

## 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. 8: Skla, geopolymery a stavební materiály

doc. Ing. Pavlína Hájková, Ph.D.

# Cíl přednášky

Cílem přednášky je seznámit studenty se skly, s materiály na bázi geopolymenických pojiv a stavebními materiály. Studenti se seznámí s křemičitými i kovovými skly, s historií geopolymerních, jejich složením, surovinami i postupem výroby. Budou probrány základní typy geopolymerních kompozitů a jejich využití v různých oblastech. Dále se studenti seznámí také se základními stavebními materiály a vlivem těchto materiálů na emise CO<sub>2</sub>.

# Obsah

1. Úvod
2. Přírodní skla
3. Skla vyrobená člověkem
4. Výroba skel
5. Kovová skla
6. Geopolymery -vlastnosti
7. Geopolymerní pojivo, jeho struktura a příprava.
8. Geopolymerní kompozity
9. 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)
Krystalická Struktura (převážně)	Krystalická Struktura (převážně)
Porézní (až 10-15%)	Nízkoporézní nebo neporézní
Z přírodních jílových surovin	Ze syntetických surovin

Minule

Skla

Amorfní Struktura (převážně)

Neporézní

Z přírodních surovin

Geopolymery

Geopolymerní vazby pojivo + plnivo

Krystalická Struktura

Porézní

Z přírodních i syntetických surovin

Stavební materiály

Chemické vazby pojivo + plnivo

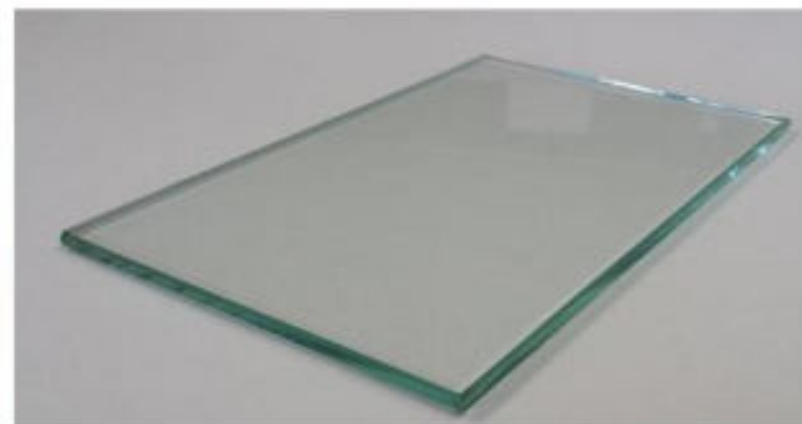
Krystalická Struktura

Porézní

Z přírodních i syntetických surovin

# SKLA

<https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcStA5HG6qV40-bi0k0FmuMAliNm6yBeizPJZ8NnrGsmKMK9uz74>

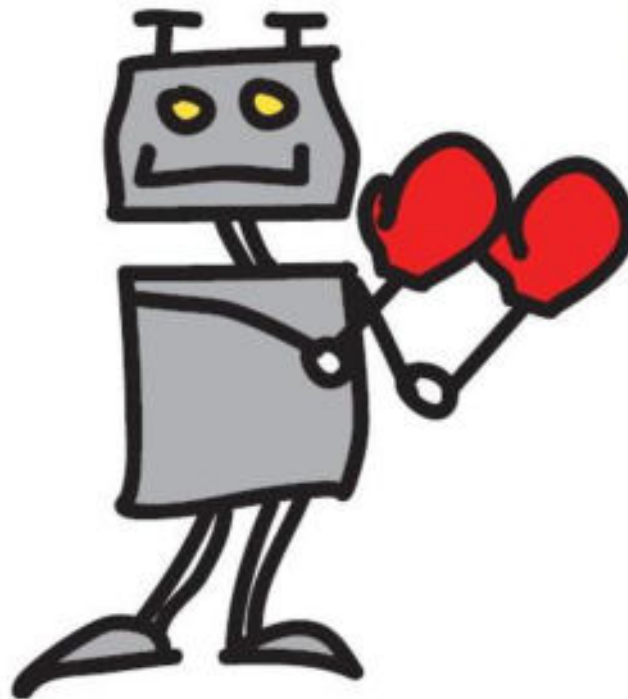


<https://www.vesteckekoule.cz/Lebka-z-prirodnihokristalu-c-3-d331.htm>

<https://www.pinterest.com/pin/evrosvet-modern-7light-crystal-glass-flushmounted-rain-chandelier-contemporary-ceili--825918019178669033/>



[https://1gr.cz/fotky/lidovky/11/052/gal/ANT3b25e7\\_p201105150490201.jpg](https://1gr.cz/fotky/lidovky/11/052/gal/ANT3b25e7_p201105150490201.jpg)



# 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





# Skelný stav

- Izotropie a homogenita
- Vyšší Gibbsův potenciál než krystalický stav téže látky – metastabilní stav
- Krystalizace probíhá plynule – bez nukleace a růstu zárodků
- Je pro něj typická křehkost a tvarová stálost
- Všechny fyzikálně chemické vlastnosti se mění spojitě

Dostatek času =  
Atomy mají čas se  
umístit do ideálních  
mřížkových poloh  
= krystalický stav

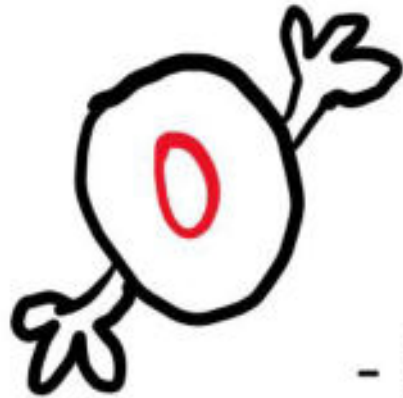


Málo času =  
Atomy nestihnou se umístit  
do ideálních mřížkových poloh  
= zatuhnou v amorfním  
stavu

# 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** **VYROBENÁ ČLOVĚKEM**



### **Oxidická**

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

### **Kovová**

- Kovová skla

# Přírodní skla



Stromboli 2010

Vulkanická skla :  
zásaditá - 45 až 50 %  $\text{SiO}_2$  - sideromelan  
kyselá - perlit, obsidián, pemza

Skla jiného původu :

tektity **meteorit**

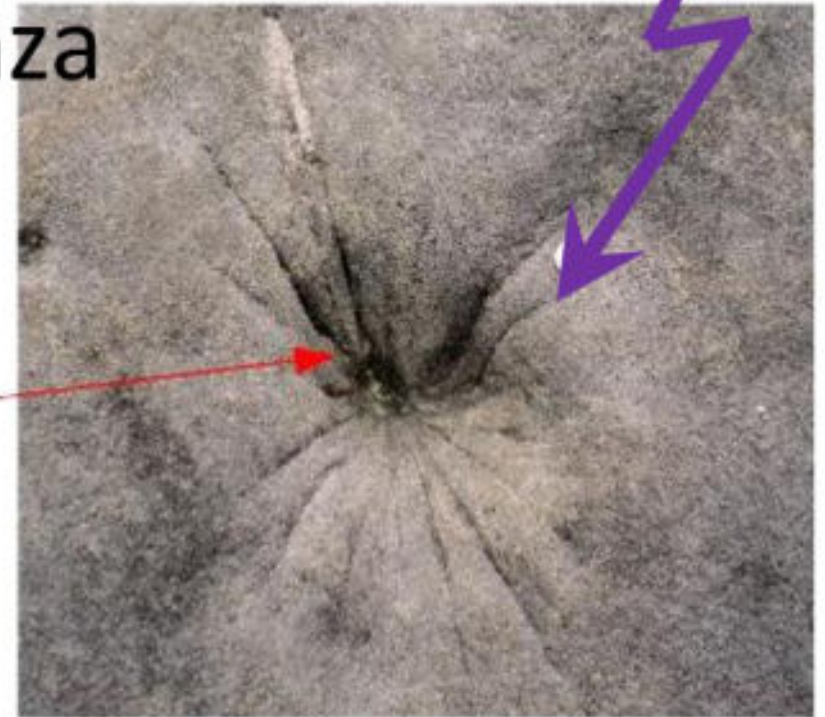
impaktní skla

fulgurity

frikcionity

Lybijské pouštní sklo

po zásahu  
bleskem



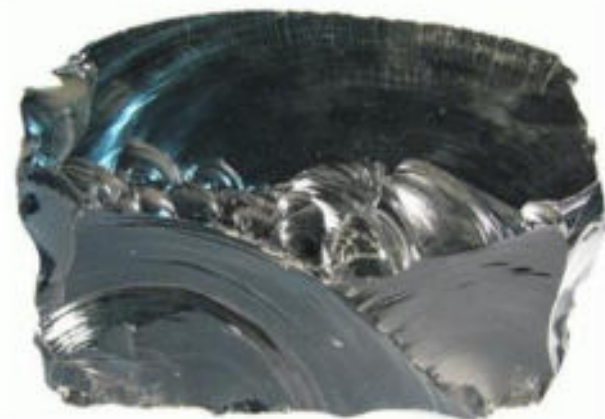
Detail fulguritu :



# 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



<https://shop.rockshop.cz/>

# 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 přnl.** v Babylonii – natronová skla
- Egyptská skla :  
 **$70\% \text{SiO}_2 + 10\% \text{CaO} + 20\% \text{Na}_2\text{O}$**
- 100 let přnl – 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



# VÝROBA OXIDICKÝCH - Křemičitých (Silikátových) Skel

Základní složky:

**SKLOTVORNÁ SLOŽKA** = Hlavní složka skla

Nejčastěji - **oxid křemičitý ( $\text{SiO}_2$ )**,

( **dále např.**  $\text{Al}_2\text{O}_3$  živec,  $\text{B}_2\text{O}_3$  borax ...)

