

## Nerostné suroviny a jejich ložiska

Svět, ve kterém žijeme, se skládá z atomů. Už více než sto let víme, že atom není nedělitelná částice, a má svoji vlastní stavbu. Pro bližší charakteristiku všeho co nás obklopuje, je atom zcela postačující, protože je to nejmenší částice hmoty, která si dokáže zachovat všechny charakteristiky prvku. Můžeme říci, že ten či onen atom je atomem železa, křemíku nebo vodíku, ale nemůžeme to již říci o elektronech, protonech a neutronech, které atom skládají.

Pro lidskou společnost jsou atomy a jejich vzájemné propojení zcela zásadní. Když pomineme fakt, že se sami (stejně jako veškerá živá příroda) skládáme z atomů (převážně uhlík, vodík, dusík a kyslík), nezbyvá než konstatovat naši úplnou závislost na neživé přírodě.

Jak toto tvrzení chápat? V době, kdy byl člověk jedním z mnoha živočišných druhů, který jen přijímal rostlinnou nebo živočišnou potravu ze svého okolí, tvořila neživá příroda jeho přirozené prostředí vhodné k životu. Chodil po zemi tvořené minerály a horninami, přijímal vodu, dýchal vzduch. Ve vývoji živočišného druhu Homo však nastala změna, resp. mnoho změn v postupném časovém sledu, kdy člověk začal okolní neživou i živou přírodu využívat „nadstandardně“. Stalo se to v okamžiku, kdy vyrobil první nástroj a pokračovalo to první zbraní, oblečením, nádobou a zrychlíme-li tuto úvahu, můžeme pokračovat zemědělstvím, průmyslem, stavebnictvím až do současné podoby světa.

Co má tento sled rozvíjejících se lidských činností a dovedností společného? Člověk pro výrobu nástrojů, oblečení, nádob a dalších věcí potřeboval nějaký materiál – v dnešní terminologii **surovinu**. Musel se naučit tuto surovinu najít, získat, zpracovat a vyrobit výsledný požadovaný produkt. Bez nadsázky tak můžeme říci, že suroviny provázejí lidskou společnost od jejího samotného vzniku před několika málo miliony let.

### Význam přírodních zdrojů (surovin) pro lidskou společnost

Žáci 9. třídy mají vcelku realistickou představu o fungování lidské společnosti v její dnešní podobě. Vědí, že všechny věci, které denně používají, se z něčeho vyrábí. Bohužel i u těch nejběžnějších často nevědí z čeho. Technologie a výrobky jsou v dnešním světě velmi složité a nelze očekávat, že se běžný člověk dokáže v této problematice snadno orientovat. Cílem výuky zaměřené na surovinové zdroje v 9. ročníku by mohlo být toto:

- ukázat žákům, že vše co je v životě obklopuje a co běžně používají, se vyrábí ze surovin

- ukázat, že cesta od suroviny ke konečnému výrobku je dlouhá a často energeticky náročná
- vysvětlit základní geologické procesy, které vedou ke vzniku ložisek nerostných surovin
- upozornit na souvislosti těžby a využití surovin se zhoršujícím se stavem životního prostředí na naší planetě (zejména znečištění atmosféry, vodních zdrojů a degradace půdy).

Pro objasnění této problematiky zcela postačují dva základní výchozí pojmy: surovina a ložisko.

## Ložiska nerostných surovin – základní pojmy

**Surovina** je jakýkoliv materiál, který člověk dokáže najít, vytěžit, zpracovat a využít. Najít surovinu je prvním krokem, ne vždy zcela snadným. Některé suroviny jsou pod povrchem a k jejich nalezení dnes využíváme různé technické prostředky. Těžba surovin rovněž nemusí být zcela triviální záležitostí, viz např. ropa nebo zemní plyn. Zpracování vytěžené suroviny představuje proces její přeměny do využitelné podoby. Některé postupy zná lidstvo mnoho staletí, příkladem může být hutnění mědi nebo železa, některé suroviny dokážeme zpracovávat teprve krátkou dobu, např. uran. Vlastní využití suroviny je v dnešní době vždy spojeno s ekonomickými faktory globalizované lidské společnosti a začíná prodejem suroviny, pokračuje výrobou výsledného produktu jeho prodejem zákazníkovi a končí (téměř vždy) vznikem odpadu. Pro úplnost ještě dodejme, že surovinou může být i živá příroda (dřevo, obilí, zvířata na maso apod.) nebo sluneční záření, voda či vítr (tzv. obnovitelné energetické suroviny). Běžně se setkáme s pojmem **nerostná surovina**, u které se předpokládá její původ v zemské kůře.

Nerostné suroviny se z hlediska jejich složení a konečného využití nejčastěji dělí do následujících skupin:

1. **Rudní suroviny** (rudy) jsou minerály nebo prvky, ze kterých je možné získat jeden nebo více kovů. Příkladem jsou magnetit (Fe), chromit (Cr), galenit (Pb, Ag, Bi), chalkopyrit (Cu), sfalerit (Zn, Cd) nebo zlato (Au).
2. **Nerudní suroviny** (nerudy) jsou prvky, minerály nebo horniny, ze kterých se získává nekovový prvek, nebo se používají přímo pro své fyzikálně-chemické vlastnosti. Příkladem je žula (kamenivo), kaolinit (keramická surovina), písek (stavební materiál), vápence (výroba vápna a cementu).
3. **Energetické suroviny** jsou všechny zdroje umožňující výrobu energie, nejčastěji ve formě elektrické. Zatímco dříve převažovaly hlavně kaustobiolity uhelné (lignit, hnědé a

černé uhlí, antracit) a živičné (ropa, zemní plyn) řady, dnes mezi významné energetické suroviny počítáme také uran, větrnou energii, vodní energii, sluneční záření nebo geotermální energii.

**Ložisko** je přirozená akumulace nerostné suroviny v zemské kůře, která může být využita pro potřeby lidské společnosti. Mluvíme-li o akumulaci suroviny, máme na mysli místo, kde se určitý prvek, minerál nebo hornina přirozeně nahromadil (tj. geologickými procesy) v množství větším, než je běžné v zemské kůře. Kolikrát musí být toto množství větší, než je průměrné zastoupení záleží na typu suroviny a na ekonomických podmínkách ve společnosti. Často se používá termín **průmyslové ložisko** pro akumulace, kde je nahromadění suroviny dostatečné, technicky vytěžitelné a ekonomicky výhodné. Pokud některá z podmínek není splněna, je akumulace označována jako **ložisko neprůmyslové** (nebilanční).

## Složení geosféry z pohledu těžby ložisek

S ohledem na složení vesmíru je planeta Země, podobně jako většina planet, zcela anomální. Více jak 99 % vesmíru se skládá z vodíku a hélia, navíc je většina hmoty ve stavu plazmatu. Na planetě Zemi je zastoupení prvků odlišné. Pro jednodušší přiblížení vezmeme jen ty její části, které tvoří naše životní prostředí. Těmi jsou atmosféra, hydrosféra (moře, řeky, jezera, podzemní voda) a zemská kůra. To jsou části Země, se kterými jsme běžně v kontaktu. Zemský plášť a jádro jsou pro nás fyzicky nedosažitelné.

Položme si teď otázku, které prvky jsou vlastně ty „obyčejné“, tedy ty, kterých je kolem nás nejvíce, a které prvky počítáme mezi ty „vzácné“?

Podíváme-li se do atmosféry, je to vcelku jasné: vzduch tvoří 78 % dusíku, 21 % kyslíku a 1 % argonu. Všechny ostatní prvky jsou v atmosféře zastoupeny jen okrajově, včetně často zmiňovaného CO<sub>2</sub> (400 ppm). Vzhledem k rychle klesajícímu objemu vzduchu s výškou nad povrchem, je zastoupení tří uvedených prvků s ohledem na ostatní geosféry zanedbatelné.

V hydrosféře jsou hlavními prvky vodík (11 %) a kyslík (86 %). Nesmíme zapomenout, že většina vody je v oceánech, takže 3 % hydrosféry tvoří sodík a chlor. Všechny ostatní prvky jsou v hydrosféře obsaženy jen stopově.

