarzen Kalksteinen (Keuper). In den tieferen Teilen befinden sich Dolomite bis dolomitische Kalksteine (Ladin) und Guttenseiter Kalke, dem Anis zugeordnet (M. Polák, 1975, 1976).

Die Gegenwart der Paläogens ist im vorliegenden Gebiet nicht bekannt.

Den geologischen Bau des vulkanischen Komplexes behandelten in den jüngsten Jahren K. Karolus (1967, 1978) im Rahmen der Erstellung geologischer Karten und A. Brlay (1975) bei der Lösung der Problematik von Erzlagerstätten. Der Bau des Gebietes wurde desgleichen ermittelt im Rahmen der Ausführung von strukturellen Tiefbohrungen (K. Karolus und Koll., 1969, 1970, 1975, 1976 und A. Brlay, 1973, 1978).

Als ältester gilt der neoide intrusive Komplex, der nicht an die Oberfläche tritt, jedoch durch Bohrungen im Gebiet von Nová Baňa und Brehy erfasst wurde. Die Intrusionen werden gebildet durch Granodiorit, Diorit und Diorit-Porphyrit. Sie drangen in die präneogenen Gebilde, jedoch nicht in den Komplex der Produkte des Oberflächenvulkanismus. K. Karolus (1978) erachtet sie für Banatite, die älter sind als die Produkte des Oberflächenvulkanismus.

Die vulkanische Tätigkeit verlief in der Zeitspanne Baden bis Sarmat, als die Vulkane Gesteine der Kalkalkalireihe produzierten. Im Quartär waren die Eruptionen alkalisch. Älteste Produkte der vulkanischen Tätigkeit sind pyroxenische Andesite, welche den überwiegenden Teil des Gebietes bauen. Sie bilden Lavaströme und vulkanoklastisches Material, welche einander abwechseln; weniger häufig sind extrusiv Körper. Grundsätzlich in geringerer Menge kommen biotitische Andesite und amphibolisch-pyroxenische Andesite vor. Später kam es zu Eruptionen, die biotisch-amphibolische Andesite überwiegend in Form extrusiver Körper und weniger vulkanoklastisches Material produzierten; vereinzelt beteiligen sich am Bau des Gebietes biotisch-amphibolische Dazite in Form von Dykes. Im Verlaufe der vulkanischen Tätigkeit kam es erneut zur Eruption pyroxenischer Andesite, welche stratovulkanischen Bau aufweisen. Gegen Ende des Sarmats wurde der intermediäre Vulkanismus durch Eruptionen von Rhyoliten abgelöst. Die Rhyolite sind am meisten verbreitet im Gebiet von Nová Baňa, wo sie das Massiv Háj bauen und eine Mächtigkeit von ca. 500 Meter erreichen. Im Gebiet Pukanec—Rudno bilden die Rhyolite in Richtung NNO-SSW Dykes und durchdringen den Andesitkomplex. Im Quartär produzierte die vulkanische Tätigkeit Basalte, welche zwischen den Ortschaften Tekovská Breznica und Nová Baňa in Form von drei Lavaströmen entwickelt sind. Die Andesite und Rhyolite gehören der kalkkalischen und die Basalte der alkalischen Reihe an.

Im Streifen Pukanec—Rudno—Nová Baňa durchdringen Erzgänge den vulkanischen Komplex, die Granodiorite inbegriffen. Der Verlauf der Gänge ist der Abb. 1 zu entnehmen. Die Gänge haben Quarz-Gangausfüllung im Gebiet von Nová Baňa und Pukanec mit Gehalten an Au—Ag, während im Gebiet von Rudno nad Hronom eine Pb—Zn—Cu-Vererzung besteht.

#### *Die hydrothermalen Gesteinsveränderungen*

Die unter Einfluss hydrothermalen Lösungen veränderten Gesteine haben im Gebiet Pukanec—Rudno—Nová Baňa beträchtliche Verbreitung. Sie be-

stehen nicht nur in Nähe von Erzgängen, sondern sind bis zu einigen Kilometern vom Verlauf der Erzgänge verbreitet. Die hydrothermal veränderten Gesteine treten zutage in einem kontinuierlichen Streifen von den Ortschaften Pukanec und Devičany in Richtung Rudno nad Hronom, wo sie die Koten Agraš, Tatiar, Clm, Biela skala aufbauen, wie auch die anliegenden Hänge und Kämme, bis ans Grantal (Hron). Nördlich des Flusses Hron (Gran) bilden sie das Massiv Háj über Nová Baňa, reichen bis ins Tal des Baches Starý potok, der die Ortschaft Stará Huta durchfliesst. Ab Nová Baňa sind sie in nordöstlicher Richtung des Tales Šimunova dolina nach Hrabyň und Kajlovka hin zu verfolgen. Vom Gebiet um Kajlovka zieht sich der Streifen hydrothermal veränderter Gesteine über das Tal Maras dolina in den Bach Žarnovický potok.

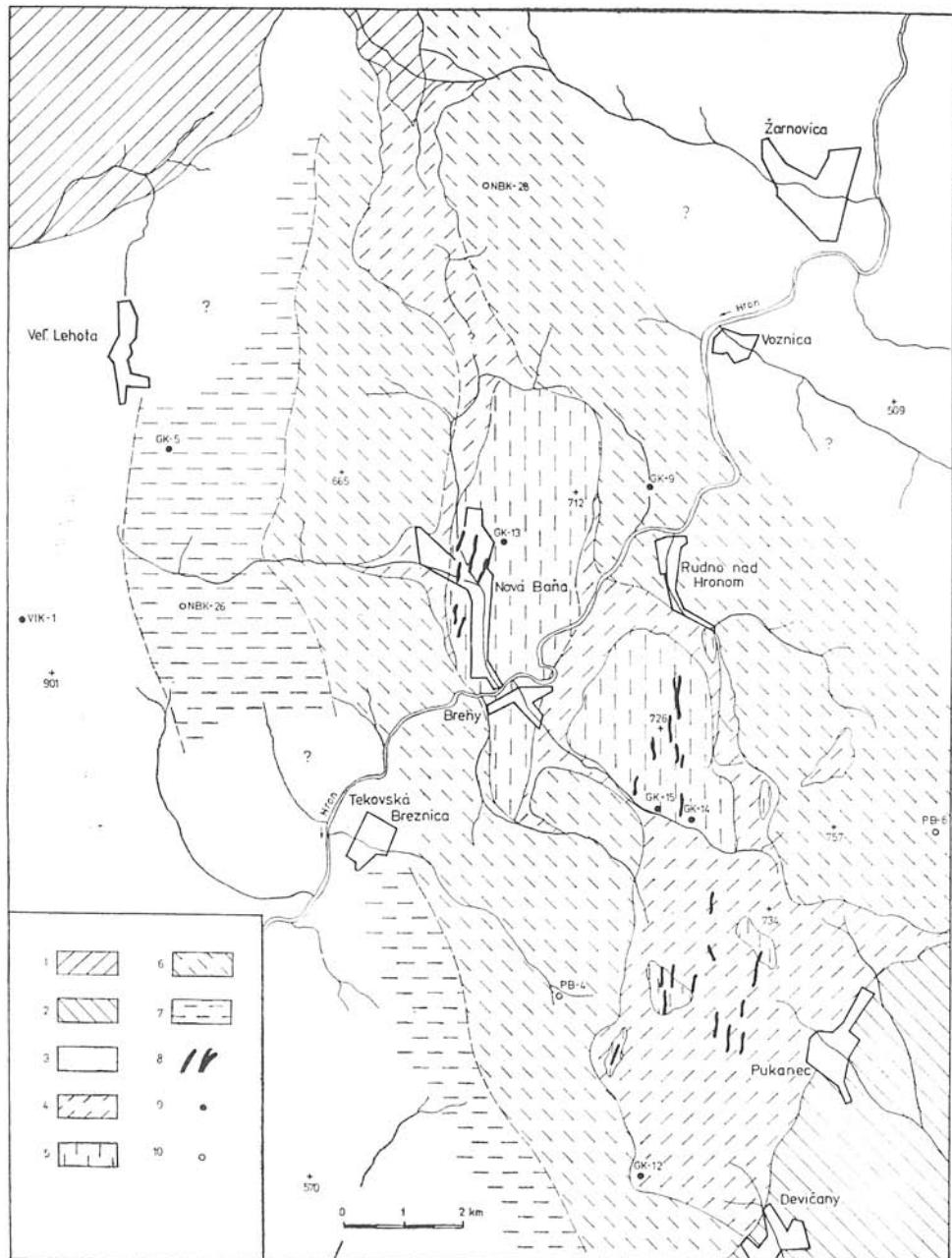
Der begrenzte Streifen, in welchem die hydrothermal veränderten Gesteine an die Oberfläche treten, besitzt eine Länge von ungefähr 20 Kilometern und seine Breite bewegt sich zwischen 1,5 und 6 Kilometern, was einer Fläche von ca. 65 km<sup>2</sup> entspricht. Vom Prozess hydrothermalen Veränderungen sind alle sich in diesem Streifen befindlichen Gesteinstypen betroffen, d. s. pyroxenische Andesite, pyroxenisch-amphibolische Andesite, biotitische Andesite, biotitisch-amphibolische Andesite, Dazite, Rhyolite und auch Granodiorite und Diorit—Porphyrite. Der vulkanische Komplex ist mit nahezu gleicher Intensität im gesamten, begrenzten Streifen verändert und auch in vertikaler Richtung. Die durchschnittliche Mächtigkeit des vulkanischen Komplexes beträgt 1 km.

