



Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích

# Moderní slévárenské technologie

*Přednášky pro studijní program Strojírenství*

**Doc. Ing. Ladislav SOCHA, Ph.D. a kol.**



# Základní druhy slitin hliníku, hořčíku, mědi a zinku

Přednáška č. 10

# Rozdělení slitin neželezných kovů

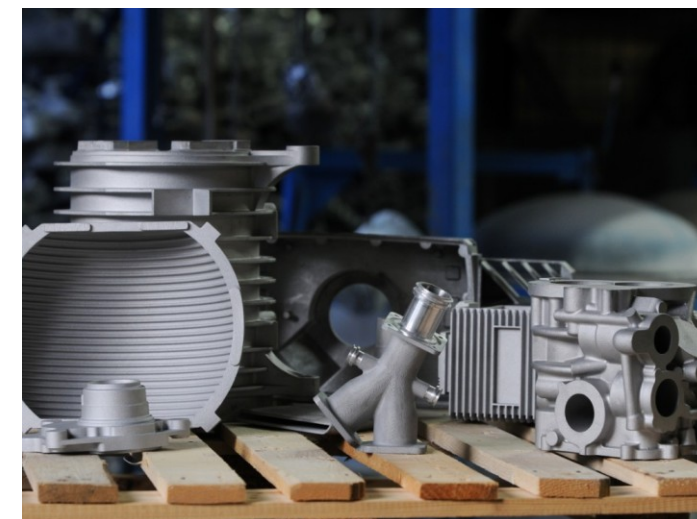
- ✓ **Druhy slitin** – tvářené, slévárenské
  - *Druhy slitin se rozlišují zejména podle **základního prvku***
  - *Prvek, jehož obsah je ve slitině nejvyšší, obvykle více než 50 %, podle něho pak hovoříme např. o slitinách hliníku, hořčíku, slitinách, mědi apod.*
  
- ✓ **Podle technologie**, která se bude pro slitin používat, se slitiny rozdělují na slitiny slévárenské a slitiny pro tváření
  - *Slitiny pro tváření mají obvykle nižší obsah přísadových prvků a mají dobré plastické vlastnosti*
  - *Podle teplot tváření se tyto slitiny dělí na slitiny pro tváření za studena a slitiny pro tváření za tepla*
  - *Slévárenské slitiny mají zpravidla vyšší obsah přísadových prvků, než slitiny pro tváření, také větší pevnost a tvrdost, ale nižší plastické vlastnosti*
  - *Chemické složení musí být takové, aby slitina kromě požadovaných vlastností měla i dobré vlastnosti slévárenské*
  
- ✓ **Podle hustoty** se slitiny dělí slitiny lehkých kovů a slitiny těžkých neželezných kovů
  - *Do skupiny lehkých slévárenských slitin patří především slitiny hliníku, hořčíku a titanu*
  - *Do skupiny těžkých slitin patří především slitiny mědi, niklu, kobaltu, zinku, olova, cínu a dalších kovů*

# Rozdělení slitin neželezných kovů

- ✓ **Podle tavicí teploty** se dělí na nízkotavitelné (600°C), se střední tavicí teplotou (1500 °C) a s vysokou tavicí teplotou
- ✓ Po samostatných skupin se obvykle zařazují ušlechtilé kovy – zejména stříbro, zlato, platina, dále tzv. kovy vzácných zemin, kovy radioaktivní a polovodiče
- ✓ **Podle objemu výroby** odlitků z neželezných slitin jsou nejpoužívanější slitiny hliníku, jejich podíl představuje více než 90 % hmotnosti všech odlitků z neželezných slitin – výborný poměr mezi hmotností a mechanickými vlastnostmi, příznivá cen, poměrně snadná technologie výroby a dobré technologické vlastnosti
- ✓ Technicky velmi významnou skupinou jsou odlitky z hořčíkových slitin, jejich produkce se v současné době velmi prudce zvyšuje, důvodem je zejména nízká hmotnost při mechanických vlastnostech, přibližně srovnatelných se slitinami hliníku



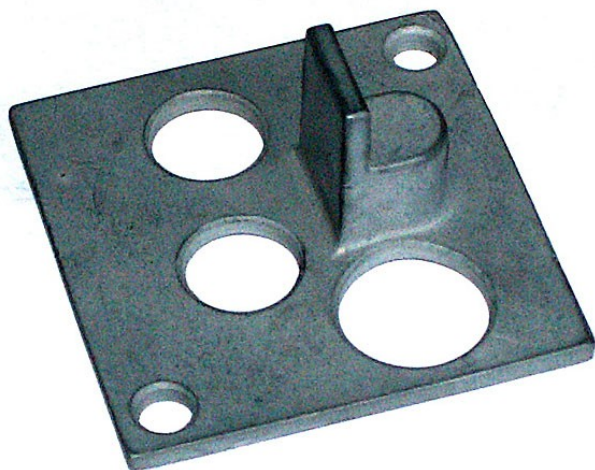
*Odlitky z hořčíkových slitin*



*Odlitky z hliníkových slitin*

# Rozdělení slitin neželezných kovů

- ✓ Dalšími významnými materiálovými skupiny jsou slitiny mědi a zinku
- ✓ Technicky velmi významné jsou slitiny niklu s výbornými mechanickými vlastnostmi za vysokých teplot a odolností proti korozi, používají se zejména v leteckém a automobilovém průmyslu, např. pro součásti motorů, dmychadel a spalovacích turbín
- ✓ Technicky velmi progresivním materiálem jsou slitiny titanu, které díky svým mimořádným mechanickým vlastnostem za normálních i za vysokých teplot a díky poměrně nízké hustotě, nacházejí uplatnění zvláště v leteckém, kosmickém a automobilovém průmyslu