**TAVIVA** - snižují teplotu tání až na  $900^\circ\text{C}$  a narušují vznik krystalů  $\text{SiO}_2$

Nejčastěji – alkalické přísady -  $\text{Na}_2\text{O}$  soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ),  $\text{K}_2\text{O}$  potaš  
( $\text{K}_2\text{CO}_3$ )

**STABILIZÁTORY** – zvyšují chemickou odolnost

Nejčastěji –  $\text{CaO}$  (oxid vápenatý z vápence) nebo  $\text{MgO}$  (dolomit)

**BARVICÍ SUBSTANCE**

Nejčastěji -  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  železné rudy,  $\text{CuO}$ ,  $\text{Cu}_2\text{O}$  měděné rudy

# VÝROBA OXIDICKÝCH - Křemičitých (Silikátová) Skel

- ✓ vyrábí se tavením **křemičitého sklářského písku** s alkalickou přísadou pro snížení teploty tavení a dalšími přísadami pro zvýšení odolnosti a následným poměrně rychlým ochlazením taveniny, která tak nestačí vytvořit krystalovou mřížku.
- ✓ Nejběžnější je *sodno-vápenaté sklo*, z něhož se vyrábí tabulové sklo a obalové sklo. Kromě toho se vyrábí mnoho dalších druhů s různými vlastnostmi, barvou atd.

# Křemičitá (Silikátová) Skla

- **Křemenné sklo**

tavením čistého  $\text{SiO}_2$  bez dalších přísad při ca  $1600^\circ\text{C}$ . Je velmi tvrdé, chemicky i tepelně odolné (až do  $1500^\circ\text{C}$ ). DRAHÉ!

- **Sodnovápenaté sklo**

nejběžnější

- skla na nádoby
- ploché sklo
- užitkové sklo

- **Olovnatokřemičitá skla**

vysoký index lomu

- užitkové sklo (křišťál), bižu
- skla pro přístroje - čočky

- **Borokřemičitá skla**

má malou teplotní roztažnost

- laboratorní sklo, varné sklo
- sklo ve farmacii
- technické sklo



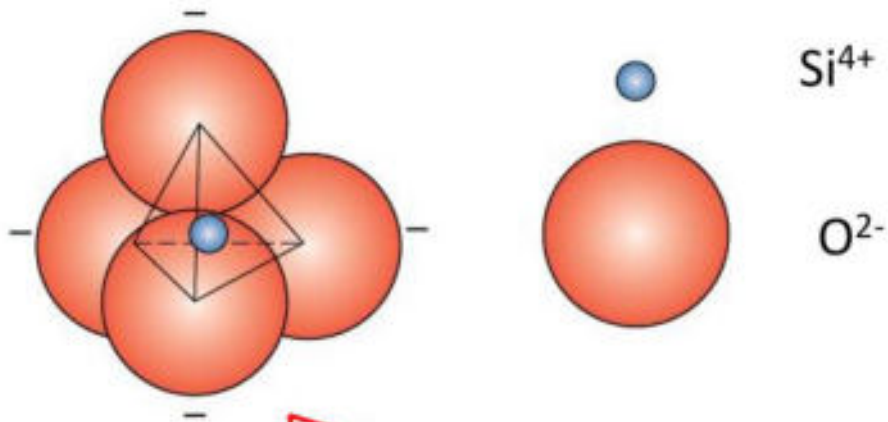
- **Speciální skla**

- brýlové sklo
- ochrana proti záření
- optická skla
- sklokeramika
- skleněná vlákna
- tenké vrstvy  $\text{SiO}_2$

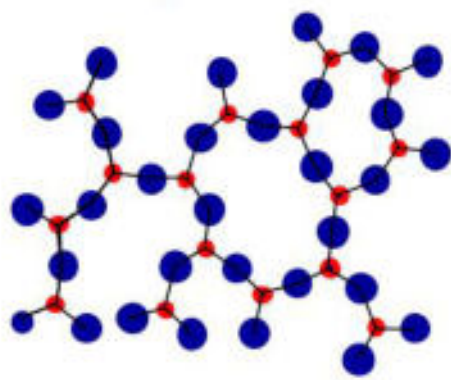
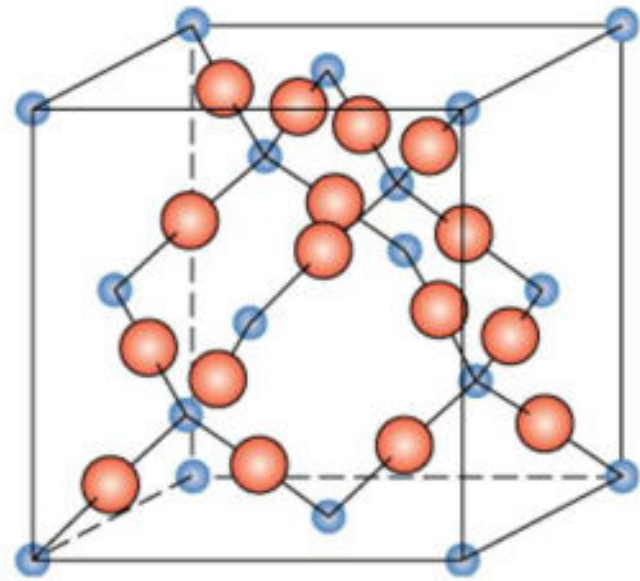
- **Vodní skla** - Loužením ( $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$ ) křemičitého písku v autoklávu

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

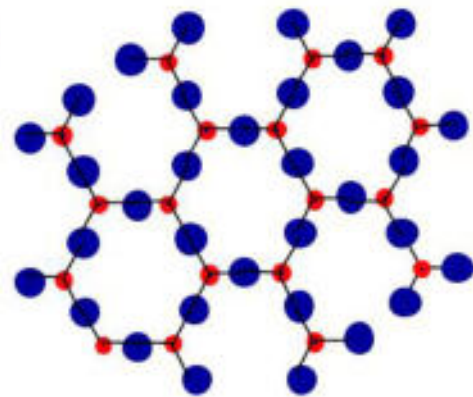
## Struktura $\text{SiO}_2$



cristobalit



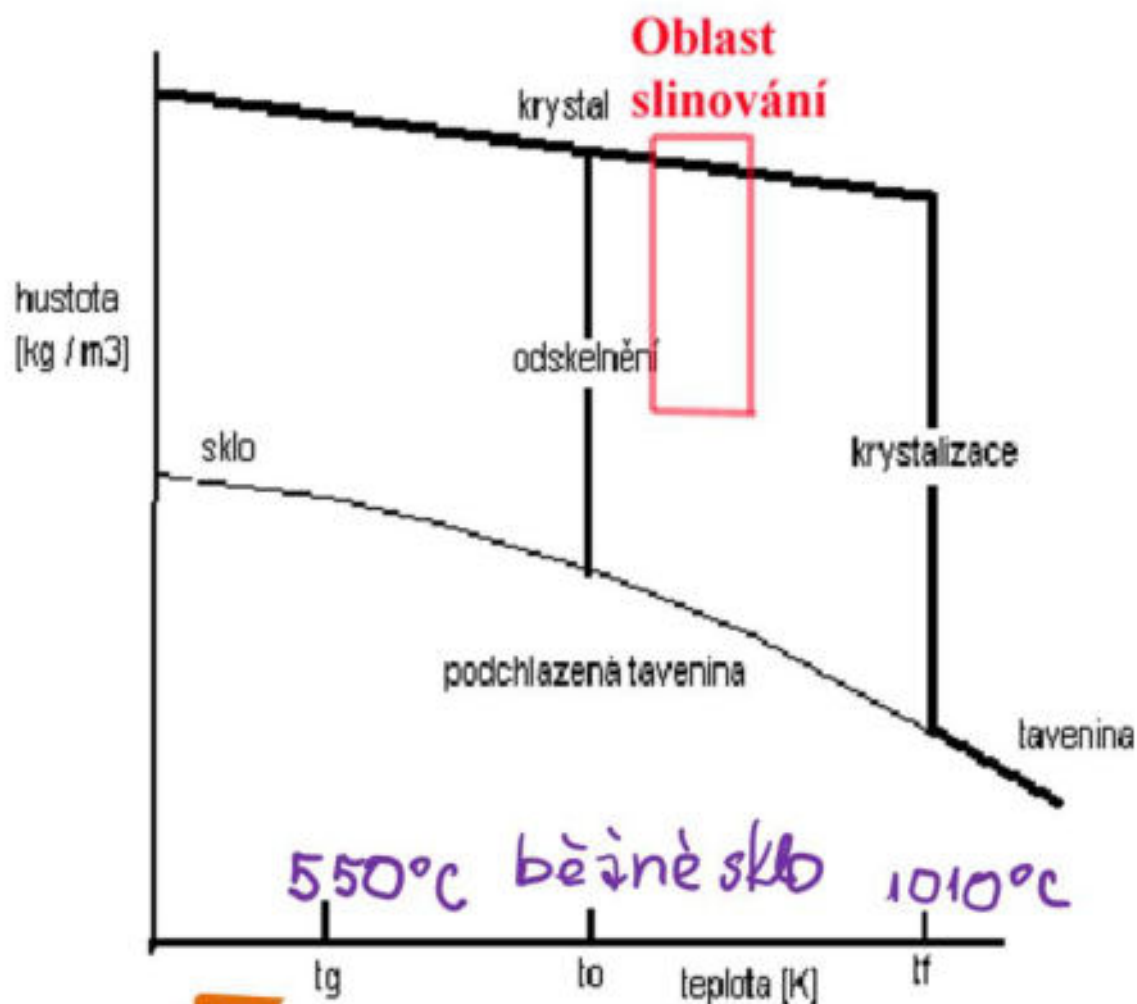
Amorfní  $\text{SiO}_2$



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<sub>g</sub> = teplota skelného přechodu

