



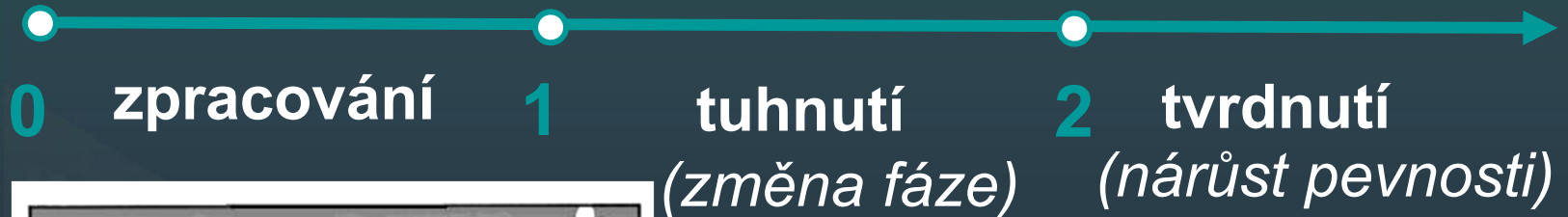
# Pojiva





# Pojiva

- materiály, které mají schopnost pojit jiné látky v soudržnou hmotu



- 0 ..... smíchání vody s pojivem  
1 ..... počátek tuhnutí  
2 ..... konec tuhnutí



# Pojiva

- ve stavebnictví převážně anorganická



Vzdušná

- tvrdnou pouze na vzduchu
- většinou méně odolná vůči vodě



Hydraulická

- tvrdnou i pod vodou
- odolná vůči vodě



# Hydraulicita

- schopnost hydratace i pod vodou
- podmínka hydraulicity: přítomnost **hydraulitů** ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

## Vzdušná pojiva

- sádra
- vzdušné vápno
- vodní sklo
- hořečnaté pojivo

## Hydraulická pojiva

- hydraulické vápno
- cement
- geopolymery





# Hydraulický modul

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

- vzdušné vápno  $M_H > 6$
- hydraulické vápno  $M_H < 6$
- portlandský cement  $M_H < 2,5$
- hlinitanový cement  $M_H < 1,5$



# Hydraulická pojiva





# Hydraulické pojivo

„ Mísí-li se vápno s drolinou od  
Puzzuoli, tvrdne pod vodou tak  
dobře, jako na obyčejné stavbě“  
„směs vápna s pucolánovým  
prachem způsobuje věci  
obdivuhodné. “



Marcus Vitruvius Pollio , 13 př.n.l.

„ Položen proti mořským vlnám,  
jakmile se ponoří do moře, stává  
se tvrdým a odolným, každodenně  
pevnějším. “



Gaius Plinius II, 77 n.l.



