

# Minerogenetické (nerostotvorné) procesy

Procesy vedoucí ke vzniku minerálů můžeme rozdělit do 2 skupin:

- **Endogenní (hypogenní) nerostotvorné procesy**

Jsou spjaty s vnitřními geologickými silami.

Probíhají hlavně ve svrchním zemském plášti a zemské kůře

Do této skupiny patří především **magmatické, metamorfní a hydrotermální procesy**

- **Exogenní (hypergenní, supergenní) nerostotvorné procesy**

Jsou vyvolávány vnějšími geologickými silami a dochází k nim v přípovrchových částech zemské kůry, v kontaktu s hydrosférou a atmosférou.

Patří sem **procesy zvětrávání hornin a minerálů, transportu a sedimentace.**

# Magmatické procesy

- Vedou ke vzniku magmatických hornin

**Magmatický proces zahrnuje vznik magmatu natavením nebo roztavením pevných hornin, jeho výstup do svrchních částí zemské kůry (případně až na zemský povrch), jeho diferenciaci a krystalizaci.**

**Magma je přírodní, zpravidla silikátová tavenina**

Existují i magmata zcela odlišného chemického složení (karbonátové, sulfidické taveniny).

**Hlavními složkami magmatu jsou  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  a  $\text{K}_2\text{O}$ , rozpuštěná voda**

**Uvedené složky jsou základem většiny minerálů magmatických hornin (příklady)**

Table 14.1

AVERAGE CHEMICAL COMPOSITION OF SOME IGNEOUS ROCKS*	Nepheline							
	Oxide	syenite	Syenite	Granite	Tonalite	Diorite	Gabbro	Peridotite
$\text{SiO}_2$	54.83	59.41	72.08	66.15	51.86	48.36	43.54	40.16
$\text{TiO}_2$	0.39	0.83	0.37	0.62	1.50	1.32	0.81	0.20
$\text{Al}_2\text{O}_3$	22.63	17.12	13.86	15.56	16.40	16.84	3.99	0.84
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	1.56	2.19	0.86	1.36	2.73	2.55	2.51	1.88
$\text{FeO}$	3.45	2.83	1.67	3.42	6.97	7.92	9.84	11.87
$\text{MnO}$	trace	0.08	0.06	0.08	0.18	0.18	0.21	0.21
$\text{MgO}$	trace	2.02	0.52	1.94	6.12	8.06	34.02	43.16
$\text{CaO}$	1.94	4.06	1.33	4.65	8.40	11.07	3.46	0.75
$\text{Na}_2\text{O}$	10.63	3.92	3.08	3.90	3.36	2.26	0.56	0.31
$\text{K}_2\text{O}$	4.16	6.53	5.46	1.42	1.33	0.56	0.25	0.14
$\text{H}_2\text{O}$	0.18	0.63	0.53	0.69	0.80	0.64	0.76	0.44
$\text{P}_2\text{O}_5$	—	0.38	0.18	0.21	0.35	0.24	0.05	0.04
Total	99.77	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

\*All analyses except the nepheline syenite from Nockolds, S. R., 1954, *Geological Society of America Bulletin*, v. 65, pp. 1007–1032.

**V určitém množství je v magmatu přítomna plynná fáze :**

**H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, HCl, HF, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, CO, SO<sub>3</sub> a N<sub>2</sub> (tyto látky jsou zčásti absorbovány v kapalně fázi, zčásti jsou v ní chemicky vázány)**

**Magma může obsahovat do 10 % pevné fáze :**

- **minerály z počátečních stadií krystalizace magmatu**
- **relikty (zbytky) původních hornin, jejichž roztavením magma vzniklo**

**Asimilace – proces, při němž magma pohlcuje okolní horniny a rozpouští je v sobě**

*Př. Co se stane při pohlcení karbonátových hornin?*

**Procesy diferenciacce magmatu:**

- **frakční krystalizace**
- **gravitační**
- **filtrační**
- **var magmatu (oddělení plynné fáze)**

**Základní typy magmat (dle četnosti na povrchu zemské kůry):**

- **kyselé magma (granitové)**

obsah SiO<sub>2</sub> 65-75 i více %

hlavní minerály: K-živce, plagioklasy, křemen, slídy

- **bazické (bazaltové magma)**

obsah SiO<sub>2</sub> 45-55 %

hlavní minerály: plagioklasy, pyroxeny

- **magma intermediárního složení (andezitové magma)**

obsah SiO<sub>2</sub> 55-65 %

hlavní minerály: plagioklasy, pyroxeny, amfiboly, slídy

- **ultrabazické magma (peridotity)**

obsah SiO<sub>2</sub> 35-45 %

hlavní minerály: olivín,, pyroxeny

## Likvace

- rozdělení původně homogenní taveniny na dvě vzájemně nemísitelné taveniny (silikátovou a sulfidickou), při teplotě cca 1500 °C

Sulfidická tavenina díky vysoké hustotě klesá k bázi magmatického tělesa, poté při ochlazení krystalizují horninotvorné minerály a formují se horniny.

**Sulfidická tavenina tuhne až při nižší teplotě – ložní tělesa, pásy, kumulace.**

**Pyrrhotin, chalkopyrit, pentlandit.**

Může pod tlakem také vystupovat po tektonice do již utuhlých matečných hornin.

Příklady: Sudbury, Kanada



Pyrrhotin + chalkopyrit, Staré Ransko

## Krystalizace magmatu

- **počáteční krystalizace (akcesorické minerály) – zirkon, apatit, pyrop, almandin-spessartin, spinelidy, ilmenit, .....**

Ranně krystalující minerály s větší hustotou, krystalující z ultrabazických (peridotity) nebo bazických (gabra) magmat, se hromadí ve spodních partiích magmatického tělesa jako „**kumuláty**“.

**Hovoříme o gravitační krystalizační diferenciaci.**

- *chromit –chromspinelidy*
- *ilmenit (titanomagnetit)*
- *platinoidy (Pt + příměsi Ir, Os, Ru, Rh, Fe, Pd)*

Chromit a platinoidy jsou převážně koncentrovány v dunitech a peridotitech, mnohdy serpentinizovaných.

Chromit se zde nachází v páscích, šlírách a hrudkách, při menších koncentracích v jednotlivých zrnech.