A nakonec zůstává zemská kůra. Skládá se z různých typů hornin, které jsou tvořeny jednotlivými minerály. Naprostou převahu má devět základních horninotvorných minerálů: křemen, draselný živec, plagioklas, muskovit, biotit, olivín, pyroxeny, amfiboly a kalcit. S výjimkou posledního se jedná o silikáty, tedy minerály, jejichž základem jsou různě propojené tetraedry SiO<sub>4</sub>. Nepřekvapí tedy, že zemská kůra obsahuje 49 % kyslíku a 26 % křemíku. To jsou přibližně ¾ celku. Dále následují hliník (7,5 %), železo (4,2 %), vápník

(3,3 %), hořčík (2,4 %), sodík (2,4 %), draslík (2,4 %) a vodík (1 %). Těchto 9 prvků tvoří 98 % veškeré zemské kůry, všechny ostatní jsou zastoupeny nejvýše v desetinách procenta, ale většinou výrazně méně a jsou vcelku rovnoměrně rozptýleny. Co z toho vyplývá? Abychom mohli využívat většinu pro nás běžných prvků (Cu, Zn, Pb, V, Cr, Au a další) potřebujeme najít a vytěžit jejich akumulace – ložiska.

## Ložiska nerostných surovin – ložiskotvorné procesy

Všechny prvky v zemské kůře jsou rozděleny poměrně rovnoměrně, ale občas se objeví výjimka, kterou pak označujeme jako *ložisko* té či oné nerostné suroviny. Vznik ložiska umožňují tzv. ložiskotvorné procesy, které vlastně nejsou ničím jiným, než běžnými endogenními a exogenními procesy neustále probíhajícími na naší planetě.

Všechny geologické pochody jsou v rámci zemské kůry a zemského pláště vzájemně provázané a navzájem se ovlivňují. Konkrétní geologické procesy mohou za určitých podmínek vést ke vzniku akumulace (ložiska) určitého minerálu, za jiných podmínek mohou působit naopak destruktivně.

Zcela jednoduše se vyčleňují **endogenní ložiska**, k jejichž vzniku vedou konkrétní endogenní pochody a obdobně **exogenní ložiska**, vznikající v pochodech exogenních. Jak bylo uvedeno, všechny pochody se navzájem ovlivňují, takže existuje nemalé množství přechodných typů ložisek, na jejichž vzniku se podílely endogenní i exogenní činitelé.

Nejvýznamnějším pochodem při vzniku **endogenních ložisek** je vývoj magmatické taveniny ve svrchním plášti nebo zemské kůře. Ke vzniku ložisek mohou vést některé procesy při tuhnutí magmatu. Jednou z možností je, že se od magmatu oddělí tavenina speciálního složení a z ní utuhlá hornina je pak obohacena o některé ložiskotvorné minerály. Jinou možností je postupná krystalizace minerálů a jejich následná gravitační segregace a postupné hromadění na dně magmatického krbu. Ke vzniku ložisek velmi často vede oddělení těkavých složek (kapalných a plynných) během tuhnutí magmatu. Ty se později dostanou do jiných fyzikálně-chemických podmínek a může dojít k jejich krystalizaci a vzniku ložiska. Na těchto typech ložisek se velmi často vyskytují různé kovy (Pb, Zn, Cu, Ag, Au, U a další).

Dalším důležitým pochodem při vzniku endogenních ložisek je rekrystalizace tuhých látek – zjednodušeně metamorfóza. Metamorfní procesy mohou za určitých podmínek vést k diferenciaci hmoty a vznikají tak metamorfogenní ložiska. Někdy tyto procesy působí na již existující ložisko jiného typu a vznikají ložiska metamorfovaná.

Exogenní procesy mohou vést ke vzniku **exogenního ložiska** několika způsoby. Často je to mechanická akumulace klastických částic vzniklých během zvětrávání. Ty se mohou hromadit

ve zvětralinovém plášti nebo mohou být selektivně transportovány vodou či větrem na místo jiné. Často se tak děje na základě rozdílné hustoty materiálu (těžké minerály jako zlato, rostlinné zbytky). Jinou možností vzniku ložiskové akumulace je vysrážení určité složky z plynného nebo kapalného prostředí v povrchových podmínkách. Podobným případem je přechod některých složek ze zvětralinového pláště do podzemních vod a jejich pozdější vysrážení v sedimentu.

Na závěr je potřeba poznamenat, že ložiska jsou v neustálém vývoji, podobně jako jsou v cyklickém vývoji svrchní plášť a zemská kůra. V horizontu milionů let se endogenní ložisko dostává na povrch a může se změnit se na jiný typ ložiska exogenního. Z pohledu geologického času je vznik ložisek přirozený a neustále probíhající děj, z pohledu lidského vnímání času jsou to samozřejmě zdroje neobnovitelné.

## **Klasifikace ložisek nerostných surovin a jejich příklady**

Rozdělení ložisek nerostných surovin lze provést podle mnoha kritérií. Můžeme vyjít z tvaru ložiska, způsobu vzniku, prostorovému vztahu k určitému typu hornin, lze přihlídnout k chemicko-technologickému hledisku nebo ekonomickým ukazatelům. Řada autorů vypracovala mnoho různých klasifikačních schémat, kdy každé má své výhody a nevýhody. Vybrat nějakou univerzální klasifikační metodu je velmi obtížné.

V následujícím textu bude uvedena velmi zjednodušená klasifikace ložisek na základě jejich geneze – způsobu vzniku. Velmi jednoduše bude uveden způsob vzniku, typy zrudnění a příklady některých významných ložisek v ČR i ve světě. Je třeba si uvědomit, že většina ložisek je velmi komplikovaná a existuje řada přechodných typů. V základu vyjdeme z výše uvedeného členění:

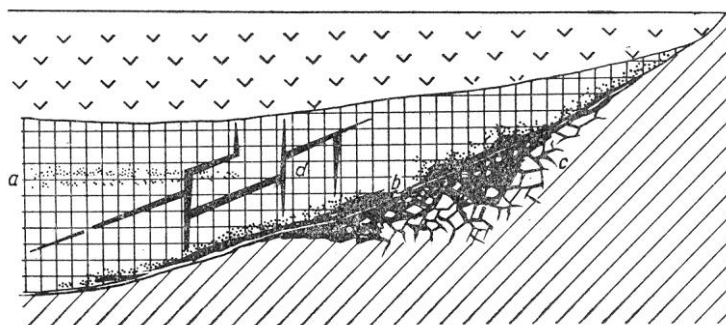
- endogenní ložiska – spjatá s endogenními procesy
- exogenní ložiska – spjatá s exogenními procesy
- přechodná ložiska (endo-exogenní nebo exo-endogenní)

### **Ložiska magmatická**

Tato endogenní ložiska vznikají v souvislosti s diferenciací a krystalizací magmatu ve svrchním plášti nebo zemské kůře.

**Ložiska likvačního typu** vznikají rozštěpením magmatu při teplotě cca 1500 °C na sulfidickou a silikátovou taveninu (obrázek 1) a jejich odděleným utužením. Nastává to zpravidla v komplexech bazických až ultrabazických hornin (nap., gabra a nority) a užitkovou složkou jsou Cu-Ni sulfidické rudy, často i s obsahem platinových kovů nebo zlata. Ke

světově významným ložiskům patří oblast Sudbury v Kanadě, oblast Pečenga a Mončegorsk v Rusku nebo Bushveldský komplex v Jihoafrické republice. U nás se tento typ ložiska těžil u Starého Ranska na Českomoravské vrchovině.



Obrázek 1. Černou barvou jsou zakresleny likvační rudy vykrystalované ze sulfidické taveniny.

### Ložiska segregančního typu

(protomagmatická) vznikají při krystalizační diferenciaci, kdy ložiskové minerály vznikají dříve než ostatní horninotvorné minerály a akumulují se díky vyšší hustotě. Významná jsou ložiska chromitu (Cr) a titanomagnetitových rud (Fe, Ti, V) v ultrabazických horninách typu peridotitů nebo pyroxenitů. Největší zásoby najdeme v Bushveldském komplexu v JAR nebo na ložisku Stillwater v Montaně. Stejný způsob vzniku mají ložiska diamantů ve velmi specifických horninách – kimberlitech. Nejznámějšími oblastmi těžby jsou Kimberley a Pretoria v JAR nebo oblast Jakutska v Rusku. U nás byly vzácně nalezeny diamanty mikroskopické velikosti v Českém středohoří (vrch Linhorka).

