

## Nové možnosti rozvoje vzdělávání na Technické univerzitě v Liberci

Specifický cíl A3: Tvorba nových profesně zaměřených studijních programů

NPO\_TUL\_MSMT-16598/2022



### Předmět: Nauka o materiálu

### Přednáška č. 6: Keramika - tradiční keramické materiály a skla



doc. Ing. Pavlína Hájková, Ph.D.

# Cíl přednášky

Cílem přednášky je seznámit studenty se specifiky keramických materiálů a jejich rozdělením. Podrobně budou probrány tradiční keramické materiály, suroviny a postupy jejich přípravy. Ve druhé části přednášky se studenti seznámí s různými skly a jejich výrobou.

# Technická keramika a její aplikace

1. Úvod
2. Rozdělení keramických materiálů
3. Vlastnosti keramiky
4. Tradiční keramické materiály
5. Skla

# Úvod – keramika doma



# Úvod – keramika „ve strojírenství i pro zábavu“



# Úvod – skla



# Keramické materiály

## Mnoho definic keramiky:

1. Materiály skládající se z nekovových anorganických látek, kterými jsou obvykle oxidy, ale také nitridy, karbidy, nebo silicidy, a obsahují nejméně 30 % krystalických fází (Deutsche Keramische Gesellschaft)

**Definice zahrnuje:** geopolymery a stavební hmoty

**nezahrnuje:** ~~skla ani smalty~~

2. Všechny anorganické nekovové materiály, které jsou připravované tepelným zpracováním. (American Ceramic Society)

**Definice zahrnuje:** skla, smalty, cementy, sádro

**nezahrnuje:** ~~geopolymery, stavební hmoty jako beton, maltu~~

# Keramické materiály

3. Keramika je definována jako **anorganické nekovové nebo uhlíkové těleso uměle vyrobené** (nebo vytvarované pomocí vysokoteplotního procesu). Za keramiku se rovněž považují **kompozity složené zcela nebo z podstatné části z výše definovaných materiálů**.

[PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, c1999. ISBN 80-720-4130-4]

**Definice také zahrnuje i: monokrystaly, sklo, uhlíkové produkty, geopolymery, cementy, beton**

## Typy keramických materiálů:

- **Tradiční keramika**
- Pokročilá resp. Technická keramika
- **Skla**, Geopolymery a Stavební materiály.



# Keramické materiály – anorganické nekovové materiály

Převážně z anorganických látek a sloučenin

Nemají kovové vazby  
(mají iontové nebo kovalentní)

Tradiční  
Keramika

Pokročilá  
keramika  
(konstrukční)

Skla

Geopolymery

Stavební  
materiály

Geopolymerní vazby  
pojivo + plnivo

Chemické vazby  
pojivo + plnivo

Krystalická  
Struktura  
(převážně)

Krystalická  
Struktura  
(převážně)

Amorfní  
Struktura  
(převážně)

Krystalická  
Struktura

Krystalická  
Struktura

Porézní  
(až 10-15%)

Nízkoporézní  
nebo  
neporézní

Neporézní

Porézní

Porézní

Z přírodních  
jílových  
surovin

Ze syntetických  
surovin

Z přírodních  
surovin

Z přírodních i  
syntetických  
surovin

Z přírodních i  
syntetických  
surovin

# Křehké materiály – anorganické nekovové materiály

Převážně z anorganických látek a sloučenin

Tradiční  
Keramika

**Oxidická**  
( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

**základ – přírodní jílové  
suroviny**

1. Sanitární keramika
2. Obklady
3. Elektro keramika
4. Užitková keramika –

Stolní, Porcelán, Kamenina, Hrnčířská

1. Žáruvzdorná keramika

Skla

**Procesy za  
zvýšené teploty**

**Oxidická**

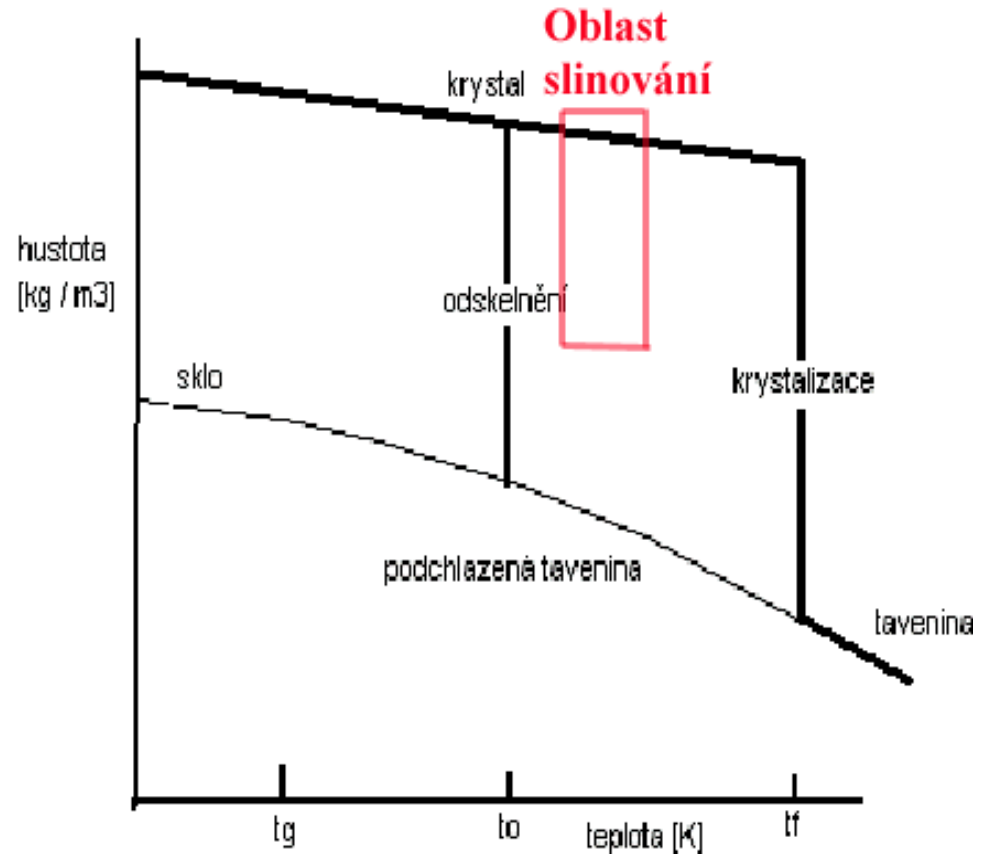
- Běžná skla
- Technická skla
- Okrasná skla
- Glazura, smalt
- Skleněná vlákna
- Sklokeramika

**Kovová**

- Kovová skla

# Děje při změně teploty

- Výroba z taveniny pomalým ochlazováním – krystalizace - kovy
- Výroba z taveniny rychlým ochlazením až pod teplotu zeskelnění – skla
- Výroba bez roztavení, jen ohřátím do oblasti pod teplotu tání – slinování - keramika



# **Keramické materiály (beze skel)**

# Hlavní rozdíly keramických oproti kovovým materiálům

## Keramika

Polykrystalické **!! PÓRY !!**

Iontová nebo kovalentní vazba

Křehké

Vysoká teplotní odolnost

Pevnost v tlaku nejvyšší, v tahu nejnižší, rychlost zatěžování nehraje roli

**Není plastická deformace** – vazby, pórovitost - rozjede se trhlinka

Vysoká tvrdost – až 2000 HV

Malá odolnost rázům – mechanickým i tepelným

Vysoká odolnost tečení (creep)

Nižší objemová hmotnost

## Kovy

Polykrystalické, hranice zrn, **neporézní**

Kovová vazba

Houževnaté

Omezená teplotní odolnost

Modul pružnosti je stejný v tahu tlaku a tahu ohybem, rychlost zatěžování může hrát roli

**Plastická deformace** – díky pohybu dislokací umožněným kovovou vazbou

Tvrdost až 1000 HV

Vyšší objemová hmotnost

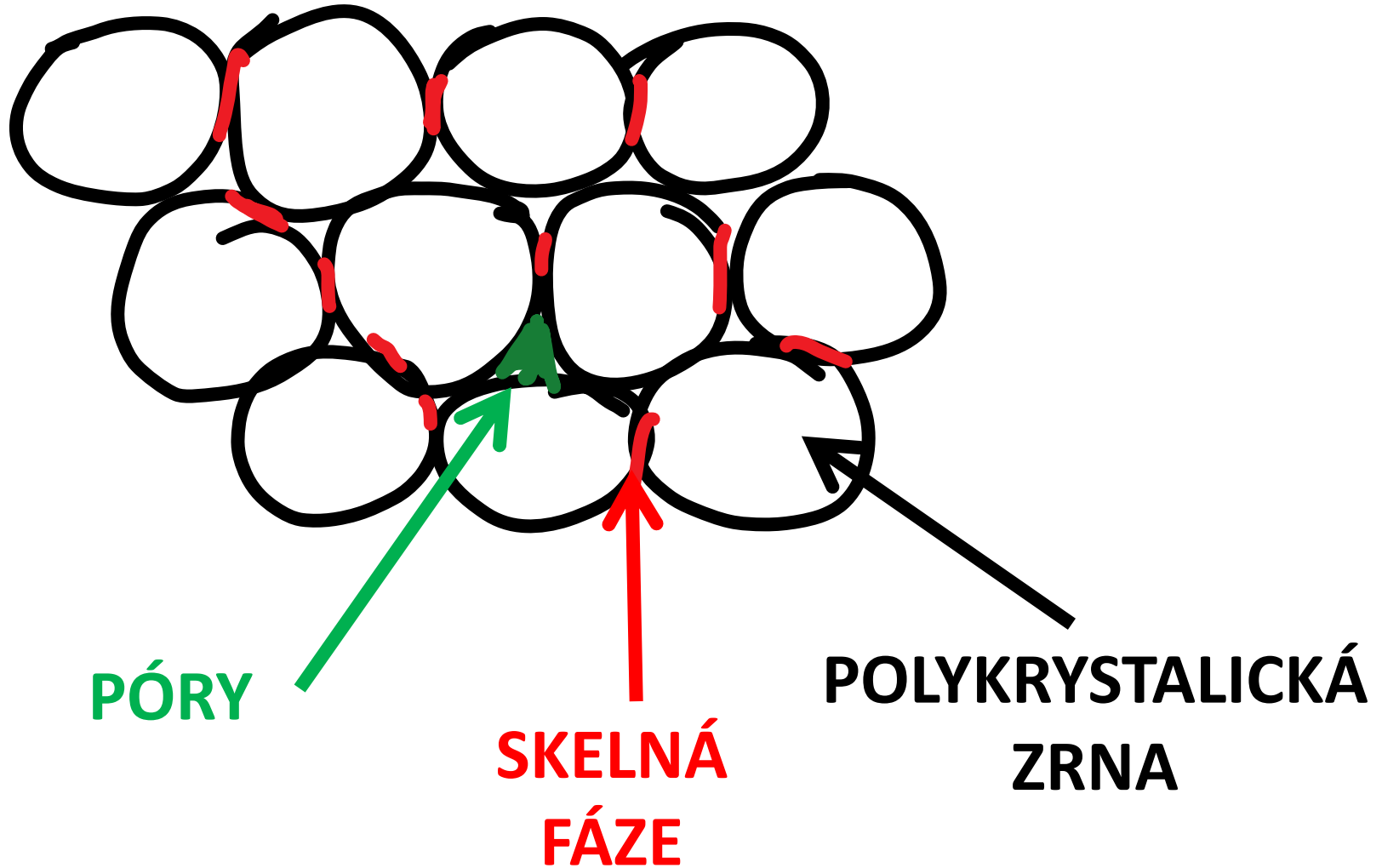
# Vazby v keramických materiálech

- **Iontová** ← rozdílná elektronegativita atomů
- **Kovalentní** ← blízká elektronegativita atomů
- **Smíšená (iontově-kovalentní)** ← podíl iontové vazby roste se zvyšujícím se rozdílem elektronegativit

IA																	0				
H 2.1																	He -				
Li 1.0	Be 1.5															B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0	Ne -
Na 0.9	Mg 1.2	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII				IB	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	Ar -			
K 0.8	Ca 1.0	Sc 1.3	Ti 1.5	V 1.6	Cr 1.6	Mn 1.5	Fe 1.8	Co 1.8	Ni 1.8	Cu 1.9	Zn 1.6	Ga 1.6	Ge 1.8	As 2.0	S 2.5	Cl 3.0	Kr -				
Rb 0.8	Sr 1.0	Y 1.2	Zr 1.4	Nb 1.6	Mo 1.8	Tc 1.9	Ru 2.2	Rh 2.2	Pd 2.2	Ag 1.9	Cd 1.7	In 1.7	Sn 1.8	Sb 1.9	Te 2.1	I 2.5	Xe -				
Cs 0.7	Ba 0.9	La-Lu 1.1-1.2	Hf 1.3	Ta 1.5	W 1.7	Re 1.9	Os 2.2	Ir 2.2	Pt 2.2	Au 2.4	Hg 1.9	Tl 1.8	Pb 1.8	Bi 1.9	Po 2.0	At 2.2	Rn -				
Fr 0.7	Ra 0.9	Ac-No 1.1-1.7																			

CaF<sub>2</sub>: iont. v.  
SiC: koval. v.