*Př. Bushveldský komplex, Jižní Afrika*

- **hlavní krystalizace (Bowenovo reakční schéma – idealizace) – obr.**

**Olivín**

**Pyroxeny**

**Amfiboly**

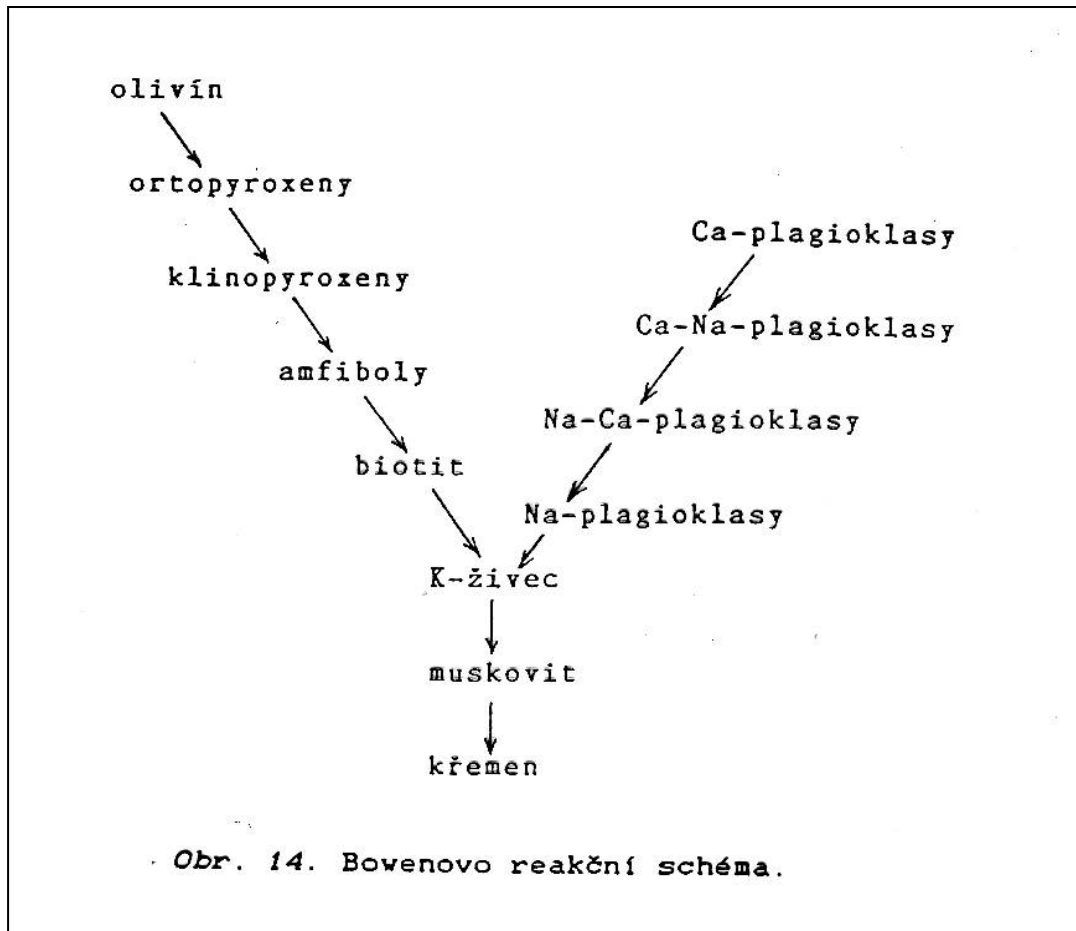
**Biotit**

**Plagioklasy**

**K-živec**

**Muskovit**

**Křemen**

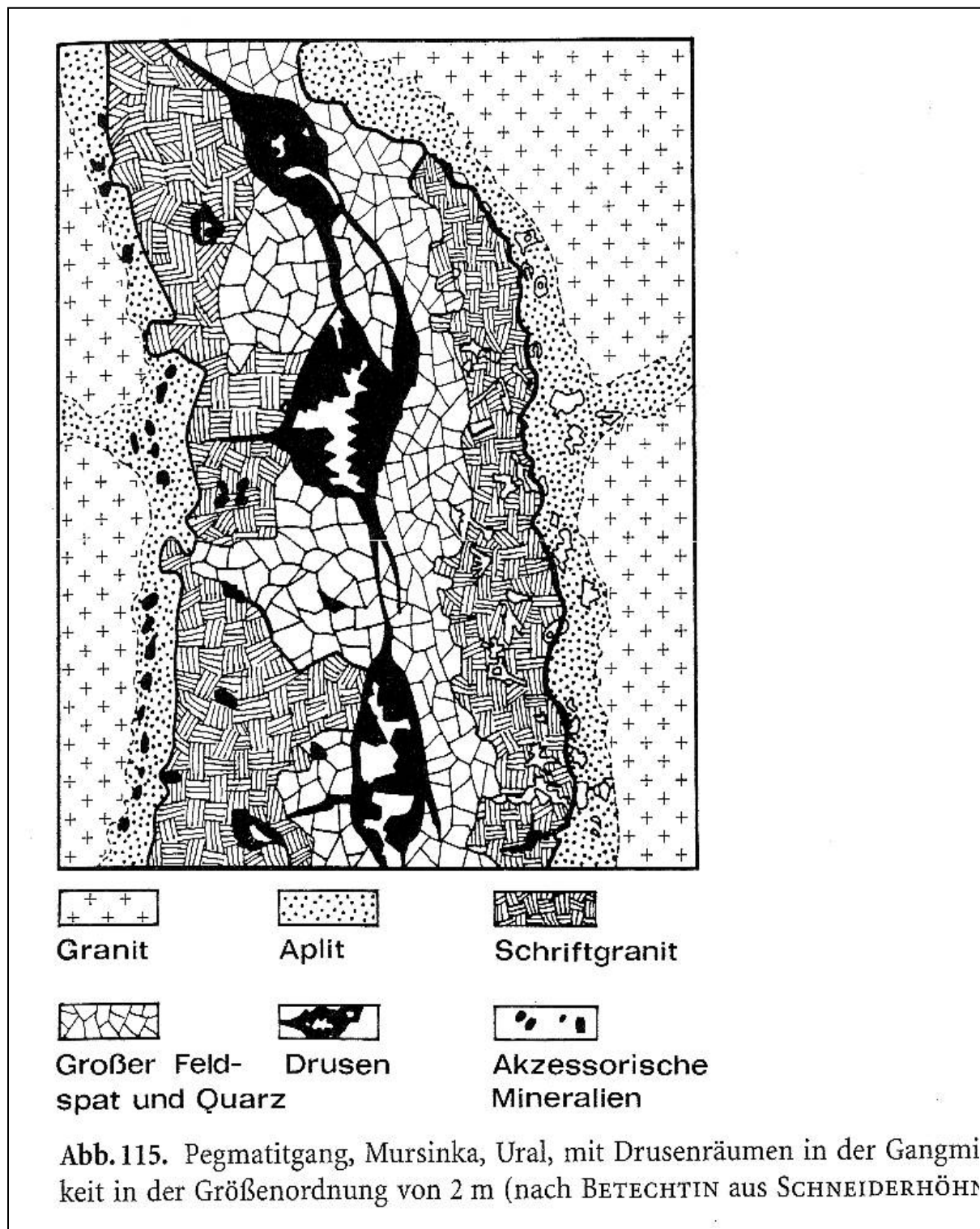


Produkty – horniny – viz. poznatky z Petrologie

## Recentní poznatky o krystalizaci magmatu

# Vznik pegmatitů

Přednáší Prof. Novák



# Vznik minerálů ze sopečných exhalací (postvulkanogenní mineralizace)

- *exhalační ložiska* -



Sulphur Mining at Kawah Ijen solfataru, Java

*fumaroly (100-800 °C)*

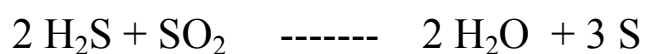
*solfataru (100-200 °C)*

Hlavní složky sopečných plynů: H<sub>2</sub>O (pára), HCl, NH<sub>4</sub>Cl, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> a CO<sub>2</sub>

Sopečné sublimáty (fumarolové nebo solfatarové) vznikají mimo sublimace:

- chemickými reakcemi mezi plynnými složkami exhalátů při jejich ochlazování
- chemickými reakcemi mezi složkami exhalátů a atmosferickým kyslíkem

*př: vznik ložiskových akumulací síry:*





Typické sublimáty: *salmiak* ( $NH_4Cl$ ), *sassolin* ( $H_3BO_3$ ), *halit*, *sylvín*, *thenardit* ( $Na_2SO_4$ )

- lokálně: hematit, magnetit, pyrit, realgar, auripigment, antimonit, cinnabarit

Minerály vznikající přeměnou vulkanických hornin interakcí s exhalacemi:  
sírany - *alunit*  $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ , *sádrovec*

Podobný charakter mají druhotné „mineralizace“ na  
**hořících haldách uhelných dolů**



Centralia, Pensylvánie

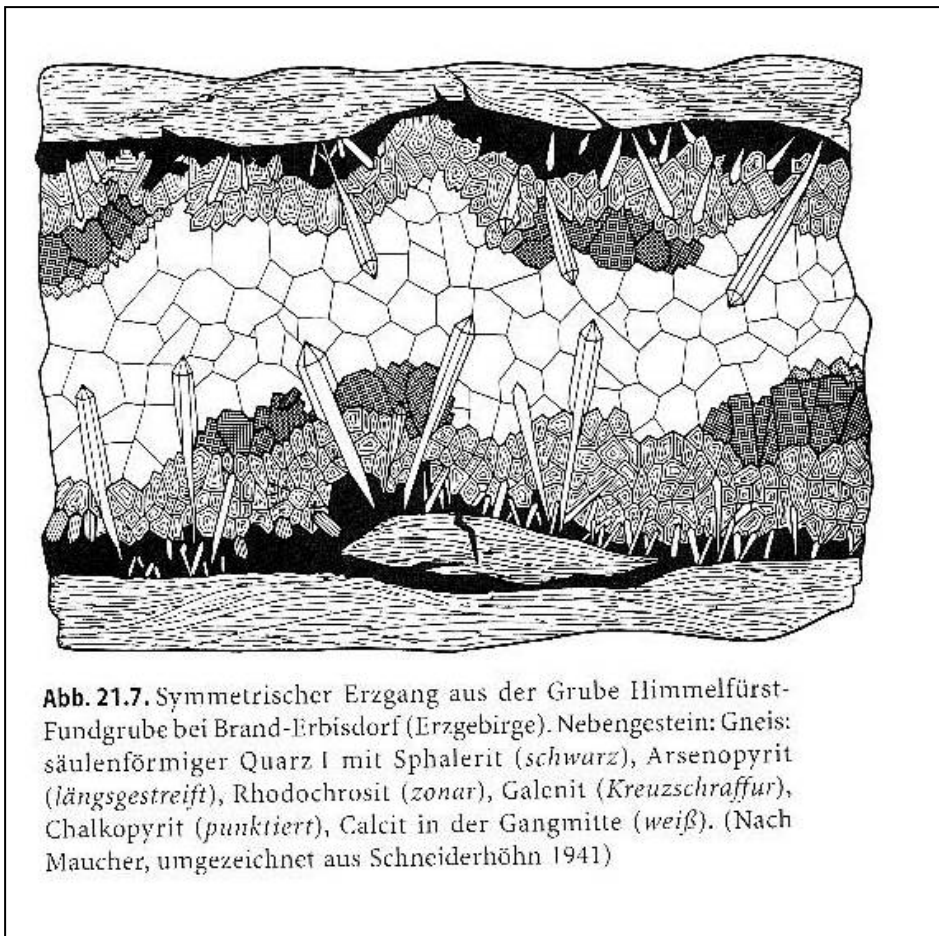


Akumulace síry na hořící haldě, Radvanice

## Hydrotermální procesy a mineralizace

- dochází ke krystalizaci minerálů z hydrotermálních roztoků

V podmínkách zemské kůry mají hydrotermální roztoky charakter vodných roztoků o teplotě cca 50 – 700 °C.



V typickém případě vznikají hydrotermální žíly (viz. obr)

## **Teplotní dělení:**

- vysokoteplotní (katatermální) roztoky : 700 – 300 °C
  - středně teplotní (mezotermální) roztoky: 300 – 200 °C
  - nízkoteplotní (epitermální) roztoky: 200 – 50 °C
- /teletermální roztoky/
- „alpské parageneze“ = puklinové mineralizace 350 – 50 °C

pozn. ve starší literatuře se setkáváme s termínem *pneumatolytické roztoky*.

Jde o vysokoteplotní fluida, jejichž teplota je vyšší než kritická teplota čisté vody

– t.j. 374 °C za tlaku 22 Mpa.

- kritická teplota hydrotermálních roztoků je vyšší v závislosti na obsahu rozpuštěných látek

(např. 20% rozpuštěných solí .....kritický bod 600 °C)

## **Původ vody hydrotermálních roztoků:**

- magmatogenní
- diagenetický
- metamorfní
- povrchový (meteorické, - vadózní vody), nasávání mořské vody v oblasti riftů a jejich ohřev, mineralizace

## **Zdroje mineralizace**

- podobně jako zdroje vody roztoků

## Formy transportu látek

- *největší význam má transport nerostných látek v podobě lehce rozpustných sloučenin, disociovaných na jednoduché ionty **nebo** polymerní molekuly*

Informace o látkovém složení hydrotermálních roztoků dostáváme:

- *výzkumem plynokapalných uzavřenin v hydrotermálních minerálech*
- *studiem nerostných paragenezí hydrotermálního původu*
- *izotopický výzkum O, C, S*

- přímo lze zkoumat hydrotermální roztoky v oblastech s doznívající sopečnou aktivitou (roztoky výrazně ovlivněny meteorickou vodou)

Složení hydrotermálních roztoků je velmi variabilní, zpravidla obsahují 2 – 16 hm.% rozpuštěných látek,

- maximálně kolem 40 %

**Kationty: Na, K, Ca, Mg, Ba, Fe**

**Anionty: Cl, HCO<sub>3</sub>, CO<sub>3</sub>, SO<sub>4</sub>, F**

**Pro transport chalkofilních prvků (Pb, Zn, Ag, Cu,.....) mají velký význam ionty HS<sup>-</sup> a S<sup>2-</sup>.**

Schematická řada vylučování sulfidů jednotlivých kovů s klesající teplotou hydrotermálního roztoku:

**Bi - As - Au,**

**Cu,**

**U - Zn - Pb,**

**Ag**

**Sb - As**

**Hg**



## **Formace sulfidických ložisek lze rozlišit podle charakteristických minerálů a dle klesající teploty vzniku:**

### **1. Zlatá a zlato-stříbrná formace**

Hlavním nerostem křemen, tvořící hlušinu žil.

