



**FAKULTA
STAVEBNÍ
ČVUT V PRAZE**

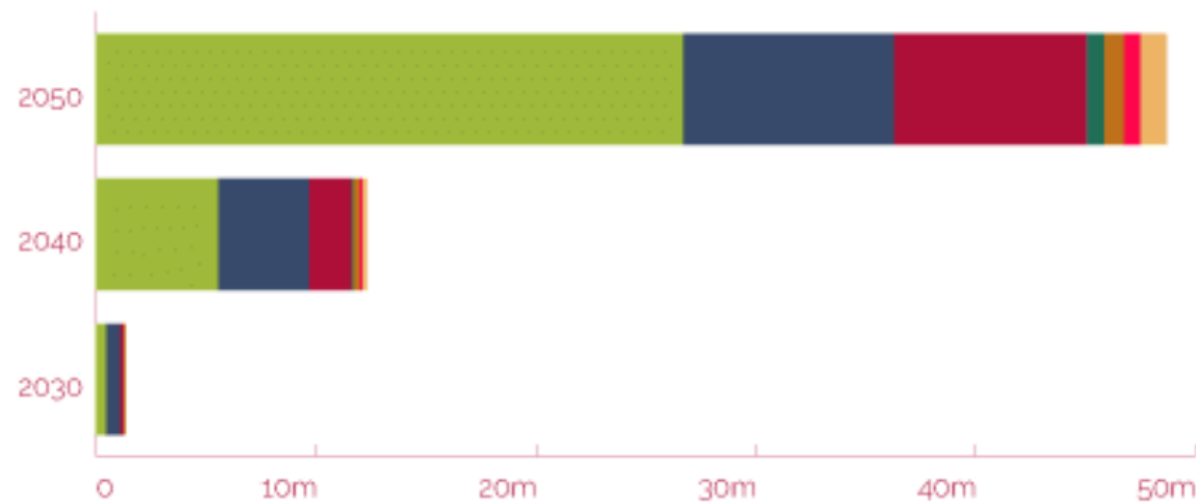
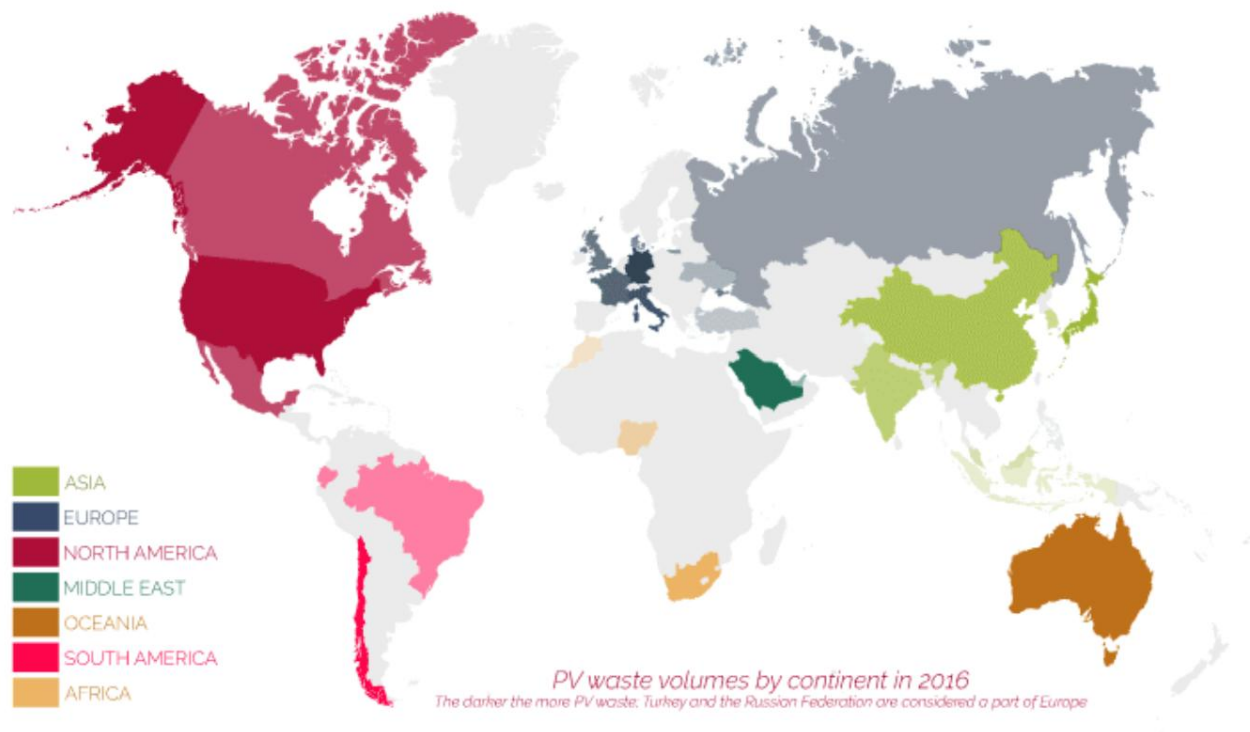
TVÍP 14. - 16. 10. 2025, Hustopeče

Efektivní využití odpadového skla jako částečné náhrady cementu v cementových kompozitech

