

BOHUSLAV CAMBEL, JAN JARKOVSKÝ*

DIE BEDEUTUNG DER ANWENDUNG VON GRAPHISCHEN DARSTELLUNGEN BEI DER ERFORSCHUNG VON MIKROELEMENTEN

(Abb. 1–24)

Kurzfassung: Im Artikel wird angeführt, welche graphische Darstellung erfolgreich bei der geochemischen Erforschung von Mikroelementen sulfidischer Minerale des Eisens angewendet werden können. Die Interpretation wurde auf Grund analytischer Angaben, welche zwecks monographischer Bearbeitung der Geochemie des Pyrrhotins vorbereitet werden, durchgeführt.

In diesem Beitrag geben die Autoren eine Übersicht darüber, welcherart bei der Auswertung der Analysen des Gehaltes an Mikroelementen in sulfidischen Mineralen verfahren werden muss. Bei der geochemischen Erforschung von Mikroelementen in Mineralen ist es notwendig, mit einer bestimmten Anzahl von Analysen, welche ohne geeignete graphische Veranschaulichung unmöglich vollkommen ausgewertet werden können, zu arbeiten. Die Autoren haben sich schon vordem mit der Erforschung von Mikroelementen in Pyriten und Pyrrhotinen befasst. Es zeigte sich, dass für die Bestimmung der Genese dieser Minerale die Gleichmässigkeit ihres Gehaltes an Co und Ni von Bedeutung ist. Es zeigte sich ferner, dass zur Beurteilung der Gleichmässigkeit des Gehaltes an Mikroelementen Schaubilder der Co- und Ni-Gehalte von Nutzen sind, bei denen die jeweiligen analytischen Werte nach steigendem Gehalt an Co geordnet sind. Die Gleichmässigkeit der Gehalte dieser Elemente ist für syngenetische Pyrite und Pyrrhotine, während Ungleichmässigkeit (grosse Dispersion der Co- und Ni-Werte) wieder für hydrothermale Eisensulfide charakteristisch ist. Diesem Prinzip der Zusammenstellung von Schaubildern nach, können auch vergleichende Schaubilder konstruiert werden, in denen die Werte des Gehaltes an Co und Ni in Pyriten und Pyrrhotinen unter- oder nebeneinander angeordnet sind. Die Zweckmässigkeit solcher Schaubilder wird in den Abbildungen 1 bis 7 dokumentiert.

Schaubilder des Co- und Ni-Gehaltes in Pyrrhotinen und Pyriten

Diese Diagramme sind dermassen konstruiert, dass auf der senkrechten Koordinatenachse die gewichtsprozentuellen Mengen an Co und Ni von 0.001 % (10 ppm) bis 0,9 % (9000 ppm) eingezeichnet sind. Die Werte des Co- und Ni-Gehaltes sind von der waagrechten Koordinatenachse abzulesen. Jede Kolonne des Diagramms versinnbildlicht den graphischen Abriss der Werte des Gehaltes an Ni und Co jeder einzelnen analysierten Probe. Manchmal sind in den Schaubildern die Analysen der einzelnen Lagerstätten bzw. Lagerstättengruppen oder der einzelnen genetischen Erztypen verschiedenartig gekennzeichnet, was jedoch in den Erläuterungen unterhalb der jeweiligen Diagramme im Text näher angeführt wird. Auf der horizontalen Achse sind die einzelnen Analysen nach steigendem Wert des Co-Gehaltes in den Analysen aneinandergeheft.

* Univ. Prof. RNDr. B. C a m b e l, DrSc., Geologisches Institut der Slowakischen Akademie der Wissenschaften, Bratislava, Štefániková 41. RNDr. J. J a r k o v s k ý, CSc., Geologisches Institut der Komenský-Universität, Bratislava, Gottwaldovo nám. 2.

Vergleichende Diagramme der Werte des Co- und Ni-Gehaltes
der aus ein und derselben Probe separierten Pyrrhotine und
Pyrite
(Abb. 1, 2, 5)

In einigen Abbildungen wurde die graphische Darstellung der Gehalte an Co und Ni in den Proben dermassen durchgeführt, dass diejenigen der Pyrrhotine auf der horizontalen Koordinatenachse eingezeichnet wurden, während die Werte des Co- und Ni-

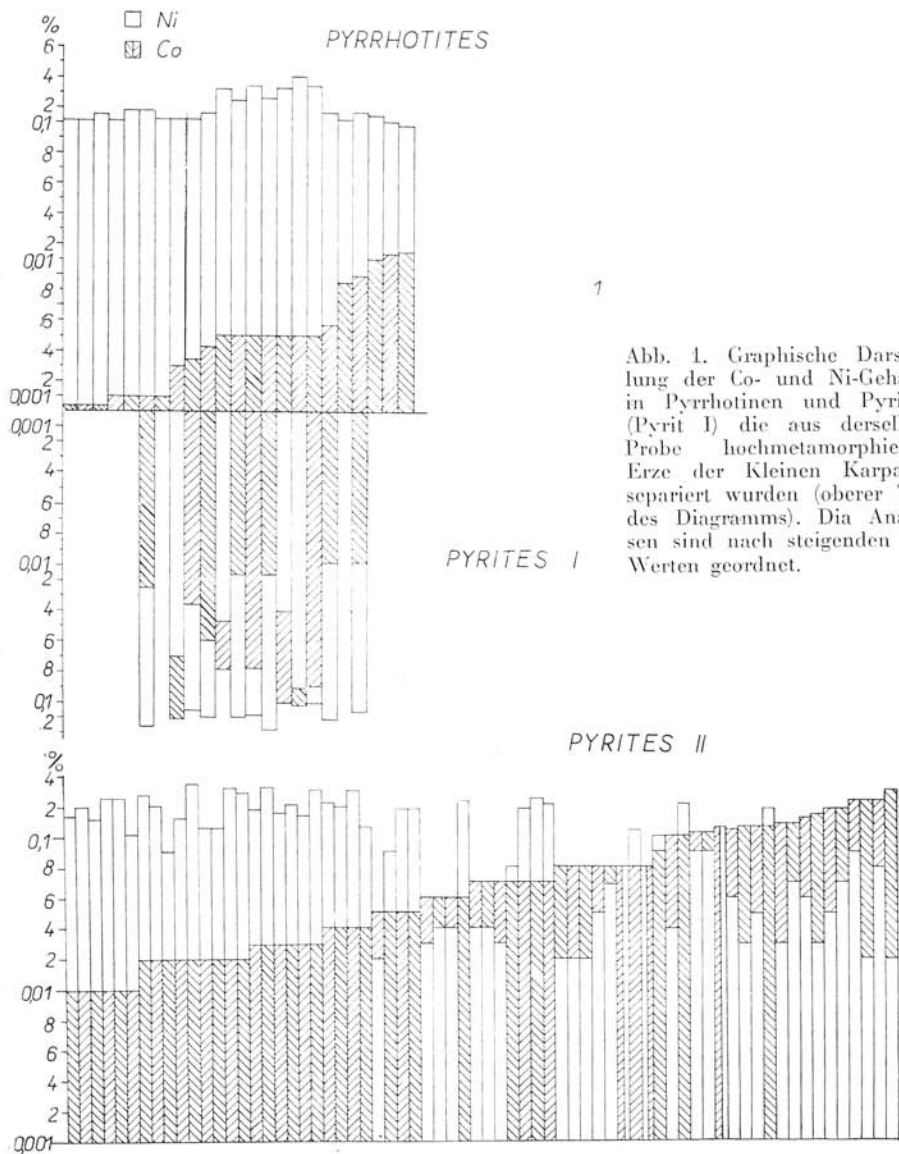


Abb. 1. Graphische Darstellung der Co- und Ni-Gehalte in Pyrrhotinen und Pyriten (Pyrit I) die aus derselben Probe hochmetamorphierter Erze der Kleinen Karpaten separiert wurden (oberer Teil des Diagramms). Die Analysen sind nach steigenden Co-Werten geordnet.

Gehaltes der aus derselben Probe separierten Pyrite genau untereinander, jedoch unterhalb der horizontalen Achse eingezeichnet wurden. Manchmal wurde auch umgekehrt verfahren.

Die Analysen eines solchen Schwefelkieses werden im Schaubild mit Pyrit I bezeichnet; demgegenüber werden die Werte des Gehaltes an Co und Ni in Pyriten, die zwar derselben Lagerstätte entstammen, nicht aber aus derselben Probe separiert wurden mit Pyrit II gekennzeichnet.

Vergleichende Diagramme der Durchschnittswerte des Co- und Ni-Gehaltes in Pyrrhotinen und Pyriten (Abb. 6, 7, 8, 9)

Nach ähnlichem Prinzip wurde die graphische Darstellung der Durchschnittswerte an Kobalt und Nickel in Pyrrhotinen aus einzelnen Lagerstätten oder Lagerstättengruppen bewerkstelligt. Das Diagramm ermöglicht die Verfolgung der Variabilität der Durchschnittswerte der Gehalte an Mikroelementen der einzelnen genetischen Typen von Pyrrhotinen, bzw. Pyriten, deren Abbild der Durchschnittsgehalte an Mikroelementen laut obenangeführtem Prinzip unter den Durchschnittswerten der Pyrrhotine eingezeichnet (Abb. 7), oder beieinander situiert sind (Abb. 6).

Separat werden die Schaubilder der Durchschnittsgehalte an Mikroelementen in Pyrrhotinen angeführt und mit den Durchschnittswerten der Gehalte an Elementen in Pyriten derselben Lagerstätten oder der gleichen genetischen Lagerstättentypen verglichen (Pyrit II) (Abb. 8, 9). Die Durchschnittswerte der Pyrite sind der monographischen Arbeit über die Geochemie des Pyrites der Autoren (B. C a m b e l, J. J a r k o v s k ý 1967) oder anderem ausländischem Schrifttum entnommen.

Vergleichsschaubilder der Durchschnittsgehalte an Elementen in Pyrrhotinen verschiedener genetischer Typen (Abb. 10)

Die Schaubilder der Durchschnittsgehalte an Mikroelementen sind in der Regel graphische Darstellungen von numerischen Werten der Tabellen von Durchschnittsgehalten an Mikroelementen. Auf der senkrechten Achse sind in Gewichtsprozenten, die Gehalte von 0,001 % (10 ppm) bis zu 0,9 % (9000 ppm) aufgetragen. Auf der waagrechten Achse sind senkrecht aufgetragene Linien, auf welcher die Durchschnittsgehalte der einzelnen Elemente im Pyrrhotin der einzelnen Erzvorkommen oder der einzelnen genetischen Typen von Erzen, verzeichnet sind. Die Werte der zugehörigen Elemente sind durch Linien verbunden, die je nach Schraffur, den einzelnen Elementen zugeordnet sind, was in den Erläuterungen unterhalb der Diagramme erörtert wird.

Histogramme der Frequenz und Frequenzkurven der Gehalte an Mikroelementen (Abb. 11, 12, 13, 14, 15)

Eine weitere Methode zur Auswertung analytischer Daten stellt die Verwendung von Histogrammen der Gehaltsfrequenz an Mikroelementen dar, wobei ein solches Intervall gewählt werden muss, damit die einzelnen genetischen Typen der Eisensulfide markant zur Geltung gelangen. Durch den Umriss (Konturierung) dieser Histogramme, erhält man miteinander gut vergleichbare Frequenzkurven, welche eine Verfolgung der Gesetzmässigkeit der Distribution von Mikroelementen nicht nur der einzelnen genetischen Typen eines bestimmten Minerals untereinander, sondern auch die, mehrerer

Minerale ermöglicht (Pyrrhotin, Pyrit, Chalkopyrit). Als Beispiel für Abbildungen mit Vergleichsfrequenzkurven werden die Diagramme 13, 14 und 15 angeführt.

Modifizierte Diagramme der Frequenz des Gehaltes an Mikroelementen

Vom Standpunkt der Erforschung clarkescher Gehalte, haben die in kleinere Anzahlen (14) an Konzentrationsgruppen aufgeteilten Diagramme der Werte der Mikroelemente, grosse Bedeutung. Die Anzahl der Fälle in den einzelnen Intervallen wurde auf die vertikalen Koordinatenachsen aufgetragen und die zugehörigen Punkte durch Linien mit entsprechender Schraffur verbunden. Als Beispiel werden die Abbildungen 16a, b und 17 angeführt.

Histogramme und Frequenzkurven der Distribution von Mikroelementen (Abb. 19, 20, 21)

Das Studium der allgemeinen Gesetzmässigkeit der Distribution von Mikroelementen in Pyriten und Pyrrhotinen vom Standpunkt des Studiums des Distributionstypus (normal, lognormal) ist anhand von Histogrammen möglich, die spezifische, zu diesem Zwecke bestimmte Konzentrationsintervalle aufweisen, und auf linearen und logarithmischen Skalen aufgetragen wurden. Auch hier können durch Konturierung Frequenzkurven gewonnen werden, die miteinander verglichen werden können (Abb. 21).

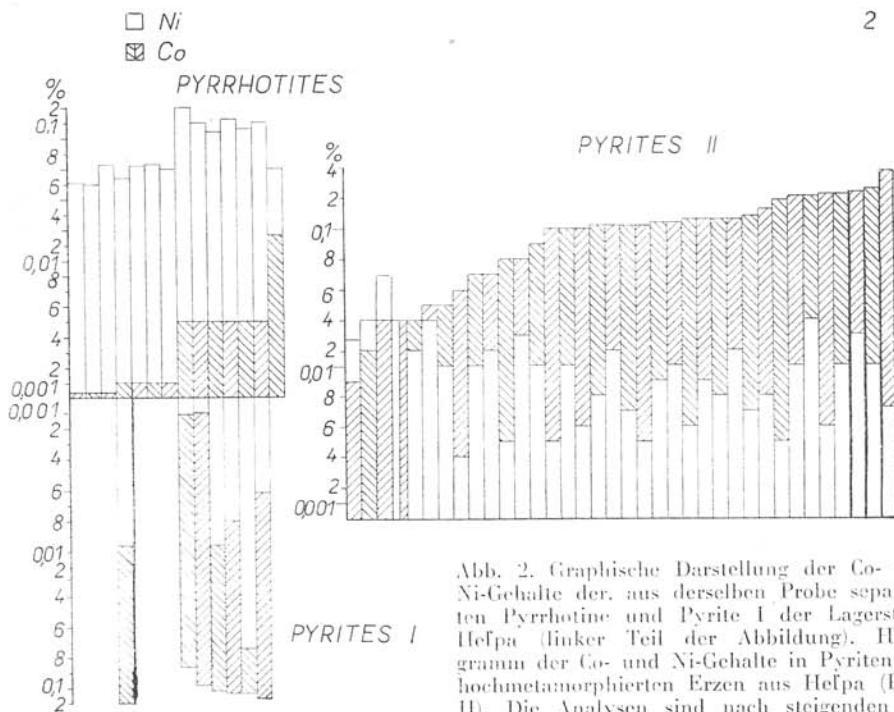


Abb. 2. Graphische Darstellung der Co- und Ni-Gehalte der, aus derselben Probe separierten Pyrrhotine und Pyrite I der Lagerstätte Hefpa (linker Teil der Abbildung). Histogramm der Co- und Ni-Gehalte in Pyriten aus hochmetamorphierten Erzen aus Hefpa (Pyrit II). Die Analysen sind nach steigenden Co-Werten geordnet.

