

# SBORNÍK NÁRODNÍHO MUZEA V PRAZE

ACTA MUSEI NATIONALIS PRAGAE

Volumen XXXIV B (1978), No. 2 - 4

REDAKTOR: JIŘÍ ČEJKA

---

VÁCLAV HEJL, FRANTIŠEK PECHAR, EDVIN PIVEC, DRAHOŠ RYKL, JAROMÍR ULRYCH  
Geologisches Institut der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften Prag

## STABILITÄT NATURLICHEN ALBITS IN HYDROTHERMALEM MEDIUM BEI 50 MPa UND 350 °C

Ein Tieftemperatur-Albit aus der Lokalität Rtišovice einer Zusammensetzung von  $Ab_{93,8} An_{5,5} Or_{0,7}$  wurde in einer hydrothermalen Einrichtung zersetzt. Die Zersetzungsbedingungen waren limitiert, und zwar durch die konstante Isotherme 350 °C und die Isobare 50 MPa. Zur Zersetzung wurden Lösungen verschiedener Zusammensetzung, mit vorwiegend alkalischer Reaktion, verwendet. Als Hauptprodukte der Umwandlung wurden Analcim und Thomsonit identifiziert, und zwar mit Ausnahme von Lösungen der  $K^{1+}$ -Verbindungen, wo als Umwandlungsprodukte K-Feldspate resp. Tetrakalsilit neben Mineralen des Thomsonit-Typs identifiziert wurden. Der Tieftemperatur-Albit als Ausgangsmaterial wurde fast gänzlich im Medium der starken Hydroxide RbOH und CsOH zersetzt; in anderen Lösungen wurde ein wesentlicher Teil des Ausgangsmaterials nicht verändert.

Aus den Ergebnissen des Experimentes kann konstantiert werden, dass die verwendeten hydrothermalen Lösungen bei der gegebenen Isotherme und Isobare zur Umwandlung des Albits unter Bildung neuer mineralischer Phasen führen.

### EINLEITUNG

Die Erforschung der Stabilität des Albits knüpft unmittelbar an die Erforschung des Prozesses der hydrothermalen Albitisierung in der Natur an, der nicht nur theoretisch, sondern auch praktisch von Bedeutung ist. In den letzten Jahren wurde nämlich die Verknüpfung des Prozesses der Albitisierung mit dem Auftreten von Uranerzbildung festgestellt. Die früher bekannten Vorkommen von Albititen (PALIVCOVÁ 1967, PIVEC 1973, 1975 u. a.) wurden so mögliche Indikatoren der Erzbildung. Von diesem Gesichtspunkt ermöglicht der Vergleich der mineralischen Paragenesen der albitisierten Gesteine mit den unter bekannten physikalischen und chemischen Bedingungen experimentell gewonnenen Produkten die Modellierung dieses Prozesses. Zur Untersuchung der Stabilität wurde Albit aus der klassischen Albititlokalität aus dem Bruch bei Rtišovice der Erzregion von Příbram verwendet.

Mit der Untersuchung der Stabilität der Feldspate befasste sich eine Reihe von Autoren seit der Mitte des verflorenen Jahrhunderts. Ihre Arbeiten waren unsystematisch, oder theoretischen Charakters, ohne tiefere Zusammenhänge und Korrelation mit erzbildenden Prozessen. Die moderne Instrumententechnik hat erst jetzt die Identifizierung praktisch aller Produkte der Zersetzung des Albits ermöglicht, die in kleiner Menge und häufig in mikroskopischen Abmessungen erscheinen.

In den vorliegenden Resultaten sind die Ergebnisse des Studiums der Stabilität des Albits unter den P—T—Bedingungen zusammengefasst, die den beim Studium des natürlichen Prozesses der Albitisierung in Rtišovice festgestellten Bedingungen nahe sind (PIVEC 1973). Vom Gesichtspunkt der Untersuchung der Stabilität des Albits war es deshalb erforderlich, bei der Modellierung des Zersetzungsprozesses den chemischen Charakter des Mediums zu ändern, d. i. das Verhältnis alkalischer Ionen zum Anion.

In nicht letzter Reihe haben die vorgelegten Ergebnisse der Untersuchung neben ihrer Bedeutung für die Erzauffindung im Hinblick auf die Entstehung von Zeolithen bei unseren Experimenten auch ihre Bedeutung für das Erkennen der Genese dieser Minerale. Die Zeolithe, wie es sich heute zeigt, finden eine wichtige Verwendung in der modernen Industrie als bedeutender Rohstoff, der durch ähnliche Prozesse erzeugt werden könnte.

#### AUSGANGSMATERIAL FÜR EXPERIMENTE

##### **Geologisch-petrographische Beschreibung der Lokalität des Albits**

Das Ausgangsmaterial für hydrothermale Experimente ist Albit aus dem Bruch bei Rtišovice (Bezirk Pířbram). Das Gestein aus diesem Bruch ist praktisch monomineralisch und wird in der Literatur als Albitit bezeichnet (PALIVCOVÁ 1967). Es enthält um 90 % Albit, in kleiner Menge Calcit, Chlorit und Akzessorien. In der technischen Praxis ist das Gestein als „Syenit von Smolotel“ bekannt.

Albitit ist ein Gestein, rötlich bis rosafarben, grobkörnig, stellenweise porphyrisch, evtl. „pseudomiarolitisch“. Albit bildet Körner unterschiedlicher Dimensionen, die den Charakter der ursprünglichen Minerale der Granitoide widerspiegeln, durch deren metasomatische Verdrängung er entstanden ist (z. B. Plagioklas-Lamellen, „Gitterbildung“ des Mikroklinus usw.). Albit kommt auch in Form gut begrenzter Kristalle (einer Grösse bis 2 mm) vor, die in „Pseudominerale“ wachsen.

Die Albitite wurden im mittelböhmischem Pluton als Produkt magmatischer Differenzierung angesehen (STEINACHER 1950, 1960 u. a.), aber die letzten Untersuchungen (PIVEC 1973, 1975) beständigten die Ansicht von M. PALIVCOVÁ (1967) über den hydrothermalen Ursprung dieser Gesteine. Die Forschungsarbeiten bewiesen, dass die Albite durch Natrium-Metamorphose der Granitoide entlang der Risse durch hydrothermale Lösungen mit einer Temperatur um 350 °C in der Nähe der Oberfläche entstanden sind.

##### **Physikalische Eigenschaften des Albits**

Aus dem Gestein abgetrennte Albite wurden optisch, röntgenometrisch und mittels der Methode der IR-Spektroskopie studiert.

Die optischen Eigenschaften wurden auf einem fünfsachsigen universellen Mikroskopisch gemessen, die Strukturuntersuchung wurde mit Hilfe einer Guinierschen Kammer vorgenommen, und die Vermerke der röntgenometrischen Reflexionen wurden auf dem Densitometer von Joyce und Loebel photometriert. Die gemessenen Reflexionen wurden nach dem von M. RIEDER und Z. WEIS modifizierten Programm von C. W. BURHAM (1962) mittels des Rechners IBM 370/135 verarbeitet. Die Ergebnisse der optischen und röntgenometrischen Daten sind in Tab. I zusammengefasst.

Tabelle I

## Röntgenometrische und optische Albitkonstanten (Albitit von Rtišovice)

$a_o$	=	0,803 (nm)	$2V_x$	=	79°
$b_o$	=	1,280 (nm)	$n$	=	1,5273
$c_o$	=	0,715 (nm)	$n$	=	1,5362
		=			91,83°
		=			116,89°
		=			87,07°
$V$	=	65,623 nm <sup>3</sup>			

Strahlung  $CuK_{\alpha}$ , als Innenstandard, natürliches, geglühtes  $CaF_2$

Die festgestellten optischen und röntgenometrischen Werte entsprechen, mit Berücksichtigung des Diagramms (2b) in der Arbeit von T. L. WRIGHT, D. B. STEWART (1968) und der Arbeit von H. V. BAUMBAUER et al. (1967), dem Tieftemperaturalbit. Die Ergebnisse der IR-spektroskopischen Methoden, ausgeführt mittels des Gitterspektrographen Perkin-Elmer, Typ 325, bestätigen diese Feststellung.