# Struktura polykrystalické keramiky



# Keramické materiály - Základní vlastnosti

 **neplatí téměř nic - podobné jako litina kde grafit působí jako póry**

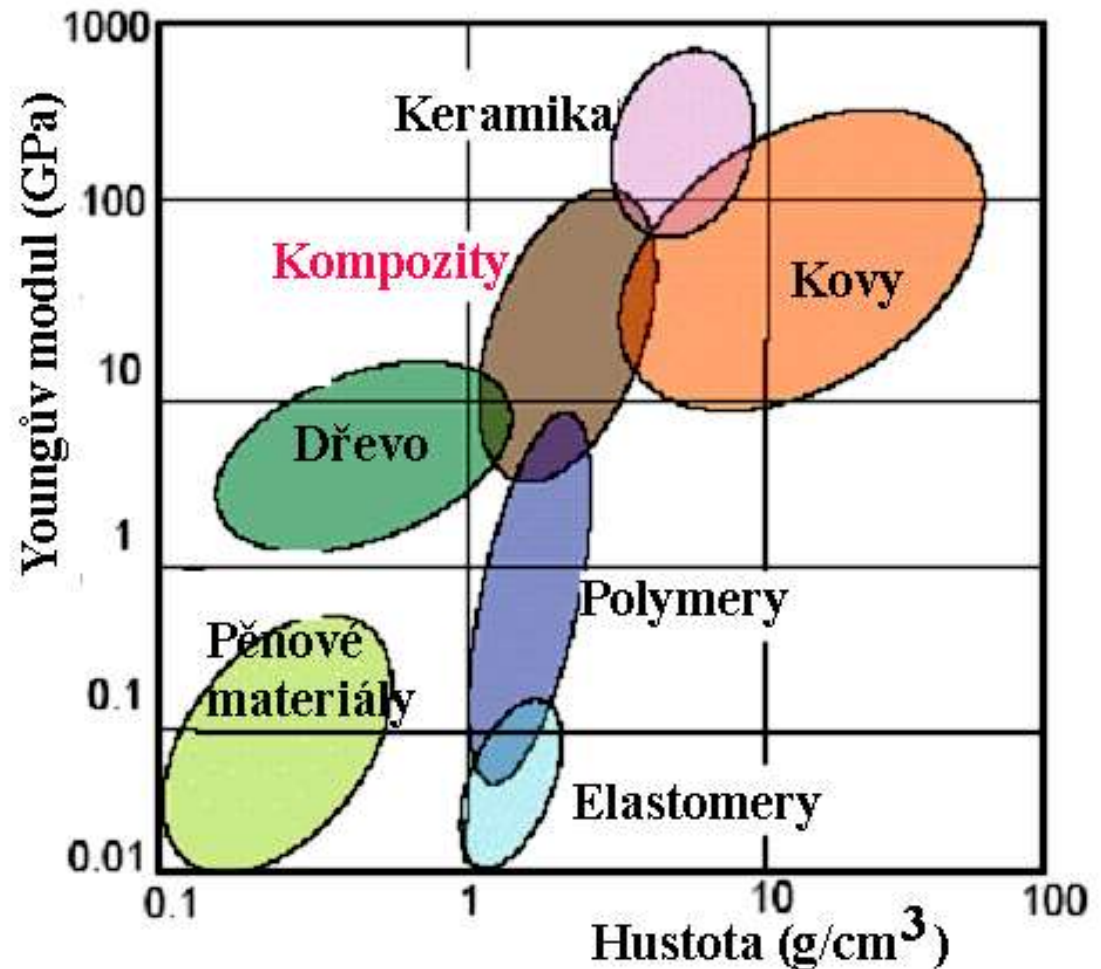
**Keramika** – obecně: **směs krystalické a skelné fáze + póry**

- Vysoká teplotní odolnost - vysoký bod tání, netaje při jedné teplotě
- Vysoká žáruvzdornost – určí ji teplota výpalu
- Vysoká chemická odolnost - především oxidy
- Tepelný a často i elektrický izolátor
- Vysoká pevnost, především v tlaku, nízká pružnost
- Vysoká tvrdost - odolnost opotřebení
- Značná křehkost
- Malá odolnost rázům – mechanickým i tepelným
- Vysoká odolnost tečení (creep)
- Stálost – prakticky nestárne
- Poréznost, z dostupných surovin, velká smrštitelnost



# Tuhost a objemová hmotnost materiálů

- Keramika má největší tuhost z technických materiálů
- Keramika je lehčí než kovy, ale těžší než kompozity



# Tradiční keramika

## Tradiční keramika ↔

- Přírodní suroviny (jíly) pouze s částečnou úpravou
- Heterogenní struktura (různé krystaly, většinou se skelnou fází a pórovitostí)



## Pokročilá keramika (technická, konstrukční)

- Syntetické prášky
- Řízená mikrostruktura
- Vyšší užitné vlastnost (např. mechanické vlastnosti)



# Tradiční keramické materiály - historie

Keramika je nejstarší syntetický materiál v historii

27 000 př.n.l.: Věstonická Venuše



[https://cs.wikipedia.org/wiki/Věstonická\\_venuše](https://cs.wikipedia.org/wiki/Věstonická_venuše)

10 000 př.n.l.: první hrnčířské výrobky

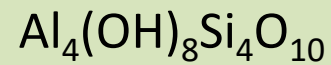


<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=31533>

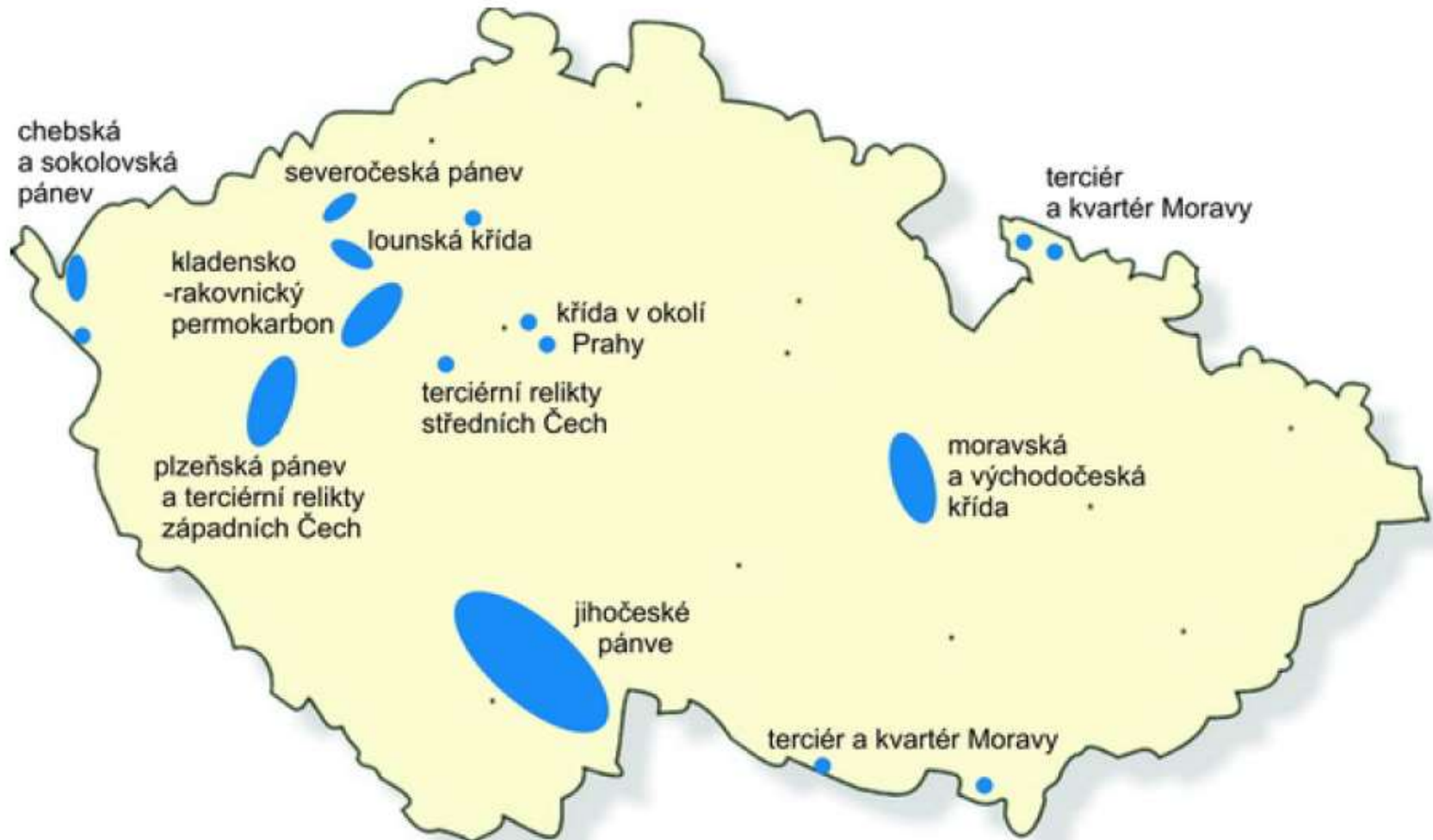
## 1. TVÁRLIVÉ HMOTY

hlinitokřemičitany - kaolíny, jíly..  
zajišťují dobré tvarování hmoty  
( Si, Al, O, K, Mg...)