**SKLA**

Pod teplotou T<sub>g</sub> – křehké chování

Nad teplotou T<sub>g</sub> – viskózní chování

# 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



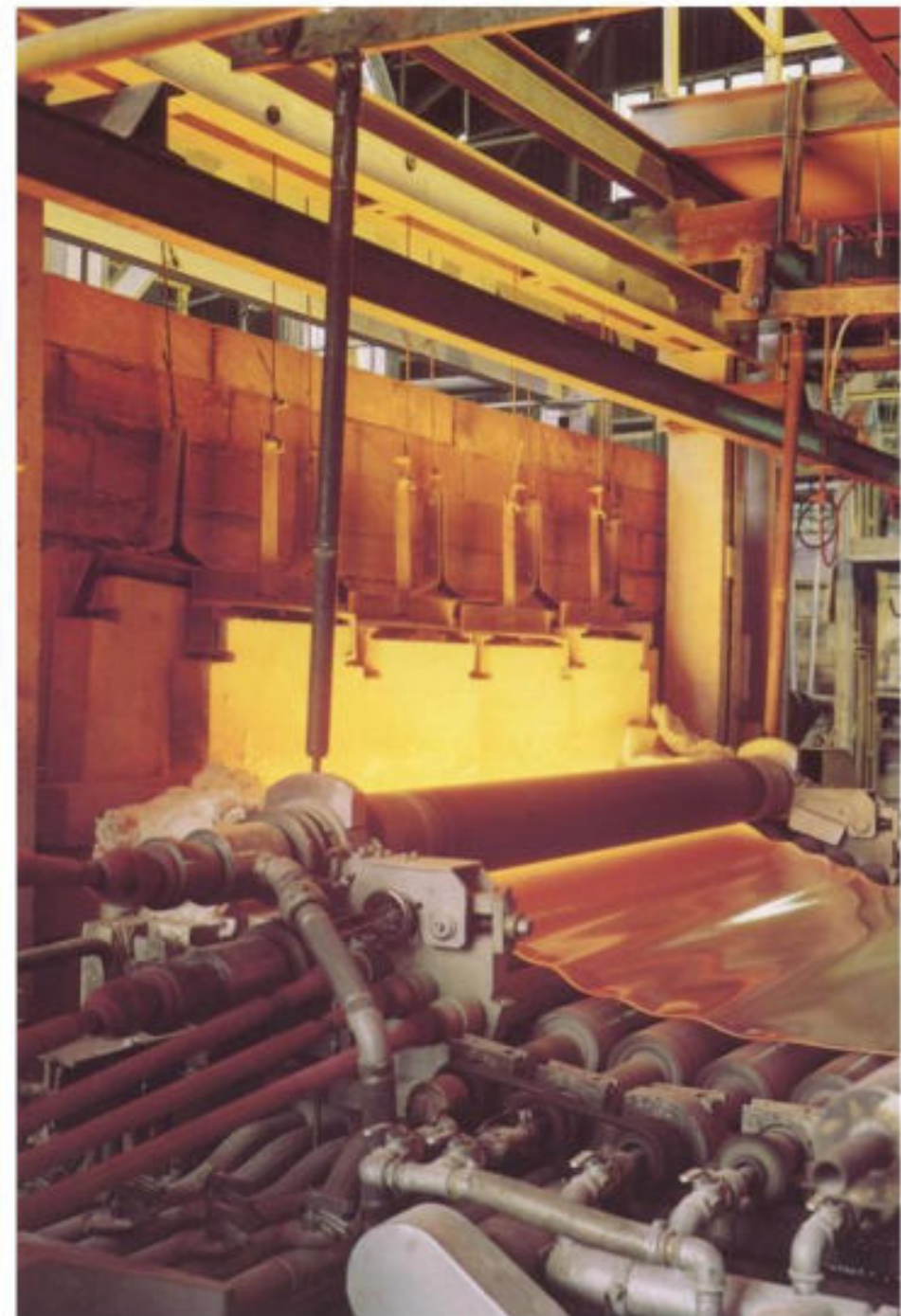
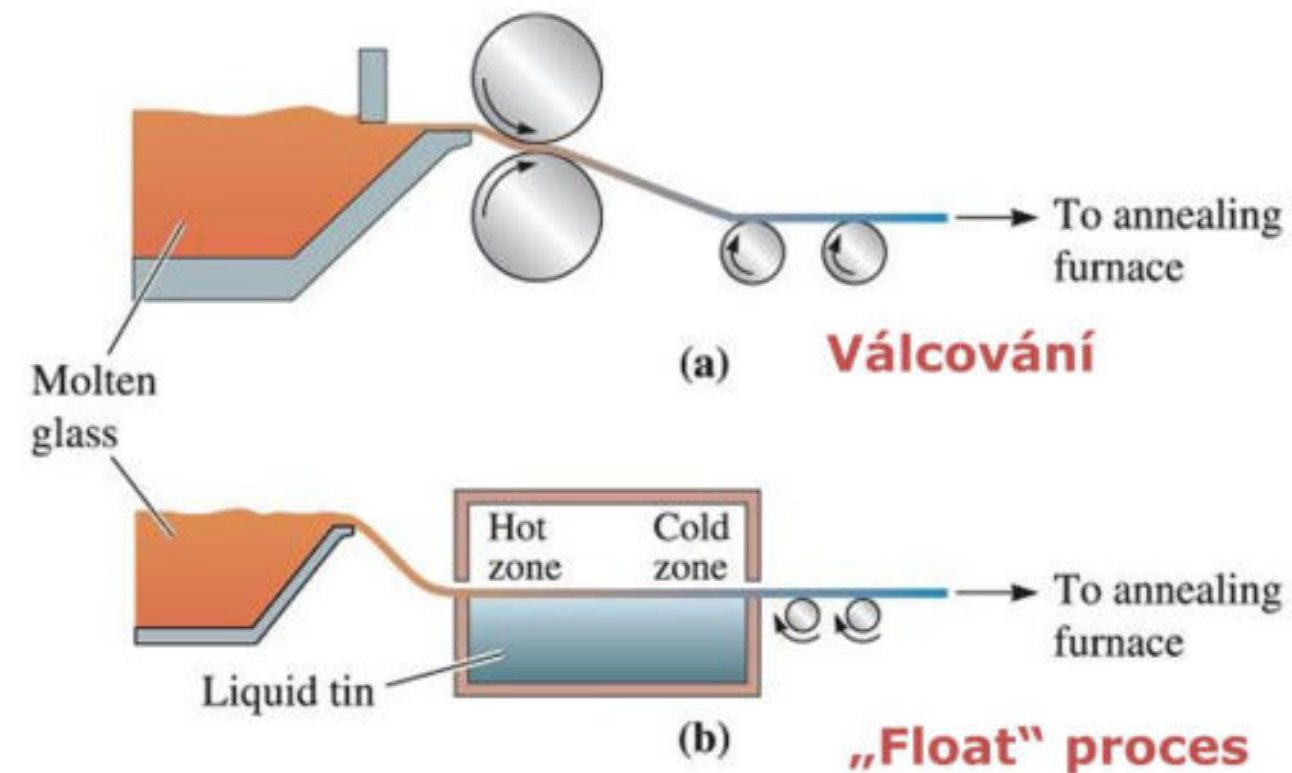
<https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRfBHAH1Ygw2r5ZYfkk73jICKMXNt-UpV7YuXJAajbw00xH-8BF>



[https://mmspektrum.s3.amazonaws.com/mmspektrum/pro-duction/files/2021/03/08/01/37/10/0f91539b-6f65-4f61-b8ef-5f253a51b5bf/trofeje\\_obr\\_01.webp](https://mmspektrum.s3.amazonaws.com/mmspektrum/pro-duction/files/2021/03/08/01/37/10/0f91539b-6f65-4f61-b8ef-5f253a51b5bf/trofeje_obr_01.webp)