Den aus den strukturellen Tiefbohrungen gewonnenen Erkenntnissen nach ist es offenkundig, das an die Oberfläche nur der geringere Teil der veränderten Gesteine tritt und deren Grossteil, was das Frächenausmass betrifft, sich in den unteren Teilen des vulkanischen Komplexes befindet (zu beiden Seiten des in die Oberfläche tretenden Streifens) und sein oberer Teil besteht aus frischem vulkanischem Gestein. Zwischen frischen und veränderten Gesteinen besteht ein kontinuierlicher Übergang von der Intensität ihrer Veränderung und dies sowohl in vertikaler, als auch in lateraler Richtung. Die Verbreitung der hydrothermal veränderten Gesteine an und unter der Oberfläche wird in Abb. 1 veranschaulicht. Die Verbreitung des Gesteins im unteren Teil des vulkanischen Komplexes, das nicht an die Oberfläche tritt, kann an einer Fläche von ca. 120 km<sup>2</sup> interpretiert werden. Die Mächtigkeit des veränderten Komplexes nimmt von der zentralen Zone zur Umgebung hin allmählich ab und die Intensität der Veränderungen wird schwächer. Die durchschnittliche Mächtigkeit des veränderten Komplexes unter dem unveränderten beträgt ungefähr 700 Meter.

Insgesamt befinden sich im studierten Streifen Pukanec—Rudno—Nová Baňa 150 km<sup>3</sup> hydrothermal veränderten vulkanischen Komplexes.

---

Abb. 1. Die Verbreitung hydrothermal veränderter Gesteine im Gebiet Pukanec—Rudno—Nová Baňa. 1 — Präneogene Gebilde, 2 — Sedimente des Neogens, 3 — vulkanischer Komplex, 4 — chloritisierter vulkanischer Komplex an der Oberfläche, 5 — adularisierte vulkanischer Komplex an der Oberfläche, 6 — chloritisierter vulkanischer Komplex in den tieferen Partien, 7 — schwach chloritisierter vulkanischer Komplex in den unteren Partien, 8 — Erzgänge, 9 — strukturelle Tiefbohrungen, 10 — Bohrungen bis zu 300 m.



*Die Stabilität der gesteinsbildenden Minerale im hydrothermalen Prozess*

Bei der Erforschung der veränderten Gesteine kann beobachtet werden, dass einige Minerale unter Einfluss hydrothermaler Lösungen verändert wurden und einige frisch sind. Die allmähliche Veränderung hängt von der Stabilität des jeweiligen Minerals ab. Der Verfasser konzentrierte sich auf Minerale wie Pyroxene, Amphibol, Biotit und verfolgte bei ihnen die Intensität der Veränderung dann, wenn in der Probe, bzw. im Dünnschliff mindestens zwei davon zugegen waren. Als Kriterium zur Unterscheidung der Veränderungsintensität der Gesteine wurden Minerale auserwählt, die im überwiegenden Teil der gesteinsbildenden Typen im erforschten Gebiet vorkommen. Solche Minerale sind die Pyroxene. Sie sind außer in Rhyolithen, in allen verfolgten Gesteinstypen zugegen, wenn auch in unterschiedlichen Mengen (z. B. sind Pyroxene im biotisch-amphibolischen Andesit nur vereinzelt vorhanden). Zur Unterscheidung der Intensität der hydrothermalen Veränderungen wurden als Kriterium Pyroxene auserwählt, weil der überwiegende Teil der veränderten Gesteine ursprünglich Pyroxene enthielt. In den ersten Stadien der Veränderung verändert sich Hypersthen und Augit bleibt frisch. Augit ändert sich bei intensiveren Gesteinsveränderungen. Falls es in den Gesteinen zu einer Veränderung (Chloritisierung) von Hypersthen kam während Augit frisch blieb, werden die Gesteine vom Autor für schwach verändert angesehen und sind in Abb. 1 als schwach chloritisierte Gesteine eingezzeichnet. Sind in den Gesteinen Hypersthen und Augit völlig verändert, werden sie für stark verändert betrachtet, und sind in Abb. 1 als chloritisierte Gesteine angeführt. In die Stufe der Veränderung werden auch adularisierte Gesteine eingereiht. Der Fortgang der Veränderung verschieden stabiler Minerale ist an mehreren Stellen ersichtlich; so z. B. im biotitisch-amphibolischen Andesit mit Pyroxen nördlich vom Berg Velký Veverník sind die Pyroxene (Hypersthen, Augit) und der Amphibol völlig chloritisiert, der Biotit jedoch ist frisch, während bei den Daziten im Bach Obecný potok südlich der Ortschaft Brehy sowohl die Amphibole, als auch die Biotite vollständig chloritisiert sind. In den Rhyolithen oberhalb von Nová Baňa sind wieder die Plagioklase stark adularisiert. Markante Veränderungen bestehen auch in der Grundmasse des Rhyoliths, der Biotit aber behält seine Frische (makroskopisch ist er dunkel, glänzend, mikroskopisch ist er braun mit typischem Pleochroismus ohne Anzeichen von Chloritisierung).

Den durchgeföhrten Beobachtungen zufolge kann eine Stabilitätsreihe dunkler Minerale folgendermassen aufgestellt werden: Hypersthen—Augit—Amphibol—Biotit.

*Der petrographische Charakter der veränderten Gesteine*

Von hydrothermalen Lösungen wurden betroffen: pyroxenische Andesite, amphibolische-pyroxenische Andesite, biotisch-amphibolische Andesite mit Pyroxen, Dazite und Rhyolite mit Granodioriten inbegriffen. Vom Standpunkt der charakteristischen sekundären Minerale in den Gesteinen wurden sie hier aufgegliedert in chloritisierte und adularisierte Gesteine.

