

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: Geopolymery a stavební materiály**

doc. Ing. Pavlína Hájková, Ph.D.

Cíl přednášky

Cílem přednášky je seznámit studenty s materiály na bázi geopolymerů. Studenti se seznámí s historií geopolymerů, složením, surovinami i postupem výroby. Budou probrány základní typy geopolymerních kompozitů a jejich využití v různých oblastech. Ve druhé části přednášky se studenti seznámí také se základními stavebními materiály a vlivem těchto materiálů na emise CO₂.

Obsah

1. Úvod, příklady z praxe
2. Proč geopolymerní materiály?
3. Vlastnosti geopolymerních materiálů.
4. Geopolymerní pojivo, jeho struktura a příprava.
5. Geopolymerní kompozity, způsob přípravy.
6. Typy geopolymeryů pro různé technologie a jejich aplikace.
7. Geopolymerní lamináty.
8. Stavební materiály.



Křehké materiály – anorganické nekovové materiály

Převážně z anorganických látek a sloučenin

Nemají kovové vazby
(mají iontové nebo kovalentní)

Tradiční Keramika	Pokročilá keramika (konstrukční)	Skla
Krystalická Struktura (převážně)	Krystalická Struktura (převážně)	Amorfní Struktura (převážně)
Porézní (až 10-15%)	Nízkoporézní nebo neporézní	Neporézní
Z přírodních surovin	Ze syntetických surovin	Z přírodních surovin

Geopolymery	Stavební materiály
Geopolymerní vazby pojivo + plnivo	Chemické vazby pojivo + plnivo
Krystalická Struktura	Krystalická Struktura
Porézní	Porézní
Z přírodních i syntetických surovin	Z přírodních i syntetických surovin

Křehké materiály – anorganické nekovové materiály

← Převážně z anorganických látek a sloučenin

→ Nemají kovové vazby
(mají iontové nebo kovalentní)

Tradiční
Keramika

Oxidická
(SiO_2 , Al_2O_3)

základ jílové
suroviny

- Porcelán
- Hrnčířská
- Žáruvzdorná
- Obklady
- Sanitární
- Stolní
- Cihly
- Kamenina

Pokročilá
keramika
(konstrukční)

Oxidická

- Korundová
- Zirkonová

Neoxidická

- Karbidy
- Nitridy
- Boridy
- Na bázi C

Řezné nástroje
Biokeramika, Tenké vrstvy,
DLC, grafen, fuleren..
Ker. pro elektrotech.

Skla

Oxidická

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

Kovová

- Kovová skla

Geopolymery

- GP kompozity
- Hutné GP
- Pěněné GP
- „Plastické“ GP
- GP dusané
- GP pro 3D tisk

Stavební
materiály

- Beton
- Malta
- Sádra

3. Umělec si vymyslí dílo z litého dřevého kamene s využitím tvarů řetězovky a nechce na dílo sahat rukama
4. Problém: Architekt požaduje dům nezvyklých rozměrů co vydrží požár
5. Problém: Hoří nám laminátové karosérie při havárii

**Řešení – využití materiálů na bázi
geopolymerních pojiv
(alkalicky aktivovaných
aluminosilikátů)**

Proč geopolymerní materiály?



Obr. 1 Požár letadla [1]

[1]

Proč geopolymerní materiály?

Londýn - Požár Grenfell
Tower 2017



Obr. 2 Požár Grenfell Tower [2]

Podstatné bylo šíření plamenů
vnějším **obložením budovy**.

Materiálové
vlastnosti:

- přispívá hoření
- je samozhášivý
- nehořlavý

Proč geopolymerní materiály?



Obr. 3 Požár v 2018 – Sao Paolo [3]

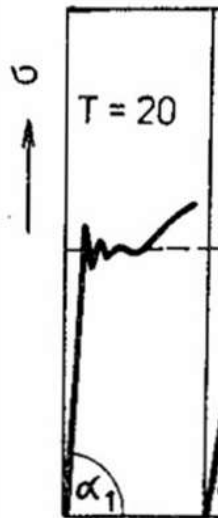
V požářišti cca 800 °C

Sao Paolo 2018 požár –
zřícení 24 patrového domu

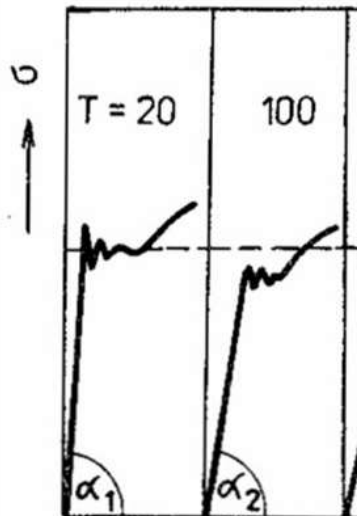


Obr. 4 Zřícení 24 patrové budovy v Sao Paolu [4]

Nízkouhlíková ocel

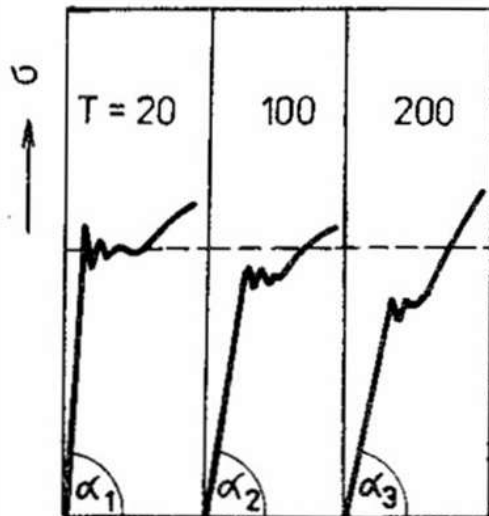


Nízkouhlíková ocel

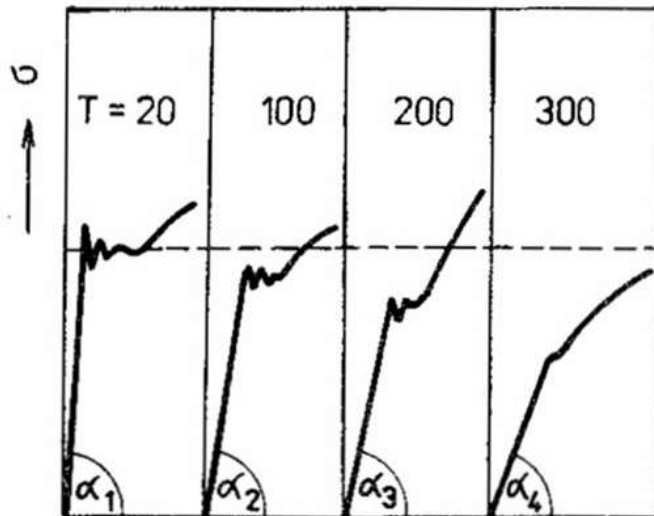


Proč geopolymerní materiály?

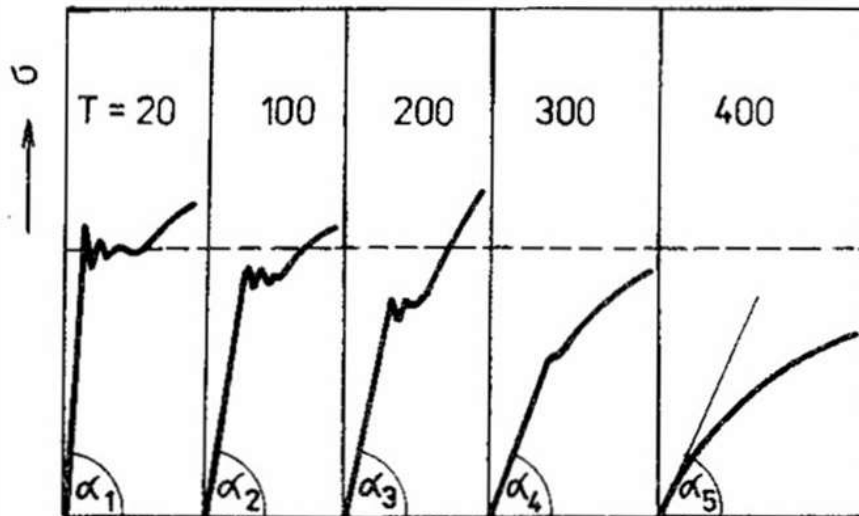
Nízkouhlíková ocel



Nízkouhlíková ocel

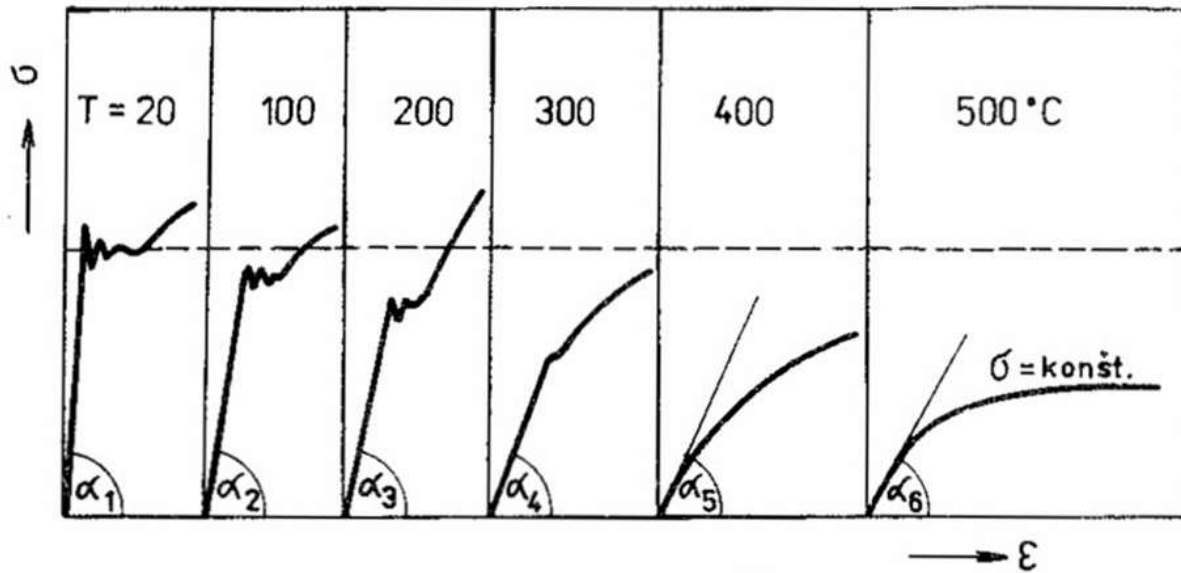


Nízkouhlíková ocel



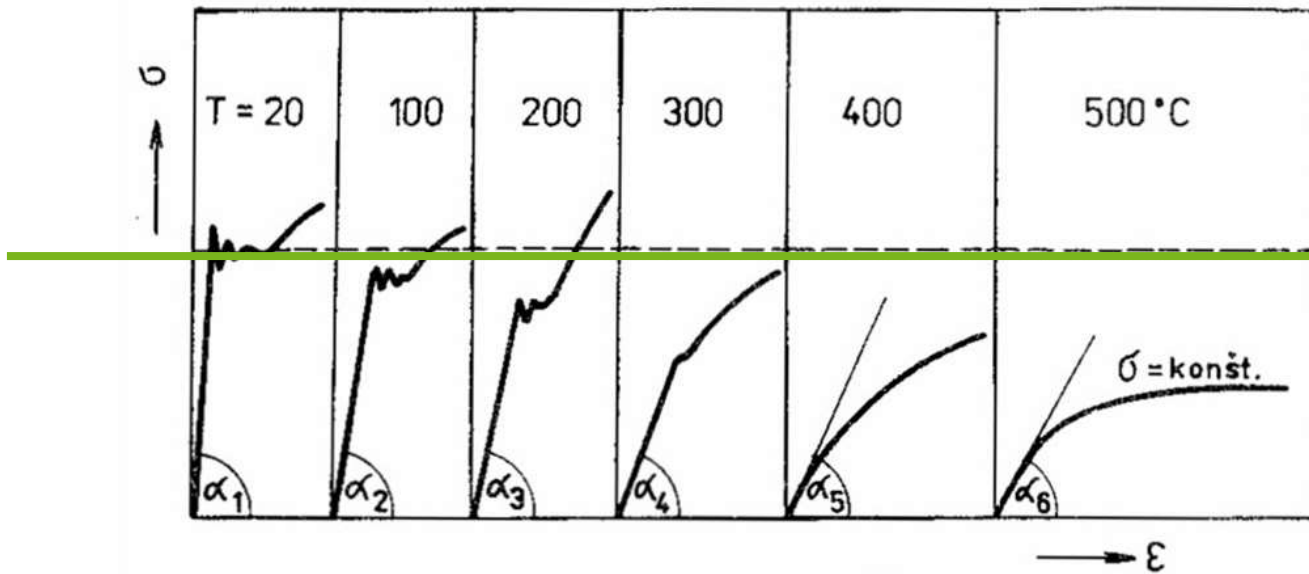
Proč geopolymerní materiály?

Nízkouhlíková ocel



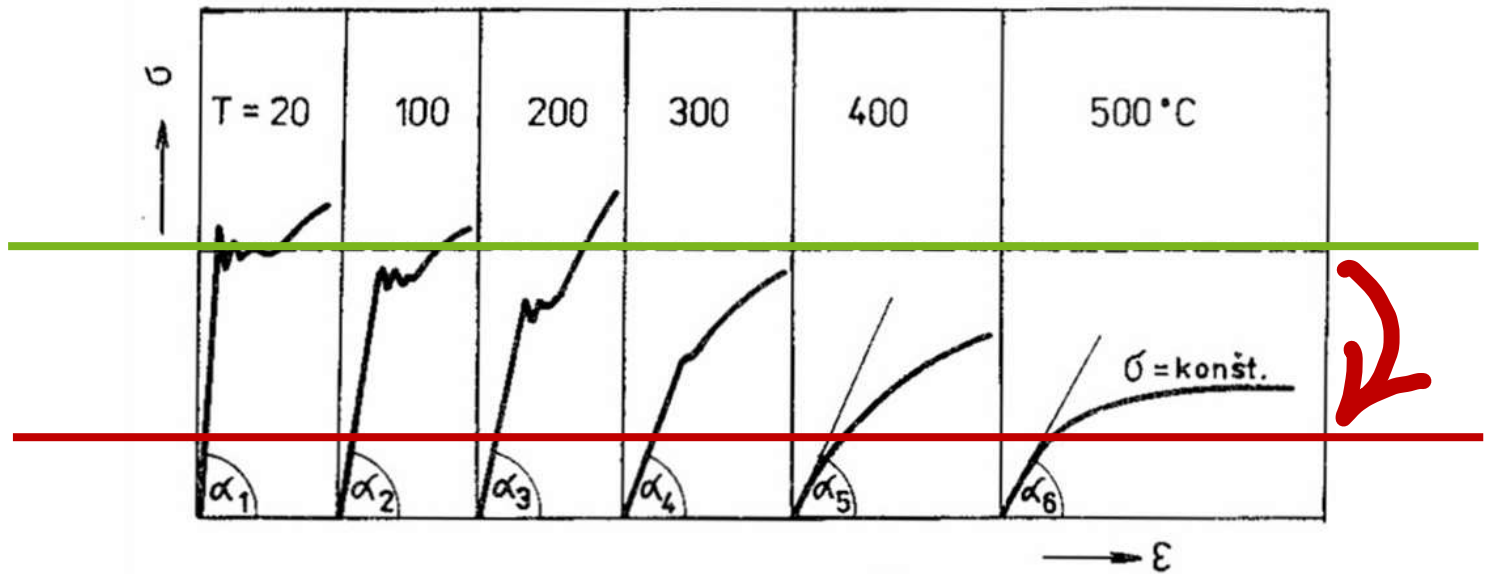
Proč geopolymerní materiály?