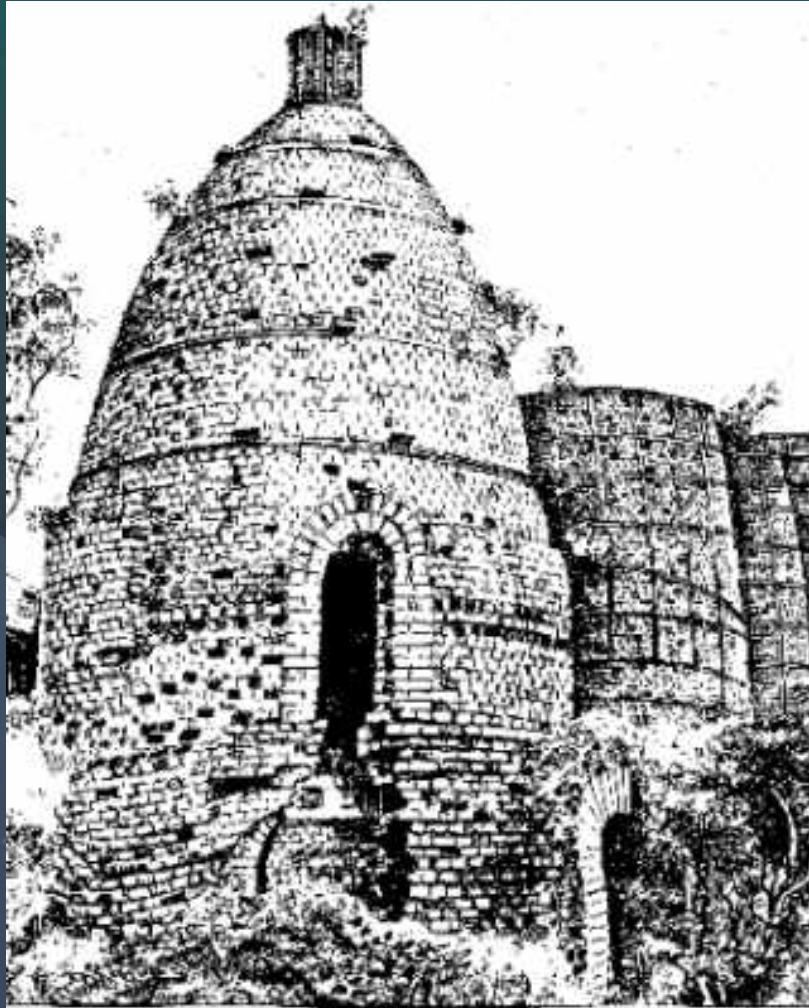
# Cement







# Cement



**Joseph Aspdin**

1824 - patent na  
výrobu portlandského  
cementu



# Výroba cementu

## Suroviny:

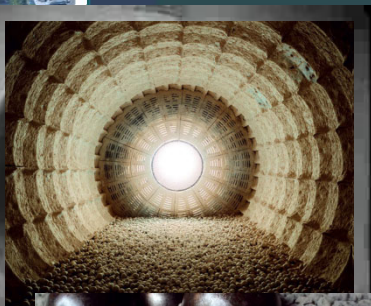
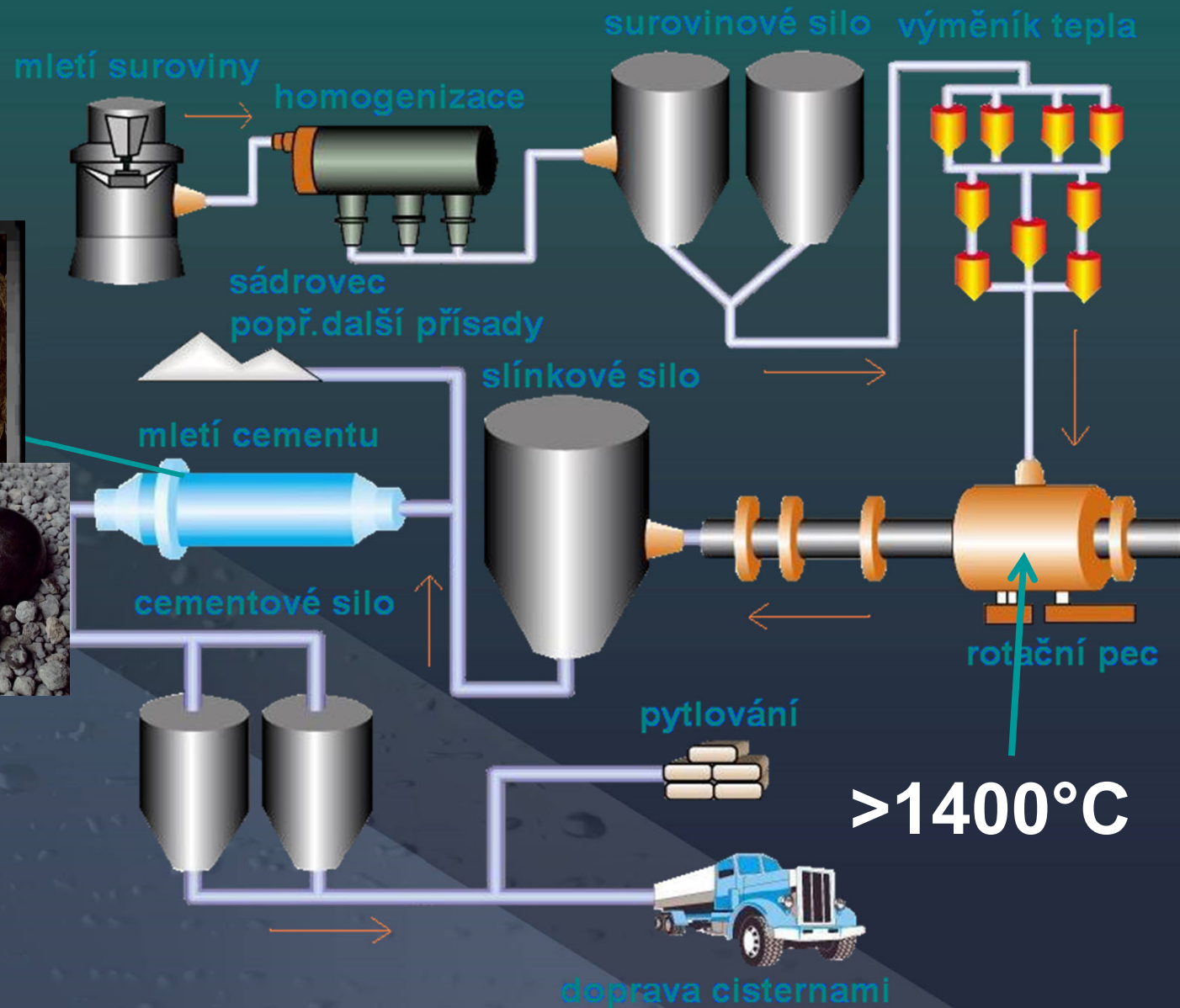
- vápenec
- přísady:
  - sádrovec
  - hydraulicky aktivní složky  
(struska, pucolán, popílek..)