### a) Die chloritisierten Gesteine

Die chloritisierten Gesteine sind im vorliegenden Gebiet am häufigsten verbreitet und sind fast auf dem gesamten Gebiet sowohl an der Oberfläche, als auch unterirdisch festzustellen, wie dies in Abb. 1 veranschaulicht wird. Bei diesen Veränderungen in den Gesteinen kommt es hauptsächlich zur Veränderung der dunklen Minerale und der Grundmasse der Gesteine. Die dunklen Minerale Pyroxene, Amphibol und Biotit verändern sich überwiegend zu Chlorit. Die Chlorite sind vorwiegend von lichtgrüner bis grüner Farbe, stellenweise mit einem Hauch zum Braunen. Am häufigsten ist Chlorit in Form von kleinen schuppenförmigen oder faserigen Aggregaten entwickelt. Die schuppenförmige Art des Chlorits bildet am häufigsten Pseudomorphen nach dunklen Mineralen und Anhäufungen in der Grundmasse der Gesteine. Die faserige Form des Chlorits ist gewöhnlich in den kleinen Hohlräumen entwickelt. Die lunkigen Minerale zerfallen in den ersten Stadien der Veränderung überwiegend zu einer gelartigen Masse, aus welcher die Chlorite auskristallisierten. Sekundäre Begleitminerale der Chloritisation sind Epidot, Kalzit, Quarz, Pyrit, Serizit. Epidot kommt im Vergleich zum Chlorit grundsätzlich weniger vor. Am häufigsten ist er in Form von Anhäufungen unregelmässiger Individuen entwickelt, und stellenweise bildet er die Ausfüllung feiner Sprünge im Gestein, wo er ausser Anhäufungen, kleine unvollständige Täfelchen und Säulchen bildet. Quarz bildet am häufigsten einzelne Anhäufungen, die unregelmässig im Gestein verstreut sind, oder er scheidet sich an den Sprüngen ab. Bei grösseren Individuen kann Wolkenauslöschung beobachtet werden. Beim Quarz können Kennzeichen beobachtet werden die darauf hinweisen, dass er aus dem  $\text{SiO}_2$ -Hydrogel entstand. Überwiegend kristallisierte er in Form von Quarz aus und vereinzelt ist er, zumal in kleinen Gesteinshohlräumen, in Form von Chalzedon und Opal entwickelt. Serizit bildet kleine Anhäufungen in der Grundmaterie mit Chlorit und verdrängt ebenso Plagioklase. Die Plagioklase sind bei dieser Veränderungsstufe überwiegend frisch. Serizit wird gewöhnlich von Karbonat begleitet. Das Karbonat bildet meist kleine Anhäufungen oder es kommt an den Gesteinssprüngen zusammen mit Quarz vor. Im Vergleich mit Chlorit ist die Verbreitung grundsätzlich geringer. Die Chloritisation der Gesteine wird auch von Pyritbildung begleitet. Pyrit ist in den Gesteinen unregelmässig verstreut und fehlt häufig. Die Verbreitung des Pyrits in den Gesteinen ist nicht von der Intensität der Gesteinsveränderung abhängig und es kann gesagt werden, dass er in den Gesteinen unregelmässig verstreut und oft in ihnen gar nicht vorhanden ist.

Dunkle Minerale bewahren sich gewöhnlich ihre ursprüngliche Begrenzung, obzwar sie vollständig verändert sind. Die Plagioklase sind bei diesen Veränderungen fast frisch und nur in geringem Masse von Serizitisation und stellenweise von Karbonatisierung betroffen. In der Grundmaterie kommt es zur Bildung der genannten sekundären Minerale, was zu deren Rekristallisation und Verdeckung der ursprünglichen Struktur der Grundmaterie führt. Für gewöhnlich wird sie kryptokristallin, feinkörnig und bei starken Veränderungen bis feinkörnig-holokristallin. Stellenweise sind in den Gesteinen noch Merkmale der ursprünglichen Struktur der Grundmaterie.

### b) Die adularisierten Gesteine

Von Adularisation werden pyroxenische Andesite, amphibolisch-pyroxenische Andesite und Rhyolite betroffen.

Die Adularisation ist am mächtigsten in den Gebieten von Nová Baňa und Rudno nad Hronom entwickelt. Im Gebiet von Nová Baňa erfasst sie das Rhyolitmassiv am Berg Háj in der gesamten Mächtigkeit, ca. 500 m (Bohrung GK-13) und auch die Andesite im Liegenden, was gut am Südende des Massives Háj zu beobachten ist, wo die Andesite von unterhalb der Rhyolite emporsteigen. Weiters sind die Gesteine der Kalvária und südlich der Ortschaft Brehy adularisiert. Im Gebiet von Rudno nad Hronom sind von Adularisation betroffen die amphibolisch-pyroxenischen Andesite des Massivs Chlm und am Gebirgskamm an den Koten Biela Skala und Solisko, wie auch an den anliegenden Hängen. Kleinere flächenmässige Verbreitung erfährt die Adularisation am Kamm Kozí chrbát und nördlich von Pukanec in den Rhyoliten. Ein weiteres Vorkommen von Adularisation besteht in der Umgebung der Kote Agraš bei Pukanec und nordwestlich von Devičany, wo die pyroxenischen Andesite adularisiert sind. Im Gebiet von Nová Baňa und Rudno nad Hronom ist die Adularisation auf einer Fläche von ca. 11 km<sup>2</sup> verbreitet. In diese Fläche wurde die Adularisation nördlich von Pukanec und Devičany nicht inbegriffen da sie dort nur geringe flächenmässige Ausdehnung besitzt. Laut Angaben aus den Bohrungen (GK-13, GK-14) erfasst die Adularisation in dem begrenzten Gebiet den gesamten vulkanischen Komplex in vertikaler Richtung.

Die Adularisation zeichnet sich dadurch aus, dass es in den genannten Gesteinen zur Verdrängung des Plagioklases und der Grundmaterie durch Adular kommt. Bei starker Adularisation kommt es zum vollständigen Ersatz von Plagioklas durch Adular. Die, die Adularisation begleitenden sekundären Minerale sind Chlorit, Epidot, Karbonat und Serizit, ähnlich wie bei den als chloritisiert ausgegliederten Gesteinen. Von den chloritisierten Gesteinen unterscheiden sich die adularisierten durch die Gegenwart von Adular. Ähnlich wie bei den chloritisierten Gesteinen, kommt es auch bei der Adularisation zur Rekristallisation der Grundmasse des Gesteins. Markant ist diese Erscheinung in den Rhyoliten des Massivs Háj und in den Andesiten von Rudno nad Hronom. Bei den Rhyoliten kann beobachtet werden, dass aus der ursprünglich sphärolitisch-vitrophyrischen Struktur der Grundmasse, durch Einwirkung hydrothermaler Lösungen eine kryptokristalline bis mikroaplittische Struktur der Grundmasse entsteht. Stellenweise blieben die Merkmale der ursprünglichen Struktur der Grundmaterie erhalten. An denjenigen Stellen, wo die Veränderungen der Gesteine in geringer Intensität zur Geltung kamen, blieb die ursprüngliche Struktur der Grundmaterie überwiegend erhalten.

#### *Der geochemische Charakter der veränderten Gesteine*

Die hydrothermalen Lösungen riefen bei der Durchdringung des vulkanischen Komplexes mineralogische und chemische Veränderungen in der Zusammensetzung der Gesteine hervor. In diesem Teil seiner Arbeit legt der Verfasser die Veränderungen im Chemismus der Gesteine im Verlaufe der hydrothermalen Veränderungen im Hinblick auf das ursprüngliche, frische Gestein dar. Bei der geochemischen Bewertung der veränderten Gesteine wird hier von der ursprünglichen Zusammensetzung der Andesite, Rhyolite ausgegangen und es wird auf die Veränderungen in den Makroelementen hingewiesen, da diese sich im Hauptmasse an der Zusammensetzung der Gesteine beteiligen.

Die Gesteine im Gebiet von Pukanec—Rudno—Nová Baňa unterlagen im Prozess der hydrothermalen Veränderungen markanten Umwandlungen. Bei den Reaktionen der Hydrothermen mit den Gesteinen geht ein Teil der Elemente in hydrothermale Lösungen über; die Elemente beeinflussen deren

Tabelle 1

Die Durchschnittsgehalte frischer Andesite und Rhyolite der Mittelslowakei. (Umgerechnet aus den Arbeiten von J. Forgáč, 1970; J. Forgáč — G. Kupčo, 1974)