Z rudních minerálů **pyrit**, **arzenopyrit**, chalkopyrit, vzácněji **antimonit**. Sulfidy jsou nositeli malých obsahů zlata.

Zlato bývá také v ryzí formě v křemenu.

### **2. Ag-Co-Ni-Bi-U formace (pětiprvková)**

Je zde několik typů, v nichž převládá některý z jmenovaných prvků (Jáchymov).

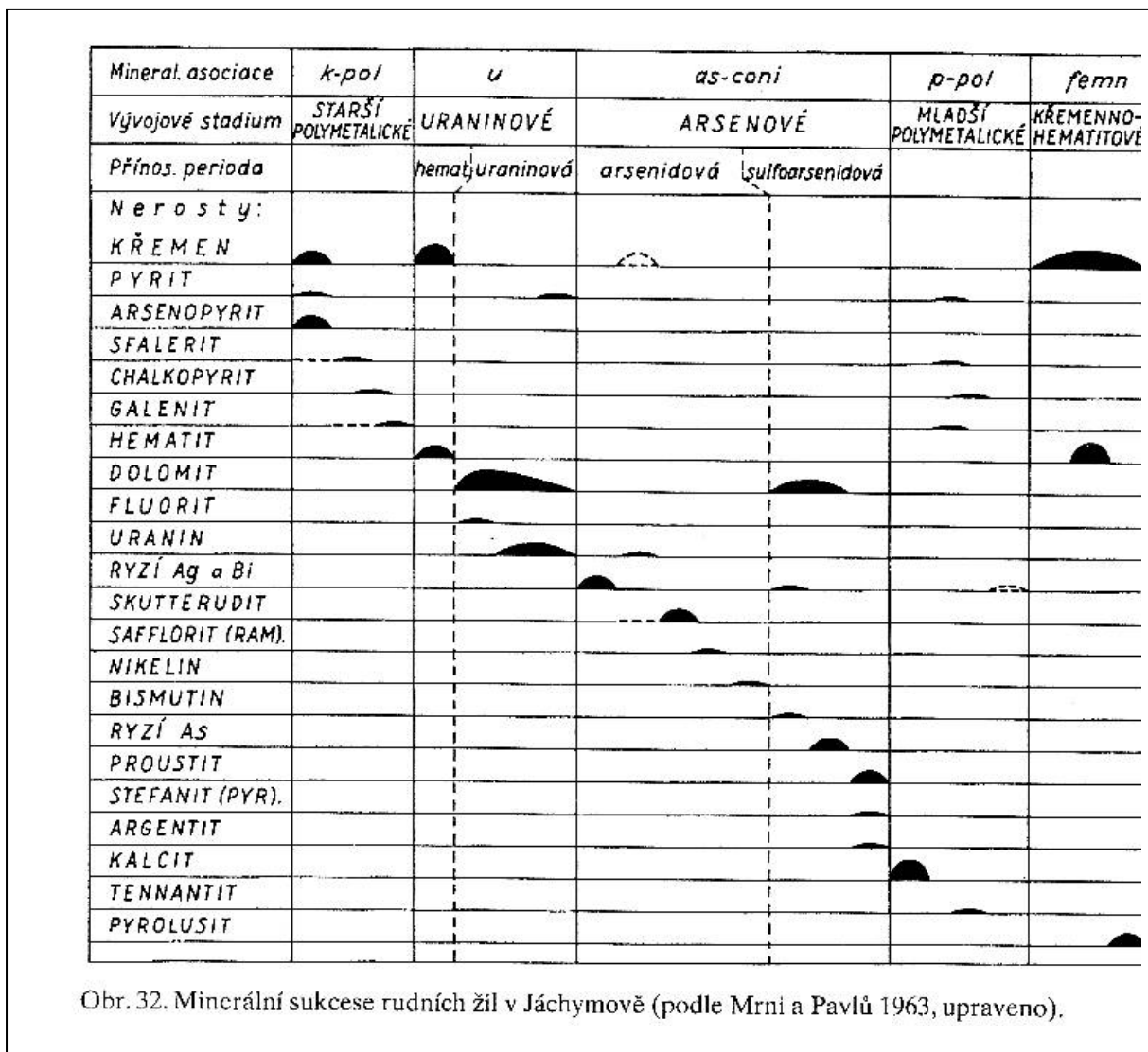
- typ stříbrných rud: argentit, proustit a pyrargyrit, sternbergit, stefanit, též ryzí stříbro (Kongsberg). V menším množství ryzí As, Sb, dále chloantit, smaltin, nikelín, löllingit.

Hlušinou žil bývá kalcit, dolomit (s pigmentem hematitu), křemen, fluorit, baryt.

- typ s převládajícími arzenidy Co a Ni: smaltin, arzenopyrit, Bi

- typ s uranem a Bi: vedle arzeniků sloučeniny Bi (bismutin). Uraninit (smolinec). Vedlejšími minerály Hg, pyrit, chalkopyrit nebo Ag-rudy a galenit.

Hlušinou žil bývají vedle křemene kalcit, dolomit, méně baryt, vzácněji fluorit.



Obr. 32. Minerální sukcese rudních žil v Jáchymově (podle Mrni a Pavlů 1963, upraveno).

### 3. Pyritová a chalkopyritová formace

Ložiska s převládajícím pyritem a celkově chudou paragenézí nerostů (podružný chalkopyrit, arzenopyrit, sfalerit, galenit).

Nerudní složkou je siderit nebo baryt, řídkce kalcit

Druhým typem jsou ložiska s převládajícím chalkopyritem, často s bornitem, pyritem a tetradritem. Přejíždějí do ložisek polymetalického charakteru :  
+ sfalerit a galenit.

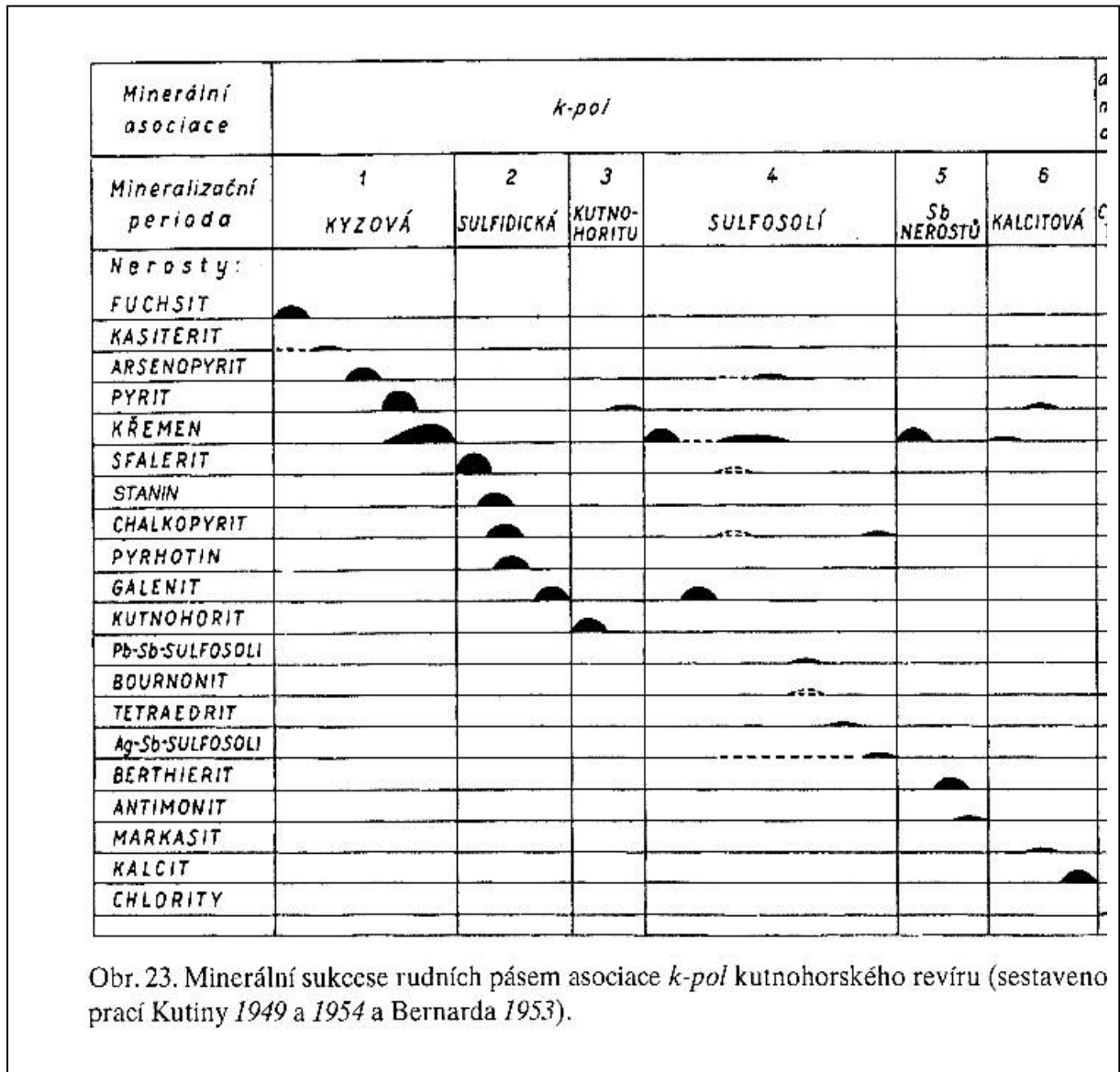


#### 4. Pb-Zn-Ag formace

Galenit a sfalerit. Galenit je stříbrnosný a sfalerit obsahuje Cd. Vzácnější Ag-minerály.

