

3

Vodivé materiály pro elektrická zařízení



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Co se v přednášce dozvíte?

- SEZNÁMÍTE SE S PRVNÍ ČÁSTÍ OPRAVDU RŮZNORODÉ A ŠIROKÉ SKUPINY VODIVÝCH MATERIÁLŮ POUŽÍVANÝCH V ELEKTROTECHNICE.
- DOZVÍTE SE, ŽE ČASTO VELMI KRÁSNÉ MINERÁLY, KTERÉ MŮŽETE NALÉZT V PŘÍRODĚ, JSOU UŽITEČNÉ I PRO NÁŠ PRAKTICKÝ ŽIVOT.
- ZJISTÍTE, ŽE I MĚĎ MŮŽE BÝT NEMOCNÁ :-).
- ZJISTÍTE, ŽE VYROBIT TAK BĚŽNOU VĚC JAKO JE HLINÍKOVÝ DRÁT, NENÍ SNADNÉ, A STOJÍ TO VELKÉ ÚSILÍ.
- DOZVÍTE SE, JAK LZE OVLIVŇOVAT CELOU ŘADU MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ KOVŮ POMOCÍ PŘÍRAD A VYTVÁŘENÍM SLITIN.
- DOZVÍTE SE, ŽE MĚĎ A HLINÍK SE NEMAJÍ RÁDI A DOTÝKAJÍ SE JENOM S VELKÝM ODPOREM :-).
- UKÁŽEME SI, JAKÝ DOPAD NA PŘÍRODU A KRAJINNÝ RÁZ MÁ TĚŽBA ZLATA A STŘÍBRA, PŘÍP. ZPRACOVÁNÍ HLINÍKU.



3.1 Základní dělení vodivých materiálů pro el. zařízení

Mezi **vodivé materiály** používané pro výrobu **elektrotechnických zařízení** zahrnujeme tyto materiálové skupiny:

- Měď, hliník a jejich slitiny
- Zlato, stříbro a jejich slitiny
- ...
- Termočlánkové kovy
- Elektrotechnický uhlík
- Odporové materiály
- Kontaktní materiály
- ...
- Supravodiče a hypervodiče
- Materiály vyrobené práškovou metalurgií

Přednáška č. 4

Přednáška č. 5



3.2 Měď – výroba, slitiny a použití

3.2.1 Základní vlastnosti mědi

- Kov **načervenalé** barvy.
- Krystalizuje v **krychlové plošně centrované mřížce**, která mědi předurčuje dobrou **tvářitelnost** a možnost **zpevnění tvářením za studena**.
- **Ekonomicky dostupná**, dobře se **svažuje i pájí**.
- **Vynikající elektrická i tepelná vodivost** (6krát vyšší než *železo*) – *měď* je po *stříbru* **druhým nejlepším el. vodičem**.
- Elektrická vodivost mědi **klesá s množstvím nečistot**, s **růstem teploty** a **tvářením za studena**.
- V **oxidačních** prostředích se **pokrývá slabou vrstvou sloučenin** (*oxidů, uhličitánů, sulfidů, síranů, chloridů*), která ji **chrání před další korozí**.
- Teplota tání $1083\text{ }^{\circ}\text{C}$, měrná hmotnost $8,9 \cdot 10^3\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, měrný odpor $16,78 \cdot 10^{-9}\text{ }\Omega \cdot \text{m}$ (při $20\text{ }^{\circ}\text{C}$).



3.2.2 Výskyt mědi v přírodě

Ryzí měď se v přírodě **nachází vzácně** a vyskytuje se tedy **převážně ve sloučeninách**. Nejčastěji ji nacházíme ve formě *sulfidů*, mezi něž patří například **chalkosin** (*sulfid měďný*) nebo **chalkopyrit** (*sulfid měďnatoželeznatý*). Dalšími významnými minerály je **kuprit** (*oxid měďný*), **malachit** a jemu velice podobný **azurit**.



Chalkosin



Malachit

Chalkopyrit



Azurit



Kuprit



Ryzí měď se ve větší míře nachází na **Aljašce** u Hořejšího jezera (*Lake Superior*), ojediněle v **Číně** a **Chile**.

3.2.3 Výroba a zpracování mědi

Rudy (nejčastěji *chalkopyrit*) jsou obecně **chudé na přítomnost Cu** (běžně 2 – 6 %, ojediněle 5 %). Z tohoto důvodu **se rudy praží** a z pražených rud se získává **surová Cu** s obsahem **95 %**.

Následuje buď (i) **elektrolýza** (**anoda**: *surová měď*, **katoda**: *čistá měď*, *roztok*: *síran měďnatý*) a vzniká **elektrolyticky rafinovaná měď** s obsahem **99,95 %** nebo (ii) **hutnická rafinace** na obsah **99,7 %** mědi.

3.2.4 Vodíková nemoc

Při **žíhání mědi** při teplotách nad 400 °C do mědi snadno **difunduje vodík**, ten pak v mědi **reaguje s oxidy** za **vzniku vodní páry**, která není schopna difúze a svým velkým tlakem způsobuje **popraskání mědi**. To při dalším mechanickém zpracování nebo namáhání vede ke vzniku **hrubých prasklin**.