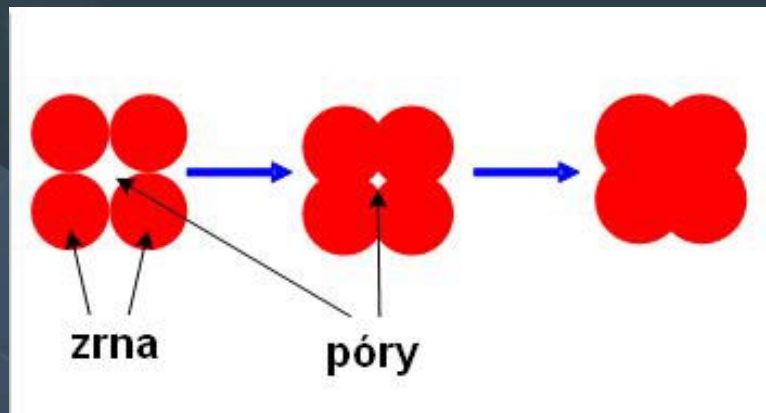
# Výroba cementu





# Slinování

- postupné spékání práškovité násady při teplotě 1300 - 1400°C na **slínek**
  - fyzikální proces slinutí zrněk



- chemické procesy → **slínkové minerály**





Katedra materiálového inženýrství  
a chemie

Stavební fakulta ČVUT v Praze

Stavební hmoty

# Rotační pec



až 1480 °C





# Chemické složení cementu

• Ca	46,4 %
• Si	9,8 %
• Al	3,2 %
• Fe	2,1 %
• Mg	1,2 %
• S	1,0 %
• O	<u>35,3 %</u>
• $\Sigma$	99,0 %

• CaO	65 %
• SiO <sub>2</sub>	21 %
• Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6 %
• Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 %
• MgO	2 %
• SO <sub>3</sub>	<u>2 %</u>
• $\Sigma$	99,0 %

- zjišťuje se silikátovým rozbořem (ČSN EN 196-2)



# Mineralogické složení slínku

<b>Trikalciumsilikát</b> křemičitan trojvápenatý	Alit	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$
<b>Dikalciumsilikát</b> křemičitan dvojvápenatý	Belit	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$
<b>Trikalciumaluminát</b> hlinitan trojvápenatý		$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$
<b>Tetrakalciumaluminát ferit</b> hlinitoželezitan čtyřvápenatý	Celit Brown- millerit	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$



# Cementářská notace

- zkrácený zápis oxidů

Oxid vápenatý	<b>C</b>	CaO
Oxid křemičitý	<b>S</b>	SiO <sub>2</sub>
Oxid hlinitý	<b>A</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Oxid železitý	<b>F</b>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>





# Zápis slínkových minerálů

Trikalciumsilikát	$C_3S$	$3CaO \cdot SiO_2$
Dikalciumsilikát	$C_2S$	$2CaO \cdot SiO_2$
Trikalciumaluminát	$C_3A$	$3CaO \cdot Al_2O_3$
Tetrakalciumaluminát ferit	$C_4AF$	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$



# Vlastnosti slínkových minerálů

$C_3S$  (alit) – nabývá pevnost nejvíc  
zpočátku (rychlovazné  
cementy)



$C_2S$  (belit) – tvrdne po delší době  
(cementy s nízkým  
hydratačním teplem)