Nízkouhlíková ocel

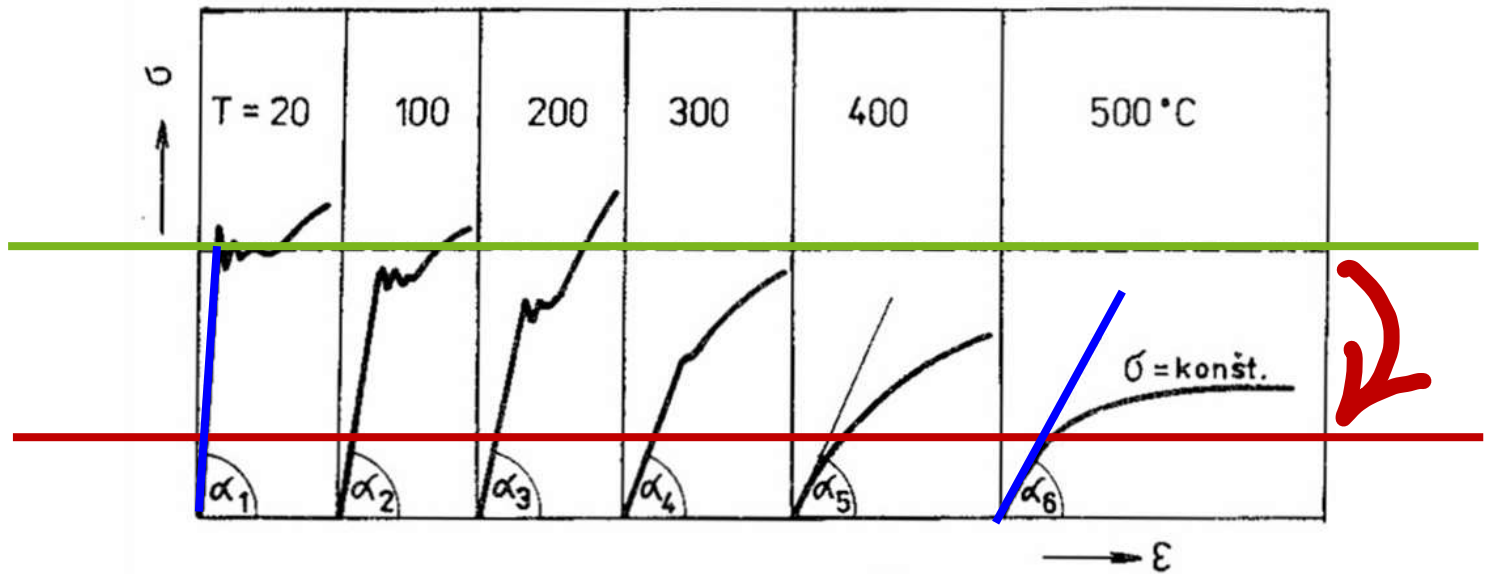


Proč geopolymerní materiály?

Nízkouhlíková ocel

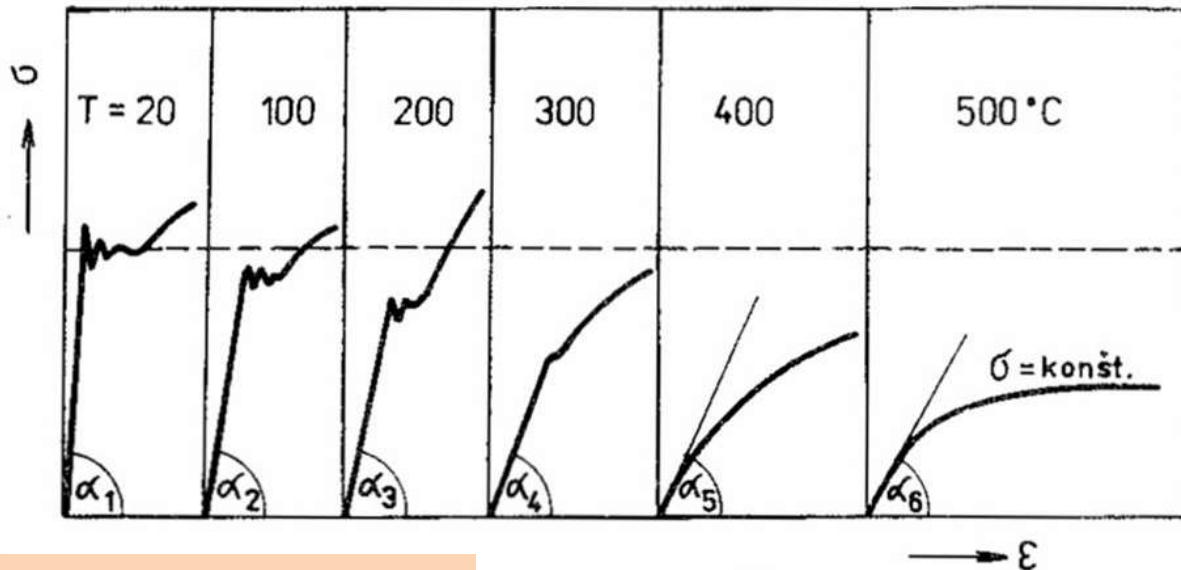


Nízkouhlíková ocel



Obr. 5 Vliv teploty na tahový diagram oceli [5]

Nízkouhlíková ocel



[5]

Beton - teplotní odolnost

nad 300 °C - mikrothliny na ohřivaném povrchu.

Pevnost betonu se snižuje v rozsahu 15-40 %.

GEPOLYMERNÍ MATERIÁLY

(geopolymery)



- ✓ **Teplotní odolnost do 1200°C.**
- ✓ **Žádné jedovaté zplodiny při požáru.**

GEOPOLYMERNÍ MATERIÁLY



- ✓ Teplotní odolnost do 1200°C.
- ✓ Žádné jedovaté zplodiny při požáru.

GEOPOLYMERNÍ MATERIÁLY



- ✓ **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 CO₂.**

— Alkalita produktů

GEPOLYMERNÍ MATERIÁLY



(geopolymer)

Použití

- ✓ **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 CO₂.**

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

Alkalita produktů

Historie geopolymerních materiálů

Prof. Davidovits hypotéza – Pyramidy?

1958 - Prof. Gluchovskij
„Gruntosilikáty“

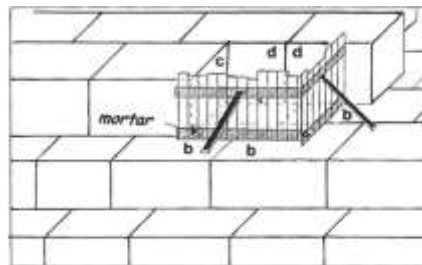
1972 - Prof. Davidovits
„Geopolymery“



Obr. 6 kontroverzní teorie [6]

Výzkum dnes

Rusko, Francie,
Česko, Španělsko,
Austrálie, USA



Obr. 7 stavba pyramid [7]

GEOPOLYMERNÍ MATERIÁLY

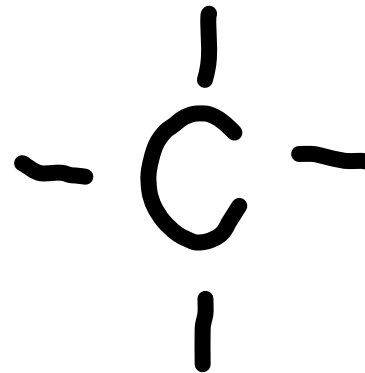
neboli GEOPOLYMERY
= materiály na bázi geopolymerního pojiva

GEO | POLYMERNÍ - pojivo

C

Organické polymery

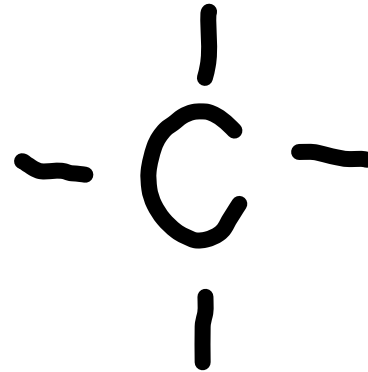
GEO | POLYMERNÍ - pojivo



Organické polymery

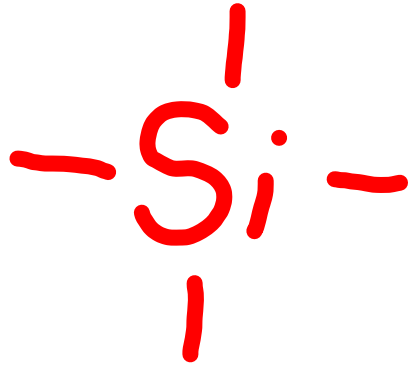
GEO | POLYMERNÍ - pojivo

Si

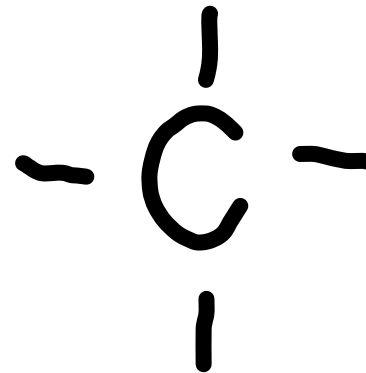


Organické polymery

GEO | POLYMERNÍ - pojivo

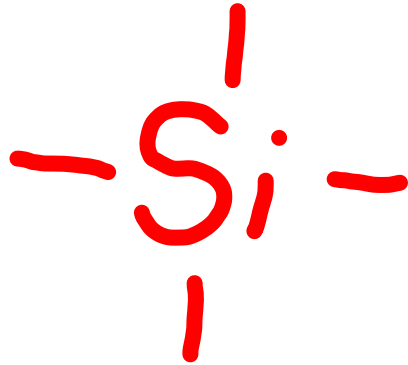


Anorganické polymery

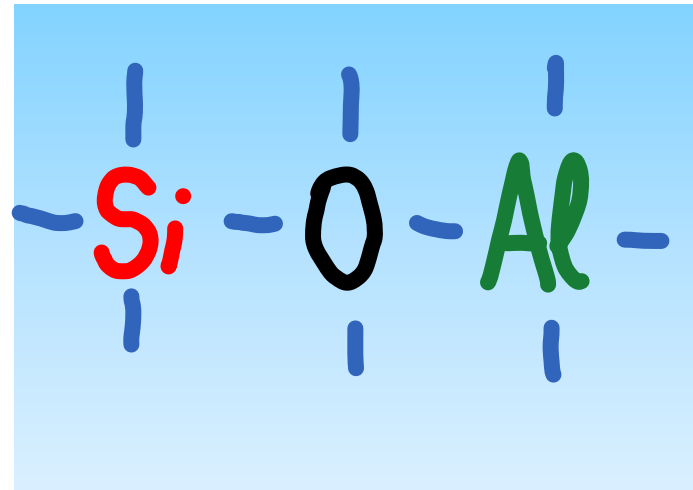


Organické polymery

GEO POLYMERNÍ - pojivo



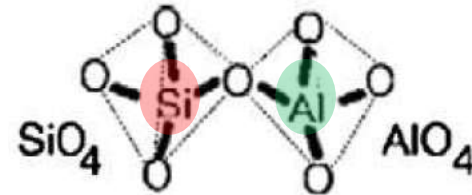
Anorganické polymery



- **Anorganický polymerní materiál připravovaný alkalickou aktivací hlinitokřemičtanů**
- Geopolymerace – formování polymerních vazeb Si-O-Al
- Struktura - vzájemné spojením **tetraedrů SiO_4 a AlO_4** → přebytek záporného náboje - kompenzován alkalickými kationty, nebo kationty alkalických zemin

POMĚR Si:Al

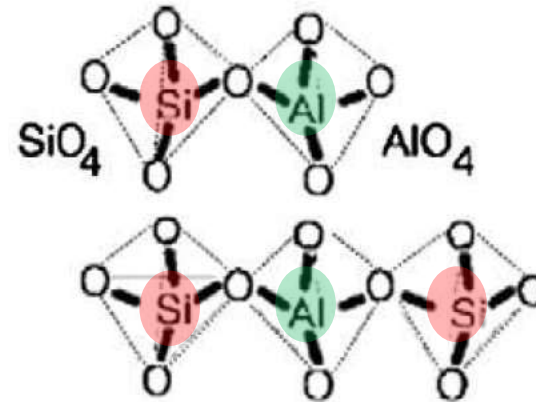
Si:Al=1 (-Si-O-Al-O-)
Poly(sialate)



POMĚR Si:Al

Si:Al=1 (-Si-O-Al-O-)
Poly(sialate)

Si:Al=2 (-Si-O-Al-O-Si-O-)
Polv(sialate-siloxo)



POMĚR Si:Al

Si:Al=1 (-Si-O-Al-O-)

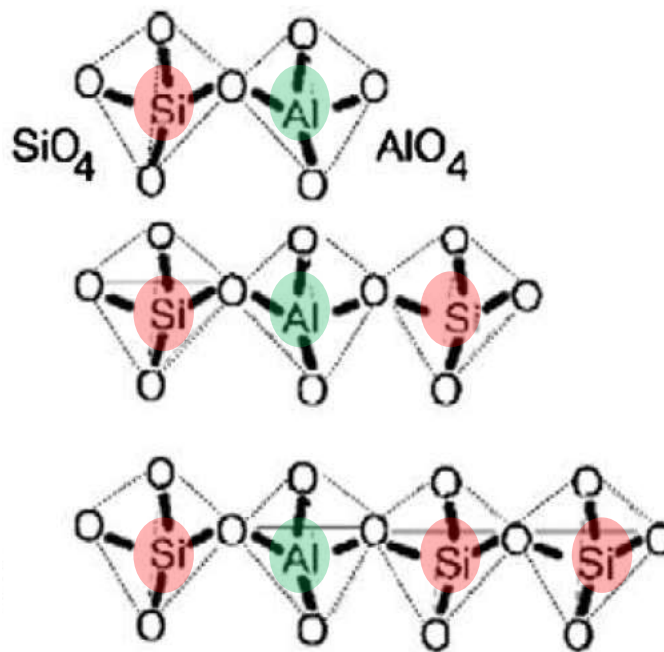
Poly(sialate)

