

# Samotekoucí žárobetony (SFC)

VŠCHT Praha, Kutzendörfer J., Hamáček J.  
Žárohmoty Třemošná s.r.o., Korsá B.

## **Anotace**

Jsou uvedeny teoretické základy ztekucování žárobetonů. Po výpalu jsou sledována kritéria hutnosti žárobetonů a především jejich vlastnosti za vysokých teplot, jmenovitě únosnost v žáru, creep, pevnost v tlaku a v ohybu a koroze taveniny.

# Žárovzdorné materiály (ŽM)

- Tvarové
- Netvarové - žáromonolity
  - žárobetony
  - výdusky
  - malty
  - tmely
  - opravárenské směsi
  - nátěry
- Podíl narůstá (nyní cca 50 %)-podle státu

# Žárobetony (ŽB)

- ŽB se obecně skládají z
  - kameniva (hrubé částice  $> 45\mu\text{m}$ , 3-4 frakce)
  - matrix (jemné podíly  $< 45\ \mu\text{m}$ )
    - » cement portlandský, hlinitanový
    - » jemný  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$
    - » ztekucovadla, přísady

# ŽB mají řadu předností

- Odpadají některé technologické kroky (sušení, výpal)
- Klesá spotřeba energie
- Snižuje se počet spár a tím se zvyšuje odolnost vůči korozi
- Mají zvýšenou odolnost proti změnám teploty (OPZT)

# Žárověbetony (ŽB)

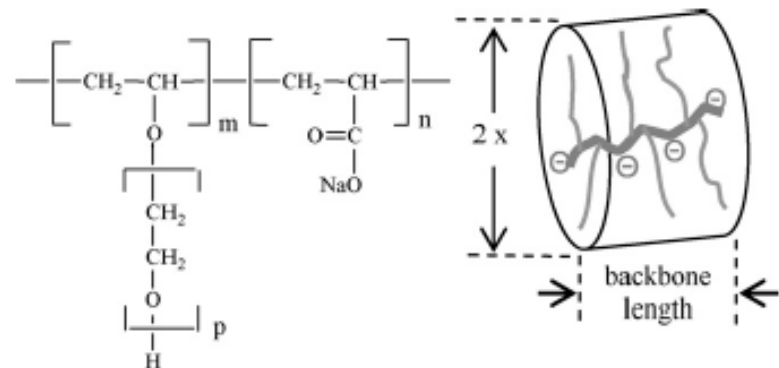
- Ke zlepšování žárových a mechanických vlastností vedou následující opatření:
  - Normální obsah cementu bývá do 30 % (CC – Cement Castable)
  - Snížení obsahu cementu 3-8 % (tj. 1-2,5 % CaO) (LCC – Low Cement Castable)
  - Další snížení 1-3 % (0,3-1%CaO) (ULCC – Ultralow Cement Castable)
  - Úplné odstranění cementu-bezcementové do 1 % (do 0,3 % CaO) (NCC- Non Cement Castable)
- V ternárním systému  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ , CaO tvoří nízkotavitelná eutektika

# Samotekoucí ŽB

- Samotekoucí ŽB (Self-flowing Castables – SFC) byly vyvinuty v posledních letech a rychle se rozvíjejí (přídavek vody obvykle 4,5-7,5 %)
- Jsou schopny :
  - Téci vlastní hmotností
  - Vyplňovat složité tvary

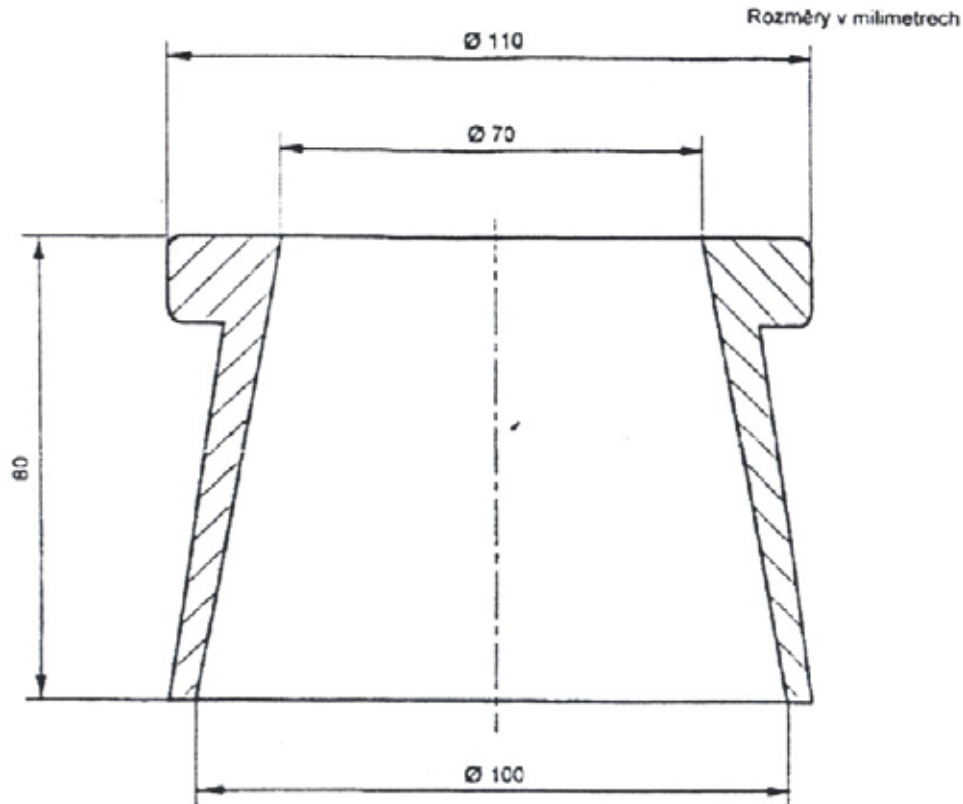
# Proces vytváření SFC

- Pro stabilizaci, aby správně „zakotvily“ k částici a druhá část řetězce s vysokou afinitou k disperznímu prostředí
- Ztekucovadla – různé obchodní názvy na bázi
  - Polyakrylové kyseliny
  - Směs křemičitanů a fosforečnanů
  - Kyselina citrónová a její soli
  - Nejnověji na bázi polykarboxyletherů