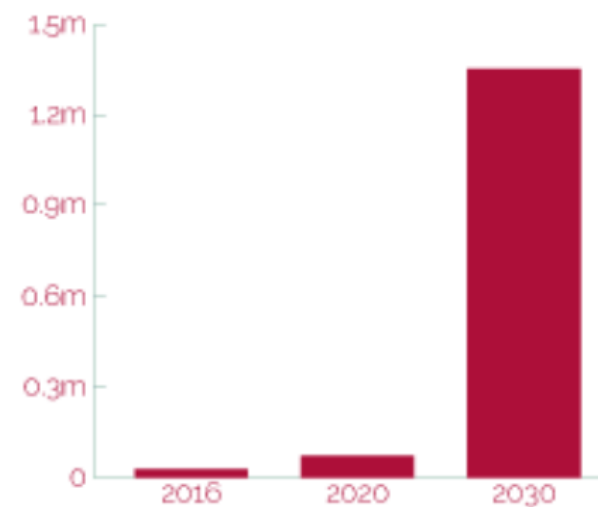


Zdeněk Prošek, Aleš Palička a Pavel Tesárek

Fakulta stavební
ČVUT v Praze

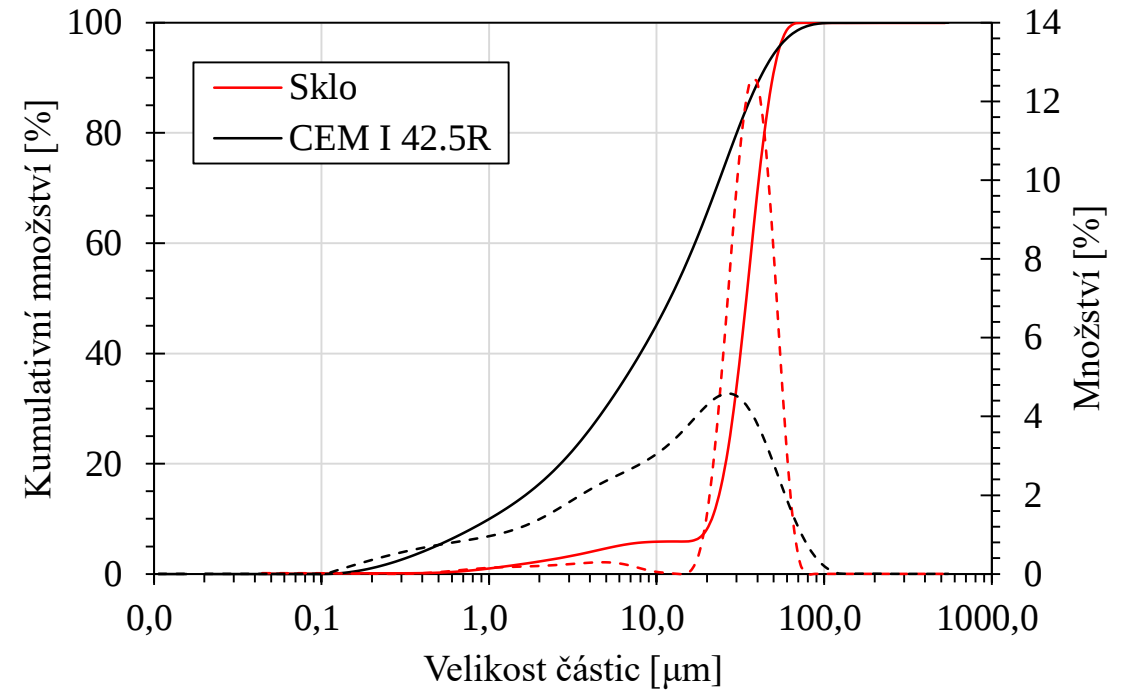
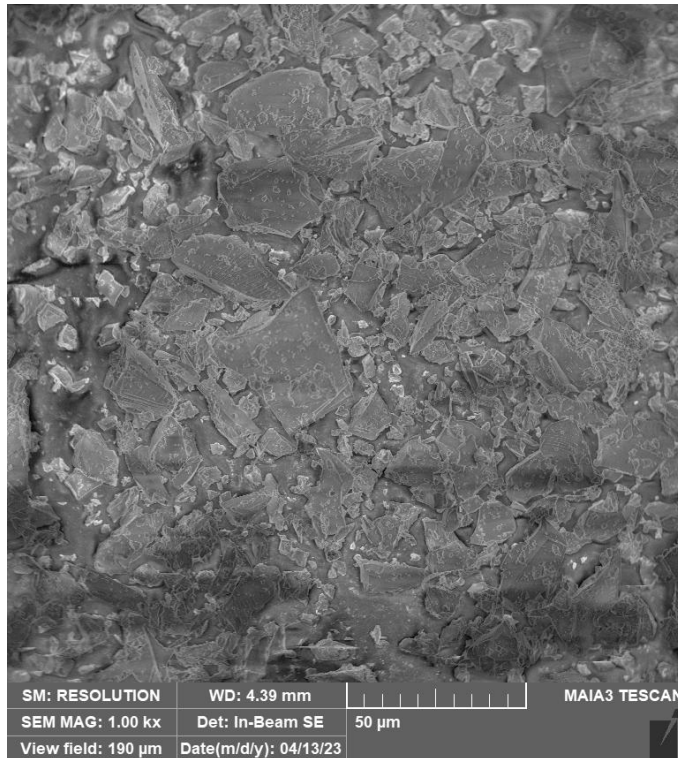


Estimated PV waste volumes by continent in the coming decades (t)



Estimated PV waste increase (t)

- Odpadní sklo z obalového průmyslu,
- Recifa, a.s.



- Složení testovaných směsí
 - Tři složky:
 - Portlandský cem. CEM I 42,5R
 - Odpadní materiál na bázi skla
 - Voda: vodní součinitel $w/b = 0,35$
- Vzorky
 - 6 vzorků $40 \times 40 \times 160$ mm.