*Odlitek z zinkové slitiny*



*Odlitek z niklové slitiny*

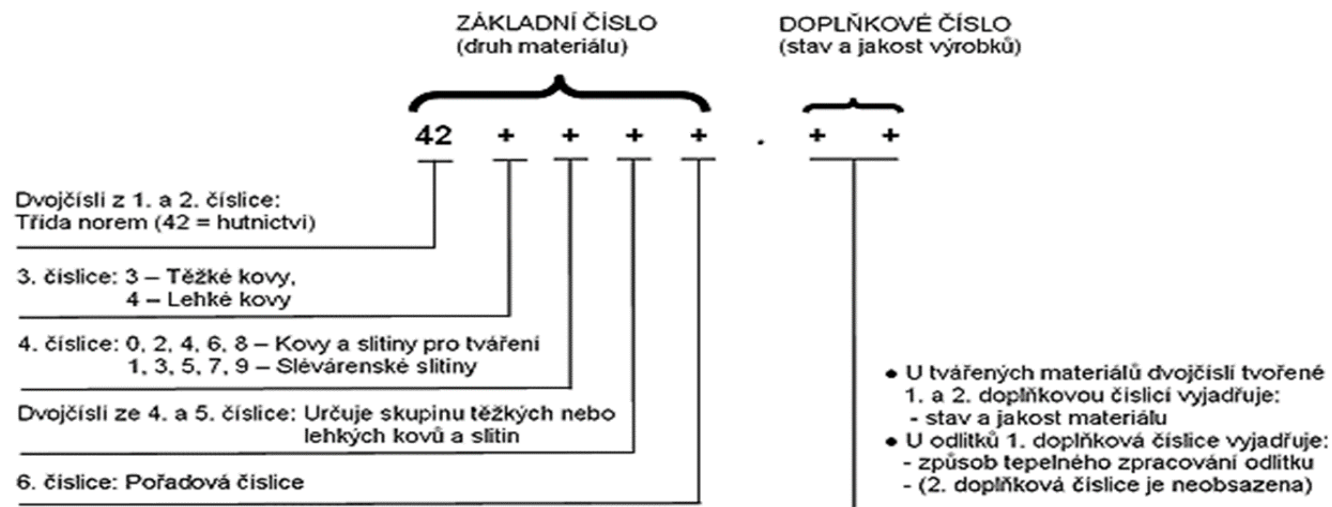


*Odlitky ze slitin titanu*

# Způsob značení slitin neželezných kovů

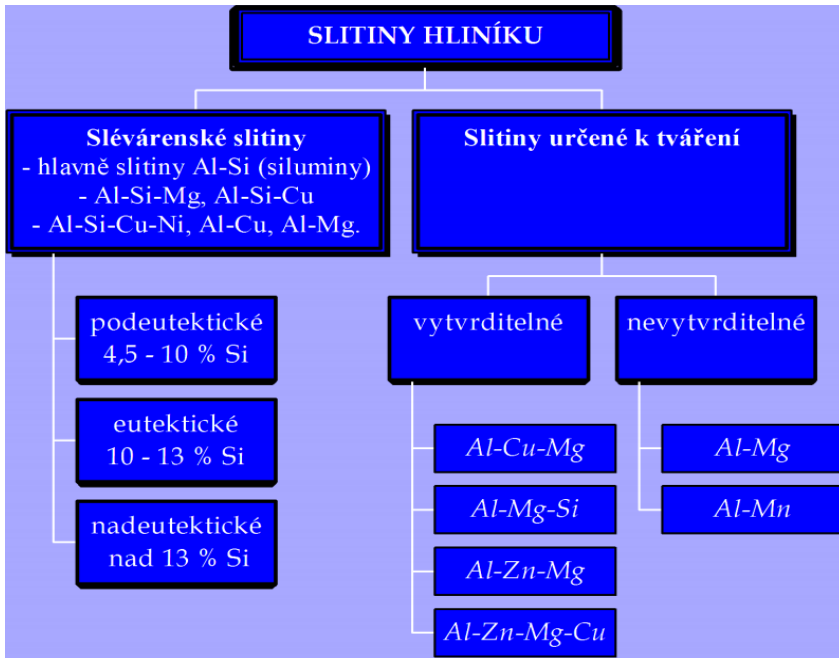
- ✓ Slitiny se označují číselně nebo chemickými značkami
- ✓ **Číselné značení** je určeno příslušnými evropskými, národními, podnikovými nebo jinými normami. Z číselného označení obvykle nevyplývá chemické složení slitiny
- ✓ **Značení chemickými značkami** uvádí střední obsah hlavních prvků v procentech. Na první pozici je značka základního prvku, na dalších místech značky přísadových prvků v pořadí jejich obsahu. Číslice za značkou prvku značí jeho střední obsah ve slitině. Při obsahu nižším než 1 % se obvykle množství prvku neuvádí
- ✓ Materiálové normy obvykle připouští značení slitin oběma způsoby
- ✓ Při značení čistých kovů se k chemické značce kovu připojuje číslice, označující obsah základního kovu v procentech, zbytek tvoří nečistoty

Obr. č. 1:

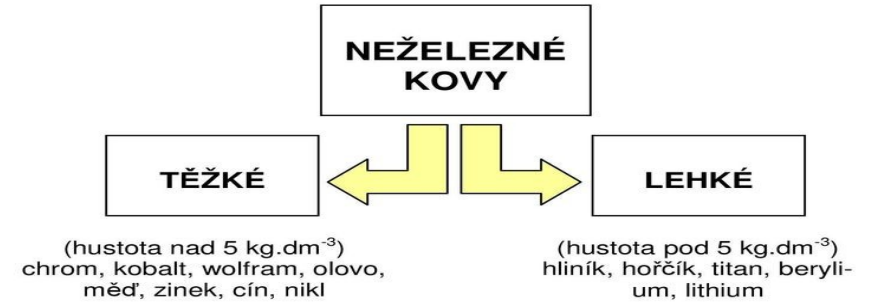


# Neželezné kovy

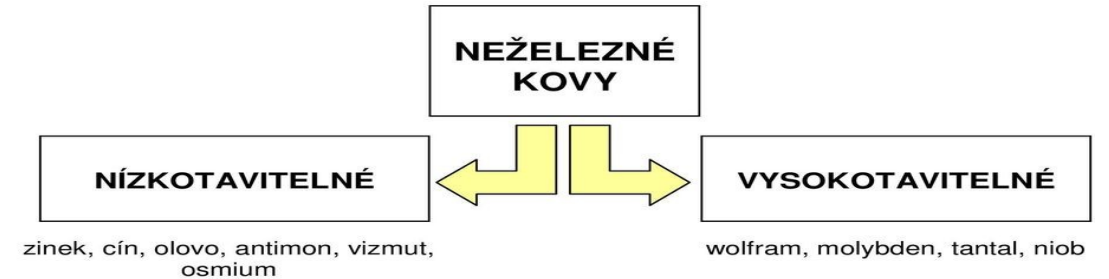
- ✓ Neželezné kovy jsou všechny kovy a slitiny, u nichž je základním prvkem jiný než železo
- ✓ Největší využití mají tyto neželezné kovy: hliník (Al), měď (Cu), hořčík (Mg), zinek (Zn), olovo (Pb), titan (Ti), nikl (Ni) a jejich slitiny
- ✓ Čisté kovy se pro výrobu nepoužívají, pouze některé
- ✓ Nejvíce se používají Al slitiny