	Andesite		Rhyolite	
	Intervall	$\bar{x}$	Intervall	$\bar{x}$
SiO <sub>2</sub>	53,51—64,50	58,06	71,04—76,67	74,01
TiO <sub>2</sub>	0,14—1,45	0,49	0,02—0,34	0,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,88—22,43	18,02	11,54—15,67	13,13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,32—5,89	3,73	0,80—3,65	1,91
FeO	0,60—6,37	3,64	0,15—2,31	1,03
MnO	0,03—0,28	0,09	0,01—0,22	0,04
MgO	0,92—5,31	2,80	0,05—1,50	0,67
CaO	4,52—8,56	6,92	0,51—2,38	1,52
Na <sub>2</sub> O	1,80—3,26	2,62	2,14—4,04	2,78
K <sub>2</sub> O	1,14—2,83	1,87	2,54—4,98	3,82
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01—0,60	0,23	0,01—0,76	0,08
H <sub>2</sub> O+	0,37—4,37	1,52	0,06—1,81	0,84
n		99,99		100,01
		42		16

ursprüngliche Zusammensetzung und weitere Aktivität. Die gesamten Veränderungen in der Distribution der Elemente der veränderten Gesteine und im frischen Gestein werden in den Abbildungen 2 und 3 veranschaulicht. Die Intervalle und Durchschnittsgehalte der Elemente in den studierten Gesteinen geben die Tabellen 1 bis 4 wieder. Üppigstes Element in den studierten Gesteinen ist das Silizium. Silizium befindet sich in frischen Andesiten am häufigsten im Intervall zwischen 58 bis 59 % SiO<sub>2</sub> und bei veränderten Andesiten am häufigsten zwischen 56 und 57 % SiO<sub>2</sub> (Abb. 2), global weist es Tendenz zur Verringerung im Prozess hydrothermaler Veränderungen auf. Im Durchschnitt besteht ein Gehaltsverlust von einem Prozent SiO<sub>2</sub>. Ähnliche Erscheinungen kamen auch bei den Rhyoliten zur Geltung, wo der SiO<sub>2</sub>-Verlust durchschnittlich 2,23 % im Vergleich zu den unveränderten Rhyoliten beträgt (Abb. 3). Beim Aluminium können in den Andesiten ähnliche Erscheinungen beobachtet werden wie beim Silizium. Der Gehalt an Aluminium verringert sich in den veränderten Andesiten um 1 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Markantere Veränderungen wurden beim Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> registriert. In veränderten Andesiten kommt es am häufigsten im Intervall zwischen 2 bis 2,5 % vor, wogegen bei frischen Andesiten am häufigsten zwischen 3 und 4 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> konzentriert sind. Im Durchschnitt ist der Verlust an dreiwertigem Eisen in den Gesteinen ähnlich jenem des Aluminiums, obwohl es in den frischen Andesiten annähernd fünfmal weniger vorkommt. Beim Kalzium tritt der Verlust unterschiedlich bei chloritisierter Andesite und adularisierten Andesite in Erscheinung. Bei den chloritisierter Andesite verringert sich der CaO-Gehalt annähernd um 0,5 % während sich in den adularisierten Andesite sein Gehalt um durchschnittlich 2,10 % verringert. Ähnlich verhält sich das Kalzium auch in den Rhyoliten. Markante Auftreten der Gehaltsverringerung in veränderten

Tabelle 2

Die hydrothermal veränderten Andesite aus dem Gebiet Pukanec—Rudno—Nová Baňa  
(Durchschnittliche Zusammensetzung)

	chloritisiert		adularisierte	
	Intervall	$\bar{x}$	Intervall	$\bar{x}$
SiO <sub>2</sub>	52,99—59,96	56,92	54,01—63,01	56,95
TiO <sub>2</sub>	0,39—0,99	0,79	0,35—0,94	0,57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,01—19,22	16,93	14,27—18,41	16,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,91—4,08	2,96	1,27—4,18	2,41
FeO	1,08—5,27	4,46	2,17—0,16	4,50
MnO	0,07—0,18	0,13	0,08—0,16	0,11
MgO	1,84—4,09	3,37	2,48—3,91	3,10
CaO	4,30—8,50	6,37	2,89—6,13	4,82
Na <sub>2</sub> O	1,05—2,93	2,35	1,05—2,44	1,78
K <sub>2</sub> O	0,56—2,80	1,98	3,11—6,29	4,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16—0,28	0,23	0,18—0,40	0,30
SO <sub>3</sub>	0,06—1,02	0,24	0,05—1,36	0,27
H <sub>2</sub> O+	1,22—5,62	3,27	3,85—5,80	4,49
n		100,00 17		100,01 7

Tabelle 3

Die hydrothermal veränderten Rhyolite aus dem Gebiet Pukanec—Rudno—Nová Baňa und die Dykes Andesits und Diorit-Porphyrts aus dem neoliden Komplex in der Bohrung GK-9 (Angabe aus Bohrung GK-9 umberechnet aus der Arbeit von K. Karolus, 1976)

	Rhyolite		Andesite, Diorit-Porphyrte	
	adularisierte		chloritisierte	
	Intervall	$\bar{x}$	Intervall	$\bar{x}$
SiO <sub>2</sub>	67,18—78,82	71,78	54,13—58,49	56,55
TiO <sub>2</sub>	0,12—0,79	0,30	0,36—1,11	0,27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,37—15,61	13,62	15,70—18,84	17,22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,44—4,21	1,82	1,93—3,49	2,82
FeO	0,14—2,96	1,26	4,51—5,59	5,03
MnO	0,01—0,12	0,05	0,04—0,17	0,12
MgO	0,08—1,20	0,44	2,94—5,41	3,88
CaO	0,09—1,23	0,56	5,66—7,62	6,73
Na <sub>2</sub> O	0,12—2,46	0,92	2,09—3,70	2,54
K <sub>2</sub> O	4,66—11,53	7,31	1,40—2,23	1,89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02—0,16	0,05	0,01—0,29	0,16
SO <sub>3</sub>	0,04—2,49	0,45	—	—
H <sub>2</sub> O+	0,20—3,27	1,43	1,43—3,40	2,34
n		99,99 18		100,00 9

Tabelle 4

Die hydrothermal veränderten Andesite aus dem unteren Teil des effusiven Komplexes in den Bohrungen GK-9 und GK-5 (Angaben umberechnet aus der Arbeit K. Karolus, 1976, 1969)

	Bohrung GK-9		Bohrung GK-5	
	schwach chloritisiert		schwach chloritisiert	
	Intervall	$\bar{x}$	Intervall	$\bar{x}$
SiO <sub>2</sub>	53,99—58,61	55,95	56,82—59,24	57,84
TiO <sub>2</sub>	0,46—0,65	0,54	0,70—0,76	0,74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,34—19,67	17,13	18,48—19,93	19,09
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,75—7,10	6,82	2,15—3,14	2,54
FeO	7,24—4,27	2,74	2,36—3,67	3,03
MnO	0,09—0,11	0,10	0,08—0,12	0,10
MgO	3,22—4,10	3,65	2,30—2,69	2,55
CaO	5,13—8,16	6,31	6,61—7,14	6,88
Na <sub>2</sub> O	2,11—2,73	2,40	2,60—2,80	2,72
K <sub>2</sub> O	1,04—1,98	1,54	1,61—1,73	1,67
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,08—0,29	0,18	0,04—0,13	0,09
H <sub>2</sub> O+	1,07—4,89	2,65	2,18—3,64	2,73
n		100,00 5		99,98 4

Gesteinen bestehen beim Natrium. Das Natrium zeigt, ähnlich dem Kalzium, geringere Intensität zur Verringerung im Verlaufe des Prozesses hydrothermaler Veränderungen bei chloritierten Gesteinen als bei adularisierten. Bei adularisierten Andesiten beträgt der Durchschnittsverlust an Na<sub>2</sub>O 0,84 %, was mehr als das Dreifache jenes Wertes ausmacht, den der Na<sub>2</sub>O-Verlust bei chloritierten Andesiten erlangt. Bei den adularisierten Rhyoliten verringert sich der Na<sub>2</sub>O-Gehalt im Vergleich mit frischen Rhyoliten im Durchschnitt um 1,86 %. Die markanten Unterschiede im Verlust an Natrium und Kalzium aus chloritierten und adularisierten Gesteinen hängen eng mit dem Charakter der Veränderung der Gesteine zusammen. In chloritierten Gesteinen sind die Plagioklase nahezu frisch, während in den adularisierten Andesiten die Plagioklase durch Adular ersetzt sind; infolge dessen gingen beim Zerfall der Plagioklase Natrium und Kalzium in erhöhtem Masse in hydrothermale Lösungen über.

