

# SLÉVÁRENSKÉ SLITINY



# Rozdělení slévárenské výroby

## Základní rozdělení

- hutní výroba – výroba hutních polotovarů a materiálu
- slévárenská výroba – výroba odlitků

## Podle tavených slitin

- slévárny ocelí
- slévárny litin
- slévárny neželezných kovů – slitiny hliníku
  - slitiny zinku
  - slitiny mědi
  - slitiny hořčíku...

# Základní rozdělení



# Rozdělení slévárenských slitin

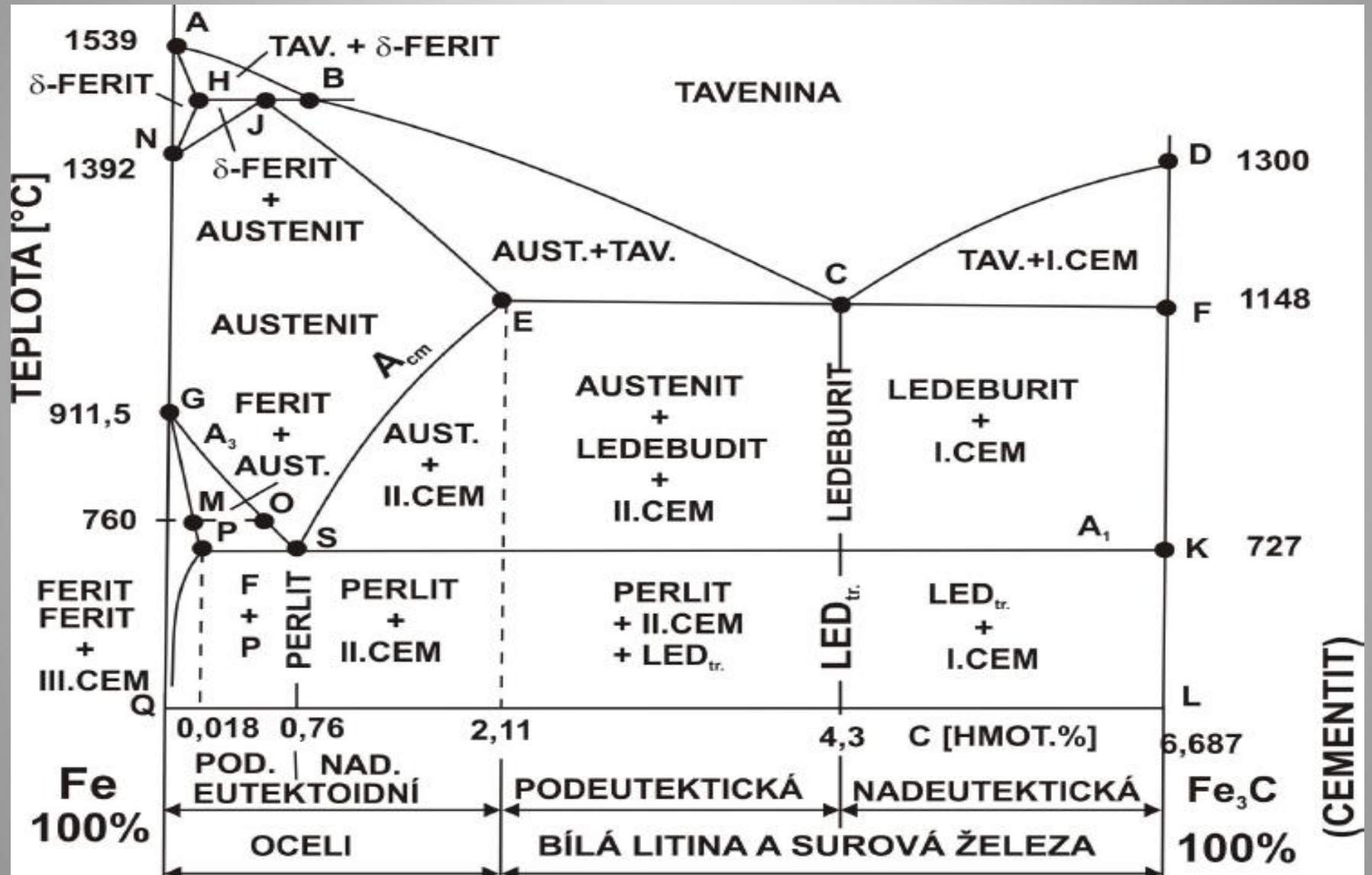
## **Slitiny železa**

- oceli – nelegované, nízkolegované, vysocelegované
- litiny – litina s lupínkovým, červíkovitým a kuličkovým grafitem

## **Neželezné kovy a slitiny**

- Slitiny hliníku – AlSi (siluminy), Al-Mg, Al-Cu
- Slitiny zinku – Zn-Al (zamac )
- Slitiny hočíku
- Slitiny mědi – bronz, mosaz, monel
- Slitiny niklu – Nimonic, Hastaloy, Incoloy, Inconel
- Slitiny titanu – Ti-6Al-4V

# Slitiny železa



# Rozdělení ocelí

## **Podle chemického složení**

- nelegované (náhrada v max. míře LKG), dobrá svařitelnost
- středně legované (nizkolegované)
- vysokolegované (Cr, Cr-Ni, Mn)

## **Rozdělení ocelí podle užití**

- konstrukční
- nástrojové

## **Podle specifických vlastností**

- korozivzdorné, otěruvzdorné

## **Podle výroby**

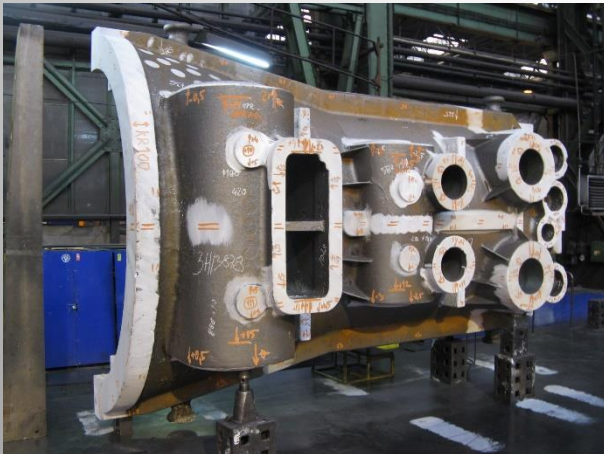
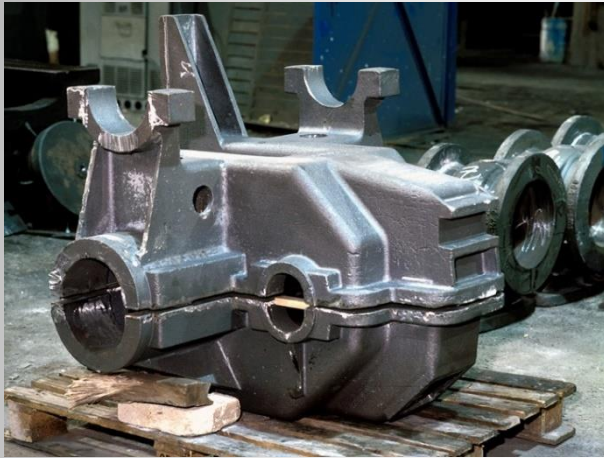
- oceli pro tváření
- oceli na odlitky

# Vlastnosti ocelí

- slitina železa a uhlíku ( $C < 2.14\%$ ), obvykle v rozmezí 0- 0,6%
- vyšší obsah uhlíku = vyšší pevnost, horší technologické vlastnosti (svařitelnost, svařitelnost atp.)
- po odlití v odlitku zpravidla nevhodná (Widmanstättenova struktura, karbidy či jiné fáze na hranicích zrn atp.) – nutno tepelně zpracovat
- zlepšení vlastností nelegovaných a nízkolegovaných ocelí žíháním (normalizace) nebo zušlechťováním
- odlévání oceli do pískových i kovových forem, staticky nebo odstředivě, přesné lití, lití do skořepin
- vysoká teplota tavení, licí teploty 1600 – 1680 °C
- použití: armatury, ventily, tělesa radiálních čerpadel, lopatky turbín, turbínové skříně, řemenice
- vlastnosti: - velké smrštění při tuhnutí a sklon k tvorbě trhlin - nutno nálitkovat, opatření proti vzniku trhlin

# Ocelové odlitky

těleso převodovky



jaderný reaktor

turbínová skříň

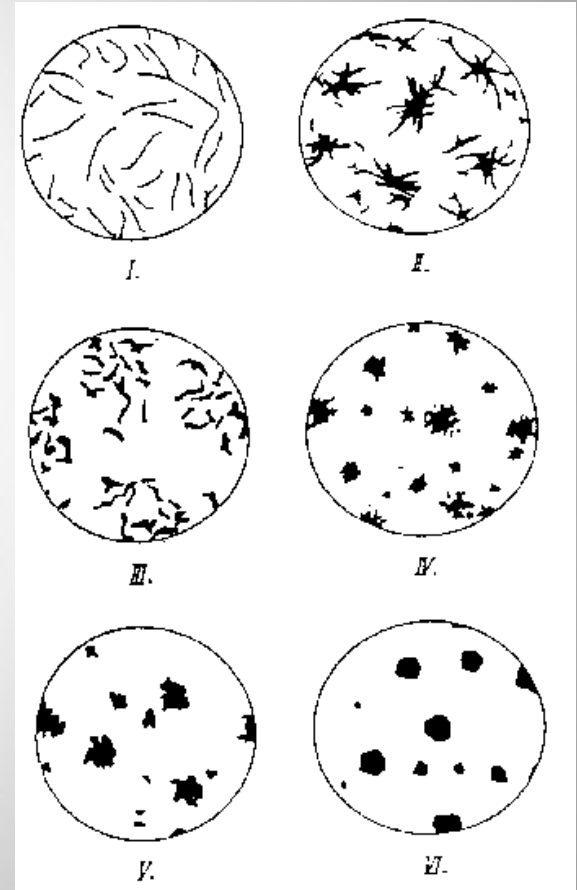


# Litiny

- Slitina železa, uhlíku a dalších prvků – uhlík ve formě grafitu – grafitické litiny, nebo karbidu (cementitu) – bílé litiny
- rozlišuje 4 druhy litin dle tvaru grafitu (2 degenerované formy grafitu)