# Měření tekutosti SFC

- Osvědčila se normová metoda



# **Samotekoucí LCC-žárovbeton s obsahem páleného kaolínu a andalusitu**

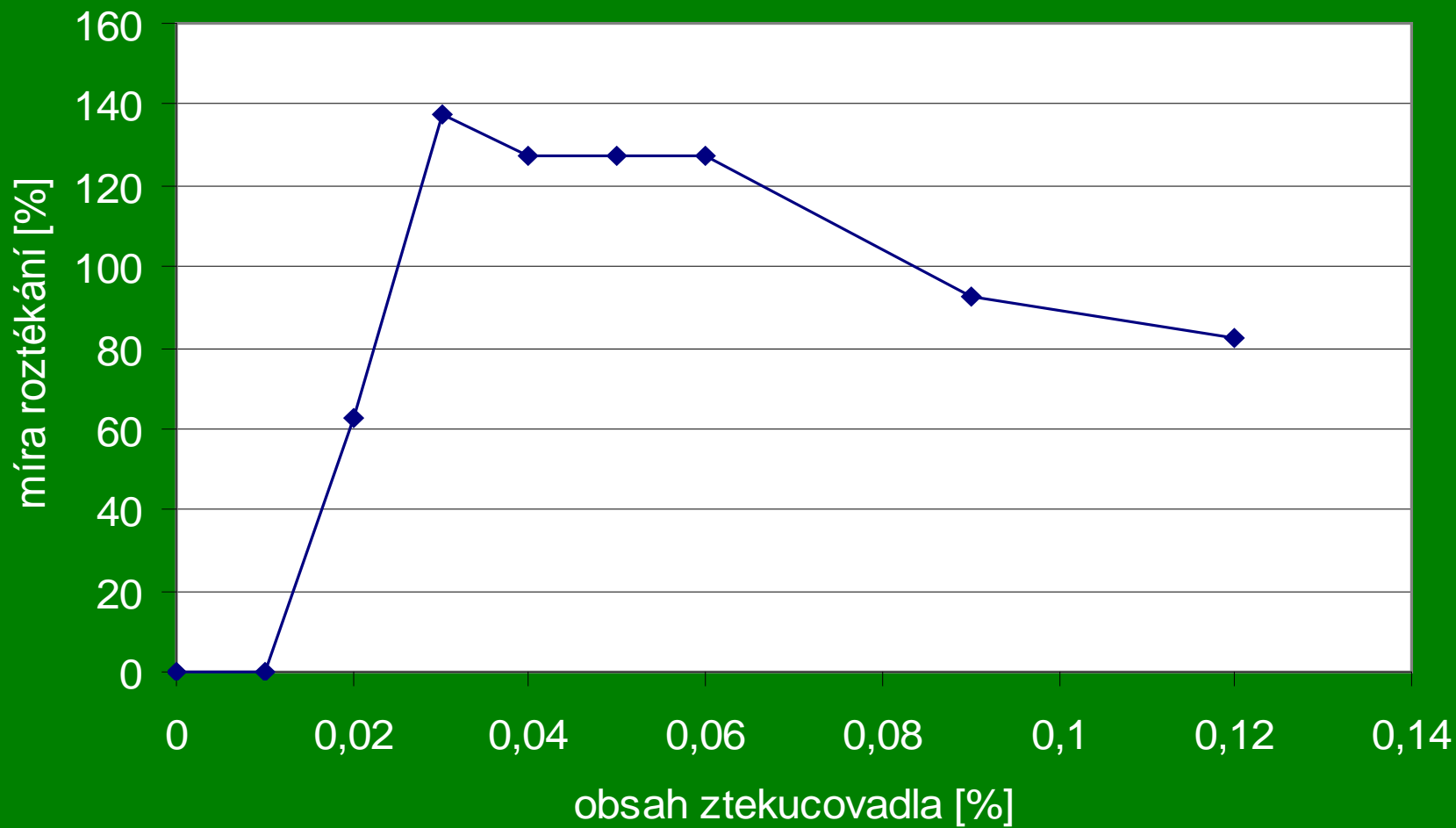
- provedena optimalizace množství ztekucujících látek
- použita metoda stanovení konzistence žárovbetonů viz ČSN EN 1402-4 (míra roztékání kužele)
- odzkoušena ztekucovadla na bázi polyakrylátů (Darvan 811 D), polyfosfátů (tripolyfosfát sodný) a polykarboxyletherů (typ Castament - různé druhy), dále byly pro zkoušky ztekucování použity „dispergující“ oxidy hlinité (označení MADS 1, MADW 1, ADW 1, ADS 1, ADS 3) - směsi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a cca 10 % ztekucující složky

# Samotekoucí LCC-žárobeton s obsahem páleného kaolínu a andaluzitu

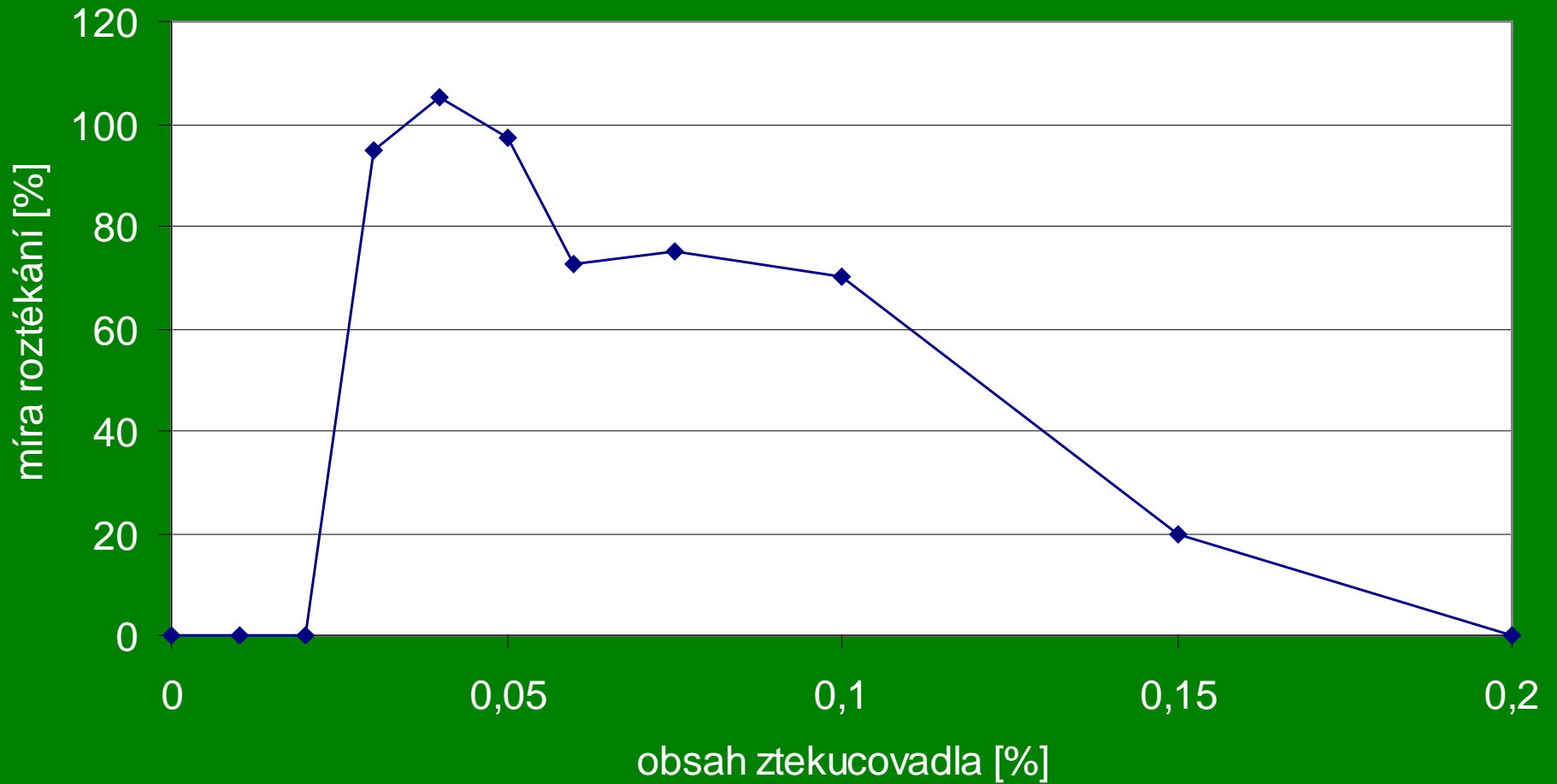
<b>Složka ŽB</b>	<b>Obsah složky [hm.%]</b>
<b>Kaolínové kamenivo</b>	<b>57</b>
<b>Andaluzit</b>	<b>20</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>14</b>
<b>Mikrosilika</b>	<b>4</b>
<b>Hlinitanový cement</b>	<b>5</b>

- shodný optimální obsah záměsové vody 7 hm. % (vztaženo na suchou směs)