$C_3A$  – velmi rychlá hydratace  
– zásadní vliv na korozi  
betonu (síranovzdorné  
cementy)



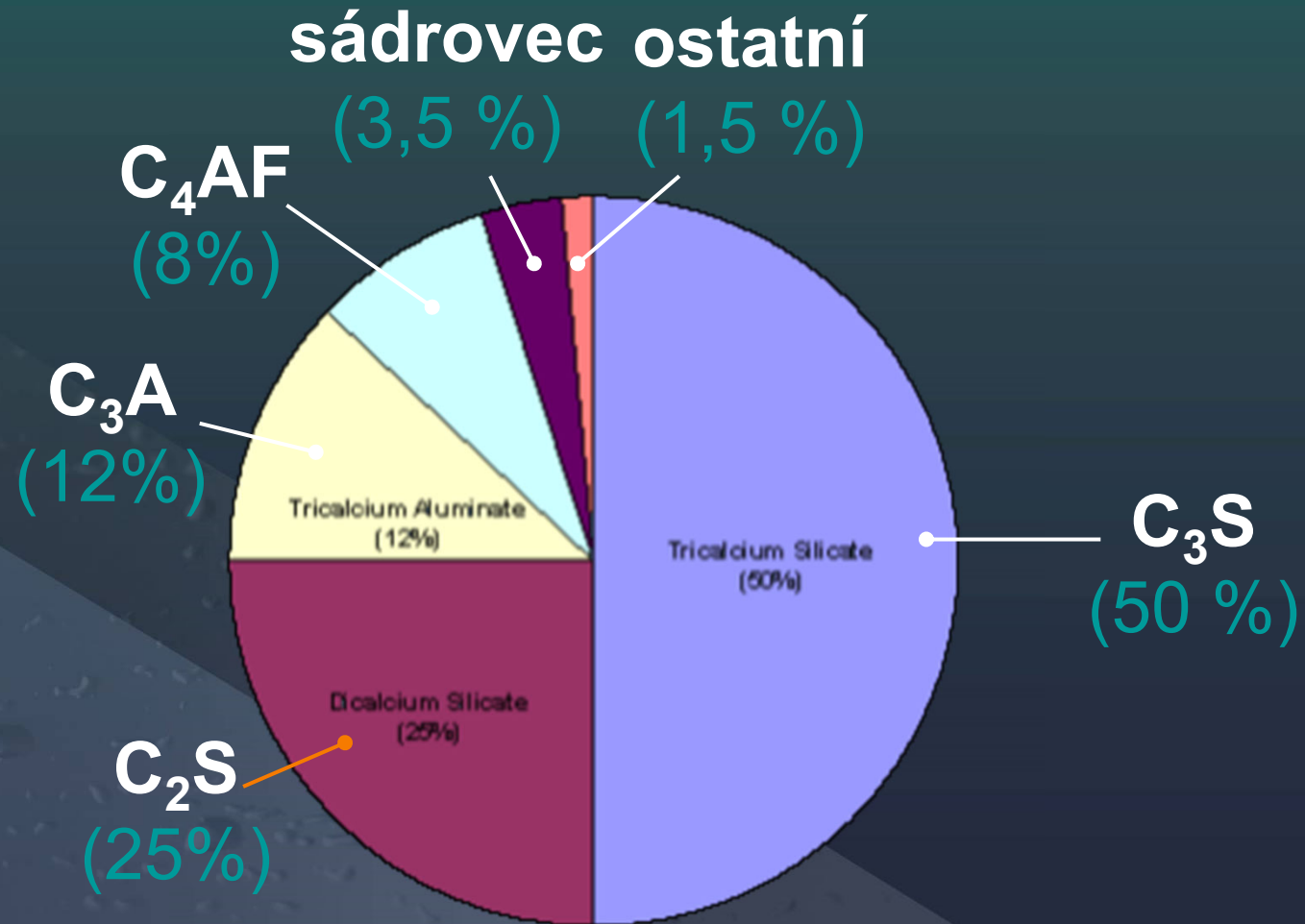


# Složení slínku

název	značka	označ.	obsah (%)	hydratační teplo (kJ.kg <sup>-1</sup> )	rychlost hydratace
trikalcium silikát	C <sub>3</sub> S	alit	37 - 75	500	rychlá
dikalcium silikát	C <sub>2</sub> S	belit	5 - 40	250	střední
trikalcium-aluminát	C <sub>3</sub> A	amorfní fáze	3 - 15	910	velmi rychlá
tetrakalcium aluminát ferit	C <sub>4</sub> AF	brown-millerit (celit)	9 - 14	420	rychlá
oxid vápenatý	CaO	volné vápno	< 4	1160	pomalá
oxid hořečnatý	MgO	periklas	< 6		pomalá