Si:Al=2 (-Si-O-Al-O-Si-O-)

Poly(sialate-siloxo)

Si:Al=3 (-Si-O-Al-O-Si-O-Si-O-)

Poly(sialate-disiloxo)



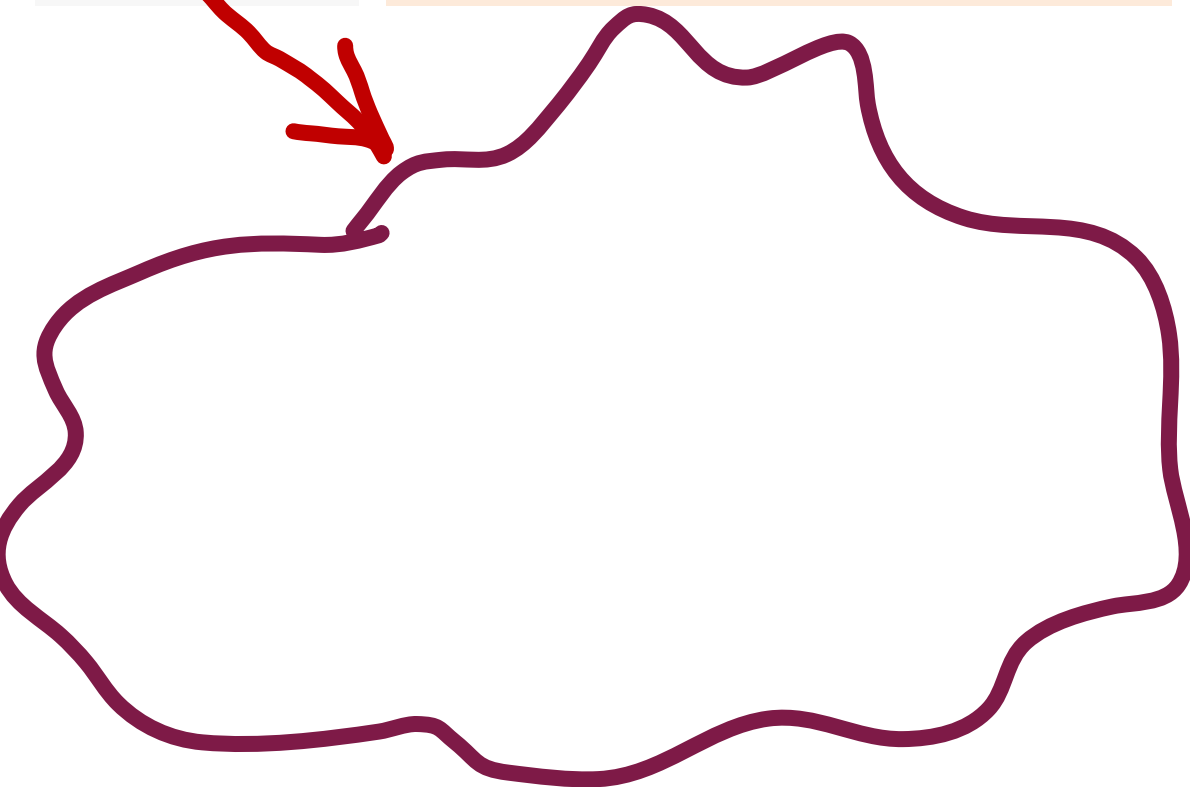
Obr. 8 Základní struktury polysialátů [8, 9]

Příprava geopolymerního pojiva



**HLINITOKŘEMIČITAN =
ALUMINOSILIKÁT**
jíl obsahující kaolinit
 $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$

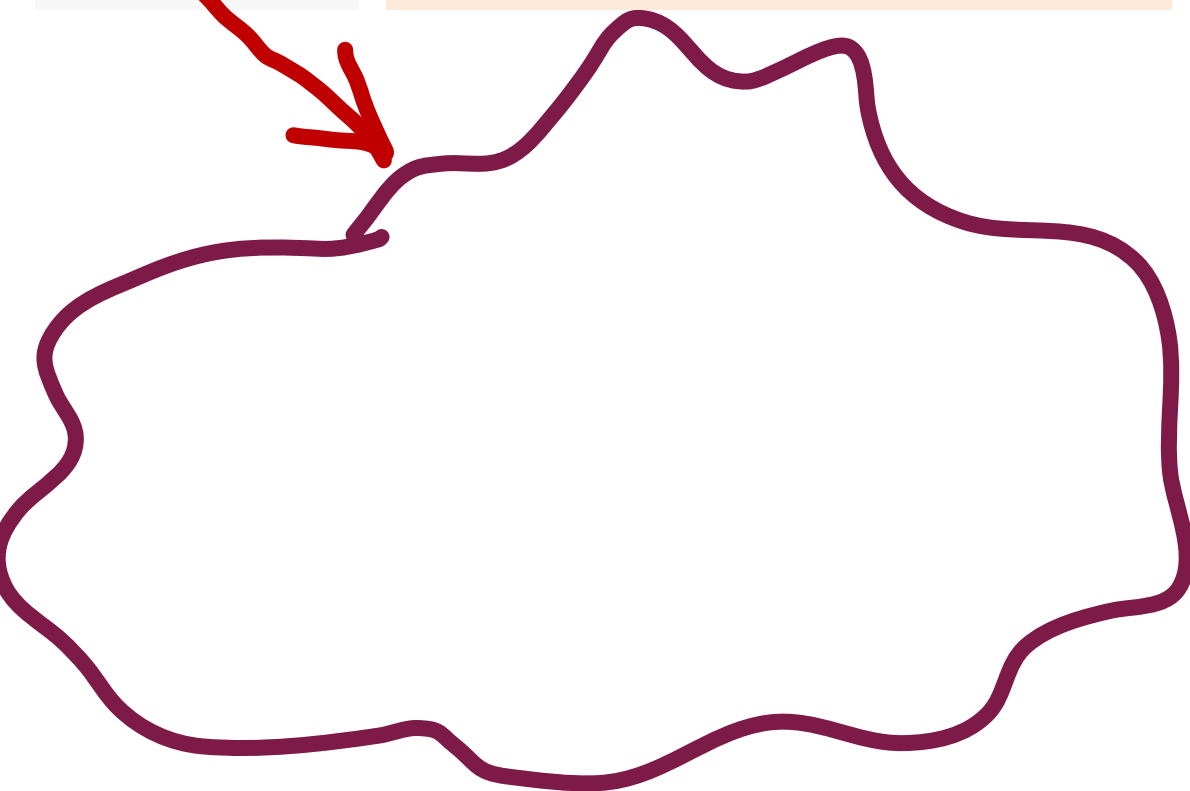
cca 47,5 % SiO_2
39,5 % Al_2O_3
13 % H_2O



1 částice



**HLINITOKŘEMIČITAN =
ALUMINOSILIKÁT**
jíl obsahující kaolinit
 $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$



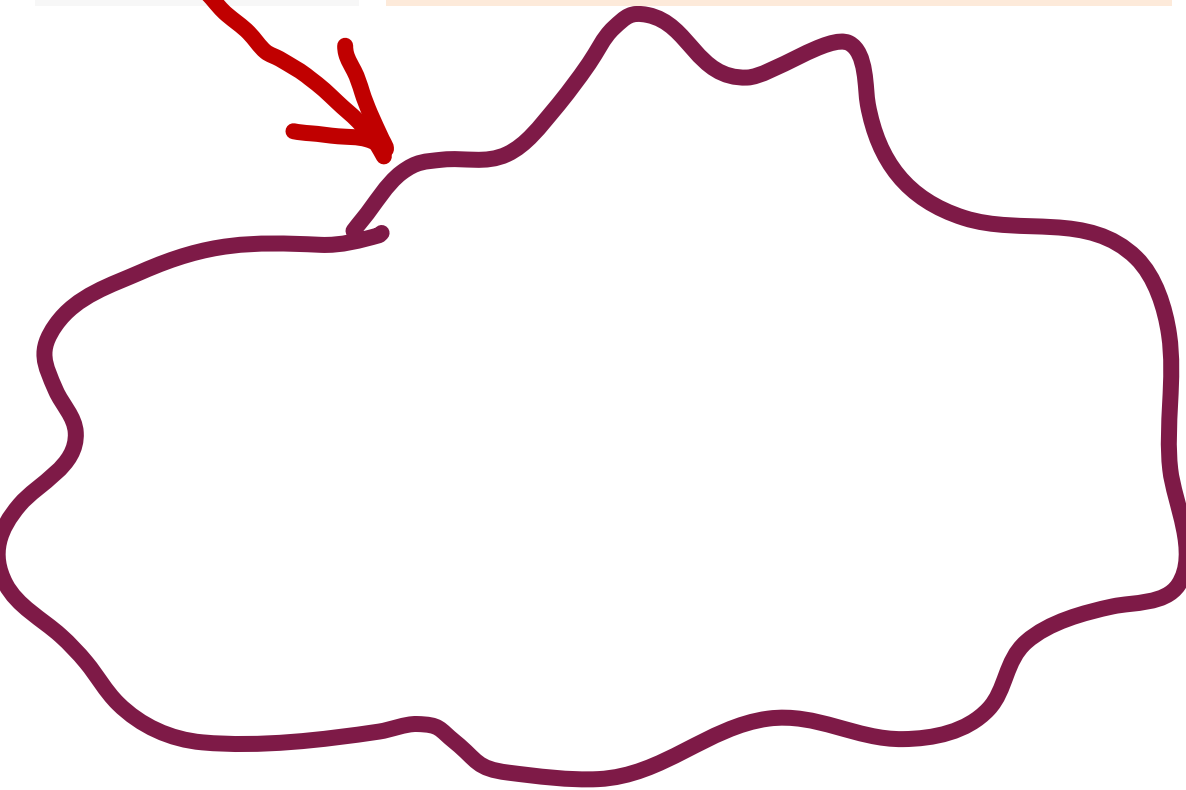
1 částice

Kaolin [11]





**HLINITOKŘEMIČITAN =
ALUMINOSILIKÁT**
jíl obsahující kaolinit
 $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$



1 částice

Lupek [10]



Kaolin [11]



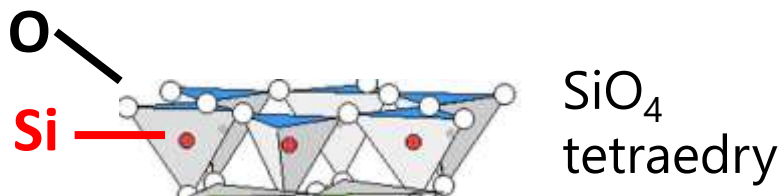


**HLINITOKŘEMIČITAN =
ALUMINOSILIKÁT**
jíl obsahující kaolinit
 $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$

Lupek [10]



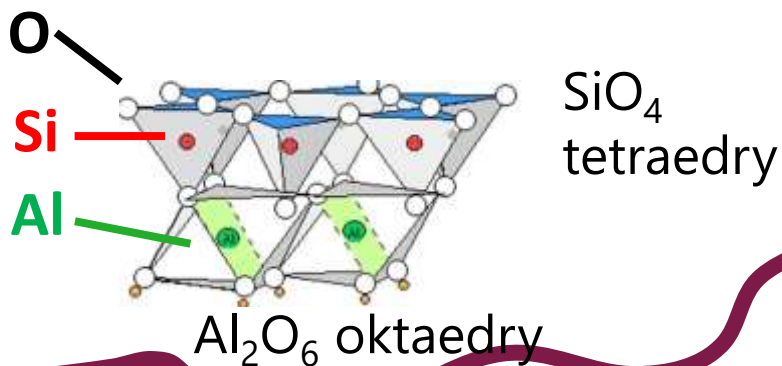
Kaolin [11]



1 částice



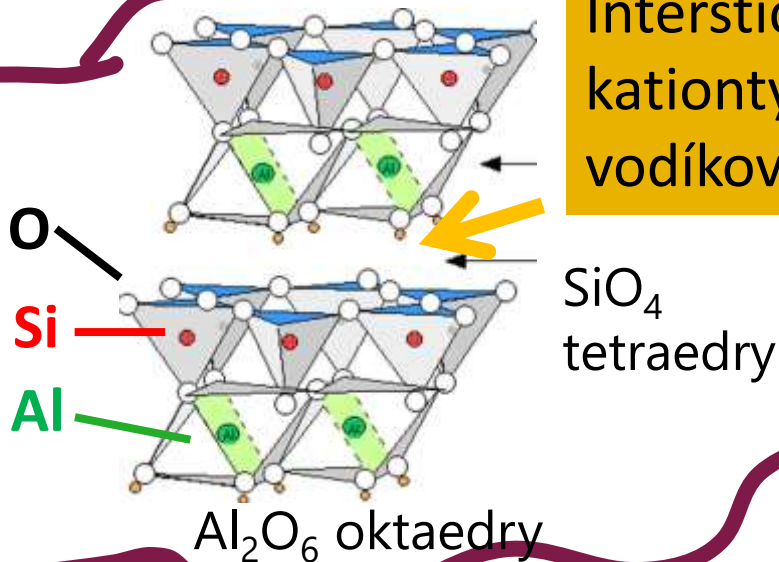
**HLINITOKŘEMIČITAN =
ALUMINOSILIKÁT**
jíl obsahující kaolinit
 $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$



1 částice



**HLINITOKŘEMIČITAN =
ALUMINOSILIKÁT**
jíl obsahující kaolinit
 $Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$



Intersticiální kationty, H_2O , vodíkové vazby

1 částice

Lupek [10]



Kaolin [11]



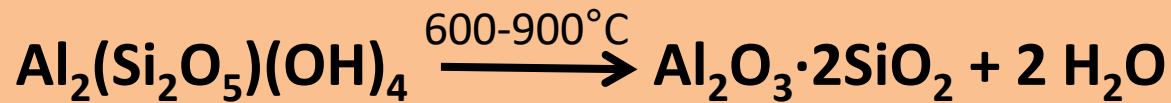
Dehydroxylace

kaolinitu

→ 600-900 °C →

***Kaolin
Lupek
(krystalické)***

***Metakaolin
„Metalupek“
(amorfní)***



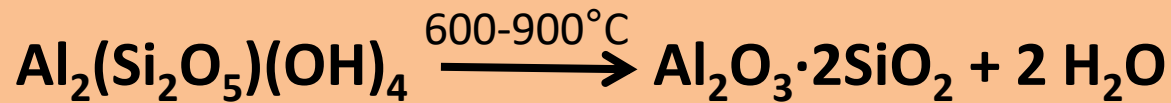
Dehydroxylace

kaolinitu

→ 600-900 °C →

***Kaolin
Lupek
(krystalické)***

***Metakaolin
„Metalupek“
(amorfní)***



Kaolin → metakaolin



Lupek → „metalupek“

Poznámka při 1350°C – šamot (vyzdívky)

