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 hlubších částech zemské kůry

  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, atmosférou, případně i biosférou.

  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

Hlavními složkami magmatu jsou SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, CaO, MgO, Na_2O a K_2O, rozpuštěná voda
Uvedené složky jsou základem většiny minerálů magmatických hornin *(příklady)*

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

V určitém množství je v magmatu přítomna plynná fáze :

H_2O, CO_2, HCl, HF, H_2S, H_2, CO, SO_3 a N_2 (tyto látky jsou zčásti absorbovány v kapalné 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 diferenciace magmatu:

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

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

- **kyselé magma (granitové)**

obsah SiO_2 65-75 i více %
hlavní minerály: K-živce, plagioklasy, křemen, slídy

- **bazické (bazaltové magma)**

obsah SiO_2 45-55 %
hlavní minerály: plagioklasy, pyroxeny

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

obsah SiO_2 55-65 %
hlavní minerály: plagioklasy, pyroxeny, amfiboly, slídy

- **ultrabazické magma (peridotity)**

obsah SiO_2 35-45 %
hlavní minerály: olivín,, pyroxeny

Likvace

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

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

Sulfidická tavenina tuhne až při nižší teplotě – ložní tělesa, pásky, kumulace.
Pyrhotin, chalkopyrit, pentlandit.
Může pod tlakem také vystupovat po tektonice do již utuhlých matečných hornin.

Příklady:
Sudbury - Kanada
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 pásciích, šlírách a hrudkách, při menších koncentracích v jednotlivých zrnech.
Př. Bushveldský komplex, Jižní Afrika

- **<u>hlavní krystalizace</u> (Bowenovo reakční schema – idealizace) – obr.**

Plagioklasy
Olivín
Pyroxeny
Amfiboly
Biotit
K-živec
Muskovit
Křemen

Produkty – horniny – viz. petrologické poznatky

Recentní poznatky o krystalizaci magmatu

Vznik minerálů ze sopečných exhalací (postvulkanogenní mineralizace)

- exhalační ložiska -

fumaroly (100-800 ^{o}C)
solfatary (100-200 ^{o}C)

Hlavní složky sopečných plynů: H_2O (pára), HCl, NH_4Cl, H_3BO_3, H_2S, SO_2 a CO_2

Sopečné sublimáty (fumarolové nebo solfatarové) vznikají mimo sublimace:
- chemickými reakcemi mezi plynnými složkami exhalátů při jejich ochlazování
- chemickými reakcemi mezi sožkami exhalátů a atmosferickým kyslíkem

př: vznik ložiskových akumulací síry:

$2\ H_2S + SO_2$ ------- $2\ H_2O + 3\ S$

$2\ H_2S + O_2$ ------- $2\ H_2O + 2\ S$

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

Hydrotermální procesy

- dochází ke krystalizaci minerálů z hydrotermálních roztoků

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

Teplotní dělení:

- vysokoteplotní (katatermální) roztoky : 700 – 300 ^{o}C
- středně teplotní (mezotermální) roztoky: 300 – 200 ^{o}C
- nízkoteplotní (epitermální) roztoky: 200 – 50 ^{o}C

  /teletermální roztoky/

  alpské parageneze 350 - 50

pozn. **ve starší literatuře se setkáváme s termínem** *pneumatolytické roztoky.*
Jde o vysokoteplotní roztoky, jejichž teplota je vyšší než kritická teplota čisté vody – t.j. 374 ^{o}C za tlaku 22 Mpa.

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

(např. 20% rozpuštěných solí .....kritický bod 600 ^{o}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 solí,

- maximálně kolem 40 %

Kationty: Na, K, Ca, Mg, Ba

Anionty: Cl, HCO_3, CO_3, SO_4, F

Pro transport chalkofilních prvků (Pb, Zn, Ag, Cu,.....) mají velký význam ionty HS^- a S^{2-} .

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

Bi - As- Au, Cu, U - Zn - Pb, Ag - Sb - As - Hg

Hydrotermální ložiska sulfidických rud tvoří jednak:

- **rudní žíly** (vyplňování puklin nebo trhlin v horninách)
- **metasomatická ložiska** (zatlačení původního nerostu a nahrazení jiným nerostem)
- **ložiska impregnační** (sulfidy a doprovodné minerály se vylučují většinou v porézních horninách)

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
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.

3. Pyritová a chalkopyritová formace
Ložiska s převládajícím pyritem a celkově chudou paragenezí nerostů (podružný chalkopyrit, arzenopyrit, sfalerit, galenit).

Nerudní složkou je siderit nebo baryt, řídce kalcit

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

4. Pb-Zn-Ag formace
Galenit a sfalerit. Galenit je stříbronosný a sfalerit obsahuje Cd. Vzácnější Ag-minerály.
Někdy přechod do výše temperované chalkopyrit- pyritové formace,
či níže temperované antimonitové formace

Nerudní výplní žil bývá baryt, siderit a kalcit.

5. Sb-As-Se formace
Převládá antimonit, provázený pyritem. Vzácněji galenit nebo sfalerit.

Ložiska arzénu pak obsahují hlavně realgar a auripigment.

V obou případech kalcit

6. Hg formace
Obsahuje jako hlavní a v podstatě jediný rudní minerál rumělku.
Hlušinovou komponentou je kalcit.
Teploty vzniku se blíží atmosferickým teplotám.

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, systém obsahuje velká množství rozpuštěného SiO_2.