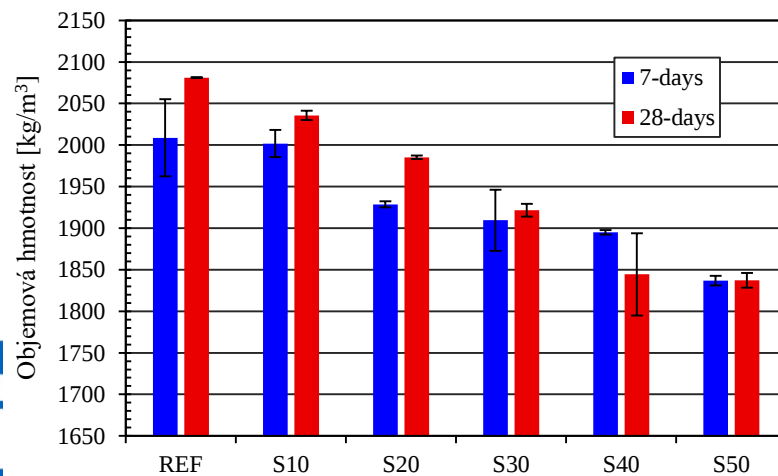
CEM I 42.5 R



Mikromleté odpadní sklo

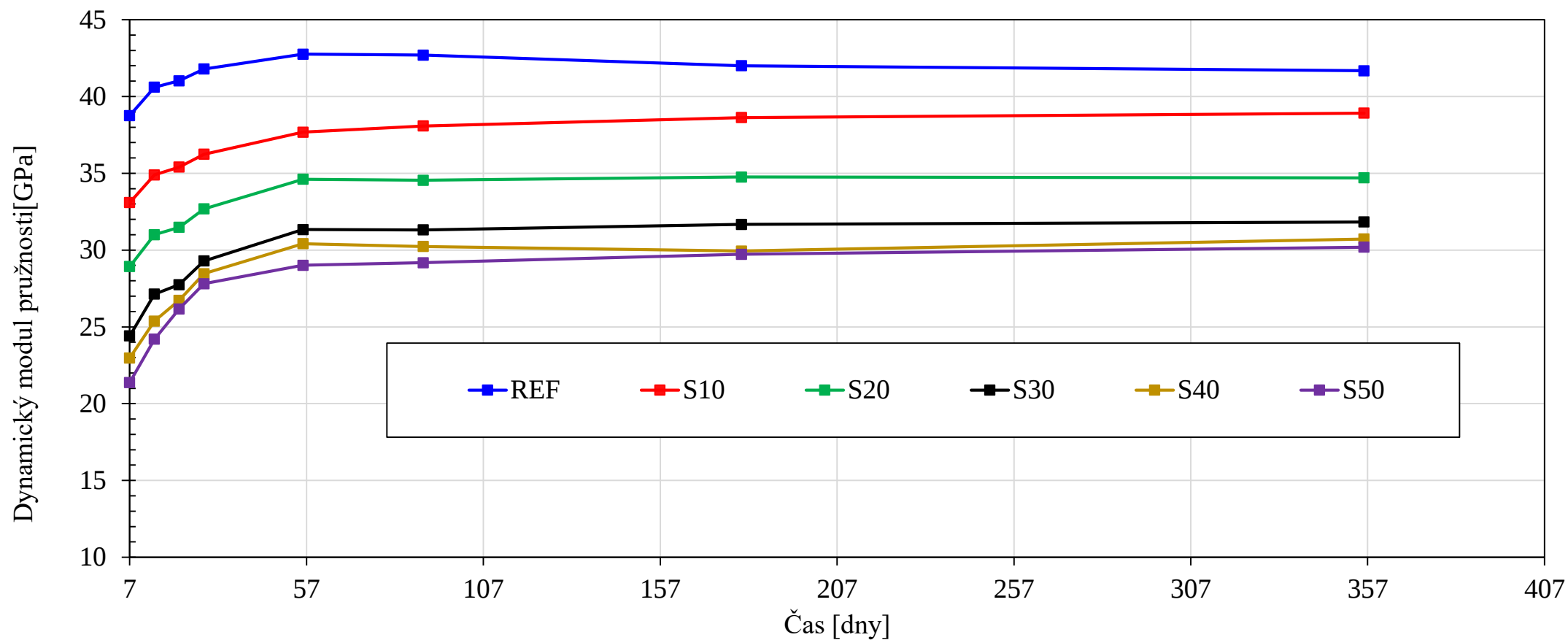
Složení testovaných směsí

Ozn.	CEM I 42,5R [kg]	Sklo [kg]	Voda [kg]	Součinitel voda/cement [-]	Rozlití [mm]
REF	3.0	0.0	1.05	0.35	205±5
S10	2.7	0.3	1.05	0.39	210±5
S20	2.4	0.6	1.05	0.44	205±10
S30	2.1	0.9	1.05	0.50	215±1
S40	1.8	1.2	1.05	0.58	205±1
S50	1.5	1.5	1.05	0.7	195±5

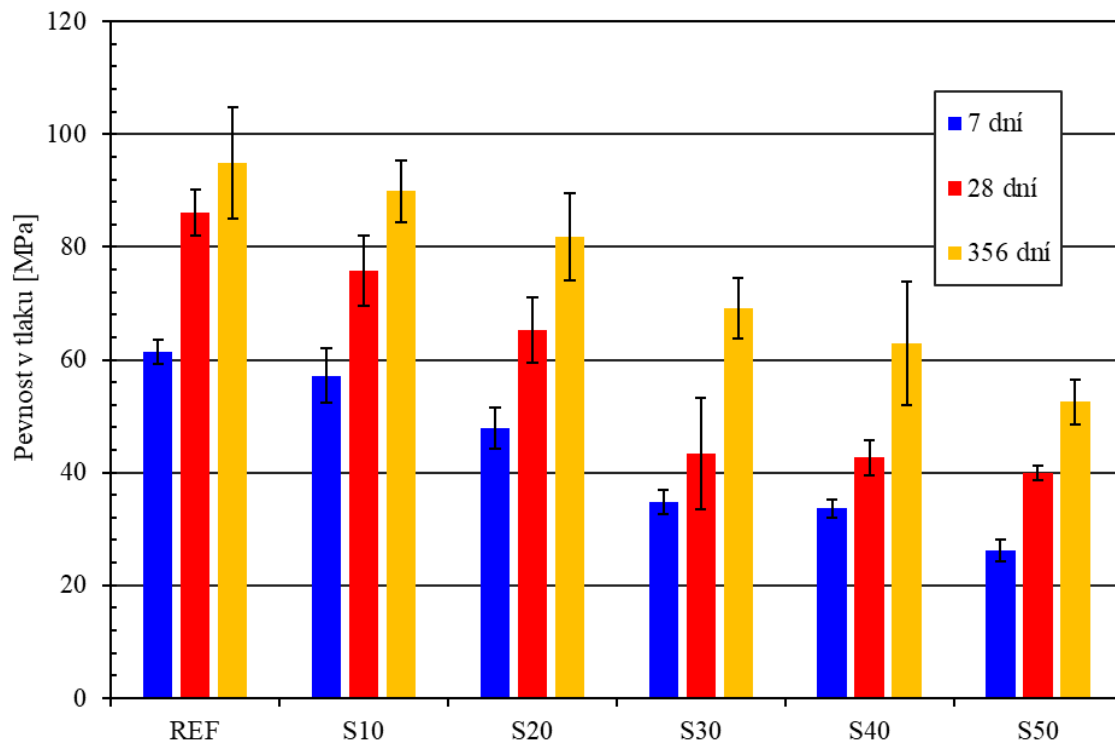


- Nedestruktivní testy
 - Dynamický modul pružnosti
- Destruktivní testy
 - Pevnost v tlaku
 - Pevnost v tahu za ohybu
- Povrchové úpravy
 - Plazmatické ošetření