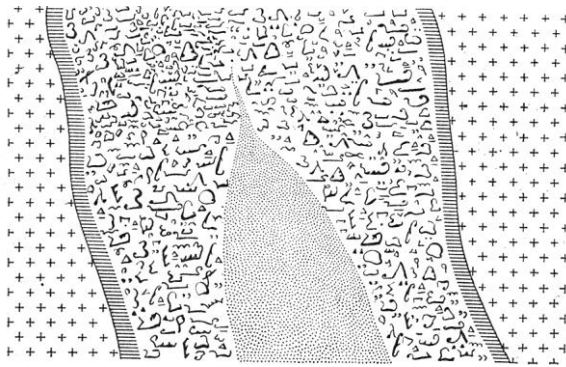
**Ložiska pozdně magmatická** (hysteromagmatická) vznikají v závěrečných fázích krystalizace magmatu, kdy zbytková tavenina je obohacena o ložiskotvorné složky. Někdy tato mineralizace utuhne mezi ostatními zrny silikátových minerálů, jindy je vytlačena do žilných struktur, kde utuhne. Nejčastěji bývá užitkovou složkou chromit (Cr, někdy i platinové kovy) a ilmenit (Ti). Mineralizace je rovněž vázána na ultrabazické komplexy starých platformních štítů (Kanda, Skandinávie, JAR).

### Ložiska pegmatitová

Pegmatity se řadí mezi žilné magmatické horniny (obrázek 2) a většina z nich je odvozena od magmatitů granitového složení. Jejich vznik se spojuje se závěrečnou fází tuhnutí magmatického tělesa, kdy se oddělí zbytková tavenina obohacená o těkavé složky (plyny a roztoky), pronikne do příhodných struktur v okolí (pukliny, dutiny) a zde utuhne. Tato zbytková tavenina je často obohacena o některé vzácné prvky. Klasifikace pegmatitů je velmi komplikovaná, nicméně nejčastěji slouží jako následující ložiska:

- křemen a živec (tzv. keramické pegmatity), u nás těženy na Domažlicku a v Dolních Borech u Velkého Meziříčí

- slídonosné pegmatity – velké tabule muskovitu, těží se v Brazílii, na Ukrajině, Madras v Indii



Obrázek 2. Příčný řez pegmatitovou žílou. Většinu tělesa tvoří grafické srůsty křemene a živce, střed představuje křemenné jádro.

- beryliové pegmatity jsou zdrojem berylia (nejčastěji minerál beryl), ložiska v Brazílii a Indii
- lithné pegmatity jsou zdrojem Li a Rb, zájmovými minerály je lepidolit, spodumen a amblygonit (někdy Li-turmalíny). Těží se v Kanadě nebo Brazílii, u nás je největší těleso v Rožné u Bystřice nad Pernštejnem.
- některé pegmatity představují ložiska drahých kamenů (smaragd, rubín, safír, turmalín), velký význam mají pegmatitová tělesa s obsahem Ta-Nb minerálů nebo prvků vzácných zemin (REE).

### Ložiska rudonosných metasomatitů

Tato endogenní ložiska vznikají za vysokých teplot v pozdní fázi krystalizace magmatických těles. Na okrajovou část magmatického tělesa nebo okolní plášťové horniny působí zbytkové roztoky, které způsobí **metasomatózu** – chemickou přeměnu původních minerálů. Celý proces může probíhat několika způsoby a jeho výsledkem může být vznik ložisek průmyslově využitelných složek (minerálů).

Na kontaktu mezi granitickou a karbonátovou horninou (mramor, vápenec) vznikají **skarnová ložiska**. Díky vysoké teplotě a chemickým reakcím mezi výrazně odlišnými typy hornin vznikají kontaktně metasomatické horniny označované jako skarny nebo taktity. Skládají se především ze silikátů vápníku a železa (pyroxeny, granáty, wollastonit). Jejich vznik je spojen s oboustrannou difúzí komponent v roztoku při teplotách od cca



Obrázek 3. Žlutohnědý krystal scheelitu (zdroj W) ze skarnového tělesa Obří důl v Krkonoších.

800 °C do asi 50 °C. Mezi zájmové prvky získávané ze skarnů patří zejména železo (magnetit), wolfram (scheelit), měď (chalkopyrit, bornit) nebo olovo a zinek (galenit, sfalerit). K našim nejznámějším ložiskům patří Měděnec a Přísečnice v Krušných horách (Fe) nebo Obří důl v Krkonoších (obrázek 3).

**Albitová ložiska** jsou vázána zejména na tělesa alkalických granitů a syenitů a to na jejich svrchní části intruzivních těles. Vznik zrudnění je spojen s finální přeměnou – albitizací. Všechny K-živce v hornině jsou přeměněny na albit a zároveň vznikají rudní minerály. Tato ložiska poskytují ekonomické zásoby niobu, tantalu (columbit, tantalit, pyrochlor, mikrolit), prvků vzácných zemin, zirkonia a místy i berylia. V ČR ložiska tohoto typu nemáme.

Jiným typem metasomatických ložisek jsou **ložiska greisenová**, která jsou vázána na vrcholové části granitových těles. Greisenová metasomatóza probíhá především na puklinách a v tektonických zónách magmatického tělesa a jeho okolního pláště, kdy procházející



Obrázek 4. Járový lom – pozůstatek po těžbě greisenového ložiska Hubský peň v Krásnu, západní Čechy.

roztoky přinášejí rudní mineralizaci a zároveň mění okolní horninu (vzniká křemen, Li-slída, topaz). To se zpravidla děje v několika časově oddělených etapách. Typickými užitkovými surovinami na greisenových ložiscích jsou kasiterit (Sn), wolframit (W), molybdenit (Mo), beryl (Be) nebo slída cinvaldit (Li). Významnou oblastí těchto ložisek jsou

Krušné hory (Horní Slavkov, Cínovec, Horní Blatná, Krásno), kde těžba Sn-W rud probíhala již od středověku (obrázek 4).

K největším metasomatickým akumulacím nerostných surovin světa patří **ložiska porfyrových rud**. Jsou vázána na pň kyselých a intermediálních plutonických hornin (granodiorit, tonalit, syenit, monzonit), často s porfyrickou stavbou (odtud název). Ložisková mineralizace je vtoušena do intenzivně druhotně přeměněných magmatických hornin a někdy



i do okolního pláště. Vzhledem k tomu, že rozměry těchto ložisek bývají obrovské, těží se i přesto, že rudy bývají chudé. U mědi (chalkopyrit) je to do 1 % obsahu rudy a u molybdenu (molybdenit) do 0,35 %. Někdy se jako vedlejší produkty těžby získávají kovy Au, Ag, Bi, Re, Se, Te. V ČR se tento typ ložisek nevyskytuje, ve světě jsou největší Morenci, Bingham, Bisbee, Climax, Henderson (USA), El Teniente (Chile) nebo Kadžaran (Arménie).

### Ložiska hydrotermální

Jedná se velmi významnou, ale z hlediska vzniku a vztahu k magmatismu velmi komplikovanou skupinu endogenních ložisek. Hydrotermální procesy, které vedou k jejich vzniku, se obtížně definují a často se překrývají např. s metasomatickými procesy (viz předchozí kapitola). Většina hydrotermálních ložisek je v přímém nebo nepřímém vztahu s magmatickými horninami, ale jsou zde řazeny i některé typy, které s nimi zdánlivě nesouvisí.

Hydrotermální ložiska vznikají vysrážením z hydrotermálních roztoků – tedy roztoků, které jsou obohaceny o ložiskotvorné prvky. Hlavní složka těchto roztoků – voda – může pocházet z magmatu, může být metamorfního původu nebo se může jednat o vodu exogenního původu (povrchová, oceánská). Zdroj ložiskotvorných prvků v těchto roztocích může být rovněž různý: mohou pocházet přímo z magmatu, mohou se mobilizovat z horninového komplexu nebo se dostávají do roztoků ze zvětralinového pláště. Z uvedeného vyplývá, že hydrotermální roztoky bývají velmi komplikované, a proto běžně vznikají i komplikovaná hydrotermální ložiska.

Zjednodušená představa vzniku vlastního hydrotermálního ložiska může být následující. Horninovým masivem koluje hydrotermální roztok, který obsahuje ložiskotvorné prvky, zpravidla ve formě komplexních sloučenin. Ve vhodných geologických strukturách – pukliny, tektonické poruchy, dutiny, póry aj. – dojde k vysrážení a krystalizaci ložiskotvorných minerálů. Impulsem takové krystalizace nejčastěji bývá pokles teploty roztoku, pokles okolního tlaku, změna pH prostředí, změna oxidačně redukčního potenciálu nebo přesycení původního roztoku.