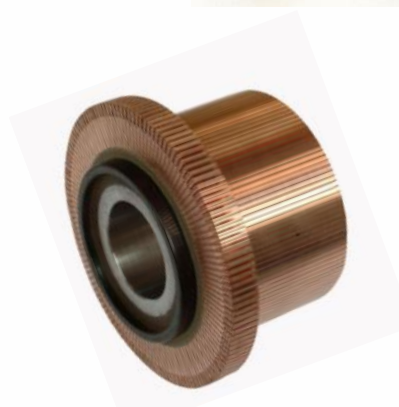
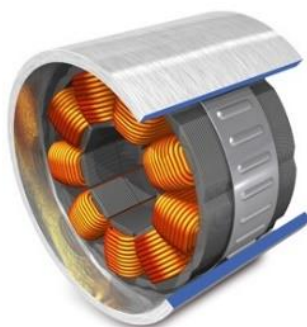
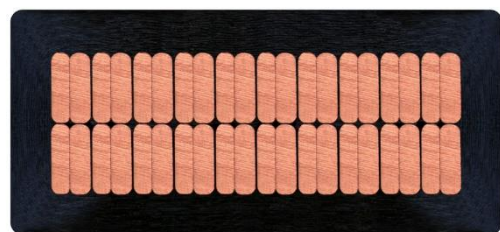
Tento jev se objevuje při obsahu *kyslíku* větším než 0,003 %. U tzv. **bezokyslíkaté mědi** nesmí obsah *kyslíku* překročit hodnotu **0,002 %**. Vodíková nemoc se projevuje např. při **svařování autogenem**.



3.2.5 Použití mědi v elektrotechnice

Až **55 %** mědi se využije **na měděné výrobky**, zbytek na přípravu **různých slitin**.

- Výroba drátů, lan, silnoproudých kabelů a sdělovacích vodičů všeho druhu.
- Vinutí transformátorů a točivých elektrických strojů.
- Na výrobu komutátorů.
- Ve vakuové technice (bezkyslíkatá měď).
- Na kluzné kontakty (nejlevnější materiál).
- Pro kontakty s menší proudovou zatížitelností a životností kontaktu.



Méně příznivé mechanické vlastnosti mědi lze zlepšit (i) **tvářením za studena** (za cenu **zhoršení elektrické vodivosti**) nebo (ii) **legováním**, vznikají tak **elektrovodné slitiny mědi**, které jsou podstatně **pevnější**, snášejí **vyšší teplotu** a dosahují **80 – 98 % elektrické vodivosti mědi**.

Významné přísady (*legující prvky, legury*):

- **Kadmium, Cd** (do 1 %): pro výrobu **trolejí** a **telefonních vodičů**.
- **Chrom, Cr** (do 0,8 %): pro elektrody na **odporové svařování**.
- **Stříbro, Ag** (do 0,1 %): stříbro **zvyšuje teplotní oblast použití mědi**, slitiny se stříbrem se používají na **komutátory** a **další součásti el. strojů**.

3.2.6 Slitiny mědi

Měď tvoří s mnohými kovy důležité **slitiny**. Podle technologie, která se bude pro zpracování slitin používat je dělíme na:

- **slitiny pro tváření** za studena/za tepla (homogenní, s nižší koncentrací přísad),
- **slévarenské slitiny** (heterogenní, s větší koncentrací přísadových prvků).



Mosazi

Slitiny **Cu + Zn**, označení **Ms + číslice** udávající obsah *Cu* ve slitině (např. **Ms 70**). Mosazi tvoří asi **80 % všech slitin mědi**. Je-li část *zinku* nahrazena jinými kovy, označují se slitiny jako **speciální (zvláštní či vícesložkové) mosazi**.

S rostoucím obsahem *zinku* se nejprve **zvyšuje pevnost i tažnost**. Maximum pevnosti je při 46 % obsahu *Zn*. Maximum tažnosti ovšem mosaz dosahuje již při 32 % obsahu *Zn*.

Slévárenské a **speciální mosazi** nemají v elektrotechnice zvláštní význam.

Mosazi	Vlastnosti a použití
Pro tváření	Ms 96, Ms 90, Ms 85, Ms 80 (= tombaky , tj. slitiny s obsahem <i>Cu</i> 80 % a více): chemicky stálé, tvárné, dobře el. vodivé, vhodné pro elektrotechniku. Ms 70, Ms 68 – tvárný, pevný materiál, vhodný pro tažené a lisované součásti v elektrotechnice.
Slévárenské	58 ÷ 63 % Cu – vhodné např. na výrobu držáků a různých armatur.
Speciální	Mechanické vlastnosti zlepšeny příměsemi např. <i>Al</i> , <i>Ni</i> , <i>Sn</i> nebo jiných kovů (hliníkové, niklové, cínové mosazi aj.).



Bronzy

Jsou slitiny mědi a dalších prvků s výjimkou **zinku**, který není nikdy v bronzu hlavní přísadou. Název bronzu je odvozen od hlavního přísadového prvku (např. *bronz cínový, hliníkový, křemíkový, niklový...*). Označení se skládá z chemických symbolů hlavních prvků doplněných číselným údajem vyjadřujícím procenta obsahu dané přísady, např. **CuSn3**, **CuAl9**.

Bronzy	Vlastnosti a použití
Cínové pro tváření	Obsahují max. 20 % Sn, dobře el. vodivé, dobré mechanické vlastnosti, např. na součásti vypínačů, sběrné kroužky, kontaktní segmenty atd.
Cínové slévárenské	Například CuSn12 na ložisková pouzdra, přidáním zinku a olova se zlepšuje slévatelnost.
Hliníkové	Do 10 % Al: na součásti odolné vyšším teplotám či proti korozi.
Křemíkové	Do 5 % Si: pevný, odolává korozi – např. na namáhané pružiny.
Beryliové	Do 2,5 % Be: pružiny i pro velká proudová zatížení.
Niklové	CuNi30Mn , CuMn13Ni , CuMn45Ni : odporové vodiče, termoelektrické články apod.