## ROZDĚLENÍ NEŽELEZNÝCH KOVŮ (podle hustoty)



## ROZDĚLENÍ NEŽELEZNÝCH KOVŮ (podle teploty tavení)



Zvláštní skupiny neželezných kovů dále tvoří :



# Hutní hliník

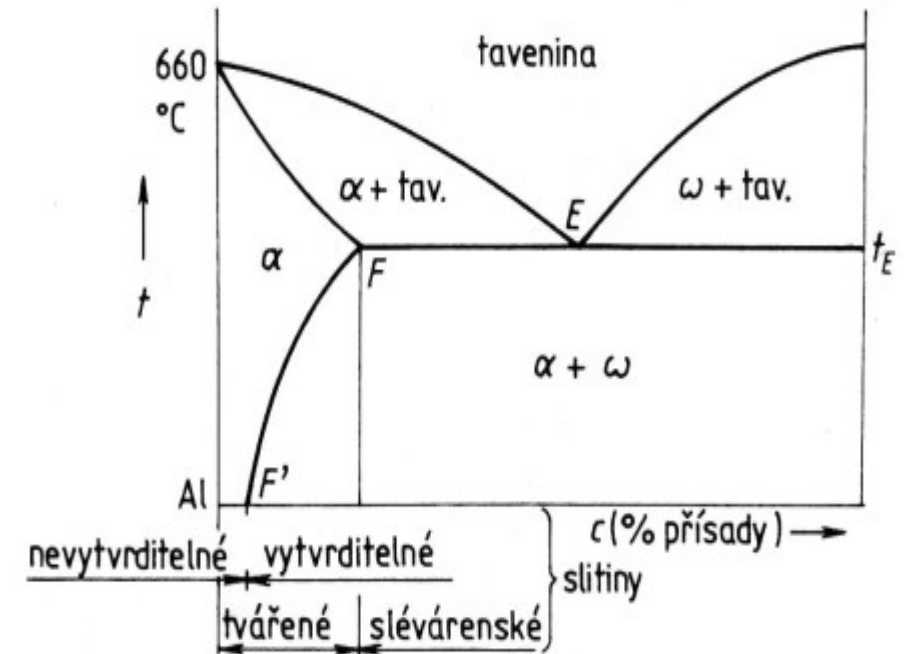
- ✓ **Čistý hliník se používá výjimečně**
- ✓ Čistota 99 až 99,9 % Al obsahuje vždy z prvovýroby nečistoty – především Fe, Si, Cu, Mg, dále Mn, V, Ti, Zn, které ovlivňují jeho vlastnosti
- ✓ Tento technicky čistý hliník s nízkými hodnotami mechanických vlastností a špatnou slévatelností se k výrobě odlitků používá naprosto výjimečně
  
- ✓ **Slitiny hliníku**
- ✓ Konstrukční účely
- ✓ Malá hustota, dobré mechanické vlastnosti, nemagnetické, dobře obrobitelné, vyhovující odolnosti proti korozi
- ✓ Tvářené nebo slévárenské
- ✓ **Tvářené slitiny**
  - Dobře tvárné
  - Plechy, dráty, trubky, různé profily, tyče nebo výkovky
- ✓ **Slévárenské slitiny**
  - vyšší obsah příměsí – snižuje se tvárnost





# Rozdělení slitin hliníku

- ✓ Základní rozdělení slitin hliníku z hlediska jejich vhodnosti ke tváření, slévání a tepelného zpracování vytvrzováním ukazuje rovnovážný diagram
- ✓ Podle vhodnosti způsobu výroby se slitiny hliníku dělí na:
  - *Slitiny pro tváření*
  - *Slitiny pro odlitky*
- ✓ Podle možnosti precipitačního vytvrzování se slitiny hliníku dělí na:
  - *Slitiny vytvrditelné*
  - *Slitiny nevytvrditelné*
- ✓ K tváření jsou vhodné slitiny s nižšími obsahy přísadových prvků
- ✓ Slitiny s vyšším obsahem přísadových prvků, v jejichž struktuře se vyskytuje eutektikum, jsou méně tvárné za tepla, mají však velmi dobré slévárenské vlastnosti, přičemž nejlépe slévatelné jsou slitiny eutektické
- ✓ Vytvrzováním se zlepšují mechanické vlastnosti
- ✓ Ze slitin k odlévání jsou pro vytvrzování vhodné pouze ty, které obsahují menší množství eutektika ve struktuře



# Slitiny hliníku

- ✓ Z velkého počtu vyvinutých a odzkoušených slitin se v běžné slévárenské praxi používají základní typy:
  - **Al-Si** (tzv. *siluminy*)
  - **Al-Cu** (tzv. *duralaluminiumy*)
  - **Al-Mg** (tzv. *hydronalium*)
  
- ✓ Elektrotechnický průmysl (elektrovodivý materiál, kondenzátory), chemický a potravinářský průmysl (dobrá tepelná vodivost a odolnost proti korozi v kyselém prostředí), obaly a chranné povlaky, velká část Al se spotřebuje při výrobě slitin Al (slitiny k tváření a slévárenské slitiny se širokým použitím zejména v automobilovém a leteckém průmyslu)
  
- ✓ Další vzájemné kombinace a množství přísad vytváří řadu druhů slitin odvozených od základních typů, např. nejpoužívanější: Al-Si-Mg, Al-Si-Cu, Al-Cu-Si a Al-Mg-Si
  
- ✓ Značení slitin neželezných kovů je v ČR dáno **normou ČSN 42 1401**, zachovává původní šestimístné číslování dle druhu materiálu