DLE NORMY 6 TŘÍD

- I. Lupínkový grafit
- II. Pavoučkový grafit
- III. Červíkovitý grafit
- IV. Vločkový grafit
- V. Nedokonale kuličkový grafit
- VI. Pravidelně kuličkový grafit



# PŘEHLED SLÉV. SLITIN



ŠEDÁ LITINA  
(Fe-C)



≈ 70%

TVÁRNÁ LITINA  
(Fe-C)



≈ 10%

TEMPEROVANÁ LITINA  
(Fe-Fe<sub>3</sub>C)



1%

OCEL - nízký C  
vysoký C  
legované

15%

## Ne-Fe

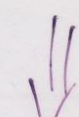
Al (Si) hliník

Cu - Zn mosaz

Mg - Sn bronz

Ti - elektron

4%



## ŠEDÁ LITINA (LLG)

ČSN	MPa
42 24 10	100
15	150
20	200
25	250
30	300

1. TVAR A ROZLOŽENÍ GRAFITU

2. ZAČL. KOVOVÁ HMOTA

- feritická
- perlitická
- feriticko-perlitická

$$S_C = \frac{\%C}{4,23 - \frac{1}{3}Si - \frac{1}{3}P}$$

## TVÁRNÁ LITINA (LVG)

ČSN	MPa
42 23 03	360
04	⋮
05	⋮
⋮	⋮
09	900

sferoidální grafit (kuličkový)

modifikaci Mg

tažnost !! až 8% (u austenitické)

## TEMPEROVANÁ LITINA

ČSN 42 25 ..

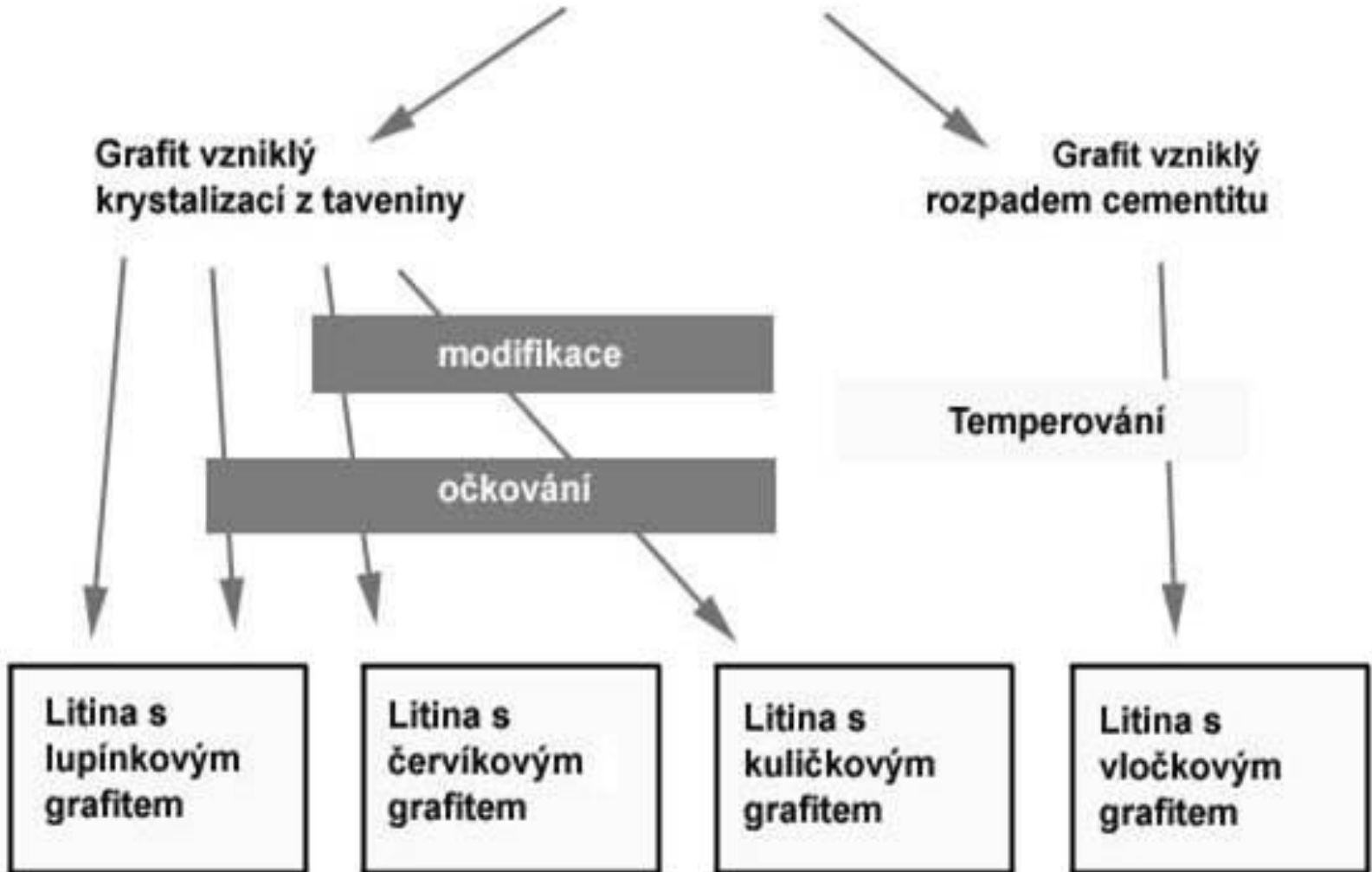
- odlévá se jako bílá ( $Fe_3C$ )

Temperování  $\left\{ \begin{array}{l} \text{bílý louh} \\ \text{černý louh} \\ \text{perlitický} \end{array} \right.$

MPa
300
÷ 550

$$\delta = 6 \div 12\%$$

# GRAFITICKÉ LITINY



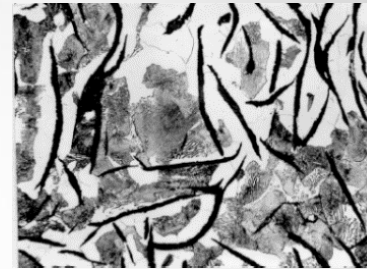
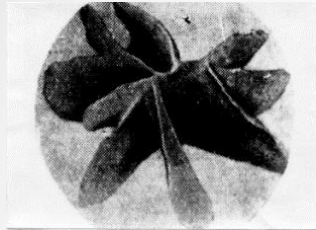
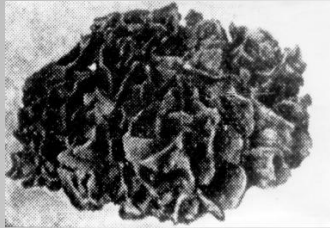
*Rozdělení grafitických litin*

# Litiny

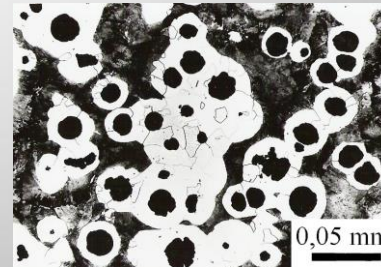
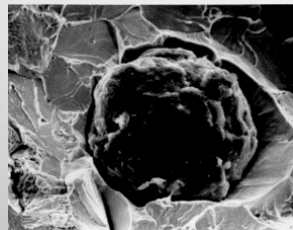
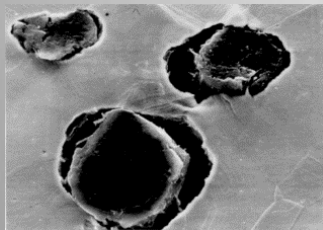
- Slitiny železa a uhlíku ( $C > 2,14\%$ )
- Výroba probíhá v kuplovnách
- Šedá, bílá, temperovaná, tvárná
- Odlévání převážně do pískových forem
- Vlastnosti: - nízká pevnost v tahu
  - nízká pružnost
  - + tlumení rázů a chvění
  - + dobrá zabíhavost (kromě temperované litiny)
  - + odolnost vůči korozi
  - + vysoká pevnost v tlaku
  - + samomazací schopnosti
  - + výborná opracovatelnost (tvárná litina)

# Grafitické litiny

Litina s lupínkovým grafitem (LLG, GJL, GG) – grafit vyloučen ve formě prostorových útvarů podobných hlávkovému salátu, na výbrusu má pak tvar lupínku (norma ČSN EN 1561), struktura ferit (F), perlit (P) nebo F+P