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:

$SnF_4 + 2\ H_2O$ ---------- **SnO_2** + HF

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

Podobně se vylučuje křemen:

$SiF_4 + 2\ H_2O$ ---------- **SiO_2** + HF

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

Krystalizuje význačná parageneze minerálů:

- křemen
- topaz
- cinvaldit K, Li, Fe, Al - slída
- apatit (fluorapatit)
- triplit $(Mn, Fe)_2 F PO_4$
- fluorit
- beryl
- turmalín

Tvorba typické parageneze greisenů:

$Ca Al_2 Si_2O_8 + 4F + 4H$ ---------- $Al_2 F_2 SiO_4 + SiO_2 + CaF_2 + 2 H_2O$
anortitová komp. **topaz** **křemen** **fluorit**

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 hydrolýze:

$2 FeCl_3 + 3 H_2O$ ---------- $Fe_2 O_3 + 6 HCl$

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**

<u>Minerály:</u>
- **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 paprsčité)**
- fosfáty: triplit
- **sulfidy: molybdenit, arzenopyrit**, černý sfalerit, **stanin, bismutin**
- **bismut**
- **sekundární minerály**: W a Mo-okry, mnoho dalších

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

Geologie:
- **komplex křemenného teplického porfyru, albitické žuly klenbovité stavby**
- **mikroklinizace, albitizace, fluoritizace**

- **nepravidelná greisenová tělesa v žule**

Ploché křemenné žíly s výplní:
- **křemennou**
- **cinvalditovou**
- **topazovou**
- **K-živcovou**

<u>Minerály:</u>
- **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

Recentní submarinní hydrotermální procesy

<u>Vznik submarinní hydrotermální mineralizace je podmíněn</u>:

- ***výměnou tepelné energie a látek mezi litosférou a hydrosférou***

<u>Dochází k tomu :</u>

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

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

<u>Podloží recentních hydrotermálně sedimentárních sulfidických akumulací a jeho hydrotermální alterace</u>

- **uložení na vulkanitech, případně vulkanoklastických horninách**

Na středooceanických 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 ^{o}C

- „white smokers“ 20-300 ^{o}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)

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.

<u>Hydrotermální kupy</u> – 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/ **<u>Kotlina „Atlantis II“ v riftové zóně Rudého moře:</u>**

- 94 mil. tun rud s kovnatostí 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 **<u>v riftovém údolí Galapážského hřbetu.</u>** 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_2
- **méně hojné jsou částice anhydritu, opálu, oxid-hydroxidů Fe, síry α**
- **vzácně markazit, covellin, cubanit, baryt a některé silikáty**

Rozměry částic v suspenzi jsou velmi malé: 0.1 – 850 μm.

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 nerudních minerálů převládají různé formy SiO_2 a sulfáty
- **akumulace takových rud: středoatlanský, východopacifický a galapážský hřbet, Rudé moře (Atlantis)**

- jde o recentní analogy rudních ložisek „kuroko“ a kyperského typu

Složení sulfidických akumulací na spreadingových zónách v zaobloukových pánvích

je více variabilní **v závislosti na litologii v prostoru konvekčně cirkulačních systémů:**

- opět jde o recentní analogy rudních ložisek „kuroko“ a kyperského typu, která jsou ale mineralogicky pestřejší

- kromě výše jmenovaných jsou hojné minerály tetraedrit-tennantitové skupiny (obsahy Ag), sulfidy Pb a Ag, Au, baryt, anglesit

„Alpské parageneze“

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

Krystalovaly z vodných roztoků o teplotě 100-360 ^{o}C.

Předpokladem je otevření trhlin v horninách při tektonických eventech.

Nízká mineralizovanost roztoků, postupujících trhlinami, způsobuje silné vyluhování prvků okolních hornin, roztoky se nepohybují na větší vzdálenosti a krystalizují z nich minerály.

Tím jsou alpské parageneze silně látkově (a minerálními asociacemi) závislé na hostitelských horninách.

V České republice je alpská parageneze nejvýrazněji vyvinuta:

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

Minerální asociace A

(dle Bernarda)

– v kvarcitech, svorech, fylitech, rulách (nízké obsahy Ca) = v kyselých horninách

Vernířovice u Sobotína – „Hackschlüssel“ = Mísečky

- **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) = sfén (varieta)**
- 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 černozelený,** ve vějířovitých a paprsčitých shlucích
- **anatas (ocelově modré až šedé dipyramidy s silným leskem, do 5 mm)**
- brookit – vzácnější (nahnědlé rýhované velmi tenké tabulky, do 3 mm)
- **rutil (jako varieta „sagenit“ , někdy i zarostlý 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 paprsčité agregáty i několik cm velké, zbarvení šedé až ostře zelené, klasifikačně většinou epidoty)**

- **chlorit = chamosit** (Losos a kol. 1994), **ve varietě „strigovit“ (jemně zrnité až celistvé černozelené 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 – „Pfarrerb“ (Farský důl)

- **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)

- **albit – tvoří drúzy bílých nebo bezbarvých XX, několik mm velkých, často zdvojčatělých**

- **adulár (mikroklin)**

- **aktinolit** v podobě azbestu

- **apatit (nízce sloupečkovité XX bílé nebo nafialovělé barvy)**

- ***diopsid*** je nejstarším minerálem (350 ^{o}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 ^{o}C a tlak 1 kbar

Mirošov – činný lom

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

Minerály:

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

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_3 . H_2O)**

- **Mn-cummingtonit v azbestové formě**
- **cronstedtit** (sk. serpentinu)

- hyalofan
- K, Ba – živce, Ba-heulandit

- **Pyrofanit** ($MnTiO_3$)
- **dravit- jemně vláknitý**
- **křemen**
- **sulfidy: alabandin (MnS), pyrit, markazit**

- hevlín, rutil, opál