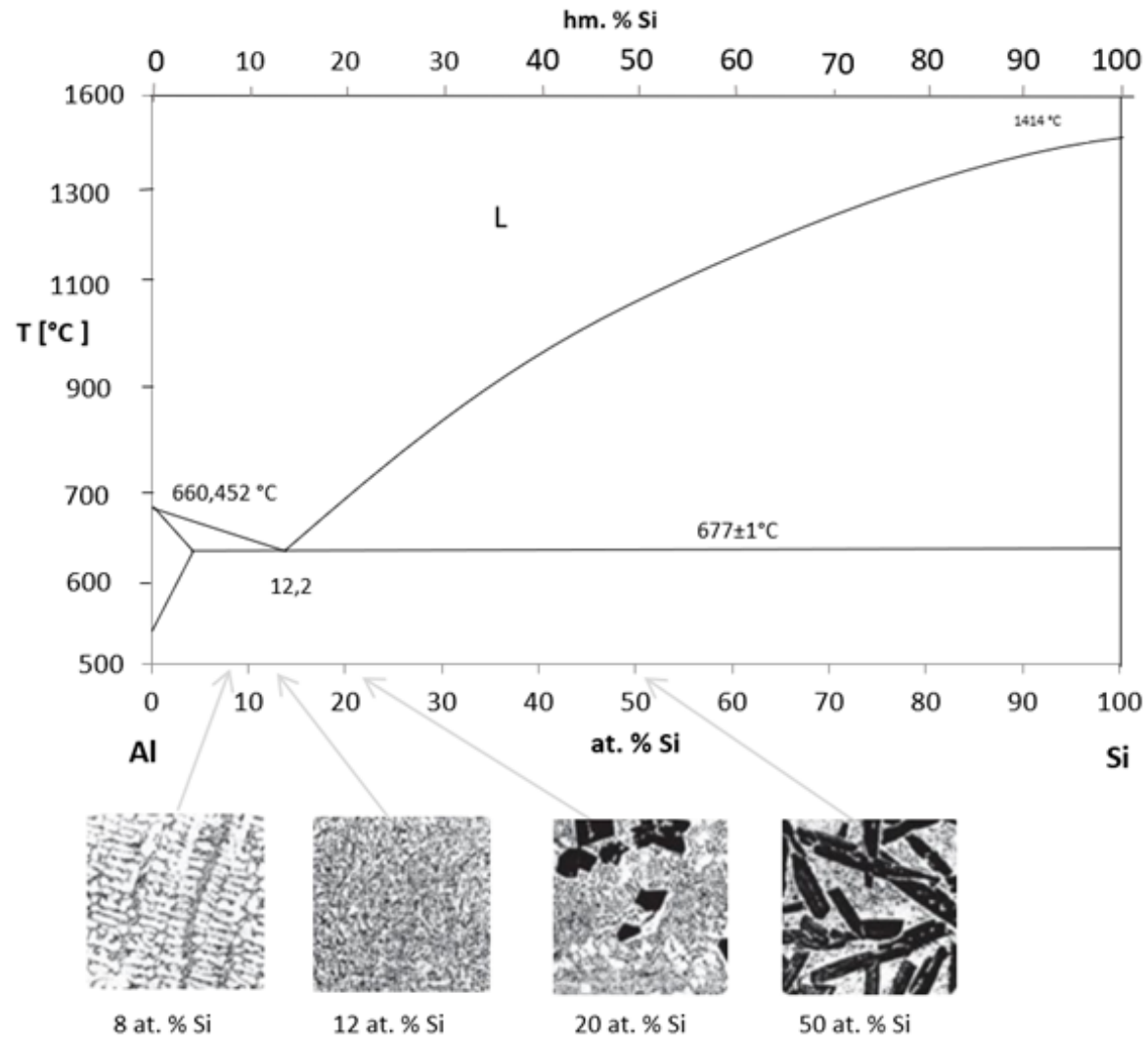
# Slitiny hliníku

- ✓ Doplněné ev. dvoumístným číslem označujícím stav, čtvrté číslo sudé označuje lehké slitiny, liché číslo slitiny slévárenské, poslední trojčíslí určuje slitinu podle chemického složení a z výrobního hlediska
- ✓ Zahraniční normy, např. DIN, ASTM apod., a zejména také označení chemickými značkami, které je nejnázornější
- ✓ Vlastnosti některých hliníkových slitin je možno zlepšit *vytvrzování* – předmět je nejprve ohřátý na určitou teplotu (kolem 500°C), tzv. rozpouštěcí žíhání, následně se ohřátý předmět rychle ochladí až na normální teplotu ponořením do vody a pak se nechá ležet několik dní na vzduchu při normální teplotě – *přírodní stárnutí*, nebo se mírně ohřeje na teploty (kolem 150°C) po několik hodin – *umělé stárnutí*
- ✓ Rychlým ochlazením se získá měkká a houževnatá slitina, uložením na vzduchu nebo mírným ohřevem se pevnost a tvrdost slitiny zvětší, čímž dojde k poklesu houževnatosti
- ✓ K vytvrzování jsou vhodné slitiny hliníku, obsahující zejména měď nebo křemík
- ✓ Předpokladem vytvrzování je, aby slitinu bylo možno přechladit, tj. rychlým ochlazením vytvořit přesycený tuhý roztok, tedy nerovnovážný stav; vytvrzují se hlavně tvářené slitiny

# Slévárenské slitiny typu Al-Si (siluminy)

- ✓ Obsahují 5 až 20 % Si a další přísady , z nichž nejčastější je Mn
- ✓ Obsah křemíku je vyšší než je jeho max. rozpustnost v tuhém roztoku Al
- ✓ Dobře slévateľný, odolává různým korozním vlivům, špatně obrobiteľný
- ✓ Zlepšení mechanických vlastností siluminu se dosáhne menší přísadou hořčíku, která umožní vytvrzování slitiny
- ✓ Vytvrzovateľný silumin se používá na skříně leteckých motorů, na součásti v automobilovém a leteckém průmyslu, zejména na složité a tenkostěnné odlitky
  
- ✓ Podle rovnovážného diagramu tvoří pak hliník s křemíkem eutektický systém s omezenou rozpustností Si v Al
  