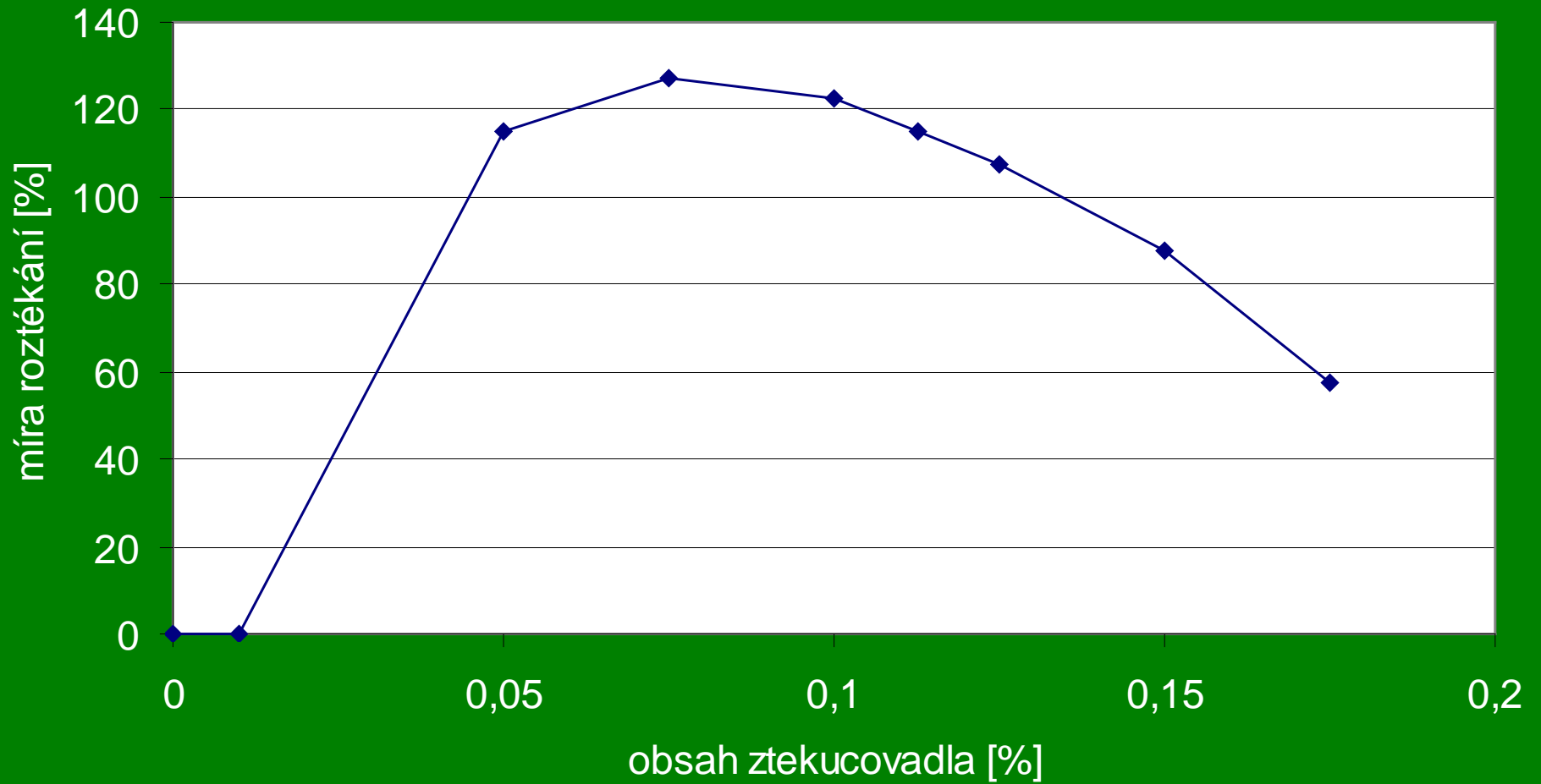
# Darvan 811 D



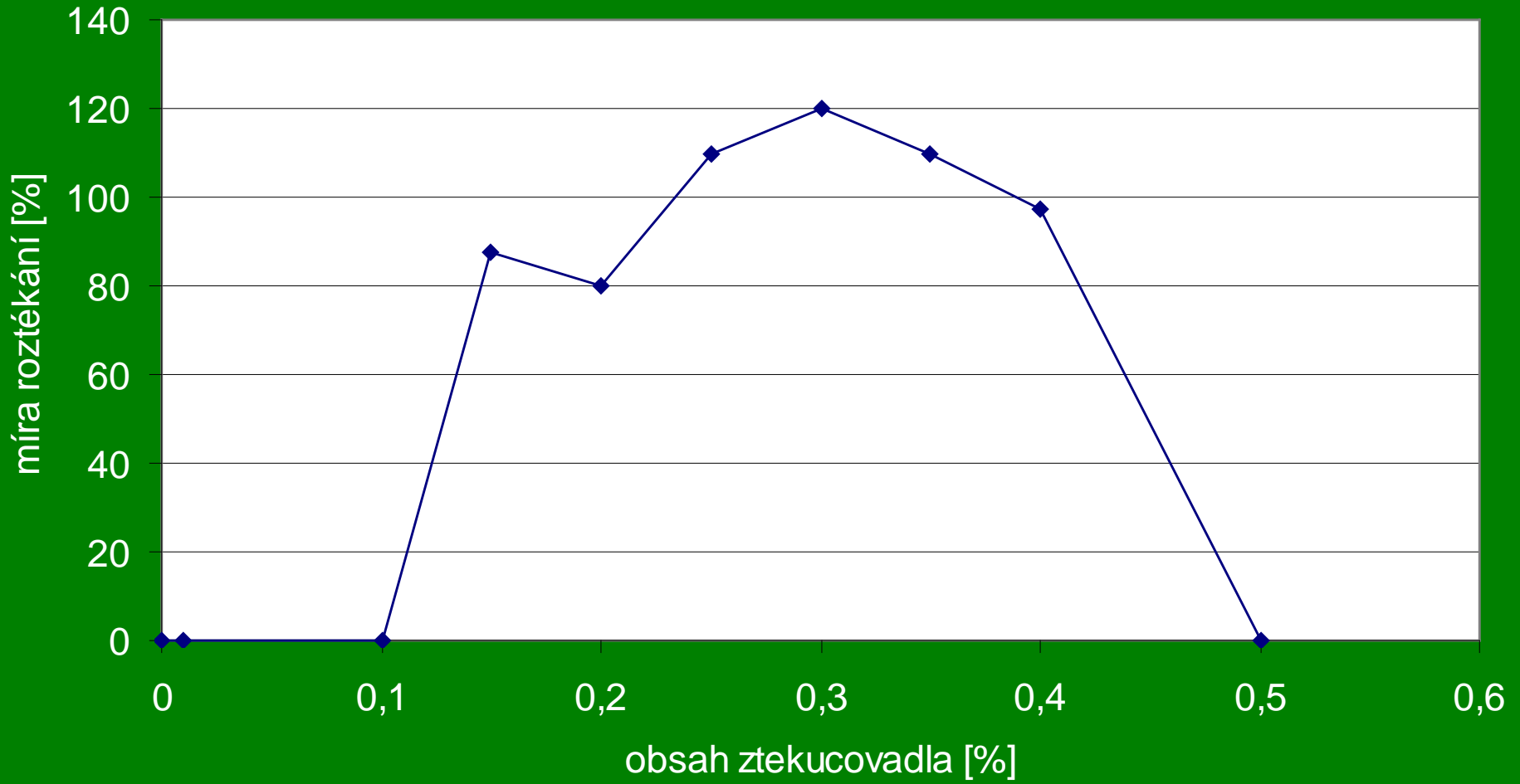
# Tripolyfosfát sodný



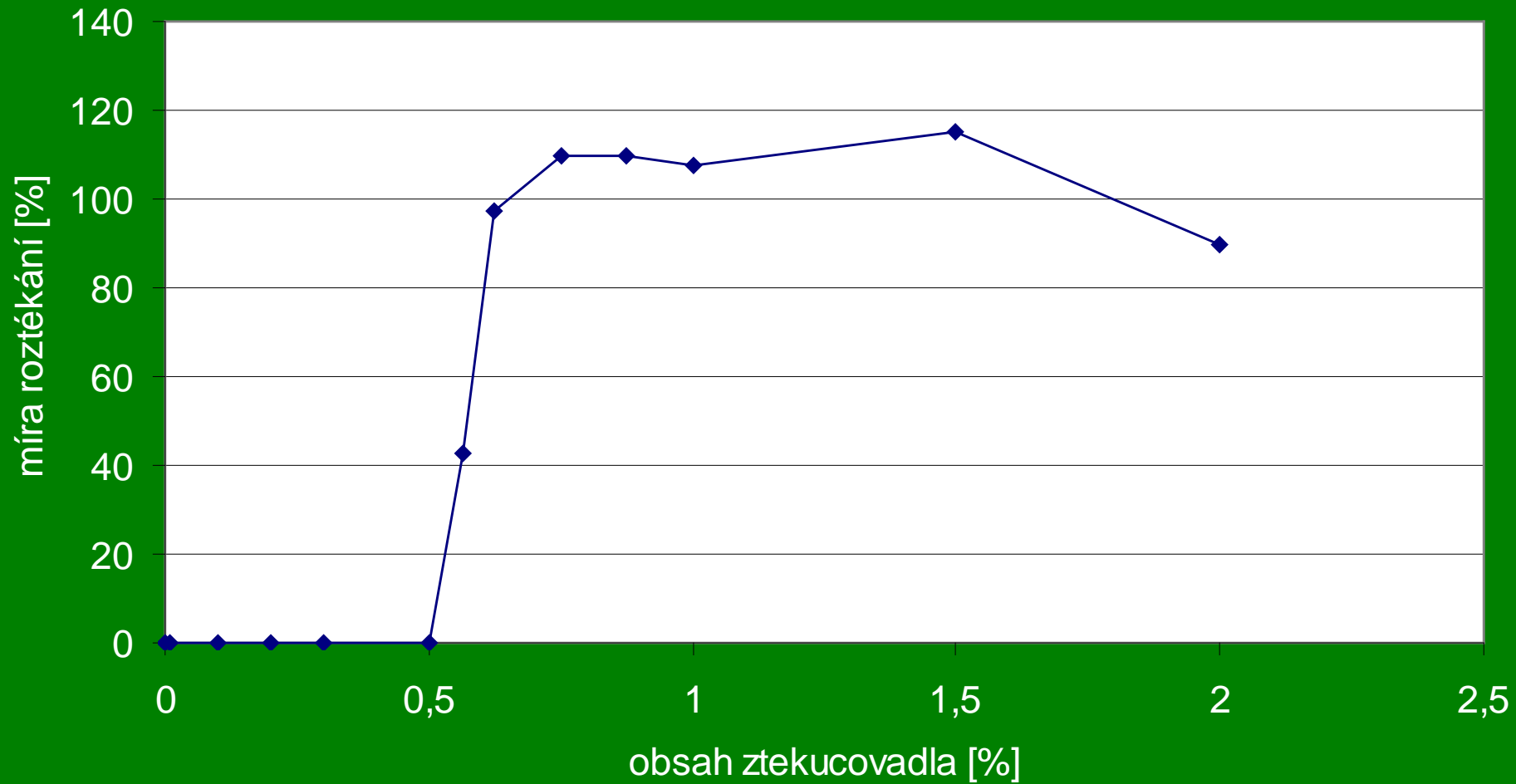