Kaolín



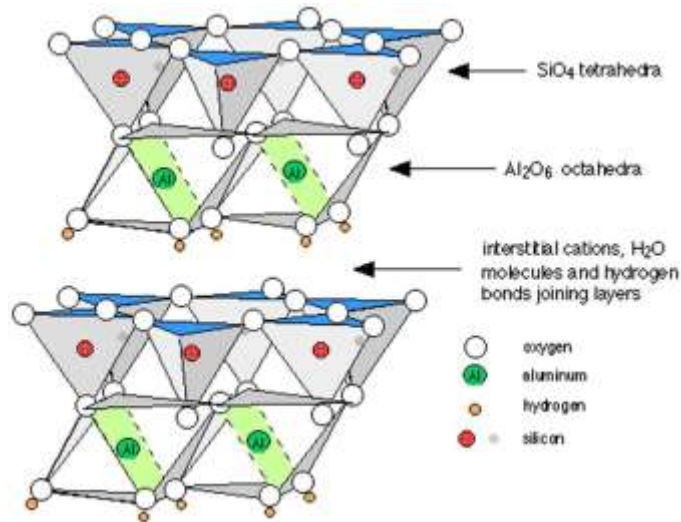
# Suroviny pro tradiční keramiku - ložiska jílu v ČR



**Obr. 2** Ložiskové oblasti jílu v České republice. Převzato z Jirásek, Sivek (2007).

# JÍLY Si-O-Al-(Mg, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>)

- **fylosilikáty** = silikátové minerály s vrstevnatou strukturou (0,7 nm vrstva)



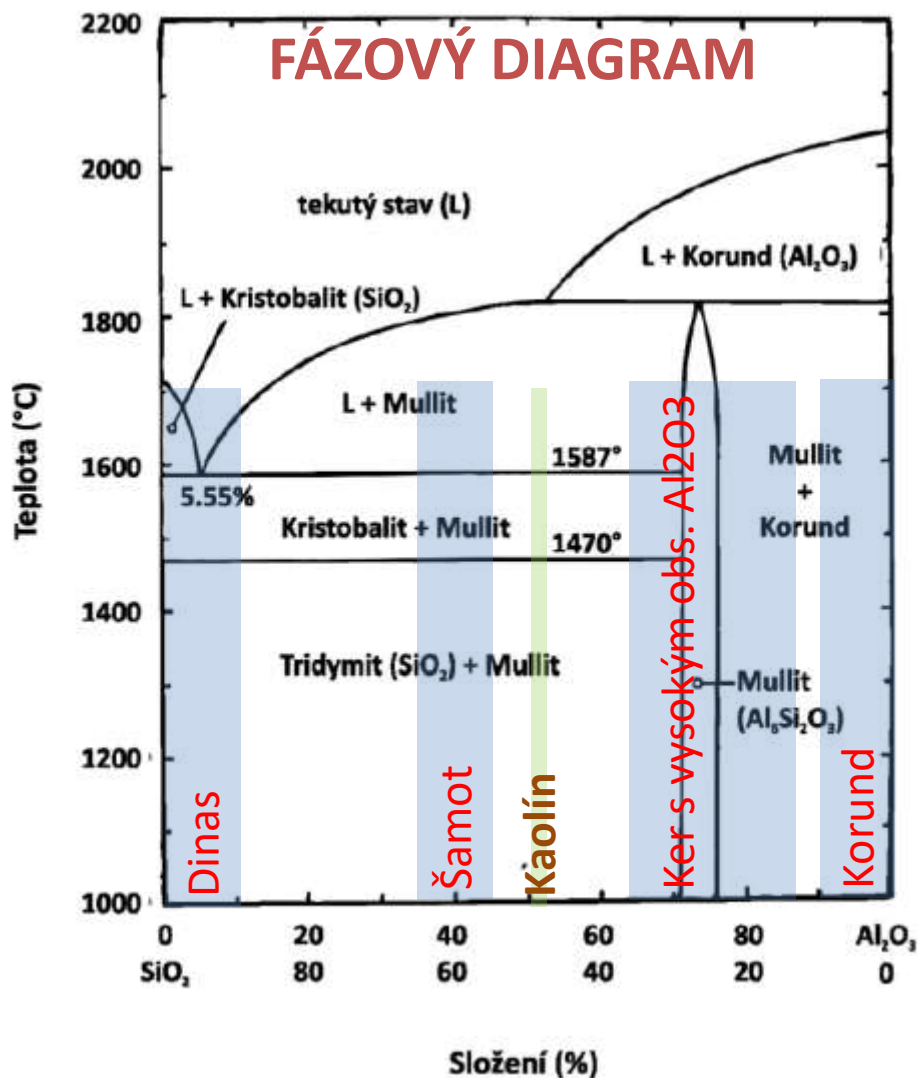
složeny z tetraedrů SiO<sub>4</sub> a oktaedrů XO<sub>6</sub> (kde X je Mg nebo Al)  
+ do struktury a mezivrstevních prostor mohou přijímat různé ionty (K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>) nebo molekuly (H<sub>2</sub>O) – vliv na vlastnosti

- nezpevněná usazená hornina - více než 50 % jílovité složky
- obsahuje jílové minerály (velikost zrn pod 4 μm) - kaolinit, smektity - montmorillonit, vermikulit, illity atd..
- Zpevněním jílu vzniká jílovec - lupek a jílovitá břidlice.



# Fázový diagram alumosilikátů - SiO<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Nejčastěji používané keramiky jsou na bázi Alumosilikátů (hlinitokřemičitanů) SiO<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = korund  
monokrystal = SAFÍR

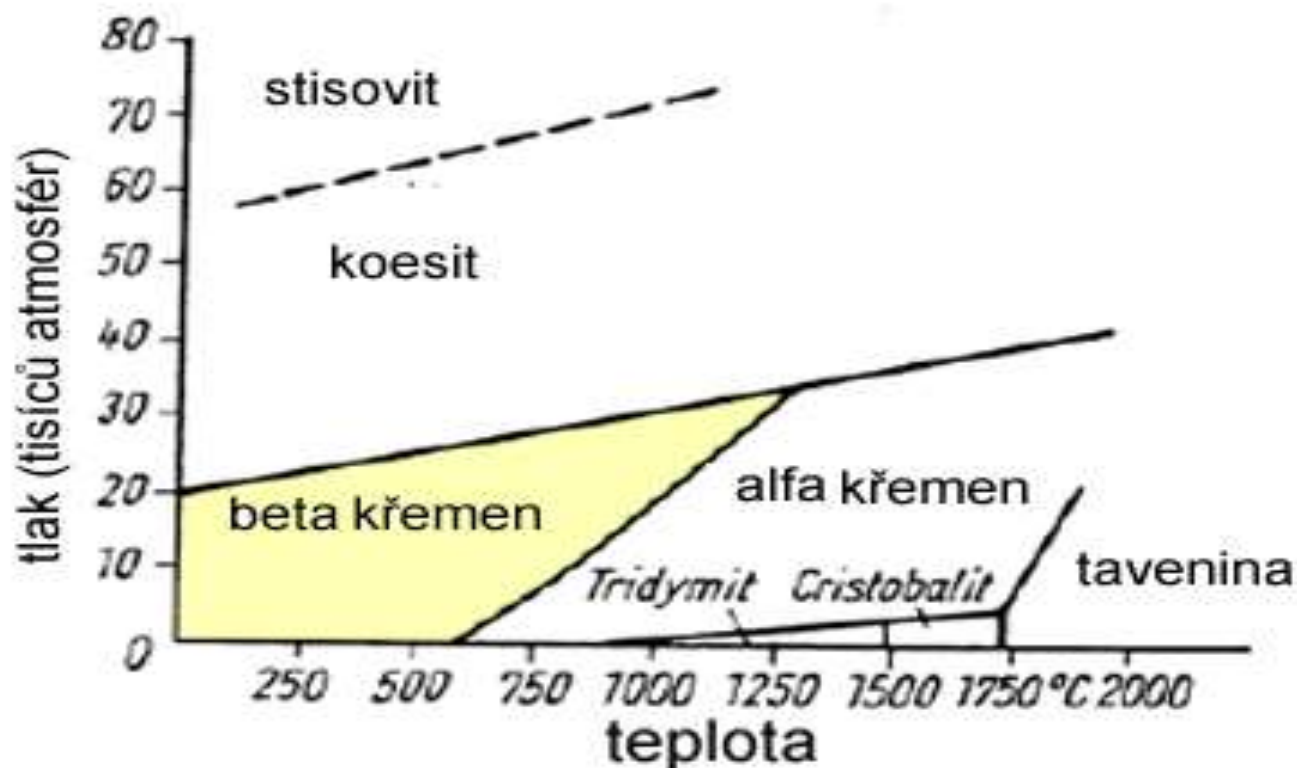


Ukázka korund – safír  
(monokrystal) – neprůstředné  
sklo

# Suroviny pro keramiku - SiO<sub>2</sub>

## Fázový diagram SiO<sub>2</sub>

velmi proměnná struktura - možnosti tuhnutí



**Pozor! Při přechodu z β-křemene na α-křemen při cca 575 °C dochází k náhlému zvětšení objemu.**



## 1. TVÁRLIVÉ HMOTY

hlinitokřemičitany - kaolíny, jíly..  
zajišťují dobré tvarování hmoty  
( Si, Al, O, K, Mg...)

## 2. NETVÁRLIVÉ HMOTY

ostřiva - ostrohranná hrubší zrna  
– snižují smrštění při sušení,  
křemičitý písek-  $\text{SiO}_2$  , šamot,  
korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), SiC

## 1. TVÁRLIVÉ HMOTY

hlinitokřemičitany - kaolíny, jíly..  
zajišťují dobré tvarování hmoty  
( Si, Al, O, K, Mg...)

## 2. NETVÁRLIVÉ HMOTY

ostřiva - ostrohranná hrubší zrna  
– snižují smrštění při sušení,  
křemičitý písek-  $\text{SiO}_2$  , šamot,  
korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), SiC

## 3. TAVIVA

snižují teplotu výpalu, usnadňují  
tvorbu taveniny živce, sklo...



Živec (60 %  
Zemské kůry)  
 $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$

## 1. TVÁRLIVÉ HMOTY


hlinitokřemičitany - kaolíny, jíly..  
zajišťují dobré tvarování hmoty  
( Si, Al, O, K, Mg...)

## 2. NETVÁRLIVÉ HMOTY

ostřiva - ostrohranná hrubší zrna  
– snižují smrštění při sušení,  
křemičitý písek-  $\text{SiO}_2$  , šamot,  
korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), SiC

## 3. TAVIVA

snižují teplotu výpalu, usnadňují  
tvorbu taveniny živce, sklo...



Prášek  
4  $\mu\text{m}$

+

# Složení tradiční keramiky

převažují přírodní suroviny

## 1. TVÁRLIVÉ HMOTY

hlinitokřemičitany - kaolíny, jíly..  
zajišťují dobré tvarování hmoty  
( Si, Al, O, K, Mg...)


## 2. NETVÁRLIVÉ HMOTY

ostřiva - ostrohranná hrubší zrna  
– snižují smrštění při sušení,  
křemičitý písek-  $\text{SiO}_2$  , šamot,  
korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), SiC

## 3. TAVIVA

snižují teplotu výpalu, usnadňují  
tvorbu taveniny živce, sklo...

4. POMOCNÉ – voda, cement,  
pryskyřice, změkčovadla,  
org./anorg. rozpouštědla a pojiva



Prášek  
4  $\mu\text{m}$

+



Voda...

# Složení tradiční keramiky

## 1. TVÁRLIVÉ HMOTY

hlinitokřemičitany - kaolíny, jíly..  
zajišťují dobré tvarování hmoty  
( Si, Al, O, K, Mg...)