**METAKAOLIN,
„METALUPEK“**
obsahující AMORFNÍ
METAKaolinit

Po 600-900 °C

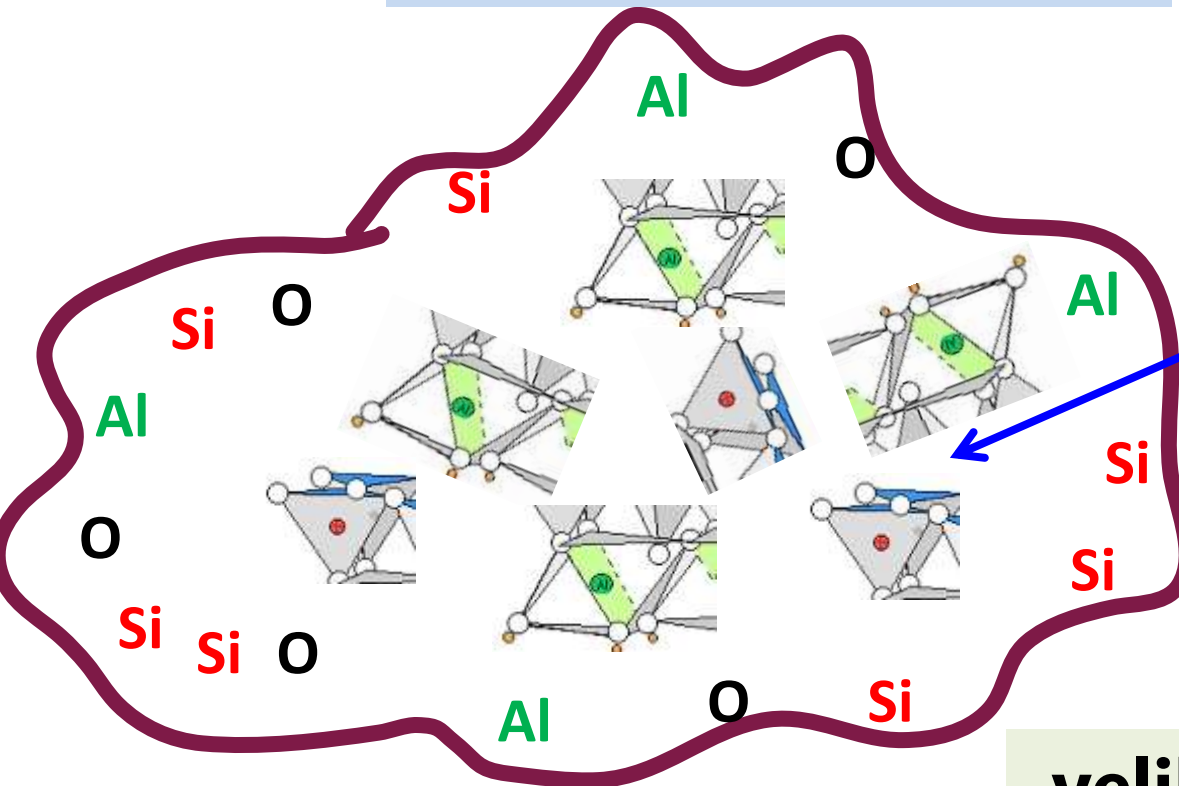
rozbití vazeb



zhroucení
struktury jílu



tvorba
metakaolinu



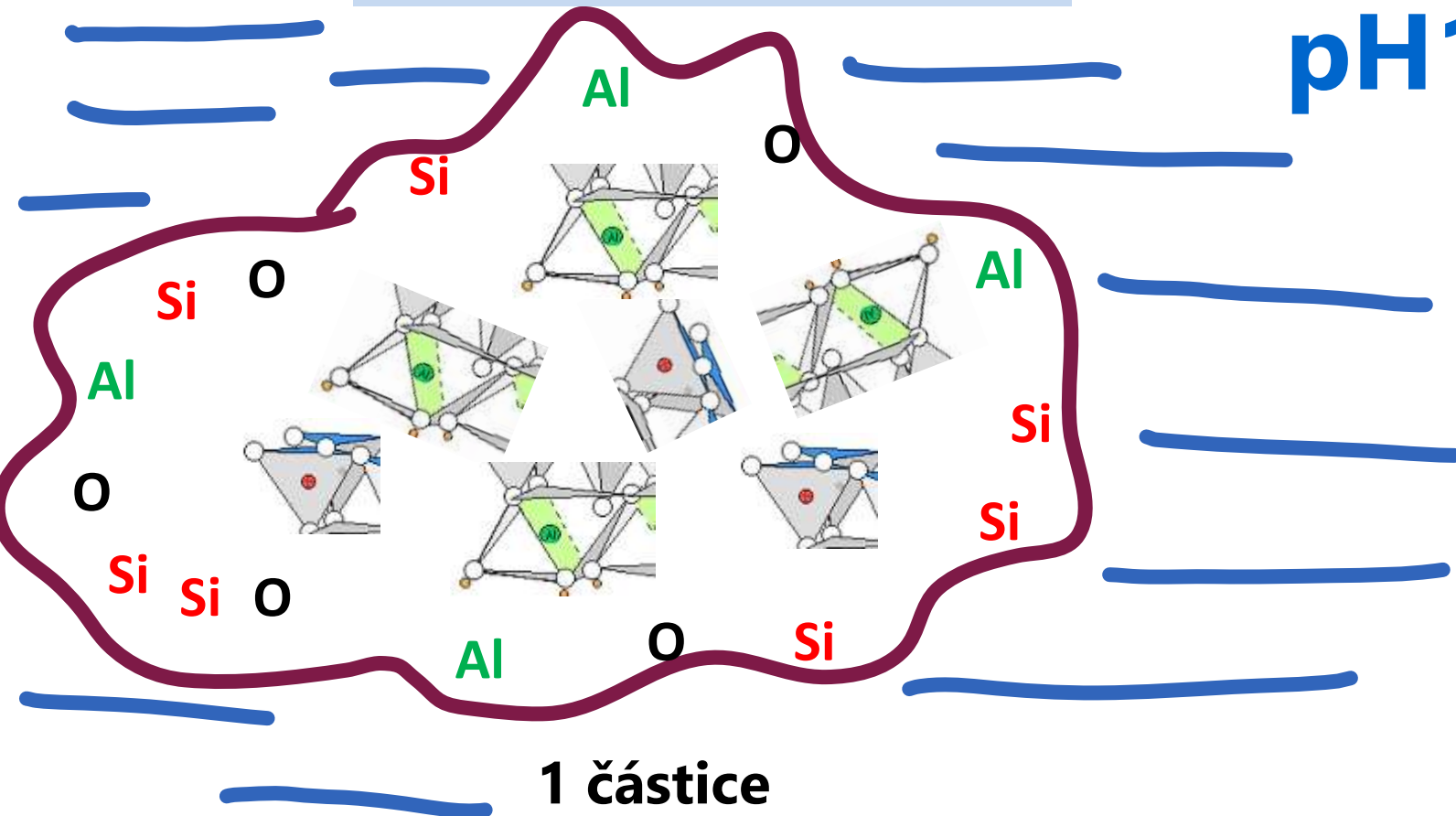
1 částice

velikost částic cca
0,5–20 μm

**METAKAOLIN,
„METALUPEK“
obsahující AMORFNÍ
METAKaolinit**

Vodní sklo
Hydroxid sodný (NaOH)
Hydroxid draselný (KOH)

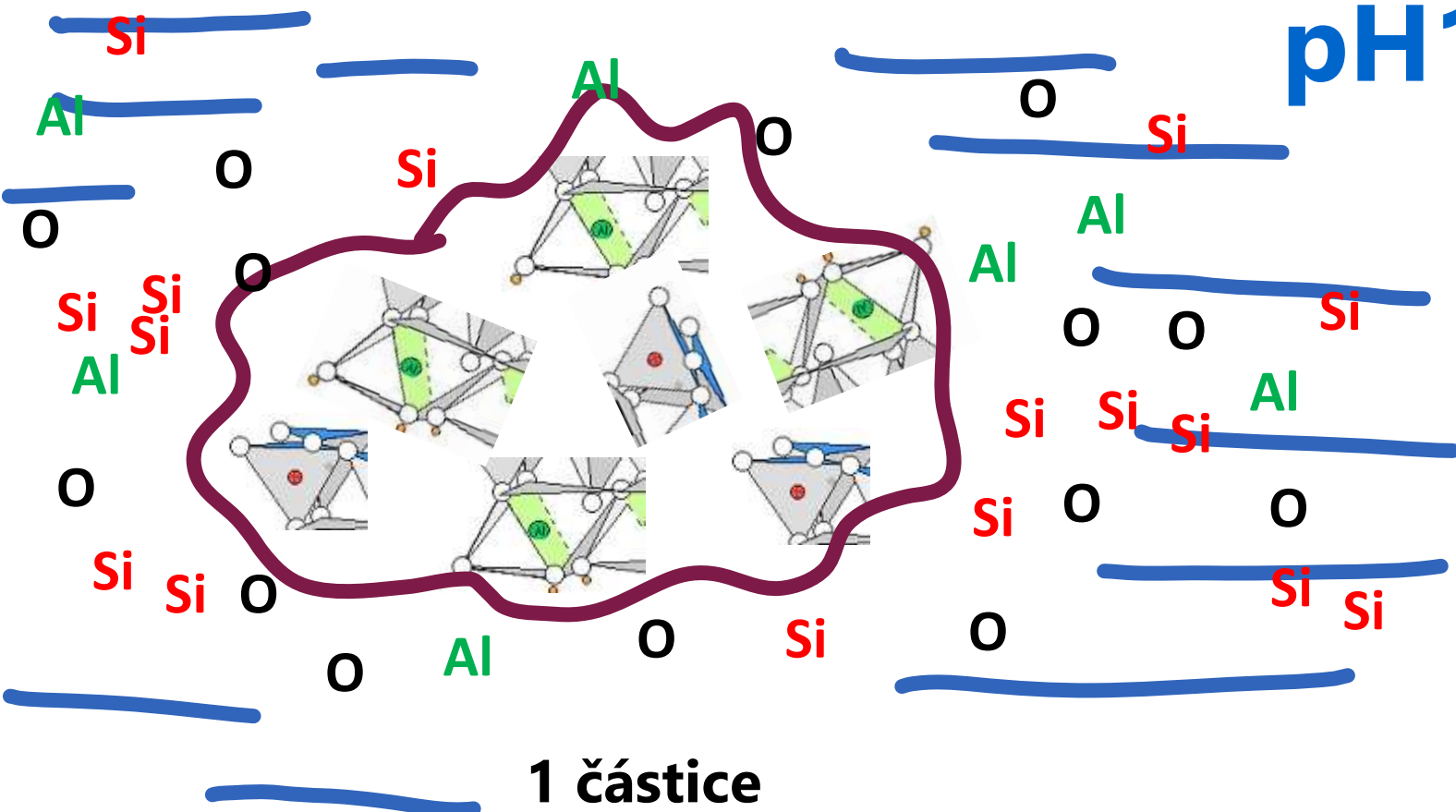
pH14



**METAKAOLIN,
„METALUPEK“**
obsahující AMORFNÍ
METAKaolinit

Vodní sklo
Hydroxid sodný (NaOH)
Hydroxid draselný (KOH)