## Chemische Zusammensetzung des Albits

Die chemische Analyse des abgetrennten Albits wurde auf nassem Wege auf die übliche Weise durchgeführt, die im Geologischen Institut der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften verwendet wird. Die Analyse der reinen Ab-Phase im Rahmen eines Kornes erfolgte mit Hilfe der Elektron-Mikrosonde JXA 50A.

Die getrennte Fraktion des Albits wies die Zusammensetzung  $An_{06}$  auf, dagegen ergab eine Punktanalyse der reinen Phase die Zusammensetzung  $An_{01}$ . Diese Werte weichen nur wenig von der Angabe  $An_{03}$  ab, die in der Arbeit von A. DUDEK, F. FEDIUK (1956 a, b) angeführt ist, und dokumentieren, dass es sich um einen sehr reinen Albit handelt, der eine minimale Beimischung der Or- und An-Komponente enthält. Ein höherer Gehalt von CaO in der abgetrennten Fraktion wurde durch eine Beimischung von Calcit auf den Sprüngen der Mineralkörner verursacht, die durch die Trennungsmethode nicht zu beiseitigen war. Die Ergebnisse der chemischen Analysen sind in Tab. II zusammengefasst.

Tabelle II

## Chemische Albitanalyse (Albitit von Rtišovice)

	1	2		1'	2'
$SiO_2$	64,28	66,54	Si	11,743	11,743
$TiO_2$	0,06	—	Ti	0,006	—
$Al_2O_3$	19,48	20,21	Al	4,191	4,200
$Fe_2O_3$	0,37	—	$Fe^{3+}$	0,059	—
FeO	0,00	—	$Fe^{2+}$	—	—
MnO	0,08	—	Mn	0,009	—
MgO	0,25	—	Mg	0,066	—
CaO	2,45	0,31	Ca	0,208	0,054
BaO	0,20	—	Ba	0,012	—
$Na_2O$	10,09	10,96	Na	3,572	3,744
$P_2O_5$	0,01	—	K	0,016	0,017
$K_2O$	0,73	0,08	Ab	93,8	98,1
$CO_2$	1,41	—	An	5,5	1,4
	99,41	99,06	Or	0,7	0,5

(1) Chemische Analyse auf nassem Wege (Chemisches Labor. der Geologischen Institute ČSAV — Analysierten F. Chaluš, L. Minařík, I. Hrejsová)

(1') Umgerechnete chemische Analyse auf 32°

(2) Chemische Analyse mittels Elektron-mikrosonde JEOL (Analysierte A. Langrová)

(2') Umgerechnete Analyse auf 32°

### Experimentale Einrichtung und Bedingungen der Zersetzung

Die hydrothermalen Versuche wurden in Autoklaven aus nichtrostendem austenitischem Stahl ausgeführt. Die Abdichtung der Autoklaven wurde mit Hilfe eines modifizierten Bridgman-Verschlusses erzielt. Die geometrischen Charakteristiken waren die folgenden: Bohrung 20 mm, Volumen 20–40 cm<sup>3</sup>. Die Beschreibung der Apparatur wurde in der Arbeit von M. TAJOVSKÝ, D. RYKL (1965) veröffentlicht.

Für die eigentlichen Versuche wurden 2,5 g zerkleinerten und aussortierter Albit der Fraktion (+0,25–0,4 mm) eingewogen. Bei einer Dichte des Albits von 2620 kg/m<sup>3</sup> entspricht die eingewogene Menge 0,93 cm<sup>3</sup>. Um diesen Wert wurde der Arbeitsvolumen des Autoklaven vermindert. Da die Autoklaven ohne äussere Druckquelle arbeiteten, wurde der resultierende Druck durch eine Menge flüssiger Füllung erzielt, die auf Grund der thermodynamischen P–V–T–Beziehungen für reines Wasser bestimmt wurde. (Siehe KENNEDY 1950, JÜZA 1966, BURNHAM et al. 1969.)

Die Autoklaven wurden in einem Hochtemperatur-Thermostaten erhitzt, dessen Füllung aus einer Nitroso-Nitrat-Schmelze von anorganischen Natrium- und Kalisalzen bestand. Die Verwendbarkeit dieser Schmelze bewegt im Temperaturbereich von 160–500 °C. Die Erhitzung des Thermostaten wurde mit Hilfe einer elektrischen Widerstandsheizung gesichert. Der konstante Wert der gewählten Temperatur wurde mit einem Thyristorregler mit einer besseren Genauigkeit  $\pm 1$  °C aufrechterhalten. In der vorliegenden Serie von Versuchen wurde mit einer Temperatur von 350 °C und einem Druck von 50 MPa gearbeitet.

Die Autoklaven wurden nach Verschliessen in die temperierte Schmelze eingetaucht. Infolge des Einflusses des guten Wärmeüberganges zwischen Schmelze und Autoklav stabilisierte sich das Wärmegleichgewicht innerhalb des Autoklaven während cca 30 Min. Nach Ablauf einer gewählten Zeitspanne (336 Std.) wurden die Autoklaven aus der Schmelze herausgenommen und in kaltem Wasser schnell gekühlt, so dass sie in 5–7 Minuten die normale Temperatur aufwiesen. Nach ihrem Öffnen wurde das Reaktionsprodukt herausgenommen, mehrfach mit destilliertem Wasser dekantiert und vorsichtig getrocknet.

## BESCHREIBUNG DER ERHALTENEN PRODUKTE

### Albit

In allen Fällen unterliegt der ursprüngliche Albit einer Umwandlung. Durch Einwirkung der Hydroxide der Reihe LiOH, NaOH, KOH, RbOH, CsOH erfolgt eine sich verstärkende Zersetzung des Albits mit steigender Alkalität des Hydroxids. Eine fast völlige Umwandlung — Analcimisierung erfolgt durch die Wirkung von RbOH und CsOH. Die Wirkung von Lösungen der Carbonate, saurer Carbonate, Sulfite und der Fluoride der Alkalimetalle führt zu einer mittelstarken Zersetzung. Die schwächsten Zersetzungswirkungen haben Lösungen von Alkalimetallen. Die Umwandlung erfolgt von den Rändern und je nach der Spaltbarkeit der Körner (Taf. 1, Taf. II), durch Anätzen und Mattieren der Spaltflächen, Entfärbung, d. i. Verlust der roten Färbung, Zerbröckelung und Umwandlung des Albits in neugebildete Phasen. Der Grad der Entfärbung ist in vielen Fällen nicht proportional der Intensität der Zersetzung. Durch Entfärbung nimmt scheinbar die Doppelbrechung bei den Rändern des Albits zu. Durch Messung wurde jedoch festgestellt, dass die Doppelbrechung dagegen im ganzen vom ursprünglichen Wert 0,009 bis auf 0,004 sinkt und im Falle gänzlicher Analcimisierung den Nullwert erreicht.