- ✓ **Slitiny Al-Si lze rozdělit na:**
  - ***podeutektické*** - s obsahem Si do 10 % (nejpočetnější skupina)
  - ***eutektické*** - s obsahem Si v oblasti eutektického složení
  - ***nadeutektické*** - s obsahem Si nad eutektickým složením, hranice není přesně defino-vána, charakteristický je výskyt fáze (3 ve struktuře)

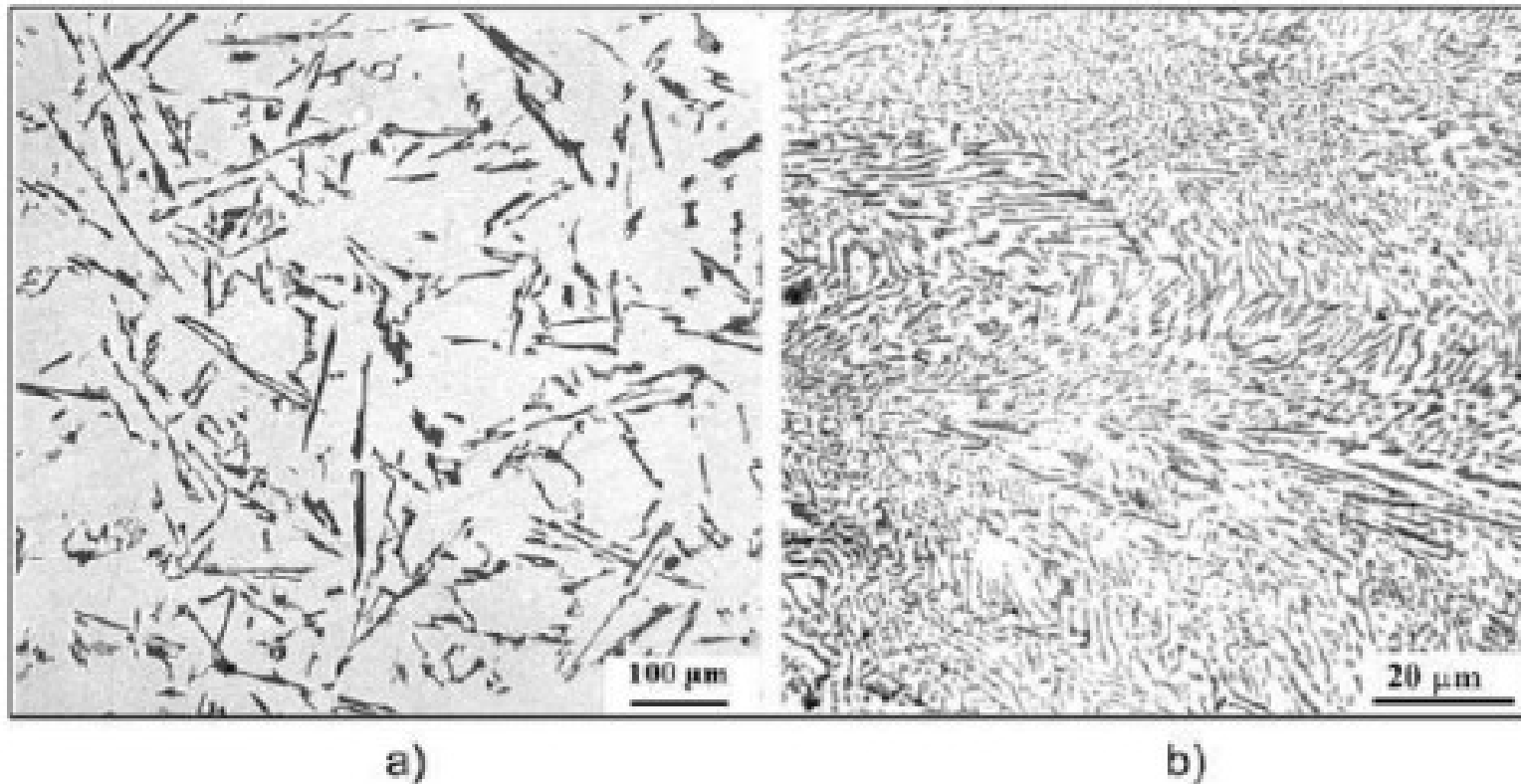
# Slévárenské slitiny typu Al-Si (siluminy)



*rovnovážný diagram Al-Si a typické  
strukturní složení dle obsahu Si*

# Slévárenské slitiny typu Al-Si (siluminy)

- ✓ Pokud nejsou legovány dalšími prvky, označují se jako binární nebo jednoduché siluminy
- ✓ Binární siluminy Al-Si se však používají zřídka, osvědčily se hlavně jako pájky
- ✓ K odlévání tvarových odlitků se používají tzv. speciální siluminy s dalšími přísadovými prvky



**ukázka struktury nemodifikovaného: (a) a modifikovaného (b) siluminu AlSi12**

# Speciální siluminy

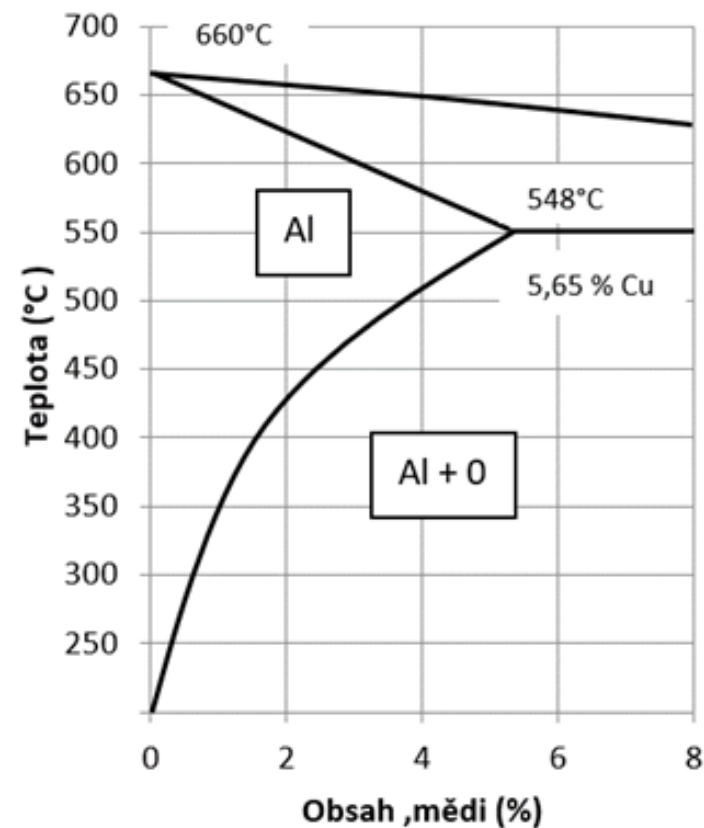
- ✓ Největší vliv na zlepšení pevnostních charakteristik siluminů mají přísady mědi a hořčíku, které umožňují takto vznikající speciální siluminy Al-Si-Cu a Al-Si-Mg vytvrzovat a dosáhnout vysokou pevnost
- ✓ Přísadami ještě dalších prvků (Mn, Ti, Zn, Ni) vznikají siluminy o čtyřech i více složkách, které mají zlepšené některé další vlastnosti
- ✓ Slévárenské vlastnosti všech speciálních siluminů jsou však horší než u siluminů binárních
- ✓ V automobilovém průmyslu se používají např. siluminy s přísadou niklu a mědi, příp. železa