Eine weitere Gruppe stellen jene Bruchteile dar, bei welchen im Verlaufe der Veränderungen Merkmale der Zufuhr zur Geltung kommen. Es sind dies FeO, MgO, SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>. Beim zweiwertigen Eisen ist die Tendenz der Zufuhr nahezu gleich bei chloritierten und adularisierten Gesteinen. In frischen Andesiten ist seine Konzentration am häufigsten im Intervall zwischen 4 und 4,5 % FeO, während sich die Konzentration bei veränderten Andesiten zwischen 4,5 und 5 % FeO bewegt (Abb. 2). Was die Steigerung von zweiwertigem Eisen bei veränderten Gesteinen betrifft ist es möglich, dass es im Verlaufe der hydrothermalen Veränderungen auch zu einer Reduktion von dreiwertigem Eisen zu zweiwertigem kam. Dann kann die Frage über Zufuhr und

Abbau von Eisen in den Gesteinen relativ sein. Die Konzentration an Kalium ist vom Charakter der Gesteinsveränderungen abhängig. In chloritierten Gesteinen kommen nur schwache Erscheinungen von Kaliumzufuhr zur Gelung, während diese bei adularisierten Gesteinen markant ist. Bei denjenigen adularisierten Andesiten, die bei der Zusammenstellung dieses Kapitels in Erwägung gezogen wurden, bewegten sich die  $K_2O$ -Gehalte zwischen 3,11 und 6,29 %, und im Durchschnitt wächst sein Gehalt im Verhältniss zu frischen Andesiten um 2,29 %  $K_2O$ . Bei den Rhyoliten steigert sich der Kaliumgehalt im Mittel um 3,49 %. In adularisierten Rhyoliten bewegt sich der Gehalt an Kalium im Intervall zwischen 4,66 und 11,53 %  $K_2O$ . Bei den Andesiten muss bemerkt werden, dass diejenigen Andesite, welche in die Bewertungen innerhalb dieses Kapitels nicht mitenbezogen wurden da sie auch von hypergenen Veränderungen betroffen wurden, intensiver adularisiert sind als die in Tabelle 2 angeführten Andesite. Bei diesen Andesiten beträgt der  $K_2O$ -Gehalt maximal bis 11,8 %, also nahe dem Maximalwert des Kaliums bei Rhyoliten. Markante Unterschiede zwischen frischen und veränderten Gesteinen bestehen im Wassergehalt. In frischen Andesiten bewegt sich der Wassergehalt meist zwischen 1 und 1,5 %  $H_2O^+$  und in veränderten Andesiten von 3 bis 4 % (Abb. 2). Im Durchschnitt erhöht sich sein Gehalt in den Andesiten

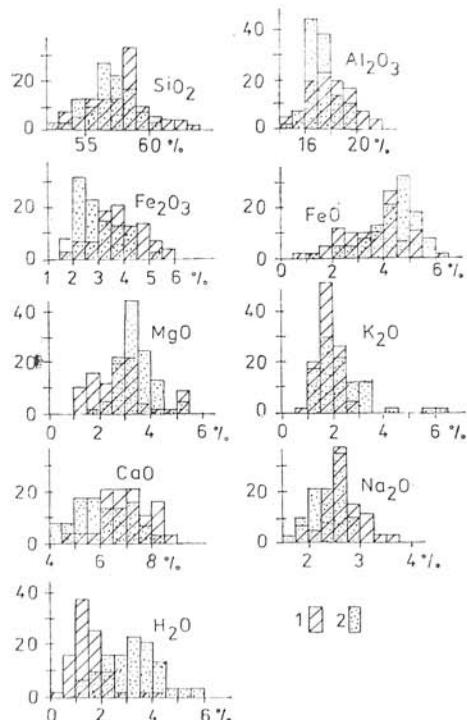


Abb. 2. Distributionsdiagramm der Elemente  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $H_2O^+$  in den Andesiten. 1 — frische Andesite, 2 — chloritierte und adularisierte Andesite.

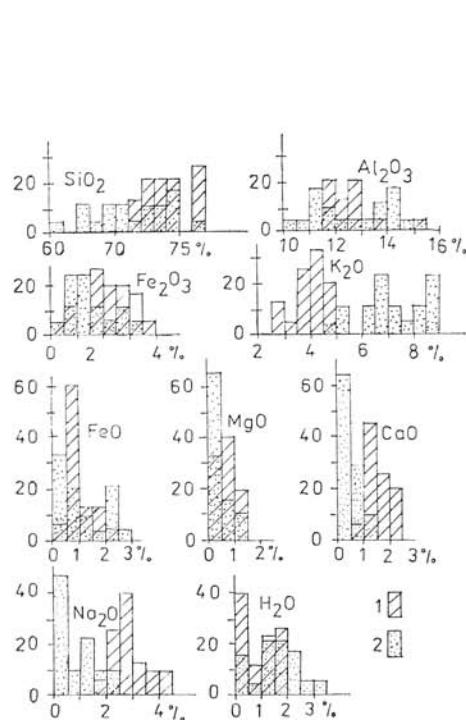


Abb. 3. Distributionsdiagramm der Elemente  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $FeO$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $H_2O^+$  in den Rhyoliten. 1 — frische Rhyolite, 2 — adularisierte Rhyolite.

im Verlaufe der Veränderung nahezu um das Doppelte. Änderungen im Wassergehalt treten auch bei den Rhyoliten zutage. Bei frischen Rhyoliten beträgt der durchschnittliche Wassergehalt 0,84 %, während er sich bei den veränderten auf 1,43 %  $H_2O$  erhöht. Die Steigerung des Wassergehaltes muss mit der Entstehung von sekundären Mineralen in Zusammenhang gebracht werden, in welchen das Wasser gebunden ist (z. B. in Chloriten).

Der Abbau und die Zufuhr der einzelnen Elemente im Verlaufe des Prozesses der Gesteinsveränderungen sind variabel und unabhängig von deren Menge im Gestein. Eine Abhängigkeit besteht von der Beweglichkeit im gegebenen Milieu. Der Siliziumgehalt verringert sich im Durchschnitt bei veränderten Gesteinen um 1,2 %  $SiO_2$ , was bei einem Gehalt von 58,06 %  $SiO_2$  bei frischen Andesiten 2,13 %  $SiO_2$  bedeutet, während der Kalziumgehalt um 0,79 %  $CaO$  sinkt, was gegenüber den Gehalten in frischen Andesiten 11,41 %  $CaO$  darstellt. Das Anwachsen und die Verringerungen der einzelnen Elemente in den Andesiten im Prozess hydrothermaler Veränderungen im Hinblick auf deren Gehalte in frischen Andesiten, in Prozenten ausgedrückt, sind in Abb. 4 veranschaulicht. Bei Einreihung der Elemente gemäß dieser Reihenfolge der prozentuellen Veränderung im Hinblick auf deren absolute Werte in frischem Gestein, erhält man folgende Reihen der Beweglichkeit der Elemente. Für den Abbau ist dies  $Fe_2O_3$  —  $Na_2O$  —  $CaO$  —  $Al_2O_3$  —  $SiO_2$  und für die Zufuhr  $H_2O^+$  —  $TiO_2$  —  $K_2O$  —  $FeO$  —  $MgO$ .

Bei Beobachtung von Zufuhr und Abbau der einzelnen Elemente kann festgestellt werden, dass bei einigen Elementen diese Erscheinung markant ist, bei anderen wieder weniger, oder aber es kann überhaupt nur von einer gewissen Tendenz der Zufuhr oder des Abbaus gesprochen werden (Abb. 2, 3). Markanter tritt dieser Prozess zutage, zählt man die Gehalte jener Elemente zusammen, die in den veränderten Gesteinen gegenüber den frischen erhöhte Gehalte aufweisen und analog jener, welche in den veränderten Gesteinen Merkmale einer Verringerung der Gehalte zeigen. Eine solche Bewertung wurde vom Autor für jede Probe von frischen und ver-

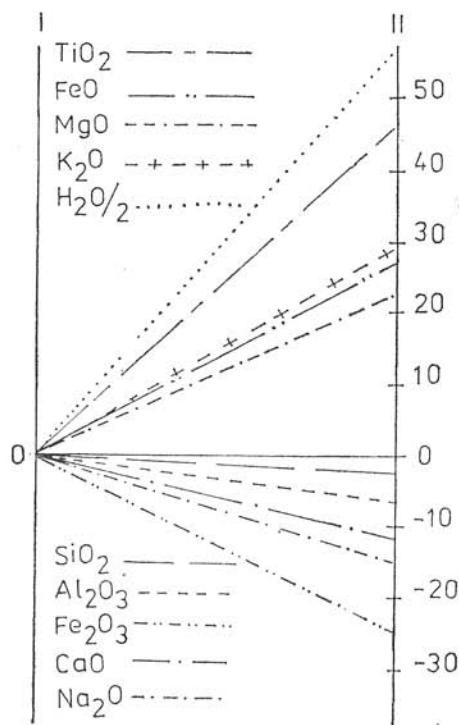


Abb. 4. Diagramm der Werte von Zufuhr und Abbau der Komponenten in veränderten Andesiten im Verhältnis zu deren absolutem Gehalt in frischen Andesiten, ausgedrückt in Prozenten. I. — frische Andesite, II. — chloritisierte und adulatierte Andesite.