Vzhledem k již zmíněné složitosti celého procesu se hydrotermální ložiska klasifikují podle různých kritérií:

- podle teploty vzniku – vysokoteplotní (600–300 °C), středně teplotní (300–200 °C) nízkoteplotní (200–50 °C)
- podle hloubky vzniku (abysální, hypabysální, epikrustální)
- podle prostorového vztahu k magmatu

- podle původu hydrotermálních roztoků
- podle tvaru a struktury
- podle asociačního typu (Au, Au-Ag, Cu-Pb-Zn, Sb-Hg a pod.)

V následujícím stručném přehledu se přidržíme rozdělení ložisek podle prostorového vztahu k magmatu.

#### Plutonická hydrotermální ložiska

Tato ložiska se vyskytují v prostorovém i genetickém vztahu s plutonickými magmatickými horninami, hlavně granitoidního typu. Vznikají za různých teplotních podmínek, většina z nich vzniká v několika mineralizačních fázích. Horniny v okolí ložiskových těles (žíly, žilníky, vtroušené rudy) bývají silně druhotně přeměněné.

*Ložiska staré zlatonosné formace* jsou většinou křemenné žíly uložené v metamorfovaných horninách. Na žilách je zlato ryzí nebo je vázáno na některé sulfidy. U nás byla ložiska tohoto typu těžena v Roudném u Vlašimi nebo Jílovém u Prahy, zajímavé zásoby jsou stále uloženy v okolí Mokrsko.

*Ložiska Pb-Zn±Cu* jsou tvořena především galenitem (obrázek 5), sfaleritem a chalkopyritem. Hlušinou výplň žil tvoří nejčastěji křemen nebo karbonáty. V ČR patří do této skupiny významná historická ložiska Příbram, Vrančice nebo Kutná Hora.

*Ložiska uraninit-karbonátové formace* bývají často doprovázena bohatou sulfidickou mineralizací, např. Ag, Co, Ni, Bi. Hlavním zájmovým minerálem je uraninit vyskytující se v karbonátové výplni žil.



Obrázek 5. Drúza galenitu z ložiska Příbram. Galenit je hlavním zdrojem Pb a někdy i dalších prvků jako Ag, Bi nebo Se.

K tomuto typu patří v ČR ložiska Jáchymov, Dolní Rožínka nebo Zadní Chodov.

*Ložiska fluorit – barytové formace* mají většinou charakter žilné výplně a místy bývají doprovázeny sulfidickou mineralizací, zejména galenitem. U nás jsou drobná ložiska běžná – Moldava, Běstvína, Harrachov.

Subvulkanická hydrotermální ložiska

Ložiska jsou spjata s vulkanickými aparáty a uložena ve vulkanických nebo vulkano-sedimentárních komplexech. Nejčastější je vazba na vulkanismus ryolitového a andezitového typu.

*Ložiska bolivijského typu* se vyskytují v třetihorních vulkanických komplexech a jsou zdrojem zejména Sn, W, Bi a Ag. Bývají velmi bohatá i na doprovodné prvky, k nejznámějším ložiskům patří Oruro a Potosí v Bolívii.

*Ložiska mladé zlatonosné formace* obsahují většinou nejen zlato ale i stříbro. Zlato je často přítomno v ryzí formě, stříbro je vázané na sulfidy. Jsou častá v cirkumpacifické oblasti nebo v karpatském oblouku. K nám nejbliže je slovenské ložisko Kremnica nebo některá ložiska v Rumunsku.

*Ložiska polymetalických rud* jsou běžná v oblastech mladých vulkanických pohoří a bývají tvořena zejména chalkopyritem, sfaleritem, galenitem, pyritem a hematitem. Na Slovensku jsou to ložiska Banská Štiavnica a Hodruša, v Rumunsku Baia Sprie a Baia Mare.

*Vulkanická ložiska Hg* jsou tvořena cinabaritem, ryzí rtuť a realgarem a bývají uložena v andezitových vulkanických komplexech. Na Slovensku k nim patří např. ložisko Zlatá Baňa a Dubník.

Teletermální (stratidependentní) hydrotermální ložiska

Tato hydrotermální ložiska jsou uložena v sedimentárních komplexech bez zjevného prostorového vztahu k magmatickým tělesům. Většinou se nachází blízko povrchu a vznikala za nízkých teplot.

*Teletermální ložiska Pb-Zn rud* bývají často uložena ve vápencích, tvoří je sfalerit a galenit. Přeměna okolních hornin bývá minimální. Často se objevují v sedimentech ordovického až křídového stáří. Příkladem jsou Bytom (Polsko), Bleiberg (Rakousko), Mežica (Slovinsko).

*Teletermální ložiska Hg-Sb rud* jsou často uložena v jílovcích a pískovcích ve tvaru poloh, čoček nebo žil. Zastoupeny jsou ryzí rtuť, cinabarit, antimonit a některé další sulfidy. Převahu Hg najdeme na ložiscích Almaden (Španělsko) nebo Idria (Slovinsko).

*Teletermální ložiska Cu rud* tvoří obvykle rozsáhlé stratiformní polohy tzv. mědinosných pískovců nebo jílovců. Velmi známé je německé ložisko Mansfeld.

### Metamorfogenní ložiska

Tato ložiska jsou spojena s metamorfními pochody, které vedly k nahromadění určité zájmové látky. Je třeba nezaměňovat tento typ s ložisky metamorfovanými, což jsou libovolná ložiska, která byla metamorfními pochody do určité míry přepracována, ale ne vytvořena.

Mezi metamorfogenní ložiska řadíme taková, kde metamorfní procesy vedly ke koncentraci určitého prvku nebo remobilizovaly složky staršího ložiska a vytvořily ložisko kvalitativně jiné (např. metamorfóza uhelné sloje na ložisko grafitu). Metamorfní procesy jsou velmi složité a mohou ložiska nejen vytvářet, ale za jiných okolností je také destruovat.

Jako příklad uvedme ložiska grafitu, která vznikají metamorfózou organických zbytků v sedimentárních horninách. Při silnější metamorfóze mohou vznikat ložiska Al-bohatých minerálů sillimanitu a kyanitu. Produktem regionální i kontaktní metamorfózy bauxitu mohou být ložiska smirku (korund). Metamorfogenním ložiskem jsou i polohy krystalických vápenců (mramorů) u



Obrázek 6. Pokrývačská břidlice – fylit, metamorfogenní ložisko Jílové u Držkova.

nás těžených např. v Horním Lánově, Supíkovicích nebo v okolí Dolní Lipové. Stejně tak jsou ložisky komplexu pokrývačských břidlic (fylitů) v okolí Železného Brodu (obrázek 6).

Je potřeba také uvést, že metamorfní činitelé se často kombinují s dalšími ložiskotvornými procesy (např. hydrotermální roztoky) a vznikají tak nejrůznější kombinované typy ložisek nerostných surovin.

### Ložiska přechodná (endo-exogenní, exo-endogenní)

Tato ložiska vznikají za přispění endogenních i exogenních geologických pochodů. Nejčastěji jsou to procesy, kdy se hydrotermální roztoky nebo mineralizované vody vysráží v atmosféře nebo hydrosféře. Méně významným příkladem mohou být vulkano-exhalační (sublimační) ložiska, kdy dochází k desublimaci sirných nebo bórových sopečných par na zemském povrchu.

### Submarinní vulkano-sedimentární ložiska

Ložisko vzniká ze sopečných exhalací nebo postvulkanických hydroterm, ze kterých se vysráží užitečné složky a sedimentují na mořské dno. Část zrudnění pak může vzniknout v sedimentech těsně pod oceánským dnem. Často se používá označení exhalančně nebo hydrotermálně sedimentární ložiska.

Většího významu dosahují *vulkano-sedimentární rudy železa*, často označovaná jako ložiska typu Lahn-Dill. Jsou spojena s bazickým podmořským vulkanismem a v mořské vodě se sráží v podobě hematitu, jaspilitu nebo Fe-chloritů. Často bývají tato ložiska metamorfována. K tomuto typu patří velmi pravděpodobně rozsáhlá ložiska železitých kvarcitů (Krivoj Rog, Kursk).

Podobný charakter a způsob vzniku mají *manganová vulkano-sedimentární ložiska*. Hlavními složkami bývají minerály pyroluzit, rodonit a rodochrozit. U nás bylo těženo metamorfované ložisko u Chvaletic.