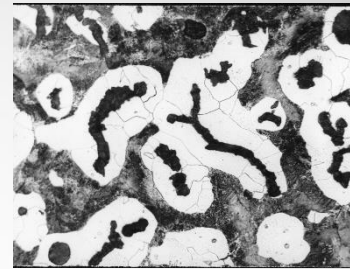
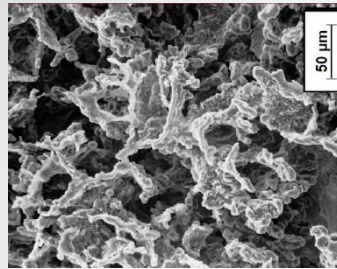


Litina s kuličkovým grafitem (LKG, GJS, GGG) – grafit ve tvaru pravidelných kuliček (norma ČSN EN 1563) – výroba modifikací LLG, struktura ferit (F), perlit (P) nebo F+P



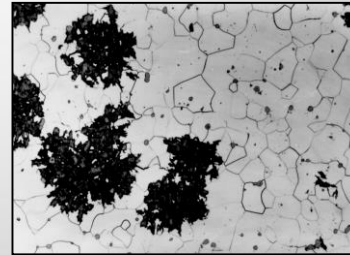
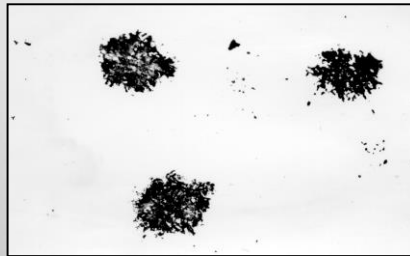
# Grafitické litiny

Litina s červíkovitým grafitem (LČG,GJV,GGV) – grafit vyloučen ve formě červíků. Tvar podobný lupínkům, má však zakulacené konce a větší poměr tloušťky k jeho délce, struktura ferit (F), perlit (P) nebo F+P



Temperovaná litina (GJM) – grafit ve formě vloček, struktura F, P, F+P

- s černým lomem GJMB – vzniká žíháním v redukční prostředí
- s bílým lomem GJMW - vzniká žíháním v oxidačním prostředí



# Litina s lupínkovým grafitem (šedá)

- velmi dobrá zabíhavost,
- malé smrštění (nálitkování)
- velký útlum vibrací, vysoká tepelná vodivost (46 až 65 W/m.K)
- nízká cena

Pevnost min. 150 – 350 MPa, tažnost pod 1% (neměří se)

Nositelem pevnosti perlit – vyšší pevnost = vyšší podíl perlitu

Čím nižší stupeň eutektičnosti – tím vyšší pevnost horší slévárenské vlastnosti (větší stahování, horší zabíhavost)

Stupeň eutektičnosti

$S_E = 1$  eutektická litina

$S_E > 1$  nadeutektická litina

$S_E < 1$  podeutektická litina

$$S_E = \frac{C}{4,25 - 0,3 \cdot (Si + P)}$$



# Litina s kuličkovým grafitem (tvárná)

- zabíhavost dobrá – horší než LLG
- malé smrštění podobně jako LLG
- cca o 40% nižší tepelná vodivost než LLG
- vyšší korozní **odolnost než LLG**

pevnost min. 350 – 800 MPa, tažnost 1% (100%P, Rm= 800MPa) až 25 (100 % F, Rm = 350MPa)

nositelem pevnosti perlit – vyšší pevnost = vyšší podíl perlitu,  
nositelem tažnosti je ferit

čím dokonaleji je vyloučený kuličkový grafit, tím vyšší tažnost  
kuličkového grafitu se dosahuje modifikací litiny Mg  
složení GJS přibližně eutektické

# Litina s červíkovitým grafitem (vermikulární litina)

- zatím není platná ČSN EN, dle DIN GGK, dle ASTM CGI;
- litina s červíkovitým grafitem je moderní materiál, výroba ve světě roste, použití v automobilovém průmyslu – bloky motorů;
- grafit - červíkovité útvary, vůči lupínkům kratší a tlustší, na koncích zakulacené. Červíkovité útvary působí také menším vrubovým účinkem na kovovou matici jak lupínkový;
- litina s červíkovitým grafitem nazývaná též jako litina vermikulární je z hlediska mechanických, fyzikálních a slévárenských vlastností; přechodovým typem mezi litinou s lupínkovým a kuličkovým grafitem;
- slévárenská technologie se blíží litinám s lupínkovým grafitem a mechanické vlastnosti litinám s kuličkovým grafitem.

Pozn.: podobné mechanické vlastnosti jako LČG má i temperovaná litina(TL), žíhání TL – drahá výroba – je nahrazena LČG a LKG

# Litinové odlitky - příklady

Řemenové kolo

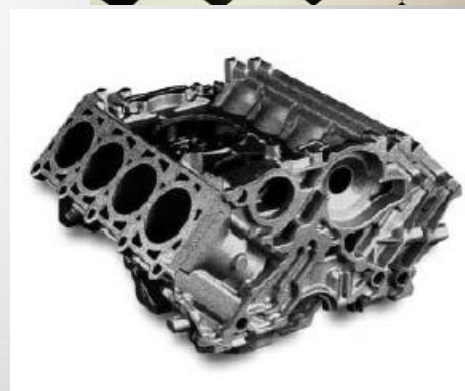


Blok motoru Audi  
2.7L, 3.0 L V6  
diesel [DAWSON, S.  
Practical Iron. *Sinter  
Cast* [online]]

potrubí výfuku



Kliková hřídel

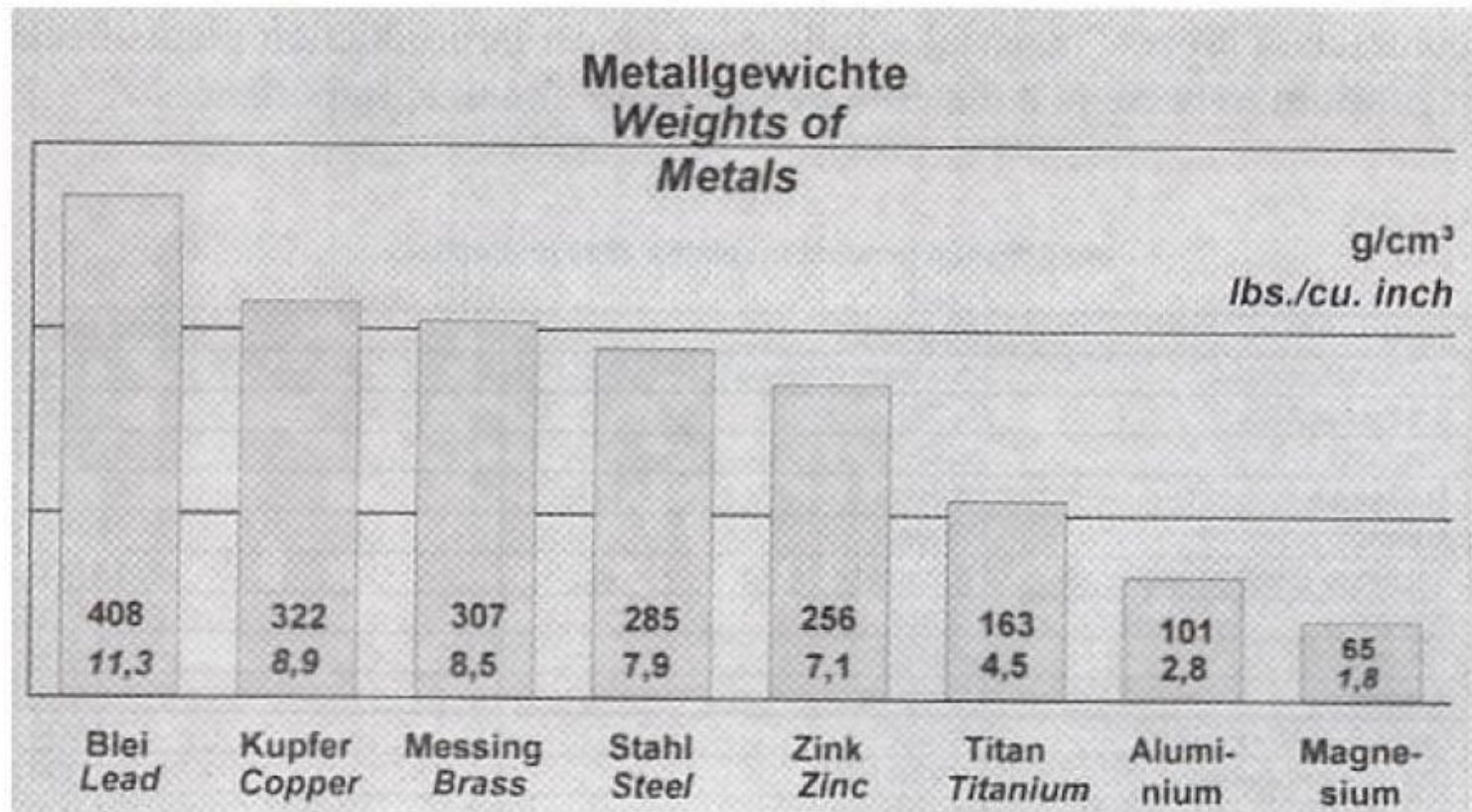


Blok motoru 12L pro nákladní  
vozy a lokomotivy [DAWSON, S.  
Practical Iron. *Sinter  
Cast* [online]]