# Mineralogické složení portlandského cementu







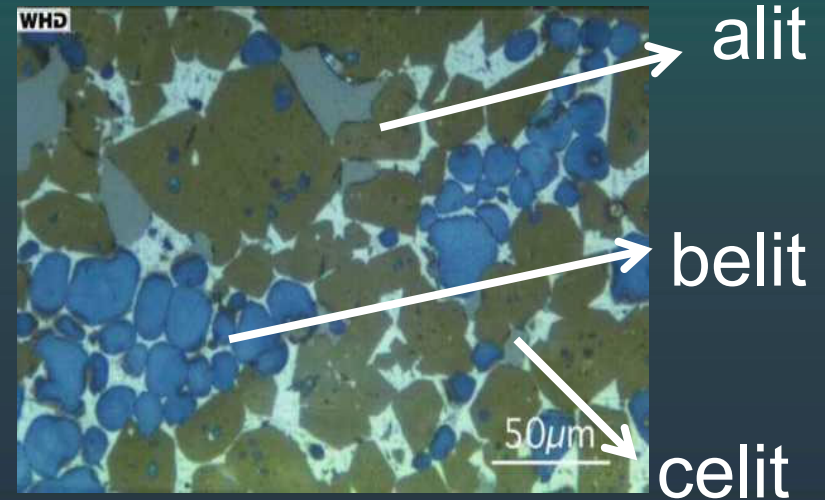
# Obsah slínkových minerálů

Typ cementu	Minerál	$C_3S$	$C_2S$	$C_3A$	$C_4AF$
	Portlandský		65	15	8
S nízkým hydratačním teplem		25	55	3	14
Síranovzdorný		73	9	2	13
Bílý		73	14	11	0



# Zjišťování mineralogického složení

- mikroskopicky
- rentgenovou difrakcí
- výpočtem –
  - Boguova metoda





# Boguova metoda

- výpočet potenciálního složení slínku (tedy složení, které je při správně provedeném výpalu pravděpodobné) je založen na využití faktoru limitujících složek, jejichž obsah lze určit **elementární analýzou**
- první limitující složka -  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (je pouze v  $\text{C}_4\text{AF}$ )
- další limitující složka –  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (v  $\text{C}_4\text{AF}$  a v  $\text{C}_3\text{A}$ )



# Odvození Boguových rovnic

- pro výpočet je nutno znát chemické složení cementu (% obsah oxidů)

Trikalciumsilikát	$C_3S$	$3CaO \cdot SiO_2$
Dikalciumpsilikát	$C_2S$	$2CaO \cdot SiO_2$
Trikalciumaluminát	$C_3A$	$3CaO \cdot Al_2O_3$
Tetrakalciumaluminát ferit	$C_4AF$	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$





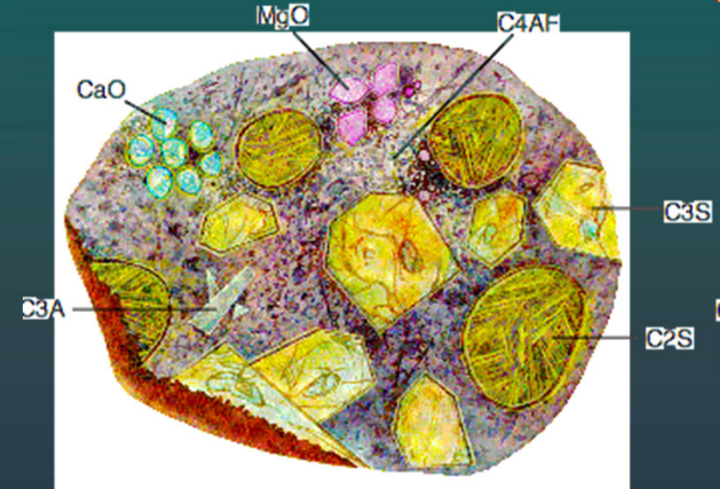
# Bogovy rovnice

$$[C_4AF] = 3.04 * [F]$$

$$[C_3A] = 2.65 * [A] - 1.69 * [F]$$

$$[C_3S] = 4.07 * [C] - 1.43 * [F] - 6.72 * [A] - 7.60 * [S]$$

$$[C_2S] = 8.6 * [S] - 3.07 * [C] + 1.08 * [F] + 5.1 * [A]$$





# Hydratace cementu

- chemický a fyzikální proces, při němž kašovitá cementová směs přechází do tuhého a tvrdého stavu → komplex všech reakcí probíhajících po rozdělení cementu s vodou