### Analcim

Von neugebildeten Mineralen ist Analcim das häufigste. Es entsteht in allen Typen der bei der Untersuchung verwendeten Mittel, mit Ausnahme

Tabelle III

## Überblick der entstehenden Mineralphasen bei der Albitzersetzung

Probe	12 0,75 N LiOH	9 1,0 N NaOH	13 1,0 N KOH	28 1,0 N RbOH	29 1,0 N CsOH	15 1,0 N Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	27 1,0 N NaHCO <sub>3</sub>	20 1,0 N K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	25 1,0 N KHCO <sub>3</sub>	52 1,0 N Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	24 0,75 N NaF	30 2,0 N NaCl	21 2,0 N KCl
Albit	+	+	+	*	*	+	+	+	+	+	+	+	+
Analcim	+	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-
Thomsonit	+	+	-	*	+*	+	+	+	+	+	+	+	+
Tetra- kalsilit	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
K-Feld- spat	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+

\* — nur im geringen Menge

des Kaliumkations. Im Fall eines kalihaltigen Mittels bildet sich Tetraalkalsilit, oder K-Feldspat, evtl. beide parallel. Im Fall der Mittel LiOH, RbOH und CsOH bilden sich die Li-, Rb- und Cs-Analoga des Analcims. Im Hinblick auf den Mangel an entsprechenden röntgenometrischen Daten wurde mit Sicherheit nur Rb-Analcim identifiziert (Tab. IV/2, die verbleibenden zwei können aus den systematischen Abweichungen des Diffraktionsbildes der Mineralstruktur des Typs des Analcims vorausgesetzt werden. In den studierten Mustern trat Analcim in zwei Formen auf. Einestells als klare Kristalle einer Grösse von 0,01—0,06 mm, durchschnittlich 0,1 mm gross. Von Kristallform wurde ein Deltoid-Ikositetraeder  $\{hkl\}$ , abgestumpft mit einem Würfel  $\{100\}$  beobachtet (Taf. III). Die Entwicklung ist häufig ungleichmässiger Ausbildung. Häufig sind seine Verwachsungen und Durchwachsungen der Individuen (Taf. V, Abb. 1), die Ausbildung einer zusammenhängenden Rinde und von Ansätzen, die aus rosettenartigen Individuen des Analcims zusammengesetzt sind (Taf. V, Abb. 2). Orientierungsmässig gemessene Berechnungsindexe ergaben den übereinstimmenden Werten = 1,488. Bei an Kristallrändern weisen die Analcime häufig eine schwache Anisotropie auf. Eine zweite Form des Auftretens eine gänzliche Analcimisierung des Albits in eine isotrope anomal graue Masse von Rb- bzw. Cs-Analcim. Daneben tritt aber neugebildeter Analcim in diesen Mustern auf, und zwar in Form klarer Kristalle, die auf der Muttersubstanz sitzen.

### **Thomsonit**

Thomsonit wurde in allen studierten Mustern festgestellt, mit Ausnahme der Medien mit KOH (Tab. IV/2, IV/3). Er bildet farblose Nadeln einer Grösse von 0,001—0,3 mm, durchschnittlich einer Länge um 0,1 mm (Taf. VI, Abb. 1, 2). Die kleinsten und am wenigsten häufig traten sie im Medium der Zersetzung mit starken Hydroxiden auf (RbOH, CsOH). Da die Thomsonitkristalle die Individuen des Analcims durchwachsen, kann man sie als Mineralphase betrachten, die früher zu kristallisieren beginnt als Analcim. Die Individuen des Thomsonits sind ungleichmässig ausgebildet (Taf. VII, Abb. 1) und bilden auch fächerartige Aggregate. Es wurde auch eine terminale Beendigung des Thomsonits durch pyramidale Flächen beobachtet (Taf. VII, Abb. 2). In absoluter Mehrheit der Fälle wurde ein negativer Charakter der Zone festgestellt, nur in manchen Mustern wurde sporadisch ein positiver Charakter gefunden. Die Änderung des Charakters der Zone hängt mit der bekannten sich ändernden optischen Orientierung des Thomsonits zusammen. Bei den grössten Individuen des Thomsonits im Muster mit  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  wurde ein Brechungsindex  $n_\gamma = 1,545$  gemessen.

### **K — Feldspat**

Bei Zersetzung des Albits in verschiedenen Medien bei Verwendung von  $\text{K}^{1+}$  entstehen ungleichmässige metasomatische Gebilde des K-Feldspats im Albit, evtl. bildet der K-Feldspat eigene Individuen in Form kleiner auf dem Albit sitzender Kristalle (Taf. VIII, Abb. 1). Ferner wurde K-Feldspat in neugebildeten Rinden, die die Albitkörnern einhüllen, in Gesellschaft von Tetraalkalsilit festgestellt (Tab. IV/1).

Tabelle IV/1

Probe	Vz. 13				
	I/I <sub>0</sub>	Standard	I/I <sub>0</sub>	hkl	Mineral
6,573	2	6,57	2	110	K-Feldspat
4,359	10	4,35	12	002	tetrakalsilit
4,220	10	4,22	45	201	K-Feldspat
3,974	40	3,97	45	101	tetrakalsilit
3,793	30	3,80	20	130	K-Feldspat
3,473	15	3,47	12	112	K-Feldspat
3,330	50	3,33	15	220	K-Feldspat
3,233	60	3,24	100	040	K-Feldspat
3,197	—	—	—	—	—
3,123	100	3,12	100	102	tetrakalsilit
3,003	15	3,01	10	131	K-Feldspat
2,909	10	2,902	14	022	K-Feldspat
2,585	40	2,579	50	110	tetrakalsilit
2,481	—	—	—	—	—
2,172	20	2,175	18	004	tetrakalsilit
1,790	6	1,770	4	203	tetrakalsilit

Tabelle IV/2

Probe	Vz. 28				
	I/I <sub>0</sub>	Standard	I/I <sub>0</sub>	hkl	Mineral
3,807	10	3,80	8	222	thomsonit
3,633	80	3,63	60	321	Rb-analcim
3,600	80	3,51	65	132	thomsonit
3,397	100	3,39	100	400	Rb-analcim
3,017	20	2,964	10	131	albit
2,969	80	2,95	70	204	thomsonit
2,876	100	2,86	100	142	thomsonit + albit
2,779	4	2,787	2	022	albit
2,667	10	2,66	20	005	Rb-analcim
2,606	—	—	—	—	—
2,525	2	2,52	50	502	Rb-analcim
2,431	6	2,44	18	423	thomsonit
2,391	40	2,40	60	440	Rb-analcim
2,356	—	—	—	—	—
2,204	2	2,20	40	532	Rb-analcim
2,172	40	2,18	40	060	thomsonit
1,816	10	1,828	40	—	Rb-analcim
1,696	20	1,695	10	—	Rb-analcim
1,615	10	1,614	14	—	thomsonit

### Tetrakalsilit

Tetrakalsilit wurde in den Zersetzungsprodukten des Albits mit Kaliumhydroxid identifiziert (Tab. IV/1). Die Albitkörner sind mit einer zusammenhängenden Rinde neugebildeter Minerale mit ästchenartigen sintrovitischen Anwüchsen bedeckt. Die Rinde besteht aus kleinen Kriställchen des Tetrakalsilits einer Grösse von 0,001—0,01 mm (Taf. VIII, Abb. 2), im Durchschnitt um 0,005 mm. Kriställchen mit Anzeichen hexagonaler Querschnitte wurden völlig ausnahmsweise infolge schlechten Auskristal-

Tabelle IV/3

Probe	I/I <sub>0</sub>	Standard	I/I <sub>0</sub>	hkl	Mineral
6,385	2	6,39	20	001	albit
6,001	4	5,94	2	111	albit
5,308	100	5,37	6	112	thomsonit
5,155	—	—	—	—	—
4,854	30	4,85	40	220	analcim
4,646	2	4,64	90	220	analcim
4,360	2	4,38	30	212	thomsonit
3,988	2	4,03	16	201	albit
3,850	4	3,857	8	111	albit + thomsonit
3,667	12	3,663	16	130	albit
3,486	2	3,484	2	221	albit
3,243	4	3,24	5	411	analcim
3,204	100	3,196	100	002	albit
3,068	2	3,06	5	420	analcim
2,930	40	2,929	70	332	analcim
2,809	10	2,804	20	422	analcim
2,698	30	2,696	40	431	analcim
2,514	30	2,506	50	521	analcim
2,432	10	2,434	20	440	analcim
2,298	6	2,290	10	600	analcim
2,232	15	2,229	30	611	analcim
2,175	4	2,170	10	620	analcim
2,096	2	2,10	5	—	analcim
2,027	2	2,035	2	241	albit
1,902	25	1,906	30	640	analcim
1,873	8	1,876	8	263	thomsonit
1,829	10	1,822	10	064	thomsonit
1,783	—	—	—	—	—
1,749	40	1,744	50	732	analcim
1,715	20	1,713	40	800	analcim

lisierens, kleiner Grösse und ihrer kompletten Aggregation beobachtet (Photo 13b, b). Bei nicht oft vorkommenden, dick säulenförmigen Kristallen die auch zum Tetrakalsilit gehören, wurden eine niedrige Doppelbrechung und ein negativer Charakter der Zone festgestellt.