Korrelationsdiagramme von Kobalt und Nickel (Abb. 22, 23, 24)

Interessant sind die Resultate, welche die Korrelationsdiagramme der Gehalte von Kobalt und Nickel zeitigen, durch welche die Grundbeziehungen dieser Elemente in den Mineralen bestimmt werden. Diese Diagramme wurden auf die geläufige Art und Weise konstruiert. Auf die vertikale Achse wurden die logarithmischen Werte der Gehalte an Nickel, während auf die horizontale Achse diejenigen an Kobalt ebenso eingezeichnet wurden. Die Durchschnittswerte der Gehalte wurden separat verzeichnet. Das Feld der grössten Dichte der Punkte wurde im Diagramm durch eine Linie begrenzt. Die Gestalt der begrenzten Fläche als auch deren Lage, Neigung und Länge ihrer Achse, ist für bestimmte genetische Pyrrhotintypen oder bestimmte Lagerstättengruppen, typisch.

Diskussion zu den einzelnen Abbildungen

Um auf die Bedeutung der Diagramme bei der Interpretation der analytischen Angaben hinweisen zu können, werden den einzelnen Abbildungen sowohl Diskussionen, als auch Schlussfolgerungen, welche durch die Auswertung der Diagramme gewonnen werden können, beigefügt.

Aus Abb. 1 ist ersichtlich, dass die Pyrrhotine des Gebietes der Kleinen Karpaten höhere Ni-Werte als die Pyrite haben und dass diese Werte relativ stabil sind, sogar stabiler als bei jenen Pyriten, bei welchen sich unter bestimmten metamorphen Bedingungen der Rekristallisation, die Menge des Ni verringert (siehe Diagramm Pyrite II). Andererseits wieder, verringert sich durch die Steigerung der Intensität der Metamorphose bei Pyrrhotinen der Co-Gehalt grundsätzlich in so hohem Ausmass, dass er fast fehlt. Es ist evident, dass eine Steigerung der Metamorphose eine Verringerung des Co-Gehaltes bei Pyrrhotinen und dessen Steigerung bei Pyriten im Gefolge hat. Deshalb sind die Co-Gehalte im Pyrit und Pyrrhotin ein und derselben Probe bedeutend verschieden. Die Stabilität und Gleichmässigkeit der Ni-Gehalte und verhältnismässig auch die des Co in metamorphogenen, aus syngenetischen Eisensulfiden oder aus Pyriten entstandenen Pyrrhotinen zeugt davon (siehe die graphischen Co- und Ni-Werte beim Pyrrhotin), dass diese Tatsache für Pyrrhotine, ähnlich wie dies bereits für Pyrite konstatiert wurde, zur Bestimmung des primär sedimentären Charakters der Erze als richtunggebend betrachtet werden kann.

Der untere Teil der Abbildung, welcher die Werte der Co- und Ni-Gehalte in den Pyriten aus maximal metamorphierten Erzen der verschiedenen Stellen der kleinkarpatischen Vererzung darstellt zeugt davon, dass bei Pyriten, bei denen der Co-Gehalt infolge der starken metamorphen Rekristallisation hohe Werte erreichte, der Wert des Ni-Gehaltes unter das Niveau der Co-Werte sank (siehe die rechte Seite des Diagramms). Nachdem die hochmetamorphierten Kieserze der Kleinen Karpaten stets Pyrrhotin in verschiedenen Mengen beinhalten, muss die Migration des Nickels aus dem Pyrit zum Pyrrhotin, der im Grunde bei den kleinkarpatischen Erzen durch metamorphe Rekristallisation entweder des Pyrits oder der Gele von Eisensulfiden entstand, vorausgesetzt werden.

Aus Abb. 2 ist ersichtlich, dass das von den Pyriten und Pyrrhotinen der Kleinen Karpaten gesagte, grundsetzlich auch für die Hefpa-Erze gilt. Ein Unterschied liegt bloss darin, dass die Pyrite dieser Lagerstätte infolge hoher Metamorphose und niedrigen primären Gehaltes an Ni, fast in jedem Falle höhere Co- als Ni-Gehalte aufweist (siehe Pyrit II im graphischen Teil). Bei den Pyrrhotinen ist, zum Unterschied von den aus

der gleichen Probe separierten Pyriten (Pyrit I), die Differenz zwischen dem bedeutend gesenkten Co- und dem grundsetzlich erhöhten Ni-Gehalt noch evidenter. Diese Tatsache kann für Pyrrhotine und Pyrite, welche durch intensive Metamorphose primärer syngenetischer pyritischer resp. sulfidischer Erze entstanden sind, als charakteristisch erachtet werden. Auch am Beispiel des Studiums der Eisensulfide aus Helfa ist es ersichtlich, dass die evidente Gleichmässigkeit der Co- und Ni-Gehalte einen Beweis für den syngenetischen Ursprung der Vererzungen liefern.

Abb. 3 stellt die Co- und Ni-Gehalte in den Pyrrhotinen aus Bodenmais dar. Diese sind in der linken Hälfte des Diagramms bedeutend gleichmässig und stellen das charakteristischste Merkmal der Geochemie des Pyrrhotins dieser sedimentogenen Lagerstätte dar. Die rechte Hälfte des Diagramms umfasst Pyrrhotine mit höherem Co- und verhältnismässig unterschiedlichem Ni-Gehalt, der in einem Teil der Analysen niedrigere Werte als der Co-Gehalt aufweist. Aus der Arbeit F. Rosts (1940) welcher

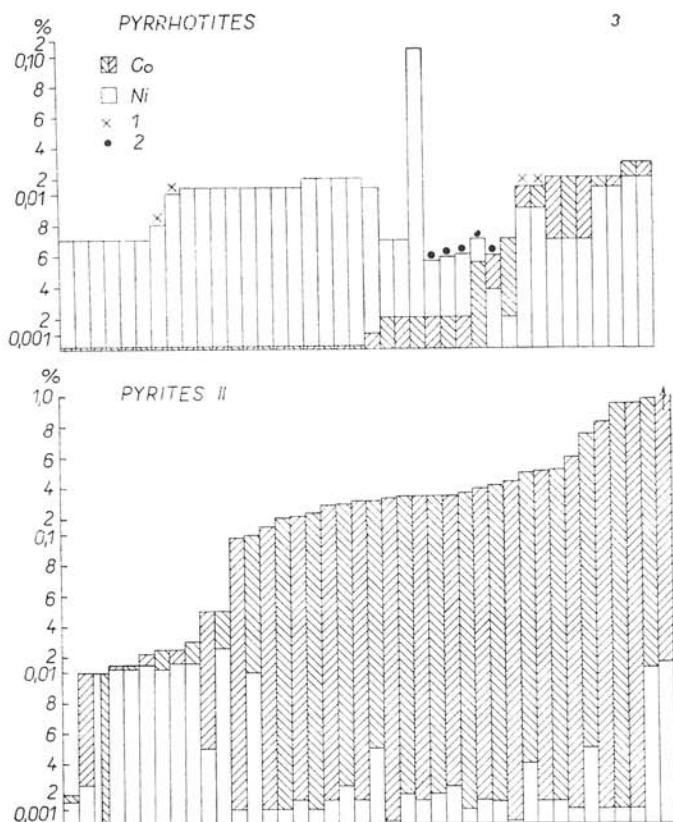
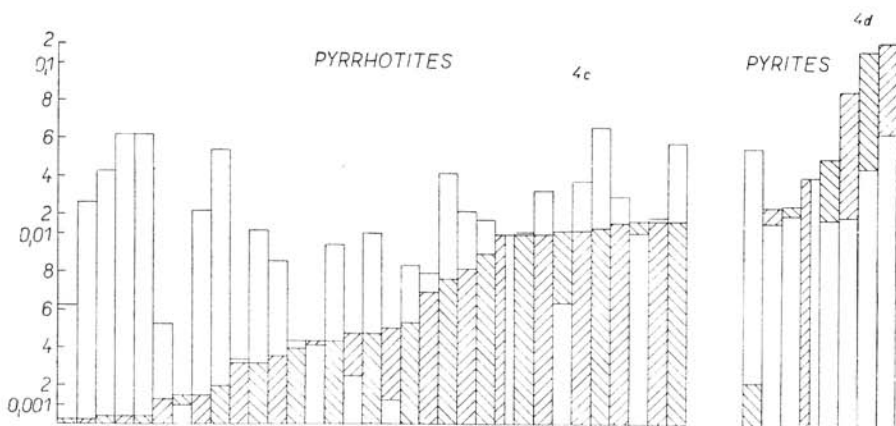
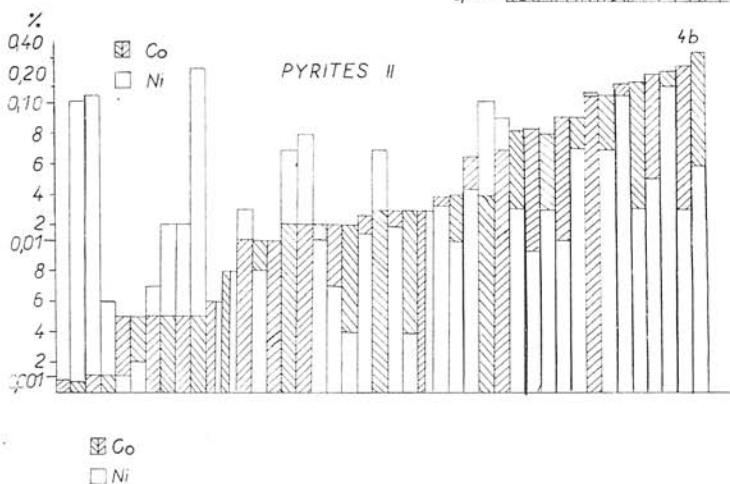
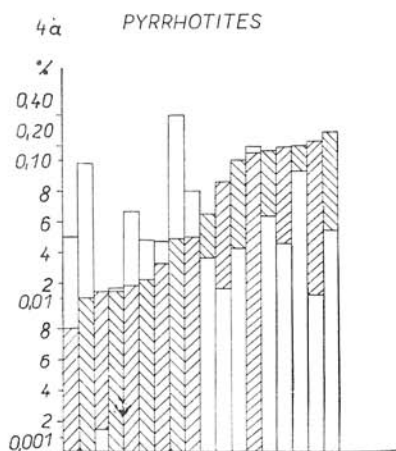


Abb. 3. Graphische Darstellung der Co- und Ni-Gehalte in Pyrrhotinen (oberer Teil) und Pyriten II (unterer Teil des Diagramms) der Lagerstätte Silberberg bei Bodenmais. Die im oberen Teil durch Punkte gekennzeichneten Analysen, sind solche der Autoren. Die durch Kreuze gekennzeichneten Analysen, sind solche des Pyrrhotins und der Arbeit F. Hege-
manns (1943) entnommen. Die übrigen, ungekennzeichneten Analysen stammen von F. Rost (1940).

Abb. 4a, b, c, d. Graphische Darstellung der Co- und Ni-Gehalte in Pyrrhotinen und Pyriten hydrothermalen plutonogenen Ursprungs. Erläuterungen: a — Pyrrhotine des Zips-Gömörer Erzgebirges, b — Pyrite II des Gebietes Zips-Gömörer Erzgebirge, c — Pyrrhotine des Gebietes Coeur d'Alene (USA), d — Pyrite des Gebietes Coeur d'Alene (USA) (R. G. Arnold, R. G. Coleman, V. C. Fryklund 1962).



die angeführten analytischen Angaben entnommen sind geht hervor, dass alle Analysen mit höheren Co-, gegenüber den Ni-Gehalten, Pyrrhotine separater Fundstellen betreffen (Barbarastollen, Bergamstollen u. a.), wobei ein Teil dieser Pyrrhotine in der Quarz-Feldspat-Gangausfüllung, oder wie dies aus der Bemerkung F. Hegemanns (1943) hervorgeht, aus sekundär migrierten Erzakkumulationen in Erscheinung tritt. Solcherlei Fälle der Gegenwart von Pyrrhotinen mit verschiedenen Gehalten an Co und Ni kommen auch häufig bei anderen Lagerstätten und an verschiedenen Stellen ein und derselben Lagerstätte vor. Dies ist zumal bei metamorphen Lagerstätten, bei denen sich im Verlaufe der Zeit lokal die metamorphen Wirkungen änderten und mit nachträglichem Transport auf hydrothermale Wege kombinierten, natürlich. Der untere Teil des Diagramms beweist, dass die Pyrite der Lagerstätte Bodenmais verhältnismässig gleichmässige Co- und Ni-Gehalte aufweisen, was ihren sedimentogenen Charakter beweist. Weiters hat hier, zum Unterschied von den Pyrrhotinen, Co gegenüber Ni ein grosses Übergewicht und ähnlich wie dies bei den Pyrrhotinen der Fall war, gibt auch, bei den Pyriten ein Teil der Analysen ein unterschiedliches Bild (die Analysen auf der linken Seite des Schaubildes). Diese Analysen weisen beiläufig gleichen Co- und Ni-Gehalt auf und wahrscheinlich handelt es sich auch hier um eine partiell verschiedenartige Genese der angeführten Pyrite.