Vačková hřídel



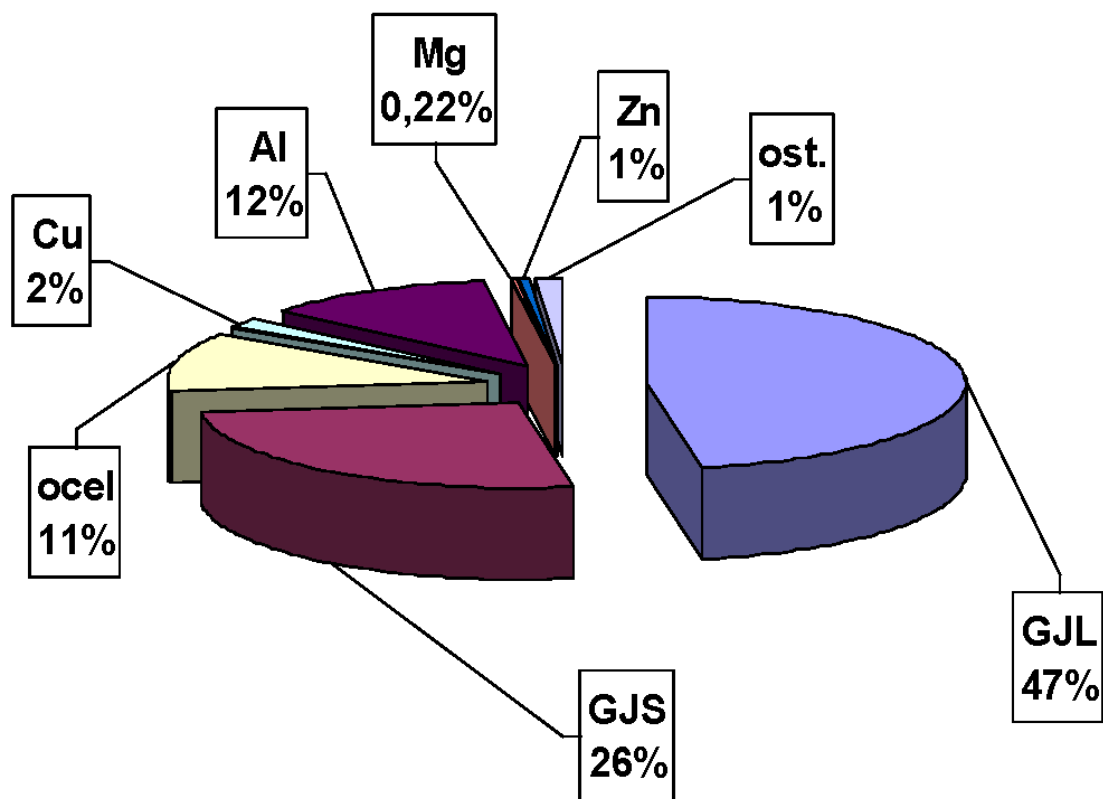
# Poměr hustota/pevnost





# **Slévárství neželezných kovů**

## Zastoupení neželezných kovů v % na světové výrobě odlitků (91,48 mil. t r. 2010)



# Slitiny hliníku

- Slitiny hliníku a jiného prvku (Si, Cu, Mg, Mn, Zn)
- Vlastnosti: + odolnost vůči korozi, pevnost (poměr  $R_{p0,2}/R_m$ ), nízká hustota, nízká teplota tavení, dobrá slévatelnost, kvalitní povrch odlitku

Vlastnosti: - nízká houževnatost, oxidace taveniny během odlévání, Al – Mg špatná slévatelnost a oxidace Mg, Al – Zn – Mg náchylnost k tvorbě trhlin

- Použití: pro tvarově složité i tenkostěnné odlitky
- Odlévání do pískových forem, kokilové i tlakové lití
- Odlitky: tělesa startérů a alternátorů, bloky motorů, chladiče elektroinstalace, písty, ojnice, litá kola automobilů

# Slitiny hliníku

**Hlavní přísadové prvky** vymezují typ slitiny. Hlavními přísadovými prvky ve slévárenských slitinách hliníku jsou Si, Cu a Mg podle nichž jsou základní typy obvykle nazývány:

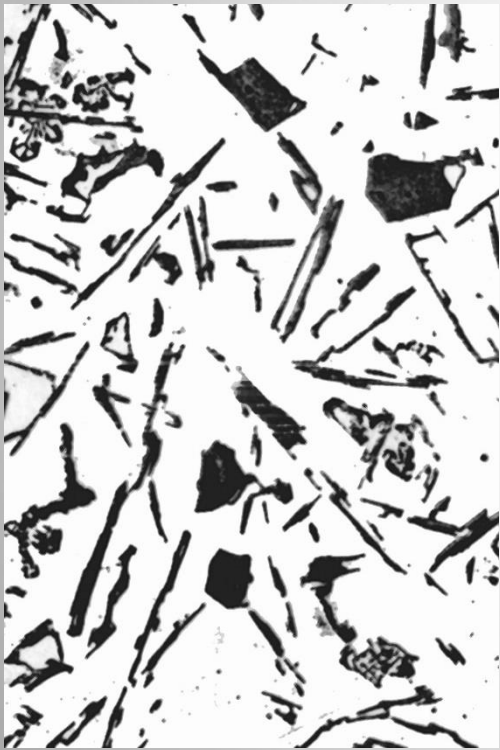
- slitiny Al – Si - siluminy
- slitiny Al – Cu - duralaluminium
- slitiny Al – Mg - hydronalium

**Vedlejší přísadové prvky** příznivě ovlivňují některé vlastnosti daného typu slitiny – např. zvyšují mechanické vlastnosti, zlepšují obrobitelnost, ovlivňují strukturu kovu, jsou důležité z hlediska tepelného zpracování, nebo kompenzují nepříznivý účinek některých doprovodných prvků.

---



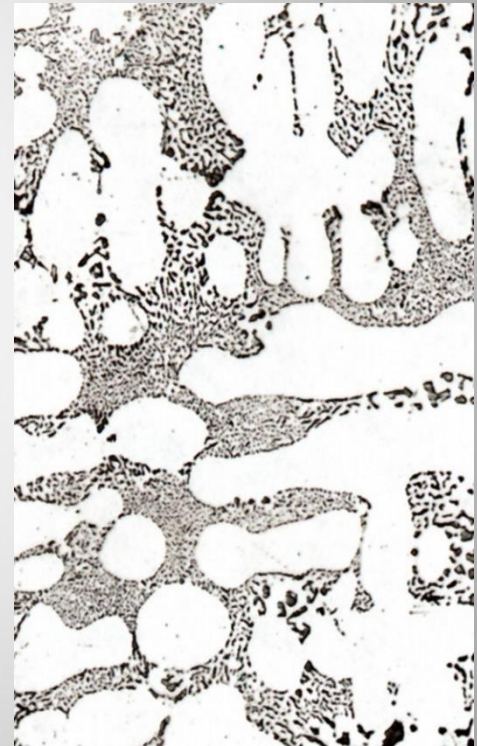
# Struktura různých druhů eutektika slitiny Al-Si



zrnité



lamelární



modifikované

# Al odlitky - příklady



Píst



Blok spalovacího motoru



Lité kolo

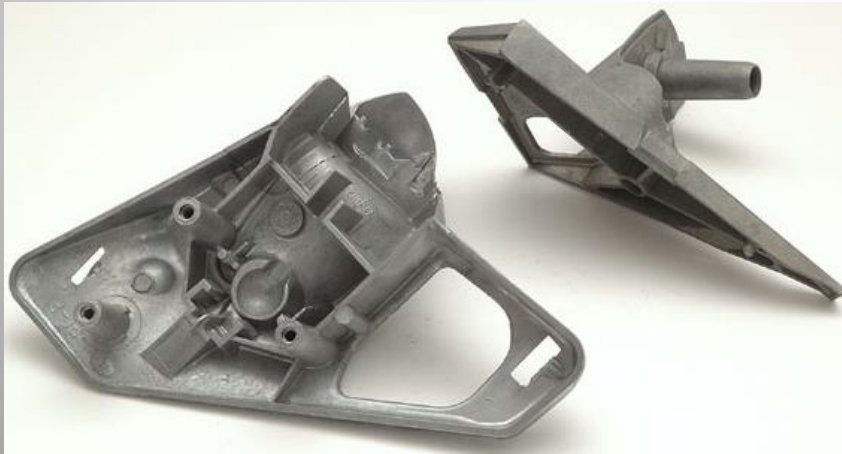


Startér

# Slitiny zinku

- Zn – Cu, Zn – Al, Zn – Mg
- Výborná slévatelnost, nízká teplota tavení, odolnost vůči atmosférické korozi a slabým zásadám, těsnost odlitků
- Odlévání vysokotlakým litím, odstředivé odlévání

Tělo zpětného zrcátka



Směšovač plynů



# Slitiny mědi

Bronzy: slitiny mědi a nejčastěji cínu, hliníku nebo olova

Hustota asi  $8,6 \text{ kg/dm}^3$ , teplota tání asi  $1020^\circ\text{C} - 1050^\circ\text{C}$

Vysoká tepelná vodivost, odolnost vůči korozi, dobré kluzné vlastnosti

Pro odlévání oběžných kol čerpadel, armatur, šnekových kol, zvonů, kluzných ložisek, umělecké předměty

Mosaz: slitina mědi a zinku

Hustota  $8,4$  až  $8,7 \text{ kg/dm}^3$ , teplota tání  $850$  až  $920^\circ\text{C}$