Někdy přechod do výše temperované chalkopyrit- pyritové formace, či níže temperované antimonitové formace

Nerudní výplň žil bývá baryt, siderit a kalcit.



#### 5. Sb-As-Se formace

Převládá antimonit, provázený pyritem. Vzácněji galenit nebo sfalerit.

Ložiska arzenu pak obsahují hlavně realgar a auripigment.

V obou případech kalcit

## **6. Hg formace**

Obsahuje jako hlavní a v podstatě jediný minerál rumělkou.

Hlušinou komponentou je kalcit.

Teploty vzniku se blíží atmosférickým teplotám.

Přehled izogenních minerálních asociací Českého masívu hydrotermálního původu  
a jejich typomorfní lokality

stáří zrudnění	značka	název asociace	typomorfní ložisko
1. prevariské	<i>a-pol</i>	prevariská polymetalická a.	Český Šternberk
	<i>a-mo</i>	prevariská molybdenitová a.	Černá Hora
	<i>a-cu</i>	prevariská měďnatá a.	Brno
	<i>a-wsn</i>	prevariská wolfram-cínová a.	Cetoraz
	<i>a-nicu</i>	prevariská niklo-měďnatá a.	Rožany
2. variské			
a) starovariské	<i>s-cu</i>	starovariská měďnatá a.	Zlaté Hory — jih
	<i>s-pol</i>	starovariská polymetalická a.	Zlaté Hory — východ
	<i>s-au</i>	starovariská zlatonosná a.	Jílové
	<i>s-mo</i>	starovariská molybdenitová a.	Požáry
b) středněvariské	<i>wsn</i>	wolfram-cínová a.	Rotava, Ovesná Lhota
	<i>mo</i>	molybdenitová a.	Žulová
c) mladovariské	<i>k-mo</i>	kyzová molybdenitová a.	Nová Bystřice
	<i>au</i>	zlatonosná a.	Roudný
	<i>li-snw</i>	lithná cíno-wolframová a.	Cínovec
	<i>k-pol</i>	kyzová polymetalická a.	Kutná Hora
	<i>pol</i>	nekyzová polymetalická a.	Ratibožské Hory
	<i>sb</i>	antimonitová a.	Bohutín
	<i>hg *</i>	rtuťová a.	Krušná hora
	<i>u</i>	uraninitová a.	Příbram, Jáchymov
	<i>se-ca</i>	sulfid-selenidová a karbonátová a.	Bukov
	<i>m-cu</i>	melafyrová měďnatá a.	Rybnice
	<i>p-cu</i>	porfyrová měďnatá a.	Běloves
d) pozdněvariské (saxonské)	<i>femn *</i>	železnato-manganová a.	Horní Blatná
	<i>qf *</i>	křemenno-fluoritová a.	Kožlí
	<i>p-pol</i>	pozdněvariská polymetalická a.	Stříbro
	<i>cu</i>	křemenná měďnatá a.	Mutěňín
	<i>fba</i>	fluorito-barytová a.	Moldava
3. postvariské	<i>as-coni</i>	Ag + As + Co + Ni ± Bi a.	Jáchymov
	<i>t-pol</i>	terciérní polymetalická a.	Roztoky
	<i>t-femn</i>	terciérní železnato-manganová a.	Vrchoslav
	<i>t-fba</i>	terciérní fluorito-barytová a.	Jílové u Děčína

\* Pravděpodobné, ale nezajištěné stáří.

Stáří a typy hydrotermálních mineralizací Českého masívu (dle Bernarda et al. 1981)

# Vznik nerostů z nadkritických fluid, vznik greisenů (dříve pneumatolytické pochody)

## Vysokoteplotní hydrotermální mineralizace

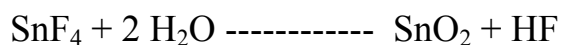
V procesu krystalizace pegmatitů (z taveniny) se vyloučí zbývající část silikátů, v minerálech se realizují vzácné plyny a prvky, převážná část manganu a fosfátů.

**Koncentrace lehkých těkavých komponent se opět zvýší. Z kovových prvků ve fluidech přetrvávají a koncentrují se těžké kovy (Pb, Zn, Cu...) a prvky, které tvoří sloučeniny především s F a Cl.**

**Teplota zůstává nad kritickým bodem vody.**

**V této etapě krystalizace se vylučují zejména prvky Sn, W a Mo.**

Sn je mobilní jako fluorid Sn a hydrolyzuje se v oblastech nižších teplot:

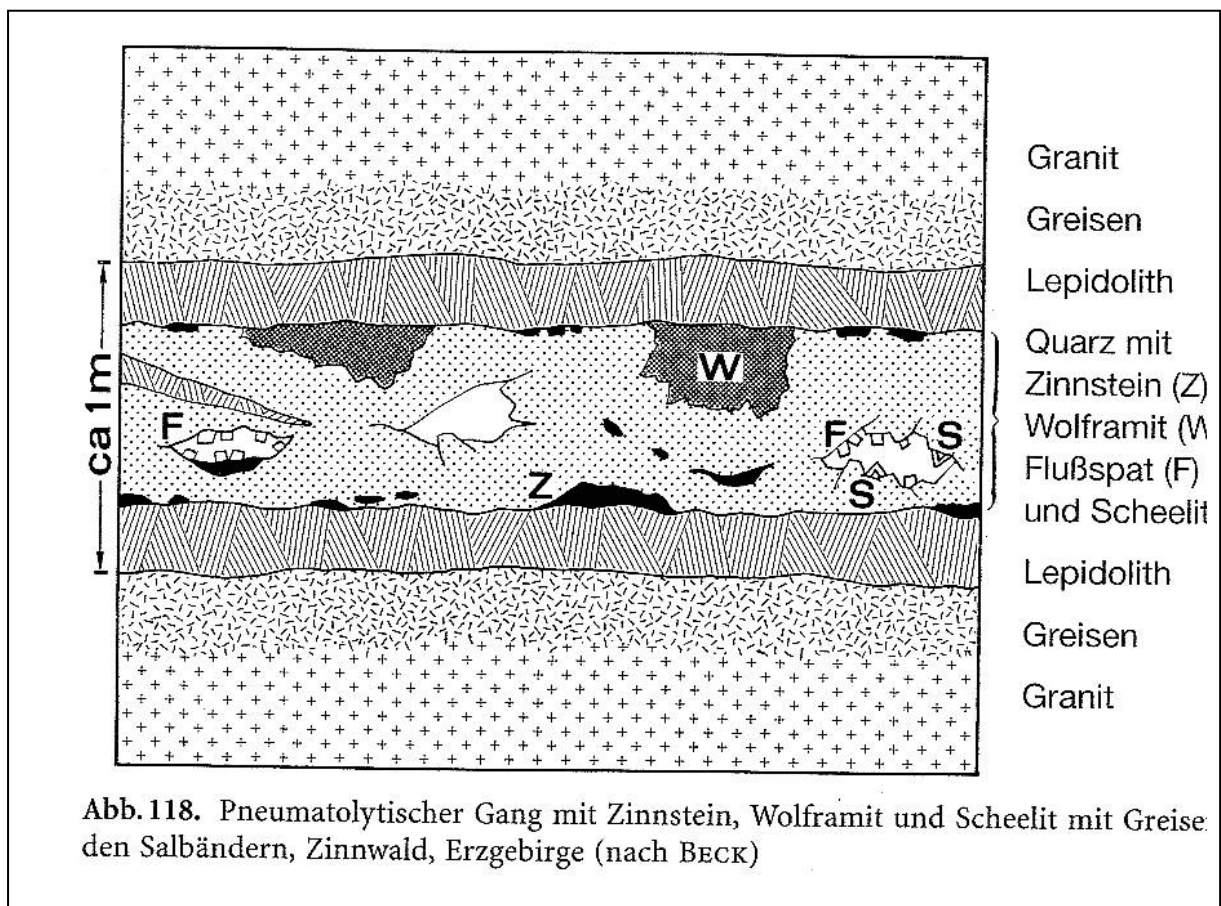


Vzniká **kasiterit (cínovec)** a uvolňuje se fluorovodík. Ten je velmi agresivní ke svému okolí, vyvolává greisenizaci žul – tvorbu **topazu** z původních živců.

Následně se formují vysokoteplotní (katatermální) hydrotermální roztoky, obsahující část prvků z pegmatitové fáze (B, F, Li, Be, Mn).

Krystalizuje význačná paragenese minerálů:

- křemen
- kasiterit
- wolframit
- topaz
- cinvaldit                      K, Li, Fe, Al - slída
- apatit (fluorapatit)
- triplit                           $(\text{Mn, Fe})_2 \text{F PO}_4$
- fluorit
- beryl
- turmalín



Pozn. cínovec se objevuje již v pegmatitech, zejména Li-pegmatitech (Rožná).

(není ostré hranice mezi pegmatitovým stádiem a pneumatolytickým stádiem)

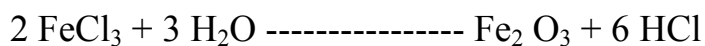
**Kasiterit je většinou doprovázen wolframitem. Na úkor wolframitu se někdy tvoří mladší scheelit.**

**Z nadkritických fluid krystalizují i některé sulfidy. Typický je molybdenit. Z následných vysokoteplotních hydrotermálních roztoků se nejčastěji vylučují chalkopyrit a arzenopyrit.**

**Formace Sn – W**

**Formace Sn – W - Li**

Pneumatolytickým minerálem může být také **hematit**. Železo mobilní v podobě chloridu Fe podléhá za poklesu teploty hydrolyze:



Takto vznikající hematit tvoří obvykle krásné drúzy krystalů (Elba).

Popsané procesy mineralizace z nadkritických fluid a vysokoteplotních hydrotermálních roztoků jsou fungující jen za vyšších tlaků, jinak dojde k úniku těkavých komponent.