Nejvíce užívanými jsou **cínové bronzy**, tzv. **pravé bronzy** – jsou pevné, houževnaté, korozivzdorné a s výbornými kluznými vlastnostmi. *Cín* je deficitní kov, tyto bronzy jsou tudíž drahé. **S obsahem cínu roste pevnost** (max. při 20 % Sn) a **tažnost** (max. při cca 5 %), pak prudce klesají.



3.3 Hliník – výroba, slitiny a použití

3.3.1 Základní vlastnosti hliníku

- Kov **bělavě šedé barvy**.
- Krystalizuje v **krychlové, plošně centrované mřížce**.
- Čistý Al je **měkký, málo pevný a dobře tvárný**. Tvářením za studena se zpevňuje.
- **Na vzduchu je velmi stálý** – na jeho povrchu se tvoří **pasivační vrstva oxidů Al_2O_3** , která jej chrání před další oxidací.
- **Odolnost hliníku proti korozi stoupá s jeho čistotou** (pro elektrotechnické účely má čistotu až 99,99 %).
- Hliník a jeho slitiny jsou **velmi dobře svařitelné** téměř všemi metodami svařování. Výjimkou je slitina *dural*, která je svařitelná obtížně.
- Teplota tání $660\text{ }^{\circ}\text{C}$, měrná hmotnost $2,7 \cdot 10^3\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, měrný odpor $28,74 \cdot 10^{-9}\text{ }\Omega \cdot \text{m}$ (při $20\text{ }^{\circ}\text{C}$).



3.3.2 Výskyt hliníku v přírodě

V přírodě se hliník **v ryzí formě obvykle nevyskytuje**, sloučeniny hliníku jsou rozptýleny v zemské kůře. Obsah hliníku zde činí 7,47 % hmot. Hliník je **nejrozšířenější kov** a je **třetí nejrozšířenější prvek zemské kůry**. Mezi nejdůležitější minerály hliníku patří **orthorombický boehmit** ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) a **monoklinický gibbsit** ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), což jsou **hlavní složky tzv. bauxitu**; dále pak **kryolit** (Na_3AlF_6) a **korund** (Al_2O_3), ten má nejvyšší obsah hliníku (52,93 %) ze všech minerálů.



Bauxit



Červený korund (rubín)



Kryolit

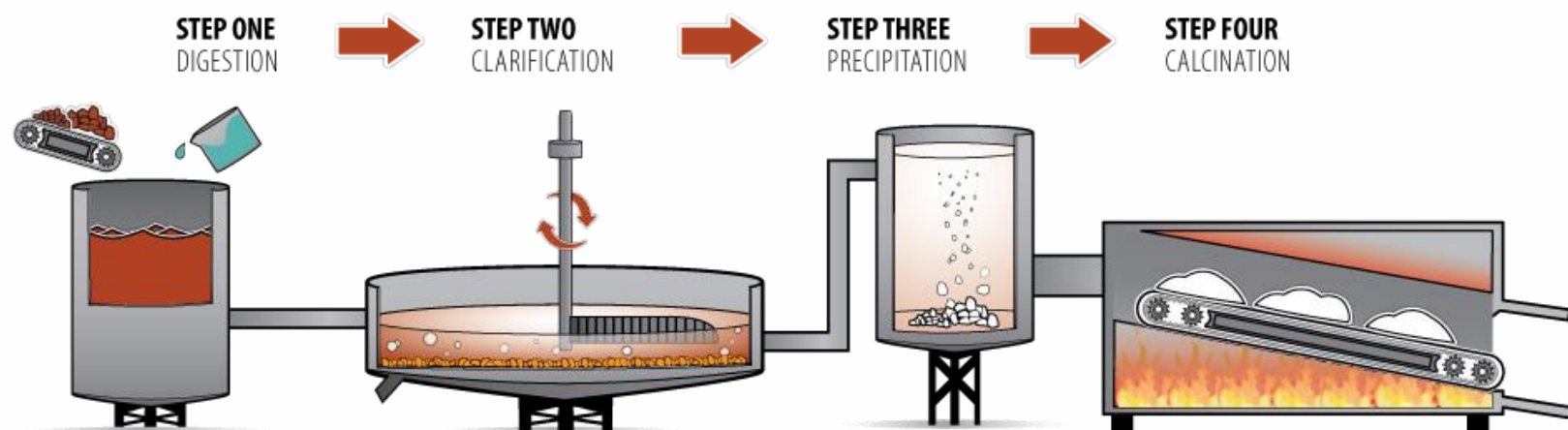
Téměř třetina světové produkce bauxitu pochází z **Austrálie**, kde se nacházejí také největší doly na hliník. Dále **Čína, Guinea, Brazílie, Indie** a další.