änderten Gesteinen gemacht und in gegenseitiges Verhältnis gebracht (siehe Abb. 5). Die veränderten Gesteine wurden hier unterschieden je nach Charakter und Stufe der Veränderung. Auch die studierte Zone wurde unterteilt in den südlichen Teil (Gebiet von Pukanec), den mittleren (Gebiet von Rudno nad Hronom) und den nördlichen (Gebiet Nová Baňa) und die tieferen Randpartien gemäss den Bohrungen (GK-9, GK-5). Aus Abbildung 5 ist ersichtlich, dass die frischen Gesteine der Reihe Rhyolit-Andesit einen nahezu kontinuierlichen negative Trend aufweisen. Die hydrothermal veränderten Gesteine halten den selben Trend ein, jedoch mit deutlicher Verschiebung in Richtung der Basizität der Gesteine. In Richtung dieses Trends ist auch eine Verschiebung der Intensität der Gesteinsveränderung zu erkennen und zwar: frische Andesite — schwach chloritisierte Andesite — chloritisierte Andesite — adulariisierte Andesite. Daraus resultiert, dass adulariisierte Andesite intensiver veränderte Gesteine darstellen als die chloritisierten. Die schwach chloritisierter Andesite, bei welchen es zu keinen grösseren Veränderungen der mineralogischen Zusammensetzung und dadurch auch zu keiner Migration der Elemente kam, befinden sich in unmittelbarer Nähe der frischen Andesite (siehe Abb. 6). Aus der Verteilung der Punkte in Abbildung 5 wird deutlich, dass es bei einer Art von Veränderung in der gesamten Länge des verfolgten Streifens Pukanec—Rudno—Nová Baňa zu keinen grundsätzlichen Unterschieden betreffs Chemismus kommt. Die einzeln ausgegliederten Veränderungsarten unterscheiden sich von einander durch die Werte der Zufuhr, resp. des Abbaues der Elemente. In chloritisierten Andesiten beträgt die Summe der abgebauten Elemente im Durchschnitt 4 %, in Oxiden ausgedrückt. Bei der Adularisation beträgt der Verlust bei Rhyoliten 5 % und bei der Adularisation von Andesiten erreicht dieser Wert 6,8 %.

#### *Die Genese der veränderten Gesteine*

Der Prozess der hydrothermalen Veränderungen zeichnete sich im Streifen Pukanec—Rudno—Nová Baňa durch grosse Vehemenz aus, wobei aus den Gesteinen in die hydrothermalen Lösungen eine grosse Menge von Elementen überging und migrierte. Durch Einwirkung von hydrothermalen Lösungen wurden etwa  $150 \text{ km}^3$  vulkanischen Gesteins verändert, wobei von dieser Gesteinsmenge 4 bis 6,8 % Materie abgetragen wurde. Geht man von dem realen Wert der mineralogischen Dichte der pyroxenischen Andesite der Slowakei aus welche  $2,69 \text{ g/cm}^3$  beträgt, so gingen im Verlaufe des Prozesses hydrothermalen Veränderungen 1,614 000 bis 2,734 800 t der Materie, ausgedrückt in Oxiden, in Lösung. Würde man diese Mengen in Raumeinheiten des Gesteins ausdrücken und an einer günstigen Struktur würden aus diesen hydrothermalen Lösungen in Form von Gängen auch nur 0,5 % ausgeschieden, erhalten wir eine Menge von 93,750 000  $\text{m}^3$  Materie was einen Körper darstellt, der mit einer Mächtigkeit von 4 m in einer Länge von 20 km verlief und bis in die Tiefe von 1 km reichte, somit an der gesamten Länge des verfolgten Streifens verlief und den gesamten vulkanischen Komplex durchdränge.

Im Verlaufe des hydrothermalen Prozesses wirkt auf das Gestein als Agens hauptsächlich Wasser. Es bewirkt die Bewegung der Elemente. Um die Verän-

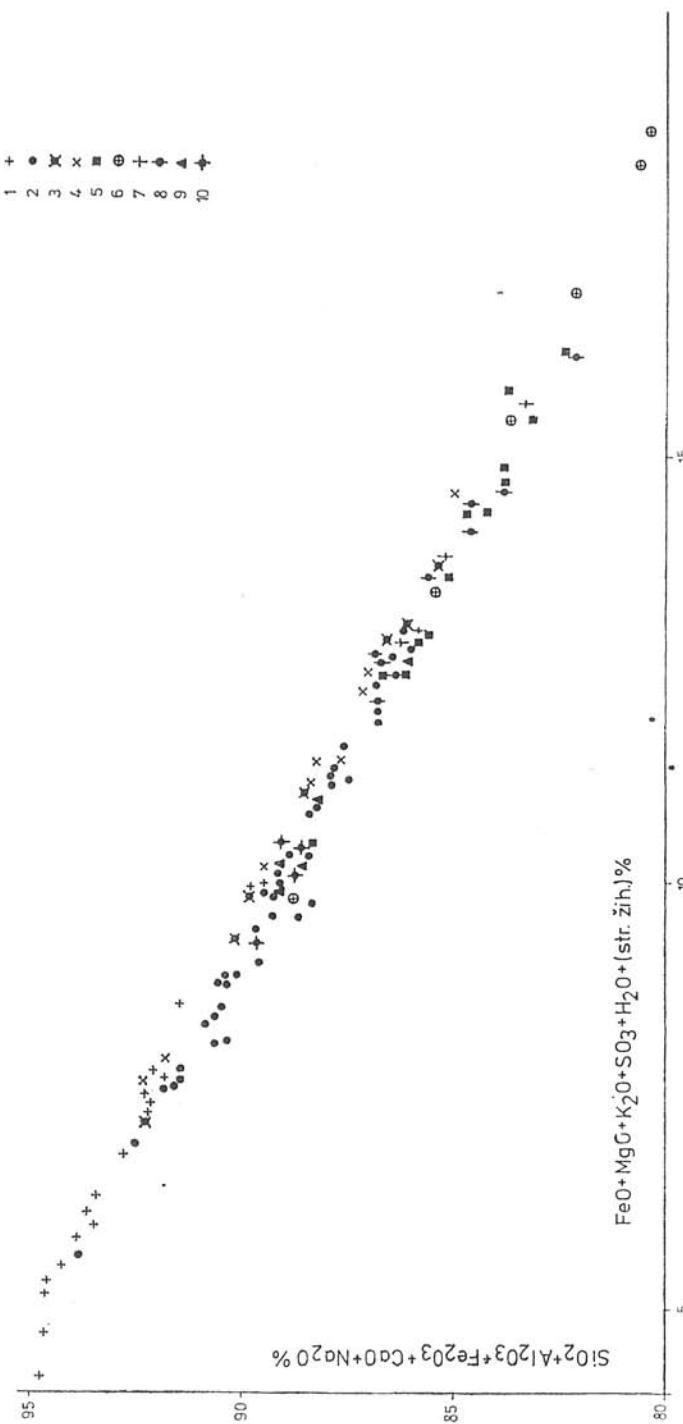


Abb. 5. Graphische Darstellung von Gesamtzufuhr und -abbau der Elementen in hydrothermal veränderten Gesteinen des Gebietes Pukanec-Rudno-Nová Báha und deren Verhältnis zum Frischgestein. 1 — frische Rhyolite, 2 — frische Andesite aus der Mittelslowakei, 3 — adulatirisierte Rhyolite aus dem Gebiet Pukanec-Rudno, 4 — adulatirisierte Rhyolite aus dem Gebiet von Pukanec, 6 — adulatirisierte Andesite und Dazite aus dem Gebiet von Nová Báha, 8 — chloritisierte Andesite aus dem Gebiet von Rudno nad Hronom, 7 — chloritisierte Andesite aus dem Gebiet von Rudno nad Hronom, 9 — schwach chloritisierte Andesite in den unteren Partien des effusiven Komplexes aus dem Gebiet von Andesiten und Diorit-Porphyrinen aus dem nördlichen subvulkanischen Komplex aus der Bohrung GK-9 [Rudno nad Hronom], 10 — schwach chloritisierte Andesite der unteren Partie des vulkanischen effusiven Komplexes in der Bohrung GK-5 (Veľká Lehota).