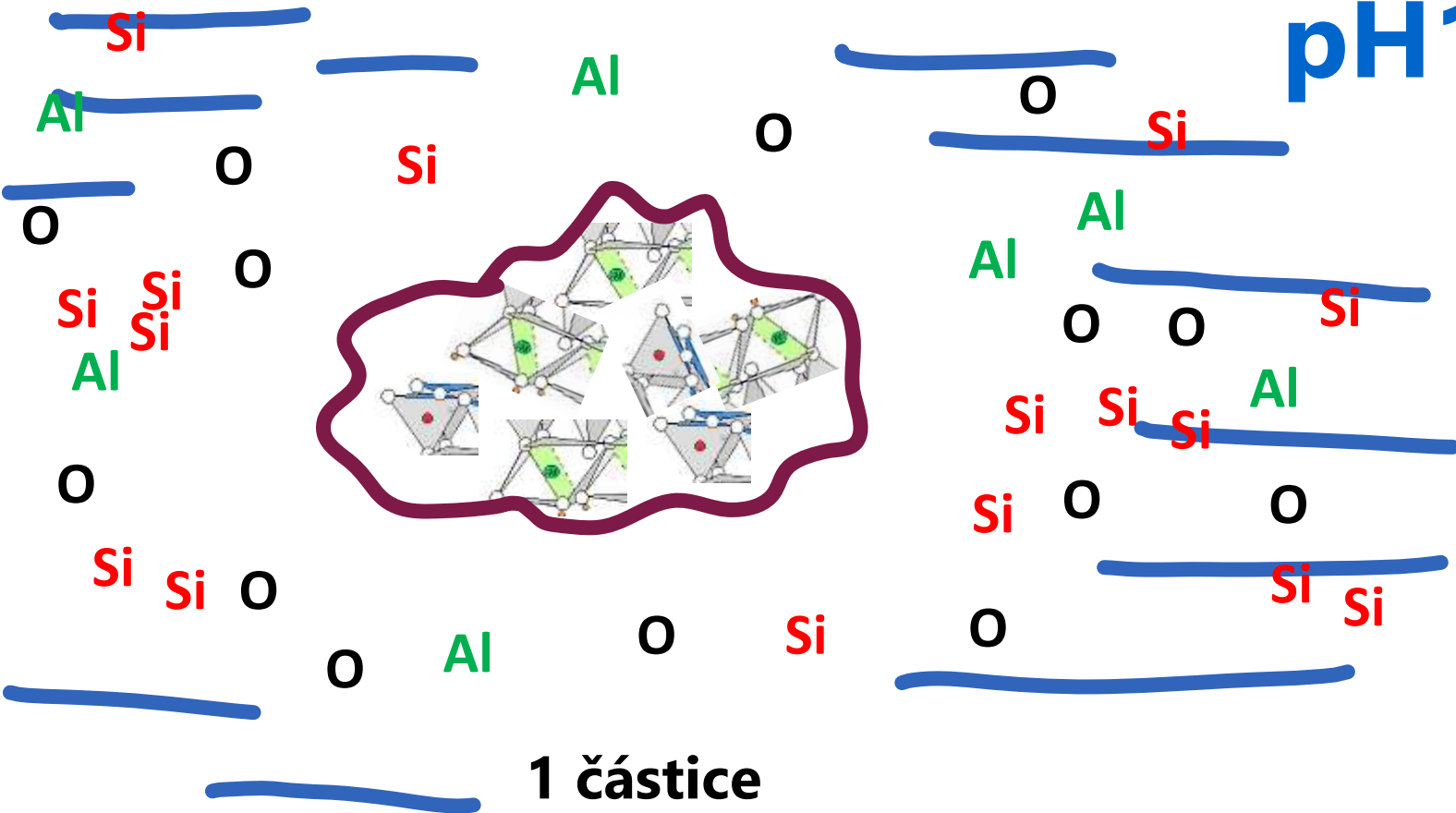
pH 14



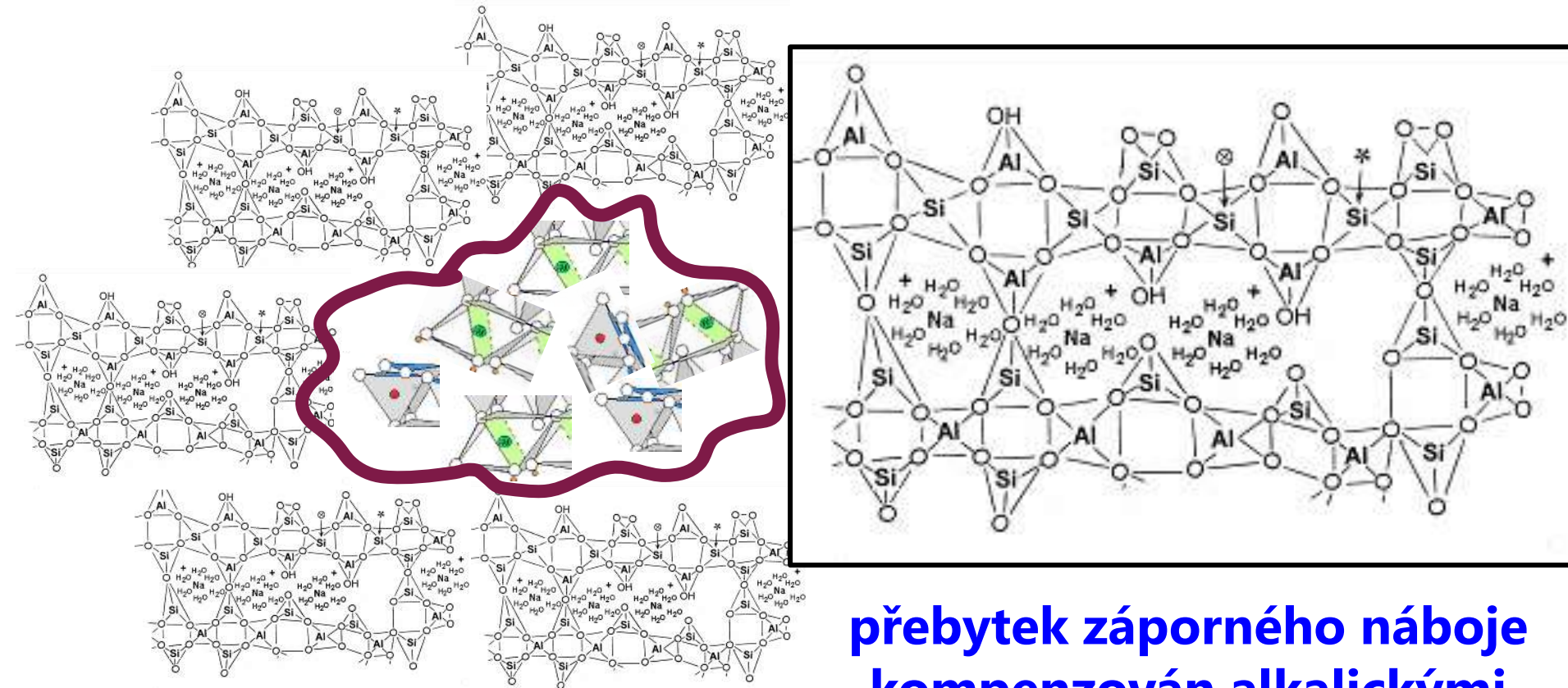
**METAKAOLIN,
„METALUPEK“**
obsahující AMORFNÍ
METAKaolinit

Vodní sklo
Hydroxid sodný (NaOH)
Hydroxid draselný (KOH)

pH 14



GEOPOLYMERNÍ SÍŤ spojení tetraedrů SiO_4 a AlO_4



prebytek záporného náboje
kompenzován alkalickými
kationty

Proces tvorby geopolymerního pojiva:

1. Rozpouštění pevného oxidu hlinitého a oxidu křemičitého působením alkálií.
2. Difúze rozpouštěných hlinitých a křemičitých komplexů z povrchu pevných částic hlinitokřemičitanu do prostoru mezi pevnými částicemi.
3. Tvorba gelové fáze vznikající polymerací rozpuštěných alkalických křemičitanů s hlinitými a křemičitými komplexy, čímž v prostoru mezi nerozpuštěnými pevnými částicemi vzniká hlinitokřemičitý amorfní gel.
4. Vytvrzení gelové fáze vyloučením přebytečné vody a tvorba kompaktního zesíťovaného produktu.

Příprava geopolymerních kompozitů

GEOPOLYMERNÍ MATERIÁLY

Pojivo

Plnivo

= KOMPOZIT

GP pojivo



GEOPOLYMERNÍ MATERIÁLY

Pojivo

Plnivo

= KOMPOZIT

GP pojivo

A rectangular box with a blue border containing a dense, uniform grid of small blue dots, representing the binder matrix.

Plnivo

A rectangular box with a blue border containing several blue circles of varying sizes scattered across the space, representing the filler particles.

GEOPOLYMERNÍ MATERIÁLY

Pojivo

Plnivo

= KOMPOZIT

GP pojivo



Plnivo



GEOPOLYMERNÍ MATERIÁLY

Pojivo

Plnivo

= KOMPOZIT

GP pojivo



Plnivo

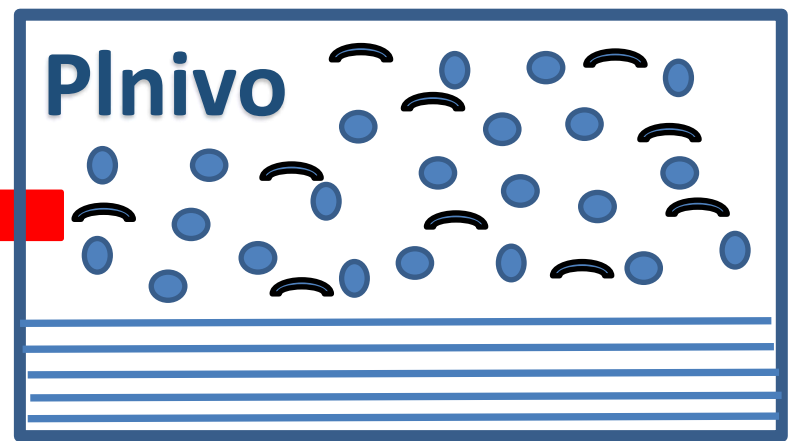
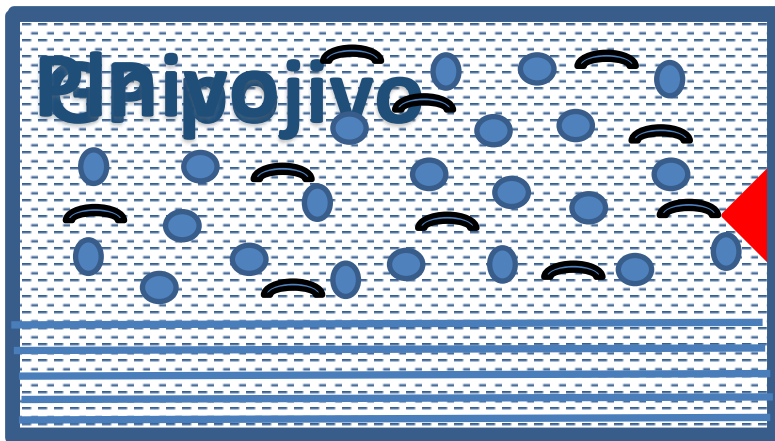


GEOPOLYMERNÍ MATERIÁLY

Pojivo

Plnivo

= KOMPOZIT

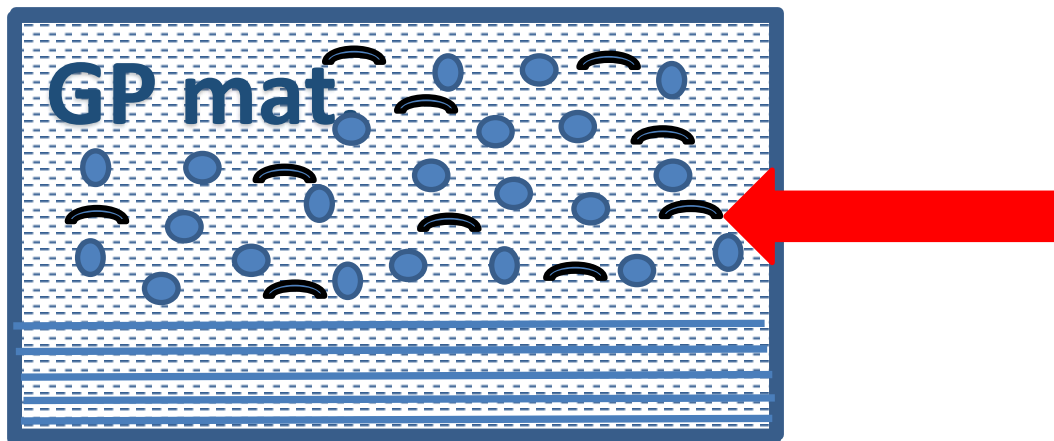


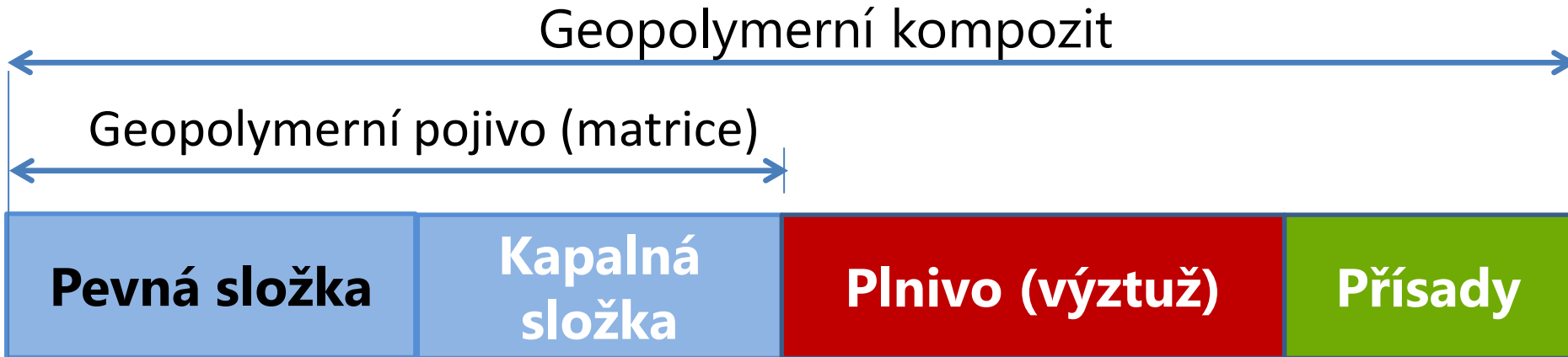
GEOPOLYMERNÍ MATERIÁLY

Pojivo

Plnivo

= KOMPOZIT





Suroviny s

metakaolinitem

Metakaolin

„Metalupek“ (ČR)

Strusky

Silika

Popílek

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
 $K_2SiO_3 \cdot yH_2O$)

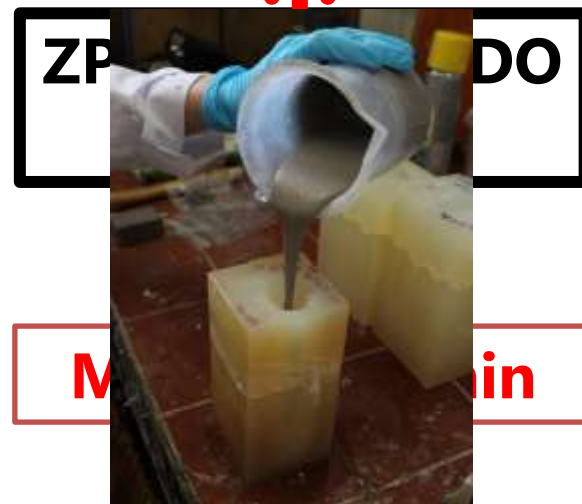
Písek
Šamot
Korund
Perlit
Vermikulit
C vlákna
Technické textilie
Odpadní látky
atd.

Al prášek
Pigmenty

POSTUP PŘÍPRAVY



60 – 80 °C



Mísení 3-5 min

GP pojivo

+

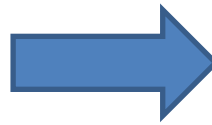
Plnivo

+

Aditiva

TYPY GP PRO RŮZNÉ TECHNOLOGIE VÝROBY

**Geopolymery v
čerstvém stavu:**

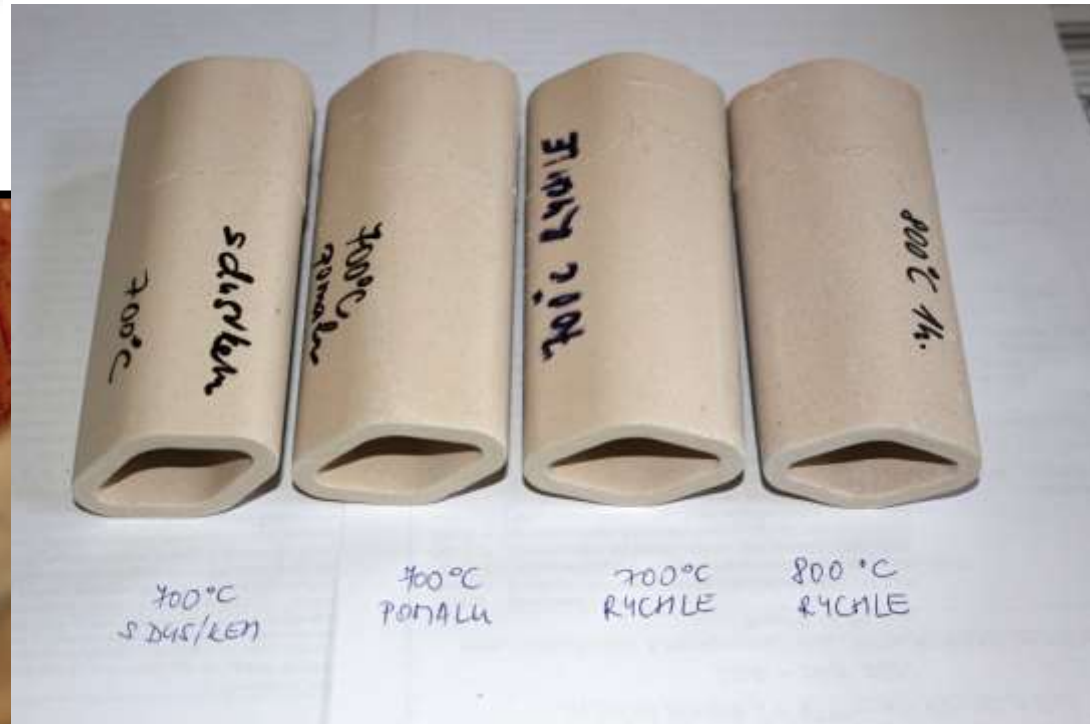


**Způsob přípravy
výrobku:**

- | | | |
|--|--|------------------------------|
| I. „Tekuté“ geopolymery | | 1. Lití (nejčastější způsob) |
| II. „Sypké“ geopolymery | | 2. Nástřiky, vstřikování |
| III. Geopolymery
s plastickými
vlastnostmi | | 3. Dusání |
| | | 4. Tváření lisováním |
| | | 5. Extruze |
| IV. Geopolymery pro
lamináty | | 6. Ruční tvarování |
| | | 7. 3D tisk |
| | | 8. Laminace |