3.3.3 Výroba a zpracování hliníku

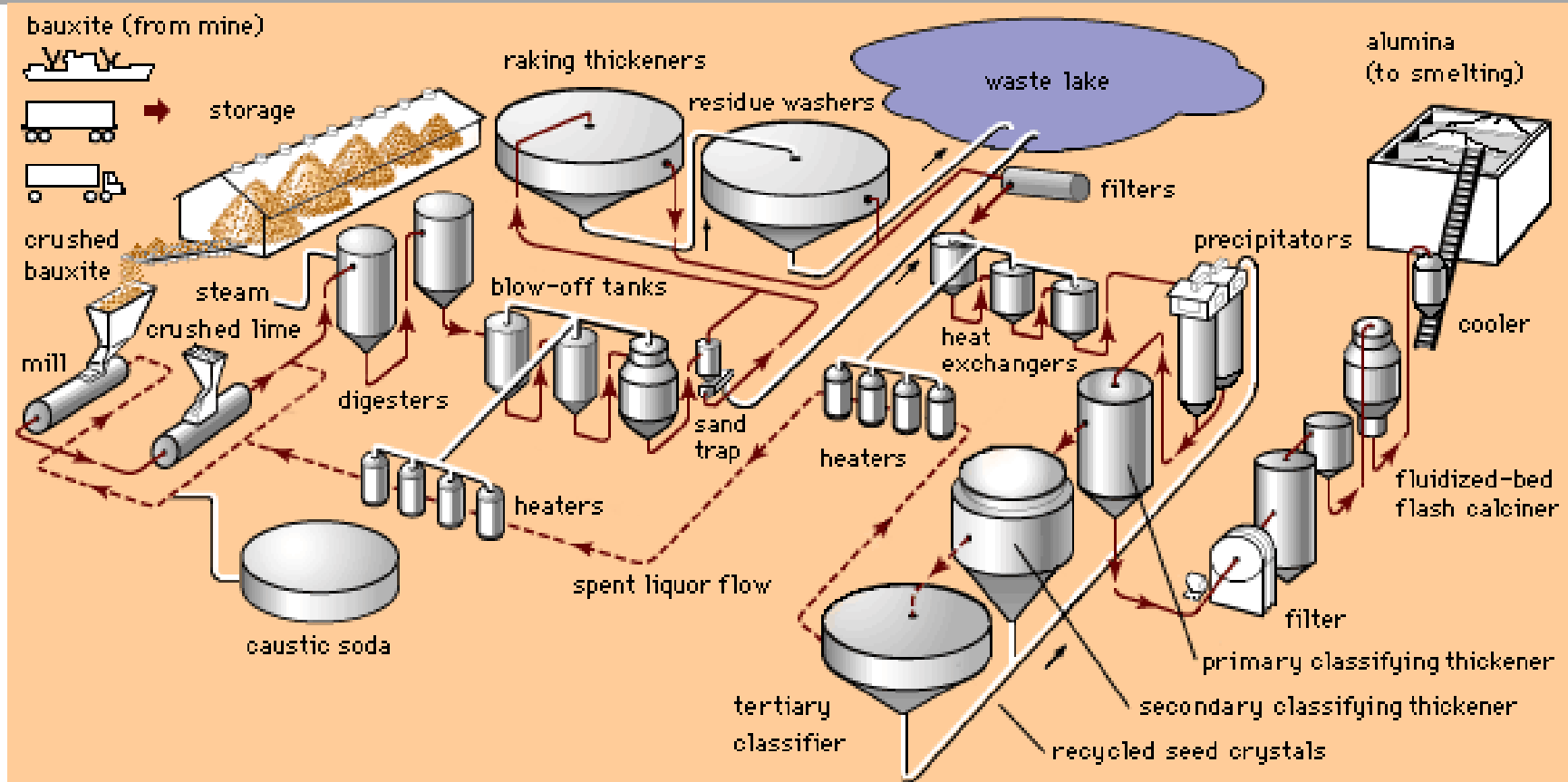
Hliník se vyrábí z **bauxitu**, což je hornina bohatá na **gibbsit** nebo **boehmit**. Dalšími složkami jsou **jílové materiály** (hlavně *kaolinit*), *oxidy železa* a *titanu*.

První etapa – Bayerův způsob přípravy oxidu hlinitého (Al_2O_3)

Bauxit se **drtí**, **zbavuje vody** a **zahřátím i organických látek**. Následně se přidá **45 % hydroxidu sodného**, směs se zahřeje na $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ a dojde k rozkladu na **hlinitan sodný** (*Digestion*). Roztok se propere, profiltruje (= **odstraní se nečistoty**, např. *hydroxid železnatý* či *hydratovaný oxid křemičitý*) (*Clarification*) a roztok se opět doplní na původních 45 % **hydroxidu sodného**. Dalším rozkladem vznikne **hydroxid hlinitý** (*Precipitation*), ten se po vyprání vypaluje v rotačních pecích při 1200 až $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ na bezvodý **oxid hlinitý** (*Calcination*).