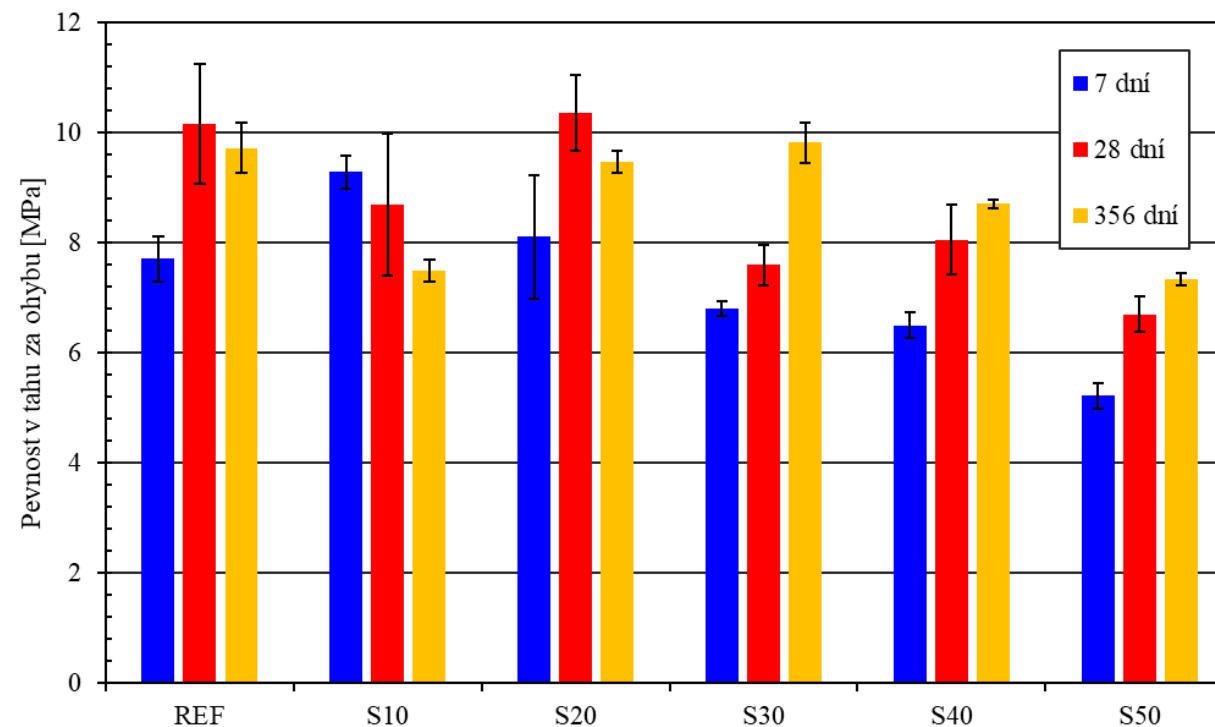




Porovnání dynamického modulu
pružnosti

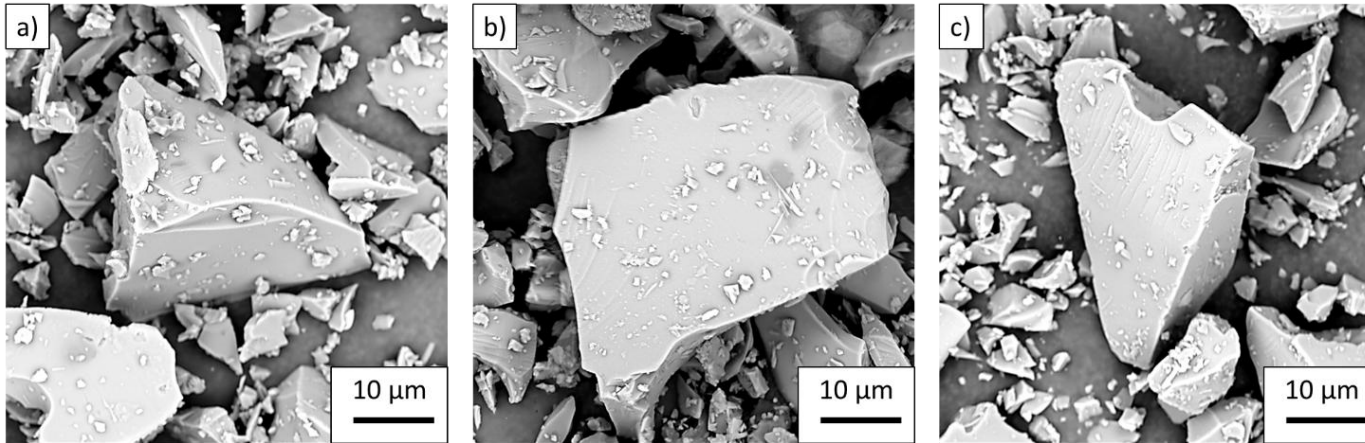


Pevnost v tlaku se směrodatnou
odchylkou



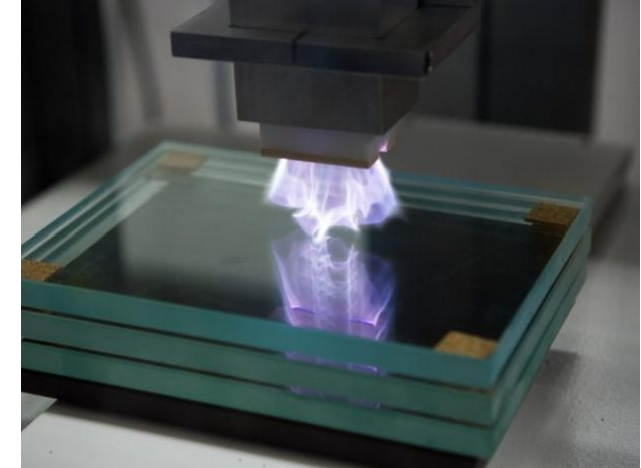
Pevnost v tahu za ohybu se směrodatnou
odchylkou