## Příklady z oblasti Krušných Hor a Slavkovského lesa

- oblast je charakterizována mladovariskou Sn-W mineralizací (*asociace li-snw dle Bernarda*) se silnými pneumatolytickými jevy (silně alterované kyselé žuly „mladšího“ komplexu: 256 M.A.)

### *Horní Slavkov - Krásno – Sn-W*

#### **Geologie:**

- karlovarský žulový pluton, pararuly, migmatity, ortoruly

#### **Huberův či Hubský peň (obr.), Schnödův peň, Vysoký kámen, Klinge**

- elevace žul silně přeměněné v greisenové pně (také topazizace, kaolinizace, sericitizace, cinvalditizace, albitizace, fluoritizace)
- křemenné žíly: slídy, Sn-W minerály, molybdenit, chalkopyrit
- aplitové žíly s turmalínem

#### **Minerály:**

- kasiterit – 1 až 15 cm velké XX, jedny z nejkrásnějších celosvětově, převládají dvojčata
- wolframit – štěpné tabulky v křemenných žilách
- scheelit – bílá, až 5 cm velká zrna, zaměnitelný s křemenem
- apatit – typický, zelené a fialové sloupečky až 3 cm velké
- topaz – sloupcovité XX, nejhezčí v ČR
- fluorit – zonálně zbarvené XX
- cinwaldit – jemněji lupenité agregáty než na Cínovci
- beryl
- albit
- karfolit – nový minerál (slámově žluté jehlicovité agregáty, radiálně paprscité)
- fosfáty: triplit
- sulfidy: molybdenit, arzenopyrit, černý sfalerit, stanin, bismutin
- bismut
- sekundární minerály: W a Mo-okry, mnoho dalších

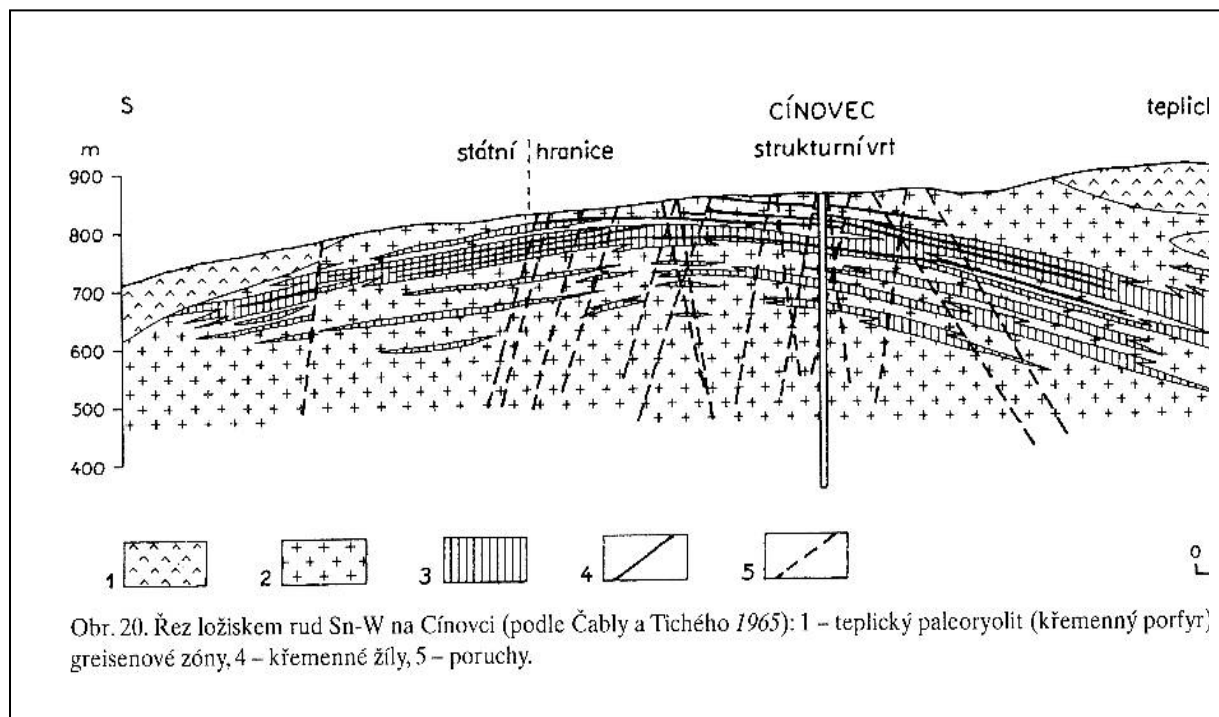
## **Cínovec, s. od Teplíc – na hranicích s SRN (viz mapka) – Li-Sn-W**

### **Geologie:**

- **komplex křemenného teplického porfyru, albitické žuly klenbovitě stavby**
- **mikroklinizace, albitizace, fluoritizace**
- **nepravidelná greisenová tělesa v žule**

### **Ploché křemenné žíly s výplní:**

- **křemennou**
- **cinvalditovou**
- **topazovou**
- **K-živcovou**



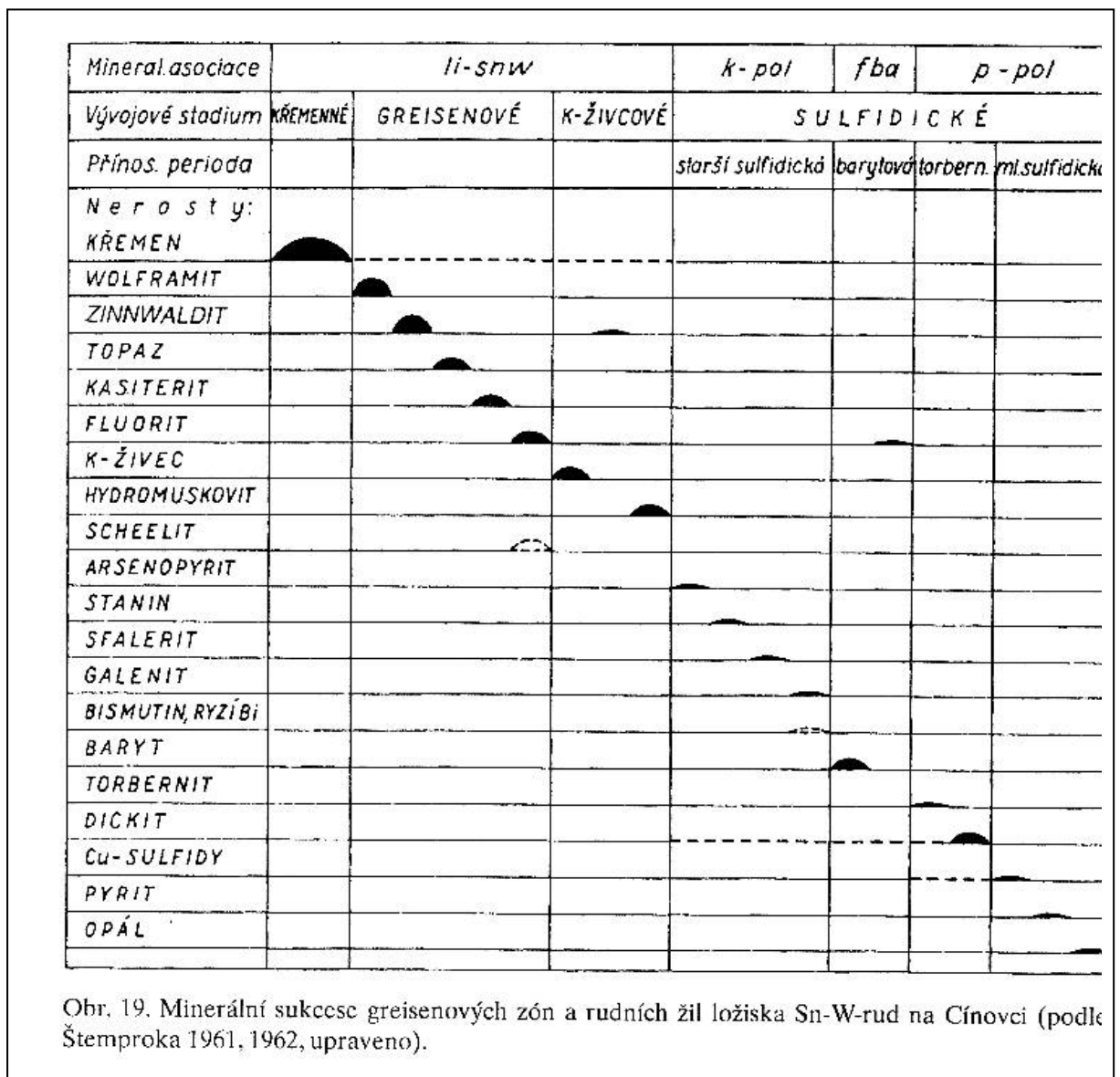
Obr. 20. Řez ložiskem rud Sn-W na Cínovci (podle Čably a Tichého 1965): 1 – teplický paleocoryolit (křemenný porfyr) greisenové zóny, 4 – křemenné žíly, 5 – poruchy.

### **Minerály:**

- **křemen (XX záhněda, morion)**
- **kasiterit – 1 až 3 cm velké XX, muzejní ukázky, převládají dvojčata**
- **wolframit – hlavní rudní nerost na ložisku, XX až 10 cm velké, unikátní z celosvětového hlediska, v rovnováze ferberit: hübnerit**
- **scheelit – žlutohnědé XX až 1 cm velké**



- apatit – vzácný, sloupcovitý
- **topaz – sloupcovité XX – pyknit, zrnité agregáty**
- fluorit – fialové nebo bezbarvé XX v dutinách žil
  
- **cinvaldit – popsán jako nový minerál, až několik cm velké pseudohexagonální tabulky**
  
- **sekundární minerály:** W a Mo-okry, mnoho dalších



Obr. 19. Minerální sukcese greisenových zón a rudních žil ložiska Sn-W-rud na Cínovci (podle Štemproka 1961, 1962, upraveno).