In Abb. 4 werden hydrothermale Pyrrhotine aus den Gebieten des Zips-Gömörer Erzgebirges und aus Coeur d'Alene (USA) mit den Pyriten aus ebendiesen Gebieten verglichen. Sowohl bei den Pyriten, als auch bei den Pyrrhotinen kann ein ungleichmässiger Co- und Ni-Gehalt beobachtet werden, wobei jedoch die Anzahl der Fälle mit niedrigem Co- und Ni-Gehalt (unter 0.01 %) bei Pyrrhotinen geringer als bei Pyriten ist. Im ganzen kann auch gesagt werden, dass das Übergewicht einmal des Kobalts, dann wieder des Nickels bei den Pyrrhotinen ähnlich wie bei den Pyriten ist

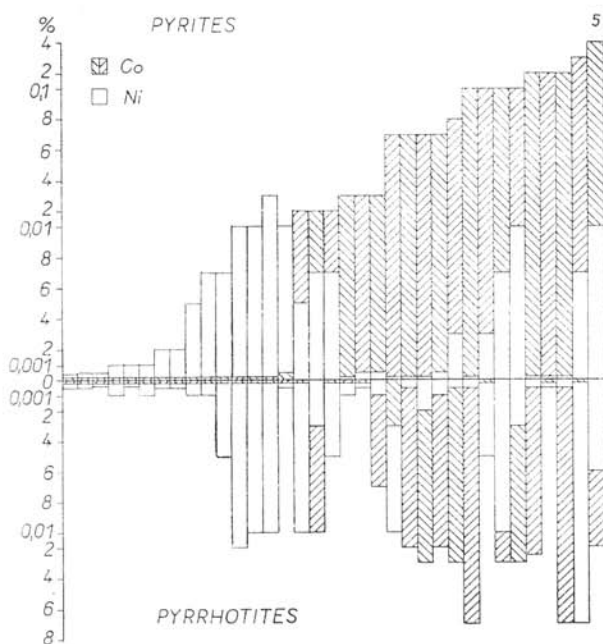


Abb. 5. Vergleichsdiagramm der Co- und Ni-Gehalte der aus der gleichen Probe separierten Pyrite und Pyrrhotine (S. Gavalin, O. Gabrielson 1917). Im oberen Teil des Diagramms sind die Analysen des Pyrits nach steigenden Werten des Co-Gehaltes geordnet. Im unteren Teil des Diagramms sind die Co- und Ni-Gehalte der entsprechenden Pyrrhotine angeführt.

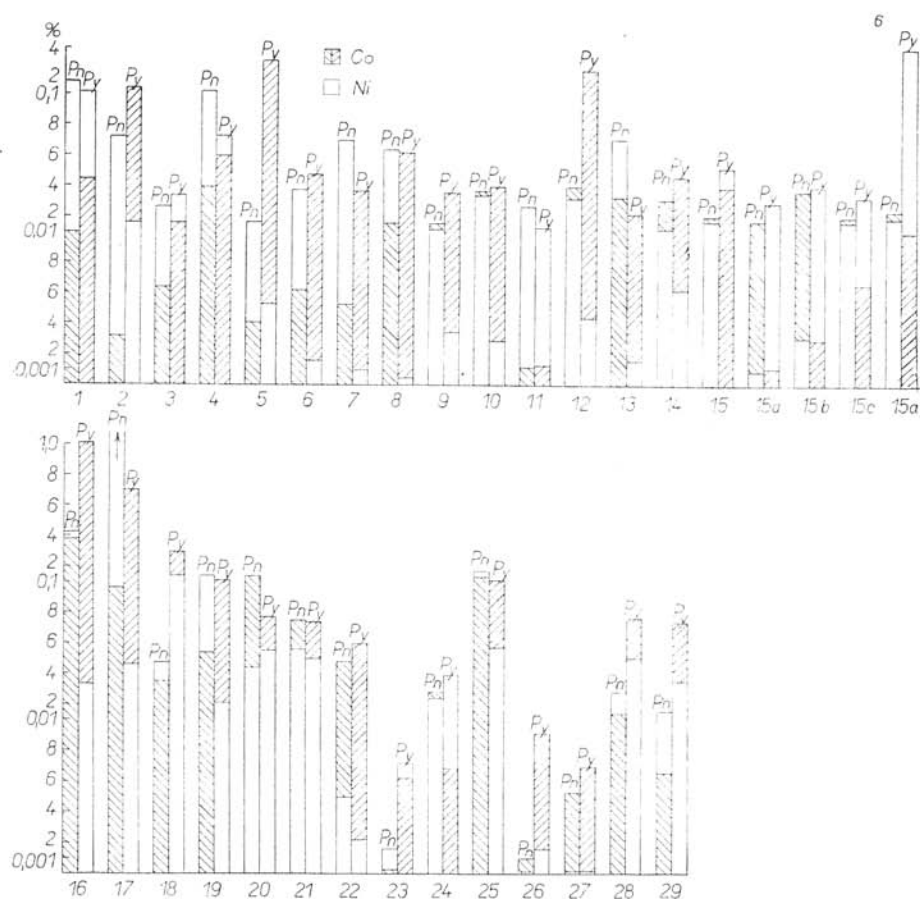


Abb. 6. Graphische Darstellung der Durchschnittsgehalte von Co und Ni in Pyrrhotinen und Pyriten der Lagertsätten verschiedener Genese. Die durchschnittlichen Co-Gehalte der Pyrite sind der Arbeit B. Cambel, J. Jarkovský (1967) entnommen oder aus Angaben ausländischer Autoren errechnet. Erläuterungen: Pn — Pyrrhotin, Py — Pyrit, 1 — Kleine Karpaten, 2 — Hefpa, 3 — Petřikov, 4 — Kopfmühl, 5 — Bodenmais, 6 — Falun, 7 — Kalwang, 8 — Rörös, 9 — Retenbach, 10 — Üblarn, 11 — Stördö, 12 — Sulitjelma, 13 — Smolnik, 14 — Zlaté Hory, 15 — Skellefte, 15a — Skellefte-Erze 1—5, 15b — Skellefte-Erze 6—9, 15c — Skellefte-Erze 10—11, 15d — Skellefte-Erze 12, 16 — Outokumpu, 17 — liquid-magmatisch, 18 — Akzessorien, 19 — Rožnava, 20 — Fichtenhübel, 21 — hydrothermale, Zips-Gömörer Erzgebirge, 22 — Slavošovec, 23 — Kutná Hora (Kuttenberg), 24 — hydrothermal, Böhmen und Mähren, 25 — hydrothermal (F. Hegmann), 26 — subvulkanisch-hydrothermal, 27 — subvulkanische Skarne, 28 — Skarne, gesamt, 29 — Coeur d'Alene.

und ähnlich ist auch die Schwankung der Werte dieser Elemente bei aus einer Lagerstätte gewählten Pyriten. Deshalb kann konstatiert werden, dass die Distribution von Co und Ni in plutogen-hydrothermalen Pyrrhotinen denselben Gesetzmässigkeiten unterliegt, wie in den Pyriten derselben genetischen Gruppe, d. h., dass ihre Werte ziemlich ungleichmässig sind.

Tabelle 1. Tabelle der Durchschnittsgehalte an Co und Ni in Pyrrhotinen und Pyriten aus Lagerstätten der verschiedensten Genese (Weiten Erläuterungen unter Abb. 6)

Nr.	Fundort		Ni	Co
1.	M. Karpaty (Kl. Karpaten)	Pn	0,186/24	0,0099/24
		Py	0,108/235	0,045/235
2.	Hefpa	Pn	0,0724/14	0,0035/14
		Py	0,0164/36	0,139/36
3.	Petříkov	Pn	0,0272/5	0,0064/5
		Py	0,0343/3	0,0157/3
4.	Kropfmühl	Pn	0,1400/6	0,0408/6
		Py	0,0736/7	0,0607/7
5.	Bodenmais	Pn	0,0159/34	0,0041/34
		Py	0,0053/40	0,3195/39
6.	Falun	Pn	0,0386/4	0,0062/4
		Py	0,0016/5	0,0480/5
7.	Kalwang	Pn	0,0706/5	0,0053/5
		Py	0,0010/7	0,0276/7
8.	Rörös	Pn	0,0642/5	0,0162/5
		Py	0,0007/7	0,0621/7
9.	Rettenbach	Pn	0,0122/6	0,0167/6
		Py	0,0035/19	0,0368/19
10.	Üblarn	Pn	0,0243/12	0,0266/12
		Py	0,0029/36	0,0412/36
11.	Stördö	Pn	0,0270/2	0,0012/2
		Py	0,0137/16	0,0013/16
12.	Sulitjelma	Pn	0,0325/2	0,0400/2
		Py	0,0044/11	0,2586/11
13.	Smolník	Pn	0,0688/6	0,0334/6
		Py	0,0015/36	0,0230/40
14.	Zl. Hory	Pn	0,0134/9	0,0299/8
		Py	0,0062/16	0,0458/16
15.	Skellefte	Pn	0,0175/100	0,0203/100
		Py	0,0519/134	0,0389/134
15a	Skellefte 1—5	Pn	0,0009/30	0,0167/19
		Py	0,0288/41	0,0011/37
15b	Skellefte 6—9	Pn	0,0031/25	0,0369/23
		Py	0,0401/35	0,0030/35

Nr.	Fundort		Ni	Co
15c	Skellefte 10—11	Pn	0,0165/17	0,0202/17
		Py	0,0315/13	0,0066/13
15d	Skellefte 12	Pn	0,0190/8	0,0237/8
		Py	0,400/1	0,0100/1
16.	Outokumpu	Pn	0,4250/8	0,3812/8
		Py	0,0334/9	1,0833/9
17.	liquidmag- matisch	Pn	0,7000/41	0,0862/41
		Py	0,046/21	0,7000/21
18.	Akessorien	Pn	0,0469/6	0,0351 6
		Py	0,1453/7	0,3089/7
19.	Rožňava	Pn	0,1465/2	0,0532/4
		Py	0,0213/7	0,1249/7
20.	Fichtenhübel	Pn	0,0449/4	0,1393/3
		Py	0,0546/3	0,0773/3
21.	Spiš—Gemer	Pn	0,0566/17	0,0753/18
		Py	0,0500/39	0,0150/38
22.	Slavošovce	Pn	0,0050/6	0,0280/6
		Py	0,0023/8	0,0401/8
23.	Kutná Hora (Kuttenberg)	Pn	0,0016/8	0,0002/8
		Py	0,0072/6	0,0062/6
24.	Böhmen u. Mäh- ren, hydr.	Pn	0,0239/64	0,0279/67
		Py	0,0389/11	0,0068/11
25.	Hegemenn- hydr.	Pn	0,1669/20	0,1334/20
		Py	0,0573/22	0,1197/22
26.	Subvulkan. hydr.	Pn	0,0002/8	0,0010/8
		Py	0,0016/77	0,0091/79
27.	Subvulkan. Skar.	Pn	0,0003/5	0,0053/5
		Py	0,0003/2	0,0070/2
28.	Skarne gesamt	Pn	0,0236/30	0,0143/30
		Py	0,0500/8	0,0760/10
29.	Cocur d'Alene	Pn	0,0151/33	0,0065/33
		Py	0,0345/8	0,0732/8

Abb. 5 informiert über die Werte der Co- und Ni-Gehalte in aus ein und derselben Probe separierten Pyriten und Pyrrhotinen des Gebietes Skellefte. Als Grundresultat kann die Tatsache betrachtet werden, dass bei den Analysen aus Skellefte nicht in dem Ausmass bestätigt werden kann, was bei den Pyriten und Pyrrhotinen der Kleinen

Karpaten, aus Helfa u. a. festgestellt wurde nämlich, dass der Ni-Gehalt im Pyrrhotin höhere Werte erreicht, als im Pyrit. Bei den Pyrrhotinen des Gebietes Skellefte trifft dies nur für einen kleinen Teil der Analysen zu, ja häufig sind auch umgekehrte Fälle, wo weniger Nickel im Pyrrhotin, als im zugehörigen Pyrit vorhanden ist. Ähnlich wie dies bei den Pyrrhotin- und den zugehörigen Pyritproben aus Bodenmais der Fall war,

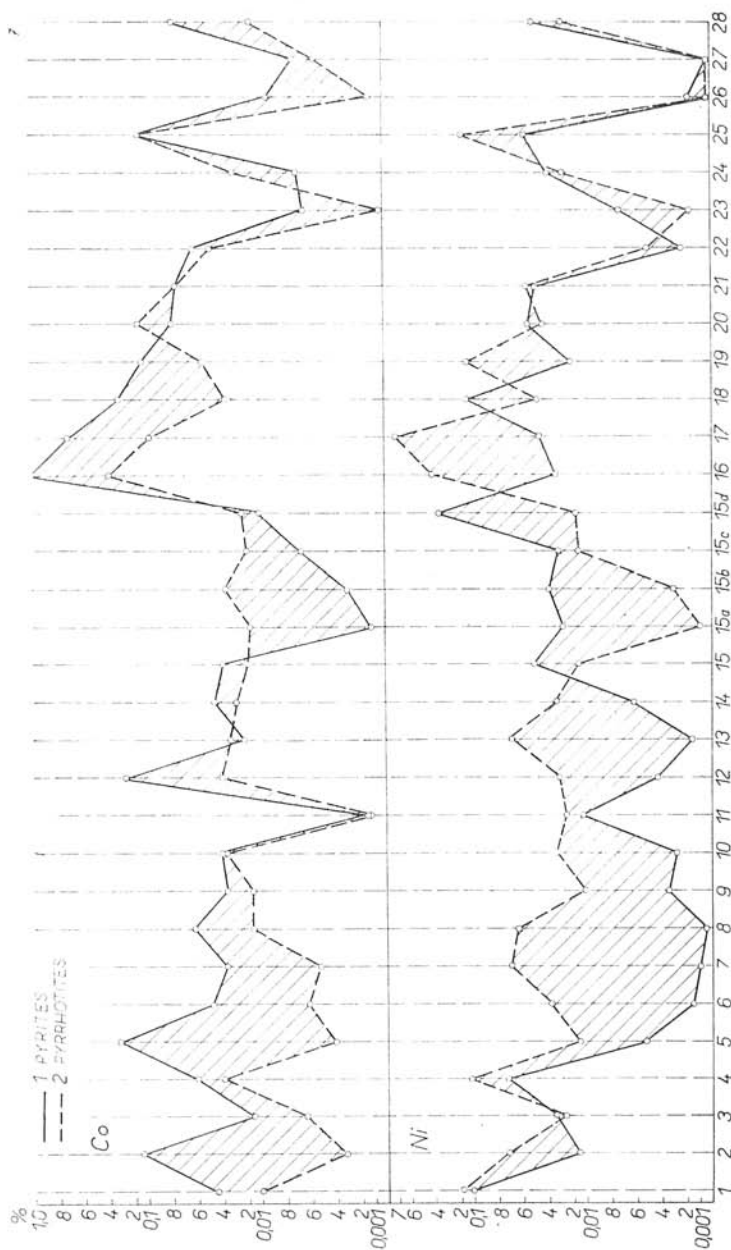


Abb. 7. Diagramm der Durchschnittsgehalte an Co und Ni der Pyrrhotine und Pyrite (II), von Lagerstätten verschiedener Genese. Im Schaubild sind schraffierte Flächen, welche die Gehaltsunterschiede von Co und Ni in Pyrrhotinen und Pyriten veranschaulichen. 1 — Co und Ni in Pyriten, 2 — Co und Ni in Pyrrhotinen. Weitere Erläuterungen siehe unter Abb. 6.

sind auch bei den Proben aus Skellefte die Co- und Ni-Gehalte im ganzen niedriger in den Pyrrhotinen, als in den Pyriten. Bei Pyrrhotinen und Pyriten anderer Lagerstätten (Hefpa, Kleine Karpaten usw.), sind die Co- und Ni-Werte sowohl im Pyrit, als auch im Pyrrhotin auf ziemlich gleichem Niveau. Die Dreiecksform des Schaubildes entsteht dadurch, dass die hohen Co- und Ni-Werte in den Pyriten, den hohen Werten dieser Elemente in den Pyrrhotinen, und niedrige Werte in den Pyriten wieder niedrigen Werten in den Pyrrhotinen entsprechen.