Slitiny hliníku pro odlitky			
Základní báze	ČSN		Rm [ MPa ]
	Označení	Číslo	
Al-Si-Mn	AlSi12Mn	424330	140 -180
Al-Si-CU	AlSi6Cu2	424353	150 - 160
	AlSi8Cu2Mn	424339	240
Al-Cu	AlCu4Ni2Mg	424315	160 -240
	AlCu8FeSi	424361	160 -200
Al-Mg-Si	AlMg5Si1Mn	424515	120 -170
	AlMg10SiCa	424519	240

*pevnost vybraných slitin hliníku pro odlitky*

# Slévárenské slitiny Al-Cu (dural<sup>TM</sup>)

- ✓ Nejčastějšími přísadami jsou Mg, Cu, Si, Zn a Ni
- ✓ Měď tvoří s hliníkem slitiny s omezenou rozpustností v tuhém roztoku a eutektikem
- ✓ Rozpustnost mědi v hliníku při eutektické teplotě 548°C je max. 5,7 % a při ochlazování se snižuje
- ✓ Vytvrditelné s vysokou pevností, tažností a lomovou houževnatostí
- ✓ Snižující se rozpustnost Cu umožňuje provádět vytvrzování za tepla i za studena
- ✓ Velmi důležitý konstrukční materiál na stavbu letadel, kolejových vozidel, automobilů aj.
- ✓ Menší odolnosti proti korozi, díky obsahu mědi
- ✓ Pokud je nutná odolnost proti korozi, používá se *plátovaný dural*
- ✓ Když jsou na materiál kladeny větší požadavky, používá se *superdural* s vyšším obsahem hořčíku

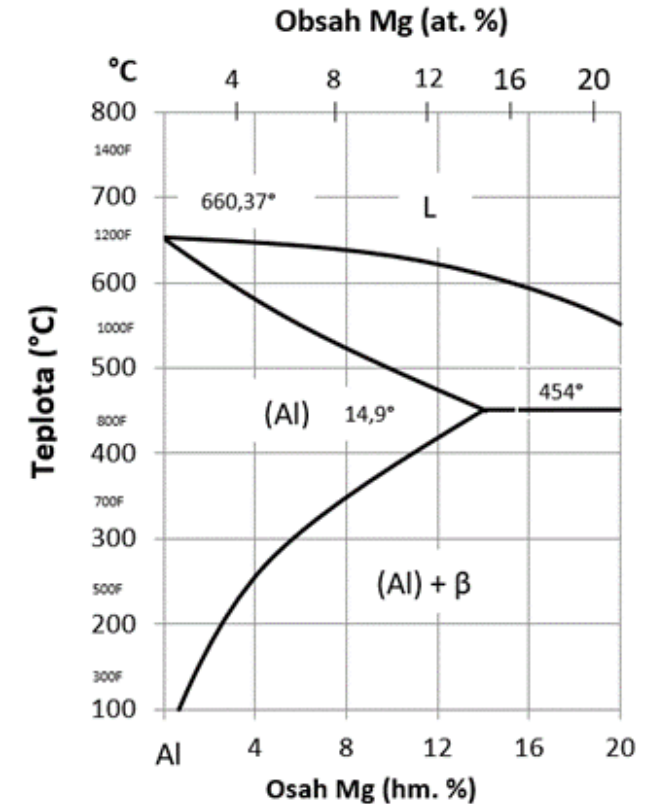


rovnovážný diagram Al-Cu



# Slévárenské slitiny typu Al-Mg (hydronalium)

- ✓ Hořčík tvoří s hliníkem slitiny s maximální rozpustností 17,4 % Mg při eutektické teplotě 450°C
- ✓ S poklesem teploty se rozpustnost rychle snižuje (při teplotě 300°C je asi 5,3 %, při 200°C 2,9 %)
- ✓ Vlivem přísadových prvků se rozpustnost Mg dále snižuje
- ✓ Eutektikum je tvořeno fázemi  $\alpha$  (Al) a  $\text{Al}_8\text{Mg}_5$ , označované jako fáze  $\beta$ , eutektická koncentrace je 34,5 % Mg
- ✓ Pokud je ve slitině obsažen křemík v množství cca 1 %, váže se hořčík především do sloučeniny  $\text{Mg}_2\text{Si}$ , ta se vylučuje jako intermetalická fáze, která umožňuje provádět vytvrzování
- ✓ Vytvrzování umožňuje rovněž měď a zinek, obvykle se však odlitky používají ve stavu tepelně nezpracovaném
- ✓ Podle obsahu hořčíku se slévárenské slitiny Al-Mg dělí na typy se 3, 5 a 9 % Mg, čím vyšší je obsah hořčíku, tím širší je dvofázové pásmo tuhnutí a tím horší jsou slévárenské vlastnosti