3.3 Hliník – výroba, slitiny a použití

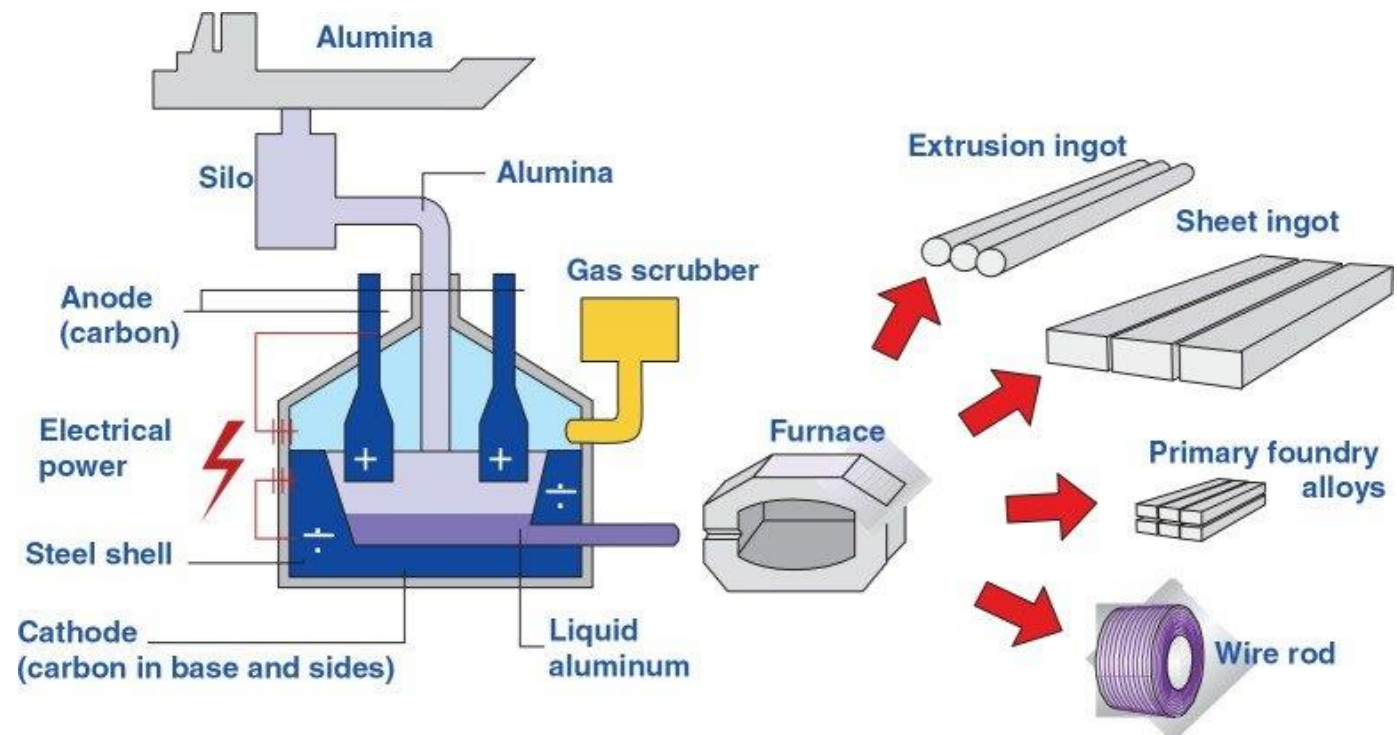


Druhá etapa – výroba surového hliníku elektrolytickou redukcí

Oxid hlinitý (Al_2O_3) se nejprve **rozpustí v roztavené lázni fluorových solí**, v tzv. **kryolitu** (950 °C). Roztavený kryolit se vlije do **elektrolýzní pece** (**anoda: bezpopelný koks, katoda: surový hliník**). **Surový hliník** se hromadí na dně lázně, protože má větší měrnou hmotnost. **Na anodě vzniká kyslík**, který ihned reaguje s materiálem elektrody za vzniku **toxického plynného oxidu uhelnatého** (CO). Takto získaný hliník má čistotu **99,5 až 99,75 %**, což je vyhovující pro celou řadu výrobků.

Na **1 tunu hliníku**:

- 2 tuny Al_2O_3 ,
- 0,5 tuny *uhlíkových anod*,
- 15 MWh el. energie.



Třetí etapa – elektrolytická rafinace surového hliníku

Pokud je třeba, tak dalšího **zvýšení čistoty hliníku** se dosahuje tzv. **trojvrstvou rafinační metodu**. **Anodu** elektrolyzéro tvoří *slitina 25Cu-Al*, která je v roztaveném stavu a udržuje se na dně nádoby. Nad ní je **vrstva elektrolytu** (směs *chloridu barnatého, fluoridu hlinitého a sodného*). Horní vrstvou je **tekutý hliník**, který může být z této vrstvy snadno kontinuálně odebírán – jeho **čistota je 99,99 %**. **Katoda** je tvořená *grafitem*.

K zamyšlení:

Získávání hliníku zpracováním rudy je **energeticky náročný proces**. Aby mohl vzniknout **jeden kilogram hliníku** z rudy, je třeba **171,2 MJ energie** (pro výrobu PET: 69,5 MJ/kg, pozinkovaného plechu: 33,3 MJ/kg). Vzniká také značné množství odpadních produktů (*oxid uhelnatý a uhličitý, oxid siřičitý, fluorovodík* aj.). Ze zpracování **4 tun bauxitu** získáme **1 tunu čistého hliníku**.

Nicméně, hliník lze **velmi dobře recyklovat**. Množství energie spotřebované na získání **čistého kvalitního kovu recyklováním** (přetavením v peci) je ve srovnání s výrobou primárního hliníku o **90 - 95 % nižší**.



3.3.4 Použití hliníku v elektrotechnice

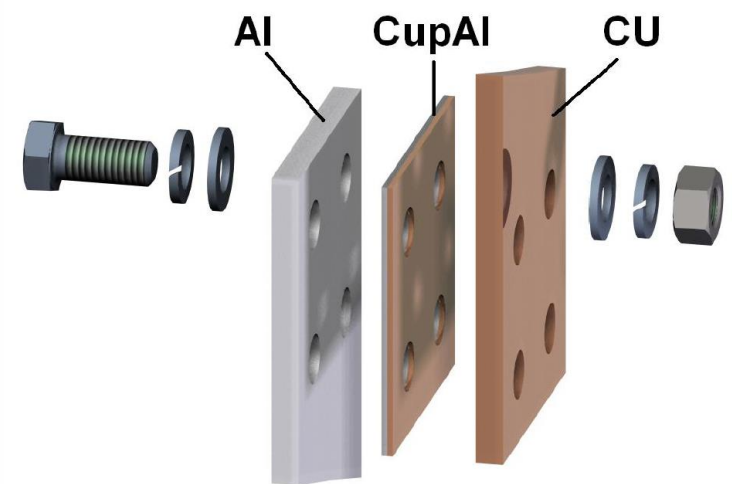
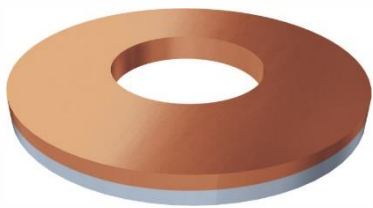
Čistý Al se používá zejména jako **elektrovodný materiál** – jeho elektrická vodivost je asi **60 % elektrické vodivosti mědi**, je však asi **3krát lehčí**. **Nevýhodou** hliníku je **nízká mez tečení**, dochází k deformacím; u hliníkových vodičů menšího průřezu se deformuje původní tvar průřezu a **láme se pod spojem**.