Značný význam mají *vulkano-sedimentární ložiska kyzové formace*. Většinou vytváří rozsáhlá rudonosná pásma ve tvaru stratiformních poloh nebo čoček, která mají jasnou zonálnost – blíže zdroje se nachází Cu-rudy, ve větší vzdálenosti pak Pb-Zn rudy a baryt. Typickými rudními minerály je pyrit, pyrhotin, chalkopyrit, sfalerit a galenit. Zcela běžná je jejich regionální metamorfóza společně s okolními horninami. Tři hlavní typy tvoří:

- kyzová ložiska kyperského typu (Fe-Cu) spojená s bazickým vulkanismem
- kyzová ložiska typu Besshi (Fe-Cu-Zn) spojená s vulkanity andezitového typu
- kyzová ložiska typu Kuroko (Fe-Cu-Zn-Pb) spojená s kyselým vulkanismem (dacit, ryolit)

U nás byla dříve těžena ve vrbenské skupině ložiska Zlaté Hory a Horní Benešov. Zajímavostí je, že vznik ložisek tohoto typu můžeme v současnosti pozorovat na oceánských dnech v některých oblastech Rudého moře a Filipín. Hydrotermální roztoky vystupují na mořském dně v útvarech označovaných jako tzv. bílí a černí kuřáci.

### Infiltrační ložiska

Tento typ smíšených endo-exogenních ložisek vzniká vysrážením mineralizace z chladných podzemních vod ve vhodných strukturách hornin (často sedimentů) těsně pod zemským povrchem. Mohou tak vznikat pouze ložiska prvků, které se rozpouští i v chladnějších vodách (U, Cu, Mo, V, Fe, Mn).

Mezi významné typy patří infiltrační ložiska uranu. Komplexy uranu snadno migrují a vysráží se ve slepencích nebo pískovcích ve formě uraninitu. Některá ložiska dosahují značných rozměrů, u nás byla ložiska tohoto typu velmi nešetrně těžena z křídových sedimentů v okolí Stráže pod Ralskem.

### Zvětralinová ložiska

Tato exogenní ložiska vznikají zvětráváním nejsvrchnější části zemské kůry (místy až do hloubky 200 m pod povrchem) a akumulací ložiskových složek ve zvětralinovém plášti. Rozpadající se hornina obsahuje chemicky inertní minerály, těžko pohyblivé produkty zvětrávání a snadno pohyblivé produkty zvětrávání, které mohou být snadno odnášeny podzemními nebo povrchovými vodami. Hlavní podíl na vzniku ložisek má mechanické a chemické zvětrávání, cirkulace vody zvětralinovým pláštěm a transport některých složek zvětralinového pláště.



Obrázek 7. Pyrop – český granát z rozsypového ložiska nedaleko Třebenic. Produkce se využívá ke šperkařským účelům.

### Rozsypová ložiska

Rozsypová ložiska vznikají zvětráváním původních hornin a nahromaděním zájmových minerálů ve zvětralinovém plášti. Většinou se jedná o tzv. těžké minerály, tedy minerály s nadprůměrnou hustotou (zlato, platina, kasiterit, wolframit, columbit, korund, diamant, granát). Jejich těžba probíhá většinou rýžováním. Na

našem území se tento typ ložiska stále těží v okolí Třebenic (český granát, obrázek 7).

### Reziduální ložiska

Tento typ ložisek vzniká zvětráváním silikátových nebo karbonátových hornin. Zvětrávání je selektivní a v závislosti na jeho typu a klimatických podmínkách je část složek odnesena a část se na místě obohacuje. Při sialickém zvětrávání jsou odnášeny alkalické prvky, prvky alkalických zemin a železo za vzniku jílových minerálů (kaolinit, montmorillonit). Při alickým zvětráváním (lateritizace) vznikají oxidy a hydroxidy hliníku (gibbsit, boehmit, diaspor) a železa (goethit, hematit). Tyto typy ložisek vznikají hlavně chemickým zvětráváním zejména v teplém a vlhkém klimatu.

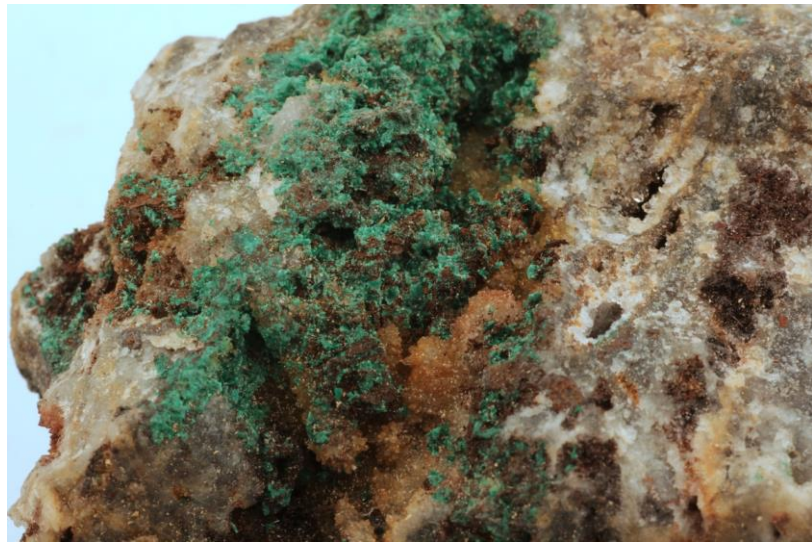
Velký význam mají ložiska kaolinitu, který vzniká zvětráváním živců žul, rul nebo arkóz. U nás najdeme taková ložiska v okolí Karlových Varů (Nová Role), Plzně (Kaznějov) nebo Znojma (Únanov). Celosvětově významným zdrojem Al jsou ložiska lateritického bauxitu,

který se hromadí v humidních oblastech až do hloubky 150 m ve zvětralinovém pláští. Menší význam mají podobné lateritická rudy železa a niklu.

### Ložiska supergenního obohacení

Stejně jako horniny, zvětrávají i ložiska nerostných surovin. Zejména u sulfidických ložisek dochází k rozkladu původní mineralizace (supergenze) a vzniku druhotných minerálů, které vytvoří tzv. supergenní obohacení ložiska. Z hlediska těchto procesů, můžeme ložisko rozdělit na tři části.

Nejspodnější část tvoří zónu primární mineralizace (původní rudy), kde neprobíhají žádné zvětrávací pochody. Naopak v povrchové části – oxidační zóně – původní minerály intenzivně zvětrávají za přispění povrchových vod a vzdušného kyslíku. Spodní hranicí této zóny je hladina podzemních vod. Vrcholová část oxidační zóny (tzv. gossan nebo železný klobouk) je místem možného obohacení rud (Fe, Mn, Cu). Vyskytují se zde ve formě oxidů, hydroxidů, karbonátů nebo sulfátů (obrázek 8).



Obrázek 8. Malachit vzniká jako druhotný minerál v oxidační zóně sulfidického ložiska mědi Borovec u Štěpánova.

Pod hladinou podzemních vod vzniká cementační zóna, ve které je redukční prostředí (bez přístupu kyslíku). Z migrujících obohacených roztoků v oxidační zóně se zde sráží sulfidická mineralizace a vytváří supergenně obohacené primární rudy. Tento typ ložisek bývá významným zdrojem Cu, Pb, Zn nebo Ag.

### **Sedimentární ložiska**

Ložiska tohoto typu vznikají v průběhu sedimentárního procesu. Ložiskotvorné složky se usazují po předchozím transportu nebo vysrážením rozpuštěných látek z roztoku. Proto rozlišujeme klastická sedimentární ložiska a chemická sedimentární ložiska. Ke vzniku sedimentárního ložiska může dojít v prostředí atmosféry nebo hydrosféry.

Materiál pro tento typ ložisek může pocházet z různých zdrojů. Nejčastěji je to ze zvětralinového pláště, ale může být transportován z již vzniklých nezpevněných sedimentů,

může pocházet z vulkanické činnosti, hydrotermálních pramenů nebo mohou být zdrojem různé zbytky organismů.