### DISKUSSION DER ERGEBNISSE

In der vorliegenden Arbeit wurden die folgenden Abhängigkeiten verfolgt:

- Einfluss des Kations des Alkalimetalls
- Einfluss der Alkalität des Medium für  $\text{Na}^{1+}$  und  $\text{K}^{1+}$
- Reduktions- und Fluoridmedium.

In den einzelnen Reihen können folgende Teilschlussfolgerungen abgeleitet werden:

a) Die Versuche wurden in allen Alkalihydroxiden ausgeführt, nämlich LiOH, NaOH, KOH, RbOH, CsOH.

In allen Fällen erfolgt ein Bleichen des natürlichen Albits und eine Umwandlung in eine neue Phase. Das Medium des schwächsten Hydroxi-

des — LiOH — verursacht eine quantitativ nur kleine Veränderung des Analcims und Thomsonits. NaOH ergibt gut kristallinen Analcim und Nadeln des Thomsonits, KOH liefert neben der Bildung von K-Feldspat Tetrakalsilit und ein Mineral des Thomsonit-Typs. Die letzten zwei der Alkalihydroxide zersetzen Albit in Rb- bzw. Cs-Analcim und nadelförmige Minerale des Thomsonit-Typs.

Man kann also konstatieren, dass unter den gegebenen P—T-Bedingungen in allen Fällen der Albit unter Bildung neuer Phasen zersetzt wird. In allen Fällen wurde Analcim identifiziert. Das zweite häufigste Mineral war Thomsonit. Im Fall von KOH erfolgte die Bildung von K-Feldspat bei gleichzeitigem Entstehen von Tetrakalsilit. Der Grad der Umwandlung des Albits stieg im Einklang mit der Alkalität des Hydroxides (mit steigender Atomzahl) im Sinne von  $\text{Li}^{1+} \rightarrow \text{Cs}^{1+}$ .

b) Einfluss der Alkalität des Mediums

In diesem Fall wurde die Alkalität des Medium nicht durch die Normalität des betreffenden Hydroxides geändert. Es wurde, bei Aufrechterhaltung gleicher Normalität, statt des reinen Hydroxides eine Lösung alkalischer  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  und schliesslich neutraler Salze  $\text{Cl}^-$  verwendet. Die Methode der Verminderung der Alkalität der Lösung (bei gleichzeitiger Veränderung des Anions) wurde also in folgender Reihe durchgeführt.



wo Me Na oder K bedeutet.

Die gewonnenen Erkenntnisse können im grossen und ganzen folgendermassen zusammengefasst werden:

- 1)  $\text{Na}^{1+}$ -Reihe: in allen Fällen wurden als Zersetzungsprodukte Analcim und Thomsonit in verschiedener Menge erhalten.
- 2)  $\text{K}^{1+}$ -Reihe: in allen Fällen erfolgte bei der Zersetzung von Albit die Bildung von K-Feldspat in verschiedener Menge. Neben K-Feldspat entstand bei Verwendung von  $\text{OH}^{1-}$  Tetrakalsilit, in anderen Fällen wiederum Thomsonit.

c) Das Reduktionsmittel in hydrothormaler Zersetzung wurde durch Verwendung von  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  als hydrothermale Medium erhalten. Da die genannte Verbindung in wässriger Lösung in die stark alkalisch reagierende  $\text{Na}^{1+}$ -Komponente und die schwach sauer reagierende  $\text{SO}_3^{2-}$ -Komponente dissoziiert ist, reagieren Lösungen normaler Sulfite alkalisch. Da gleichzeitig das  $\text{SO}_3^{2-}$ -Ion leicht infolge des Einflusses von  $\text{O}_2$  zu  $\text{SO}_4^{2-}$  oxidiert wird, wirken diese Lösungen auch stark reduzierend. Der Einfluss eines solchen reduzierenden Mediums wurde jedoch in keiner Weise erwiesen. Zur Geltung kam eher der alkalische Charakter der Lösung, denn das Ergebnis der Zersetzung waren wieder Analcim und Thomsonit.

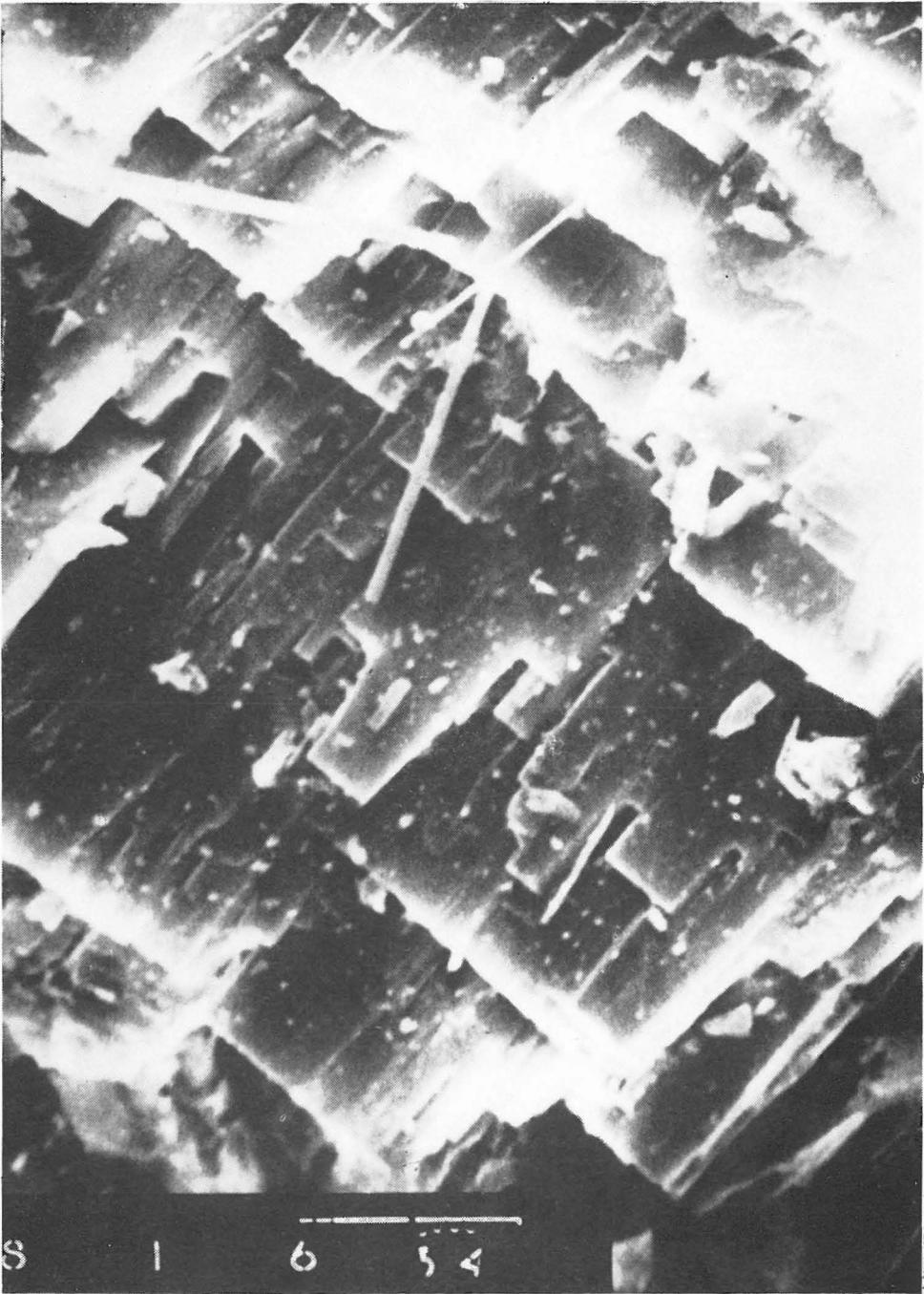
In natürlichen hydrothermalen Lösungen wurde auch die Gegenwart von  $\text{F}^{1-}$  nachgewiesen. Deshalb verwendeten wir orientierungsmässig zur Zersetzung von Albit NaF-Lösungen. Diese Lösung, analog wie eine Sulfitlösung, reagiert alkalisch. Auch in diesem Fall war das Produkt der hydrothermalen Umwandlung Analcim neben einem Mineral des Thomsonit-Typs.