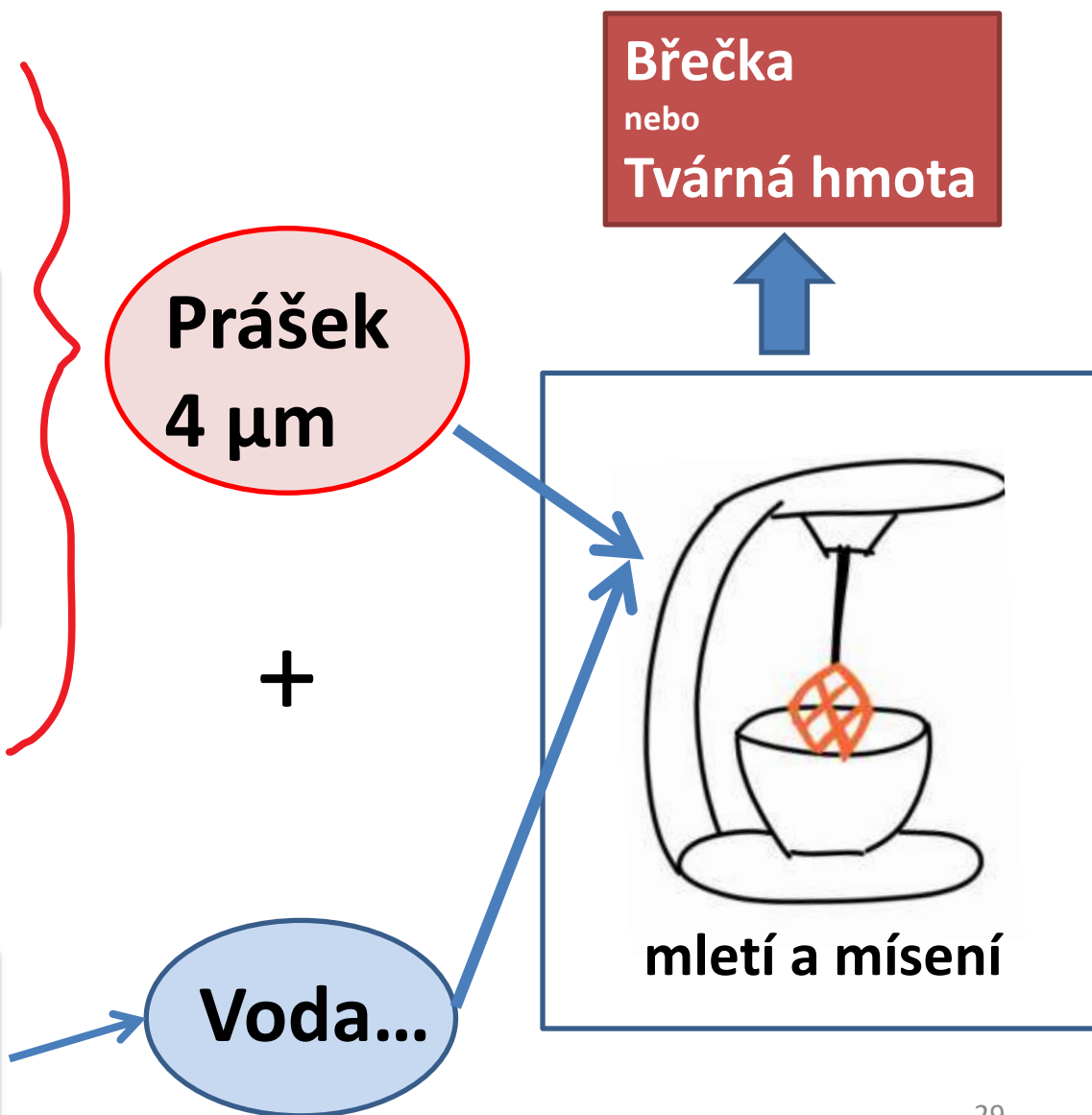
## 2. NETVÁRLIVÉ HMOTY

ostřiva - ostrohranná hrubší zrna  
– snižují smrštění při sušení,  
křemičitý písek-  $\text{SiO}_2$  , šamot,  
korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), SiC

## 3. TAVIVA

snižují teplotu výpalu, usnadňují  
tvorbu taveniny živce, sklo...

4. POMOCNÉ – voda, cement,  
pryskyřice, změkčovadla,  
org./anorg. rozpouštědla a pojiva



# Složení tradiční keramiky

**Břečka**  
nebo  
**Tvárná hmota**



Lití  
Tvarování



Sušení

Glazování  
(tenká vrstva SiO<sub>2</sub>)

Výpal  
– slinování  
(0,6 – 0,9 Tt)  
**! SMRŠTĚNÍ**  
až 30% !

# Video, jak se vyrábí WC

<https://www.youtube.com/watch?v=vmnHMv4Zc8Y>

# Keramické materiály – metody tvarování

Suché tvarování

Mokrý tvarování

Plastický tvarování

Tvarování bez forem



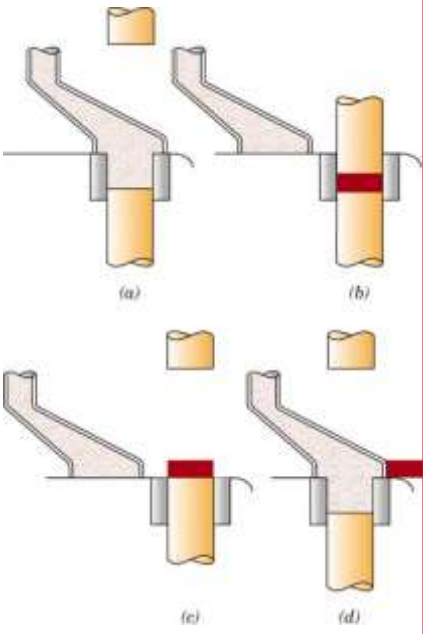
Tradiční keramika



# Keramické materiály – metody tvarování

## Suché tvarování

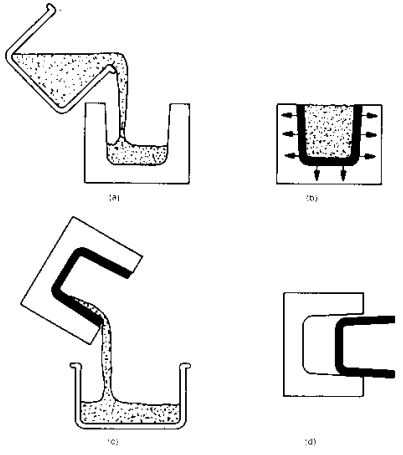
- jednoosé lisování
- isostatické lisování CIP (za studena), HIP (za tepla)



Př: keramické vložky - baterie

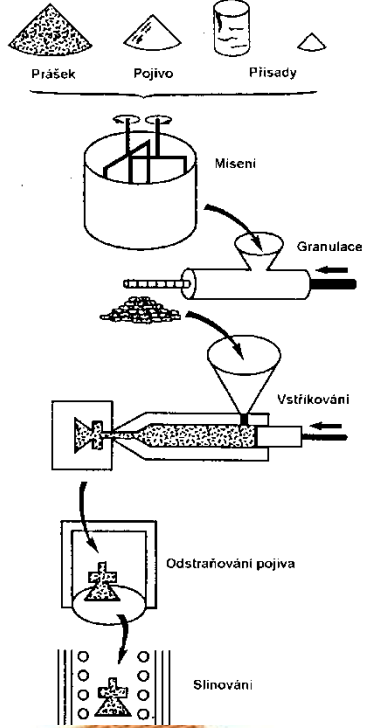
## Mokrý tvarování

- suspenzní lití
- tape casting



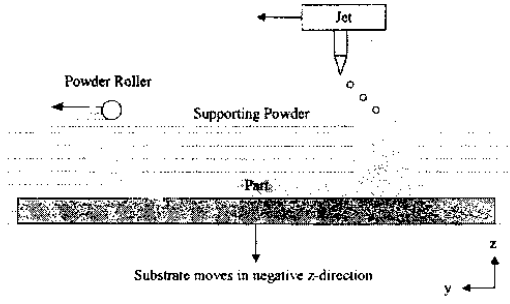
## Plastické tvarování

- injekční vstřikování
- protlačování (extruze)
- Válcování, lisování



## Tvarování bez forem

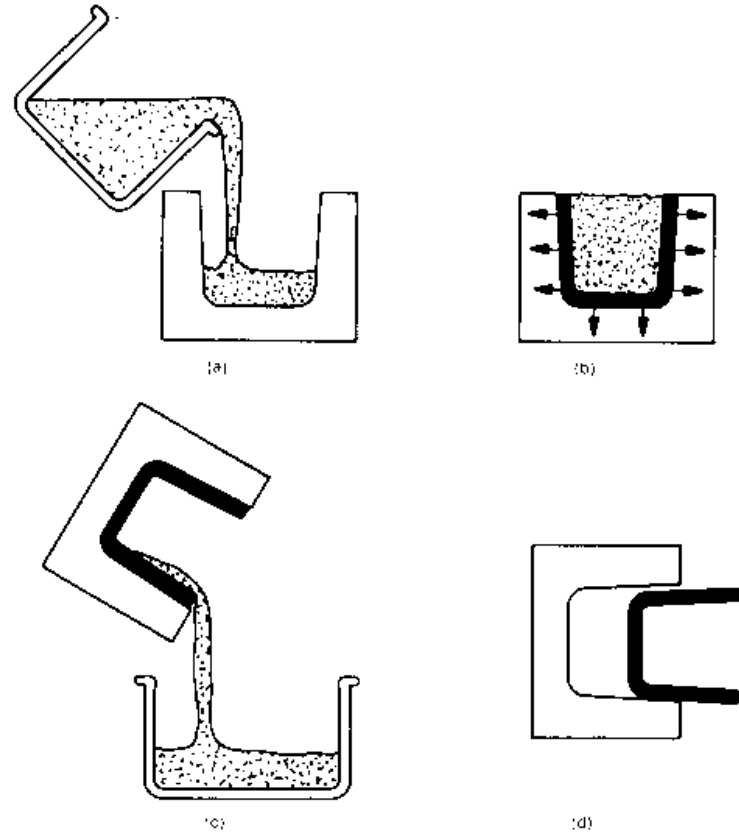
- 3D tisk – robot
- vrstvy + tisková hlava



Slév. formy – písek s furanovou pryskyřicí + tisk tvrdidlo (Liaz)

# Mokrý tvarování • *suspenzní lití*

Lití suspenze - břechky do forem  
odsátí vody – střepe  
vylití přebytku suspenze



**Materiál forem** – dřívě sádra

nyní velmi porézní polymer (PMMK) s řízenou

porozitou



**vynikající vlastnosti, mnoho odlití**

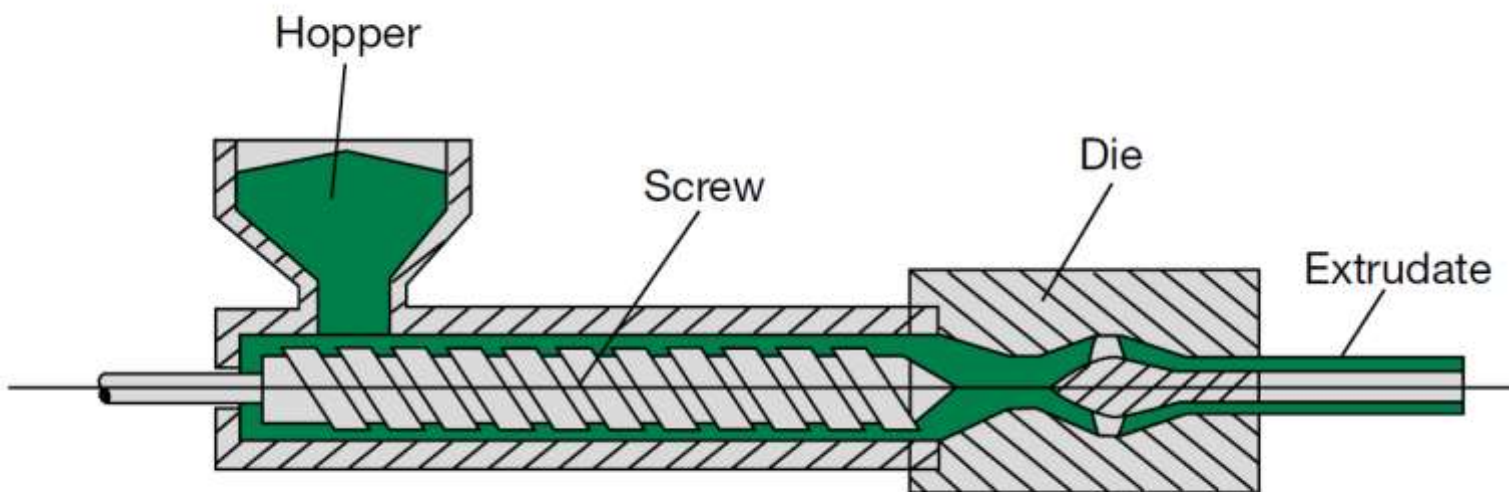


**velmi drahé, špatná recyklace**

# Plastické tvarování



- válcování, lisování
- protlačování (EXTRUZE)