derung einer solchen Menge an Gesteinen zu bewirken wie dies an der Struktur Pukanec—Rudno—Nová Baňa der Fall ist, ist eine grosse Menge Wassers notwendig. Damit es zur Veränderung von 1 m<sup>3</sup> Gestein kommt ist minimal 1 m<sup>3</sup> Wassers vonnöten. In unserem Falle wären dies mindestens 150 km<sup>3</sup> an Wasser. Beim Studium der Genese hydrothermaler Veränderungen der Gesteine muss der Charakter und Ursprung dieser Lösungen bedacht werden. Würde man voraussetzen dass diese Lösungen dem Magma entstammen, muss man bedenken, wieviel Wasser das Magma imstande ist in sich aufzunehmen und wieviel abzugeben; diesbezüglich lassen die Ansichten aus den letzten Jahren mehrerer Wissenschaftler ein Intervall von 3 bis 7 % zu. N. I. Chitarov (1960) führt an, dass das Magma imstande ist 3 bis 7 % Wasser zu binden. V. V. Overieev (1967) hingegen lässt bloss 5 % zu. In basischen Magmen, welche sich in grossen Tiefen bilden beträgt die Wasserkonzentration 3 bis 7 %, was einem Druck von 2000 bis 4000 Atmosphären entspricht (A. A. Kadik — E. B. Lebedev — N. I. Chitarov 1971; A. A. Kadik — D. Ch. Egglev, 1976). Geht man von der Voraussetzung aus, dass das Magma bei der Abkühlung 5 % Wasser von seinem Volumen an das hydrothermale System abgab, so wäre für die Entwicklung von Veränderungen solchen Ausmasses wie sie jene in der Zone Pukanec—Rudno—Nová Baňa dar-



Abb. 6. Graphische Darstellung der Durchschnittsgehalte von Elementen aus hydrothermal veränderten Gesteinen aus dem Gebiet Pukanec—Rudno—Nová Baňa, nach Charakter und Intensität der Veränderung, und nach Gesamtverhältnis von Zufuhr und Abbau zum Frischgestein. 1 — frische Rhyolite aus der Mittelslowakei, 2 — adularisierte Rhyolite aus dem Gebiet Pukanec—Rudno—Nová Baňa, 3 — frische Andesite aus der Mittelslowakei, 4 — schwach chloritisierte Andesite aus der unteren Partie des effusiven Komplexes aus der Bohrung GK—9 (Rudno nad Hronom), 5 — schwach chloritisierte Andesite aus der unteren Partie des effusiven Komplexes aus der Bohrung GK—5 (Vefká Lehota), 6 — chloristisierte Dykes von Andesit und Diorit-Porphyriten aus dem neoiden subvulkanischen Komplex aus der Bohrung GK—9 (Rudno nad Hronom), 7 — chloristisierte Andesite aus dem Gebiet Pukanec—Rudno—Nová Baňa, 8 — adularisierte Andesite aus dem Gebiet Pukanec—Rudno—Nová Baňa.

stellen eine enorme Masse an Magma notwendig. Zur Veränderung von 150 km<sup>3</sup> Gestein sind mindestens 150 km<sup>3</sup> Wasser vonnöten. Um ein solches Quantum an Wasser abzugeben wären 3000 km<sup>3</sup> Magmas nötig. Setzte man diese Menge an Magma im begrenzten Streifen Pukanec—Rudno—Nová Baňa so voraus, dass sie einen steilen Verlauf aufwiese, müsste nach Erstarrung des Magmas der Körper, der in den oberen Teilen eine Fläche von 185 km<sup>2</sup> hatte, in die Tiefe von 20 km reichen. Weder eine detaillierte geophysikalische Erforschung, noch die Tiefbohrungen, weisen auf das Vorkommen eines solchen Körpers in diesem Gebiet hin. Wahrscheinlicher ist, dass die Lösungen, welche die hydrothermalen Gesteinsveränderungen im studierten Gebiet hervorriefen ursprünglich meteorische Wässer waren, die sich beim Eindringen in grössere Tiefen erhitzten und an günstigen Strukturen erneut an die Oberfläche traten. Ähnlicher Art hydrothermale Systeme und mit ihnen verbundene Veränderungen der Gesteine verlaufen gegenwärtig in den Gebieten rezenter vulkanischer Tätigkeit (S. I. Naboko — B. I. Pipp, 1961; S. I. Naboko, 1974; P. Taylor Hugh, Jr., 1974; E. V. Eslinger und S. M. Savin, 1973; G. A. Karpov, 1974; D. F. White, 1974; R. N. Clayton und A. Steiner, 1975; A. A. Kadik — D. Ch. Egglev, 1976 und andere).

Den bisherigen Erkenntnissen nach ist es möglich zu beurteilen, dass die hydrothermale Tätigkeit, welche im Gebiet Pukanec—Rudno—Nová Baňa im vulkanischen Komplex ausgedehnte Gesteinsveränderungen hervorrief, nicht an einen hypothetischen intrusiven Körper in der Tiefe gebunden ist, sondern an eine günstige geologisch-tektonische Struktur.

### Schluss

Durch den Prozess hydrothermaler Veränderungen wurde im Gebiet Pukanec—Rudno—Nová—Baňa in einem kontinuierlichen Streifen von abwechselnder Breite zwischen 1,5 und 6 km und in der Tiefenrichtung sich verbreiternder vulkanischer Komplex betroffen. Von Veränderung betroffen wurden: pyroxenische Andesite, amphibolisch-pyroxenische Andesite, biotitisch-amphibolische Andesite mit Pyroxen, biotitisch-amphibolische Dazite, Rhyolite, wie auch der durch Granodiorit, Diorit bis Diorit-Porphyr gebildete neoide intrusiven Komplex. Die hydrothermal veränderten Gesteine treten auf einer Fläche von 65 km<sup>2</sup> an die Oberfläche und nehmen im unteren Teil des vulkanischen Komplexes eine Fläche von 185 km<sup>2</sup> ein (Abb. 1). Insgesamt wurden 105 km<sup>3</sup> Gesteins verändert. Lateral und vertikal bestehen kontinuierliche Übergänge von stark chloritisierten Gesteinen über schwach chloritisierte in frisches Gestein. Die Gesteinsveränderungen wurden je nach Charakter der Veränderungen unterteilt in chloritisierte und adularisierte. Der Intensität der Veränderung nach werden unterschieden chloritisierte und schwach chloritisierte Gesteine. Zur Unterscheidung der Intensität hydrothermaler Veränderungen wurde folgende Reihe der Stabilität der Minerale festgesetzt: Hypersthen—Augit—Amphibol—Biotit. Bei jedem der ausgewählten Veränderungstypen kamen im gesamten Streifen Pukanec—Rudno—Nová Baňa gleiche petrographische und geochemische Gesetzmässigkeiten zur Geltung.

Im Verlaufe des Prozesses der Veränderungen gingen in die durchdringenden Lösungen 4 bis 6,8 % an Masse aus den Gesteinen, ausgedrückt in Oxiden der Elemente, über. Ein Teil der Elemente hat in den veränderten Gesteinen

im Verhältnis zu frischen Gesteinen niedrigere Gehalte, und bei einem Teil ist der Gehalt erhöht. Zufuhr und Abbau der einzelnen Elemente im Verlauf des Veränderungsprozesses sind, was die Intensität der Auslaugung und Migration betrifft unterschiedlich, und es wurden folgende Reihen der Beweglichkeit bestimmt: für den Abbau ist dies  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  —  $\text{Na}_2\text{O}$  —  $\text{CaO}$  —  $\text{Al}_2\text{O}_3$  —  $\text{SiO}_2$  und für die Zufuhr  $\text{H}_2\text{O}$  —  $\text{TiO}_2$  —  $\text{K}_2\text{O}$  —  $\text{FeO}$  —  $\text{MgO}$  (Abb. 4).