- **Venkovní vedení** prakticky všech napětí, tzv. *lana* **AlFe**, která tvoří **nosný ocelový drát** a **hliníkové vodiče** slané okolo něj.
- **Pásové vodiče** v rozvodnách a rozvaděcích (přípojnice).
- **Jádra silových kabelů a vodičů**, zvláště pro větší průřezy.
- **Vinutí** transformátorů a točivých strojů.
- Ve formě fólie se používá pro **elektrody elektrolytických kondenzátorů**.



- **Konstrukční materiál**, např. pro chladiče polovodičových součástek, elektrody otočných kondenzátorů apod.
- Větší část vyrobeného hliníku se používá pro výrobu **Al slitin** (15 % pro *slitiny tvářené*, 47 % pro *slévárenské*).

Poznámka: Přímým kontaktem mědi a hliníku vzniká **elektrochemický korozní článek**, proto by nikdy neměl přijít do přímého kontaktu pod jeden šroub měděný a hliníkový vodič. Hliníkový vodič by pak začal ubývat, vytvořil by se nedokonalý spoj, ve kterém vzniká teplo. Ke spojování měděných a hliníkových vodičů se používají tzv. **CupAl spojky** či **podložky**.



3.3.5 Slitiny hliníku

Slitiny Al mají podstatně **lepší mechanické vlastnosti**, ale také **menší elektrickou vodivost** než čistý *hliník*. Slitiny hliníku jsou nepostradatelným konstrukčním materiálem, zejména v leteckém průmyslu.

- **Aldrey** ($Al+0,5\%Mg+0,5\%Si$) a **Jareal** ($Al+0,5\%Mg+0,5\%Si+0,15\%Zn$): vysoká pevnost a dobrá el. vodivost. Je možné je použít pro **venkovní vodiče, hromosvody** apod.
- **Condal** ($Al+0,4\%Mg+0,4\%Fe$) se používá pro **vinutí velkých točivých strojů a transformátorů**.
- **Alni** ($Al+Ni+Fe$) a **Alnico** ($Al+Ni+Fe+Co$) mají feromagnetické vlastnosti a používají se pro **permanentní magnety**.
- **Konstrukční slitiny**, jako **Dural** ($Al+Cu+Mn+Mg$), **Superdural** (vyšší obsah *Mg* a *Mn*) – jsou **lehké**, mají **velkou pevnost**. Dural se **nedá dobře svařovat**, proto se konstrukční části obvykle spojují **mechanicky, nýtováním nebo šroubováním**.



- **Slévárenské slitiny hliníku**, tzv. **Siluminy** ($Al+12\%Si$) se používají na odlévání **skříní pro elektrické stroje, krytů a koster přístrojů**, ložiskových štítů motorů. Odlitky z nich jsou lehké, odolné proti korozi a dají se snadno opracovávat.



3.4 Zlato

3.4.1 Základní vlastnosti zlata

- Kov **žluté barvy** a **výrazného lesku**.
- Výborně **tvárné**, lze z něj vytepat fólie o tloušťce 0,0001 mm a **tažením získat drát** o průměru do 0,005 mm.
- **Po platině je chemicky nejodolnějším kovem**. Rozpouští se jen ve směsi některých kyselin, např. v *lučavce královské* a v *kyanidech*.
- **Se rtutí tvoří amalgám** (= kapalná nebo pevná slitina *rtuti* s jedním nebo několika kovy).
- Je **chemicky stálé**, **nereaguje s kyslíkem ani sírou**. Je **odolné proti korozi**. Jeho **povrch zůstává** i za značně vysokých teplot **kovově čistý**.
- Má **nízký a vysoce stálý přechodový odpor**.
- **Málo tvrdé**, má **sklon k opalování, lepení a přenosu materiálu**.
- Teplota tání 1064 °C, měrná hmotnost $19,3 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, měrný odpor $22,14 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$ (při 20 °C).



3.4.2 Výskyt zlata v přírodě

Zlato je v zemské kůře **značně vzácným prvkem**. Průměrný obsah činí pouze 4 – 5 $\mu\text{g/kg}$. V horninách se díky své inertnosti vyskytuje prakticky pouze jako **(i) ryzí kov s příměsí stříbra** ve formě *drátků, plíšků* či *valounů*, v **(ii) minerálech**, jako např. **calaverit** (AuTe_2), **sylvanit** ($(\text{Au,Ag})_2\text{Te}_4$), **elektrum** (Au,Ag) s obsahem $\geq 20\%$ Au , **petzit** (Ag_3AuTe_2), **nagyagit** ($\text{Pb}_5\text{Au}(\text{Te,Sb})_4\text{S}_{5-8}$) a v mnoha jiných.