Abb. 6. Aus den Werten der in Tab. 1 angeführten Durchschnittsanalysen, wurde das Diagramm der Durchschnittswerte von Co und Ni in Pyriten und Pyrrhotinen der einzelnen Lagerstätten zusammengestellt. Ein weiteres Vergleichsdiagramm (Abb. 7) wurde demnach konstruiert, dass die Werte von Co und Ni in Pyrrhotinen und Pyriten übereinander aufgetragen wurden, während die Gehaltsunterschiede von Co in Pyrrhotinen und Pyriten und jene des Ni in Pyrrhotinen und Pyriten durch eine schraffierte Fläche veranschaulicht wurden.

Aus Schaubild 7 ist ersichtlich, dass auf dessen rechter Seite, wo die Durchschnittswerte von Co und Ni in Pyrrhotinen und Pyriten hydrothermalen Ursprungs

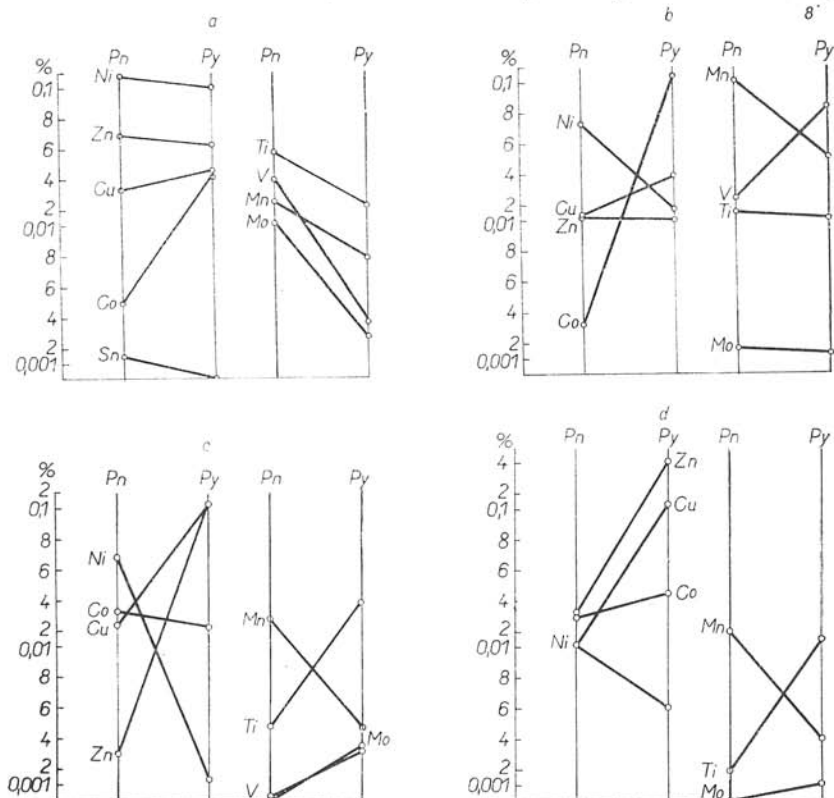


Abb. 8a, b, c, d. Vergleichsdiagramm der Durchschnittsgehalte an Mikroelementen in Pyriten und Pyrrhotinen. Die Durchschnittsgehalte der einzelnen Elemente sind für Pyrrhotine auf der senkrechten, mit „Pn“ und für Pyrite auf der mit „Py“ gekennzeichneten Achse aufgetragen. Erläuterungen: a — Kleine Karpaten, b — Hefpa, c — Smolnik, d — Zlaté Hory.

ingezeichnet sind, die die Inhaltsunterschiede zwischen Co und Ni veranschaulichende schraffierte Fläche, unansehnlich ist. Umgekehrt ist dies auf der linken Schaubildseite, wo die Pyrrhotine und Pyrite der syngenetischen Lagerstätten eingezeichnet sind, der Fall.

Die Diagramme der Durchschnittswerte von Co und Ni in Pyrrhotinen und Pyriten sind in Abb. 6 zu Vergleichszwecken nebeneinander eingezeichnet. Von 32 Pyrit- und Pyrrhotinlagerstätten sind bloss 9 solcher Fälle, bei denen die Durchschnittswerte des Kobalts in den Pyrrhotinen ein Übergewicht über jene des Nickels aufweisen. Aus Abb. 6 ist weiters zu ersehen, dass bei den Pyrrhotinlagerstätten 1 bis 8, welche höher-metamorphierte pyrit-pyrrhotinische syngenetisch-sedimentäre Erze darstellen, ein verhältnismässig hoher Unterschied zwischen den Nickel- und Kobaltgehalten im Pyrit und Pyrrhotin vorherrscht (was auch in Abb. 7 zu sehen ist), wobei Nickel im Pyrrhotin vor Kobalt immer im Übergewicht ist und die Nickelgehalte stets höher als im entsprechenden Pyrit sind.

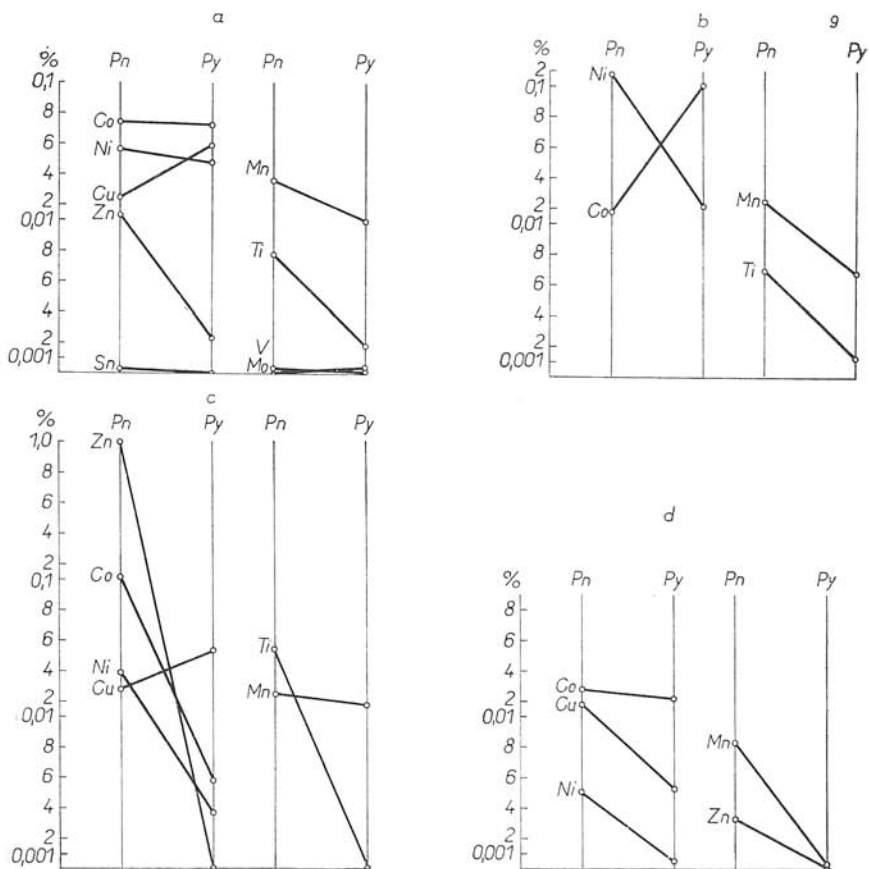


Abb. 9a, b, c, d. Vergleichsdiagramm der Durchschnittsgehalte an Mikroelementen in Pyrrhotinen und Pyriten hydrothormaler Lagerstätten der Westkarpaten. Erläuterungen: a — Zips-Gömörer Erzgebirge im ganzen, b — Rožňava, c — Zlatá Idka, d — Slavošovce.

Die syngenetisch-sedimentären Pyrrhotine mit problematischer Genese (Lagerstätte 9, 10, 12, 14 und 15), zeichnen sich durch eine mässige Vorherrschaft des Kobalts vor dem Nickel aus. Beim Vergleich der Co- und Ni-Gehalte der Pyrrhotine und Pyrite des Gebietes Skellefte ist ersichtlich, dass Pyrrhotine regelwidrig eine Vorherrschaft an Co und Pyrite eine solche an Ni haben, was den genetischen Ausnahmefall dieser Lager-

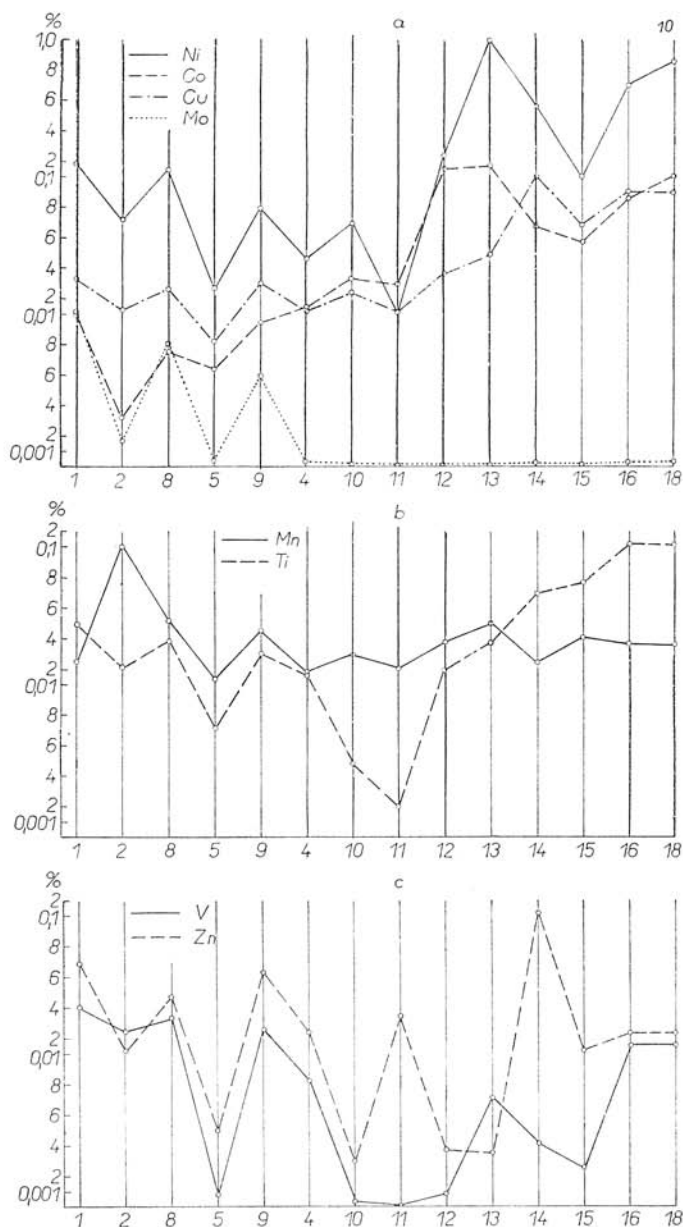


Abb. 10a, b, c. Diagramm der Durchschnittsgehalte der Mikroelemente Ni, Co, Mo (a); Mn, Ti (b); V, Zn (c) in Pyrrhotinen. Erläuterungen: 1 — Kleine Karpaten, 2 — Helfpa, 4 — syngenetische Pyrrhotine, Böhmen und Mähren, 5 — Petřikov, 8 — Kleine Karpaten und Helfpa, 9 — Summe 4+8, 10 — Smolník, 11 — Zlaté Hory, 12 — Peklo, 13 — Staré Ransko, 14 — Schweidrich, 15 — Akzessorien, 16 — liquidmagmatische Pyrrhotine, 18 — liquidmagmatische und akzessorische Pyrrhotine, gesamt.