Beim hydrothermalen Prozess wirkt hauptsächlich Wasser als Agens auf die Gesteine und besorgt die Migration der Elemente. Damit es zur Veränderung einer solchen Masse an Gesteinen kommen kann, wie dies an der Struktur Pukanec—Rudno—Nová Baňa der Fall ist, sind grosse Mengen Wassers notwendig, d. s. mindestens  $150 \text{ km}^3$ . Zur Freigabe dieser Menge Wassers sind  $3000 \text{ km}^3$  Magmas notwendig, was unter der veränderten Zone einen intrusiven Körper darstellen müsste, der in der oberen Partie eine Fläche von ungefähr  $185 \text{ km}^2$  einnähme und bei steilem Verlauf in die Tiefe bis zu ca.  $20 \text{ km}$  reichen müsste. Weder die geophysikalische Forschung, noch Tiefbohrungen weisen auf die Existenz eines ähnlichen Körpers hin. Wahrscheinlicher ist, dass die Lösungen, welche die hydrothermalen Gesteinsveränderungen bewirkten meteorischen Ursprungs waren, nach dem Eindringen in grössere Tiefen erhitzt wurden und an günstigen Strukturen erneut an die Oberfläche traten.

Übersetzt von E. Walzel

#### SGHRIFFTUM

- BÖHMER, M., 1959: Geologicko ložiskové pomery Kremnického rudného poľa. *Acta geol.*, (Bratislava), S. 19—35.
- BÖHMER, M., 1961: Relation between potassium trachytes rhyolites and Mineralization in the Kremnica orefield. *Geol. Práce*, (Bratislava), 60, S. 18—36.
- BRLAY, A. 1973: Záverečná správa o vrte GK—14 (Rudno nad Hronom). Manuscript. Geofond, Bratislava.
- BRLAY, A. et al., 1975: Základný ložiskový výkum neovulkanitov. Manuscript. Geofond, Bratislava.
- BRLAY, A. et al., 1978: Záverečná správa o vrte GK—15 (Rudno nad Hronom). Manuscript. Geofond, Bratislava.
- CLAYTON, R. N. — STEINER, A., 1975: Oxygen isotope studies of the geothermal system at Wairakei New Zealand. *Geochim. Cosmochim. Acta*, (Oxford), 39, S. 1179—1186.
- ESLINGER, E. V. — SAVIN, S. M., 1973: Mineralogy and oxygen isotope geochemistry of the hydrothermally altered rocks of the Ohaki — Broodlands, New Zealand Geothermal area. *Amer. J. Sci.* (New Haven) 273, S. 240—267.
- FIALA, F., 1957: Geologické a petrografické pomery širšího okolia Kremnice. *Sborník ÚGÚ* [Praha], 23, S. 233—298.
- FORGÁČ, J., 1966: Petrografia a geochémia premenených hornín v banskoštiavnicko-hodrušskom rudnom obvode. *Sborník geol. vied*, Západné Karpaty, (Bratislava), 5, S. 103—150.
- FORGÁČ, J., 1967: Die Entfärbung der Gesteine und deren Zerfall im Erzrevier von Banská Štiavnica. *Geol. Práce, zprávy*, (Bratislava), 42, S. 103—118.
- FORGÁČ, J., 1970: Geochémia ryolitov Slovenska. *Zborník geol. vied*, Západné Karpaty, (Bratislava), 12, S. 137—192.
- FORGÁČ, J. — KUPČO, G., 1974: Stopové prvky v neovulkanitoch Slovenska. Západné Karpaty, séria mineralogia, petrografia, geochémia, ložiská, (Bratislava), 1, S. 137—215.
- HOJSTRIČOVÁ, V., 1970: Mineralogicko-petrografický výskum neovulkanitov v hlbkovo-štruktúrnom vrte GK—12 (Devičany). Manuscript. Geofond. Bratislava.

- HOJSTRIČOVÁ, V. Petrografia neovulkanického komplexu vo vrte GK—13, Nová Baňa. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- CHITAROV, N. I., 1960: O sootnošenjach meždu vodoj i magmatičeskimi rasplavami. Geochimija, (Moskau), Ausg. 7.
- KADIK, A. A. — EGGLLEV, D. Ch., 1976: Režim vody i uglekisloty pri obrazovanii i degezaci kislych magm. Geochimija, (Moskau), Ausg. 8, S. 1167—1175.
- KADIK, A. A. — LEBEDEV, E. B. — CHITAROV, N. I., 1971: Voda v magmatičeskikh rasplavach. „Nauka”, Moskau.
- KAROLUS, K., 1967: Záverečná správa k listu 1:50 000 — Nová Baňa a príľahlej časti listu 1:50 000 — Zlaté Moravce. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- KAROLUS, K. u. Koll., 1969: Záverečná správa o hlbkovom štruktúrnom vrte GK—5, Veľká Lehota. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- KAROLUS, K. u. Koll., 1970: Záverečná správa o hlbkovom štruktúrnom vrte GK—12, Devičany. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- KAROLUS, K. u. Koll., 1975: Komplexné spracovanie a vyhodnotenie štruktúrneho vrta GK—13, Nová Baňa. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- KAROLUS, K. — MIKO, O., 1975: Kryštalínikum v podloží neovulkanitov Pohronského Inovca pri Novej Bani. Geol. Práce, Správy (Bratislava, 61, S. 165—171.
- KAROLUS, K. u. Koll., 1976: Komplexné spracovanie a vyhodnotenie štruktúrneho vrta GK—9, Rudno nad Hronom. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- KAROLUS, K. u. Koll., 1976: Komplexné spracovanie a vyhodnotenie štruktúrneho vrta VIK—1, Obyce. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- KAROLUS, K., 1978: K otázke veku vulkanických prejavov v stredoslovenskej oblasti. Paleografický vývoj západných Karpat. Bratislava, S. 101—109.
- KAROLUSOVÁ, E., 1969: Petrografia vulkanického komplexu v hlbkovom štruktúrnom vrte GK—5, Veľká Lehota. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- KAROLUSOVÁ, E., 1976: Petrografia vulkanického komplexu v štruktúrnom vrte GK—9, Rudno nad Hronom. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- KARPOV, G. A., 1974: Gidrotermalnaja sreda i processy kristalizácií v uslovjach geotermalnych skvažin. Bžulleten vulkanologičeskikh stancij. (Moskva). Ausg. 50, S. 119—124.
- MIKO, O., 1976: Petrografický výskum kyšalinika v štruktúrnom vrte GK—9, Rudno nad Hronom. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- NABOKO, S. I. — PIJP, B. I., 1961: Sovremennyj metamorfizm vulkaničeskikh porod v rajone Paužetšskich gidroterm. Trudy laboratorii vulkanologii. (Moskau), Ausg. 19.
- NABOKO, S. I., 1974: Aspekty gidrotermalnoj problemy. Bžuleteň vulkanologičeskikh stancij. (Moskau), Ausg. 50, S. 112—118.
- OVERIEV, V. V., 1967: Hydrothermal Process in Volcanic Areas and Its Relations to Magmatic Activity. Bull. volcanologique, (Neapel), Bd. XXX.
- POLÁK, M., 1975: Litologický, petrografický a facialny výskum mezozoika v štruktúrom vrte GK—13. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- POLÁK, M., 1976: Litologický, petrografický a facialny výskum mezozoika v štruktúrom vrte GK—9, Rudno nad Hronom. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- TAYLOR HUGH, P. Jr., 1974: The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. Econ. Geol., (Lancaster, Pa.) Vol. 6.
- VOZÁR, J., 1969: Petrografia a litológia mladšieho paleozoika vo vrte GK—5. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- VOZÁR, J., 1970: Petrograficko litologický výskum v položí neovulkanitov vo vrte GK—12. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- VOZAR, J. 1973: Výskum podložia stredoslovenských neovulkanitov na základe štruktúrneho vrta GK—14. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- VOZÁR, J., 1975: Petrograficko litologický výskum mladšieho paleozoika vo vrte GK—13, Nová Baňa. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- VOZÁR, J. 1976: Výskum mladšieho paleozoika v podloží stredoslovenských neovulkanitov vo vrte GK—9. Manuskript, Geofond, Bratislava.
- WHITE, DONALD F., 1974: Diverse origins of hydrothermal ore fluids. Econ. Geol. (Lancaster, Pa.) Vol. 6.