# Strojní výroba skla – tabulové sklo

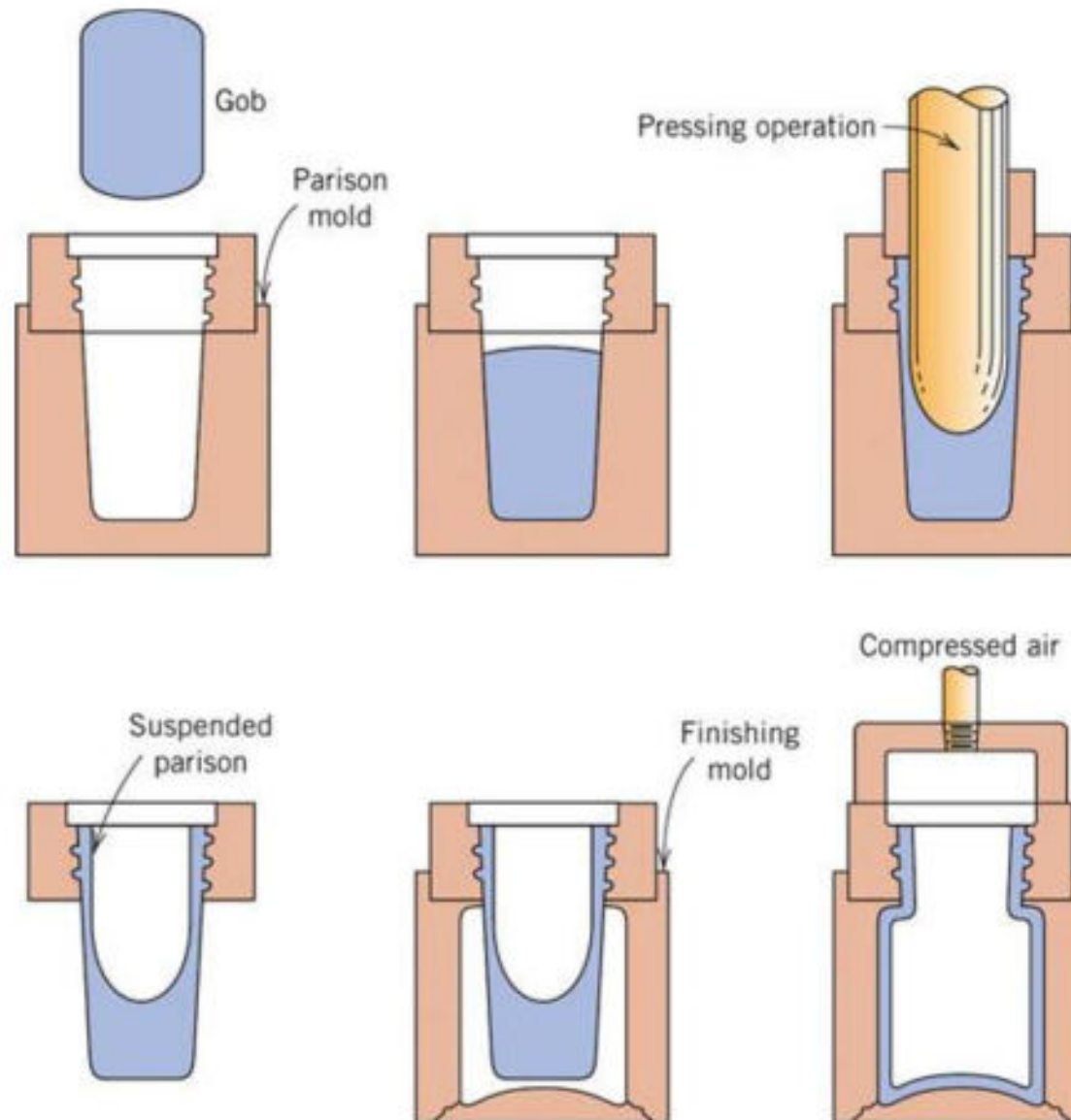


Roztavené sklo plave na roztaveném Sn  
Díky povrchovému napětí se roztáhne po povrchu (jako olejová skvrna na vodě)  
Gravitace a povrchové napětí způsobí, že je horní i dolní povrch skla dokonale rovinný a rovnoběžný.



# Strojní výroba skla – tabulové sklo

## Strojní vyfukování - výroba lahví



# Zvláštní druhy skel – kalené sklo

- Sklo je prudce ochlazeno, tím je vyvoláno vnitřní pnutí
- **Na povrchu je tlak – zvýšená odolnost proti rázům**
- Vznikne-li trhлина, poruší rovnováhu napětí a sklo se rozpadne na **malé neostré kousky**

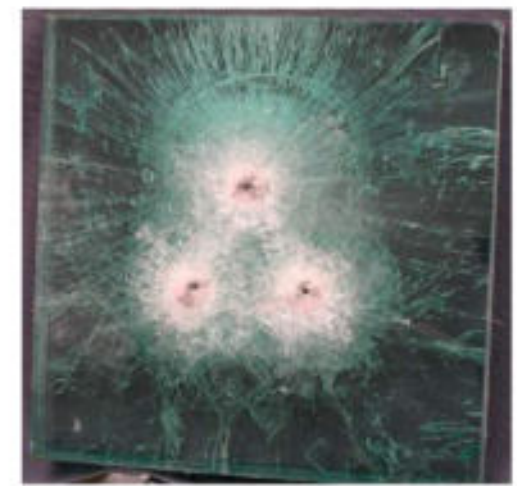


skleničky – durrit, boční skla auto, hokej

<https://imaterialy.cz/wp-content/uploads/files/files/ZZZ201311/hluk-01.jpg>

# Zvláštní druhy skel – vrstvené sklo

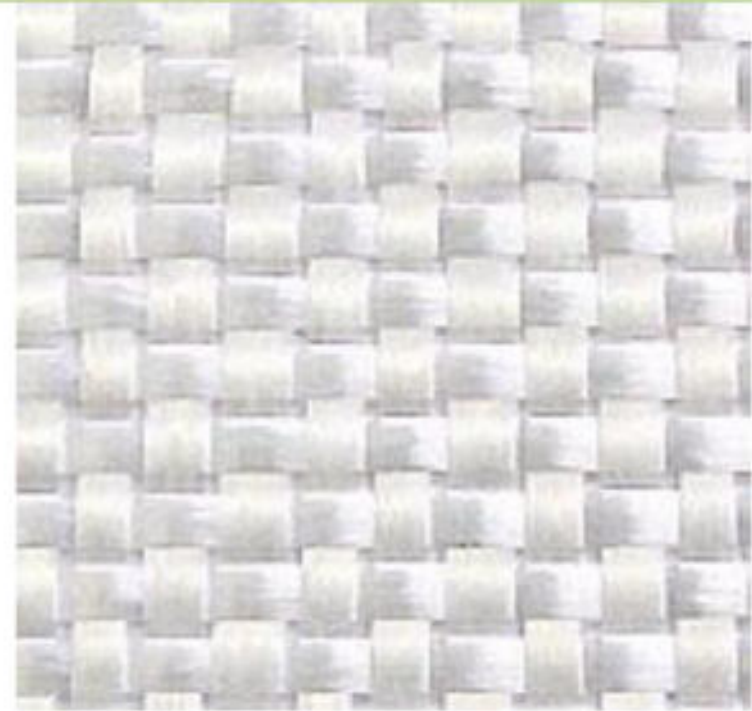
- Plošné spojení dvou či více vrstev plochého skla pomocí plastové fólie.



<https://kalkulackapojisteni.com/povinn-e-ruceni/pojisteni-celniho-skla-vyplati->

# Speciální použití skel

- **Vlákná do kompozitů** - technické tkaniny - velmi často tak zvané E-sklo
- **Glazury na keramiku** – skelný povrch k uzavření pórů. Frita –prášek z rozemletého skla ve vodě na keramiku před výpalem.
- **Smalty (technické)** – chemická ochrana povrchu, sklovina musí dlouhodobě odolávat i tepelným šokům.



## Sklokeramika - s nízkou tepelnou roztažností

= 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 *materiály s jednou z nejvyšších hodnot meze pružnosti*

**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 .

# Vlastnosti kovových skel - závisí typu kovů

- **Vynikající mechanické vlastnosti** – pevnosti i tvrdosti
- **Magnetické vlastnosti** - extrémně magneticky tvrdé či měkké materiály
- **Elektrické vlastnosti** - Elektricky vodivá, s vodivostí menší než kovy, ale některá kovová skla jsou supravodivá
- **Chemické vlastnosti** - výborná korozní odolnost - chemie, chirurgie a biomedicina

## POUŽITÍ

řezné nástroje, pružiny a membrány, tenisové rakety,

- náhrada Fe – Si v trafech, motorech, magnetickém stínění, indikátory zboží, paměti PC, teploměry, ohřívací elementy a přesné stabilní odpory, amorfní supravodiče.
- skalpely, implantáty.