# Castament FS 20



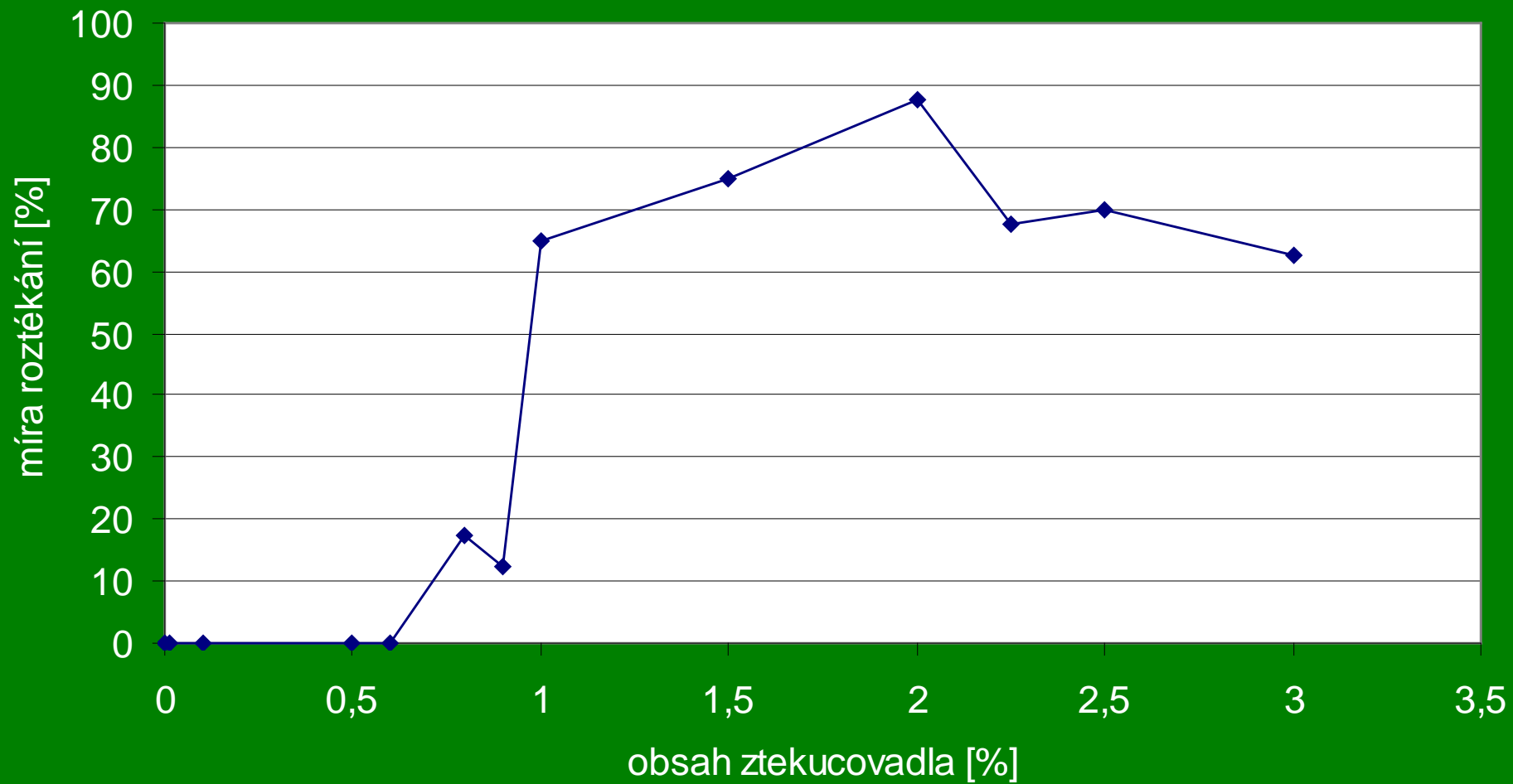
# Castament FS 60



# MADS 1



# MADW 1



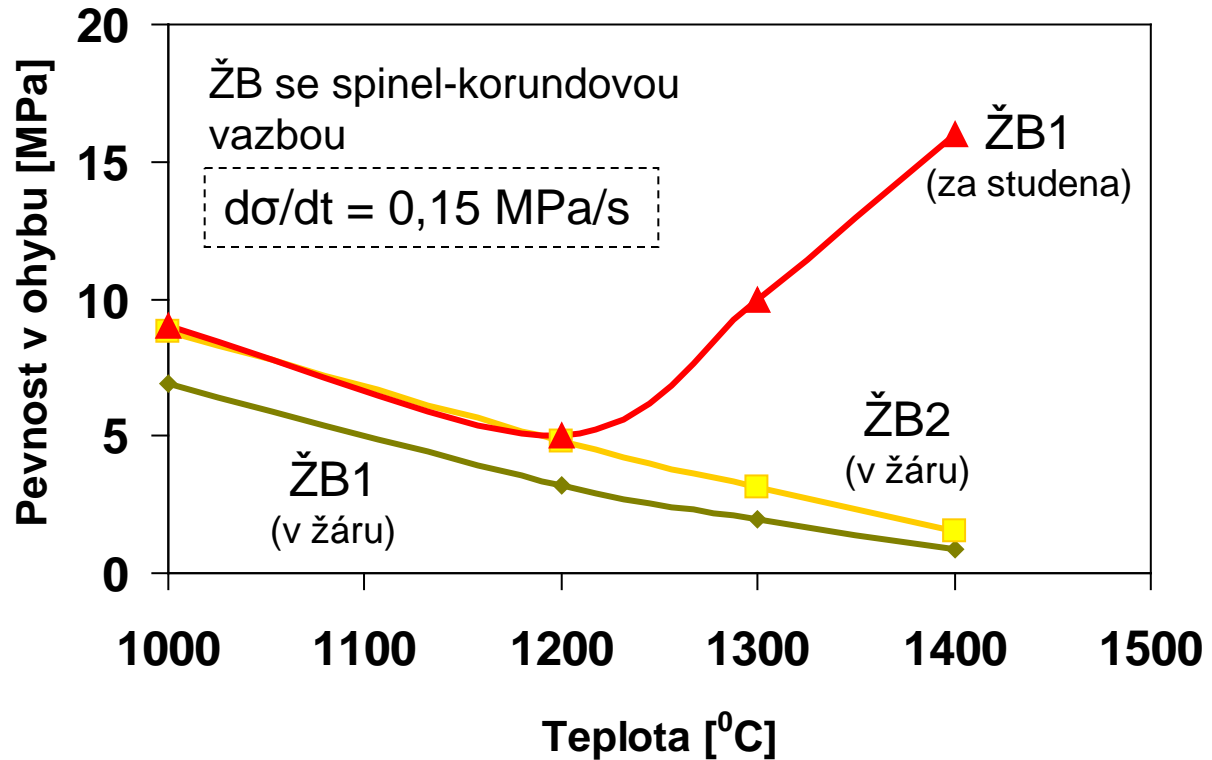
# Vyhodnocený optimální obsah ztekucovadla