- Plazmatické ošetření H_2 , O_2 



Obr.: Snímky ze SEM mikroskopu, zvětšeno 4,5 kx, detektor BSE: a) skleněný prášek bez povrchové úpravy, b) skleněný prášek ošetřený kyslíkovým plazmatem, c) skleněný prášek ošetřený vodíkovým plazmatem.

- Testování zóny mezi sklem a C-S-H gelem.
 - SEM
 - Nano indentace



Zdroj: <https://matca.cz/>

- Makromechanické vlastnosti
 - Pevnost v tahu za ohybu
 - Pevnost v tlaku

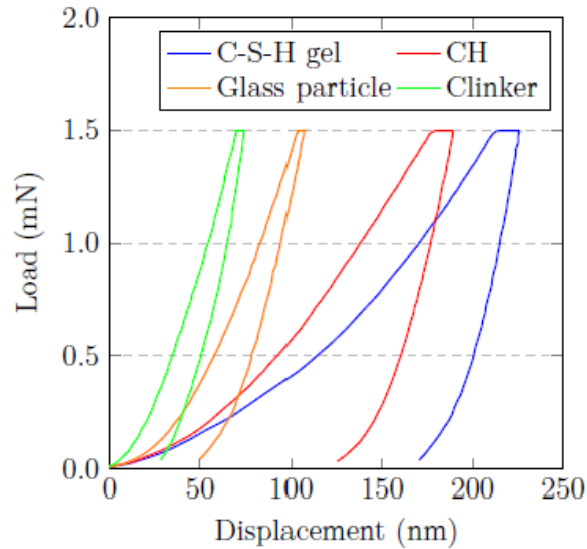


Figure 1: Typical load-displacement curves measured by nanoindentation.

Table 1: Young's modulus and volume fraction calculated by statistical deconvolution.

Phase	ref		20-ref		20-0		20-H	
	E (GPa)	f (%)	E (GPa)	f (%)	E (GPa)	f (%)	E (GPa)	f (%)
C-S-H gel	32.6 ± 3.8	62.3	25.7 ± 4.3	56.5	25.5 ± 5.4	54.9	25.3 ± 5.1	55.1
CH	44.3 ± 3.0	18.1	41.7 ± 5.5	16.8	43.2 ± 5.2	10.7	44.4 ± 4.8	11.8
Glass particles	–	–	75.7 ± 9.1	25.2	77.3 ± 8.9	30.7	71.6 ± 7.5	29.5
Clinker	98.4 ± 42.8	19.5	121.4 ± 19.1	1.5	104.5 ± 7.2	3.7	106.5 ± 22.8	3.6

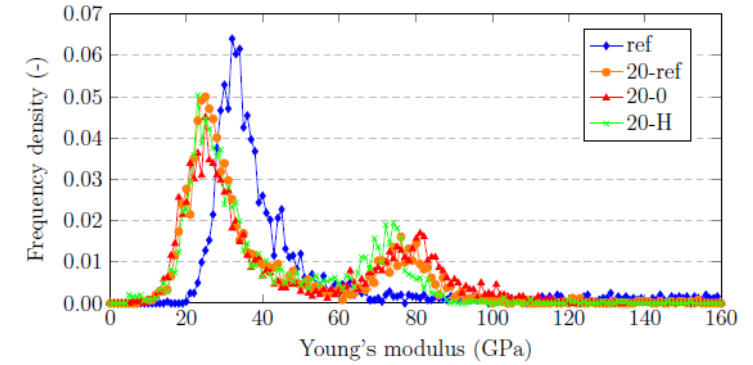


Figure 2: Frequency plot of Young's modulus measured by nanoindentation.