### Sedimentární rýžoviska

Patří mezi nejvýznamnější klastická sedimentární ložiska. Na rozdíl od reziduálních rýžovisek se zájmové minerály hromadí v říčních, plážových, eolických nebo glaciálních sedimentech. U nás se běžně vyskytují aluviální rýžoviska, která jsou spjata s povrchovými vodními toky. Ložiskové minerály se hromadí v místech náhlého poklesu rychlosti vodního



Obrázek 9. Žlutá zrníčka monazitu (zdroj REE) a tmavá ilmenitu (Fe, Ti) z plážových rýžovisek Asie.

proudu. Nejčastěji vznikají aluviální rýžoviska na středních tocích řek, zejména na vnitřních stranách meandrů. Ložiska kasiteritu, wolframitu a zlata tohoto typu byla u nás vytěžena v období od středověku do 19. století.

Velký význam mají plážová rýžoviska. Nejbohatší části jsou vázány na zónu mezi přílivem a odlivem, navíc jsou plošně velmi rozsáhlá. Těží se v nich kasiterit

(Sn), diamanty, ilmenit (Ti, obrázek 9), columbit (Nb, Ta), monazit (REE, obrázek 9), rutil (Ti) nebo zirkon (Zr, Hf).

### Ložiska přeplavených (převátých) zvětralin

Vznikají procesem přeplavení (působení vody) nebo převátí (působení větru) starších, většinou nezpevněných sedimentů. Proces přeplavení (převátí) může pak vytrdit frakce podle zrnitosti nebo hustoty. Nejčastěji tak vznikají ložiska nerudných surovin typu šterků, písků nebo jílu.

### Chemogenní a biochemogenní sedimentární ložiska

Při vzniku těchto ložisek jsou zájmové látky transportovány ve formě pravých nebo koloidních roztoků. Přenosovým médiem bývá povrchová i podzemní vody, hydrotermy nebo vulkanické exhalace. K vyloučení rozpuštěných látek dochází v důsledku poklesu teploty, tlaku, změnou koncentrace, pH nebo oxidačně-redukčního potenciálu. Pokud se na sedimentaci podílí živé organismy, hovoříme o biochemické sedimentaci.



Největší význam mají ložiska evaporitů. Vznikají v izolovaných zátokách a příbřežních jezerech občasně zaplavovaných mořskou vodou. Jednotlivé složky se sráží při postupném odpařování mořské vody. Jako první vznikají ložiska sádrovce a anhydritu následovaná ložisky halitu, sylvínu, různých síranů (mirabilit), uhličitanů (soda) a borátů (borax). V ČR je poslední těžené ložisko sádrovce v Koberčicích u Opavy (obrázek 10).



Obrázek 10. Polohy sádrovce v jílových sedimentech na chemogenním sedimentárním ložisku Koberčice u Opavy.

Z ekonomického hlediska (spíše historicky) jsou významné chemogenní rudy železa. Jedná se většinou o bahenní a jezerní sedimenty a železo bývá vázáno

v podobě oxidů (hematit), hydroxidů (goethit, lepidokrokit), karbonátů (siderit) nebo silikátů (chlority). U nás se tento typ Fe-rud těžil v ordovických sedimentech v okolí Zdic, Nučic a Ejpovic.

#### Organogenní sedimentární ložiska

Tato podskupina sedimentárních ložisek má zcela klíčový průmyslový význam a mnohem častěji se setkáme s označením **ložiska kaustobiolitů**. Vznikají velmi specifickou přeměnou těl odumřelých živočichů a rostlin.

Organická hmota se rozkládá v několika procesech. Za přístupu vzduchu je to zejména tlení a trouchnivění, které bezezbytku rozloží hmotu na vodu a oxid uhličitý. Pro vznik ložisek mají význam procesy probíhající zpravidla ve vodním prostředí za omezeného přístupu vzduchu – *hnití a rašelinění*. Nejčastější členění kaustobiolitových surovin se provádí na dvě skupiny: kaustobiolity živičné a uhelné řady.

Výchozí surovinou pro *kaustobiolity uhelné řady* jsou odumřelá rostlinná těla, která ve vodním prostředí za omezeného přístupu vzduchu podléhají procesu rašelinění za vzniku rašeliny. Po překrytí vhodným sedimentem dochází k řadě změn – zmenšení objemu, ztráta vody, zvyšování obsahu uhlíku a další. Tento proces prouhelňování je pozvolný a je ovlivňován řadou faktorů: tlak nadloží, tepelný tok nebo čas. Materiál se tak dostává do postupných stádií vývoje a tyto produkty známe pod pojmy lignit, hnědé uhlí, černé uhlí a antracit.

Pro *kaustobiolity živičné řady* je základním zdrojem odumřelá vodní fauna, plankton, bakterie a řasy. V prostředí mořského dna, lagun nebo zálivů dochází v redukčních podmínkách k procesu hnití. Vzniká směs uhlovodíků, aminokyselin a huminových látek, které se souborně označují jako hnilokal (sapropel). Je distribuován v matečném sedimentu a postupně zakrývá dalšími sedimenty. Vlivem zvýšeného tlaku a teploty dochází k procesu krakování (tepelné štěpení) a postupnému vzniku metanu, ropy a zemního plynu.

V ČR jsou ložiska hnědého uhlí vázána na třetihorní sedimenty podkrušnohorských pánví (sokolovská, chebská, mostecká). Černé uhlí má karbonské stáří a těžilo se v pánvích plzeňské, kladenské, vnitrosudetské (Žacléř, Malé Svatoňovice), ostravsko-karvinské nebo boskovické brázdě (Oslavany, Zastávka). Ropné suroviny jsou v malém množství vázány na vídeňskou pánev (okolí Břeclavi) nebo na některé sedimenty západních Karpat (Chřiby).

## Hlavní ložiskové suroviny – jejich výskyt a využití

V této kapitole je uveden výběr z nejdůležitějších surovin, které lidská společnost využívá. Jsou zmíněny minerály, ve kterých se zájmový prvek významně vyskytuje, využitelné procentuální zastoupení, praktické využití a nejčastější typy ložisek. Výčet není ani zdaleka kompletní.

### Rudy železa (Fe)

Hlavními rudními minerály jsou magnetit (72 %), hematit (70 %), limonit, siderit (48 %), ilmenit (36 %) nebo fylosilikáty Fe-chlority (kolem 30 %). Vítanou příměsí z hlediska



Obrázek 11. Hematit (oolitická stavba) z ložiska sedimentárních rud železa v oblasti Barrandienu.

legování ocelí jsou Ni, Cr, V, Co, Mo.

Nejrozsáhlejší oblast využití jsou slitiny s uhlíkem, tj. surové železo a ocel.

Asi 2/3 světové produkce železa pochází metamorfogenních ložisek – tzv. páskované železné rudy uložené ve starých horninách. Ložiska mají

ohromné plošné rozšíření, jedná se např. o jaspility nebo itabirity (rudu tvoří hematit). Významná jsou také ložiska vulkanosedimentárních rud Fe (typ Lahn-Dill), u nás historicky těžená v oblasti Hrubého a Nížkého Jeseníku. Lokální význam mají sedimentární Fe rudy (obrázek 11), většinou s nižšími obsahy železa, u nás těžené v ordovických horninách Barrandienu (Nučice, Ejpovice, Chrustenice). Malý podíl na celkové produkci železa mají skarnová, lateritová, hydrotermální nebo magmatická ložiska.

### Rudy manganu (Mn)

Hlavními rudními minerály bývají pyroluzit (63 %), psilomelan (směs oxidů a hydroxidů), manganit (50-60 %) nebo rodochrozit (48 %).

Mangan je důležitou přísadou do ocelí nebo jiných slitin, kde zvyšuje pevnost a houževnatost.

Nejvýznamnějšími jsou sedimentární ložiska mořského původu, některá z nich byla metamorfována. U nás bylo těženo ložisko u Chvaletic. Dalším typem jsou vulkanosedimentární ložiska, často mangan doprovází rudy železa. V tropických oblastech vznikají intenzivním zvětráváním Mn-bohatých hornin reziduální ložiska manganu. Na mořském dně, v hloubkách 4-6 km, vznikají recentní Fe-Mn konkrece s obsahem až 25 % Mn.

### Rudy titanu (Ti)

Hlavními rudními minerály je rutil (60 %, obrázek 12)) a ilmenit (31 %).

Hlavní využití má titan při zušlechťování ocelí (pevnost, kujnost, svařovatelnost), tvoří velmi tvrdé karbidy, vyrábí se z něj titanová běloba.

Vzhledem k vysoké hustotě ilmenitu i rutilu, jsou hlavními ložisky sedimentární rýžoviska, zejména tzv. plážové písky. Světový význam mají i magmatická ložiska spojená s komplexy bazických a ultrabazických hornin. U nás je zajímavostí vysoký podíl ilmenitu v gabru ze Špičáku u Deštného v Orlických horách.