Die mineralischen Paragenesen, die im Laboratorium durch Zersetzung des Albits erhalten werden, können den natürlichen Verhältnissen gleichgestellt werden. Die Verknüpfung natürlichen Albits mit Analcim auf den Sprüngen amphibolisch-biotitischen Granodiorits technischen Typs im mittelböhmischen Pluton beschreibt F. FEDIUK et al. (1960). Auf Grund der engen paragenetischen Verknüpfung dieser Minerale erklären die Autoren ihr Entstehen in der beitragenden Periode der Natriumionen bei den Prozessen der Albitisierung in den Abschlussphasen des postmagmatischen Prozesses der Entwicklung des Gesteins. Die Entstehung des Thomsonits in der Natur im Grundmaterial, in den Mendelsteinhohlräumen und Rissen des Pikrits und Těšinitis bei Dvůr Králové führt J. DOUBEK (1924) an. Die Entstehung des Thomsonits legt er wieder in die hydrothermale Phase und weist auch auf seine Verbindung mit dem neugebildeten Albit-Oligoklas hin. Die meisten Arbeiten, die sich mit dem Studium der Abhängigkeit des Entstehens der Zeolithe vom Mechanismus des Muttergesteins befassen, stammen aus der Region der Vulkanite des Böhmisches Mittelgebirges (J. E. HIBSCH 1934). In den meisten Fällen sehen die Autoren die Ursprungsquelle der Zeolithe in den Zersetzung der Feldspate, insbesondere der Natriumkalkreihe, evtl. des Glases usw.

Die Kristallisierung des Minerals der Thomsonit-Typs bei der Zersetzung des Albits in den durchgeführten Experimenten kann durch die Gegenwart eines höheren Gehaltes von Calcium ( $\text{CaO} = 2,45 \text{ Gew.} - \%$ ) im Albit-Ausgangsstoff erklärt werden. Die Quelle des nichtstöchiometrischen hohen Ca-Gehaltes im Albit (durch lokale Analys wurden  $0,31 \text{ Gew.} - \%$   $\text{CaO}$  festgestellt) ist in mikroskopischen Inklusionen des Calcits im Albit zu suchen. Im Falle einer Charge reinen Albits müsste statt eines Natronkalk-Thomsonits das reine Natronglied Natrolit entstehen.

Die Reihenfolge des Beginns der Kristallisation in der Reihe Thomsonit — Analcim entspricht dem „Gesetz“, das von F. CORN (1908) definiert wurde, wonach mit steigender Temperatur sich stufenweise niedrigere Hydrate zeolithischer Minerale bilden.