Ztekucovadlo	Optimální obsah ztekucovadla [hm. %]	Míra roztékání [hm. %]
Darvan 811 D	0,03	137,5
Tripolyfosfát sodný	0,04	105
Castament FS 20	0,075	127,5
Castament FS 60	0,3	120
MADS 1	0,75	110
MADW 1	2,0	87,5
Castament FS 10	v rozsahu 0-2 %	0 (neztekucuje)
Castament FW 10	v rozsahu 0-2 %	0 (neztekucuje)
Castament FS 30	v rozsahu 0-2 %	0 (neztekucuje)

# Žárové vlastnosti ŽB

- Z důvodu jednoduchosti se zjišťují hlavně vlastnosti ŽB **za normálních teplot**
- Z hlediska použití **nedostatečné** (téměř nulová vypovídající schopnost pro chování za vysokých teplot)
- Proto je nezbytné se zaměřit na měření vlastností a zjišťování chování **za vysokých teplot**

# ZÁVISLOST PEVNOSTI V OHYBU (HMOR) LCC



odlišný průběh pro měření pevností v ohybu v žáru (HMOR) a za studena (MOR)

# Chování ŽB za zvýšené teploty

- **Elastické**  
(Hookova hmota),  $E$
- **Plasticko-elastické**  
(přechodná oblast),  $E, \eta$
- **Plastické**  
(Newtonská event. jiná kapalina),  $\eta$

# TERMOMECHANICKÉ VLASTNOSTI ŽÁROBETONŮ (ŽB)

1 Chování ŽM  
za vysokých  
teplot popisují  
vztahy veličin

ŽM = žáromateriál

NAPĚTÍ [ $\sigma$ ]
DEFORMACE [ $\epsilon$ ]
TEPLOTA [T]
ČAS [t]

2

Závisí na  
vlivu struktury  
materiálu

**DEFORMACE**

vratná

nevratná

3 Vysoké  
termomechanické  
vlastnosti

Co nejnižší obsah  
složek

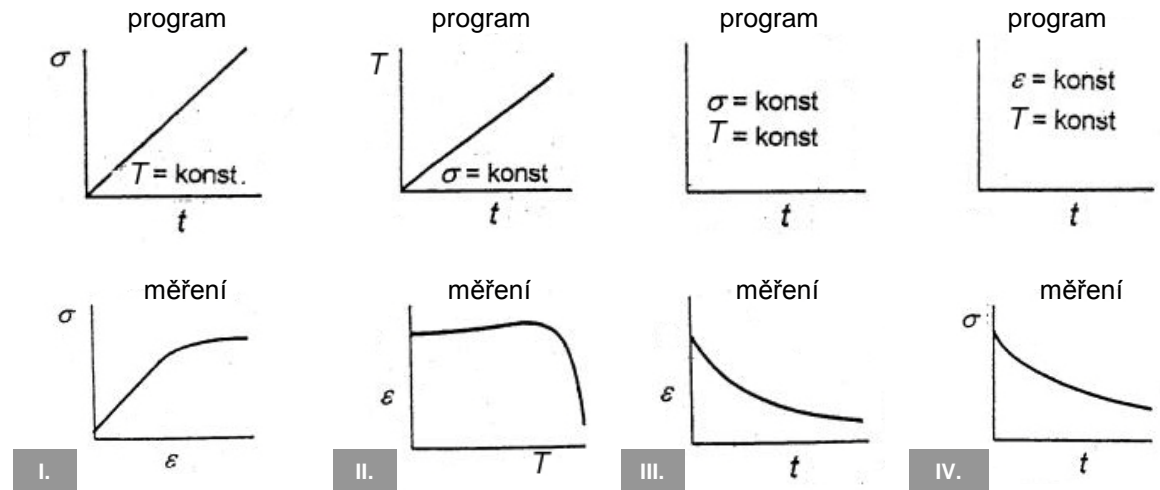
Použití surovin s  
minimem nečistot

**PŘECHODOVÁ  
TEPLOTA**

cca 0,4 - 0,5  $T_{\text{tání}}$

# STATICKÉ TERMOMECHANICKÉ (TM) ZKOUŠKY

EXPERIMENTÁLNÍ  
USPOŘÁDÁNÍ



I.

## Pevnost a modul pružnosti

§ rovnoměrné zvyšování síly působící na vzorek popř. za současné registrace deformace, při konst. teplotě

II.

## Únosnost v žáru

§ rovnoměrné zvyšování teploty při konst.napětí ve vzorku, registrace závislosti deformace na teplotě

III.

## Tečení

§ měření deformace v závislosti na čase, při konstantním napětí

IV.

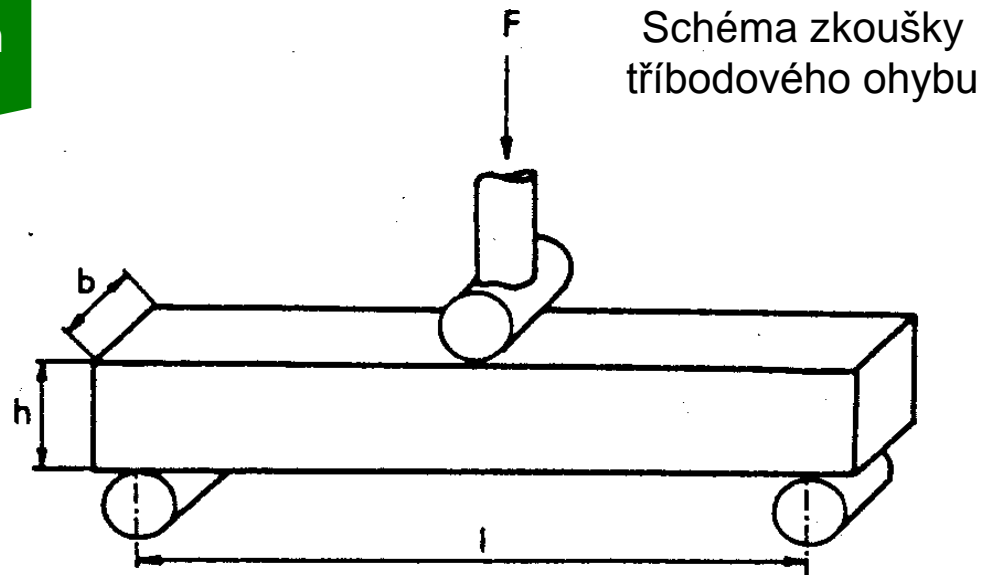
## Relaxace napětí

§ měření deformace v závislosti na čase, při konstantním deformace a teplotě

# STANOVENÍ TERMOMECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ ŽM

## NORMOVÉ ZKOUŠKY

A Pevnost v ohybu při  
zvýšených teplotách  
(ČSN EN 993-7)