Slévárství, Stavebnictví,
Požární technika, Tepelná
technika, Umění



Lité geopolymery

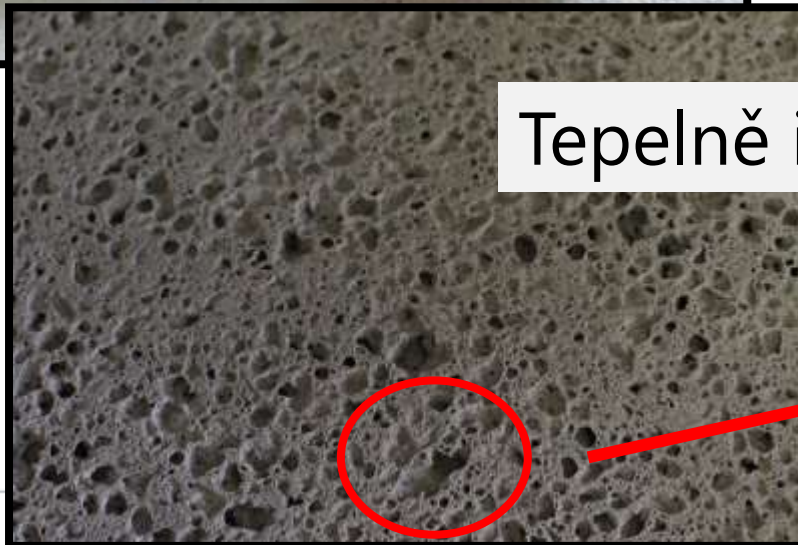


Geopolymerní nááitek po 110 odlití

Keramický nááitek po 110 odlití



Tepelně akumulční po 1200 °C + tep. šok



Tepelně izolační



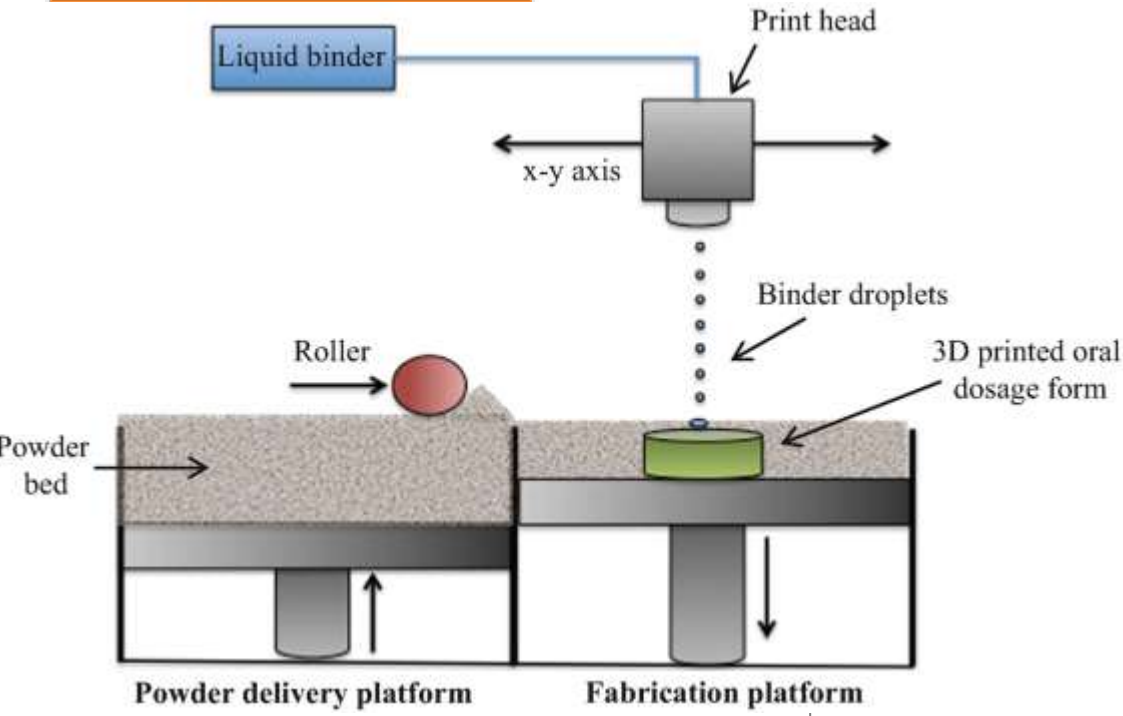
Řešení úkolu 3

4. **Problém:** Umělec si vymyslí dílo z litého dřavého kamene s využitím tvarů řetězovky a nechce na dílo sahat rukama

Řešení: Geopolymerní kompozit s **částicovou výztuží s přísadou pro napětění** a použitím technik: modelování tvaru pomocí 3D programů – převedení projektu do .stl, tisk formy metodou 3D tisku z písku, obtisk do silikonové formy, lití „kamenné“ desky z geopolymery s použitím výztuhy, odformování, finální úpravy

3D tisk pískové formy

Binder



Vrstvy - písek + aktivátor
Tisková hlava – furanová pryskyřice



Písková forma a silikonový obtisk

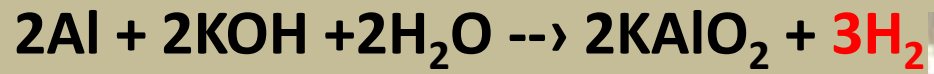
Forma – 3D tisk písku
(Modelárna Liaz)