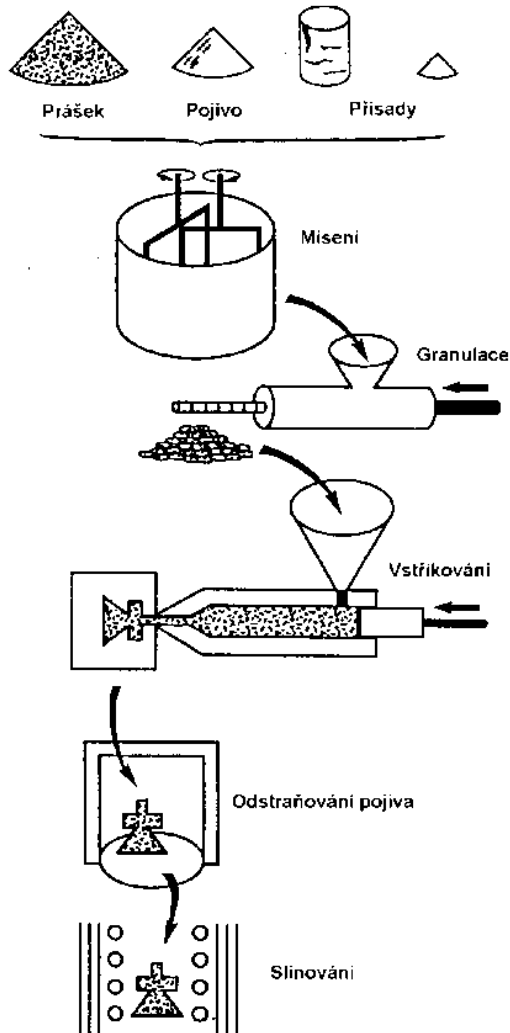
# Plastické tvarování



- válcování, lisování
- protlačování (EXTRUZE)



# Plastické tvarování



- válcování, lisování
- **protlačování (EXTRUZE)**
- injekční vstřikování

# SUŠENÍ

## Sušárny - tunelové



# POVRCHOVÁ ÚPRAVA



Nanášení glazur (engob) a dekorů (Rotocolor a síťotisk)



## Pece – průběžné tunelové





# VÝPAL - SLINOVÁNÍ

Historie



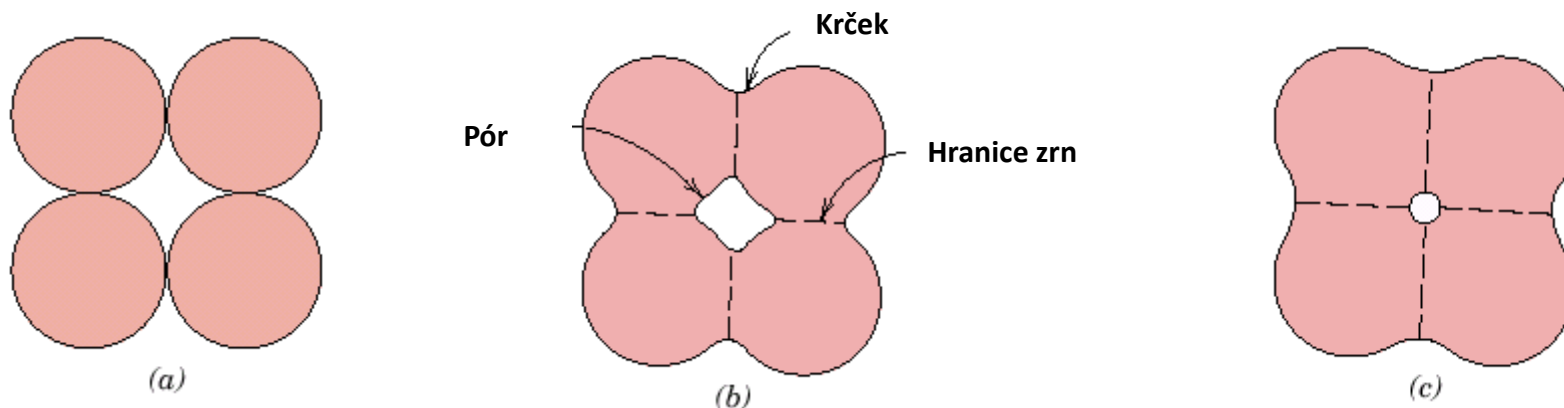
Dávková odporová pec



# Slinování

Slinování (sintrování) = zhutňování částicového tělesa při vysokých teplotách ( $0,6-0,9T_t$ )

Difuze – vliv smáčení – povrchová energie



**Hnací silou** slinování je snižování celkové mezifázové energie soustavy nahrazením mezifázového rozhraní keramika/atmosféra s vyšší energií rozhraním keramika/keramika (hranice zrn) s nižší energií

Slinování probíhá mechanismem **vakanční difúze**

- Struktura je po vypálení složena z krystalků, mezi nimiž jsou difuzní můstky a póry
- Při vyšší teplotě vypalování může vznikat skelná fáze – často i bez pórů, průsvitná

# Postup výroby tradiční keramiky SHRNUTÍ

- Příprava prášku – mletí a mísení s dalšími složkami (částice pod  $4\mu\text{m}$ )
- Příprava břečky (suspenze prášku ve vodě) nebo tvárné hmoty
- Tvarování výrobku – ruční, strojní (lisování, tažení, vytlačování, válcování, lití do forem, HIP, CIP)
- Sušení výrobku – až na kritickou vlhkost, při níž se částice již dotýkají - hlavní smrštění (cca 10 %)
- Glazování (nemusí být) – tenká vrstva  $\text{SiO}_2$  suspenze
- SLINOVÁNÍ - Vypalování – desítky hodin při 1000 až 1400 °C – vznik difuzních můstků v místech dotyku

(teplota slinování = 0,6 - 0,9 teploty tání)

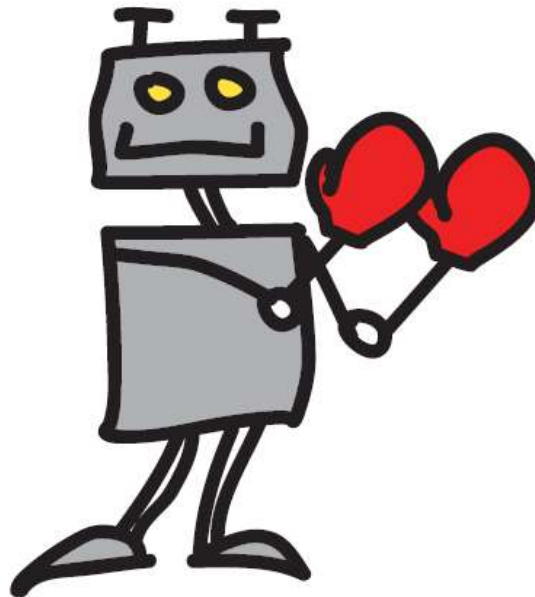


**SKLA**

I klasických technologiích je třeba...







# Sklo – AMORFNÍ materiál

Keramika – polykrystalický materiál

Pravidelné uspořádání atomů (iontů) na dlouhou vzdálenost v rámci jednotlivých zrn (100 nm - 1 mm)

## Sklo – amorfní materiál

Pravidelné uspořádání atomů (iontů) pouze na krátkou vzdálenost

Nepravidelné uspořádání na dlouhou vzdálenost, v tělese nerozlišujeme zrna

„Tuhá kapalina“ - kapalina s vysokou viskozitou





# Skla - dělení

## Křemičitá (silikátová)

- Křemičitá skla:
  - skla na nádoby
  - ploché sklo
  - užitkové sklo
- Olovnatokřemičitá skla:
  - užitkové sklo (křišťál)
  - skla pro přístroje
- Borokřemičitá skla:
  - laboratorní sklo
  - sklo ve farmacii
  - technické sklo
- Speciální skla:
  - brýlové sklo
  - ochrana proti záření
  - optická skla
  - sklokeramika
  - skleněná vlákna
  - vodní skla
  - tenké vrstvy SiO<sub>2</sub>

**kovová**

# Skla – obecné vlastnosti

- vysoká pevnost, tvrdost, vysoký modul pružnosti
- **křehkost** při pokojové teplotě (0 plast. def.)
- optické vlastnosti - světelná propustnost, lesk...
- nenasákavá
- malou tepelnou a elektrickou vodivostí
- užitkovost
- dekorativnost

# Přírodní skla



Stromboli 2010

Vulkanická skla :

zásaditá - 45 až 50 %  $\text{SiO}_2$  - sideromelan

kyselá - perlit, obsidián, pemza

Skla jiného původu :

tektity

meteorit

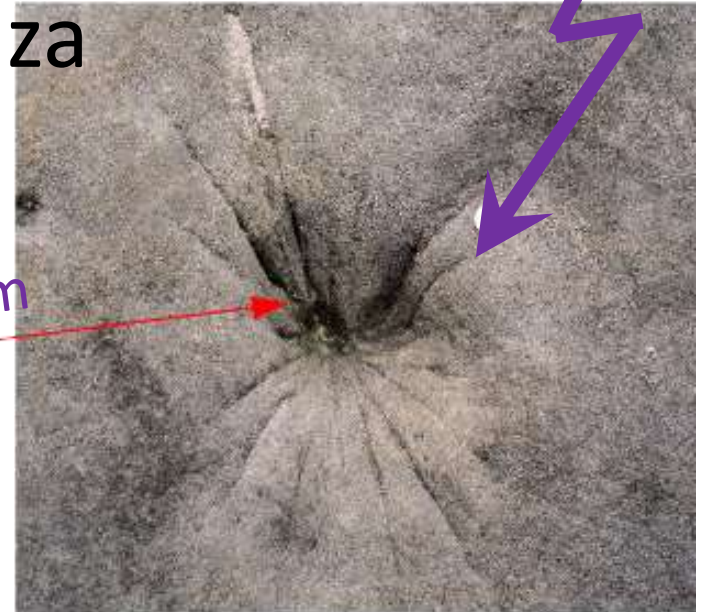
impaktní skla

fulgurity

frikcionity

Lybijské pouštní sklo

po zásahu bleskem



Detail fulguritu :



# Přírodní skla – obsidián (vulkanické sklo) Island



Landmannalaugar



# Přírodní skla – vltavíny

- Tektit (po dopadu meteoritu) – JČ, DE
- Chemicky téměř stejné s jílovitými horninami
- Obsahuje vady vzduchové bublinky



# Historie sklářství

- Pro roztavení  $\text{SiO}_2$  písku je třeba alespoň  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ , běžný oheň –  $700\text{-}800\text{ }^\circ\text{C}$ , blesk přes  $10\ 000\text{ }^\circ\text{C}$
- Prvý výskyt asi 3000 let PNL v Babylonii – natronová skla
- Egyptská skla :  
 **$70\% \text{SiO}_2 + 10\% \text{CaO} + 20\% \text{Na}_2\text{O}$**
- 100 let PNL – vynález sklářské píšťaly
- 300 let NL – Římské sklo (používání tavidel) – přechod k masové produkci s potaší ze dřeva ( $\text{K}_2\text{O}$  místo  $\text{Na}_2\text{O}$ )