Dobrá elektrická a tepelná vodivost, křehkost, dobrá svařitelnost, je nemagnetická

Pro odlévání ložisek, pouzder ložisek, armatur, částí čerpadel a elektrických přístrojů, hudební nástroje,

# Cu odlitky - příklady



Armatury



Šnekové kolo



Ventil



Lesní roh

# Slitiny hořčíku

- Mg + Al, Mn, Zn, Si
- Mg – Li: velmi lehká slitina, nízká hustota, nahrazování plastů
- Tlakové lití v ochranných atmosférách, odlévání ve vakuu
- Odlévání tvarově komplikovaných a tenkostěnných odlitků
- Vlastnosti: + výborná zabíhavost
  - pokles pevnosti za vysokých teplot
    - odolnost vůči creepu
    - reaktivnost taveniny na vzduchu, nízká korozní odlonost
- Výrobky: karoserie automobilů, součásti pohonu, rámy sedadel, kryty na elektroniku, palubní desky, těla přístrojů, převodové skříně, kola aut a motorek

# Mg odlitky - příklady



Tělo fotoaparátu

Notebook



Lité kolo



# Slitiny niklu

- Slitiny Ni s Cr a Mo (Hastalloy, Nimonic), komplexní Cr, Mo, V, Ta, Ti, Al, Zr, W (Inconel, Incoloy)
- Pro lití ve vakuu i na vzduchu, lití metodou vytavitelného modelu
- Vlastnosti: + vysoká pevnost
  - + odolnost vůči vysokým teplotám – žárovevné slitiny
  - + odolnost vůči nauhličení, odolnost vůči korozi
  - + odolnost vůči kyselině sírové
  - nikl je toxický, omezování výroby
- Písty motorů, lopatky turbín a kompresorů, oběžná kola turbodmychadel, palivová čerpadla, armatury



# Ni odlitky - příklady



Oběžné kolo  
turbodmychadla



Palivové  
čerpadlo

Rozváděcí kolo  
turbíny



Armatury



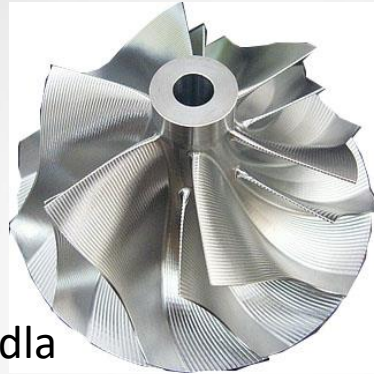
# Slitiny titanu

- Obsahují titan a nějaké další prvky, nejrozšířenější Ti – Al (TiAl6V4)
- Výhody: velmi vysoká pevnost a tuhost i při vysokých teplotách, poměr pevnost/hustota, odolnost vůči korozi, odolávají vysokým teplotám, chemická odolnost
- Nevýhody: vysoké náklady na výrobu, vznik trhlin při tuhnutí
- Odlévání nejčastěji do keramických skořepinových forem
- Využití v kosmonautice, v leteckém i automobilovém průmyslu a v průmyslu zbrojním
- Výrobky: satelity, družice, umělé kloubní a zubní náhražky, ventily, písty, ojnice, žárové části turbín, chemické reaktory, oběžná kola turbodmychadel

# Ti odlitky - příklady



Ventily



Oběžné kolo  
turbodmychadla



Umělý  
kloub



SR – 71  
„Blackbird“



Píst a ojnice

# Tavení slévárenských slitin

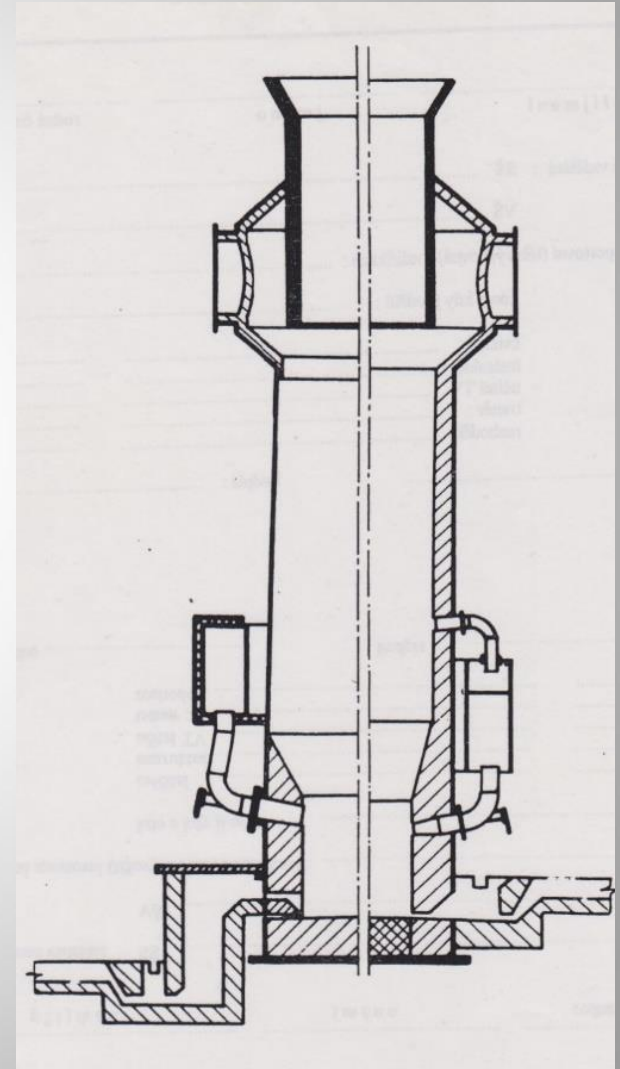
# Tavení litin

## Tavící agregáty

- Kupolové pece (kuplovný)
- Elektrické indukční pece
- Rotační pece

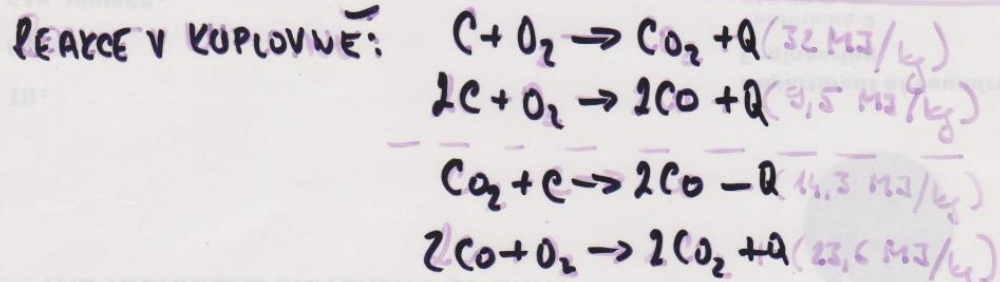
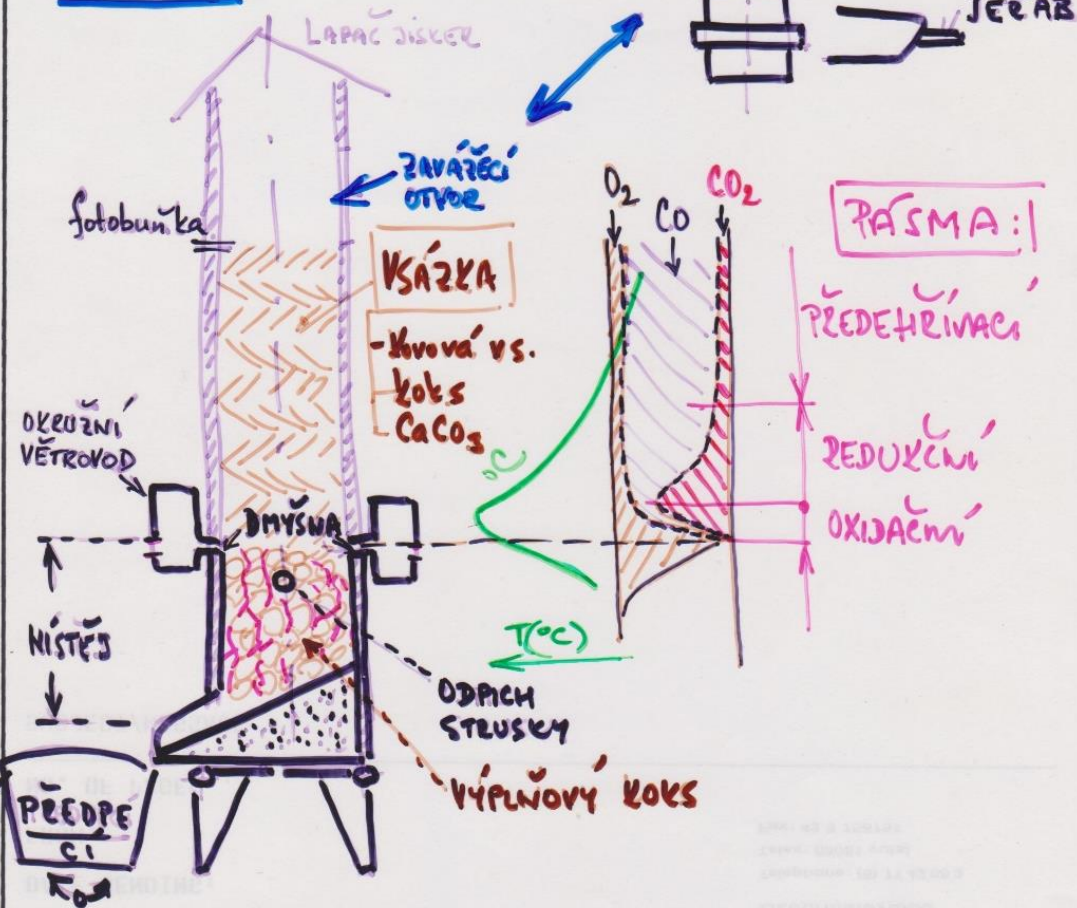
## Vsázkové suroviny