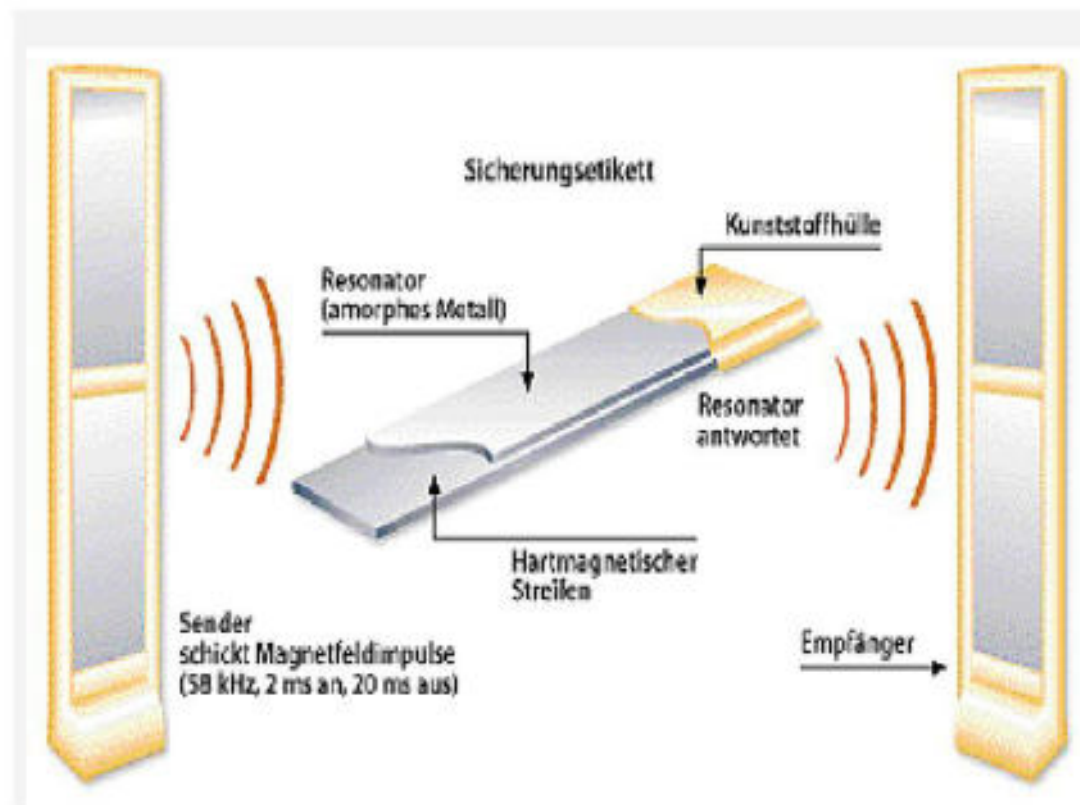
*„Metallic Glasses“ „Liquidmetal“*

# Kovová skla – použití – indikátory zboží



[https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS70pMYckbdYN0j-Ov30SX8xobasCmbPmhMM\\_UNSzp-QW407rUI](https://encrypted-tbn1.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcS70pMYckbdYN0j-Ov30SX8xobasCmbPmhMM_UNSzp-QW407rUI)

<https://adoc.pub/download/kovova-skla-technicka-univerzita-v-liberci-nekovove-material.html>



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



# **GEOPOLYMERY**

# Hliník v oxidované formě – Al – O - Si

## HLINITOKŘEMIČITANY

jílové minerály = aluminosilikáty



### Vývoj GEOPOLYMERNÍCH MATERIÁLŮ

!!! Probíhá výzkum na TUL – KMT!!!!

➤ geopolymerní vazby Si-O-Al

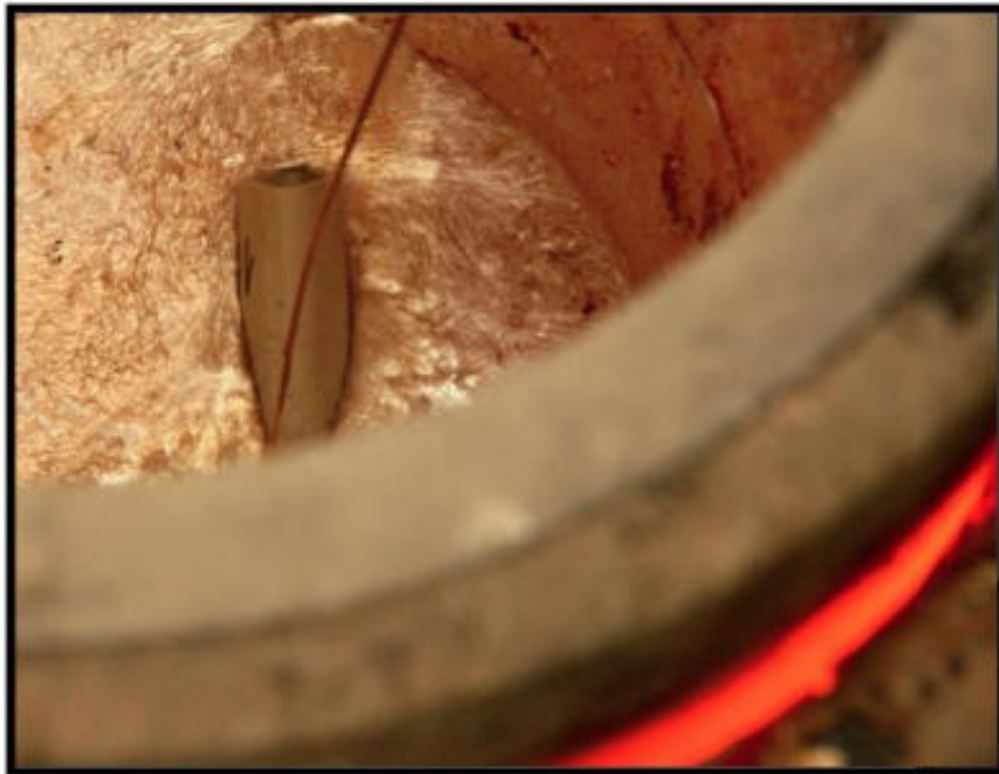
- ✓ Tepelná odolnost do 1100°C
- ✓ Žádné jedovaté zplodiny při požáru
- ✓ Nízká cena



# Hliník v oxidované formě – Al – O - Si

## POUŽITÍ - GEOPOLYMERNÍ MATERIÁL

Slévárny - nálitky



3D tisk

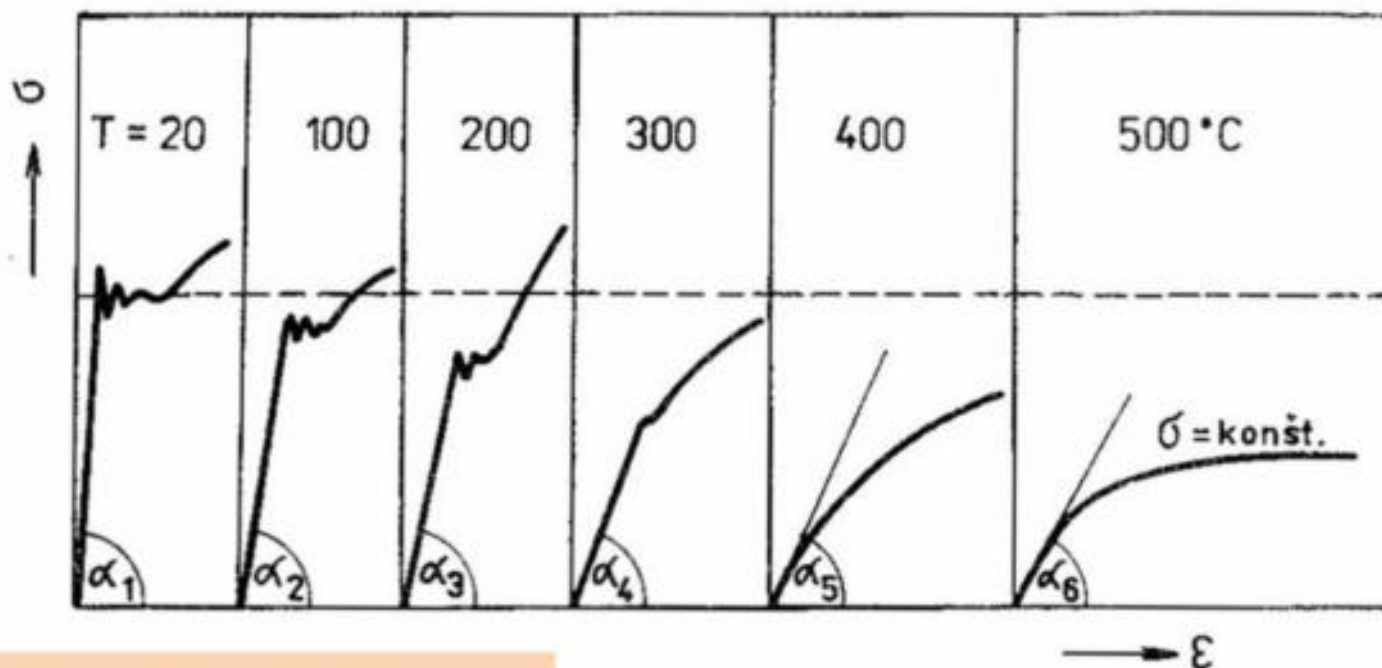


Nehořlavé lamináty



# Proč geopolymerní materiály?

## Nízkouhlíková ocel



[5]

## Beton - teplotní odolnost

nad 300 °C - mikrothliny na ohřivaném povrchu.

**Pevnost betonu se snižuje v rozsahu 15-40 %.**

# GEOPOLYMERNÍ MATERIÁLY

## (geopolymery)



- ✓ **Teplotní odolnost do 1200°C.**
- ✓ **Žádné jedovaté zplodiny při požáru.**
- ✓ Snadná výroba při pokojové teplotě.
- ✓ Vysoká pevnost v tlaku (přes 60 MPa).
- ✓ **Nízká cena.**
- ✓ **Ekologie – nízké emise CO<sub>2</sub>.**

### Použití

- Požární ochrana
- Slévárenství
- Tepelná technika
- Dopravní průmysl
- Sklářský průmysl
- Stavebnictví
- Umění

 Alkalita produktů

# Historie geopolymerních materiálů

Prof. Davidovits hypotéza – Pyramidy?