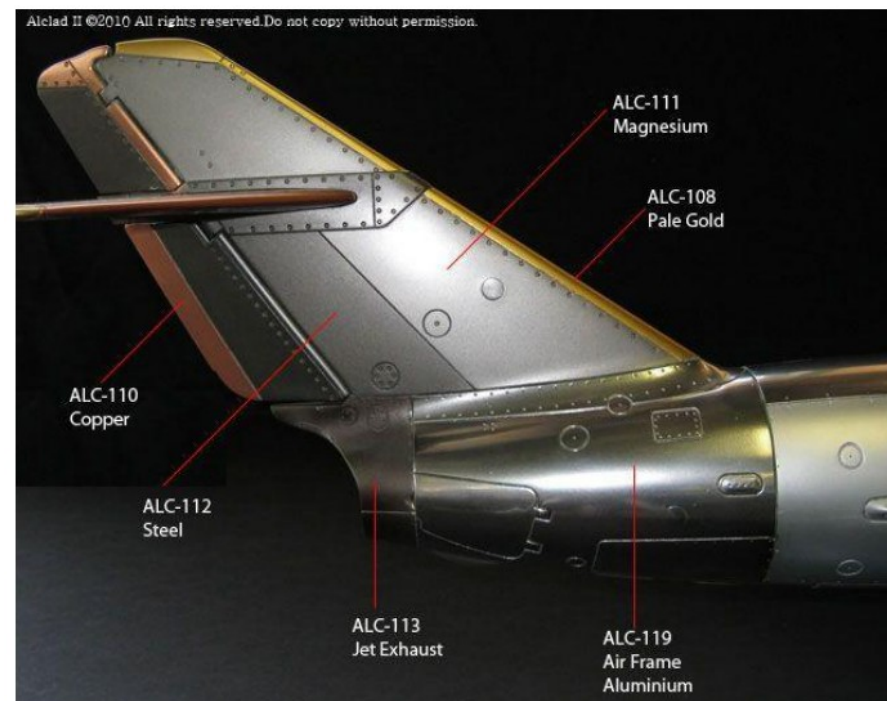
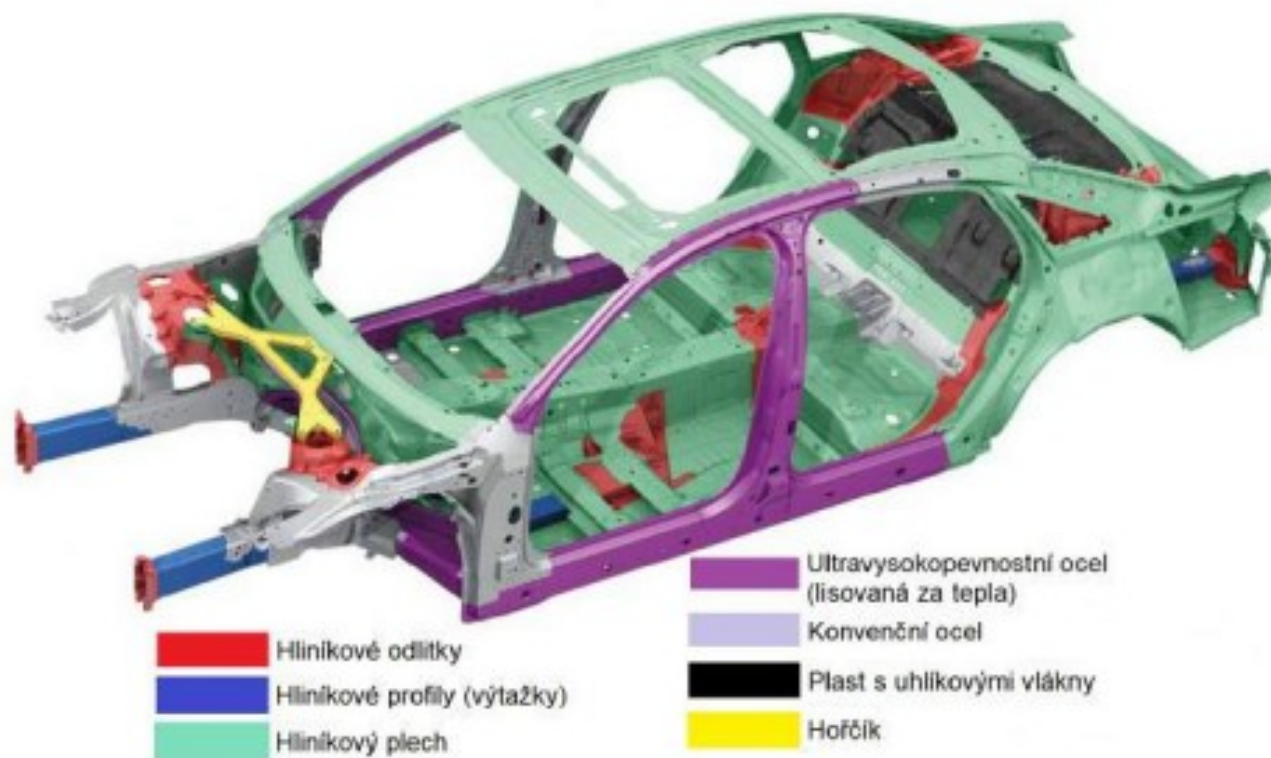
rovnovážný diagram Al-Mg

# Slévárenské slitiny hořčíku

- ✓ Převážná část hořčíkových slitin se zpracovává odléváním
- ✓ Hlavním přísadovým prvkem je téměř výhradně hliník, slitiny Mg-Al s nízkou hmotností
- ✓ Čím je ve slitině vyšší obsah hliníku, tím lepší je zabíhavost
- ✓ Ze slitin hořčíku je nejznámější tzv. elektron, obsahující též zinek a mangan, který se přidává do každé hořčíkové slitiny, aby se zvětšila odolnost proti korozi a zmenšila vznítivost
- ✓ Technicky zajímavé, ale výrobně mimořádně složité jsou superlehké slitiny Mg-Li
- ✓ Nejčastěji používanou slitinou pro tlakové lití je slitina s 9 % Al a 1 % Zn, označovaná jako AZ91, má vynikající zabíhavost a umožňuje odlévat tenkostěnné, tvarově velmi komplikované odlitky, má vysokou pevnost, ale pouze střední tažnost a houževnost
- ✓ Pro vyšší tažnost a houževnatost se snižuje obsah hliníku a zinek je nahrazen manganem – tyto materiály se používají pro odlitky s vysokými požadavky na bezpečnost, např. volanty aut, armatury řízení a díly sedadel