Obrázek 12. Nejvýznamnější rudou titanu je jeho oxid – rutil. Jeho hlavním zdrojem jsou sedimentární rýžoviska.

### Rudy niklu (Ni)

Mezi důležité minerály niklu patří některé sulfidy – nikelín, pentlandit, rammelsbergit a některé fylosilikáty – garnierit, nepouit.

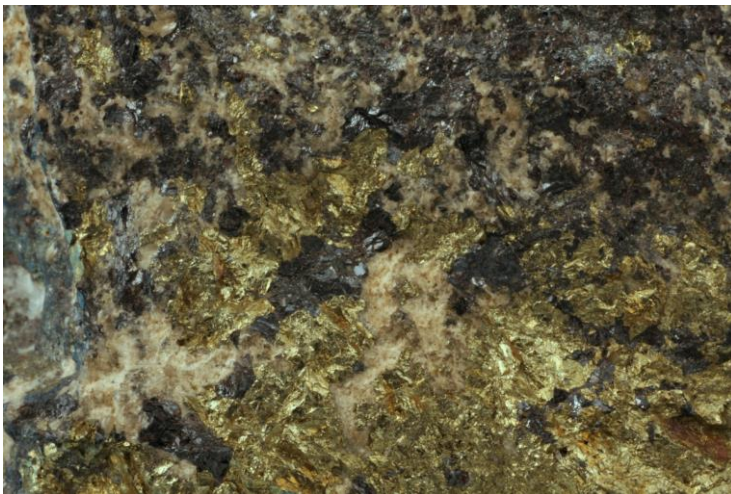
Vítanou příměsí v sulfidických rudách bývá Pt, Pd, Au, Ag a Co. Nikl je významný prvek při legování ocelí a výrobě speciálních slitin.

Poměrně rozsáhlá jsou sedimentární lateritická ložiska, často doprovázená obsahem kobaltu. Velký význam mají magmatická ložiska likvačních rud spjatá s komplexy bazických hornin. Tato ložiska jsou zajímavá i obsahy platinových kovů, kobaltu nebo zlata.

### Rudy mědi (Cu)

Mezi hlavní rudní minerály patří sulfidy chalkopyrit (34 %, obrázek 13), chalkozín (79 %), bornit (60 %), tetradrit a covellín. Na některých ložiscích se těží ryzí měď.

Měď se hojně využívá na výrobu vodičů, plechů, trubek a jiných konstrukčních materiálů. Je důležitou složkou mnoha slitin (mosaz, bronz).



Obrázek 13. Chalkopyrit a sfalerit bývají časté rudní minerály na hydrotermálních ložiscích, ložisko Příbram.

Asi polovina světové produkce mědi pochází z ložisek porfyrových rud Cu. Rudy jsou velmi chudé, ale ložiska mají obrovské rozměry a běžně bývají získávány doprovodné prvky jako Mo, Au, Te, Bi, Ag a další. Přibližně třetina světové produkce je pak těžena z tzv. mědinosných pískovců a jílovců, což jsou ložiska nejčastěji sedimentárního nebo hydrotermálně-

sedimentárního či infiltračního původu. Velmi důležitá jsou také vulkanosedimentární ložiska (typ Kuroko, Beshi), často postižená metamorfózou. Zde je výskyt mědi většinou spojen s rudami zinku a olova. K tomuto typu se řadí i naše největší ložisko v oblasti Zlatých Hor. Kromě toho byla měď historicky těžena na řadě hydrotermálních ložisek, např. Kutná Hora, Vrančice nebo Borovec.

### Rudy olova (Pb)

Hlavní rudním minerálem je galenit (86 %), méně významné jsou cerusit a anglesit.

V galenitu jsou vítané příměsi In, Cd, Ag, Ge, Ga nebo Se. Olovo se používá pro výrobu akumulátorů, ochranných plechů proti radioaktivnímu záření nebo se přidává do některých slitin.

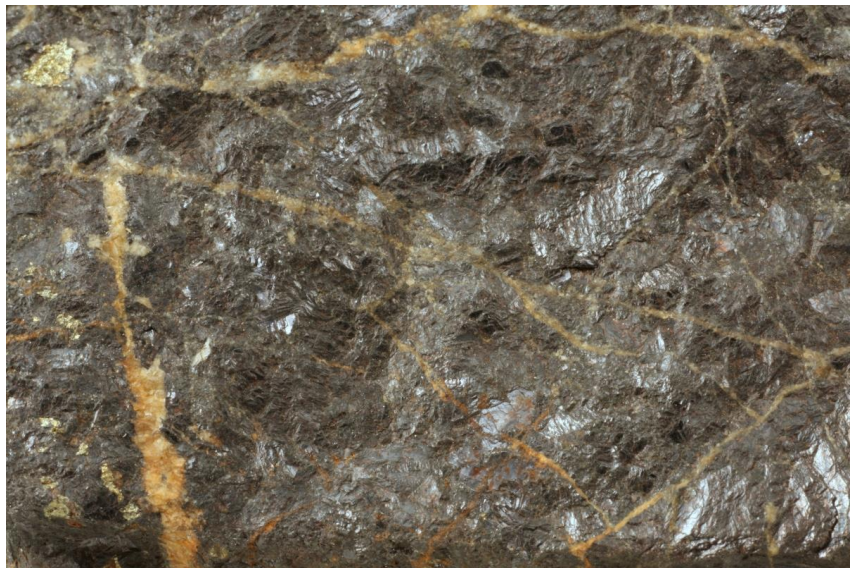
Ložiska olova jsou ve většině případů svázána se zinkem v asociaci Pb-Zn rud. Asi největší význam mají vulkanosedimentární ložiska kyzových Pb-Zn rud, často doprovázených ještě mědí. Značná část těchto ložisek byla metamorfně přepracována. Asi největší je australské ložisko Broken Hill, v ČR jsou to historicky těžená ložiska Horní Benešov, Nová Ves, Horní Město. Velké zásoby jsou vázány ve stratidependentních (teletermálních hydrotermálních) ložiscích uložených v příbřežních vápencích. Běžný je výskyt Pb-Zn mineralizace na subvulkanických hydrotermálních ložiscích, kde se často ještě připojuje mineralizace Cu, Au nebo Ag. Z dalších ložiskových typů Pb-Zn mineralizace můžeme uvést plutonická hydrotermální ložiska (Kutná Hora, Příbram, Stříbro) nebo skarnová ložiska.

### Rudy zinku (Zn)

Hlavním rudním minerálem je sfalerit (obrázek 14) a wurtzit (až 67 %), okrajově smithsonit, hemimorfit a hydrozinkit.

Zinek se používá pro výrobu některých slitin, jako antikorozní povrchová úprava materiálů (pozinkování) nebo pro výrobu zinkové běloby.

Ložiska Zn rud viz Pb rudy.



Obrázek 14. Masivní sfaleritová rudnina na ložisku vulkanosedimentárních kyzových rud Nová Ves u Rýmařova.

### Rudy hliníku (Al)

Hlavními ložiskotvornými minerály jsou oxidy a hydroxidy hliníku jako diaspor (85 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), boehmit, gibbsit, nefelin a korund. Nejčastěji těženou surovinou je bauxit – směs diasporu, boehmitu a gibbsitu.

Hliník má široké využití ve strojírenství, elektrotechnice, stavebnictví, leteckém průmyslu nebo jako potravinářský obal.

Největším zdrojem hliníku jsou ložiska lateritického bauxitu uložená ve zvětralinovém plášti Al-bohatých hornin. Některá bauxitová ložiska jsou uložena v krasových kapsách na vápencích. Spíše ojediněle se těží nefelinem bohaté horniny nebo horniny s vysokým obsahem sillimanitu či andalusitu.

### Rudy lithia (Li)

Hlavními ložiskovými minerály bývají spodumen (asi 6 %  $\text{Li}_2\text{O}$ ), petalit, lepidolit nebo cinvaldit.

Lithium má široké uplatnění v metalurgii při výrobě hliníku, akumulátorů, ve farmacii nebo v atomových technologiích.

Asi polovina produkce pochází z lithných pegmatitů. Ty bývají zpravidla zdrojem i dalších prvků jako Be, Rb, Cs, Ta, Nb nebo U. V ČR se vyskytují jen menší tělesa (Rožná, Nová Ves, Jeclov).