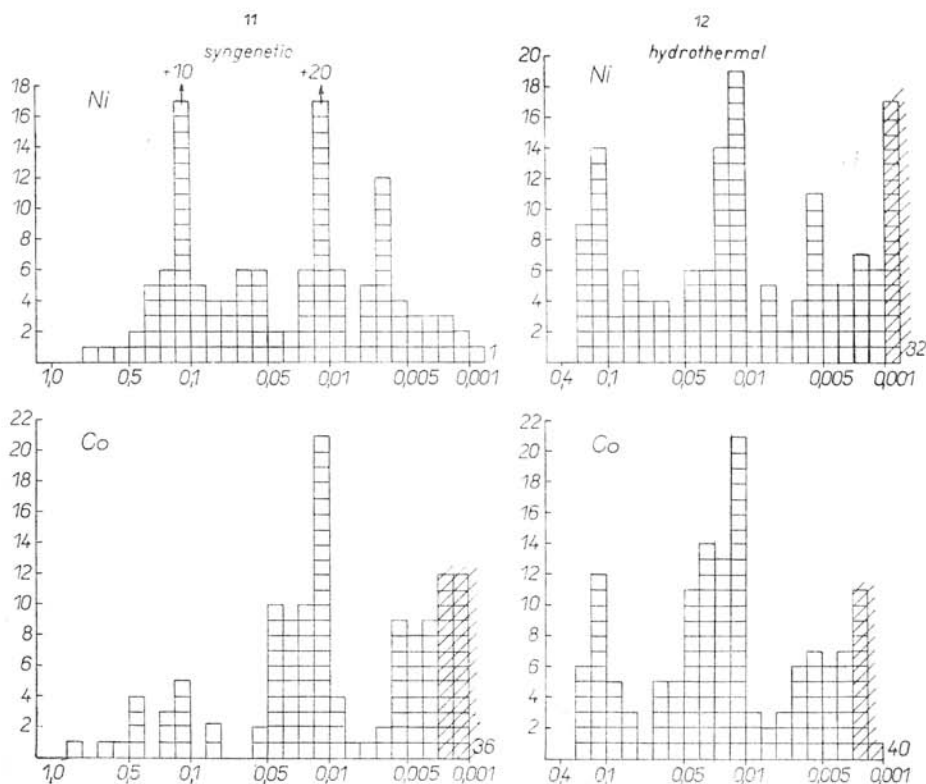


Abb. 11. Summarisches Histogramm der Gehaltsfrequenz an Co und Ni in sämtlichen Pyrrhotinen sedimentären Ursprungs.

Abb. 12. Summarisches Histogramm der Co- und Ni-Gehalte in Pyrrhotinen hydrothermalen Ursprungs und aus Skarnen.

stätten bestätigt. In der Mehrzahl an Fällen der Lagerstätten hydrothermalen Ursprungs herrscht in Pyrrhotinen, aber teilweise auch in Pyriten, Kobalt vor Nickel vor, was für hydrothermale Vererzungen charakteristisch ist.

Zum Zwecke der gegenseitigen Vergleichbarkeit der Gehalte an verschiedenen Mikroelementen in Pyriten und Pyrrhotinen, wurden separate Diagramme zusammengestellt (Abb. 8, 9).

Es kann eine gewisse Spezifität der Höhe der Gehalte an Mikroelementen bei Pyrrhotinen der einzelnen Lagerstätten festgestellt werden, die sozusagen für jede einzelne Lagerstätte charakteristisch ist. Allgemeine Schlüsse können nur bei gegenseitigem Vergleich der Durchschnittswerte der Mikroelemente in Pyrrhotinen und Pyriten gezogen werden zumal in dem Sinne, ob gewisse Mikroelemente in Vorherrschaft bei Pyrrhotinen oder bei Pyriten sind. Es muss darauf verwiesen werden, dass diese Bewertungen allgemein nicht für die gesamte genetische Gruppe der angeführten Minerale gelten, was am Beispiel der Kleinen Karpaten und Hefpa dokumentiert werden kann (Abb. 8a, b). Die Pyrrhotine und Pyrite der genannten Lagerstätten sind sich sowohl im

Grade der Metamorphose, als auch in der Genese ziemlich ähnlich. Während bei den Pyriten der Kleinen Karpaten sämtliche Mikroelemente niedrigere Werte besitzen als dies bei Pyrrhotinen der Fall ist, besitzen die Pyrite aus Hefpa gegenüber den Pyrrhotinen höhere Vanadin- und Kupfergehalte. Bei den Pyriten ist gegenüber den Pyrrhotinen der übrigen syngenetischen Lagerstätten (Smolník Sc, Zlaté Hory Sd), zum Unterschied von den kleinkarpatischen, ein erhöhter Gehalt an Zn, Cu, V und Mo feststellbar. Lediglich Mn besitzt in Pyrrhotinen ausgeprägt höhere Werte als in Pyriten.

Es scheint, dass lediglich hydrothermale Pyrrhotine im Vergleich zu den Pyriten stabilere Verhältnisse haben (Abb. 9). Hydrothermale Pyrrhotine haben gegenüber den Pyriten in der Regel höhere Werte an Mikroelementen. Eine Ausnahme bildet das Kupfer. Diese Feststellung gilt für alle Lagerstätten des Zips-Gömörer Erzgebirges, aber auch für jene des Gebietes Böhmen und Mähren, inbegriffen Kutná Hora (Kuttenberg) und für die Pyrrhotine und Pyrite aus den Lagerstätten mit liquidmagmatischen Charakter. Schliesslich gilt dies auch für die von den Autoren analysierten hydrothermalen Pyrrhotine und Pyrite ausländischer Lagerstätten. In diesem Falle ist die Manganmenge in den Pyriten höher.

Im ganzen kann somit gesagt werden, dass die hydrothermalen Pyrrhotine in der Regel reicher an Mikroelementen sind als Pyrite, falls Kobalt und Nickel, deren Gehalte wechselhaft sind, nicht in Betracht gezogen werden. Die häufigste Ausnahme bildet bei hydrothermalen Pyrrhotinen das Kupfer, dessen Gehalte sozusagen in jeder Gruppe höher bei Pyriten sind. Bei den übrigen genetischen Gruppen

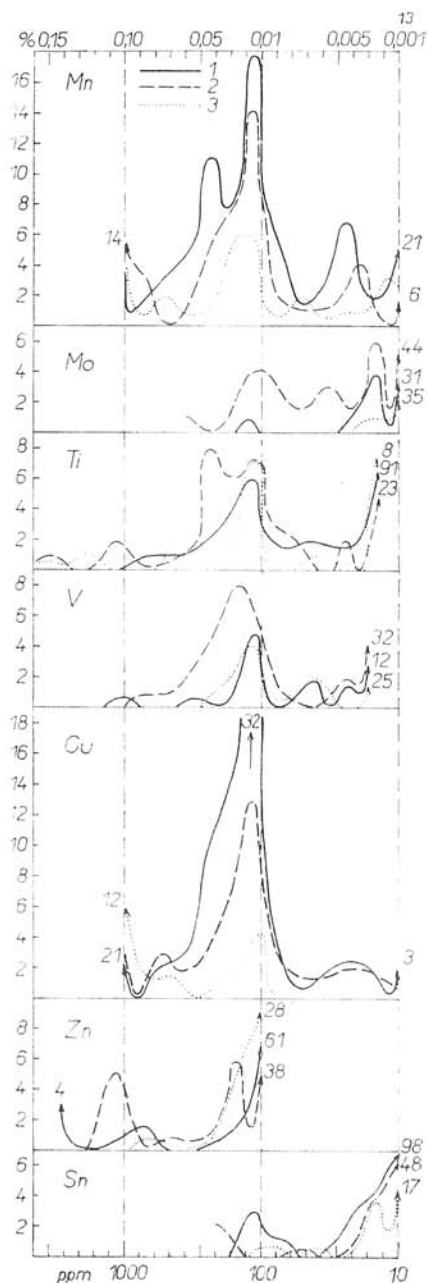


Abb. 13. Vergleichsdiagramm der Frequenzkurven von Gehalten an restlichen Mikroelementen in Pyrrhotinen folgender genetischer Gruppen: 1 — hydrothermal, 2 — sedimentogen (mehr oder minder metamorphiert), 3 — liquidmagmatisch.

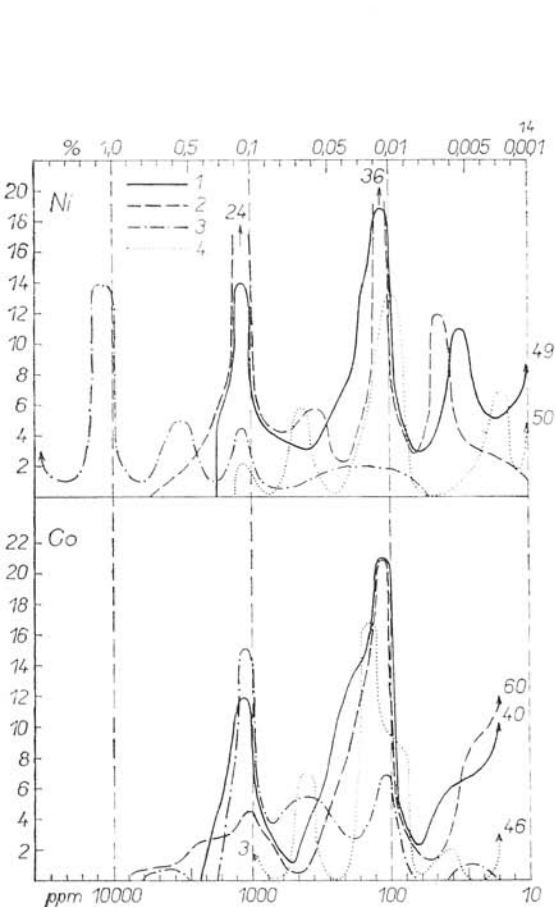
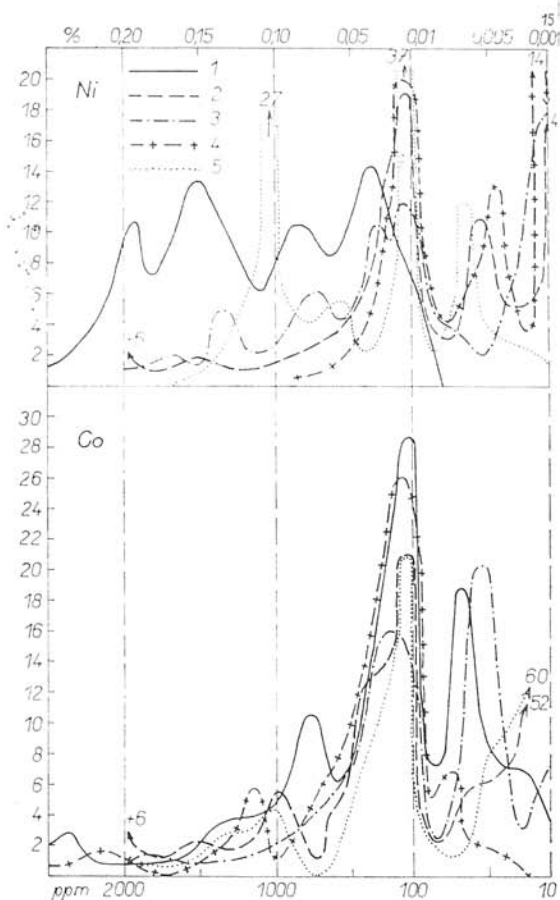


Abb. 14. Vergleichsdiagramm der Frequenzkurven der Co- und Ni-Gehalte in Pyrrhotinen folgender genetischer Gruppen: 1 — hydrothermale Pyrrhotine, einschliesslich Skarne, 2 — sämtliche sedimentären Pyrrhotine, 3 — liquidmagmatische Pyrrhotine, 4 — Pyrrhotine des Gebietes Skellefte.

Abb. 15. Vergleichsschaubild der summarischen Frequenzkurven von Co- und Ni-Gehalten in Pyrrhotinen und Pyriten: 1 — sedimentäre Pyrite der Kleinen Karpaten, 2 — hydrothermale Pyrrhotine, 3 — hydrothermale Pyrite, 4 — sedimentäre Pyrite, 5 — sedimentäre Pyrrhotine.



sind die Titan- und Vanadinwerte in der Regel in Pyriten gegenüber Pyrrhotinen höher.

In A b b. 10a, b sind die Durchschnittsgehalte an Mikroelementen in syngenetischen Pyrrhotinen, Pyrrhotinen problematischer Genese, und das aus Lagerstätten, die in den Bilderläuterungen angeführt sind, als auch in Pyrrhotinen liquidmagmatischen Charakters, veranschaulicht. Es ist ersichtlich, dass Co und Ni der syngenetischen Pyrrhotine bis zu Lagerstätte 9 keinen grossen Schwankungen unterliegen, und dass ein verhältnismässig grosser, aber steter Unterschied zwischen dem niedrigeren Co- und dem

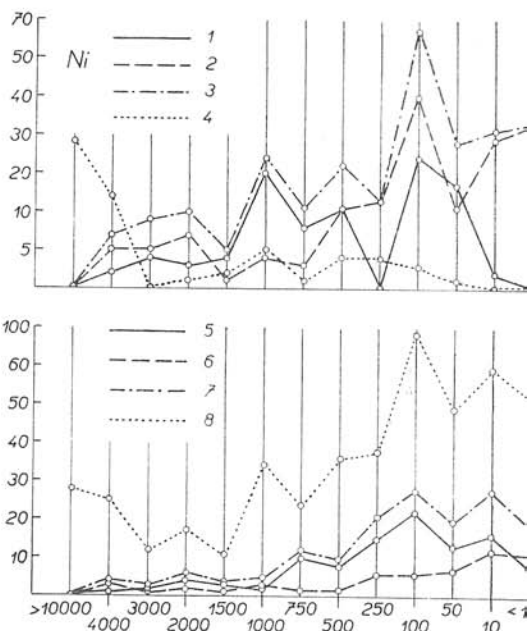
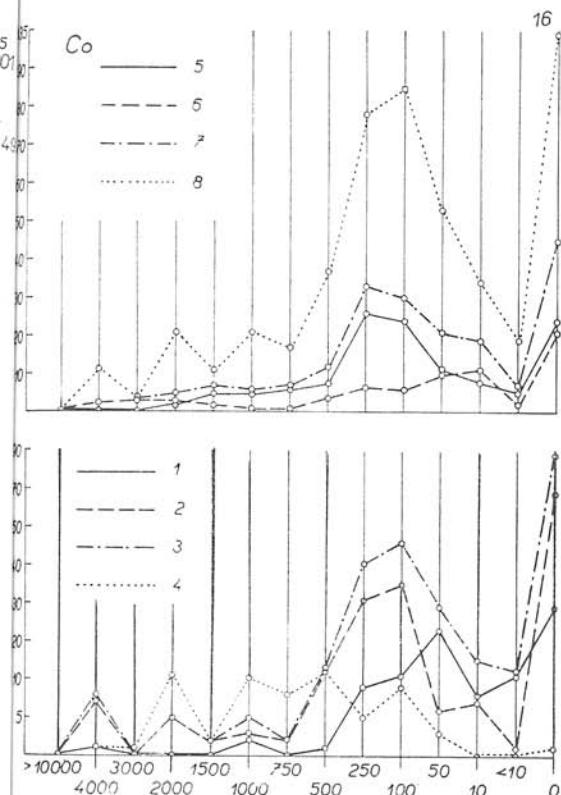


Abb. 16. Schaubild der Co-Gehalte in, nach Konzentrationsgruppen eingeteilten Pyrrhotinen. Erläuterungen: 1 — syngenetische metamorphisierte Pyrrhotine, 2 — syngenetische Pyrrhotine und solche mit problematischer Genese, 3 — 1 + 2 (sämtlich syngenetisch), 4 — liquid-magmatisch, 5 — hydrothermal und aus Skarnen der ČSSR, 6 — hydrothermal, ausländisch, 7 — hydrothermal, gesamt, 5 + 6, 8 — 3 + 4 + 7 (Pyrrhotine sämtlicher Genesetypen).