# Recentní submarinní hydrotermální procesy

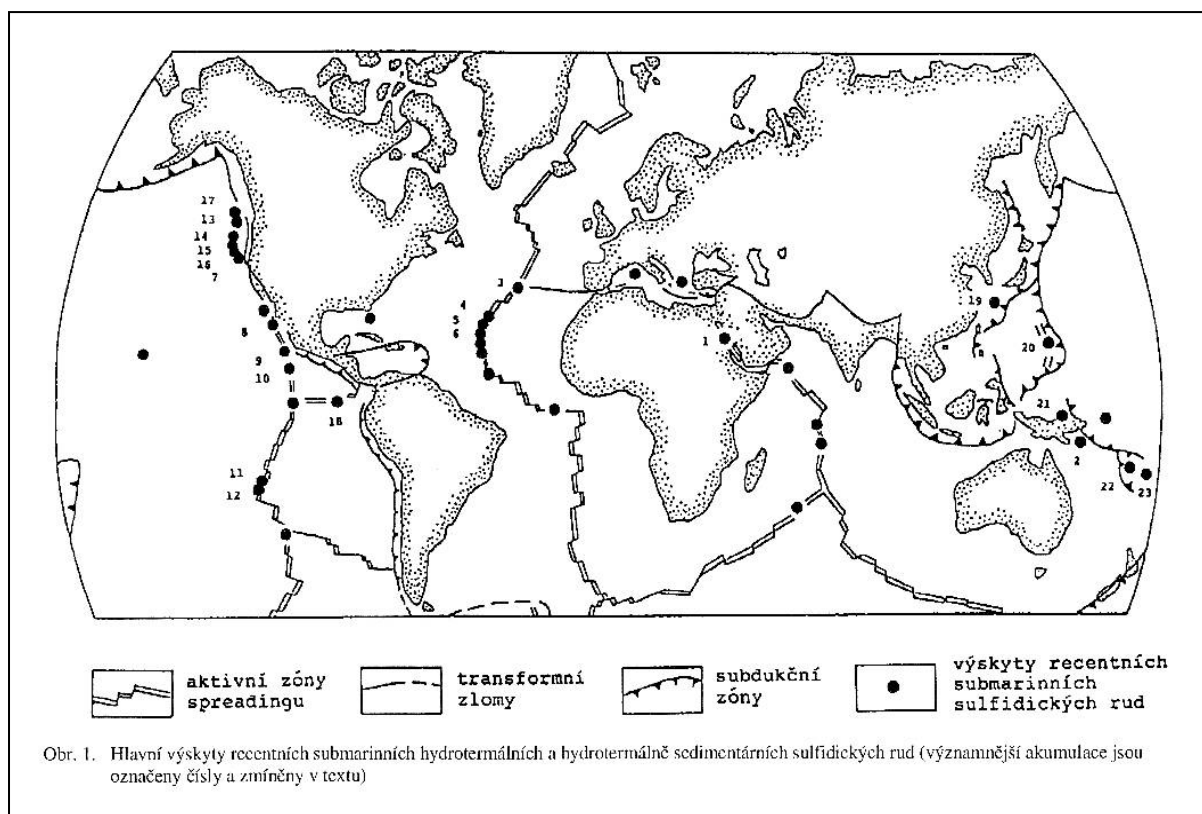
Vznik submarinní hydrotermální mineralizace je podmíněn:

- výměnou tepelné energie a látek mezi litosférou a hydrosférou

Dochází k tomu :

- především podél globálního systému divergentních deskových rozhraní ( tj. na riftových zónách )
- na ostrovních obloucích
- v zaobloukových pánvích
- v areálech vnitrodeskového vulkanismu

Vznikají často sulfidické akumulace, které můžeme považovat za recentní analogy ložisek „Kuroko“, „Besshi“ a kyperského typu



## **Podloží recentních hydrotermálně sedimentárních sulfidických akumulací a jeho hydrotermální alterace**

- uložení na vulkanitech, případně vulkanoklastických horninách

Na středoceanických hřbetech jde o bazalty typu MORB (= mid-ocean ridge basalts), lokálně i andezity

- v zaobloukových pánvích kromě basaltů též ryolity, autobrekciované lávy a vulkanoklastické horniny, složením odpovídající uvedeným vulkanitům

## **Vznik sulfidických rud, jejich nerostné složení a morfologie rudních těles**

- vznik z hydrotermálních roztoků, vyvěrajících na mořské dno

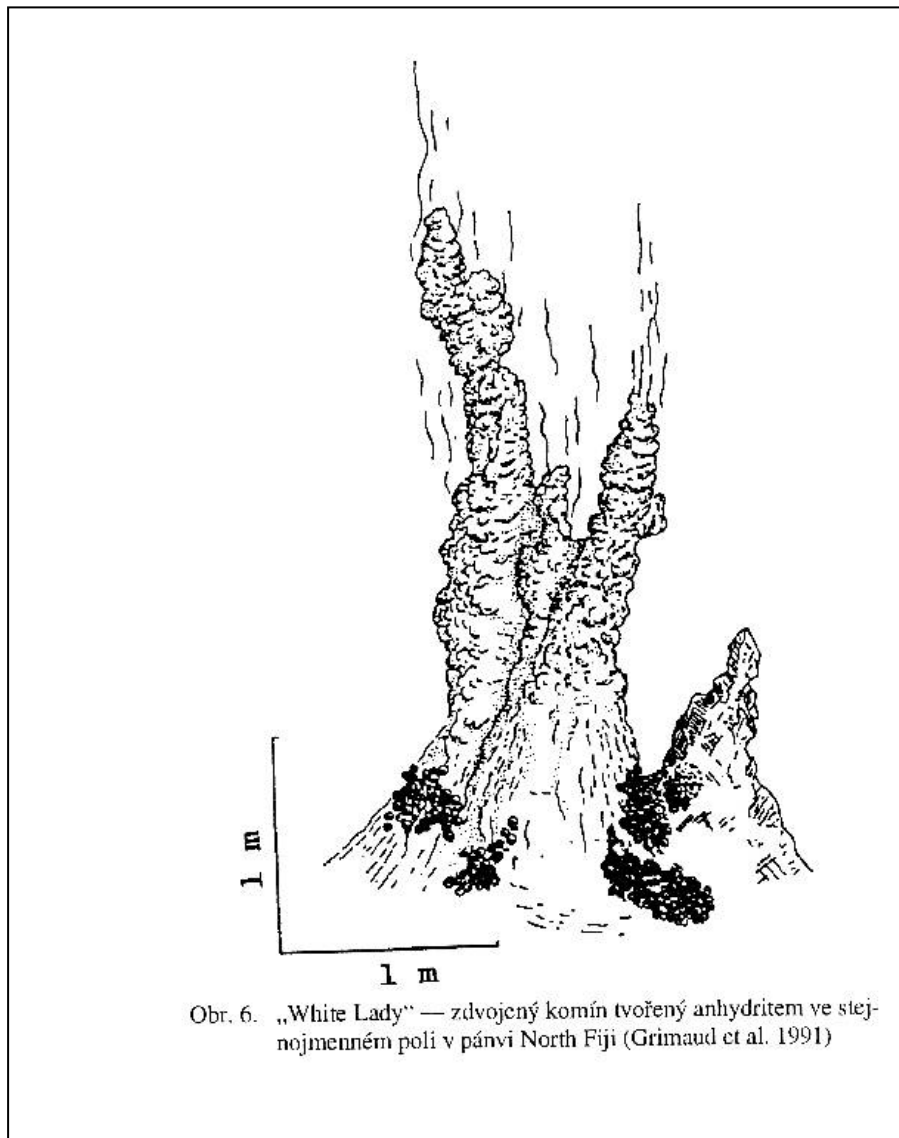
Typickým produktem hydrotermální aktivity v obou geotektonických pozicích jsou komínovitá tělesa s.l. ( komíny = „smokers“) a hydrotermální kupy („hydrothermal mounds“)

**Morfologie komínů je variabilní. Např. v hydrotermálním poli EPR:**

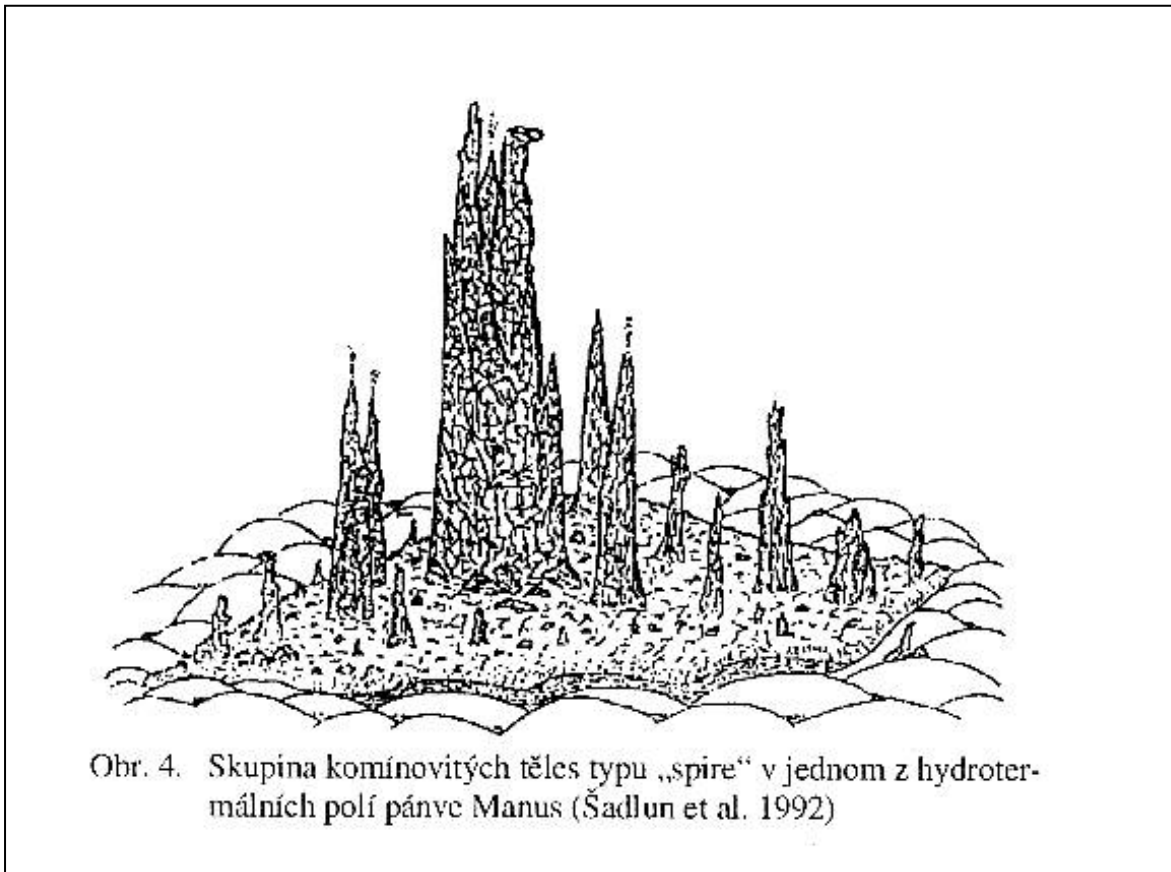
- štíhlé komíny s téměř kruhovým průřezem a úzkým centrálním kanálem /několik cm/, o výšce 1-2 m, výjimečně i přes 5 m
- mocnost stěny při bázi komínu závisí na jeho stáří /mm až dm/