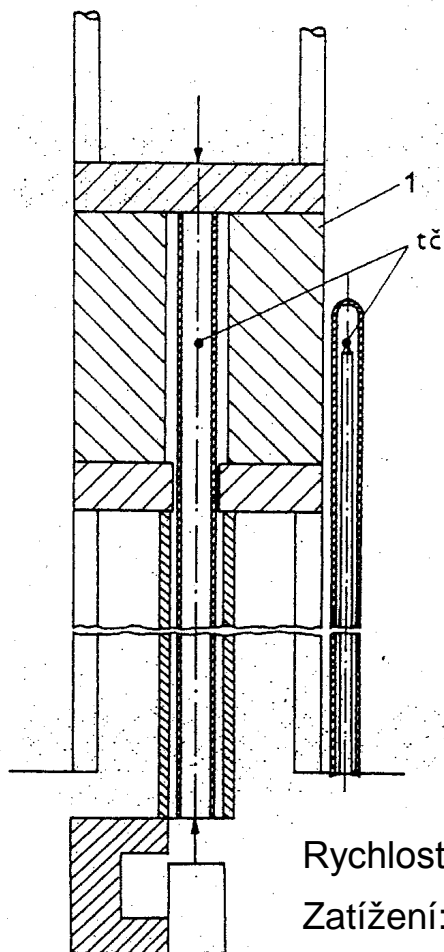


$$\sigma = 1.5 F \cdot l / h \cdot b^2$$

Rychlost ohřevu: 5 °C/min

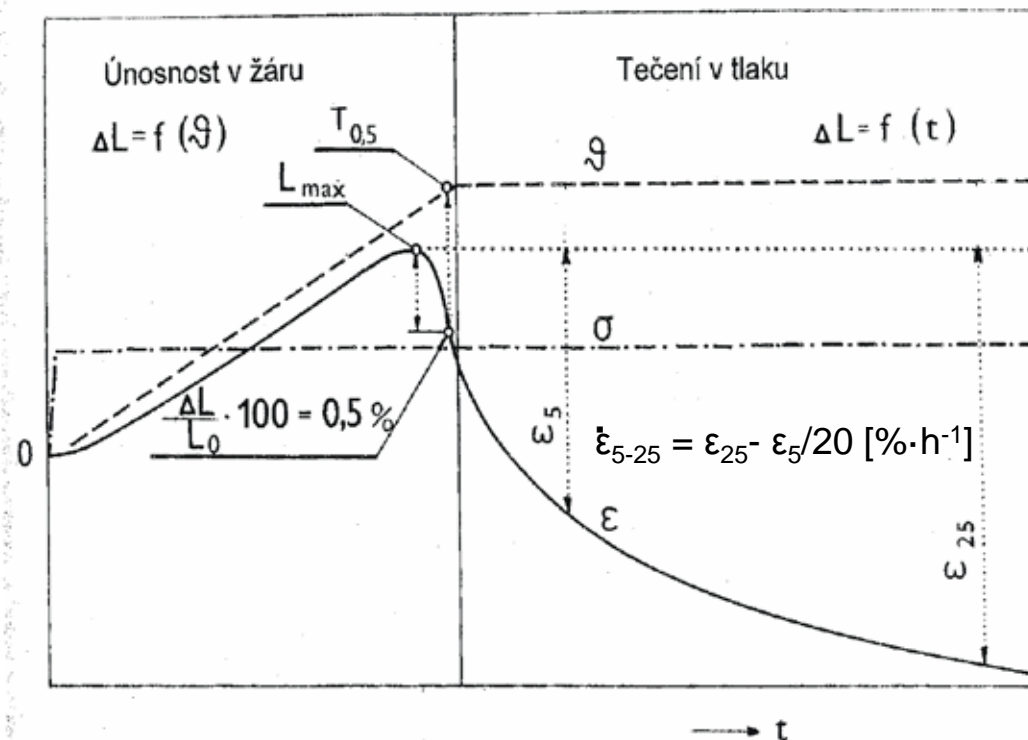
Rychlost zatěžování: 0,15 MPa/s

**1 Zkušební těleso**  
válec s otvorem v ose



**B** Stanovení  
únosnosti v žáru  
(ČSN EN 993-8)

**C** Stanovení  
tečení v tlaku  
(ČSN EN 993-9)



Rychlost ohřevu:  $5 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$

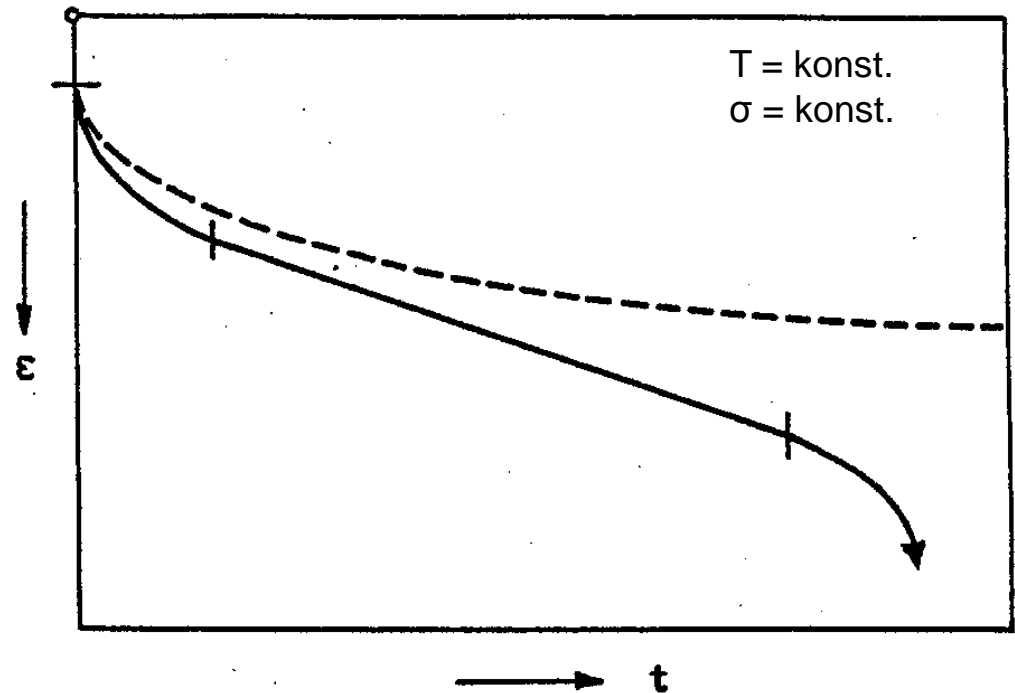
Zatížení: 0,05 až 0,2 MPa

# OBECNÝ PRŮBĚH VYSOKOTEPLOTNÍHO TEČENÍ TĚLES

**v tahu (ohybu)  
nebo smyku**

3 fáze

PRIMÁRNÍ  
SEKUNDÁRNÍ  
TERCIÁLNÍ



**v tlaku**

- rychlost deformace s časem klesá
- během zkoušky se zvětšuje průřez tělesa
- odpadá terciální tečení a lom (destrukce)

# ZÁVISLOST RYCHLOSTI DEFORMACE NA T, $\sigma$

$$\dot{\epsilon} = d\epsilon/dt = A \cdot \sigma^n \cdot \exp[-E^*/RT]$$

⋮            ⋮

$$\ln \dot{\epsilon} = -E^*/RT + n \cdot \ln \sigma + \ln A$$

A ... konstanta zahrnující vliv struktury materiálu  
n ... napěťový koeficient  
E\* ... zdánlivá aktivační energie procesu tečení