- Surové železo
- Vratný materiál
- Ocelový odpad
- Litinový odpad
- Legující přísady (nauhličovadla, FeSi, FeMn)
- Očkovadla, modifikátory



# TAVENÍ ŠEDÉ LITINY

## KUPLOVNA



SNÍŽENÍ OBSAHU TEUKŮ — PĚPAL  
 ZKŮŠENÍ — " — PĚPAL

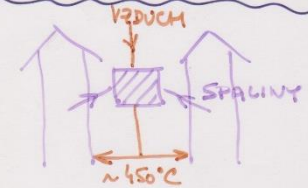
U C ZÁLEŽÍ NA OBSAHU C VE VSÁZCE — Cvs

$$C = 1,8 + 0,5 C_{vs}$$

- Si ↓ 10 ÷ 30% PĚPAL
- Mn ↓ 15 ÷ 40% —
- S ↑ většinou připal → z koksů

### INTENZIFIKACE CHODU KUPLOVNY

1. Foukání horkého vzduchu (HORKOVZDUŠNÁ KUPLOVNA)



- 2. Použití O2
- 3. Práškový koks + O2

# Elektrické obloukové pece

Možnost rafinace kovu – snížení obsahu P, S, snížení obsahu plynů

Tavbu na zásadité obloukové peci lze rozdělit:

- na údobí sázení,
- tavení,
- oxidační údobí (odfosfoření, oduhličení, odplynění)
- redukční údobí (odsíření, dezoxidace)

Nejdelší časové údobí je vlastní tavení - cca 60-90min., doba oxidace cca 20min a fáze dohotovení (odsíření, dolegování cca 30min. (přibližně platí pro běžnou nelegovanou ocel)

# Tavení ocelí

Elektrické obloukové pece- tavení elektrickým obloukem

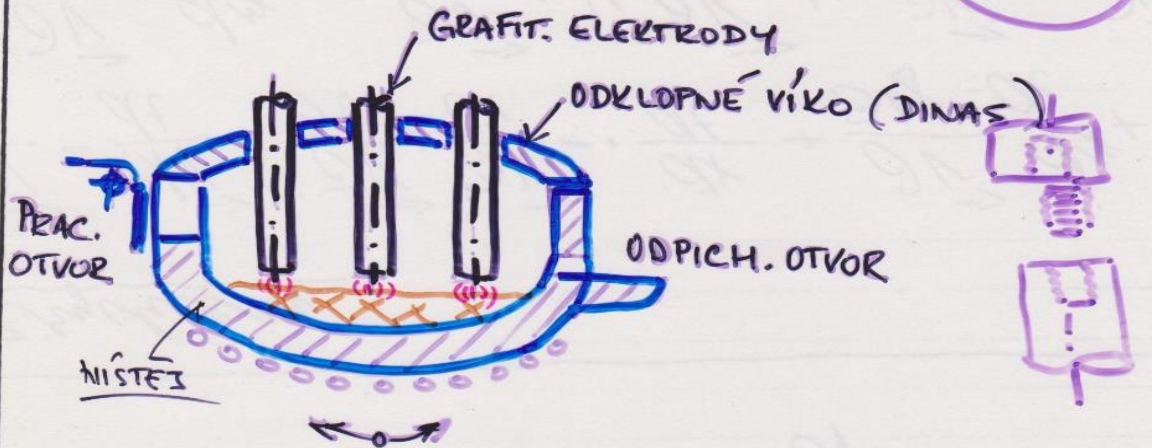
Elektrické indukční pece – tavení elektromagnetická indukce





# TAVENÍ OCELI

## EL. OBLOUKOVÁ PEC



### PRŮBĚH TAVBY V ZÁSADITĚ Peci

↓  
VYZDÍVKA NÍSTĚJE

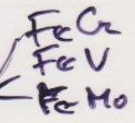
1. ZAVEZENÍ Peci (sázecí koše)
2. NATAVENÍ VSÁŽKY
3. OXIDAČNÍ PERIODA - účel - odstranit nežádoucí prvky
4. REDUKČNÍ PERIODA - účel - odstranit nadbytečný  $O_2$

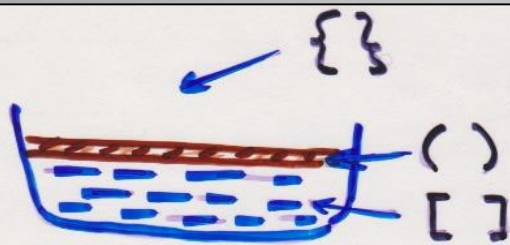


### VSÁŽKA

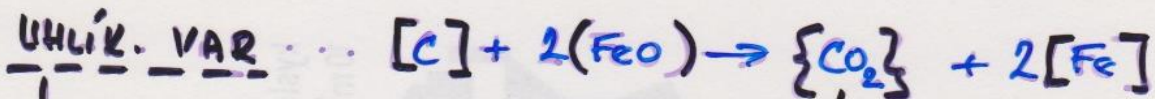
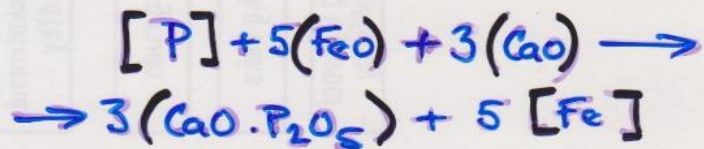
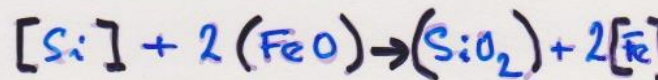
- A) KOVOVÁ - ocel. šrot, třísky, vrat. mat.
- B) STEVSKOTV. PĚŠ. -  $CaO$
- C) OXID. PĚŠ. - okuje, žel. rudy
- D) DEPOXID. PĚŠ. - schopnost vázat  $O_2$

- E) LEGURY
  - feroslitiny
  - čisté kovy Ni, Cu





### (A) OXID. PERIODA:



↓  
KONEC OXID. ÚDOBI

↑ plyn ↑

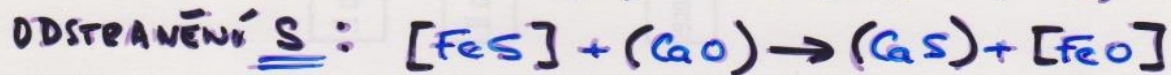
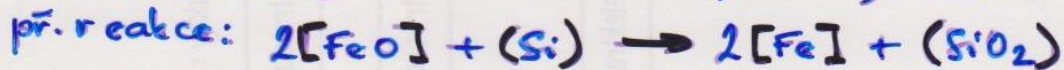
→ promíchání lázně  
→ snížení obsahu  $H_2, N_2$



### (B) REDUKČNÍ PERIODA

DESOXIDACE ← DIFUZNÍ (redukční struska)  
HLUBINNÁ (Al) - 1kg Al na 1t oceli  
KOMBINACE