*V případě aktivních komínů z nich rychle vystupují hydrotermální fluida obvykle zbarvená černě nebo bíle (v závislosti na přítomnosti a povaze suspendovaných částic)*

- „black smokers“                      teploty 330-380 °C
- „white smokers“                      20-300 °C



**Charakteristickým znakem všech „smokerů“ je jejich zonální /koncentrická/ stavba. Jde o mineralogickou zonálnost, jejíž hlavní příčinou je pokles teploty směrem k okraji komínu a reakce hydrotermálních fluid s mořskou vodou ve vnějších částech stěny komínu**



***Vnitřní zóna:***

- **chalkopyrit**
- **dále od kanálu hlavně pyrit, bornit, případně magnetit, lokálně pyrhotin, cubanit**

*Ve střední části stěny:*

- **sfalerit, wurtzit, chalkopyrit, pyrit a anhydrit**

*Vnější zóna stěny:*

- je menší mocnosti
- **pyrit, markazit, opál, baryt**

pozn. jsou známé také komíny barytové

Často jsou popisovány **dendritické útvary a kostrovité krystaly** některých rudních minerálů (sfalerit, baryt, galenit)

	baryt- opálové stadium	opáči- sulfidické stadium	sulfidické stadium	pozdní opálové stadium
baryt	—	—		—
amorfní SiO <sub>2</sub>	████████████████████	████████████████████	████████████████████	████████████████████
sfalerit	████████████████████	████████████████████	████████████████████	
markazit	████████████████████	████████████████████	████████████████████	
amorfní Fe-S-SiO <sub>2</sub> fáze	—	—		
pyrit		—	—	
chalkopyrit		—	—	
tetraedrit-tennantit			—	—
wurtzit			—	—
galenit			—	—
jordanit				—
Pb-As-Sb-Ag sulfosoli				—
elementární síra				—
oxy-hydroxidy Fe a Mn				—

Vysvětlivky: zastoupení minerálu nad 35 obj.% ██████████  
3 - 35 obj.% ██████████  
pod 3 obj.% —

Obr. 5. Mineralizační stadia ve vývoji „spire“ z hydrotermálního pole na Axial Seamount (Hannington a Scott 1988 — upraveno)

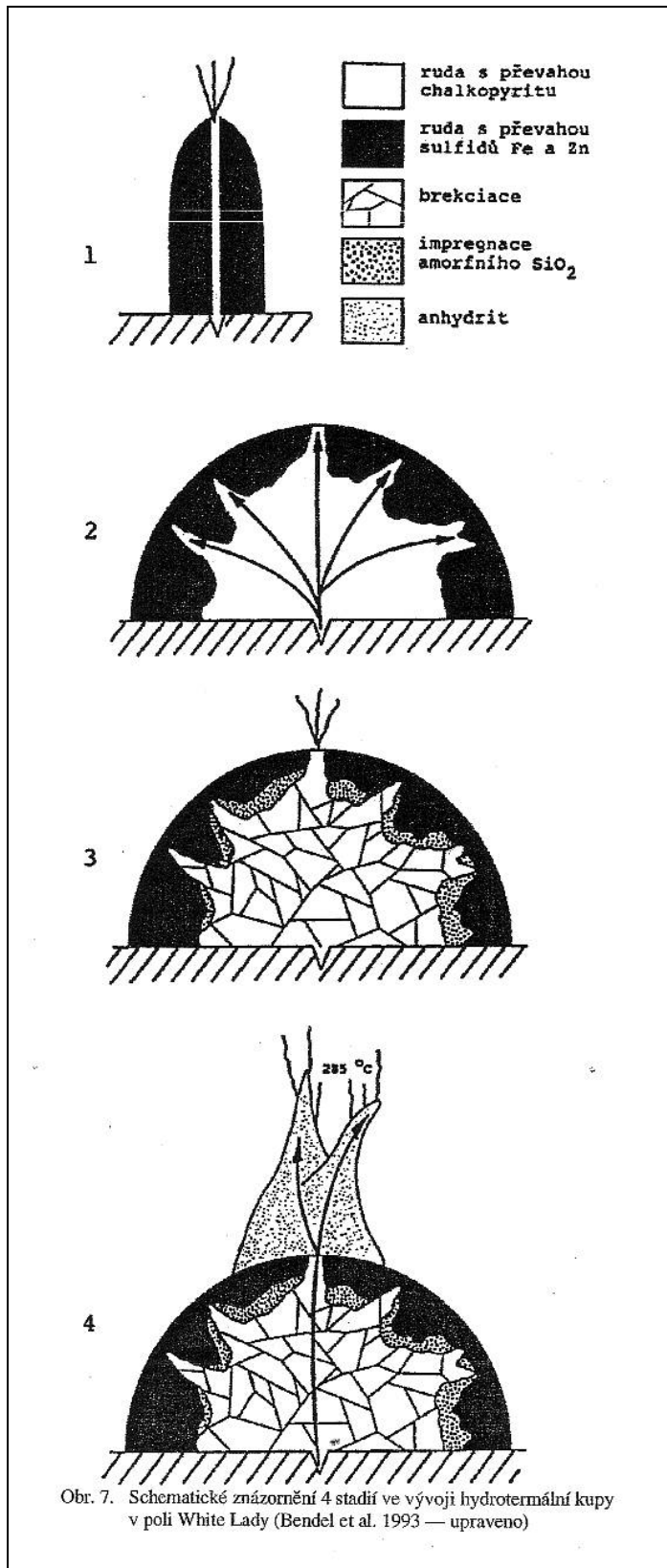
**Morfologicky zcela odlišným typem komínů jsou tzv. difuzéry („diffusers“), které nemají centrální kanál.**

**Hydrotermální fluida vystupují k povrchu relativně pomalu centrální porézní zónou a stěnami. K výstupu roztoků dochází tedy na celém povrchu tělesa. Difuzér v typickém příkladu získává kuželovitý tvar.**

**Mineralogicky se difuzéry liší vysokým obsahem pyrhotinu a absencí anhydritu. Některé difuzéry obsahují množství barytu. Dalšími rudními minerály jsou pyrit, sfalerit a cubanit.**

**Hydrotermální kupy – tělesa, která se tvoří srůstem většího množství komínů a nahromaděním fragmentů, vznikajících jejich rozpadem.**





Rostoucí kupou prostupují hydrotermy, které způsobují metasomatické přepracování a rekrystalizaci materiálu uvnitř kupy.

## Velikost sulfidických akumulací

### 1/ Kotlina „Atlantis II“ v riftové zóně Rudého moře:

- 94 mil. tun rud s kovatostí 2.1 % Zn, 0.5 % Cu, 39 ppm Ag a 0.5 ppm Au

### 2/ Těleso masivních sulfidických rud o rozměrech 1000 x 150 m a výšce 35 m v riftovém údolí Galapážského hřbetu. Odhad 10 mil. tun rud.

## Hydrotermální chocholy („hydrothermal plumes“)

- typický fenomén pro hydrotermální pole
- jde o černé „kouře“, vystupující z ústí aktivních komínů, z trhlin na povrchu hydrotermálních kup, případně i z trhlin přímo v mořském dně
- vystupují do výše několik X0 až X00 m nad dno, zde se jejich pohyb mění na horizontální a následně dochází k sedimentaci

**Tvar horizontální části chocholu závisí na proudění mořské vody**

Černé zbarvení těchto „kouřů“ je způsobeno suspenzí sulfidů, které vznikají při reakci hydrotermálního roztoku z mořskou vodou.

Proces precipitace minerálů trvá několik sekund po vývěru:

- pyrhotin
- pyrit
- sfalerit
- chalkopyrit
- další fáze Fe, S, SiO<sub>2</sub>
- **méně hojné jsou částice anhydritu, opálu, oxid-hydroxidů Fe, síry  $\alpha$**
- **vzácně markazit, covellin, cubanit, baryt a některé silikáty**

Rozměry částic v suspenzi jsou velmi malé: 0.1 – 850  $\mu\text{m}$ .