1958 - Prof. Gluchovskij  
„Gruntosilikáty“

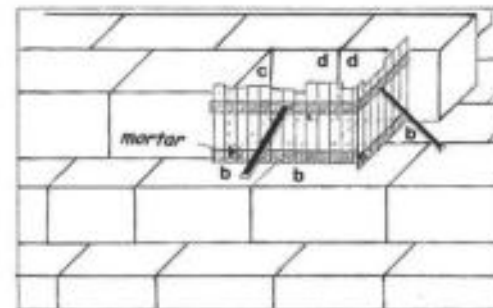
1972 - Prof. Davidovits  
„Geopolymery“



kontroverzní teorie

## Výzkum dnes

Rusko, Francie,  
Česko, Španělsko,  
Austrálie, USA



stavba pyramid



# **GEOPOLYMERNÍ MATERIÁLY**

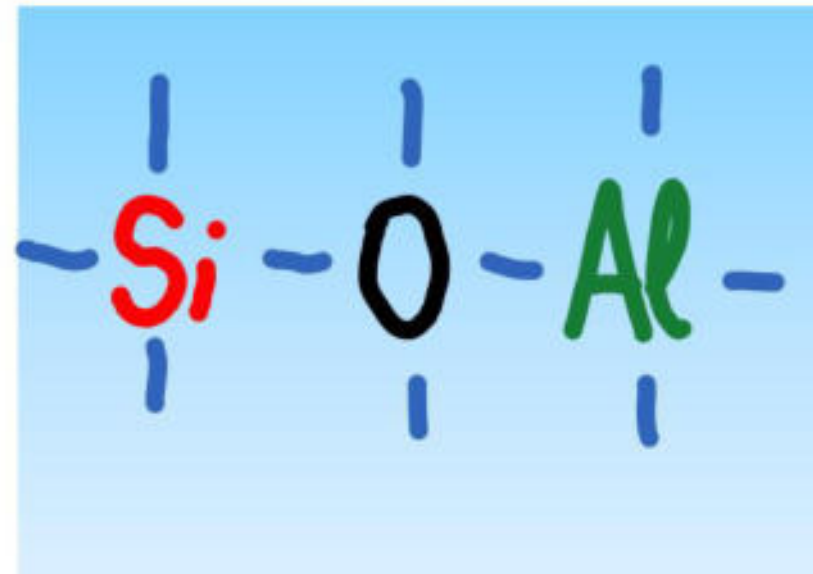
---

**neboli GEOPOLYMERY**  
**= materiály na bázi geopolymerního pojiva**

# GEO|POLYMERNÍ - pojivo



Anorganické polymery



- **Anorganický polymerní materiál připravovaný alkalickou aktivací hlinitokřemičitanů**
- Geopolymerace – formování polymerních vazeb Si-O-Al
- Struktura - vzájemné spojení **tetraedrů  $\text{SiO}_4$  a  $\text{AlO}_4$**  → přebytek záporného náboje - kompenzován alkalickými kationty, nebo kationty alkalických zemin

# **Příprava Geopolymerních kompozitů = Alkalicky aktivovaných aluminosilikátů**

---

= Anorganický polymerní materiál připravovaný alkalickou aktivací hlinitokřemičitanů

**Základ: prvky Al - Si - O (+ K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>...)**

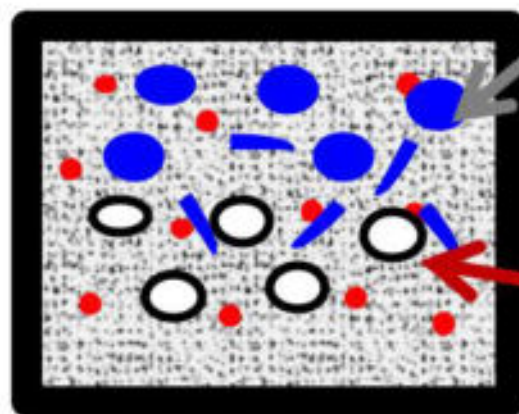
# I. Alkalicky aktivované aluminosilikáty

Kalcinace  
hlinitokřemičitanu  
(Kaolin, Lupek)  
při 750 °C

Rozpuštění v silné  
alkalii  
pH14

Polykondenzace za LT do  
3D polymerní sítě Al-Si-  
O  
=GEOPOLYMERACE

Složité  
kompozitní  
systém



pojivo  
(do 1200°C)

+  
aditiva

+  
PLNIVO



# GEOPOLYMERNÍ KOMPOZITY

Geopolymerní kompozit

Geopolymerní pojivo (matrice)

**Pevná složka**

**Kapalná složka**

**Plnivo (výztuž)**

**Přísady**

Suroviny s  
**metakaolinitem**  
Metakaolin  
„Metalupek“ (ČR)  
Strusky  
Silika  
Popílek

**KOH**  
**NaOH**  
**Vodní sklo**  
(vodný roztok  
křemičitanu  
draselného nebo  
sodného  
 $K_2SiO_3 \cdot yH_2O$ )

Písek  
Šamot  
Korund  
Perlit  
Vermikulit  
C vlákna  
Technické textilie  
Odpadní látky  
atd.