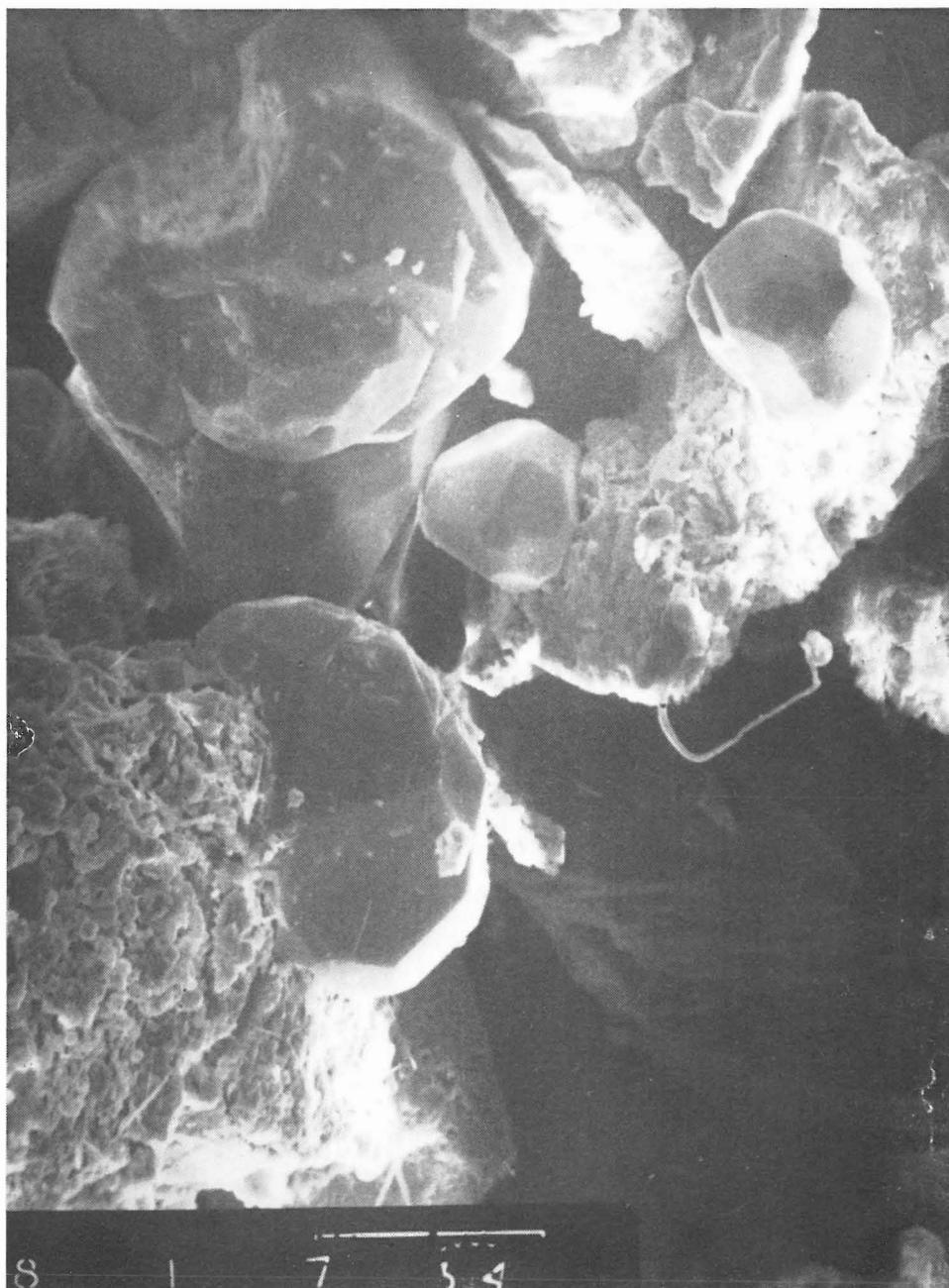
Taf. I



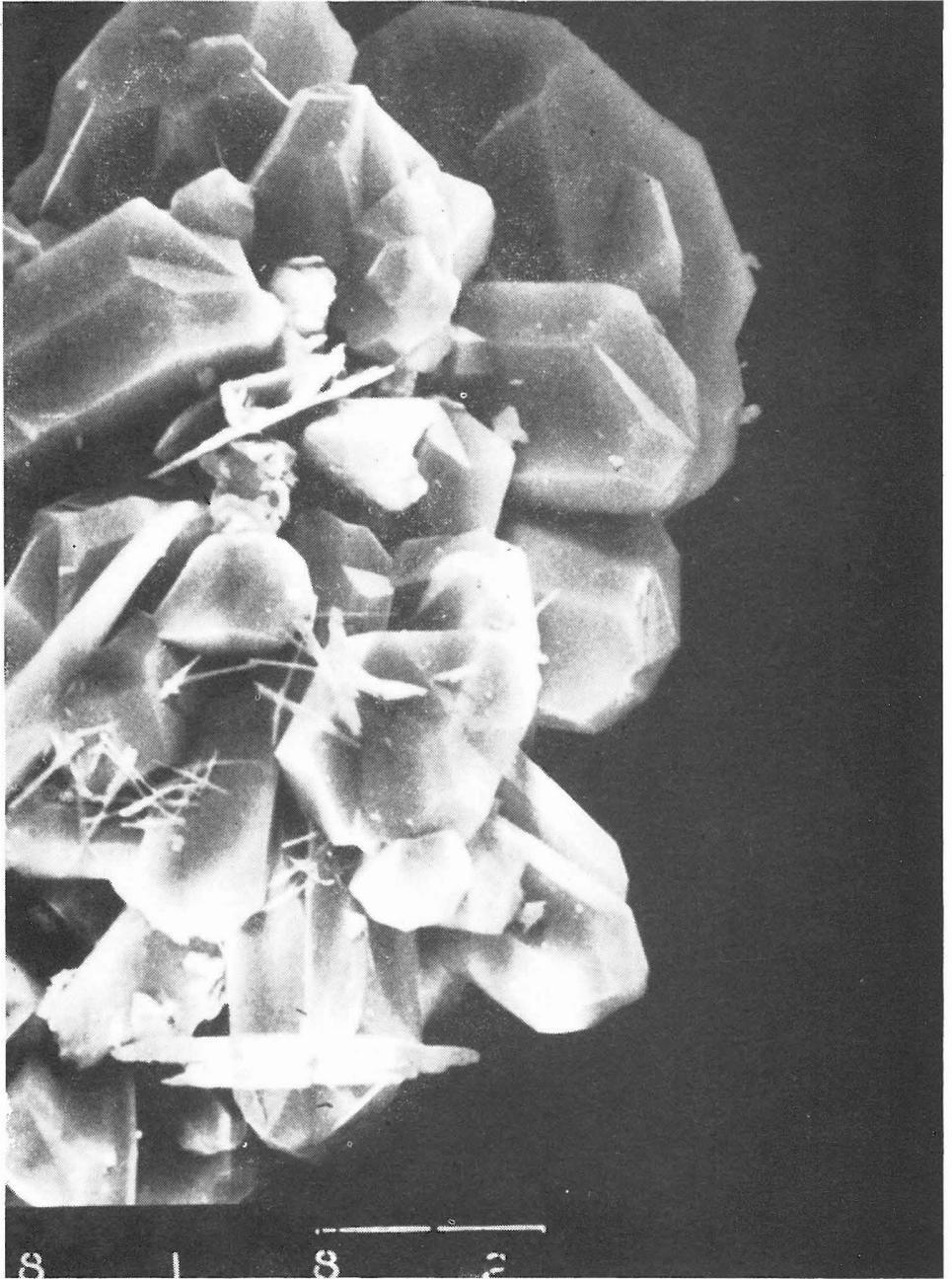
Taf. II



Taf. III

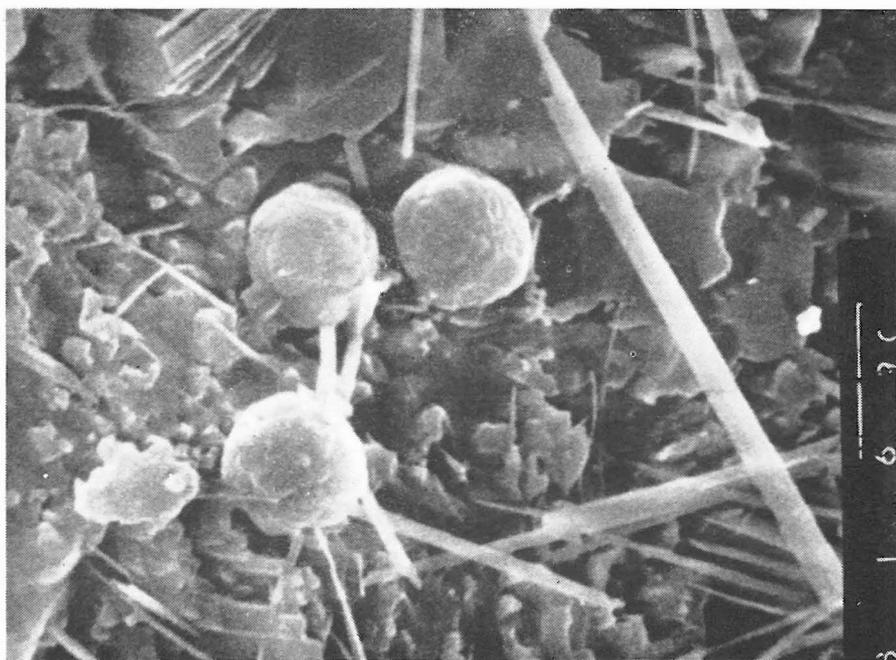


Taf. IV



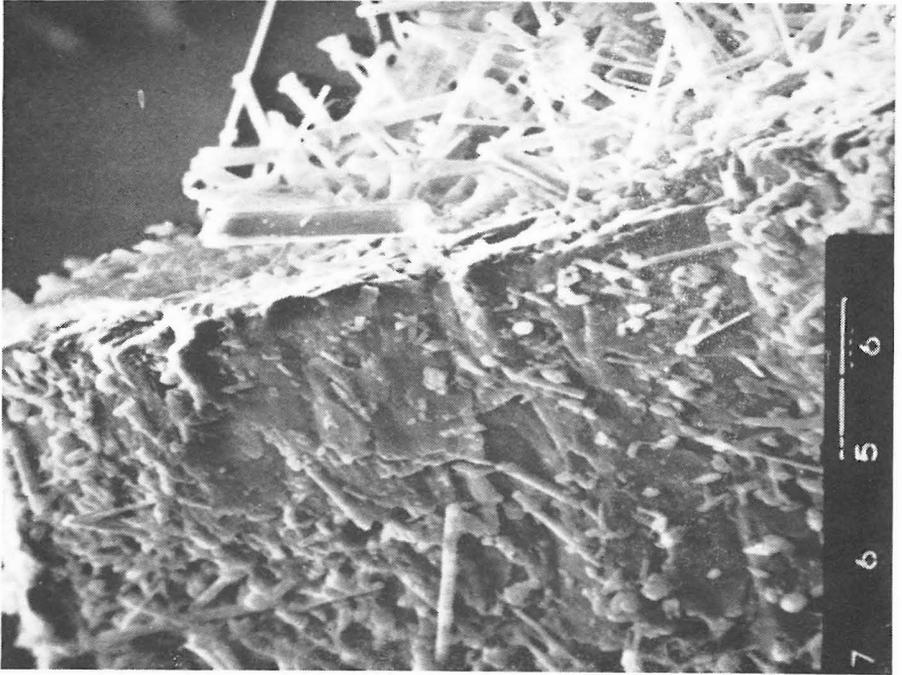


1

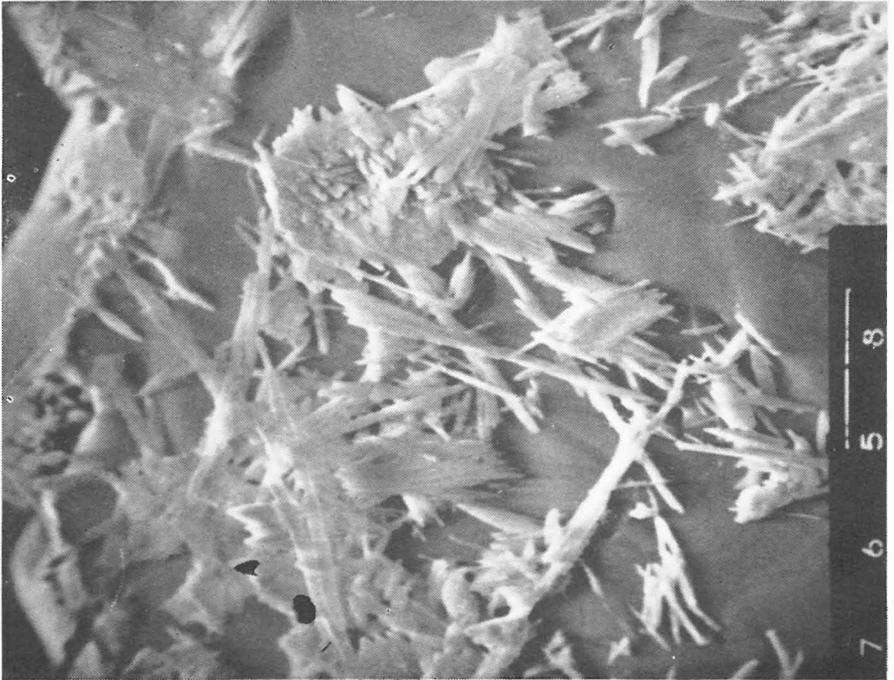


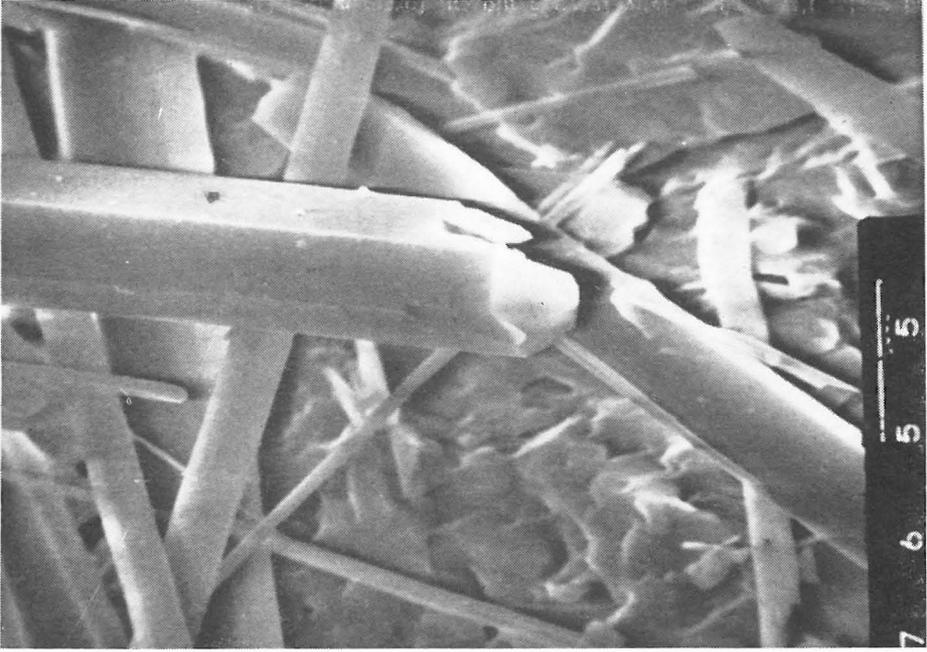
2

1