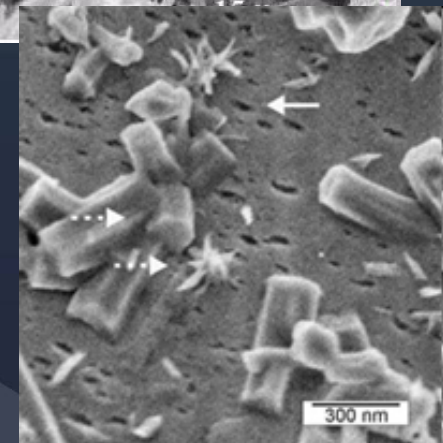
Hydratace závisí na:

- mineralogickém složení cementu
- jemnosti mletí
- množství záměsové vody
- přítomnosti dalších příměsí



# Hydratace cementu

- reakce mezi vodou, sádrou a  $C_3A$  → krystalické hydráty (kalcium-alumino-hydrát CAH, ettringit Aft a monofosfát Afm)
- později reakce vody s  $C_3S$  → amorfní hydrát (kalcium-silikátový-hydrát - CSH gel).
- hydratace  $C_2S$  je podstatně pomalejší než předchozí, postupně zvyšuje pevnost
- jako poslední reakce pravděpodobně s  $SiO_2$

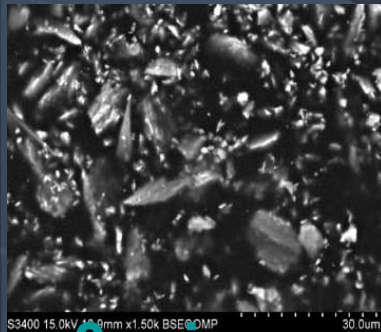
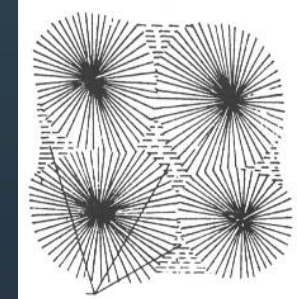
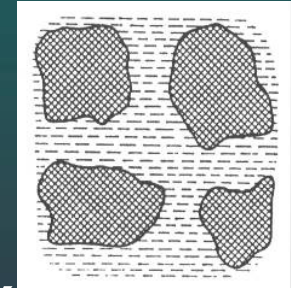




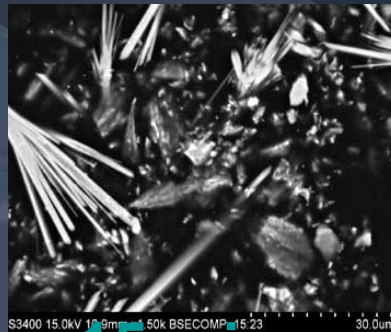


# Hydratace cementu

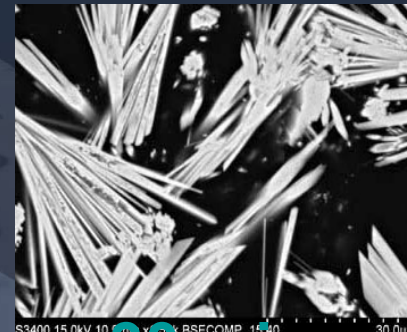
- vzniklé hydráty méně rozpustné → přesycený roztok → srážejí se v drobné krystalky
- kolem krystalků jako jader se vytvářejí krystalky hydratovaných složek
- vlivem molekulárních sil jsou krystaly přitahovány, střetávají se navzájem a proplétají.