Abb. 17. Diagramm der Ni-Gehalte der in Konzentrationsgruppen geteilten Pyrrhotine. Erläuterungen, wie zu Abb. 16.

höheren Ni-Gehalt, erhalten bleibt. Dagegen stehen einander die Durchschnittswerte von Co und Ni der Pyrrhotine der Lagerstätten 10, 11 und 12, deren Genese problematisch ist, nahe. Andererseits wieder schwanken die Ti-, V- und Zn-Gehalte der Pyrrhotine der einzelnen Lagerstätten bedeutend. Der erstere Fall zeugt davon, dass Kupfer und Mangan wahrscheinlich, vom Standpunkt der Kristallchemie, ein stabileres Auftreten im Gitter des Pyrrhotins haben.

In diesem Abschnitt werden sowohl die summarischen Histogramme des Co und Ni aller Pyrrhotine der syngenetischen Lagerstätten (Abb. 11), als auch das summarische Histogramm des Co und Ni der Lagerstätten hydrothermalen Ursprungs (Abb. 12) angeführt. Die genannten summarischen Histogramme zeugen davon, dass bei beiden genetischen Pyrrhotintypen das Maximum der Frequenz an Co- und Ni-Gehalten in denselben Intervallen vorkommt was bedeutet, dass sowohl bei den syngenetischen, als

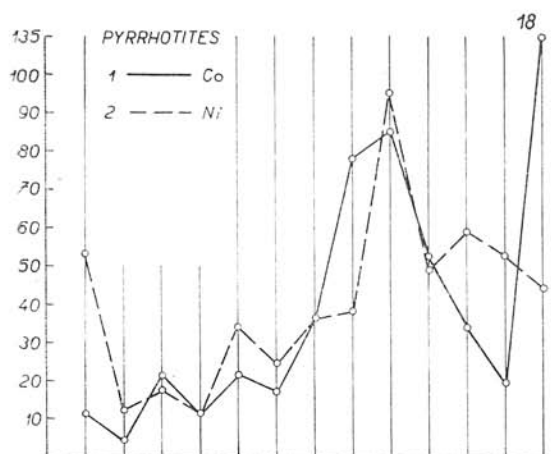
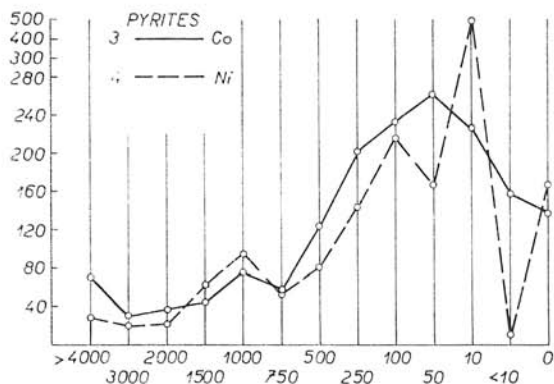


Abb. 18. Vergleichsdiagramm der Co- und Ni-Gehalte der in Konzentrationsgruppen geteilten Pyrrhotine und Pyrite. Erläuterungen: 1 — summarische Frequenzkurve des Co aller genetischen Typen des Pyrrhotins, 2 — summarische Frequenzkurve der Ni-Gehalte aller genetischen Typen des Pyrrhotins, 3 — summarische Frequenzkurve der Co-Gehalte aller Genesetypen der Pyrite, 4 — summarische Frequenzkurve der Ni-Gehalte der Pyrite aller Genesetypen.



auch bei den hydrothermal-epigenetischen, im allgemeinen die gleichen Gesetzmässigkeiten der Distribution von Co und Ni gelten (falls es sich bei beiden genetischen Gruppen um eine grosse Anzahl von Fällen einer grossen Anzahl verschiedener Lagerstätten handelt). Das Frequenzbild der Co- und Ni-Gehalte für syngenetische und hydrothermale Pyrrhotine hat aber umso mehr spezifischen Charakter, je mehr es sich um die Erforschung einer Lagerstätte anhand einer grossen Anzahl von Analysen handelt. Die summarischen Histogramme der Co- und Ni-Gehalte aus zahlreichen Lagerstätten zeigen, dass es zu einem Auslöschen der Unterschiede, welche zwischen sedimentogenen und hydrothermalen Pyrrhotintypen der einzelnen Lagerstätten bestehen, gekommen ist.

Auf Abb. 13 kann die Verteilung von Mangan, Molybdän, Kupfer, Vanadin, Zink und Titan in den drei genetischen Haupttypen der Pyrrhotine, nämlich des hydrothermalen (1), des syngenetisch-sedimentären (2) und des liquidmagmatischen Typs (3) verfolgt werden.

Aus den Frequenzkurven des Nickels auf Abb. 14 geht hervor, dass sich lediglich die Gehaltsfrequenz des Ni der liquidmagmatischen Pyrrhotine (Kurve 3) grundsätzlich

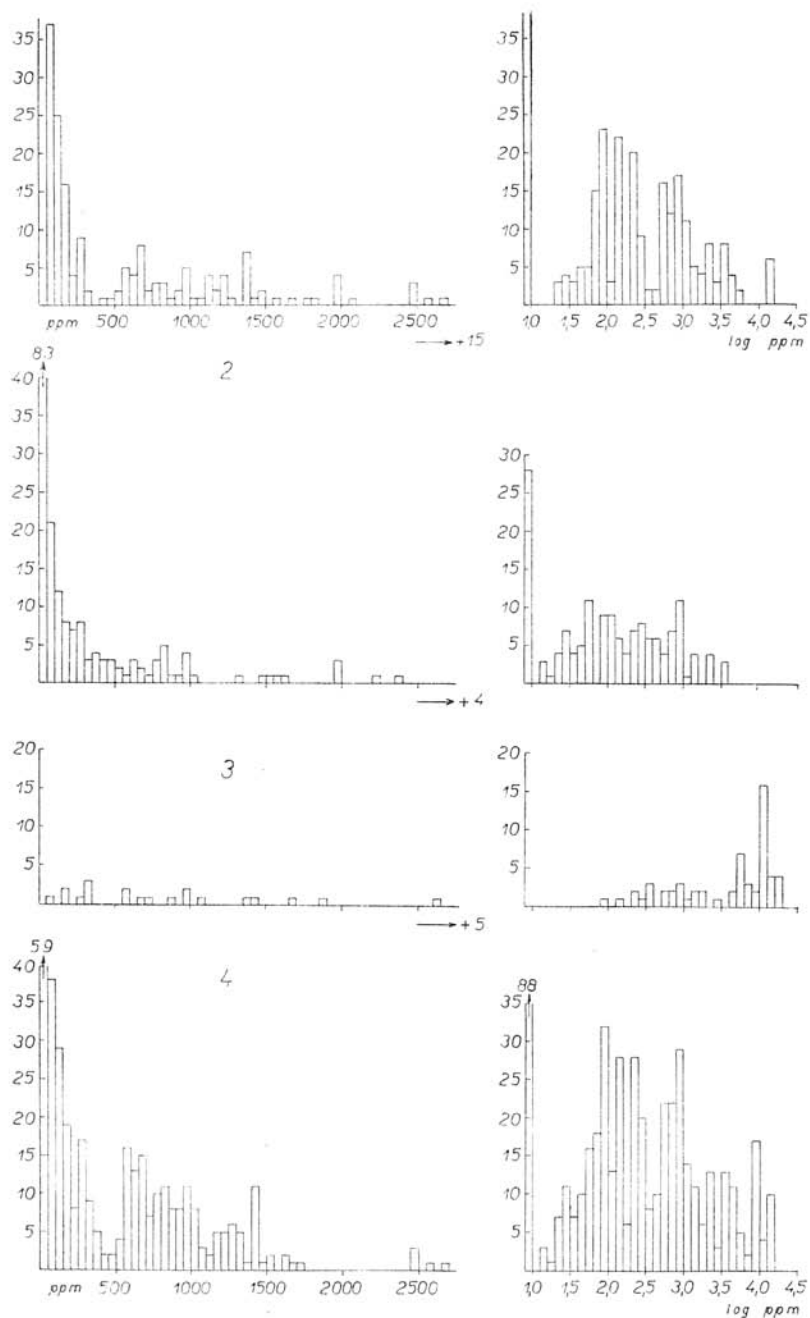


Abb. 19. Histogramm der Distribution des Ni in den Pyrrhotinen der einzelnen genetischen Grundtypen, konstruiert auf linearer und logarithmischer Basis: 1 — syngenetische Pyrrhotine, 2 — hydrothermale Pyrrhotine, 3 — liquidmagmatische Pyrrhotine, 4 — Pyrrhotine sämtlicher Genesetypen.

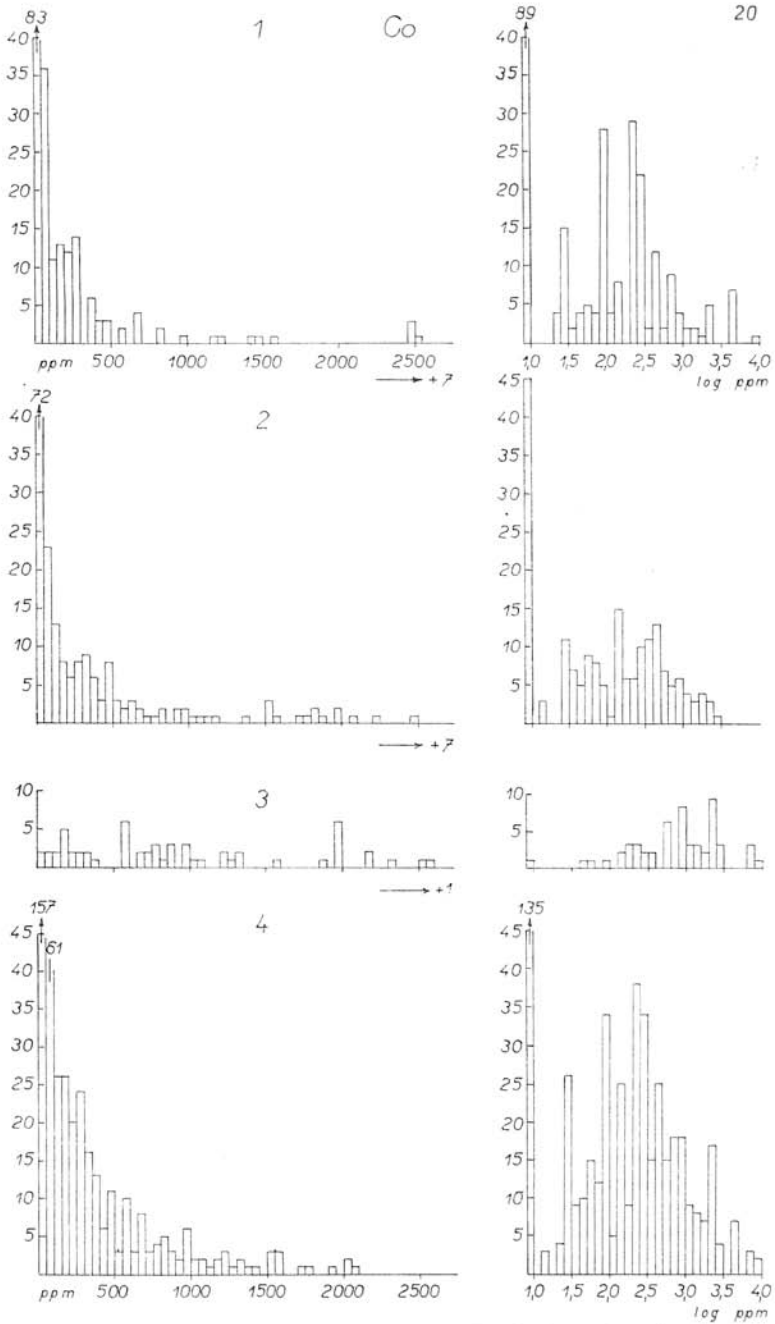


Abb. 20. Histogramm der Distribution des Co in den Pyrrhotinen der einzelnen genetischen Grundtypen, konstruiert auf linearer und flogarithmischer Basis. Erläuterungen, wie zu Abb. 19.