Ryzí zlato



Calaverit



Sylvanit



Petzit

Nejbohatší světová naleziště jsou v **jižní Africe**, na **Uralu**, v **Austrálii**; valouny zlata (nugety, až kilogramové) v **Kanadě** a na **Sibiři**.

3.4.3 Těžba a zpracování zlata

Dříve se zlato těžilo **rýžováním** (gravitační separací). Dnes jsou již ložiska vhodná pro tuto metodu vytěžená. V současnosti se těží **ložiska**, ve kterých je zlato **velmi jemně rozptýleno v hornině**.

Tradiční postup spočívá v **jemném namletí horniny**, ze které je následně **flotační metodou** (využívající rozdílné smáčitelnosti povrchu různých materiálů) vytvořen koncentrát, který je dále **loužen** (vyplavován) **roztokem kyanidu**. Posledním krokem je **elektrochemická** či **chemická redukce**, která vede k vysrážení čistého zlata.



Použití **kyanidových roztoků** (v tunových až stotunových šaržích) představuje **velké riziko v případě, že dojde k havárii**.

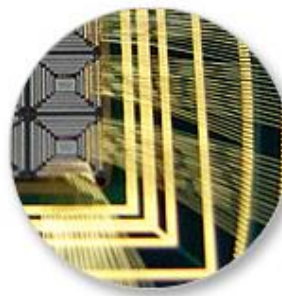
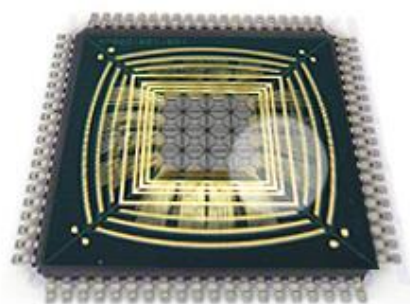
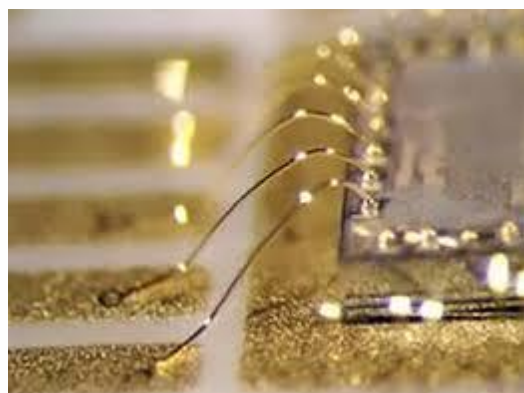
V současnosti jsou vyvíjeny nové metody, jako například **loužení v roztoku thiosíranu** či **thiomočoviny**, které jsou zatím **méně efektivní** a tudíž **drahé**. Nicméně, jejich **výhodou je, že původní technologii pro kyanidové loužení lze přizpůsobit i pro thiosíran**.



3.4.4 Použití zlata v elektrotechnice

Pro běžné účely se dodává zlato v čistotě 99,5 %, výjimečně až 99,99 % (obvyklými příměsemi jsou *Ag* a *Cu*). **Čisté zlato** se používá **jen málokdy**, např. pro **pokovování částí laboratorních přístrojů**. Častěji se užívají **slitiny zlata**, které mají **lepší mechanické vlastnosti** než čisté zlato. Významnými přísadami jsou *Ag*, *Cu*, *Pd*, *Pt*, *Ni*, menší význam mají přísady *Zr* a *Cr*.

Nejvýznamnější slitinami zlata jsou slitiny ***Au-Cu***, ***Au-Cu-Ag***, ***Au-Ni*** používané na **kontakty** (jen při malých přitlačných silách a nízkých proudech) – hlavním **důvodem není vodivost *Au***, ale jeho **vysoká odolnost proti oxidaci** (korozi). Pro tyto účely se příslušné kontaktní povrchy **elektrolyticky pokrývají** tenkou zlatou vrstvou. Zlato je také používáno na **propojovací vodiče v integrovaných obvodech**.



3.5 Stříbro

3.5.1 Základní vlastnosti stříbra

- Kov **bílé barvy** a **vysokého lesku**.
- Má ze všech kovů **největší elektrickou a tepelnou vodivost**.
- **Velmi tvárné**, lze je vytepat ve **slabé fólie** (min. 0,005 mm).
- Pevnost v tahu lze zvýšit tvářením za studena.
- **Chemická odolnost Ag** je ve srovnání s ostatními technickými kovy **velmi dobrá**.
- Nepodléhá korozi v suchém ani vlhkém vzduchu, je však **citlivé na síru a sirné sloučeniny** (černání stříbra na povrchu).
- Teplota tání 962 °C, měrná hmotnost $10,49 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, měrný odpor $15,84 \cdot 10^{-9} \Omega \cdot \text{m}$ (při 20 °C).



3.5.2 Výskyt stříbra v přírodě

V zemské kůře se stříbro **vyskytuje pouze vzácně**. Průměrný obsah činí kolem 0,07 – 0,1 mg/kg. V přírodě se stříbro obvykle vyskytuje **ve sloučeninách**, vzácně však **i jako ryzí kov**. Téměř vždy je stříbro příměsí v ryzím přírodním zlatě. Z minerálů stříbra je nejvýznamnější **akantit** a jeho vysokoteplotní modifikace (nad 179 °C) **argentit** (Ag_2S). Celkem je známo asi 150 nerostů s obsahem stříbra.