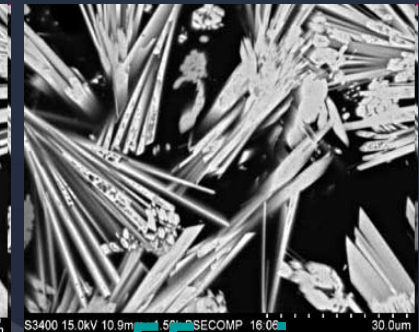
0 min



15 min



30 min

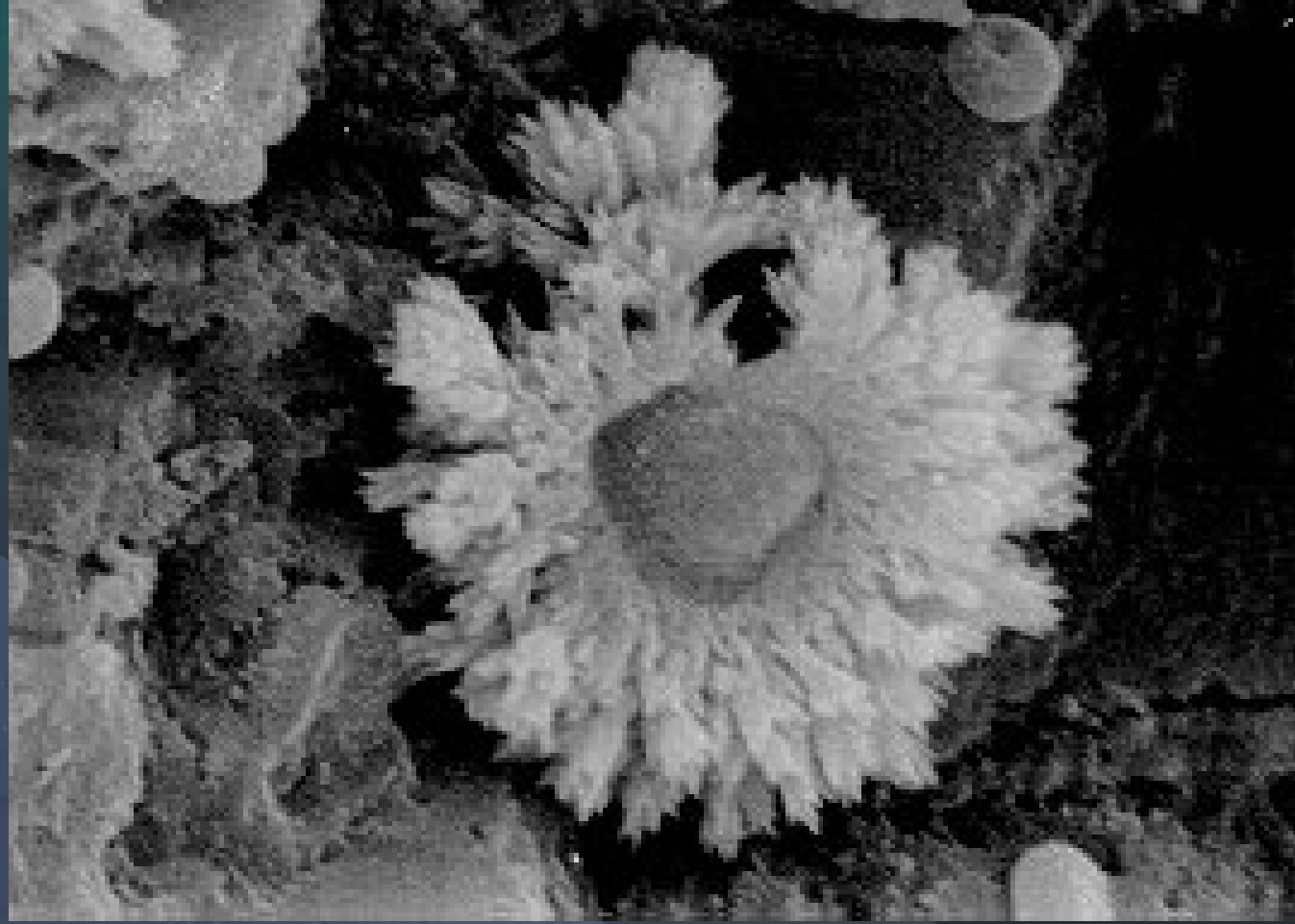


55 min





# Hydratující cement





# Rozdělení cementů

ČSN EN 197-1: 27 druhů  
cementů pro všeobecné použití



- **CEM I** - portlandský cement
- **CEM II** - portlandský cement směsný
- **CEM III** - vysokopecní cement
- **CEM IV** - pucolánový cement
- **CEM V** - směsný cement