**Základ syntetických skel – křemičitý písek + tavidla**

# Příklady starověkých skel



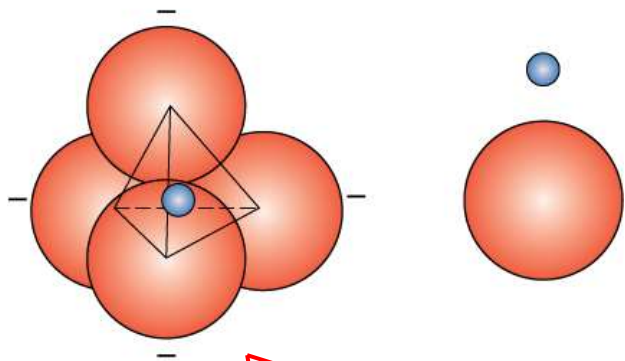
Egyptské sklo-  
máčení hliněného  
jádra



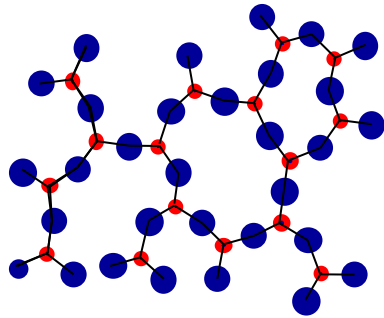
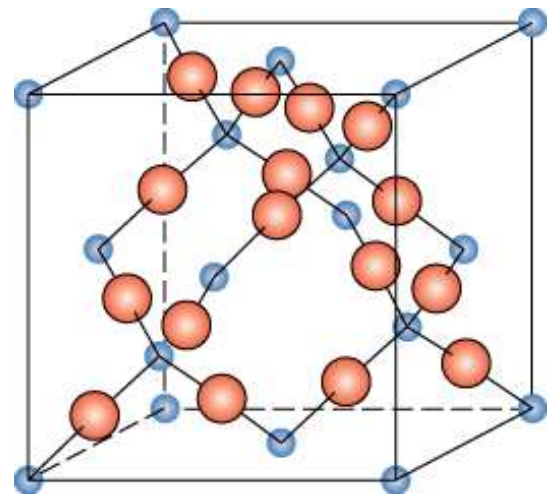
Římské foukané  
sklo

# Suroviny pro skla – křemičitý písek $\text{SiO}_2$

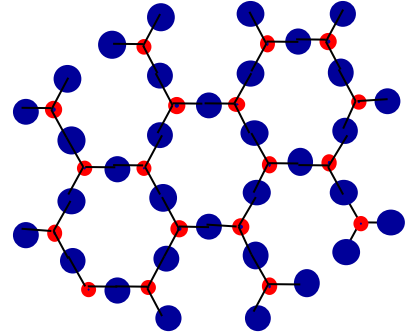
## Struktura $\text{SiO}_2$



cristobalit



Amorfní  $\text{SiO}_2$

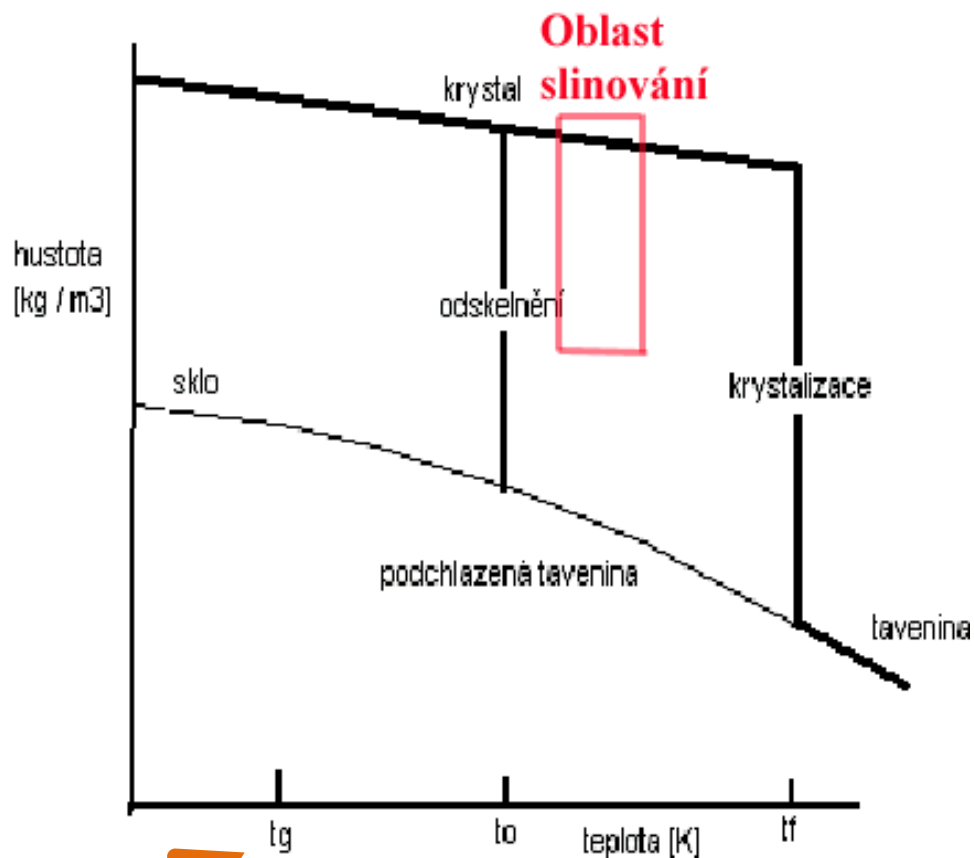


Krystalický  $\text{SiO}_2$



# Děje při změně teploty

- Výroba z taveniny pomalým ochlazováním – krystalizace - kovy
- **Výroba z taveniny rychlým ochlazením až pod teplotu zeskelnění – skla**
- Výroba bez roztavení, jen ohřátím do oblasti pod teplotu tání – slinování - keramika



**$T_g$  = teplota skelného přechodu**

**SKLA**

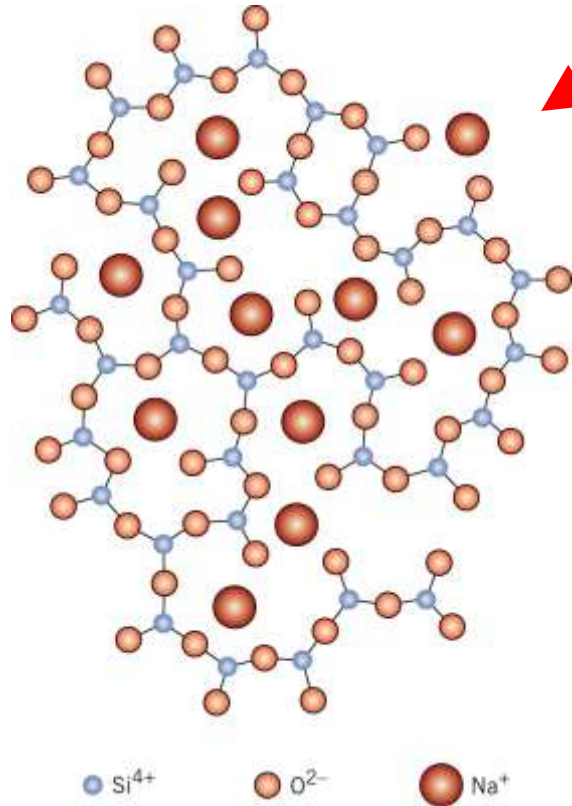
**Pod teplotou  $T_g$  – křehké chování**

**Nad teplotou  $T_g$  – viskózní chování**

# Oxid křemičitý - SiO<sub>2</sub>

- Teplota tuhnutí je 1713 °C
- **Extrémně pomalým ochlazováním** vznikají krystalické fáze : krystobalit, tridymit, křemen
- **Zrychleným ochlazováním** se dá tavenina snadno podchladiť až pod teplotu zeskelnění 600 °C, tím vznikne křemenné sklo
- **Dlouhodobým ohřevem křemenného skla** nad teplotu 1050 °C dojde k jeho krystalizaci – odskelnění
- **Spékáním drobných krystalků** křemenného písku při 1400 °C (300 K pod teplotou tání) vznikne keramika – zpravidla označovaná jako dinasová
- Loužením (KOH, NaOH) křemičitého písku v autoklávu – **vodní sklo**

# Příspěvky pro tvorbu skla – tavidla a modifikátory



## Tavicí přísady do skla

Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O – kysličník alkalických kovů

- pokles teploty tavení až na 900°C
- poklesne rychlost změny viskozity
- ➤ snížení chemické odolnosti skla
- zvýšení el. vodivosti a tep. roztažnosti

## Modifikátory

CaO, MgO

- zlepšení chemické odolnosti

**SiO<sub>2</sub> písek + tavidlo + modifikátor = běžná křemičitá skla (cca 75 % SiO<sub>2</sub>)**

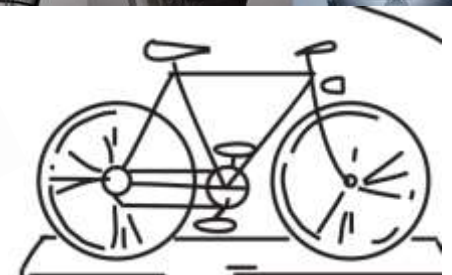
teplota tuhnutí je okolo 1010 °C, teplota skel. přechodu 530 až 560 °C.

Odskelnění zpravidla nenastává.

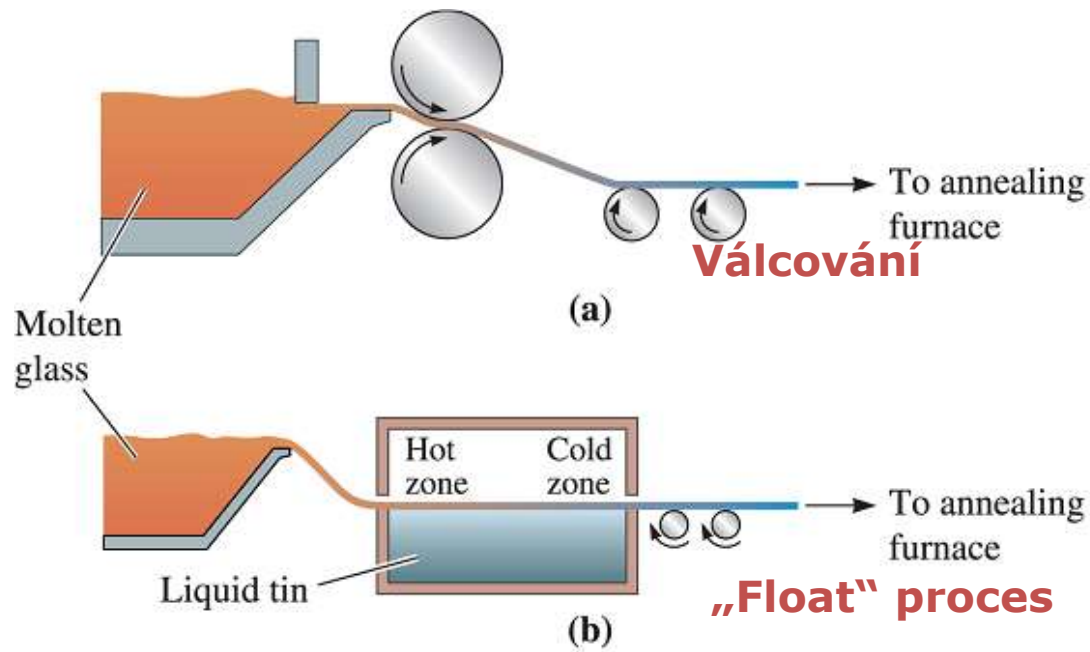
# Technologie výroby skla

1. příprava vsázky (sklářské suroviny smíchané se střepey)
2. tavení sklářské vsázky na sklovinu
3. čeření (odstranění bublin) a homogenizace (vyrovnání chem. složení a teploty) skloviny (cca při teplotě 1400°C)
4. sejítí – ochlazení taveniny na pracovní teplotu (pohybuje se mezi 1100 – 1200°C), při níž lze sklovinu odebírat a tvarovat
5. tvarování skla – foukání (i strojní), lisování, lití atd.
6. řízené chlazení výrobků, aby nepopraskaly
7. další zpracování – řezání, broušení, leštění...