Obrázek 15. Lithná slída cinvaldit v krystalu křemene. Ložisko greisenových rud Cínovec, v současné době je těžba cinvalditu opět zvažována.

Vydatným zdrojem Li jsou také některá evaporitová ložiska a fosilní solanky. Dobrým zdrojem mohou být také greisenová ložiska, kde se lithium získává jako vedlejší produkt spolu s Sn a W. Příkladem jsou ložiska Cínovec a Krupka v Krušných horách, kde je uloženo velké množství Li ve slídě cinvalditu (obrázek 15), a v současnosti se uvažuje o jeho těžbě.

### Rudy hořčíku (Mg)

Hlavními ložiskovými minerály bývají dolomit (13 %) a magnezit (28 %).

Hlavní využití je při výrobě nejrůznějších lehkých slitin.

Hlavním zdrojem jsou sedimentární ložiska dolomitů nebo ložiska magnezitu vzniklá metamorfními procesy. Na vzniku některých ložisek dolomitu i magnezitu se podílely metasomatické pochody (dolomitizace vápenců).

### Rudy rtuti (Hg)

Hlavními rudními minerály je cinabarit, ryzí rtuť nebo tetraedrit (odrůda schwazit).

Vzhledem k účinkům rtuti na lidské zdraví je současným trendem snižovat její spotřebu – dříve teploměry, amalgamy, úprava rud zlata.

Nejčastějšími ložisky jsou stratidependentní (teletermální hydrotermální) vázané na vápence (španělský Almadén, slovinská Idria). V oblastech mladého andezit-ryolitového vulkanismu jsou to subvulkanická hydrotermální ložiska Hg.

### Rudy cínu (Sn)

Hlavními rudními minerály je oxid kasiterit (78 %) a sulfid stanin (27 %).

Největší využití cínu je pro pocínování plechů, výroba kontaktů v elektrotechnice (pájení) nebo se přidává do slitin.



Obrázek 16. Hlavní rudou Sn je kasiterit. Krystaly z greisenového ložiska Horní Slavkov.

Téměř tři čtvrtiny světové produkce cínu pochází z rýžovisek nejrůznějšího typu. Obrovské zásoby jsou v Číně, Vietnamu nebo Barmě. Často se spolu s kasiteritem získávají minerály s obsahem Ta, Nb, Zr, Ti nebo REE. Rozsáhlá jsou také subvulkanická

hydrotermální ložiska Sn bolivijského typu doprovázená ještě Ag-W-Bi mineralizací

(Potosí, Oruro). Pro ČR jsou významná ložiska greisenového typu v Krušných horách (Cínovec, Krupka, Horní Slavkov, Horní Blatná), kde se kromě kasiteritu těžil i wolframit a molybdenit (obrázek 16). Drobnější ložiska Sn vznikají i ve skarnech a pegmatitech.

### Rudy molybdenu (Mo)

Hlavním rudním minerálem je molybdenit (60 %).

Molybden zvyšuje pevnost a žáruvzdornost ocelí, v elektrotechnice se přidává do speciálních slitin.

Průmyslově významná jsou ložiska porfyrových rud molybdenu, často spjatá s ložisky mědi. Dalším ložiskovým typem jsou hydrotermální křemenné žíly s molybdenitem nebo společně s uranovou mineralizací. U nás se Mo-rudy vyskytovaly na greisenových ložiscích v Krušných horách. Těží se i skarnová ložiska a v minulosti i ložiska supergenního obohacení.

### Rudy stříbra (Ag)

Hlavními rudními minerály je ryzí stříbro a sulfidy: argentit – akantit (87 %), proustit (65 %), pyrargyrit (59 %) a některé další.

Využití je široké – drahý kov v mincovnictví a šperkařství, v elektrotechnice, úprava vody, fotografický průmysl a řada dalších odvětví.

Asi největší zásoby jsou na subvulkanických hydrotermálních ložiscích (obrázek 17), kde se vyskytují minerály stříbra spolu s dalšími užitkovými složkami (Pb, Zn, Cu, Au). Plutonická hydrotermální ložiska tzv. pětiprvkové formace, kde se stříbro objevuje společně s Ni, Co,



Obrázek 17. Často těženou rudou stříbra, zejména na hydrotermálních ložiscích, je argentit. Ložisko Příbram.

Bi a U. Naše nejznámější ložisko je Jáchymov. Stříbro se jako vedlejší ruda objevuje na mnoha ložiscích různé geneze, často jsou to formace Pb-Zn-Cu.

### Rudy zlata (Au)

Hlavní rudou je ryzí zlato nebo elektrum (slitina Au + Ag).

Využití je široké – bankovní sektor, šperkařství, elektrotechnika a mnoho dalších.

Obrovská ložiska zlata, zejména v jižní Africe, jsou vázána v zlatonosných slepencích. Zlato je častým rudním minerálem na subvulkanických (mladá zlatonosná formace) i plutonických (stará zlatonosná formace) rudních žilách. V ČR jsou to plutonická hydrotermální ložiska Roudný, Kašperské hory, Jílové, Mokrsko. Významná jsou také



rýžoviště zlata. Kromě jiného se zlato vyskytuje na mnoha ložiskových typech jako vedlejší ruda.

### Rudy uranu (U)

Mezi hlavní ložiskové minerály patří uraninit (až 80 %) a coffinit.

V dnešní době je uran především energetickou surovinou.

Asi třetina zásob světového uranu se získává z infiltračních ložisek uložených v klastických sedimentech. Další třetina světové produkce je vázána na proterozoické slepence, kde se často vyskytují společně se zlatem. Významné zásoby jsou v různých typech hydrotermálních ložisek, zpravidla se uranová mineralizace pojí s dalšími prvky (Ag, Ni, Co, Bi, Pb, Zn a jiné). Menší ložiska se vyskytují ve skarnech, pegmatitech nebo kaustobiloitech (uhelné sedimenty).

### Ložiska grafitu

Hlavní ložiskovou složkou je uhlík ve formě grafitu.

Hlavní využití je ve slévárství, výroba samomazného materiálu, tužky apod.

Většina světové produkce pochází z metamorfogenních ložisek, kdy původ uhlíku v hornině může být anorganický (magma) nebo organický (bituminózní látky). Obvykle



Obrázek 18. Ložisko Kaznějov u Plzně. Kaolinit zde vznikl zvětráváním živců karbonských arkóz.

vzniká metamorfózou sedimentů bohatých na organické látky. V ČR byla těžena ložiska v okolí Českého Krumlova nebo u Vrbna na severní Moravě.

### Ložiska kaolínu

Základní surovinou je minerál kaolinit.

Kaolín se získává plavením kaolinitu (odstranění nežádoucích příměsí –

křemen, živce, slídy). Používá se jako plnivo do papíru, v gumárenském průmyslu nebo do šamotu, je základní surovinou pro výrobu keramiky.

Nejrozsáhlejší jsou zvětrávací ložiska, na kterých vzniká kaolinit zvětráváním živců matečné horniny (granity, arkózy, rylity, ruly). U nás jsou ložiska tohoto typu na

Karlovarsku (Božíčany, Nová Role), Kadaňsku, Plzeňsku (Kaznějov, Horní Bříza), Znojemsku (Únanov, Mašovice) nebo ve Vidnavě. Kaolinit najdeme na hydrotermálních ložiscích, kde vzniká rozkladem hornin za přispění hydrotermálních roztoků.

### **Dodatek – k zamyšlení, nápady**

- určování surovin a energetické náročnosti u předmětů běžné denní potřeby: vezměte různé věci – hřebík, sklenice, hrníček, alobal, obal od jogurtu, papír, tužku – a nechte žáky přemýšlet o tom, z jaké suroviny se tyto obyčejné věci vyrábí. Jako bonus mohou zkusit odhadnout, jak je to energeticky náročné.
- názorné složení zemské kůry, atmosféry a hydrosféry: pro zemskou kůru potřebujeme 100 kuliček v osmi barvách – pro osm nejběžnějších prvků zemské kůry. Žáci sami musí kuličky spočítat a stanovit procentuelní zastoupení jednotlivých prvků. Podobně pro atmosféru a hydrosféru.
- názorné ukázky surovin: suroviny a výsledné výrobky z nich se mohou výrazně lišit ve svém vzhledu. Ukažte žákům bauxit, železnou rudu, písek, šterk, vápenec, ropu a některé další.