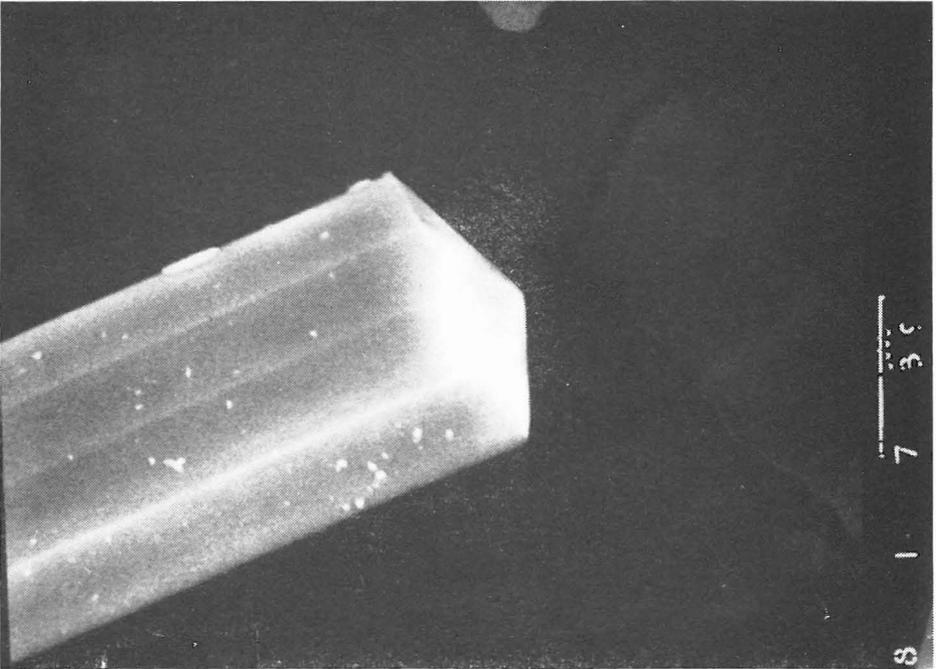


2



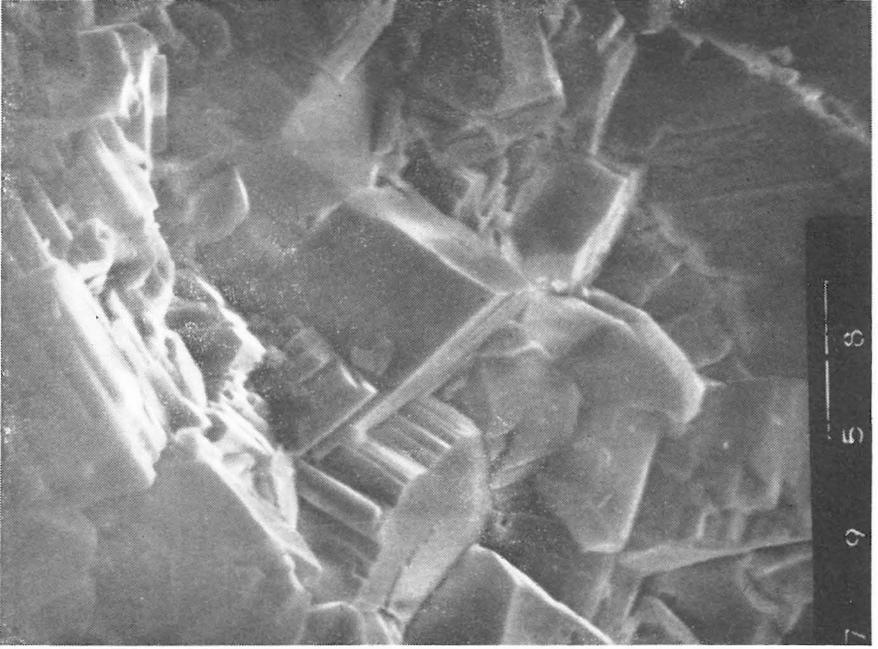


1

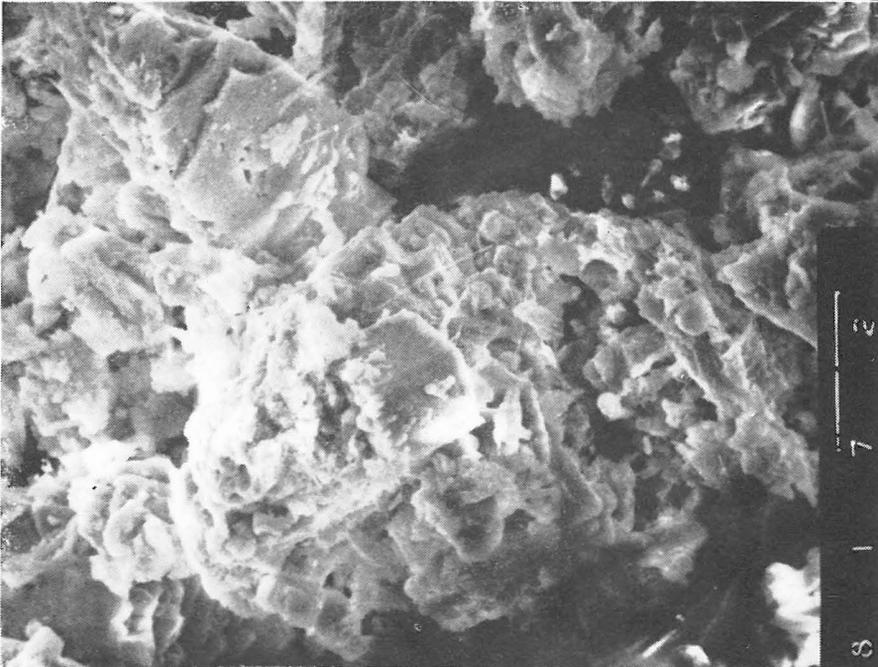


2

1



2



## TEXT ZU DEN TAFELN

### Taf. I.

Anätzen der Albitflächen, insbesondere gemäss der Spaltbarkeit, durch Einwirkung von 1,0 N  $K_2CO_3$ . Vergr. 6000×.