# Ruční výroba skla



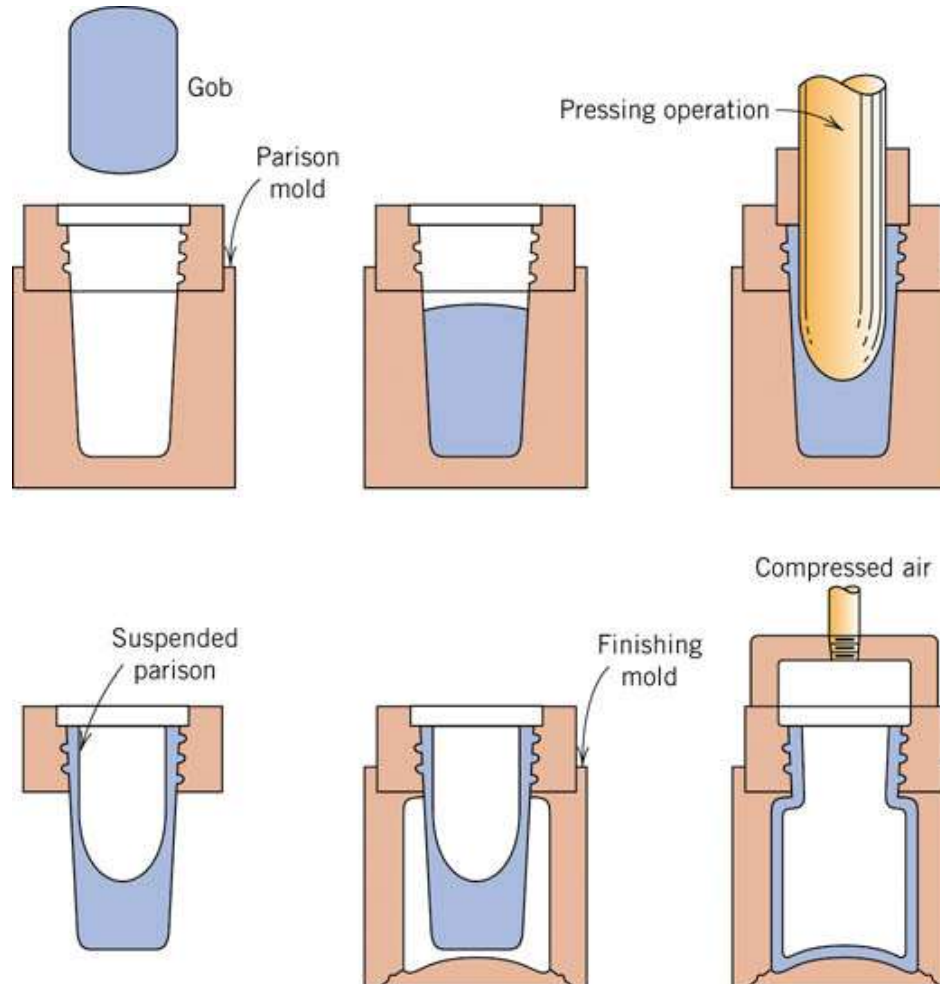
# Strojní výroba skla – tabulové sklo



Roztavené sklo plave na roztaveném Sn  
Díky povrchovému napětí se roztáhne po povrchu (jako olejová skvrna na vodě)  
Gravitace a povrchové napětí způsobí, že je horní i dolní povrch skla dokonale rovinný a rovnoběžný.

# Strojní výroba skla – tabulové sklo

## Strojní vyfukování - výroba lahví



# Zvláštní druhy skel

- **Okrasná skla** – obsahují různé oxidy přechodových kovů, které upravují jejich optické vlastnosti.
- ◆ **Přídavek PbO** – olovnatý nebo těž český křišťál – zvýšený lesk a snadná brousitelnost (v českém křišťálu je  $K_2O$  místo  $Na_2O$  – anglický kř.)
- ◆ **Přídavek oxidů železa** – velmi častý, vlastně nečistoty ze surovin – v oxidačním prostředí barví červenohnědě, v redukčním zeleně. Pivní lahve.
- ◆ **Přídavek oxidu kobaltu** – modrá barva
- **Technická (laboratorní) skla** – nutno zvýšit chemickou odolnost a snížit teplotní roztažnost.
- ◆ **přídavek  $B_2O_3$**  – Pyrex, Simax
- ◆ **přídavek několika procent  $Al_2O_3$**  – Sial



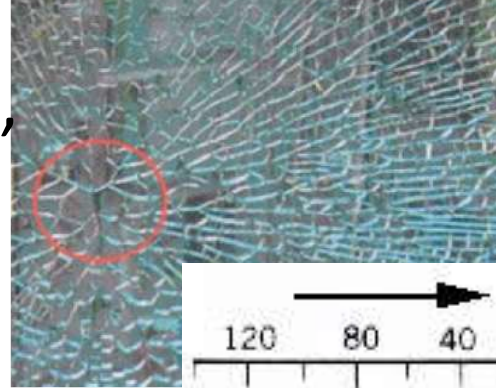


# Zvláštní druhy skel – kalené sklo

skleničky – durrit, boční skla auto, hokej

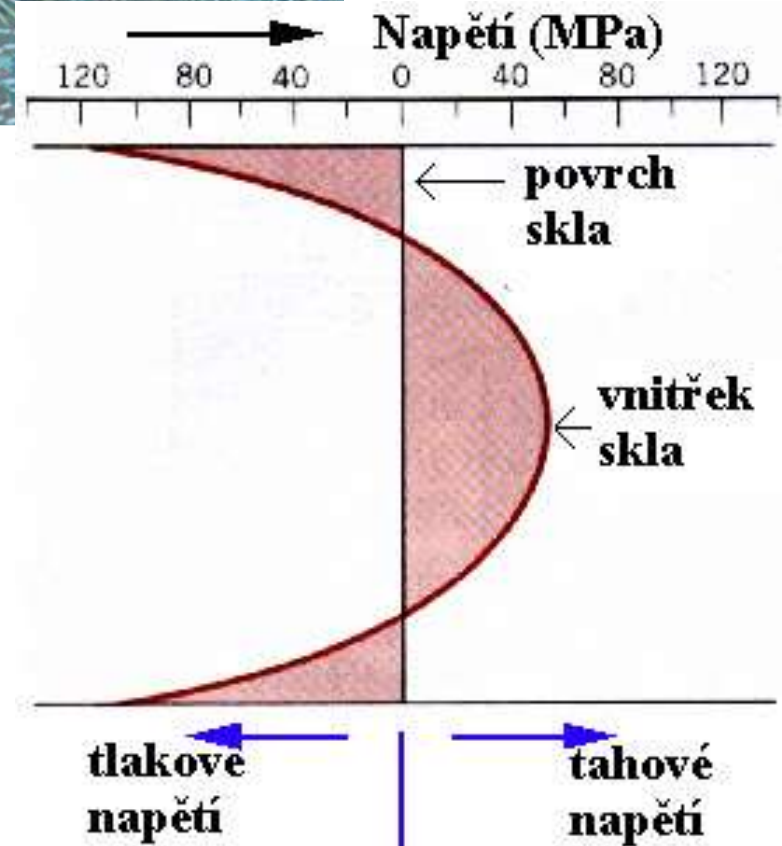
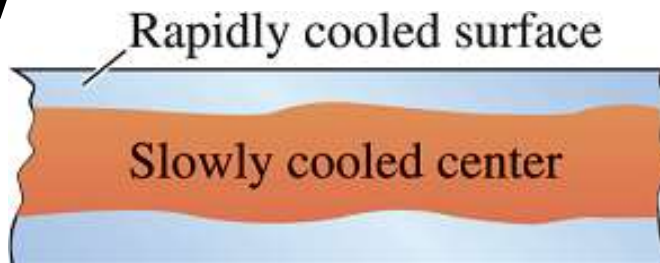


- Sklo je prudce ochlazeno, tím je vyvoláno vnitřní pnutí



- **Na povrchu je tlak – zvýšená odolnost proti rázům**

- Vznikne-li trhlina, poruší rovnováhu napětí a sklo se rozpadne na **malé neostré kousky**



# Zvláštní druhy skel – vrstvené sklo

## Bezpečnostní

plošným spojením dvou či více vrstev plochého skla pomocí plastové fólie (PVB fólie).