## TEORETICKY STAČÍ

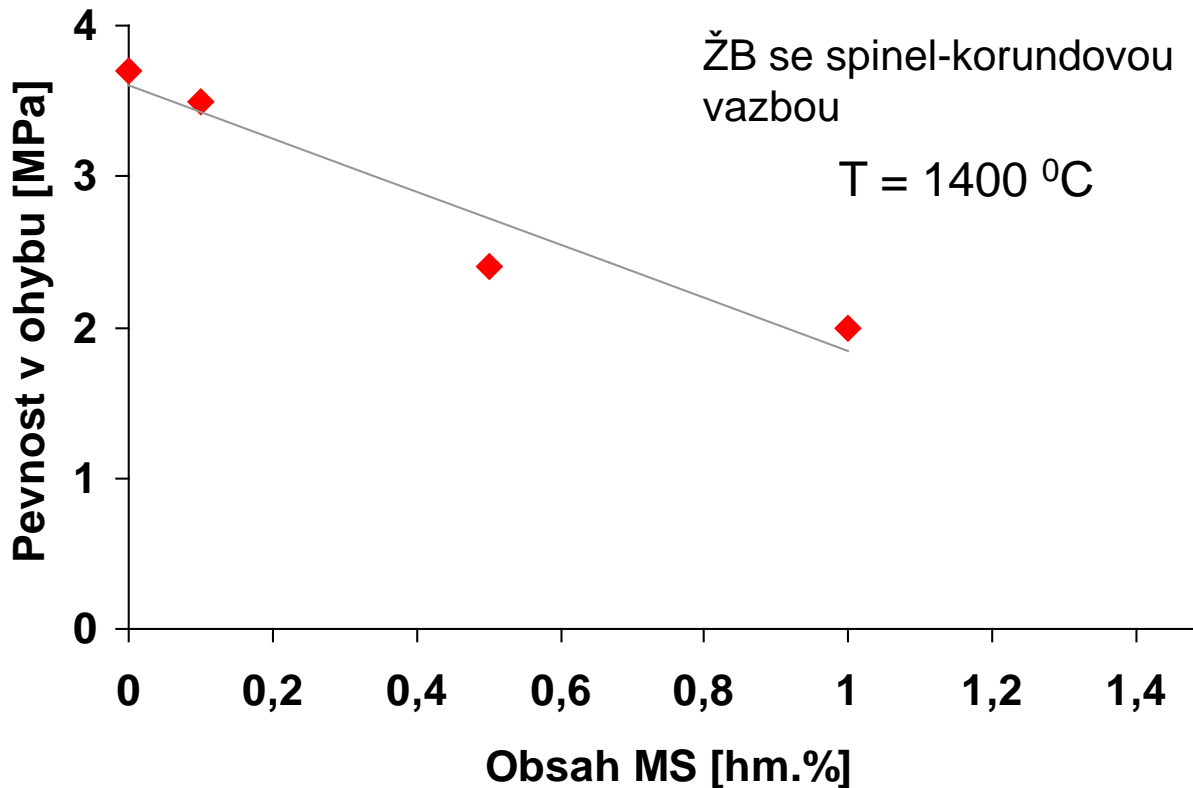
min. 3 izotermní zkoušky tečení  
provedené při různých T,  $\sigma$

nebo min. 3 zkoušky provedené při  
různých rychlostech vzestupu T

$$\dot{\epsilon} = d\epsilon/dt = d\epsilon/dT \cdot dT/dt = A \cdot \sigma^n \cdot \exp[-E^*/RT]$$

# ZÁVISLOST PEVNOSTI V OHYBU (HMOR) LCC

V ZÁVISLOSTI NA OBSAHU MIKROSILIKY (MS)