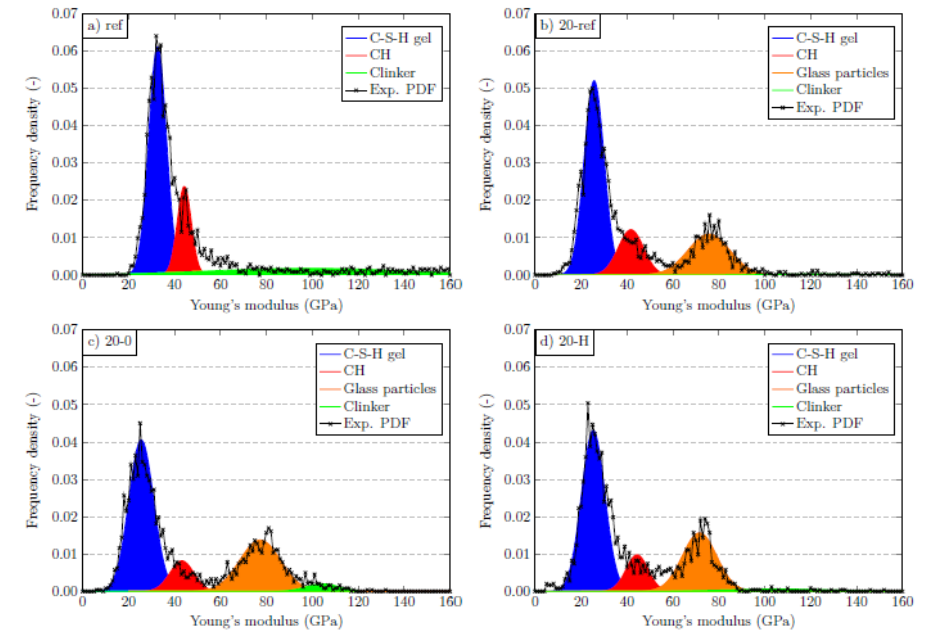
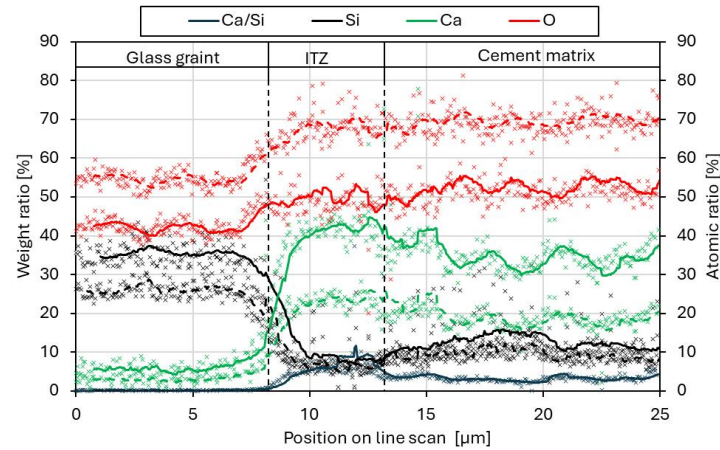
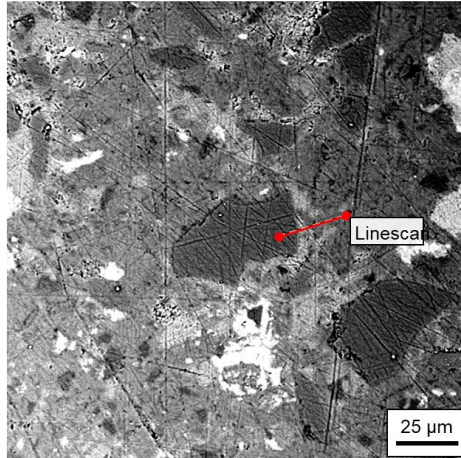
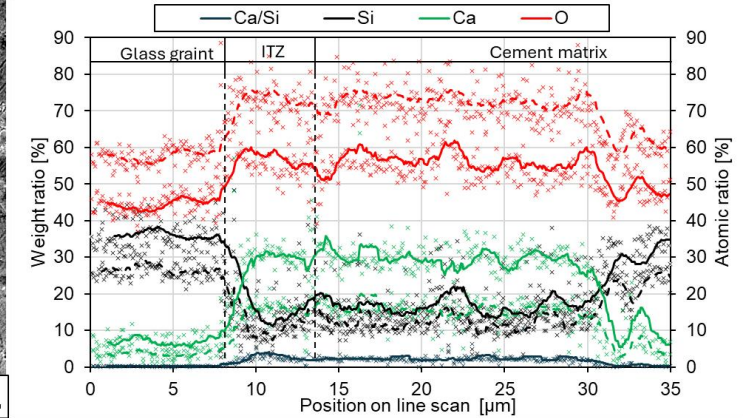
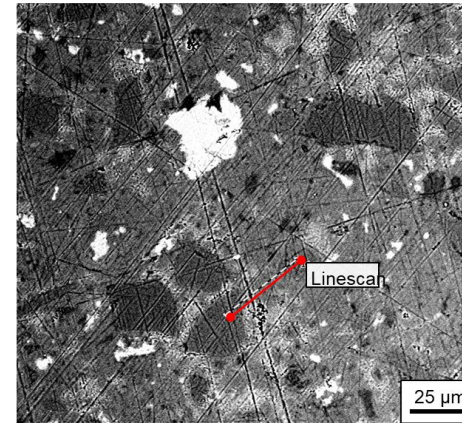


Figure 3: Results of the statistical deconvolution of the Young's modulus frequency plots for samples a) ref, b)

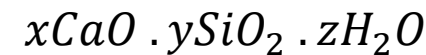
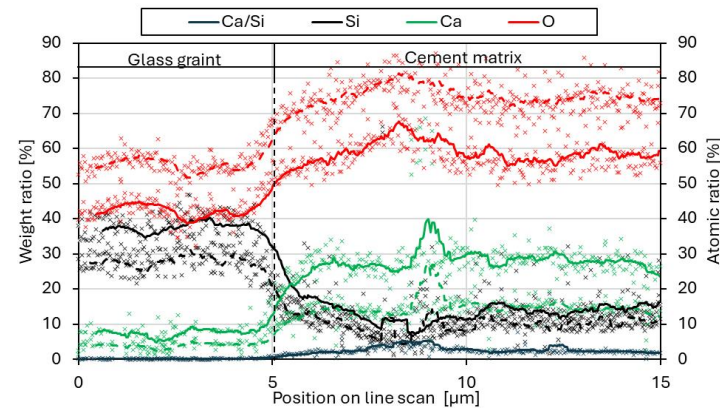
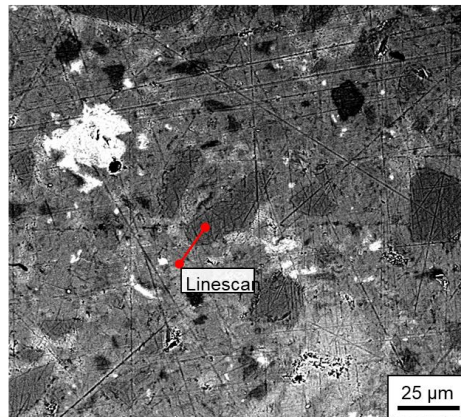
A