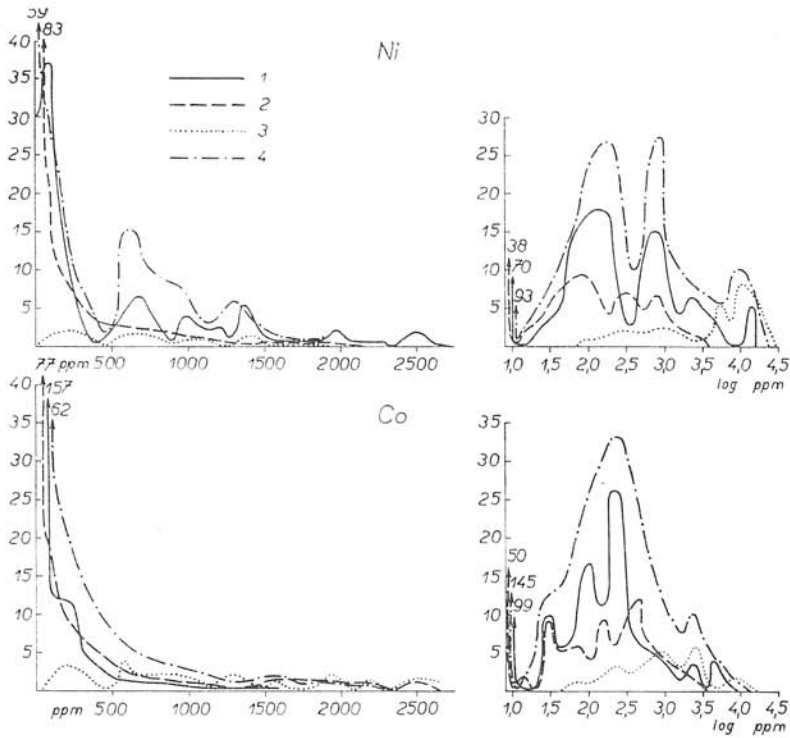


Abb. 21. Frequenzkurven der Distribution von Co und Ni in den Pyrrhotinen der genetischen Haupttypen. Die Kurven wurden durch Konturieren der auf linearer, bzw. logarithmischer Basis konstruierten Histogramme gewonnen. Erläuterungen: 1 — syngenetische Pyrrhotine, 2 — hydrothermale Pyrrhotine, 3 — liquidmagmatische Pyrrhotine, 4 — Pyrrhotine sämtlicher Genesetypen.

unterscheidet. Hier bewegt sich das Maximum der Fälle im Intervall zwischen 0,1 bis 1,0 ‰. Die summarischen Kurven aller sedimentären und aller hydrothermalen Pyrrhotine weisen drei Hochpunkte auf, und ihre Maximalfrequenzen sind im grossen und ganzen kongruent. Lediglich die Nebenhochpunkte der Frequenzkurve des Nickels der Pyrrhotine aus Skellefte haben eine separate Stellung. Beim Kobalt unterscheidet sich die Frequenzkurve der liquidmagmatischen Pyrrhotine dadurch, dass eine verhältnismässig hohe Anzahl von Fällen bei Werten zwischen 0,10 bis 0,12 ‰ vorkommt. Beim Kobalt lässt sich eine Kongruenz der Intervalle der maximalen Frequenz bei allen drei Pyrrhotintypen, und das im Intervall von 0,009 bis 0,05 ‰ feststellen. Verhältnismässig hoch ist die Anzahl der unter dem Limit liegenden Werte und Nullwerte, was beim Nickel in solchem Ausmass nicht geläufig ist.

Bei Betrachtung der Anzahl der unter dem Limit liegenden Werte und der Nullwerte kann konstantiert werden, dass für syngenetische Pyrrhotine eine hohe Anzahl von unter dem Limit liegenden und Nullfällen von Kobalt charakteristisch ist, während beim Nickel sozusagen gar keine solchen Fälle vorkommen. Diese Tatsache kann in erster Reihe als charakteristisches Zeichen für syngenetische Pyrrhotine betrachtet werden zumal, wie

bereits angeführt wurde, die maximalen Frequenzen der beiden Elemente in syngenetischen und hydrothermalen Pyrrhotinen in kongruenten Intervallen vorkommen.

Abb. 15 beinhaltet grundsätzlich einen Zusammenschluss der Frequenzkurven. Wenn auch, der hohen Anzahl an Kurven wegen, die Übersichtlichkeit gestört ist, so kann doch bequem verglichen werden, in welchen Intervallen die Maximas der einzelnen Frequenzen von Co und Ni bei allen genetischen Pyrrhotin- und Pyrittypen verlaufen. Die Abbildung bestätigt, dass die Haupthochpunkte der Frequenzkurven der Co- und Ni-Werte in Pyriten und Pyrrhotinen sich gegenseitig verdecken, und das im grössten Ausmass beim Kobalt und in geringerem beim Nickel. Am unterschiedlichsten ist die Frequenz der Co- und Ni-Gehalte in den Pyrrhotinen mit liquidmagmatischem Charakter, deren Kurve in Abb. 15 nicht eingetragen ist, da die Abbildung wegen Platzeinsparung Intervalle mit höheren Gehalten an Ni und Co nicht beinhaltet.

In Abb. 16 und 17 kann die Frequenz der Co- und Ni-Gehalte der genetischen Grundtypen der Pyrrhotine gut verglichen werden. Beachtenswert ist auch die Anzahl der unter dem Limit liegenden Fälle, sowie der Fälle mit Nullgehalten von Co und Ni, was auch für die einzelnen genetischen Typen charakteristisch ist. In Abb. 18 können die summarischen Frequenzkurven der Co- und Ni-Gehalte der Pyrrhotine, mit ähnlichen Kurven der Pyrite verglichen werden. Es ist deutlich zu erkennen, dass gegenüber den Ni-Gehalten in den Pyrrhotinen, sich das Maximum der Frequenz des Ni in den Pyriten,

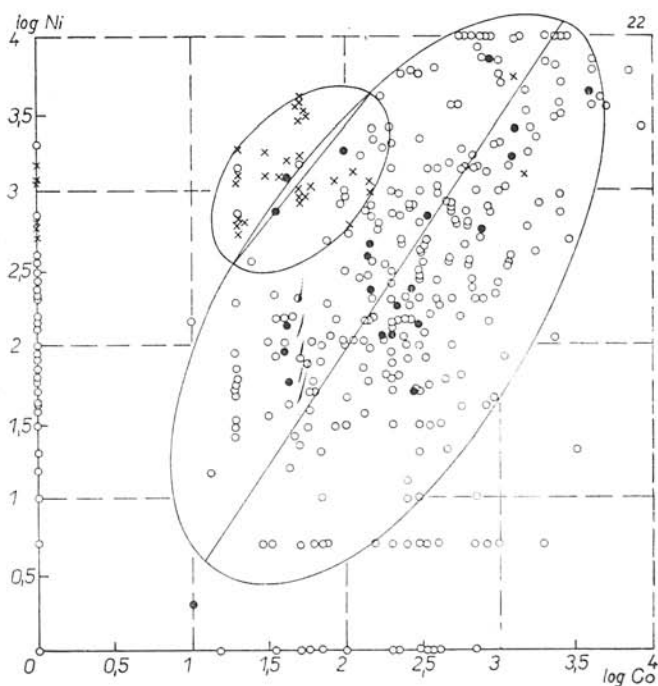


Abb. 22. Korrelationsdiagramm der Ni- und Co-Gehalte in Pyrrhotinen aller Genesetypen. Die schwarzen Punkte stellen die Korrelation der Durchschnittswerte des Co und Ni der Pyrrhotine der einzelnen Lagerstätten dar.

um niedrigere Werte konzentriert. Die Kurve der maximalen Frequenz der Co-Gehalte in den Pyriten, hat gegenüber jener der Co-Werte der Pyrrhotine eine bedeutend breitere Basis.

Beim Studium der Gesetzmässigkeit der Distribution des Co und Ni in den genetischen Grundtypen der Pyrrhotine und Pyrite (Abb. 19, 20, 21) (syngenetisch-sedimentär, liquidmagmatisch und hydrothermal-epigenetisch) ist ersichtlich, dass diese bloss in den Hauptgrundzügen ein einheitliches, aber in den Details ein unterschiedliches Bild der Distribution aufweisen.

Den Forschungen der Autoren zufolge, ist die hohe Metamorphose eine der Ursachen der ausnahmsweisen (normalen¹) Distribution von Co und Ni in den Pyriten und andeutungsmässig analog auch in den Pyrrhotinen. Diese hohe Metamorphose bewirkte eine nachträgliche Redistribution des Kobalts und Nickels und somit auch eine Veränderung der im ganzen ursprünglich lognormalen² Distribution dieser Elemente in eine normale. Am zweckmässigsten ist die Unterschiedlichkeit in der Distribution zwischen den Co- und Ni-Gehalten bei den syngenetischen und den hydrothermal-epigenetischen Pyrrhotinen vergleichbar, was in Abb. 19, 20, aber vor allem in Abb. 21 veranschaulicht ist. Hier ist ersichtlich, dass die syngenetischen Pyrrhotine (Kurve 1) gerade infolge der unterschiedlichen Stufe und des Typs der Metamorphose eine kompliziertere Distribution, welche eine Kombination der verschiedenen metamorphen Einflüsse auf die primären Erze ausdrückt, haben. Weiters ist aus den Abbildungen

23

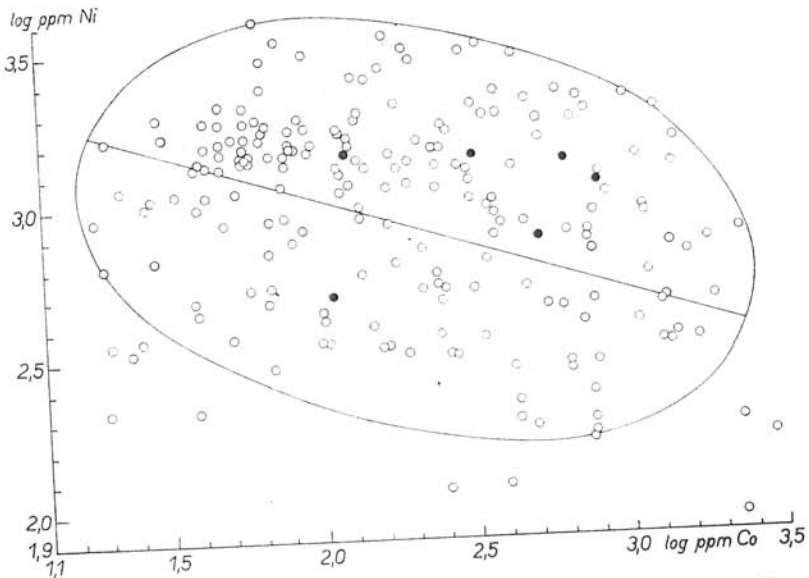


Abb. 23. Korrelationsdiagramm der Ni- und Co-Gehalte in Pyriten aus allen Erztypen der Kleinen Karpaten. Die schwarzen Punkte stellen die Korrelation der Durchschnittswerte von Co und Ni der Pyrite der einzelnen Erztypen dar.

¹ In mathematisch-statistischem Sinne.

² Im Sinne von L. H. Ahrens (1954) ist die Distribution der analytischen Werte dann lognormal, wenn die Distribution der Logarithmen dieser analytischen Werte normal ist.

ersichtlich, dass die lognormale Distribution von Co und Ni, in den hydrothermalen Pyrrhotinen deutlicher ist.

Es zeigte sich, dass die Korrelationsdiagramme der Co- und Ni-Gehalte der einzelnen genetischen Pyrittypen oder der Pyrite der einzelnen Lagerstätten (Abb. 22, 23, 24), diagnostische Bedeutung haben können und die Pyrite aus den Lagerstätten der einzelnen genetischen Pyrittypen oder den einzelnen Gebieten, charakterisieren.

Die Neigung der Ellipse bei den metamorphierten Pyriten (Abb. 23), hängt von der Intensität der Metamorphose ab und wird dadurch verursacht, dass die Metamorphose

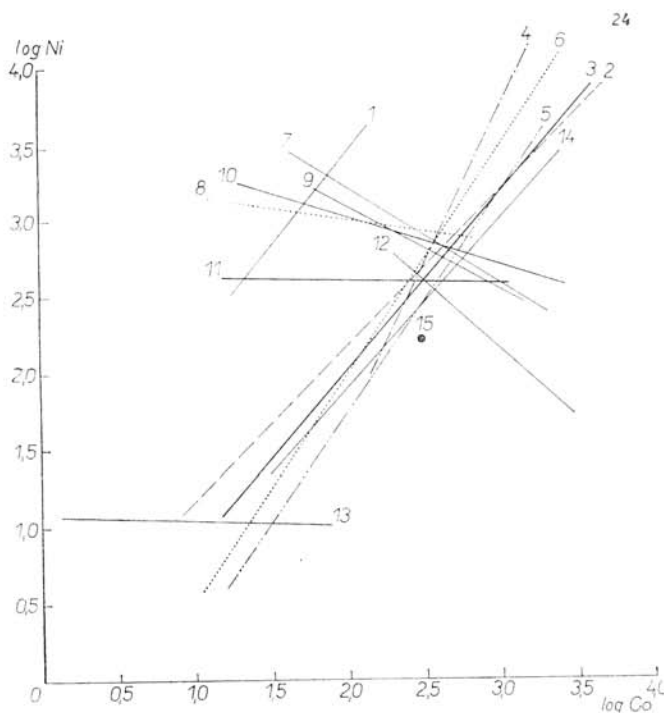


Abb. 24. Vergleichsgeradendiagramm der Korrelationen der Ni- und Co-Gehalte in Pyrrhotinen und Pyriten. Die Geraden sind der Lage, Neigung und der Länge nach identisch mit den Achsen der elliptischen Flächen, in welchen die Korrelationspunkte des Ni und Co der einzelnen Lagerstätten und der Genesetypen der Lagerstätten von Pyrrhotinen und Pyriten konzentriert sind. Erläuterungen: 1 — Pyrrhotine der Kleinen Karpaten, 2 — metamorphierte syngenetische Pyrrhotine der tschechoslowakischen und ausländischen Lagerstätten, ohne die Kleinen Karpaten, 3 — syngenetische, mehr oder minder metamorphierte Pyrrhotine der CSSR und des Auslandes sowie Pyrrhotine problematischer Genese, 4 — liquidmagmatische und akzessorische Pyrrhotine, 5 — hydrothermale Pyrrhotine der CSSR und des Auslandes, 7 — hochmetamorphierte Pyrite der Kleinen Karpaten, 8 — geringmetamorphierte Pyrite der Kleinen Karpaten, 9 — Pyrite graphitischer Schiefer der Kleinen Karpaten, 10 — Pyrite aller Erztypen der Kleinen Karpaten, 11 — Pyrite der Kleinen Karpaten mit Impregnationscharakter, 12 — hochmetamorphierte Pyrite aus Hefpa, 13 — epimetamorphierte Pyrite aus Smolník und Mníšek, 14 — hydrothermale Pyrite der Westkarpaten, 15 — Pyrite der Lagerstätten Chvaletice und Zlaté Hory (veranschaulicht durch einen Punkt, der den Mittelpunkt einer Kreisfläche darstellt). Pyrite der Lagerstätten Chvaletice und Zlaté Hory.

in den Pyriten den Ni-Gehalt verringert, den Co-Gehalt dagegen erhöht. Deshalb ist im konkreten Fall der metamorphierten Pyrite aus dem Gebiet der Kleinen Karpaten und aus Hefpa der Verlauf und die Neigung der Ellipse von links nach rechts. Die Korrelationspunkte der Co- und Ni-Gehalte in den Pyrrhotinen aller genetischen Typen konzentrieren sich, zum Unterschied von den Pyriten, auf eine elliptische Fläche, welche eine Richtung und Neigung von links nach rechts aufweist (Abb. 22). Daraus geht hervor, dass bei Pyrrhotinen die Differenziertheit der Korrelationsdiagramme der Co- und Ni-Gehalte weden vom genetischen Typ der Pyrrhotine, noch so empfindlich wie bei den Pyriten von den Bedingungen der metamorphen Rekristallisation der Pyrrhotine, abhängig ist. Diese interessante Tatsache wird dadurch verursacht, dass mit der Metamorphose, bei den Pyrrhotinen mit dem Ansteigen des Nickelgehaltes, regelmässig auch der des Kobalts sich erhöht. Das Ansteigen der Ni-Gehalte ist aber steiler als das der Co-Gehalte. Bei den Pyrrhotinen beeinflusste die Metamorphose die Grundzüge der Korrelationsbeziehungen der Co- und Ni-Gehalte nicht in solchem Ausmass, selbst wenn es zu einem Ansteigen des Nickelgehaltes und teilweise auch zu jenem des Kobalts kam.