### Taf. II.

Schwache Zersetzungswirkungen auf Albit durch 2,0 N KCl. Vergr. 6000×.

### Taf. III.

Neugebildete Analcimkristalle mit den üblichen Kombinationen der Formen {hkl} und {100}, die durch Zersetzung von Albit bei Einwirkung von 0,75 N NaF entstanden sind. Vergr. 800×.

### Taf. IV.

Gruppe von verwachsenen und ungleichmässig entwickelten Individuen des Analcims an der Oberfläche des Albits mit dünnen Thomsonitnadeln. Die neugebildeten Minerale entstanden durch Zersetzung von Albit im Medium von 1,0 N  $Na_2SO_3$ . Vergr. 4000×.

### Taf. V.

#### Abb. 1

Durchwachungen von Analcimindividuen mit kleinen Thomsonitnadeln an der Oberfläche. Entstehungsbedingungen siehe Taf. III.

#### Abb. 2

Rosettenartige Analcimkristalle und Thomsonitnadeln, entstanden durch Zersetzung von Albit in 2,0 N NaCl. Vergr. 6000×.

### Taf. VI.

#### Abb. 1

Kruste unregelmässig angeordneter Thomsonitnadeln an einem Albitkorn, entstanden durch die Einwirkungen von 0,75 N LiOH auf Albit. Vergr. 1600×.

#### Abb. 2

Unregelmässige Nadeln und Aggregate des Thomsonits auf einer Spaltfläche des Albits, entstanden durch Zersetzung des Albits im Medium von 1,0 N NaOH. Vergr. 300×.

### Taf. VII.

#### Abb. 1

Detailaufnahme der prismatischen Zone der flach entwickelten Individuen des Thomsonits, entstanden durch Zersetzung des Albits bei Einwirkung von 1,0 N  $Na_2CO_3$ . Vergr. 4000×.

#### Abb. 2

Prismatische Zone und terminale Beendigung der Thomsonitkristalle durch pyramidale Flächen. Der Thomsonit entstand als Zersetzungsprodukt des Albits im Medium von 1,0 N  $NaHCO_3$ . Vergr. 4000×.

### Taf. VIII.

#### Abb. 1

Neugebildete Individuen des K-Feldspates auf Albit, durch dessen Zersetzung im Medium von 1,0 N  $KHCO_3$  sie entstanden sind. Vergr. 2000×.

#### Abb. 2

Zusammenhängende Rinde unregelmässiger Individuen des vorherrschenden Tetraalsilits, in kleinerem Masse auch des K-Feldspates auf Albit, der durch Wirkung von 1,0 N KOH zersetzt wurde. Vergr. 1000×.

Alle Aufnahmen wurden von Dr. K. Jurek, Dipl.-Ing. A. Langrová und M. Kozumplíková mit einer Elektronenmikrosonde JEOL JXA 50A durchgeführt.

## L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- BAUMBAUER, H. U., CORLETT, M., EBERHARD, E., VISWANATHAN, K. (1967): Diagrams for the Determination of Plagioclases using X-ray Powder Methods. — Schweiz. mineral. petrogr. Mitt., **47**, 333—349. Zürich.
- BURNHAM, C. W. (1962). Lattice constant refinement. — Carnegie institution of Washington Year Book, **61**, 132—135. Washington.
- BURNHAM, C. W., HOLLOWAY, J. R., DAVIS, N. F. (1969): Thermodynamic Properties of Water to 1000 °C and 10 000 bars. — Geol. soc. Amer., Spec. Paper.
- CORNU, F. (1908): Über die Paragenesis der Minerale, namentlich die der Zeolite. — Öster. Z. Berg. u. Hüttenswes., **56**, 89 pp. Wien.
- DUBEK, J. (1924): Vyvřeliny od Labské přehrady v lese Království u Král. Dvora. — Sbor. Stát. geol. Úst., odd. geol., **4**, 371—392. Praha.
- DUDEK, A., FEDIUK, F. (1956a): O syenitu od Smolotel. — Věst. Ústř. úst. geol., **31**, 146—150. Praha.
- DUDEK, A., FEDIUK, F. (1956b): Leukokvater Albitysyenit aus dem Mittelböhmischen Pluton. — Neu. Jb. Mineral., Mh., 233—236. Stuttgart.
- FEDIUK, F., NEUŽIL, J., PALIVCOVÁ, M. (1960): Poznámka ke genezi některých zeolitů ve stře-dočeském plutonu. — Čas. mineral. geol., **5**, 385—388. Praha.
- HIBSCH, J. E. (1934): Die Minerale des Böhmischen Mittelgebirges. — Verlag Gustav Fischer, Jena, 136 pp.
- JŮZA, J. (1966): An Equitation of State for Water and Steam. — Nakl. ČSAV Praha.
- KENNEDY, G. C. (1950): Pressure — Volume — Temperature Relations in Water at Elevated Temperatures and Pressures. — Amer. J. Sci., **248**, 540—564. New Haven.
- PALIVCOVÁ, M. (1967): Igneous-looking metasomatic hydrothermal albitites ("Syenite of Smolotel", Central Bohemian Pluton). — Sbor. Nár. Muz. v Praze, 23 B, 5, 125—148. Praha.
- PIVEC, E. (1973): Albitit z Drahu u Smolotel na Příbramsku. — Čas. mineral. geol., **18**, 289—295. Praha.
- PIVEC, E. (1975): Nové výskyty albititů na Příbramsku. — Čas. mineral. geol., **20**, 291—298. Praha.
- STEINOCHEK, V. (1950): Postavení některých hlubinných a žilných vyvřelin stře-dočeského plutonu v kvantitativním mineralogickém a chemickém systému P. Niggliho. — Sbor. Ústř. úst. geol., odd. geol., **17**, 241—288. Praha.
- STEINOCHEK, V. (1969): Látkové složení, provincionální charakter a petrogenese stře-dočeského plutonu. — Rozpr. Čs. Akad. Věd. Ř. mat. přír. Věd, **79**. Praha.
- TAJOVSKÝ, M., RYKL, D. (1965): Vysokotlaké autoklávy. — Sbor. VŠCHT, Miner. **7**, 177—212, Praha.
- WRIGHT, T. L., STEWART, D. B. (1968): X-ray and optical study of alkali feldspar. I. — Amer. Mineral., **53**, 38—87. Washington.

### VÁCLAV HEJL, FRANTIŠEK PECHAR, EDVÍN PIVEC, DRAHOŠ RYKL, JAROMÍR ULRYCH STABILITA PŘÍRODNÍHO ALBITU V HYDROTERMÁLNÍM PROSTŘEDÍ PŘI 50 MPa A 350 °C

Nízkoteplotní Albit z lokality Rtišovice o složení  $Ab_{93,8} An_{5,5} Or_{0,7}$  byl rozkládán v hydrotermálním zařízení. Podmínky rozkladu byly limitovány konstantní izotermou 50 MPa. K rozkladu byly použity roztoky různého složení, převážně alkalicky reagující. Jako hlavní produkty přeměny byly identifikovány analcím a thomsonit s výjimkou roztoků  $K^{1+}$  sloučenin, kde jako produkty přeměny byly identifikovány K-živce, respektive tetrakalsilit, vedle minerálů thomsonitového typu. Výchozí nízkoteplotní albit byl téměř zcela rozložen v prostředí silných hydroxidů RbOH a CsOH; v ostatních roztocích se podstatná část výchozího materiálu zachovala.

Z výsledků experimentu lze konstatovat, že použité hydrotermální roztoky za dané izotermy a izobary vedou k přeměně albitu za tvorby nových minerálních fází.