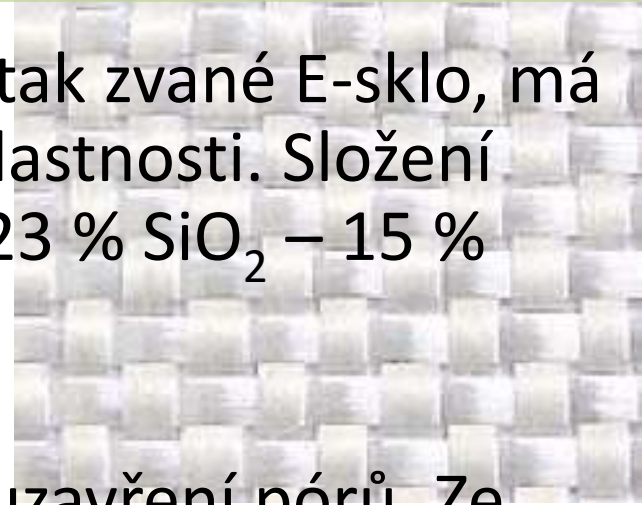
## Neprůstřelné

Spojeno větší množství desek plochého skla



# Speciální použití skel

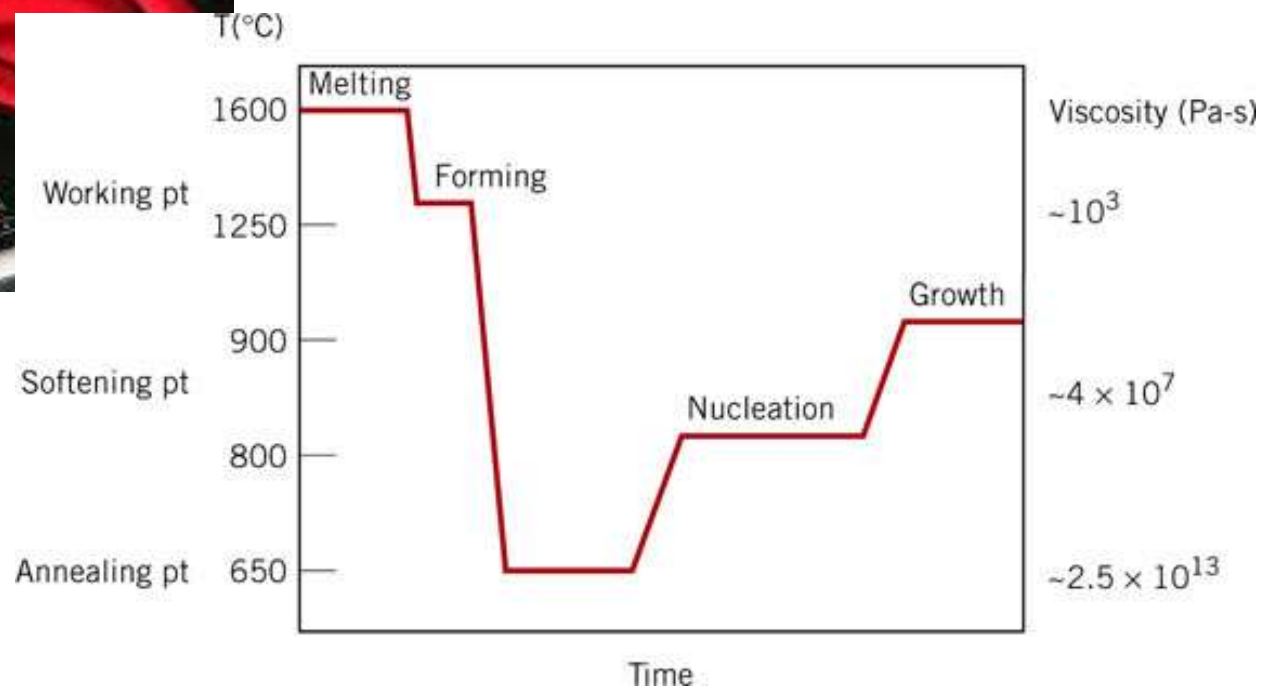
- **Vlákná do kompozitů** a p. - velmi často tak zvané E-sko, má vysoký elektrický odpor, dobré tvářecí vlastnosti. Složení okolo ternárního eutektika 62 % CaO – 23 % SiO<sub>2</sub> – 15 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- **Glazury na keramiku** – skelný povrch k uzavření pórů. Ze skla se nejprve vyrábí fritá – vlastně prášek z rozemletého skla, ze kterého se dělá vodní suspenze nanášená na keramiku před výpalem. Složení okolo 60 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 20 % SiO<sub>2</sub>, 10 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, **10 % PbO**.
- **Smalty (technické)** – chemická ochrana povrchu, sklovina musí dlouhodobě odolávat i tepelným šokům. Opět suspenze z frity, složení okolo 70 % SiO<sub>2</sub>, 15 % B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, **10 % CaF**, 5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. (šperkařské – jiné složení)



# Sklokeramika - s nízkou tepelnou roztažností

Sklokeramika = řízeně zkrystalizované sklo ( $\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ )

$\text{Li}_2\text{O}$  má záporný koeficient teplotní roztažnosti



# Kovová skla - proč?

= materiály s jednou z nejvyšších hodnot meze pružnosti

- **Strukturní vlastnosti** – mechanické vlastnosti -

homogenita bez hranic zrn a bez dislokací – vysoké pevnosti a tvrdosti, nejvyšší mez pružnosti! - **řezné nástroje, pružiny a membrány, tenisové rakety, golfové hole - zakázané**



- **Magnetické vlastnosti**

extrémně magneticky tvrdé či měkké materiály, **náhrada Fe – Si v trafech, motorech, magnetickém stínění, indikátory zboží, paměti PC**

- **Elektrické vlastnosti**

Elektricky vodivá, s vodivostí menší než kovy, ale některá kovová skla jsou supravodivá

- Použití jako **teploměry, ohřívací elementy a přesné stabilní odpory. amorfní supravodiče.**

- **Chemické vlastnosti**

Výborná korozní odolnost - chemie, chirurgie a biomedicina – **skalpely, implantáty.**

**„Metallic Glasses“ „Liquidmetal“**

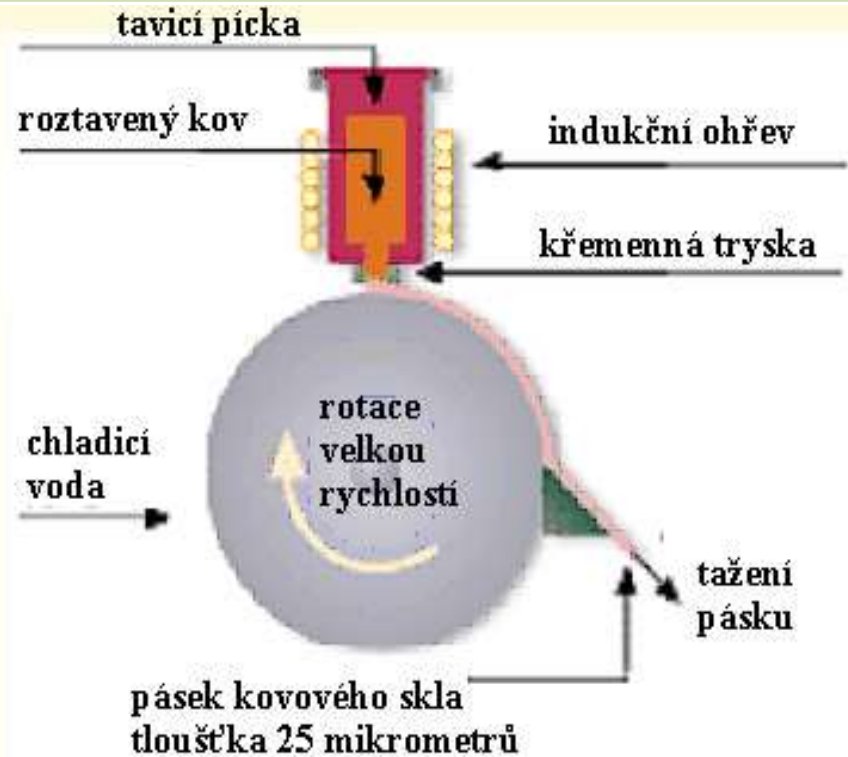
## Princip – extrémně rychlé zchlazení aby nedošlo ke krystalizaci, ale ke vzniku amorfní struktury

- Existence objevena 1963 – Duvez. Vystřelení kapky 0,1 g kovu na chlazenou Cu desku – destička kovového skla o průměru okolo 10 mm, tloušťky několika mikrometrů.
- Získaná rychlost ochlazování byla okolo  $10^7$  K/s.
- U čistých kovů - rychlost ochlazování nad milion K/s. Doba chlazení z taveniny až na pokojovou teplotu musí být pod 1 ms .
- Teoreticky kovové sklo téměř ze všech kovů, u mnohých ale nedosažitelné rychlosti ochlazování.
- **(Fe, Co, Ni + B, Si, S, P) nebo (Ni-Nb, Mg-Zn, Cu-Zr, Nb-V)**

# Kovová skla - Princip výroby

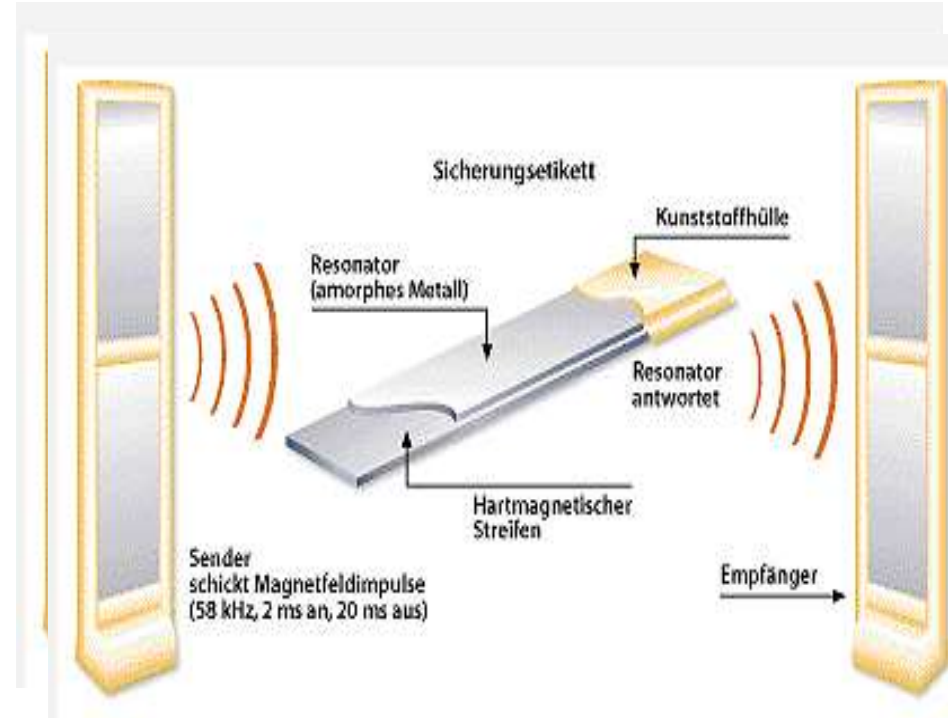
- Kovová slitina je nejprve indukčně roztavena
- Tavenina je vytlačena křemenným ventilem
- Dopadá na rychle rotující měděný válec, zevnitř chlazený vodou

## Nové způsoby



- Odpařeného nebo odprášného kovu
- Ozáření krystalického kovu neutrony nebo ionty - rozbití kryst. strukt.
- Extremně rychlý ohřev povrchu kovů laserem nebo el. paprskem

# Kovová skla – použití – indikátory zboží



- Tvrdý magnetický materiál – před zaplacením zmagnetiz./po – odmag.
- Měkký magnetický materiál (kovové sklo) – volný – rezonance – vytvoření mg.pole – detekováno – siréna 😊



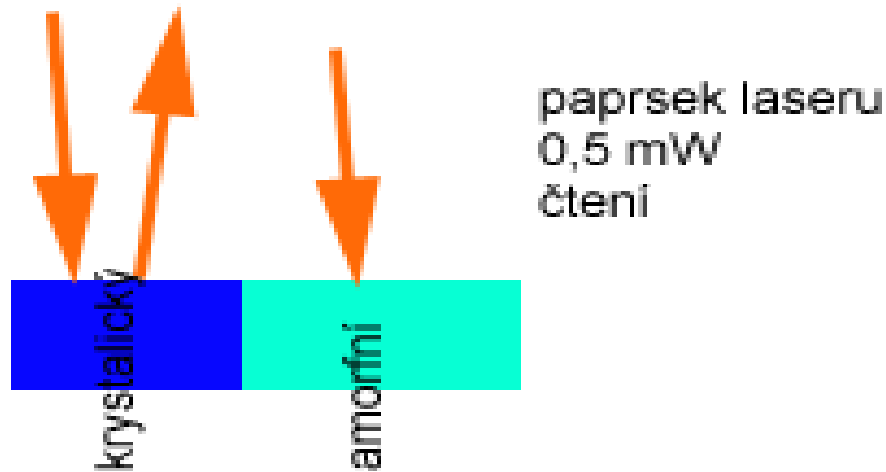


# Kovová skla – použití - CD – RW disky



- Kovová slitina Ag – In – Sb – Te je nízkotavitelná a velmi snadno vytváří kovové sklo, teplota tání okolo 600 °C. Při 200 °C snadné odskelnění – vznik krystalické fáze.
- Krystalická fáze má vysokou odrazivost pro laserové záření, amorfni malou.
- „Zápis“ na CD RW : v místě pitu se vytvoří silným ohřátím amorfni fáze – ta přestane v tomto místě odrážet.
- „Mazání“ CD RW : slabším ohřátím se všude změni amorfni fáze na krystalickou

# Kovová skla - Práce s CD RW disky



600 °C  
amorfní stav  
malá odrazivost



200 °C  
krystalický stav  
velká odrazivost

Děkuji za pozornost