Ryzí stříbro



Akantit



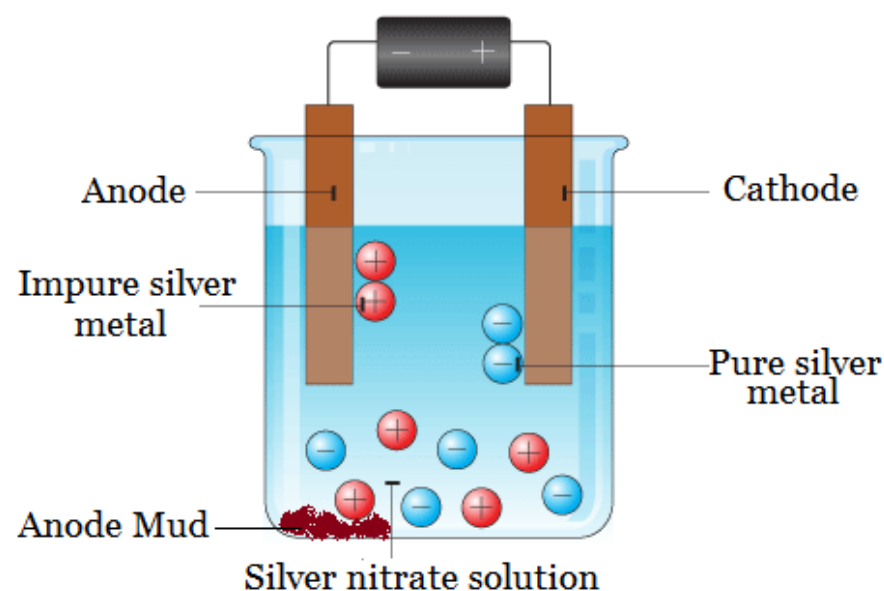
Argentit

Největšími světovými producenty stříbra jsou **Mexiko, Kanada, Peru, Austrálie a USA**. V **českých zemích** se ve středověku dobývalo značné množství stříbrných rud. Nejznámější lokalitou je patrně **Kutná Hora**, pak také **Příbram, Jáchymov, Jihlava** a **Stříbro** (nejstarší stříbrný důl).

3.5.3 Těžba a zpracování stříbra

Výroba stříbra se nejčastěji provádí **kyanidovým loužením** stříbrných rud, v minulosti se používal i **amalgamový postup** nebo se stříbro z rudy vyluhovalo **roztoky thiosíranů**. Zpracovatelské postupy jsou tedy podobné těm používaným u zlata. Výroba stříbra se také provádí různými chemickými postupy z **odpadních produktů po rafinaci niklu, mědi, zinku a olova**.

Rafinace samotného stříbra se provádí **elektrolýzou**. Jako elektrolyt se používá 2% roztok *dusičnanu stříbrného* okyselený *kyselinou dusičnou*. **Katodou** je plech z *čistého stříbra*, **anodou** je *surové stříbro*. **Odpadní anodové kaly** po elektrolytické rafinaci stříbra jsou **zdrojem zlata a platinových kovů**.



3.5.4 Použití stříbra v elektrotechnice

Výhodné fyzikální a chemické vlastnosti stříbra jsou při relativně nízké ceně důvodem pro jeho poměrně **široké použití v technické praxi** (chemická výroba, lékařství apod.). V **elektrotechnickém průmyslu** se používá až polovina vyrobeného stříbra. Využívá se např. do **pájek, pojistek**, pro **vodivé části kontaktů** (méně mechanicky namáhaných), jako **dvojkov**, nebo k **postříbření různých kovů**, často mědi. Legováním lze některé vlastnosti stříbra zlepšit při současném snížení jeho ceny. Významné jsou zejména **slitiny stříbra** s *Cu, Zn, Cd, Pd* a *Pt*.



3.6 Shrnutí vlastností el. vodivých kovů

Veličina	Jednotka	Cu	Al	Au	Ag
Měrná hmotnost	$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	8,9	2,7	19,3	10,49
Měrný el. odpor (při 20 °C)	$\text{n}\Omega \cdot \text{m}$	16,78	28,74	22,14	15,87
Teplota tání	°C	1 083	660	1064	962
Měrná tep. vodivost	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	386	237	318	429
Modul pružnosti v tahu	GPa	130	70	78	83



Kontrolní otázky

- Jaké všechny skupiny materiálů považujeme za „vodivé materiály“ pro elektrotechnická zařízení?
- Vyskytuje se měď/hliník v přírodě v ryzí formě?
- Jak se chová měď/hliník v oxidačním prostředí?
- Jak se vyrábí a zpracovává měď/hliník?
- Vyjmenujte typické příklady použití mědi/hliníku v elektrotechnice.
- Co je to *vodíková nemoc mědi*? Je důležitá pro elektrotechniku?
- Jaký je rozdíl mezi *mosazí* a *bronzem*?
- Co je to *tombak* a kde se používá?
- Co je to *bauxit*?
- Popište *Bayerův způsob* přípravy oxidu hlinitého.
- Co je to červený kal/bahno?



Kontrolní otázky

- Jak moc je energeticky a surovinově náročná výroba hliníku? Uvedte jednotlivé argumenty pro a proti výrobě hliníku.
- Co je to *CuAl* a *AlNiCo*, a kde se používají?
- Lze hliník a jeho slitiny svářet?
- Jaký kov je chemicky nejodolnější?
- Proč se zlato používá jako kontaktní kov? Není pro takové aplikace zbytečně drahé?
- Popište dopad těžby a zpracování vodivých materiálů pro elektrotechniku na životní prostředí.
- Jak se chová zlato/stříbro v oxidačním prostředí?
- Pro jaké aplikace se v elektrotechnice používá stříbro?