Al prášek  
Pigmenty

# POSTUP PŘÍPRAVY



Mísení 3-5 min

GP pojivo

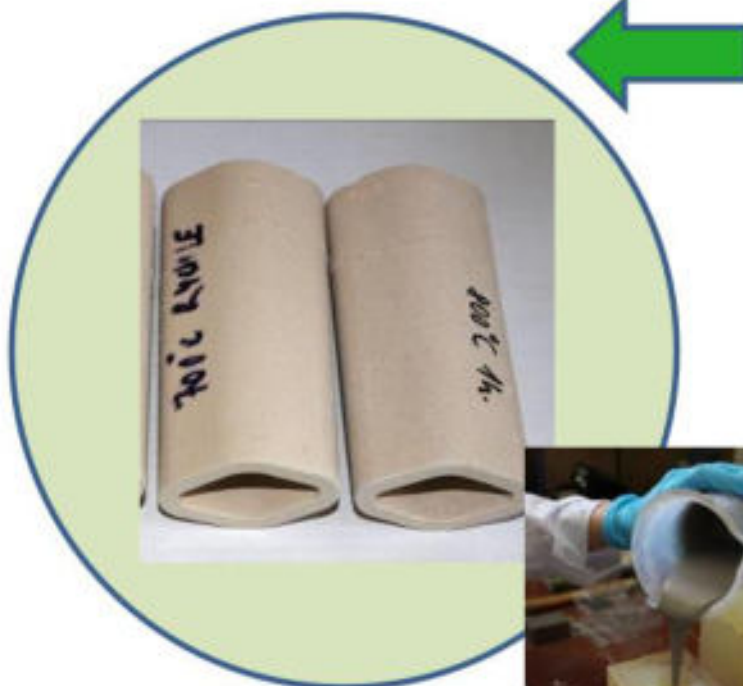
Plnivo

Aditiva

Mísení 3-5 min

ZPRACOVÁNÍ DO  
VÝROBKU

60 – 80 °C



# TYPY GP PRO RŮZNÉ TECHNOLOGIE VÝROBY

**Geopolymery v  
čerstvém stavu:**



**Způsob přípravy  
výrobku:**

I. „Tekuté“ geopolymery

II. „Sypké“ geopolymery

III. Geopolymery s plastickými  
vlastnostmi

IV. Geopolymery pro lamináty

1. Lití (nejčastější způsob)

2. Nástřiky, vstřikování

3. Dusání

4. Tváření lisováním

5. Extruze

6. Ruční tvarování

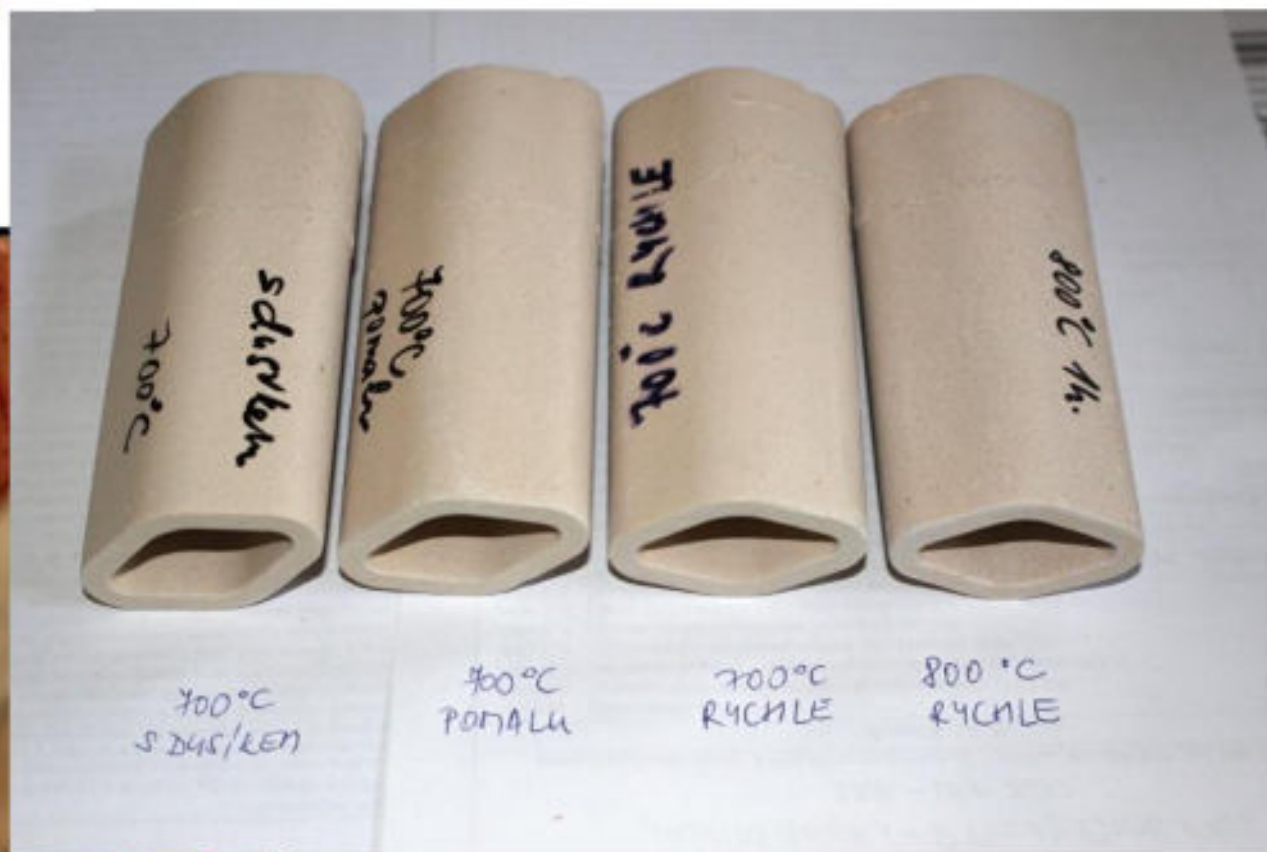
7. 3D tisk

8. Laminace

# Lité geopolymery



**Slévárství, Stavebnictví, Požární technika, Tepelná technika, Umění**



# Plastické Geopolymery

3D-tisk, ruční modelování, válcování, extruze...



# Plastické Geopolymery

3D-Tisk Direct Ink Writing, ruční modelování, válcování, extruze...



# Dusané GP pro restaurování

## Žárovzdorné lamináty



## Geopolymery

- Vznikají alkalickou aktivací hlinotokřemičitanů.
- Jsou založeny na polymerní síti obsahující Al-Si-O.
- Existuje velké množství geopolymerních kompozitů s různým chováním v surovém stavu zpracovávaných různými technologiemi pro různé aplikace.
- GP mají odolnost teplotám do cca 1200 °C.
- Nevyvíjejí jedovaté zplodiny.



# **STAVEBNÍ HMOTY**

# STAVEBNÍ HMOTY

Základem většiny anorganických pojiv jsou práškovité látky minerálního původu, které se do kašovitě podoby převádějí smísením s vodou. Jejich hlavní složka se získává tepelným zpracováním vhodné přírodní horniny nebo minerální směsi.

Stavební anorganická **pojiva**



**Plniva, přídavky, přísady**



**Vzdušná pojiva**

- Vápno
- Vápenosíranová pojiva (sádra)
- Ostatní vzdušná pojiva



říční písek, kopaný písek, smíšená plniva, druhotné odpadní hmoty (cihelná drť, popílek, struska, sláma, plevy atd.)



**Hydraulická pojiva**

- Hydraulické vápno
- Cementy
- Geopolymery



# STAVEBNÍ HMOTY

Základem většiny anorganických pojiv jsou práškovité látky minerálního původu, které se do kašovitě podoby převádějí smísením s vodou. Jejich hlavní složka se získává tepelným zpracováním vhodné přírodní horniny nebo minerální směsi.


Stavebních anorganická **pojiva** + **Plniva, přídavky, přísady**  
**Vzdušná pojiva**

K dokonalému vytvrzení vzdušných pojiv dochází pouze na vzduchu. Ani dokonale vytvrzená vzdušná pojiva nejsou vůči vodě zcela odolná.

## Hydraulická pojiva

Hydraulická pojiva jsou schopná dosáhnout trvalé pevnosti i ve vodě.

## Vápno vzdušné

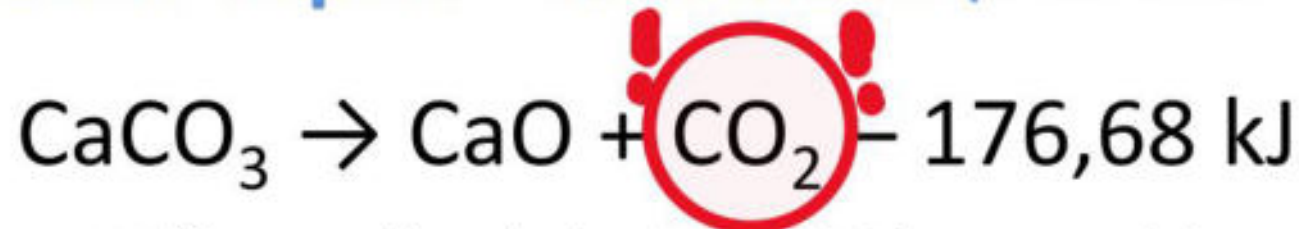
- Skládá se převážně z oxidu nebo hydroxidu vápenatého (hm.  $\text{CaO} + \text{MgO} > 70\%$ ).
  - **Tuhne i tvrdne pouze na vzduchu**
  - **Surovina – čistý vápenec** – hornina tvořená kalcitem ( $\text{CaCO}_3$ ) znečištěná jílovými minerály a dolomitem ( $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ).
-  vypaluje v rotačních nebo šachtových pecích při **1050 - 1250°C**.

Vápno nejvyšší kvality se získá pálením čistých praných vápenců.

Vlastnosti vápna závisí na teplotě výpalu, ovlivňuje jeho:

- Aktivitu
- rychlost hašení
- vydatnost
- plasticitu.

**Pálení vápna – kalcinace** (dekarbonatací uhličitanu vápenatého)



- Měkce pálené do 1050 °C (pro omítkové malty)
- Tvrdě pálené nad 1050 °C (pro porobeton)

**Hašení vápna = hydratační reakce za uvolnění tepla**



- mokré – přebytek vody
- suché – jen malý přebytek vody nad vypočítaný stechiometrický poměr

*vápený hydrát* ✓

**Karbonatace** = zpevňovací proces vzdušného vápna, vzniká nerozpustný uhličitan vápenatý. Smí proběhnout až po použití!



## Použití vzdušného vápna

- stavební pojivo
- zdicí a omítkové malty
- maltové směsi
- menšinová složka dalších pojiv
- přidává se i do cementu pro zdění
- výroba vápenopískových cihel
- výroba autoklávovaného pórobetonu
- vápenné mléko se stále používá k vnitřním i venkovním nátěrům - desinfekční účinek vápenného nátěru způsobený jeho silnou alkalitou.



## Hydraulické vápno

- Výroba z jílovitých vápenců (vápencové slíny), obsahující kromě CaO také větší obsahy hydraulických oxidů.
- Výpal pod 1250 °C s následným hašením na prach
- Silně hydraulická vápna se svými vlastnostmi se podobají cementům.
- Z dovozu (Francie) = románský cement (prompt natural cement) přípravě exklusivních omítek, které jsou velmi odolné proti atmosférickým vlivům a krystalizaci solí= velmi rychlé pojivo s dobou počátku tuhnutí 2- 20 minut.
- **Tuhne většinou i pod vodou, po ztuhnutí není ve vodě rozpustné**

## Hydraulické vápno - použití

- hlavně v maltách
- betony nižší třídy
- suché maltové směsi na vnější omítky
- vápenné malty pro zdění
- v současné době se u nás hydraulické vápno nevyrábí, což nesou nelibě zejména památkáři
- pro restaurátorství - hydraulické vápno z dovozu
- v běžné stavební praxi se hydraulické vápno nahrazuje cementem nižší třídy



**Sádra = polohydrát  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$  síranu vápenatého**

Sádra patří k nejstarším pojivům, které lidstvo používá. Znali a používali ji již staří Egypťané a Asyřané.