C



B



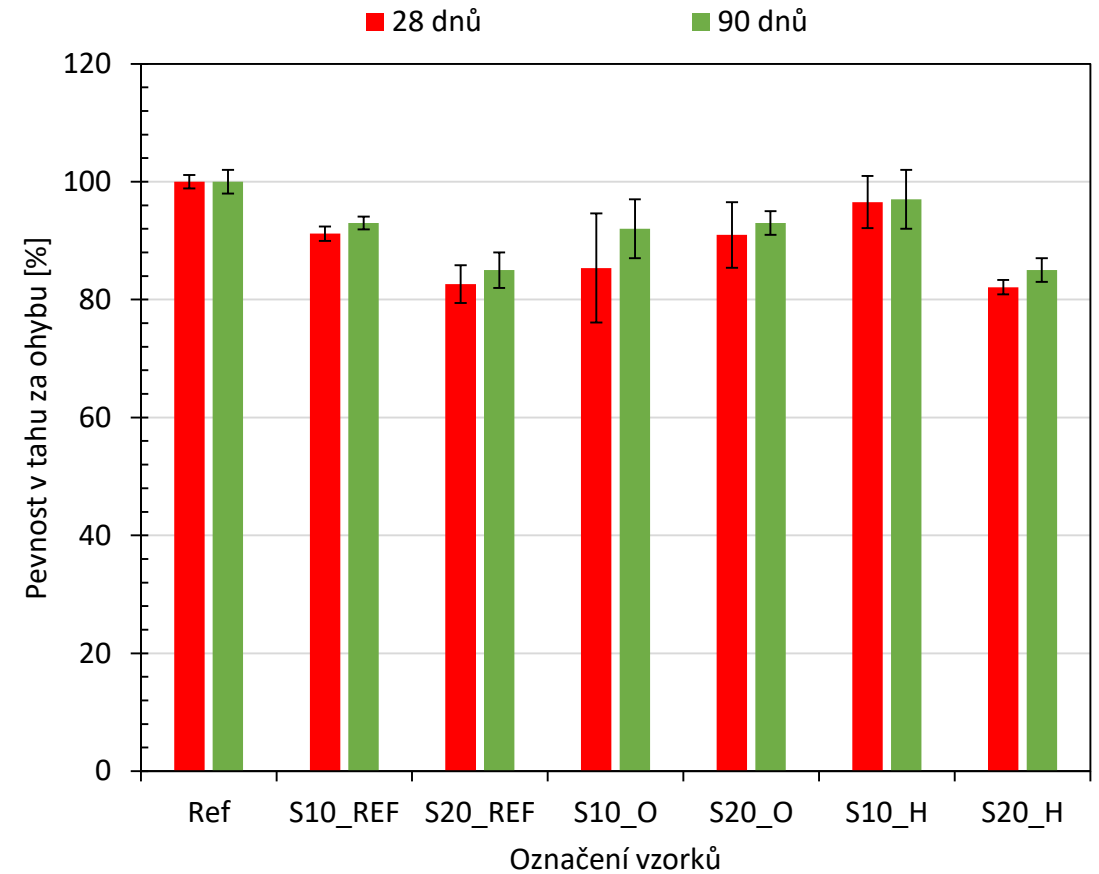
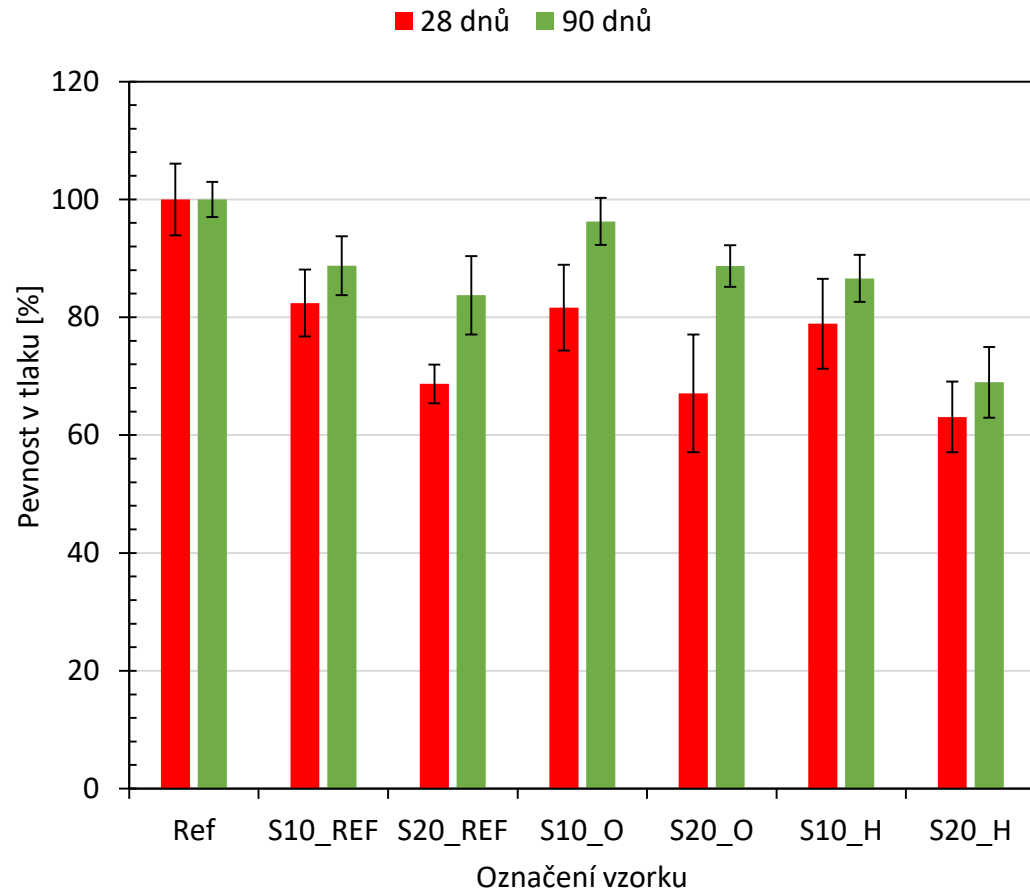
HD C-S-H gel: $x=0,5-1,5$; $y=1$; $z=0,5-2,5$