In Abb. 24 sind die Achsen der Ellipsen nicht nur der Pyrrhotine, sondern auch jene der Pyrite verzeichnet. Die Interpretation dieses Diagramms ist folgende: Neigung, Richtung, Länge und Lage der Linien innerhalb der gegebenen Koordinatenachsen, charakterisieren die Korrelationsbeziehung der Co- und Ni-Werte ausreichend. Diese Korrelationsbeziehung gilt für die einzelnen Genesetypen und für Pyrite und Pyrrhotine der einzelnen Lagerstätten und Lagerstättengruppen. Alle Geraden der Korrelation von Co und Ni in den Pyrrhotinen sind fast parallel und haben einen Neigungswinkel von annähernd 45 Grad. Während die Geraden aller Pyrrhotine einen Verlauf von rechts nach links mit steiler Neigung haben, haben die der Pyrite der metamorphierten syngenetischen Lagerstätten einen Verlauf von links nach rechts mit flacher Neigung.

Schlussfolgerung

Die von den Autoren durchgeführte geochemische Erforschung des Pyrits und des Pyrrhotins beweist, dass die Ergebnisse einer solchen, mit Erfolg bei der Lösung verschiedener metallogenetischer und genetischer Probleme von Lagerstätten des Pyrits und des Pyrrhotins, angewendet werden können. Beide Eisensulfide (sowohl der Pyrit, als auch der Pyrrhotin), sind für eine solche Forschung geeignet. Je nach Gleichmässigkeit der Co- und Ni-Gehalte, können syngenetisch-sedimentäre, bei denen die Gleichmässigkeit am höchsten ist, von hydrothermal-epigenetischen Vererzungen mit dem niedrigsten Grade der Gleichmässigkeit an Co- und Ni-Werten, unterschieden werden. Von hydrothermal-plutonogenen, können hydrothermal-subvulkanische genetische Typen der Vererzung, bei denen der Gleichmässigkeitsgrad mittlere Werte hat, unterschieden werden. Es lässt sich feststellen, ob die Vererzung der Metamorphose unterlag und bei hydrothermalen sekundären Versetzungen der primären Vererzungen, können die Bedingungen der Genese des letzten metallogenen Prozesses bestimmt werden. Bei diesen Studien ist eine richtige Klassifikation der Proben und der analytischen Angaben nach bestimmten Kriterien mit deren vollkommener Dokumentation (das in-Betracht-ziehen der Paragenese der Erze, des Charakters des umliegenden Gesteins, des Grades der Metamorphose und der geologisch-lagerstättischen Faktoren) entscheidend. Die Autoren sind davon überzeugt, dass die Glaubwürdigkeit der Schlussfolgerungen von der Anzahl der Analysen abhängig ist und dass zur Auswertung der analytischen Angaben in höchstem Ausmass die graphischen Veranschaulichungen der analytischen Werte genützt

werden müssen, zumal eine tabellarische Zusammenstellung der Daten gegenseitige Vergleiche, die zur Aufstellung von Schlussfolgerungen und zur Formulierung geltender Gesetzmässigkeiten unumgänglich notwendig sind, nicht ermöglicht.

Übersetzt von E. Walzel.

SCHRIFTTUM

- Ahrens L. H., 1954a: The lognormal distribution of the elements (A fundamental law of geochemistry and its subsidiary). *Geochim. et Cosmochim. Acta* 5. — Ahrens L. H., 1954b: The lognormal distribution of the elements II. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 6. — Ahrens L. H., 1957: Lognormal-type distributions III. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 11. — Ahrens L. H., 1963a: Lognormal-type distributions in igneous rocks IV. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 27. — Ahrens L. H., 1963b: Lognormal-type distributions in igneous rocks V. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 27. — Ahrens L. H., 1963c: Element distributions in igneous rocks VI. Negative skewness of SiO_2 and K. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 27. — Ahrens L. H., 1964: Element distributions in igneous rocks VII. A reconnaissance survey of the distribution of SiO_2 in granitic and basaltic rocks. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 28. — Ahrens L. H., 1966: Element distributions in specific igneous rocks VIII. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 30. — Arnold R. G., Coleman R. G., Fryklund V. C., 1962: Temperature of crystallization of pyrrhotite and sphalerite from the Highland-Surprise Mine, Coeur d'Alene district, Idaho. *Econ. geol.* 57, 8. — Auger P. E., 1941: Zoning and district variations of the minor elements in pyrite of Canadian gold deposits. *Econ. Geol.* 36. — Ault Wayne U., 1959: Isotopic fractionation of sulfur in geochemical processes. (in *Researches in geochemistry*: P. Abelson, Ed.) New York. — Barton P. B. Jr., 1959: The chemical environment of ore deposition and the problem of low-temperature ore transport. (in *Researches in geochemistry*: P. Abelson, Ed.) New York. — Cambel B., Jarkovský J., 1965a: Die Geochemie des Pyrits und ihre Verwertung beim Studium der Genese der Lagerstätten. Carpatho-Balkan Geol. Association, VII Congress, Sofia. — Cambel B., Jarkovský J., 1965b: Redkije elementy v pyritach kolčedannych mestoroždenij Zapadnych Karpat i vozmožnost ich ispol'zovanija pri rešeniji genetičeskich problem orudnenija. Problemy geochemii. Jubolej. sbor. posvjašč. semidesjatiletiju akad. A. P. Vinogradova, Moskva. — Cambel B., Jarkovský J., 1966a: The possibility of utilising of the nickel and cobalt in pyrites as indicators of ore genesis. *Geol. zborn. Slov. akad. vied* 17, 1, Bratislava. — Cambel B., Jarkovský J., 1966b: On the character of Cu and Zn distribution in pyrites. *Geol. zborn. Slov. akad. vied* 17, 2, Bratislava. — Cambel B., Jarkovský J., 1967: Geochemie der Pyrite einiger Lagerstätten der Tschechoslowakei. Bratislava. — Cambel B., Jarkovský J., 1967a: On the character of the distribution of manganese, vanadium, molybdenum and titanium in pyrites. *Geol. zborn. 18, 1*, Bratislava. — Cambel B., Jarkovský J., 1967b: Typen der Distribution von Kobalt, Nickel, Kupfer, Zink, Mangan, Vanadin, Molybdän und Titan in Pyriten. Carpatho-Balkan Geol. Assoc. VIII Congress, Reports, Mineralogy, Geochemistry, Absol. Age, Belgrade. — Durovič S., 1957: O lognormalnom rozdelení prvkov I (Rozdelenie koncentrácií Ni, Cu a Mn v helpianskom pyritine). *Geol. zborn. Slov. akad. vied* 8, 2, Bratislava. — Gavelin S., Gabrielson O., 1947: Spectrochemical investigation of sulfide minerals from ores of the Skellefte district. The significance of minor constituents for certain practical and theoretical problems of economic geology. *Sver. Geol. Undersökn. Ser. C* 491 Arsbok 41, 10. — Hawley J. E., Nichol I., 1961: Trace elements in pyrite, pyrrhotine and chalcopyrite of different ores. *Econ. Geol.* 56, 3, Lancaster. — Hegemann F., 1943: Die geochemische Bedeutung von Kobalt und Nickel im Pyrit. *Zeitschr. f. angew. Mineral.* 4. — Krumbein W. C., Graybill Franklin A., 1965: An introduction to statistical models in geology. New York—St. Luis—San Francisco—Toronto—London—Sydney. — Kullerud G., 1959: Sulfide systems as geological thermometers (in *Researches in geochemistry*: P. Abelson Ed. New York. — Rost F., 1940: Spektralanalytische Untersuchungen an sulfidischen Erzlagerstätten des ostbayerischen Grenzgebirges. *Zeitschr. f. angew. Mineralogie* 4, Berlin. — Shaw D. M., 1964: Interprétation géochimique des éléments en traces dans les roches cristallines. Paris. — Sarapov I. P., 1965: Primenenie matematičeskoj statistiki v geologii. Moskva. — Tolstoj

M. I. Ostafijčuk I. M., 1963: Nekotoryje zakonomernosti statističeskogo raspredelenija chimičeskich elementov v gornych porodach i ich ispozovanije dlja geochimičeskich celej. *Geochimija* 10, Moskva. — Vistelius A. B., 1960: The skew frequency distributions and the fundamental law of the geochemical processes. *Journ. of Geology* 68, 1.

Zur Veröffentlichung empfohlen von M. Koděra.

At the end of the year 1967 the monography by B. Cambel, J. Jarkovský: „Geochemie der Pyrite einiger Lagerstätten der Tschechoslowakei“ came out in the publishing house of the Slovak Academy of Science in Bratislava.

The book was published in German with extensive English resumé. The explanations to figures and plates are in two languages, German and English. The monography has 493 pages, 60 plates, 126 figures. In the supplement part there are 11 plates with photographs of electron microscopy of pyrites. A geological map of the Malé Karpaty Mts., with indicated deposits of this region is added. The work was published in 800 copies.

In the work the authors present the evaluation of about 900 original quantitative spectrochemical analyses of pyrites of various genetic types of deposits of CSSR. A part of the analyzed pyrites also comes from abroad. Besides Ni and Co quantitative analyses on the following microelements were performed: Au, Ti, Mn, Pb, As, Sb, Bi, Mo, Sn, V, Cu, Zn, Ag. In the evaluation also numerous analyses of F. Hegemann (1943), F. Rost (1940), H. Lange (1956) and others were taken into consideration. The authors came to the opinion that metallogenetic and genetic problems of deposits including pyrites might be successfully solved on the basis of geochemical study of pyrites. The authors also proved that the graphic evaluation of analytic data and statistical approach to using of facts are inevitable in the geochemical investigation of microelements in minerals. In the work also the fundamental features of the geology and metallogenesis of the West Carpathians are presented.

The main Chapters of the books given in the content of it are as follows:

1. Short survey of geology, metallogenesis and sources of raw materials of the West Carpathians, p. 1—45.
2. Employed methods of chemical and spectrochemical analyses and methods of minerals separation, p. 45—99.
3. Geochemistry of pyrite from deposits of the Malé Karpaty Mts., p. 99—183.
4. Geochemistry of syngenetic sedimentary pyrite from other deposits of CSSR, p. 183—281.
5. Pyrites of hydrothermal deposits (mainly of the West Carpathians), p. 281—317.
6. Other problems connected with the geochemistry of pyrite, p. 317—411.

Selenium in pyrites, clark values of microelements, the character of distribution of Ni and Co in pyrites, correlation diagrams of Ni and Co contents, the crystallochemical position of microelements in pyrites, microstructures and submicrostructures of pyrite according to electron microscopy. The importance of microhardness for the solution of genetic problems.

The work is of the character of complex geochemical investigation of pyrite, is original in methods and proves that detailed geochemical investigation can effectively contribute to the solution of significant geological and metallogenetic problems.

The authors B. Cambel, J. Jarkovský are preparing the new publication „Geochemistry of Pyrrhotite“.

This work is a contribution to the knowledge of another iron sulphide which is besides pyrite and chalcopyrite a frequent mineral in deposits of various genesis. The authors performed a similar analysis of pyrrhotite, using the experience and method which proved good in geochemical study of pyrite. They analyzed about 300 pyrrhotite samples of deposits from CSSR and abroad on the following elements: Ni, Co, Au, Ti, Mn, Sb, As, Pb, Bi, Mo, Sn, V, Cu, Zn. In the chapters of this work the authors also compared the results obtained in the investigation of the geochemistry of pyrite and pyrrhotite. All the comparison and conclusions are made on the basis of graphic material which is the presentation of the plates mentioned in the work. Graphs of Ni and Co contents, graphs of average values of microelements contents, histograms and frequency curves and graphs of correlation of microelements

were used. According to the methods mentioned by the authors also the essential part of analyses of pyrrhotites till now published in world literature is evaluated in the work (F. Hegemann 1943, F. Rost 1940, S. Gavelin, O. Gabrielson 1947, V. C. Fryklund, R. S. Harner 1955 etc.).

The authors performed investigation of pyrrhotite from the standpoint of differences in microelements contents in the individual genetic groups of pyrrhotite.

Similarly as it was the case in the investigation of pyrite also cobalt and nickel in pyrrhotite were proved to be diagnostic elements on the basis of which the genesis of pyrrhotite may be clarified and further metallogenetic problems may be solved. The same regularities of microelements distributions are therefore essentially valid for pyrrhotites as also for pyrites. These regularities are formulated in the work by B. Camel, J. Jarkovský from 1967 „Geochemie der Pyrite einiger Lagerstätten der Tschechoslovakei“.

The main chapters of the monography „Geochemistry of Pyrrhotite“ are as follows:

Geochemistry of pyrrhotite from syngenetic-sedimentary deposits or deposits of problematic genesis.

Geochemistry of hydrothermal pyrrhotite and of pyrrhotite of skarn origin.

Geochemistry of liquation pyrrhotite and of pyrrhotite of accessory origin.

Mutual comparison of the geochemistry of pyrrhotites of fundamental genetic types.

Mutual comparison of the geochemistry of pyrrhotite and pyrite on the basis of average contents of microelements and of frequency curves.

Clark contents of microelements in pyrrhotites of various genesis.

Regularities of the distribution of individual microelements in pyrrhotites and comparison of the results with the regularities of distribution in pyrites.

Correlation diagrams of cobalt and nickel.

The mentioned publication will come out in 1969 in English language, includes 33 plates and 89 figures. It signifies an important contribution to the development of the methods of investigation of microelements in sulphides and to the knowledge of the geochemistry of another sulphidic mineral of iron-pyrrhotite.