Výroba desky



Testy – vývin H₂ a vodní páry



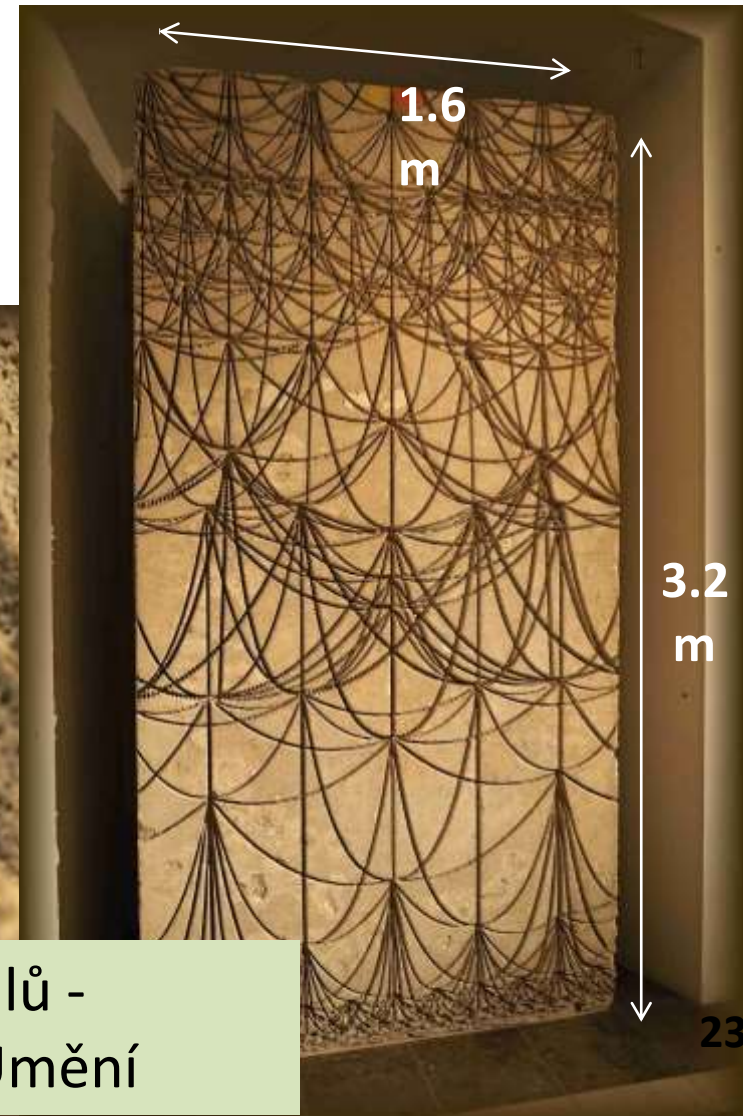
Odformování desky



Umění z litých pěněných GP

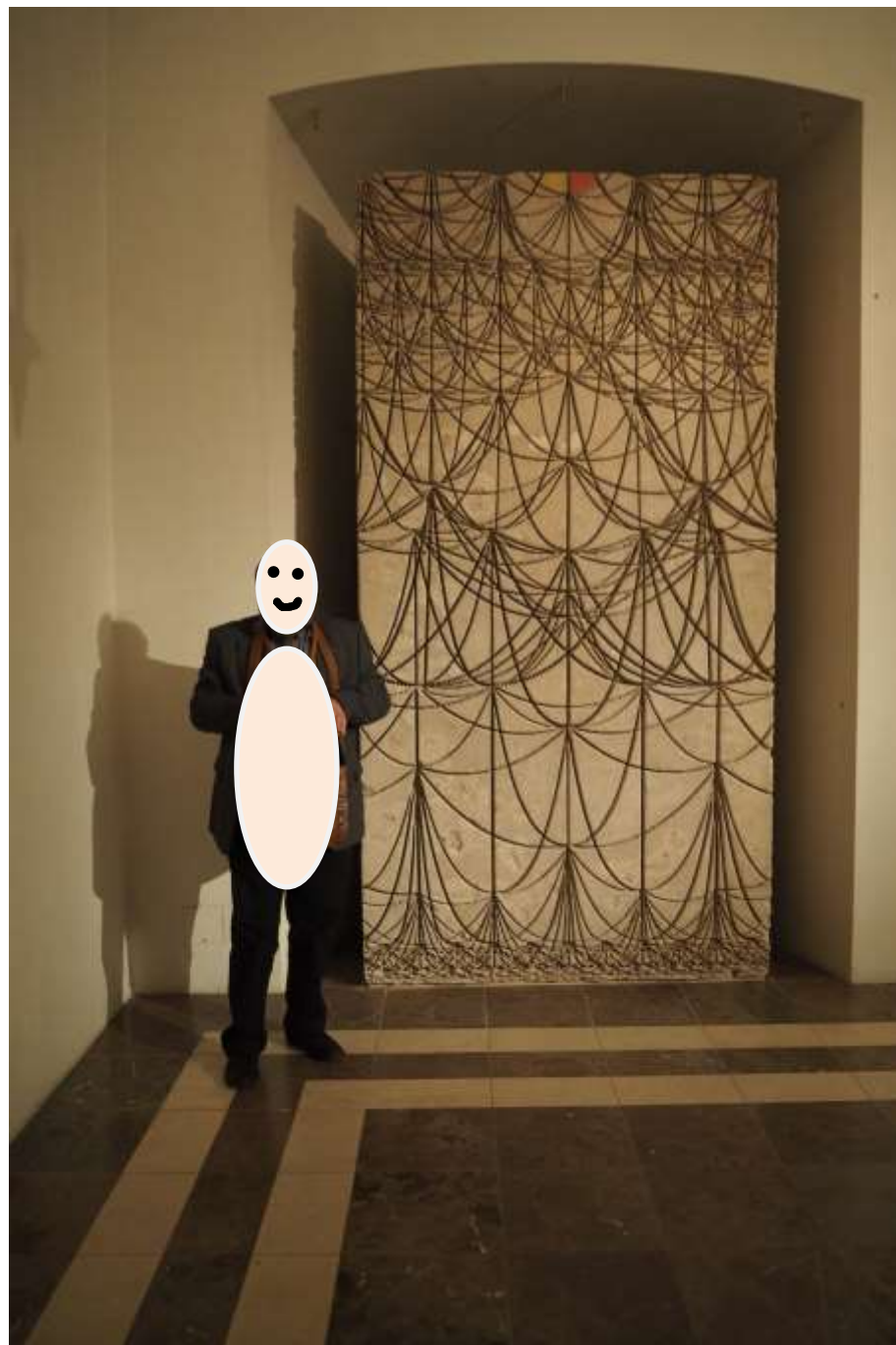
Přidání Al nebo H₂O₂ – napěnění

Výstava na Pražském hradě – Belveder
(Diaz, Liaz, VÚAnCh),



Další použití těchto materiálů -
Izolace, Tepelná technika, Umění

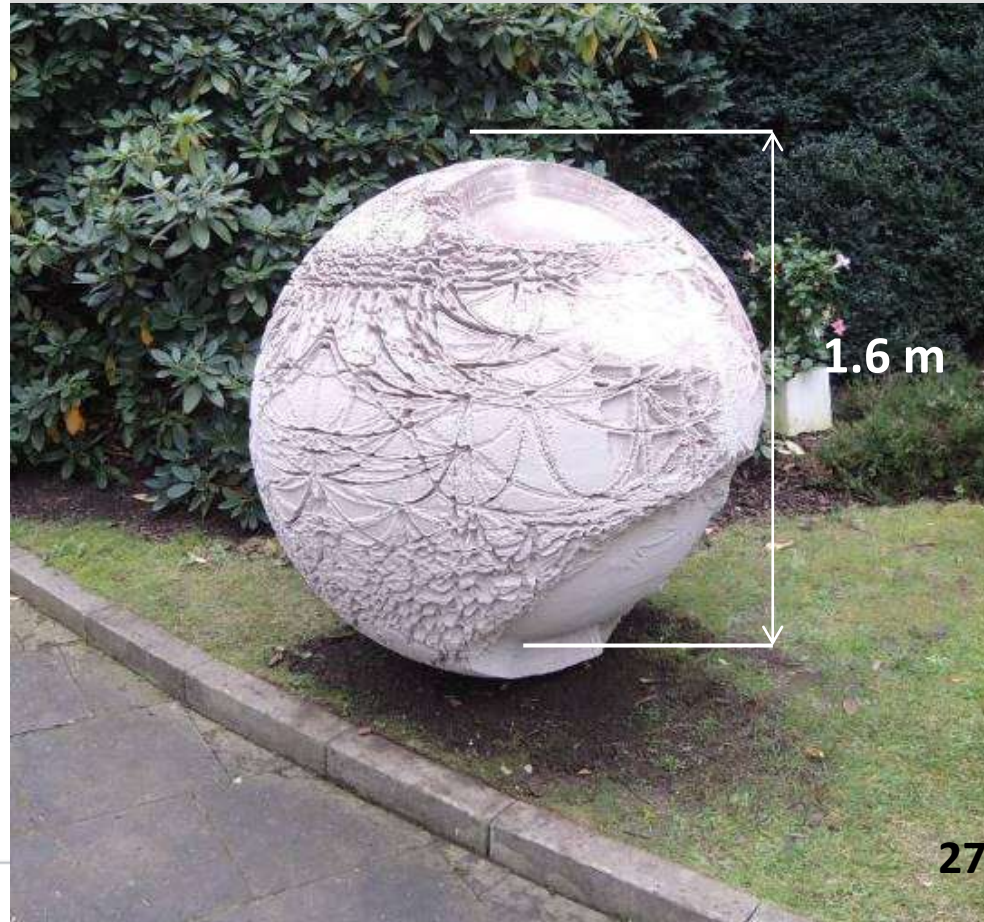
Instalace v Belvederu



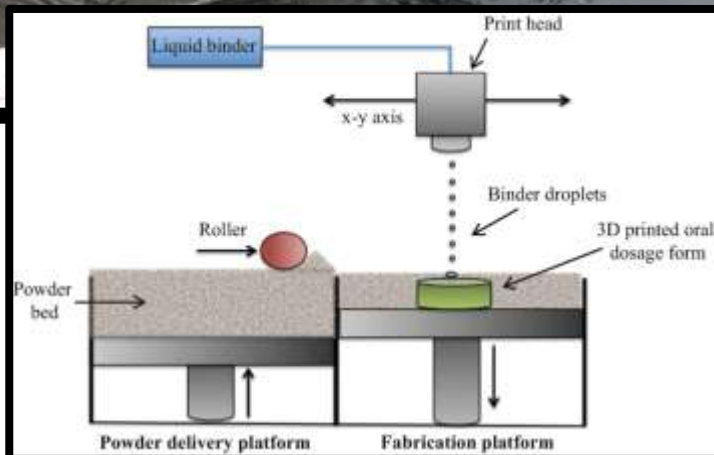
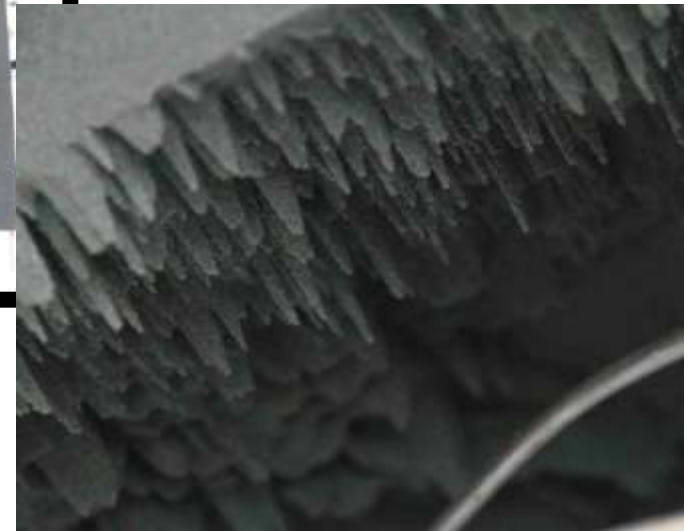
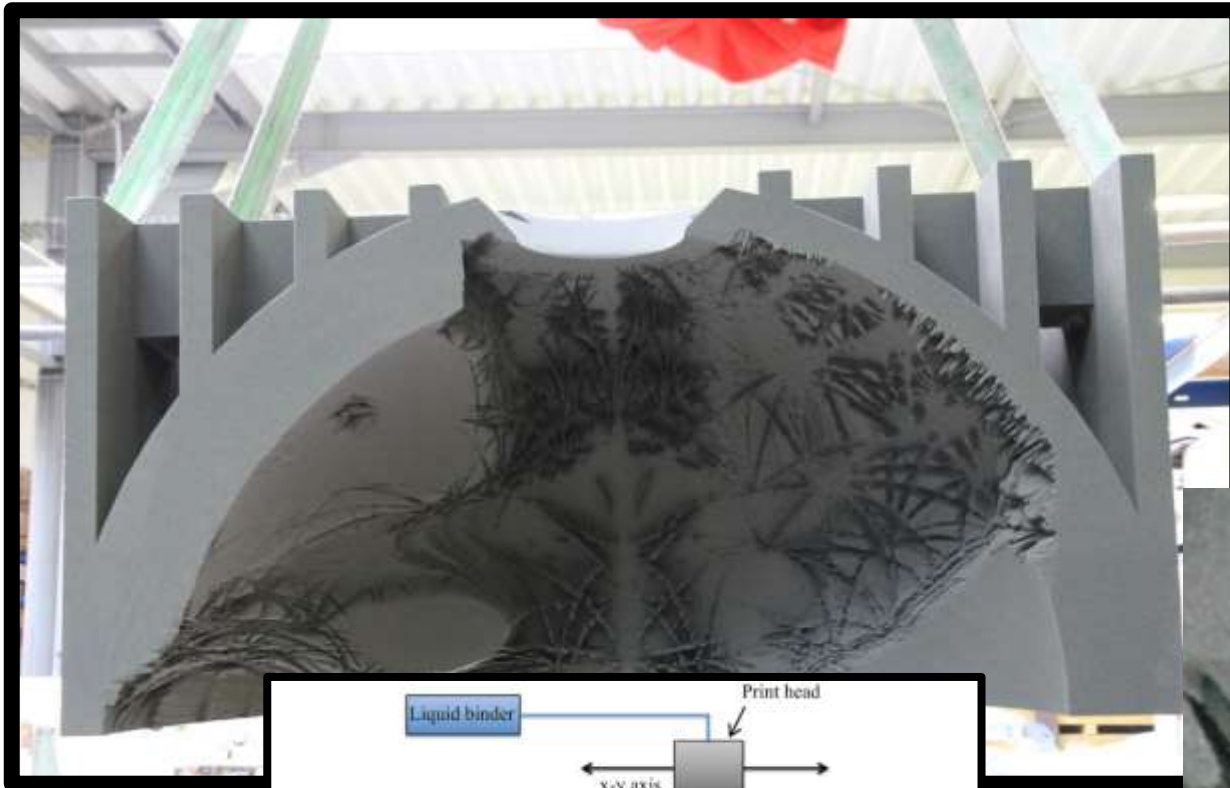
Umění z litých plných GP



Spolupráce Federico Diaz, Modelárna
Liaz Liberec, s.r.o., VÚAnCh



Forma – 3D tisk písku Binder Jetting (Modelárna Liaz)







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



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



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



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



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



Řešení úkolu 4

4. **Problém:** Architekt požaduje dům nezvyklých rozměrů co vydrží požár

Řešení: Geopolymerní kompozit s částicovou výztuží s přísadou pro tixotropii a rychlé tuhnutí a použitím technik: 3D tisk pomocí portálového či jiného robota

Video 3D tisk geopolimerů – stěna – Hájková, Trpák

<https://www.youtube.com/watch?v=qWBA-6NgIJg>

Žárovzdorné lamináty

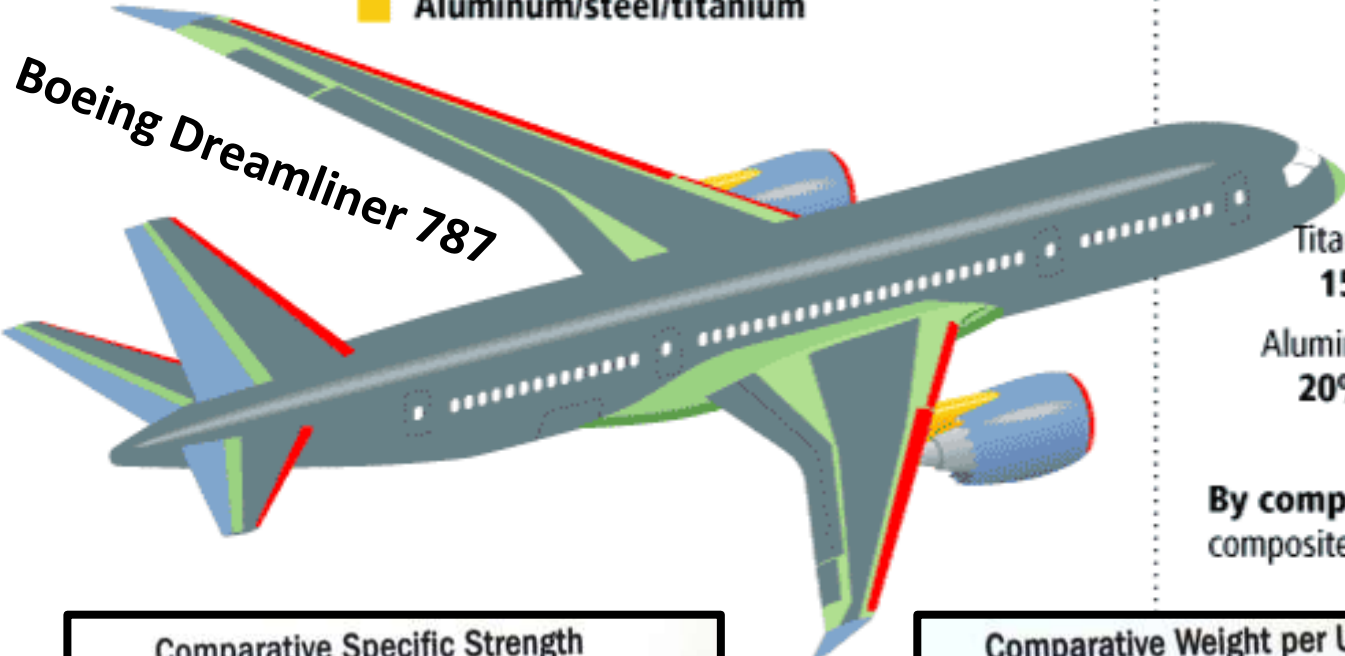


Proč žáruvzdorné kompozity - lamináty?

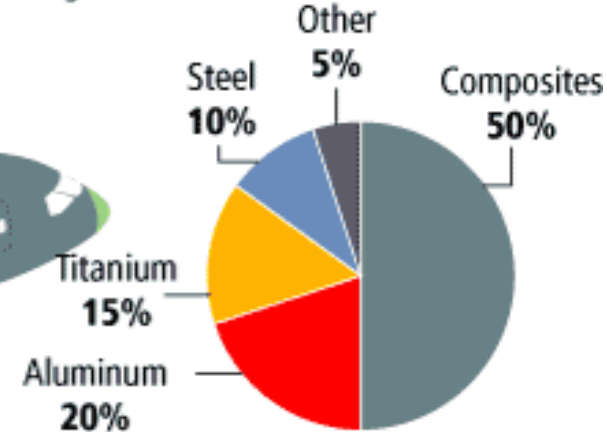
Materials used in 787 body

- Fiberglass
- Aluminum
- Carbon laminate composite
- Carbon sandwich composite
- Aluminum/steel/titanium

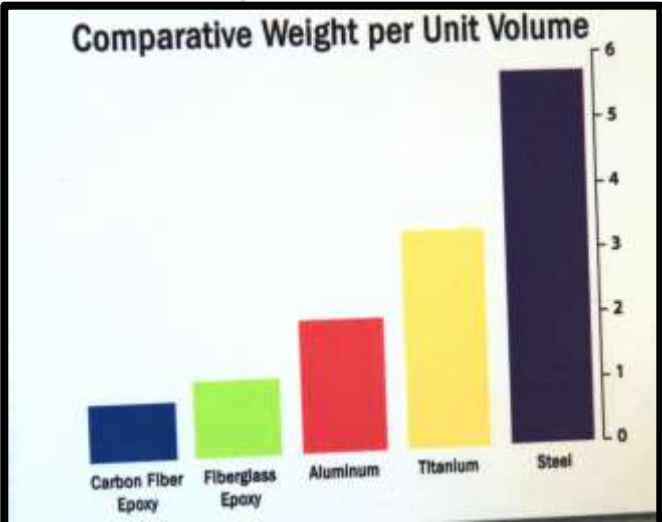
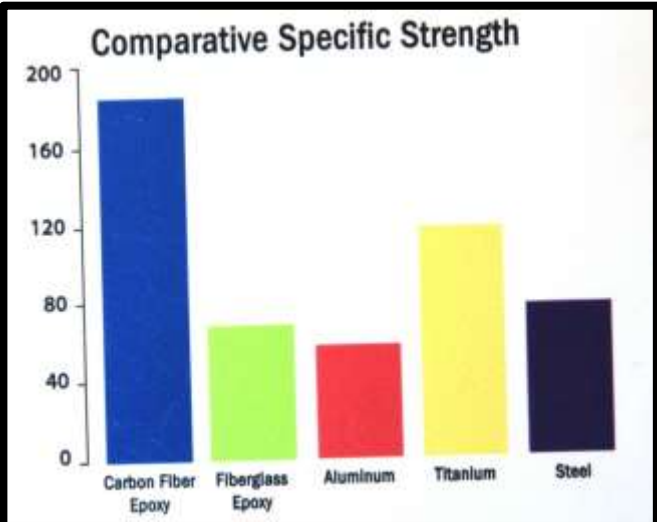
Boeing Dreamliner 787



Total materials used By weight



By comparison, the 777 uses 12 percent composites and 50 percent aluminum.