**Surovina – přírodní sádrovec (dihydrát síranu vápenatého  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )** vznikl vypařováním slané vody v uzavřených mořích a jezerech

Výroba sádry dehydratací  
sádrovce pomocí  
kalcinace

*minerál s malou pórovitostí, 2 300 kg/m<sup>3</sup>, 40-45 MPa v tlaku, tvrdost podle Mohsovy stupnice 1,5-2, vysoká rozpustnost ve vodě 0,256g ve 100 g vody při 20°C*



## Sádra

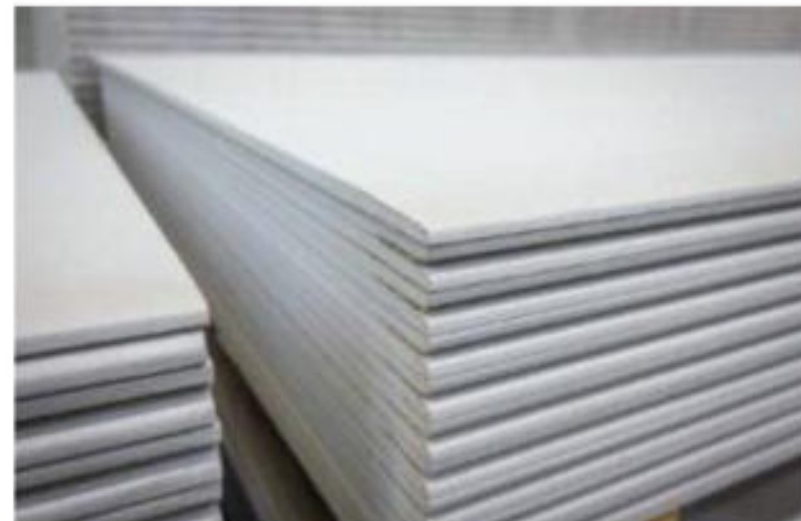
- Sádro vsypeme vždy **DO vody**, za stálého míchání vzniká kaše
- Počátek tuhnutí závisí na teplotě rozkladu sádrovce, čím vyšší teplota, tím pomaleji tuhne
- Tuhnutí sádry je provázeno **nárůstem objemu**

## Úprava vlastností

- urychlovače tuhnutí ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{NaSO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )
- zpomalovače tuhnutí (látky, zpomalující tvorbu krystalizačních zárodků, látky povrchově aktivní – např. klíž, keratin, kyselina citrónová, melasa) – pozor velmi snižují pevnost ohybem!

## Sádra použití

- stavební sádra - stavební dílce, omítky, štukatérské výrobky, sádrokarton
- technická sádra - stavebnictví i mimo např. modelová sádra v keramickém průmyslu či slévárenství pro výrobu sádrových forem
- modifikovaná sádra = s přísadami pro zlepšení zpracovatelnosti, přilnavosti apod.
- sádrová pojiva = sádra s přídavkem jiných pojiv a další



## Silikátový Cement

- vyrábí se v podstatě ze stejných surovin jako silně hydraulické vápno

**ALE - vysokoteplotním výpalem na cca 1 300 až 1 400 °C.**

- Kromě vápencových slínů (jílovitých vápenců) + další suroviny obohacující vápencovou složku o hydraulické oxidy.
- Obsah uhličitanu vápenatého cca 77 % z hmotnosti celé minerální násady.

**= anorganické pojivo s velmi výraznou hydraulitou!!!**

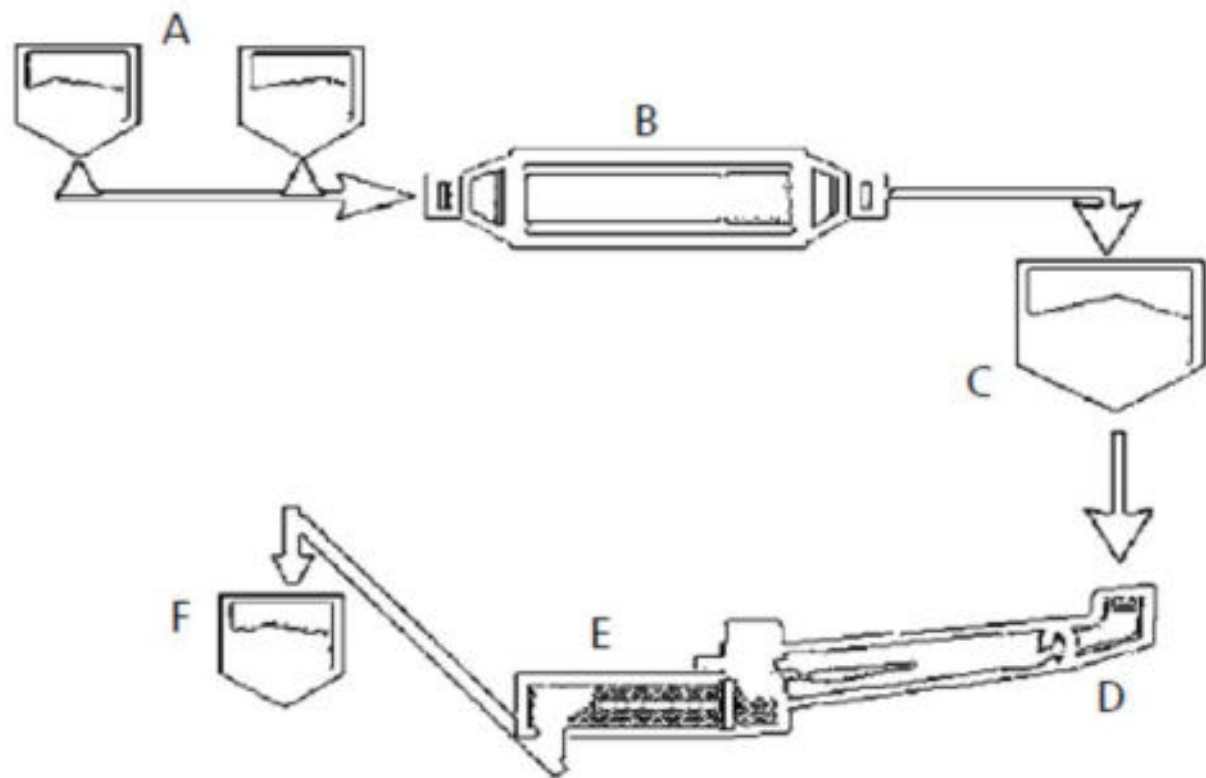
**Po smíchání s vodou vytváří kaši, která tuhne a tvrdne i pod vodou.**

Po zatvrdnutí si i ve vodě zachovává svoji pevnost a objemovou stálost. Silikátový cement je zdaleka nejběžnějším typem cementu pro všeobecné použití a slovo silikátový se proto v názvu obvykle vynechává.

## Výroba Cementu

- V kontinuálně pracujících rotačních pecích  
(dříve v pecích šachtových)

SLÍNEK → DRČENÍ + SÁDROVEC → JEHNĚ MLETÍ



PORTLANDSKÝ CEMENT

Linka na výrobu cementového slínku A – surovinová sila, B – homogenizační mlýn, C – zásobník na surovinovou směs, D – rotační pec, E – chladič slínku, F – slínkové silo

## Silikátový Cement

Základní druhy cementu podle ČSN EN 197-1 *Tab. 4.65*

Druh cementu	Slovní označení druhu
CEM I	portlandský cement
CEM II	portlandský cement směsný
CEM III	vysokopeční cement
CEM IV	pucolánový cement
CEM V	směsný cement

## Hlinitanový Cement

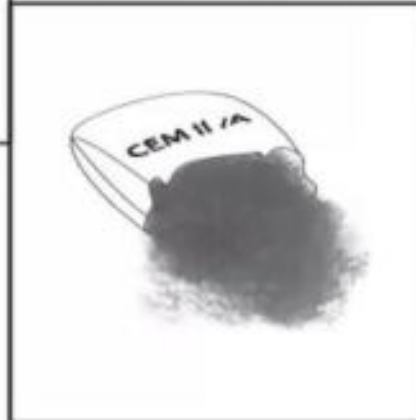
obsahuje více než 35 %  $Al_2O_3$ , vyrábí se pálením suroviny složené z bauxitu a vápence. – Pro žáruvzdorné výrobky – krby  
POZOR – časovaná pevnost

## BETON složení

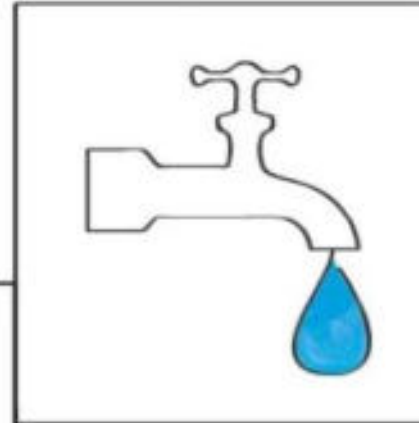
KAMENIVO **75%**



CEMENT **13,4%**



VODA **7,7%**



PŘÍSADY **0,1%**



PŘÍMĚSI **3,4%**



- Smícháním cementu s vodou se nastartuje chemická reakce — hydratace.

- Cement s vodou působí v betonu jako pojivo. Beton pak postupně tuhne a tvrdne.

SLOŽENÍ BETONU

- Pucolánové příměsi do malt a betonů - nahrazují část cementu
- Pucolánové přísady zajišťují hydraulicitu pojiv.

**Přírodní Pucolán** - je jemný písečný sopečný popel využívaný od starověku jako hydraulické pojivo do malt a betonů. Jde o vulkanický hlinitokřemičitan.

**Technický Pucolán** – pálené jíly, lupky, (metakaolin), popílký, siliky

## Pucolánová aktivita

Pucolánová aktivita je schopnost pucolánů reagovat s hydroxidem vápenatým  $\text{Ca(OH)}_2$  a vodou. Určují se tak pojivé vlastnosti.



## Další stavební hmoty

- ✓ Sklo
- ✓ Kovy

již probháno ☺

- Přírodní kámen, dřevo...
- Plasty
- Minerální vlna a technické textilie
- Atd.

v příštích přednáškách



**DĚKUJI ZA POZORNOST**

---