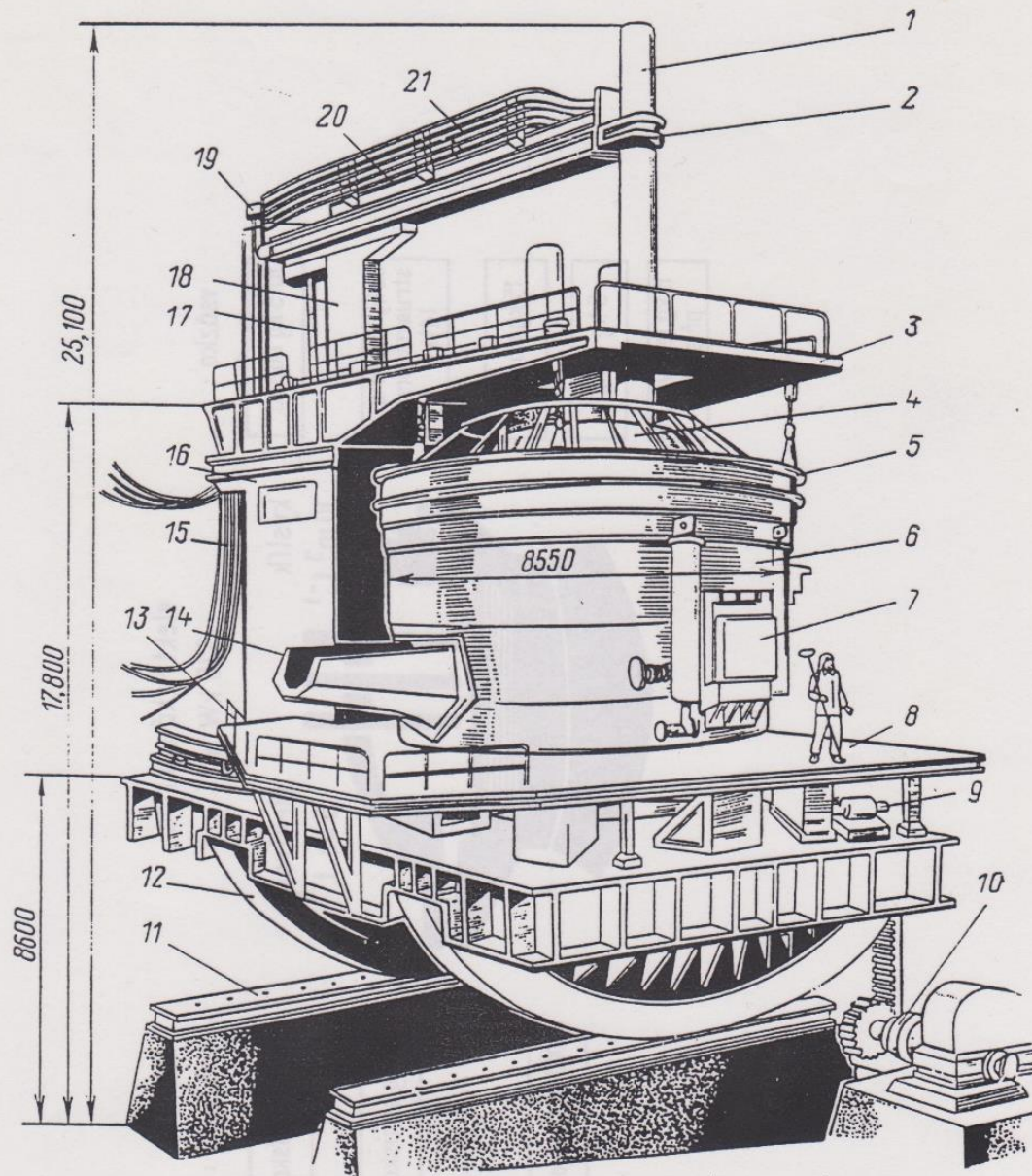
REDUKČNÍ STRUSKA : DŘEVĚNÉ UHLÍ, Fe Mn, Fe Si ...



# Elektrické obloukové pece

Pec ČKD, 8 tun (OTO 5), SCB Foundry





# Elektrické indukční pece

Pouze tavení a dolegování – rafinace NE!! (velmi omezená)

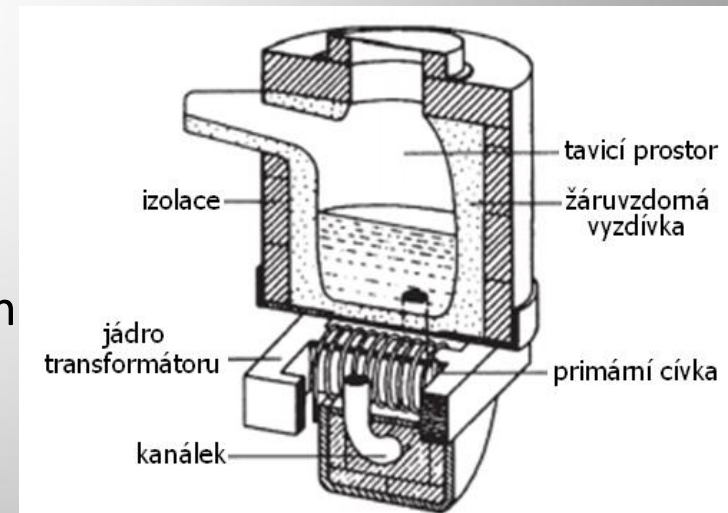
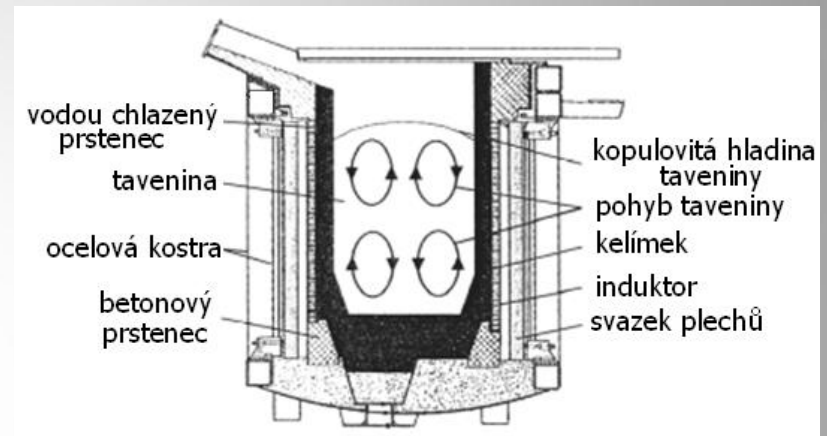
Rozdělení elektrických indukčních pecí

Podle konstrukce:     - IP kanálkové  
                              - IP kelímkové

Podle hmotnosti vsázky:

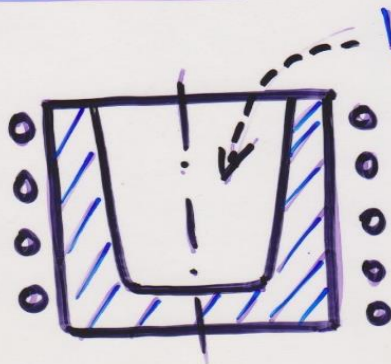
Od kg po  $X \cdot 10^1$  t

Podle frekvence:     - vysokofrekvenční,  
                              - středofrekvenční,  
                              - na síťovou frekvenci



## INDUKČNÍ PECE:

Teplota: indukci silného mag. pole — tzv. bezjádrové ind. pece



VSÁZKA: vířivé proudy —  
— ohřev + natavení  
vsázky

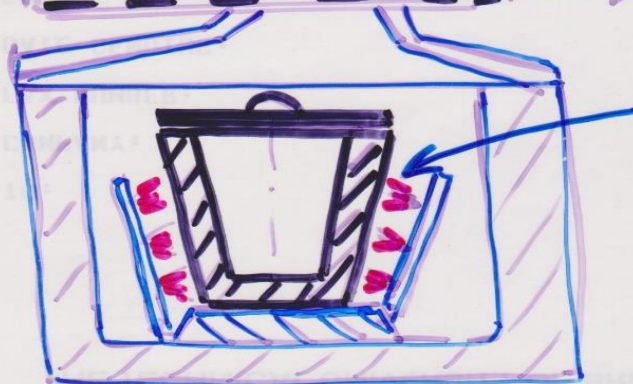
DLE FREKVENCE:

NF — 600 Hz (1000 : 2000 kg)  
SF — 1000 Hz (10 kg)  
VF

⊖ "STUDENÁ" STRUŠKA → omezené metalurgické možnosti → HLAVNĚ PŘETAUBY

↳ tj. bez zásadlivých  
změny chem. složení

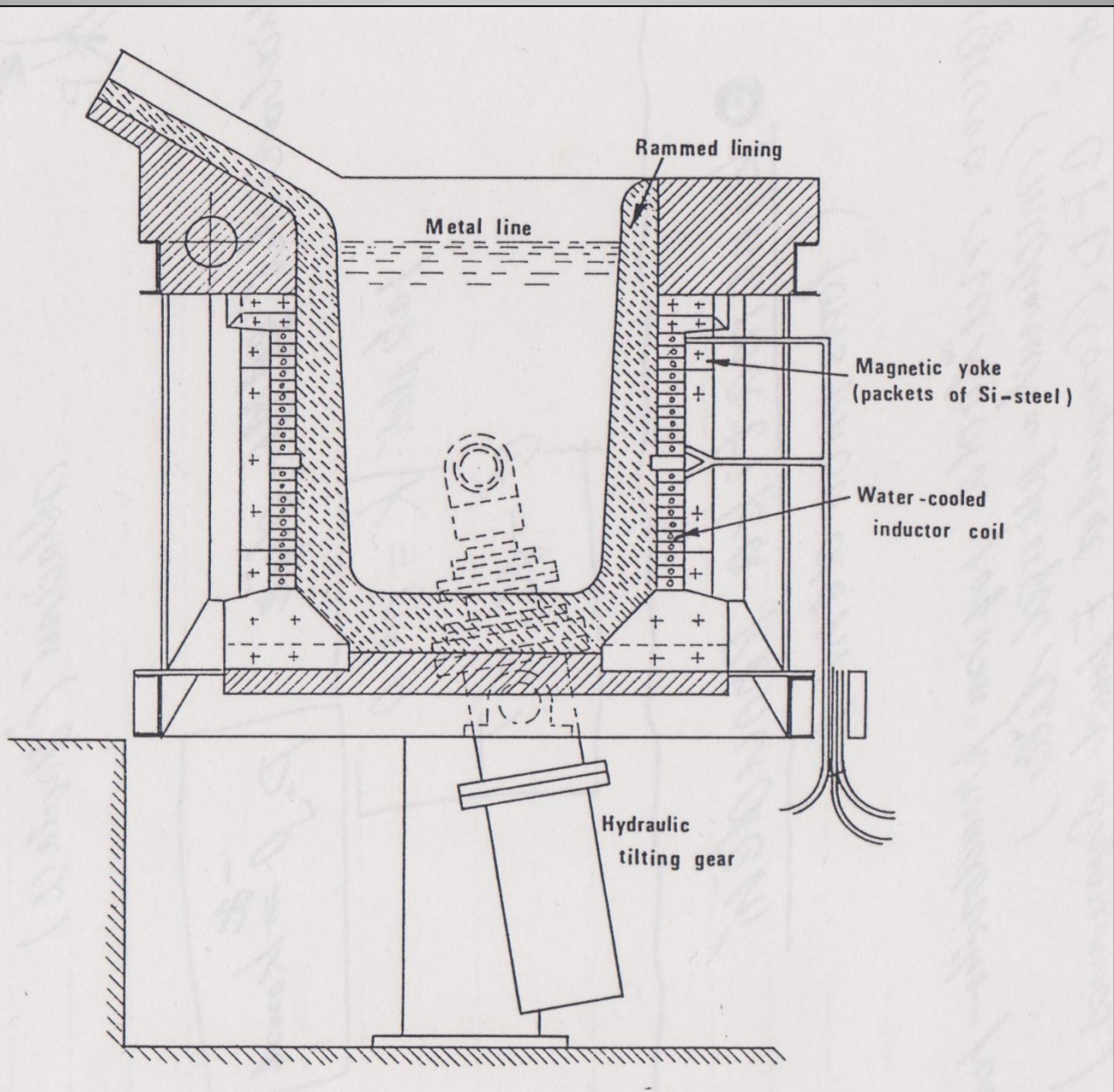
## KELÍMKOVÉ PECE



plyn  
nafta  
olej

HLAVNĚ PRO NEŽEL SLITINY

- slitiny Al
- slitiny Cu
- bronz (Cu Sn)
- mosaz (Cu Zn)



# Tavení neželezných kovů a slitin

eklektické a plynové pece

elektrické odporové a indukční pece (kelímkové pece)

plynové pece – kelímkové, komorové, šachtové

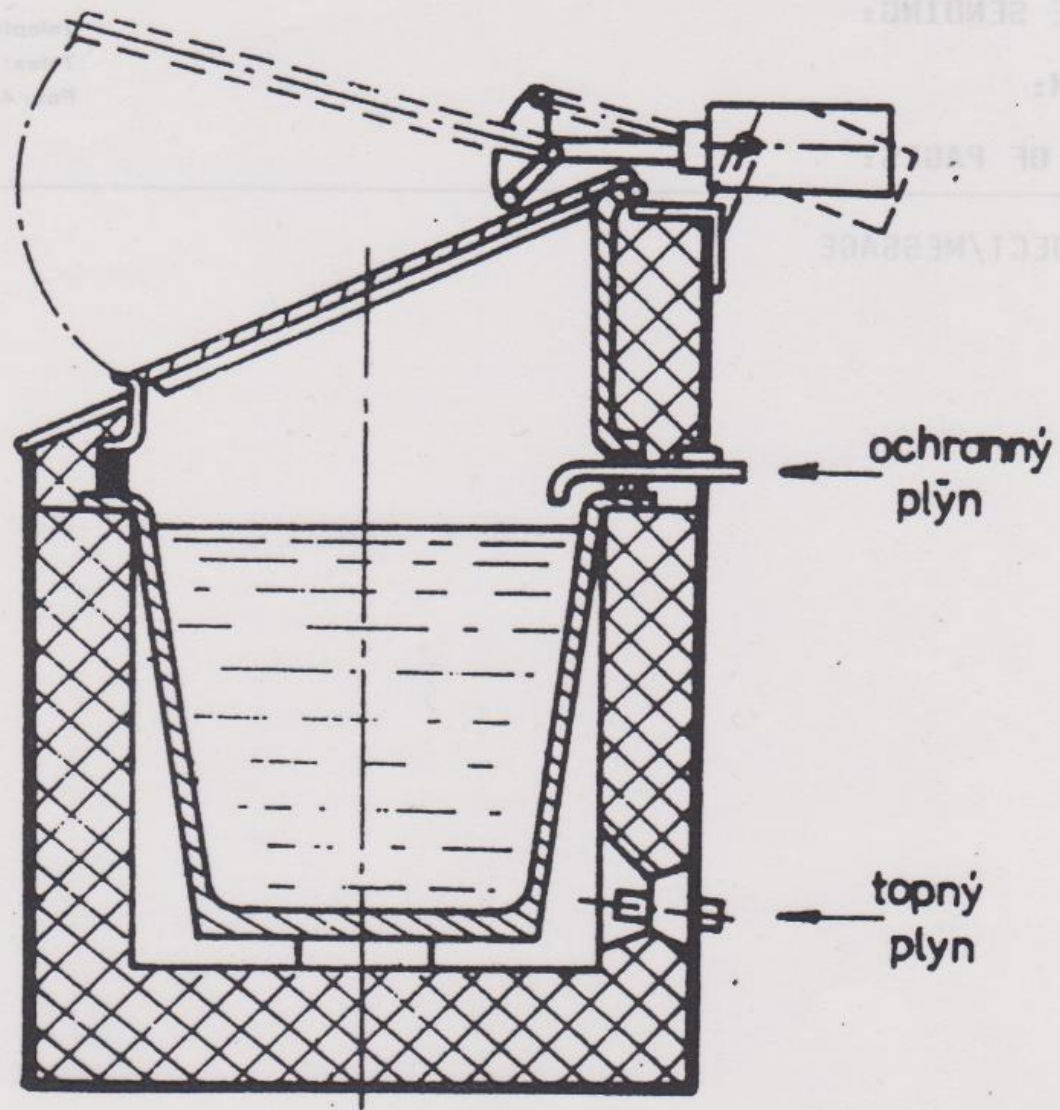


tavící pece



pece s volným kelímkem





# Tavení neželezných kovů a slitin

eklektické a plynové pece

elektrické odporové a indukční pece (kelímkové pece)

plynové pece – kelímkové, komorové, šachtové

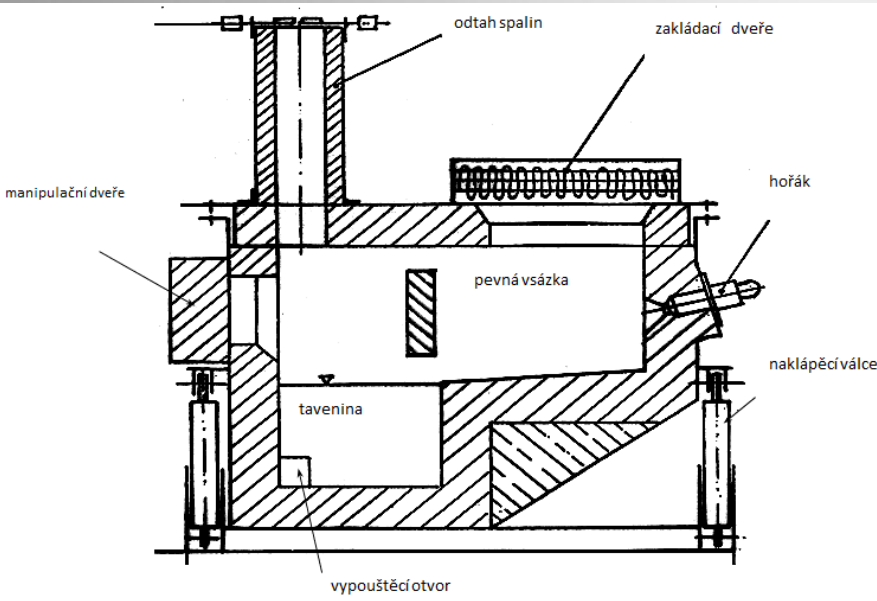


tavicí pece



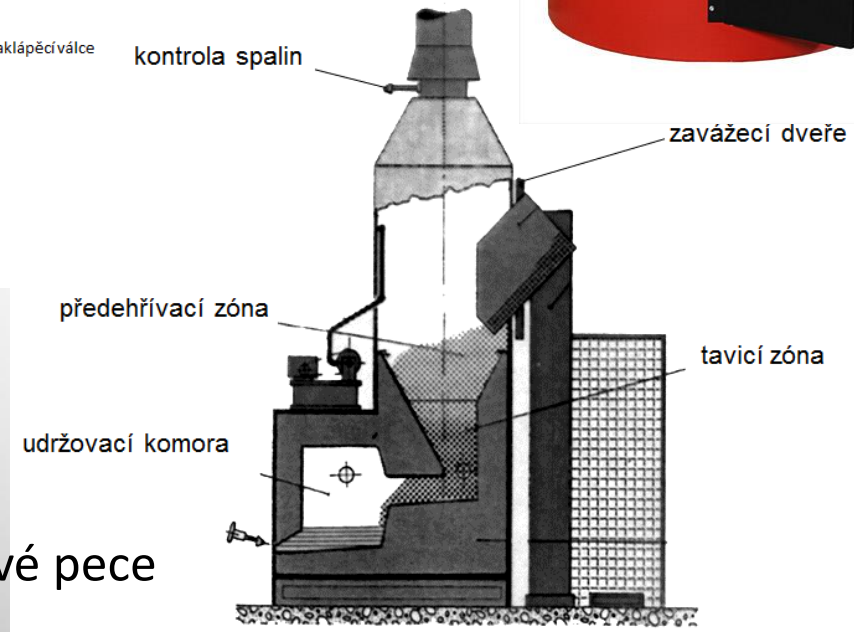
pece s volným kelímkem

# Plynové tavící pece



komorové pece

kelímkové pece



šachtové pece

# Vakuové elektrické indukční pece - slitiny na bázi Ni, Ti, Fe