Sedimentace z hydrotermálních chocholů probíhá ve vzdálenostech do několika X00 m až 2000 m (**viz. příklady**)

Sulfidické rudy střeooceanických hřbetů jsou tvořeny především:

- sulfidy Fe, Cu a Zn, z nerudných minerálů převládají různé formy SiO<sub>2</sub> a sulfáty
- **akumulace takových rud: středoatlanský, východopacifický a galapážský hřbet, Rudé moře (Atlantis)**
- jde o recentní analogy rudních ložisek „kuroko“ a kyperského typu

příklady v CR: Zlaté Hory, Horní Benešov

## *„Alpské parageneze“*

**Termínem „alpská parageneze“ jsou označovány specifické nízkoteplotní hydrotermální asociace, vyskytující se nejčastěji na puklinách hornin.**

**Krystalovaly z vodných roztoků o teplotě 100-360 °C.**

**Látkově minerální asociace odpovídají chemismu hostitelských hornin.**

V České republice je alpská parageneze nejvýrazněji vyvinuta:

- na Čáslavsku a Kutnohorsku
- v Jeseníkách
- na Českomoravské vrchovině



Anatas – typický minerál alpské parageneze

## **Minerální asociace A**

(dle Bernarda)

**– v kvarcitech, svorech, fylitech, rulách (nízké obsahy Ca)**

### **Vernířovice u Sobotína – „Hackschlüssel“**

- okolní horninou chloritické ruly desenské skupiny

#### **Minerály:**

- křemen zastoupen křišťálem a záhnědou, XX až 15 cm velké, čisté a bohaté na krystalové tvary (Burkart 1953)
- albit
- klinochlor (tmavozelené lístky)
- hematit
- pyrit (až 1 cm XX)
- magnetit
- titanit vytváří velmi malé (do 1 mm) bezbarvé či světle zelené XX se silným leskem)
- kalcit (XX)

### **Kutná Hora**

**– lomy „Prachovna“, „V Hutích“, „Kamenná bába“  
lom u Vrbova mlýna**

- okolní horninou katazonálně metamorfované ruly a migmatity kutnohorského krystalinika

#### **Minerály:**

- křemen zastoupen křišťálem, XX až 2 cm velké
- chlorit černozeleň, ve vějířovitých a paprscitých shlucích
- anatas (ocelově modré až šedé dipyramidy s silným leskem, do 5 mm)
- brookit – vzácnější (nahnědlé rýhované tabulky, do 3 mm)
- rutil (jako varieta „sagenit“ v XX křišťálu)
- klinochlor (tmavozelené lístky)
- turmalín - skoryl
- fluorit ve štěpných agregátech nebo XX
- ilmenit
- kalcit
- laumontit – sukcesně nejmladší minerál

## Minerální asociace B

(dle Bernarda)

– v **granitech, granodioritech, pegmatitech, rulách**  
(přechodný typ mineralizace s kolísavým obsahem Ca)

### Černá Voda u Žulové – „Nový lom“

- okolní horninou biotitové granity, granodiority a pegmatity žulovského masivu

#### Minerály:

- **křemen** vytváří šedobílé XX kolem 1 cm velké
- **albit** XX v drúzách
- **epidot – klinozoisit** (stébelnaté až paprscité agregáty i několik cm velké, zbarvení šedé až ostře zelené, klasifikačně většinou epidoty)



Epidot, Černá Voda

- **chlorit = chamosit** (Losos a kol. 1994), ve varietě „strigovit“ (jemně zrnité až celistvé černozelelé agregáty), v trhlinách pegmatitů
- hematit – lupenité agregáty, často s epidotem a stilbitem
- kalcit
- pyrit
- **stilbit** – časté snopkovité a vějířovité agregáty (průměr až 3 cm) a XX na puklinách granitoidů

- heulandit

## **Minerální asociace C**

(dle Bernarda)

- **na puklinách amfibolitů, amfibolických rul, skarnů, dioritů, gaber**  
**(mineralizace s vysokým obsahem Ca)**

### Sobotín – „Pfarrererb“

- asi 0.5 km východně od kostela v Sobotíně, při cestě na kótu Smrčina
- horniny sobotínského amfibolitového masivu (amfibolity, amfibolické ruly)

#### Minerály:

- epidot je zde světově známým minerálem, jeho XX jsou sytě zelené, někdy průhledné. Největší X 140 x 26 mm (Nepejchal 1994)



Epidot, prehnit, Sobotín

- **albit** – tvoří drúzy bílých nebo bezbarvých **XX**, několik mm velkých, často zdvojitých
- adulár (mikroclin)
- **aktinolit** v podobě azbestu
- **apatit** (nízce sloupečkovité **XX** bílé nebo nafialovělé barvy)
- **diopsid** je nejstarším minerálem (350 °C a tlak 2-3 kbar dle Nováka a kol.1991)
- **titanit (sfén)** – klínovité **XX** do 0.5 cm velikosti, žlutozelené barvy a průhledné
- **prehnit** (bílý až světle zelený, v kulovitých a hřebenitých agregátech v dutinách)
- **ilmenit**
- **Ca-zeolity /heulandit/** (nejmladší fáze asociace) – cca 150 °C a tlak 1 kbar

### Mirošov – činný lom

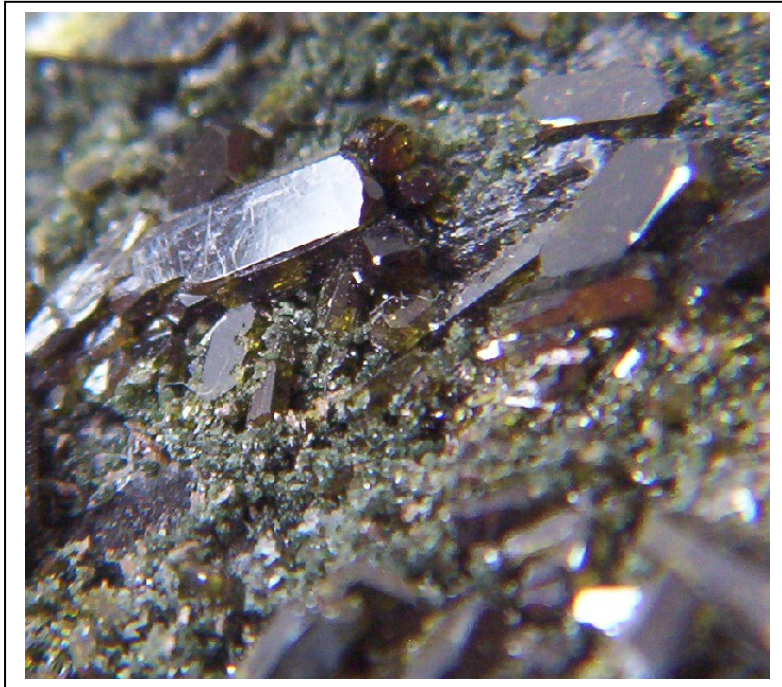
- **horniny strážeckého moldanubika (amfibolity, amfibolické ruly migmatitizované)**

#### Minerály:

- **epidot** (dlouze sloupcovitý, paprscité **XX**)
- **albit**
- **křemen** (xx kolem 1 cm, někdy křišťál)
- **amfibol** (aktinolit – paprscitý),
- **prehnit**
- **titanit** – klínovité a psaníčkovité typy **XX**
- **chlorit** (klinochlor) – kulovité radiálně lupenité agregáty
- axinit
- **pyrit**, markazit, hematit
- **apatit**



- stilbit (nasedá na křišťál), chabazit



Epidot, Mirošov

## **Minerální asociace D**

(dle Bernarda)

- specifický typ převážně karbonátových žilek v sedimentárním komplexu chvaletického ložiska Fe-Mn rud (mineralizace s vysokým obsahem Mn)

### **Chvaletice**

- horniny chvaletického proterozoika

#### **Minerály:**

- rodochrozit a kutnohorit - ankerit
- neotokit ( /Mn Fe/ Si O<sub>3</sub> . H<sub>2</sub>O )
- Mn-cummingtonit v azbestové formě

- **cronstedtit** (sk. serpentinu)
- hyalofan
- K, Ba – živce, Ba-heulandit
- **pyrofanit**
- **dravit- jemně vláknitý**
- **křemen**
- **sulfidy: alabandin (MnS), pyrit, markazit**
  
- hevlín, rutil, opál

# Přehled minerálů hydrotermální geneze dle systému

(u tučně vyznačených je hydrotermální geneze typická)

1/ Prvky: (**Au**, **Ag**, (Cu), **As**, **Sb**, **Bi**)

2/ Sulfidy: struktury tetraedrické: **sfalerit**, **wurtzit**, **chalkopyrit**, **bornit**

-oktaedrické: **galenit**, **pyrhotin**, **nikelín**

- s jiným uspořádáním: **molybdenit**, **millerit**, **cinabarit**, **covellín**, **chalkozín**, **argentit**

Komplexní sulfidy: **pyrit**, **markazit**, **arzenopyrit**, **löllingit**, **kobaltin**, **skutterudit**, **antimonit**, **boulangerit**, **jamesonit**, **tetraedrit**, **proustit**, **pyrargyrit**, **realgar**, **auripigment**

3/ Halovce: **fluorit**

4/ Oxidy a hydroxidy. Struktury tetraedrické: **křemen**, (opál)

-oktaedrické: **hematit**, **ilmenit**, **rutil**, **anatas**, **brookit**, **kasiterit**, **pyroluzit**

-kombinované tetraedrické a oktaedrické: **spinelidy** (**magnetit**)

-kubické: **uraninit**

-s jiným uspořádáním: **kuprit**

- **goethit**, **lepidokrokrit**

5/ Sulfáty. Bezvodé: **baryt**, **celestin**

6/ Karbonáty, nitráty, boráty. Kalcitový strukturní typ: **kalcit**, **magnezit**, **siderit**, **rodochrozit**, **smithsonit**

-dolomitový strukturní typ: **dolomit**, **ankerit**

-aragonitový strukturní typ: **aragonit**, **stroncianit**

7/ Wolframáty, niobáty, tantaláty. **Scheelit**, **wolframit** (**ferberit**, **hübnerit**),

8/ Fosfáty, arzenáty, vanadáty. **apatit**

9/ Silikáty.

a/ Tektosilikáty: živce (**mikroklin** - **adulár**, **albit**, **celsian**, **hyalofan**), **zeolity** (skup. **phillipsitu**, **sodalitu**, **natrolitu**, **chabazitu**, **heulanditu**)

b/ Fylosilikáty: **mastek**, **slídy** (**muskovit**, **cinvaldit**), **chlority**, **minerály serpentinitové skupiny**, **prehnit**, **jílové minerály**

c/ Inosilikáty: **pyroxeny** (**diopsid**), **amfiboly** (**tremolit**, **aktinolit**)

d/ Cyklosilikáty: **turmalíny**, **axinit**,

e/ Nesosilikáty: **willemit**, **granáty**, **titanit**, **topaz**, **dumortierit**

f/ Sorosilikáty: skupina **zoisitu** a **epidotu**