LD C-S-H gel: $x=1,5-2$; $y=1$; $z=1-4$

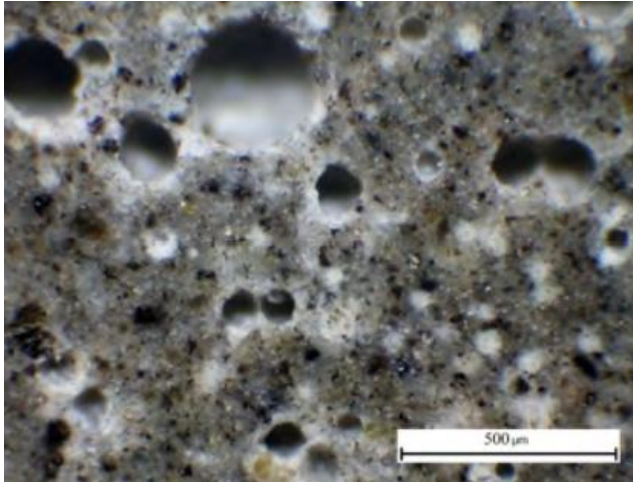
Name	Formula	Ca/Si
<i>(a). Wollastonite group</i>		
Foshagite	$Ca_4(Si_3O_9)(OH)_2$	1.33
Hillebrandite	$Ca_2(SiO_3)(OH)_2$	2.00
Nekoite	$Ca_3Si_6O_{15} \cdot 7H_2O$	0.50
Okenite	$[Ca_8(Si_6O_{16})(Si_6O_{15})_2(H_2O)_6]^{4+} [Ca_2(H_2O)_9 \cdot 3H_2O]^{4+}$	0.56
Pectolite	$Ca_2NaHSi_3O_9$	1.00 ^a
Wollastonite 1A	$Ca_3Si_3O_9$	1.00
Xonotlite ^b	$Ca_6Si_6O_{17}(OH)_2$	1.00

and others (total of 45 phases divided into 7 groups)

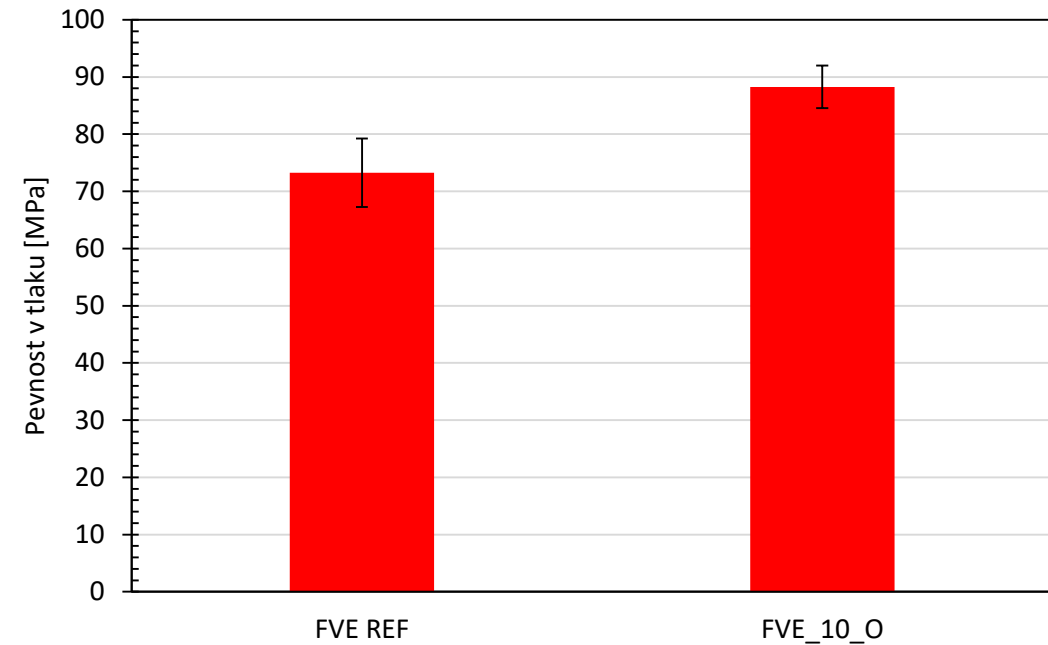
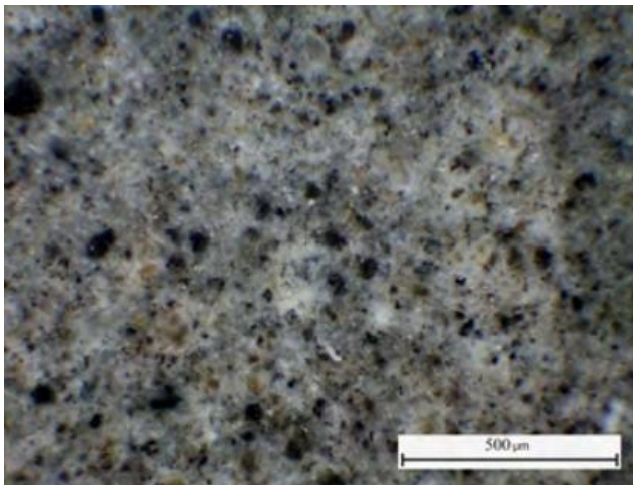
(Richardson, 2008)



FVE REF



FVE_10_O



- Na základě výsledků lze konstatovat, že využití materiálů na bázi skla má za následek méně kompaktní strukturu cementových past, což vede ke zhoršení pevnosti v ohybu a pevnosti v tlaku.
- Zhoršení vlastností cementových past lze ovlivnit pomocí povrchových úprav.
- Je vidět, že povrchová úprava skleněného zrna má vliv na snížení vlivu ITZ, především díky tomu, že povrch zrn je hydrofilní, váže na sebe vodu. Následně se vytvoří mikročástice, které si zachovají vodu pro následnou hydrataci cementu.





**FAKULTA
STAVEBNÍ
ČVUT V PRAZE**

TVIP 14.- 16. 10. 2025, Hustopeče

Děkuji za pozornost

Příspěvek byl vytvořený díky podpoře grantového projektu EU HORIZON č. 101058580 “Automated Solutions For Sustainable And Circular Construction And Demolition Waste Management”. Dále poděkování patří společnosti Recifa, a.s. (doc. Ing. Martin Lidmila, Ph.D.) za poskytnutí vzorků pro testování.