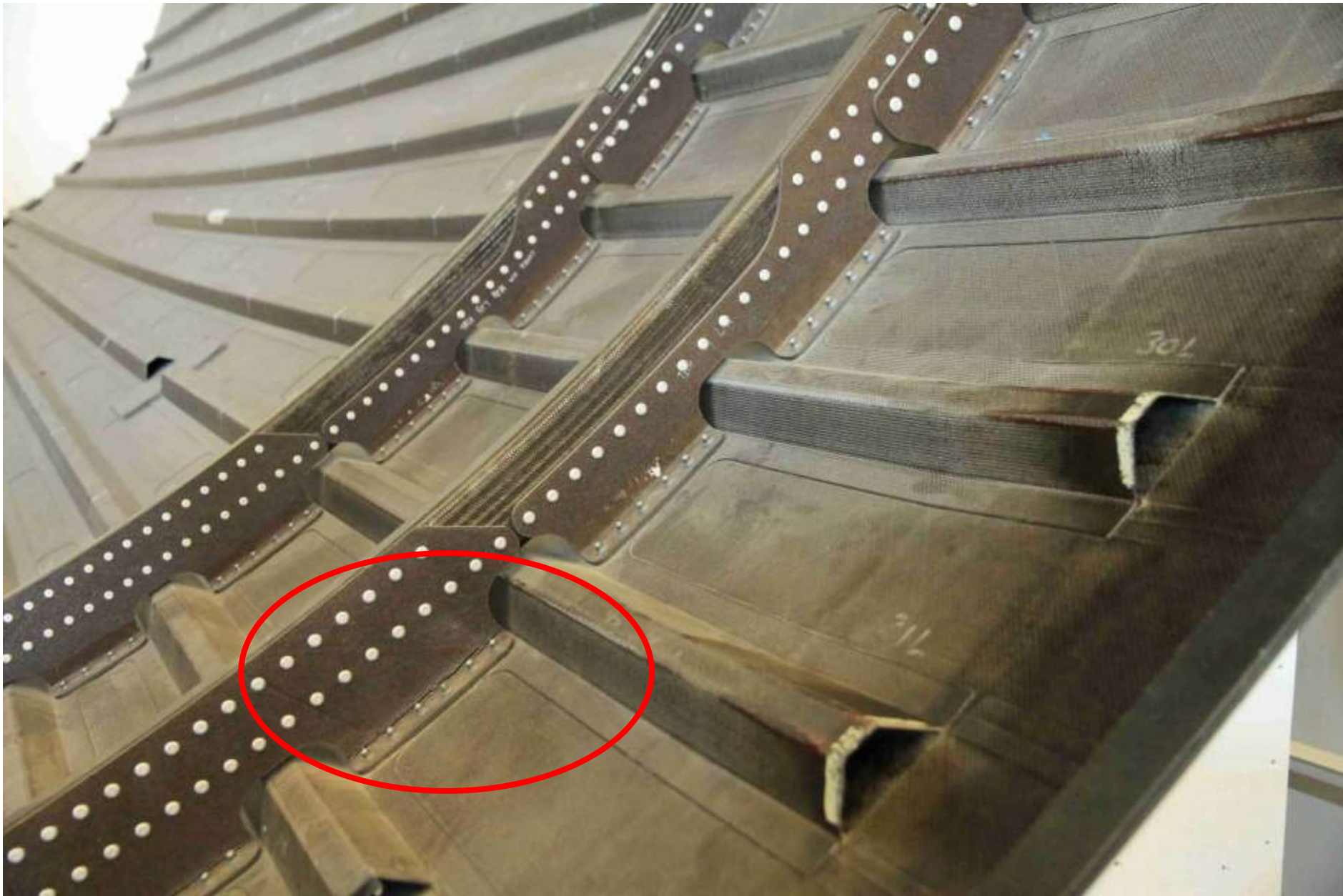


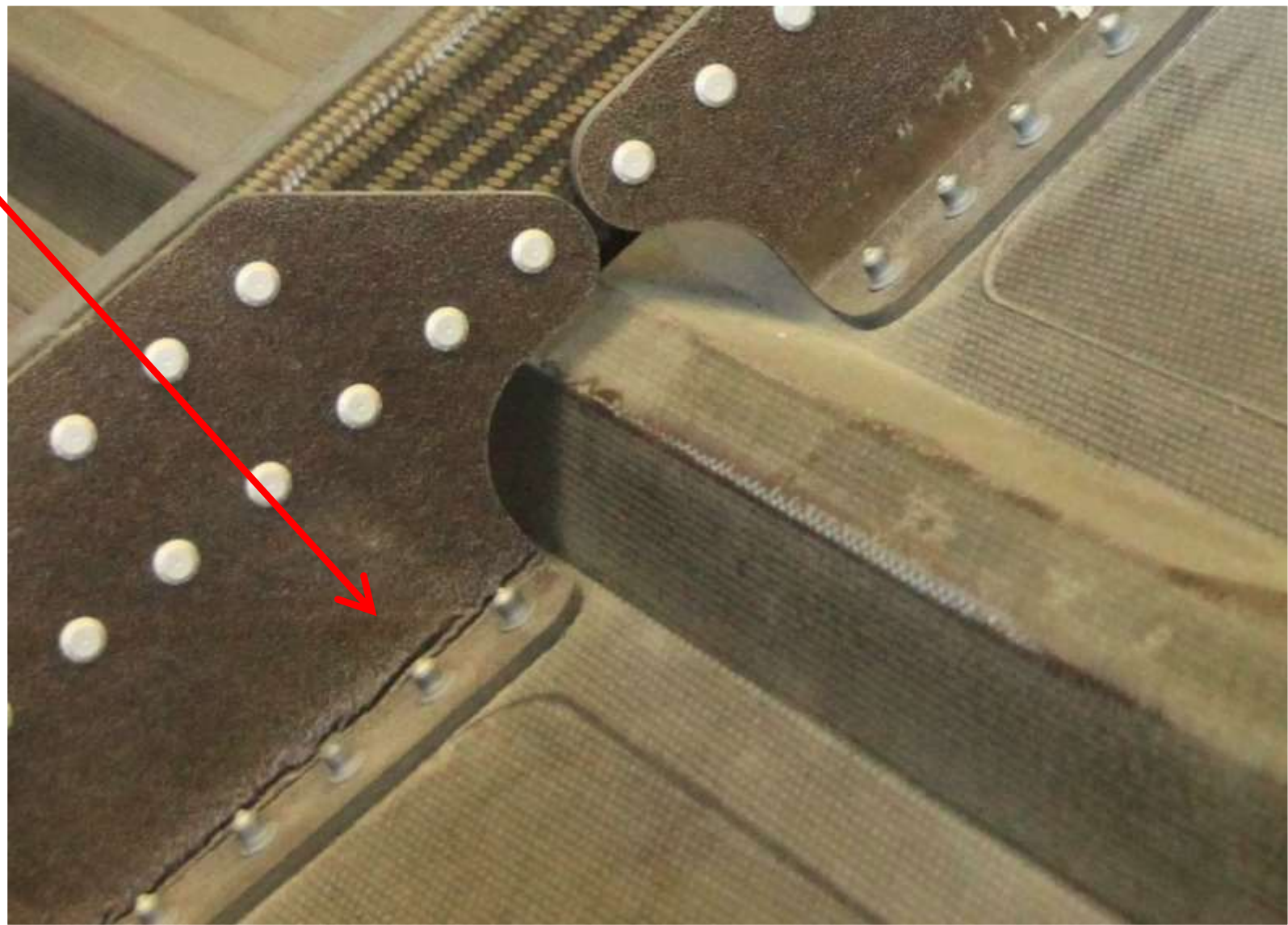


MATERIALS



ISSUES AND OPPORTUNITIES





Žáruvzdorné lamináty

Matrice = pojivo
Výztuž = plnivo

Lamináty s organickou matricí (epoxid)

- + nízká ob.hmotnost (cca 1,2 g/cm³)
výborné mechanické vlast.
- vysoká cena (ca 200-700 Kč/kg)
nízká tepelná odolnost (do 80-200°C)
jedovaté zplodiny při požáru

+ výztuž –
uhlíková,
čedičová,
skleněná
tkanina

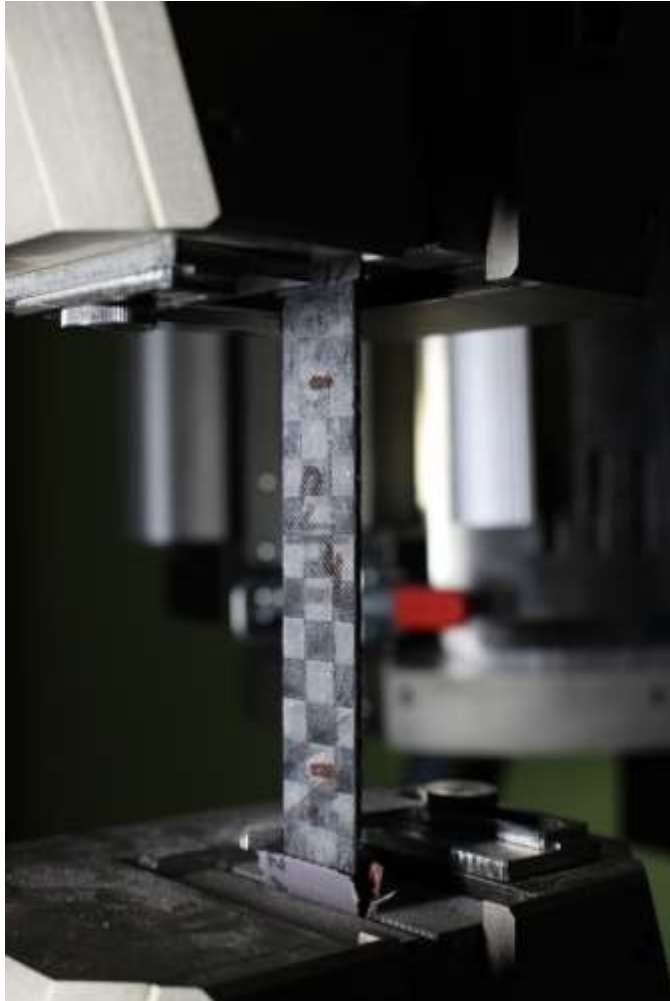
Lamináty s anorganickou matricí (GP)

- vyšší ob. hmotnost (ca 1,6 g/cm³)
horší mechanické vlast.
- + nízká cena (cca 20 Kč/kg)
vysoká tepelná odolnost (běžně 700 – 800 °C)
žádné jedovaté zplodiny při požáru



Mechanické vlastnosti GP laminátů

Pevnost v tahu
(ČSN EN 1007-7)



Pevnost v ohybu (ČSN EN 2562)
LabTest 6.200 (UniCRE)



Žáruvzdorné lamináty

Vlastnosti - MATRICE	Epoxid Epikote™ Resin MGS LR235	GP matrice
Pevnost v tlaku [MPa]	100	50
Pevnost v ohybu [MPa]	100	10
Modul pružnosti [GPa]	3	10
Použitelnost do [°C]	80	1200

Žáruvzdorné lamináty

POROVNÁNÍ DURAL GP KOMPOZIT	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Pevnost 22°C [MPa]	Pevnost 700°C [MPa]
Náš kompozit s epoxidovou matricí a C – Flat-Tow výztuží	1600	540	0
Běžný dural	2800	330	0
Náš GP kompozit s C - Flat-Tow výztuží	1600	340	140

tj. o 43 % méně!!

Po 700°C/1h cca 40 % pevnosti běžného duralu při 22 °C!!

Řešení úkolu 5

3. **Problém:** Hoří nám laminátové karosérie při havárii

Řešení: Geopolymerní laminát s **výztuží s uhlíkovými vlákny**

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.
- Nevývívají jedovaté zplodiny.

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. K uspokojivému průběhu tuhnutí hydraulických pojiv dochází sice mnohdy jen na vzduchu, jakmile však vznikne zatuhlá struktura, mohou další hydratační pochody uspokojivě probíhat i pod vodou.

Hydraulicita pojiva

Vznik trvalých, ve vodě nerozpustných, struktur je podmíněn přítomností:

Oxidu křemičitého (SiO_2),
Oxidu hlinitého (Al_2O_3) a
Oxidu železitého (Fe_2O_3).



HYDRAULITY

Hydraulický modul


$$M_H = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

[Hmotn. %]

[Hmotn. %]

Vzdušné vápno, které má obsah CaO min. 85 %, má $M_H > 6$,
Hydraulické vápno má $M_H < 6$
Portlandský cement $M_H < 2,5$
Hlinitanový cement $M_H < 1,5$.

Vápno vzdušné

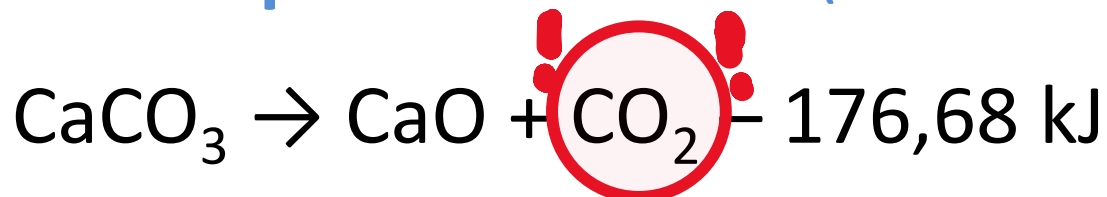
- Skládá se převážně z oxidu nebo hydroxidu vápenatého (hm. $\text{CaO} + \text{MgO} > 70\%$).
 - **Tuhne i tvrdne pouze na vzduchu**
 - **Surovina – čistý vápenec** – hornina tvořená kalcitem (CaCO_3) znečištěná jílovými minerály a dolomitem ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$).
-  vypaluje v rotačních 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

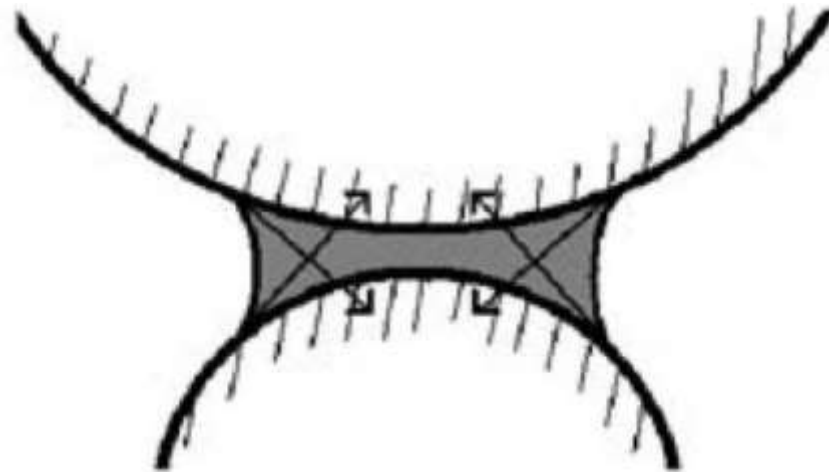
*vápeniny
hydrat*

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



Tuhnutí a tvrdnutí vzdušného vápna

Tuhnutí vápenné malty - sesycháním koloidního gelu vápenného pojiva. Tuhnutí je vyvolané odpařováním vody (malta ze vzdušného vápna pod vodou vůbec netuhne!). Shlukování částic hydroxidu vápenatého a jejich následný srůst. Ztuhlá struktura není trvale vodovzdorná.



Sesychání částic koloidního gelu hydroxidu vápenatého

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 s MH < 3 se svými vlastnostmi se podobají cementům.
- Z dovozu (Francie) = románský cement (prompt natural cement) přípravě exklusivních omítek, které jsou je 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 $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5 \text{H}_2\text{O}$

Sádra patří k nejstarším pojivům, které lidé používali již staří Egypťané a Asyřané.

Surovina – přírodní sádrovec (dihydrát $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) vznikl vypařováním slané vody z jezerech

Výroba sádry
dehydratací sádrovce
pomocí kalcinace

minerál s
 kg/m^3 ,
tvrdost po
2, vysoká
0,256g v



Sádra

- Sádru 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 (NaCl , KCl , NaSO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
- zpomalovače tuhnutí (látky, zpomalující tvorbu krystalizačních zárodků, látky povrchově aktivní – např. klíh, 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 přidavkem jiných pojiv a další