# Slévárenské slitiny hořčíku



# Slévárenské slitiny mědi

- ✓ Využívají se jejich specifické mechanické, frikční, fyzikální, antikorozi a jiné vlastnosti
- ✓ Podle hlavního přísadového prvku se dělí do dvou základních skupin – bronzů a mosazí
- ✓ bronzů se podle hlavního přísadového prvku nebo skupiny přísadových prvků dělí do jednotlivých materiálových skupin, kdy nejvýznamnější skupiny jsou bronzů: cínové, cíno-olověné, hliníkové a olověné
- ✓ Z dalších typů slitin se v menším rozsahu vyrábí slitiny Cu-Ni, Cu-Cr, Cu-Mn, Cu-Si, Cu-Be a další
- ✓ Z hlediska slévárenského je důležitá šířka pásma tuhnutí mezi teplotami likvidu a solidu

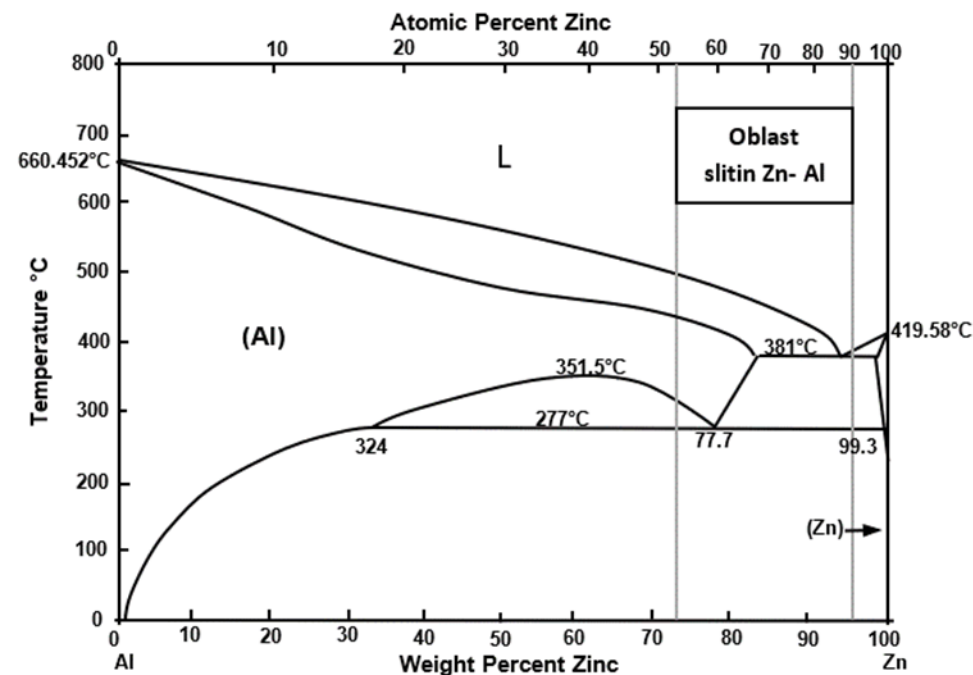
✓ **Podle tohoto kritéria je možno slitiny rozdělit zhruba do 3 skupin:**

- *Slitiny s úzkým intervalem tuhnutí do asi 50 K. Mezi tyto slitiny patří žluté mosazi, manganový, hliníkový a niklový bronz (slitiny CuZnNiSnPb) a chromová měď,*
- *Slitiny s intervalem tuhnutí 50-110 K – do této skupiny patří zejména křemíková mosaz, křemíkový bronz a slitiny Cu-Ni,*
- *Slitiny s intervalem tuhnutí nad 110 K (až do asi 170 K) – cínový a cíno-olověný bronz, červený bronz a olověný bronz.*
- *Šířka intervalu tuhnutí má rozhodující význam pro schopnost dosazování kovu do tuhnucího odlitku a pro makro- a mikrosegregaci přísadových prvků*



# Slévárenské slitiny zinku

- ✓ Hlavní přísadový prvek je hliník, vysoká pevnost v tahu a houževnost, dobrá tvářitelnost, schopnost tlumit vibrace, odolnost proti korozi
- ✓ Rovnovážný diagram systému Zn-Al je typem diagramu s primární fází s omezenou rozpustností přísadového prvku a se vznikem eutektika
- ✓ Eutektikum je tvořeno fází Zn-ZnAl, eutektická teplota systému Zn-Al je rovna 382°C při koncentraci 5,5 % Al
- ✓ Obsah hliníku v normovaných slitinách se pohybuje v rozmezí 4-27 % Al
- ✓ Slitiny zinku se odlévají všemi běžnými slévárenskými metodami, výrazně však převažuje metoda tlakového lití
- ✓ Doporučuje se odlévat na strojích se studenou komorou, nichž je teplota forem nižší, aby nedocházelo k nalepování odlitků nebo reakci kovu s formou



rovnovážný diagram Zn-Al



# Použité zdroje

- ✓ BOTHE, Otakar. Strojírenská technologie I pro strojírenské učební obory: doporučený učební text pro střední odborná učiliště. Praha: Sobotáles, 1997. ISBN 80-85920-42-5.
- ✓ ROUČKA, Jaromír. Metalurgie neželezných slitin. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6.
- ✓ [online]. [cit. 2021-01-27]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/znaceni-nezeleznych-kovu/>
- ✓ [online]. [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=38353](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=38353)
- ✓ [online]. [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: [http://www.explat.cz/slevarenska\\_vyroba.html](http://www.explat.cz/slevarenska_vyroba.html)
- ✓ [online]. [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: <https://alucast.cz/cs/sluzby/presne-hlinikove-odlitky>
- ✓ [online]. [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: <https://ujp.cz/cs/niklove-slitiny/>
- ✓ [online]. [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: <https://www.alfe.cz/odlitky-ze-zinku/>
- ✓ [online]. [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: <https://wolften.pl/cs/titanove-odlitky/>
- ✓ [online]. [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: <https://www.almio.cz/med>
- ✓ [online]. [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: <https://www.strbskepleso.sk/obcanska-vybavenost/bankomaty-a-smenarny>
- ✓ [online]. [cit. 2021-8-30]. Dostupné z: <https://www.obi.cz/spojovaci-kovani/spojka-zadni-steny-skrine-rv-1-zinkovy-tlakovy-odlitek-poniklovany-4-ks/p/1215409>
- ✓ +OPORA VŠTE