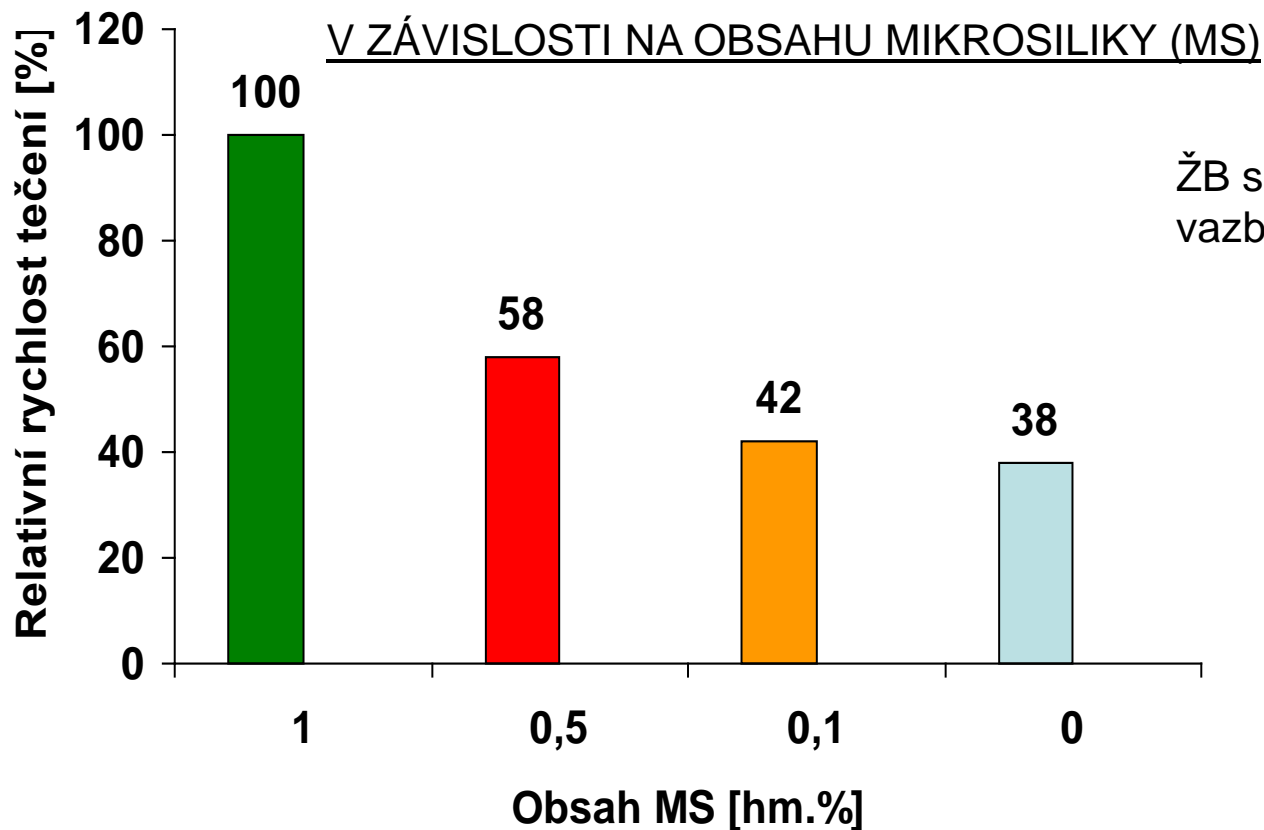


*ZÁVISLOST  
DEFORMACE  
VZORKŮ NA T*

$\sigma = 0,1 \text{ MPa}$

MS [hm.%]	$T_v$ [°C]
0	1400
0,1	1380
0,5	1350
1	1325

# RYCHLOST TEČENÍ V USTÁLENÉ OBLASTI

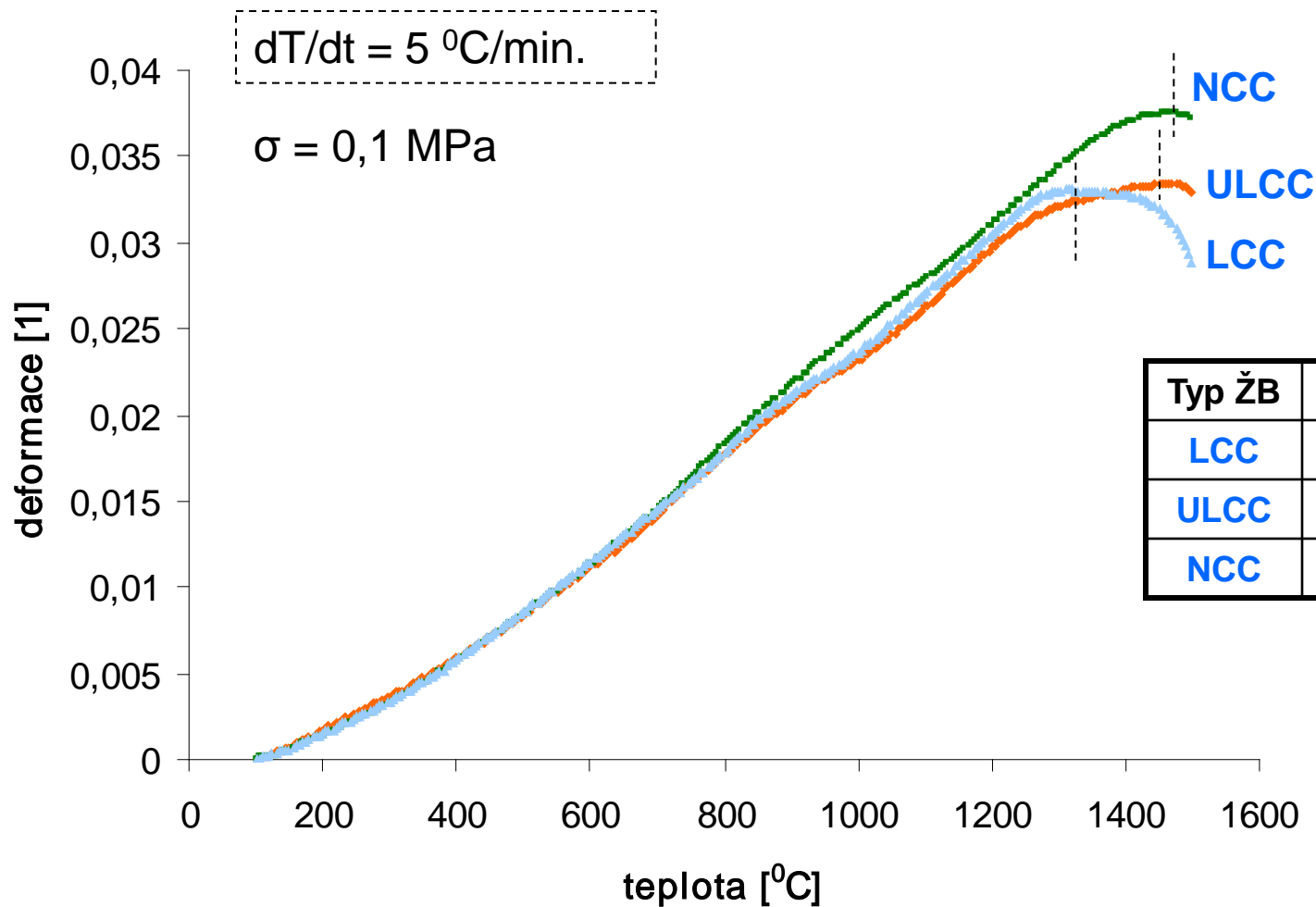


ŽB se spinel-korundovou vazbou

$T = 1400^{\circ}\text{C}$

$\sigma = 0,1 \text{ MPa}$

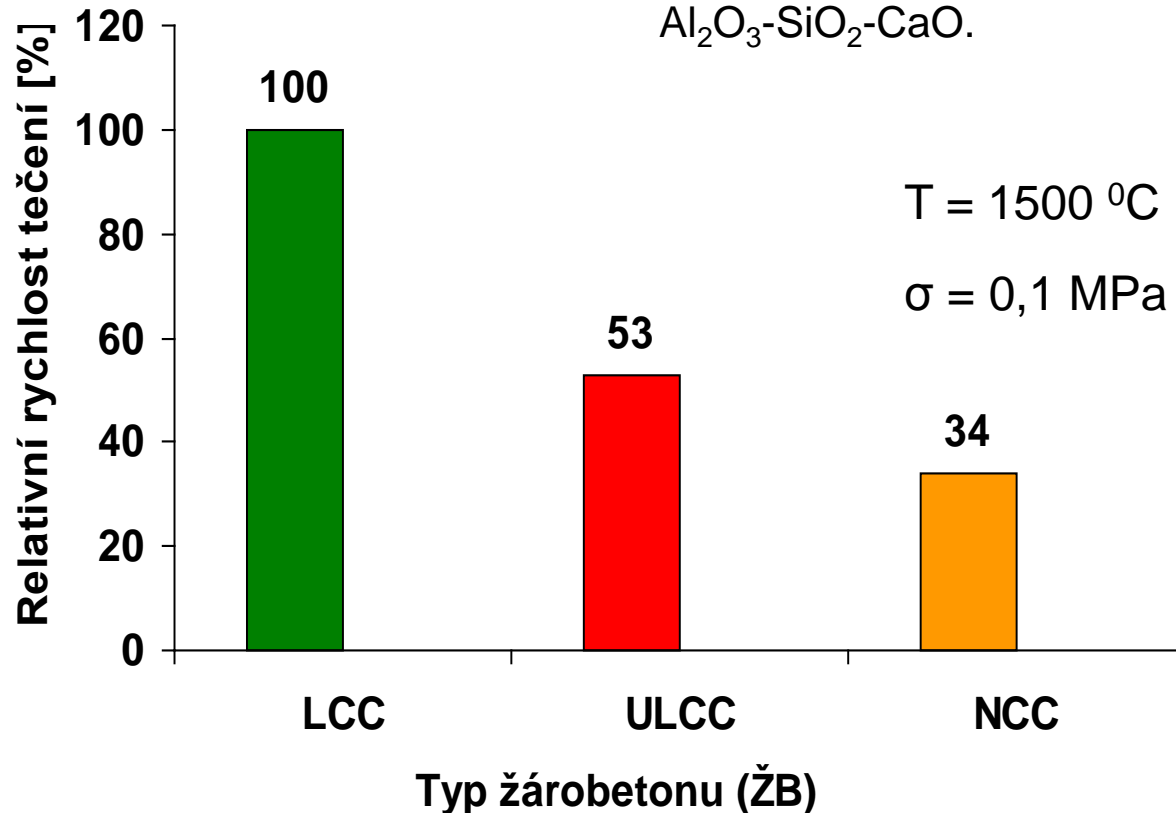
# ZÁVISLOST DEFORMACE VZORKŮ NA T



# SROVNÁNÍ STŘEDNÍ RYCHLOSTI DEFORMACE VZORKŮ PRO $T=1500^{\circ}\text{C}$

Vysvětlení poklesu TM parametrů s rostoucím množstvím cementu (CaO):

1. Cement obsahuje CaO a vzniká tavenina, jejíž množství je úměrné obsaženému cementu.
2. S rostoucím množstvím CaO se zmenšuje poměr  $\text{SiO}_2/\text{CaO}$  a výrazně klesá viskozita taveniny v systému  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-CaO}$ .



# ZÁVĚR

1. Jeden ze směrů dalšího zaměření vývoje ŽB je optimalizace vlastností SFC
2. Postupný přechod na měření a sledování vlastností ŽB za vysokých teplot
3. V oblasti elastického chování budou preferovány pevnostní charakteristiky a měřena pevnost v ohybu při zvýšených teplotách, ČSN EN 993-7
4. V oblasti plasticko-elastického chování budou preferovány normové zkoušky únosnost v žáru, ČSN EN 993-8
5. Dále budou v oblasti plasticko-elastického chování preferovány zkoušky tečení (deformace v závislosti na čase a na teplotě), ČSN EN 993-9
6. V laboratoři ÚSK je sledováno tečení v trojbodovém ohybu

# ZÁVĚR

1. Jeden ze směrů dalšího zaměření vývoje ŽB je optimalizace vlastností SFC
2. Postupný přechod na měření a sledování vlastností ŽB za vysokých teplot
3. V oblasti elastického chování budou preferovány pevnostní charakteristiky a měřena pevnost v ohybu při zvýšených teplotách, ČSN EN 993-7
4. V oblasti plasticko-elastického chování budou preferovány normové zkoušky únosnost v žáru, ČSN EN 993-8
5. Dále budou v oblasti plasticko-elastického chování preferovány zkoušky tečení (deformace v závislosti na čase a na teplotě), ČSN EN 993-9
6. V laboratoři ÚSK je sledováno tečení v trojbodovém ohybu

**Děkuji za pozornost.**