# Složky vícesložkových cementů

- **Portlandský slínek**
  - Hlavní meziprodukt při výrobě cementu
  - Obsažen ve všech cementech pro obecné použití
  - Označení „K“
- Granulovaná vysokopecní struska (označení „S“)
- Pucolány
  - Přírodní křemičité a/nebo hlinito-křemičité látky
  - Přírodní pucolán – označení „P“
  - Přírodní kalcinované pucolány – označení „Q“
- Popílký
  - Získávají se odlučováním z kouřových plynů topenišť spalujících práškové uhlí
  - Dle chemického složení se dělí na
    - Křemičitý popílek – označován „V“
    - Vápenatý popílek – označován „W“
- Kalcinovaná břidlice (označení „T“)
- Vápenec
  - Označení „L“ – obsah organického uhlíku max. 0,50 %
  - Označení „LL“ - obsah organického uhlíku max. 0,20 %
- Křemičitý úlet (označení „D“)



noty

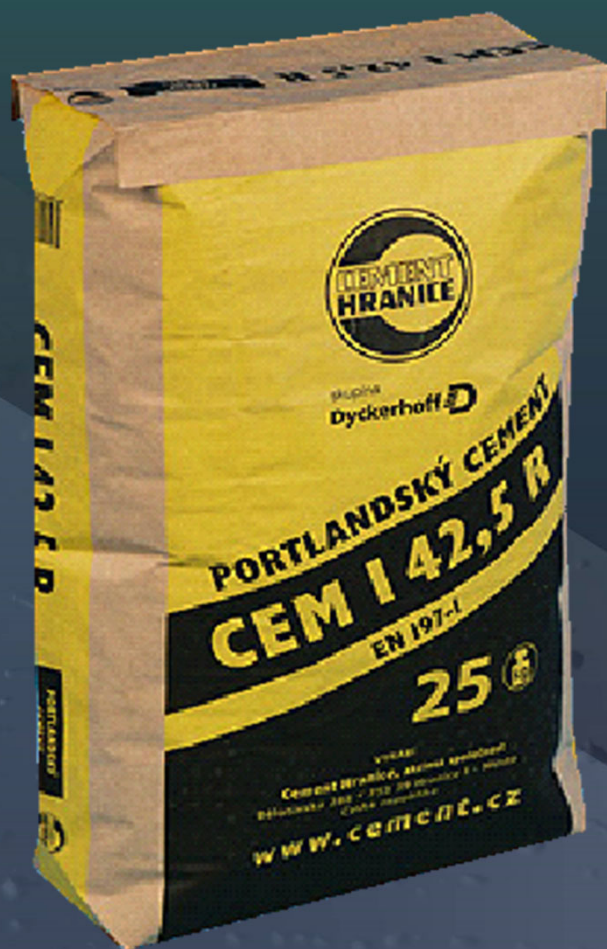
# Druhy cementů - ČSN EN 197-1

Hlavní druhy	Označení 27 druhů cementů pro obecné použití		Složení (poměry složek podle hmotnosti)										
			Hlavní složky									Doplňující složky	
			Slínek	Vysokopec- ní struska	Křemičitý úlet	Pucolány		Popílky		Kalcinov. břidlice	Vápenec		
						přírodní	přir. kalcin.	křemičité	vápenaté		L		LL
K	S	D	P	Q	V	W	T	L	LL				
CEM I	Portlandský cement	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
CEM II	Portlandský struskový cement	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
	Portlandský cement s křemičitým úletem	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
	Portlandský pucolánový cement	CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0 - 5
	Portlandský popílkový cement	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0 - 5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0 - 5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0 - 5
	Portlandský cement s kalcinov. břidlicí	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0 - 5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0 - 5
	Portlandský cement s vápencem	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0 - 5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0 - 5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0 - 5
CEM II/B-LL		65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0 - 5	
Portlandský směsný cement	CEM II/A-M	80-94	< 6-20 >									0 - 5	
	CEM II/B-M	65-79	< 21-35 >									0 - 5	
CEM III	Vysokopecní cement	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0 - 5
CEM IV	Pucolánový cement	CEM IV/A	65-89	-	< 11-35 >					-	-	-	0 - 5
		CEM IV/B	45-64	-	< 36-55 >					-	-	-	0 - 5
CEM V	Směsný cement	CEM V/A	40-64	18-30	-	< 18-30 >			-	-	-	-	0 - 5
		CEM V/B	20-39	31-50	-	< 31-50 >			-	-	-	-	0 - 5





# Značení cementů (ČSN EN 197-1)





# Pevnostní třídy cementů

## Třída cementu:

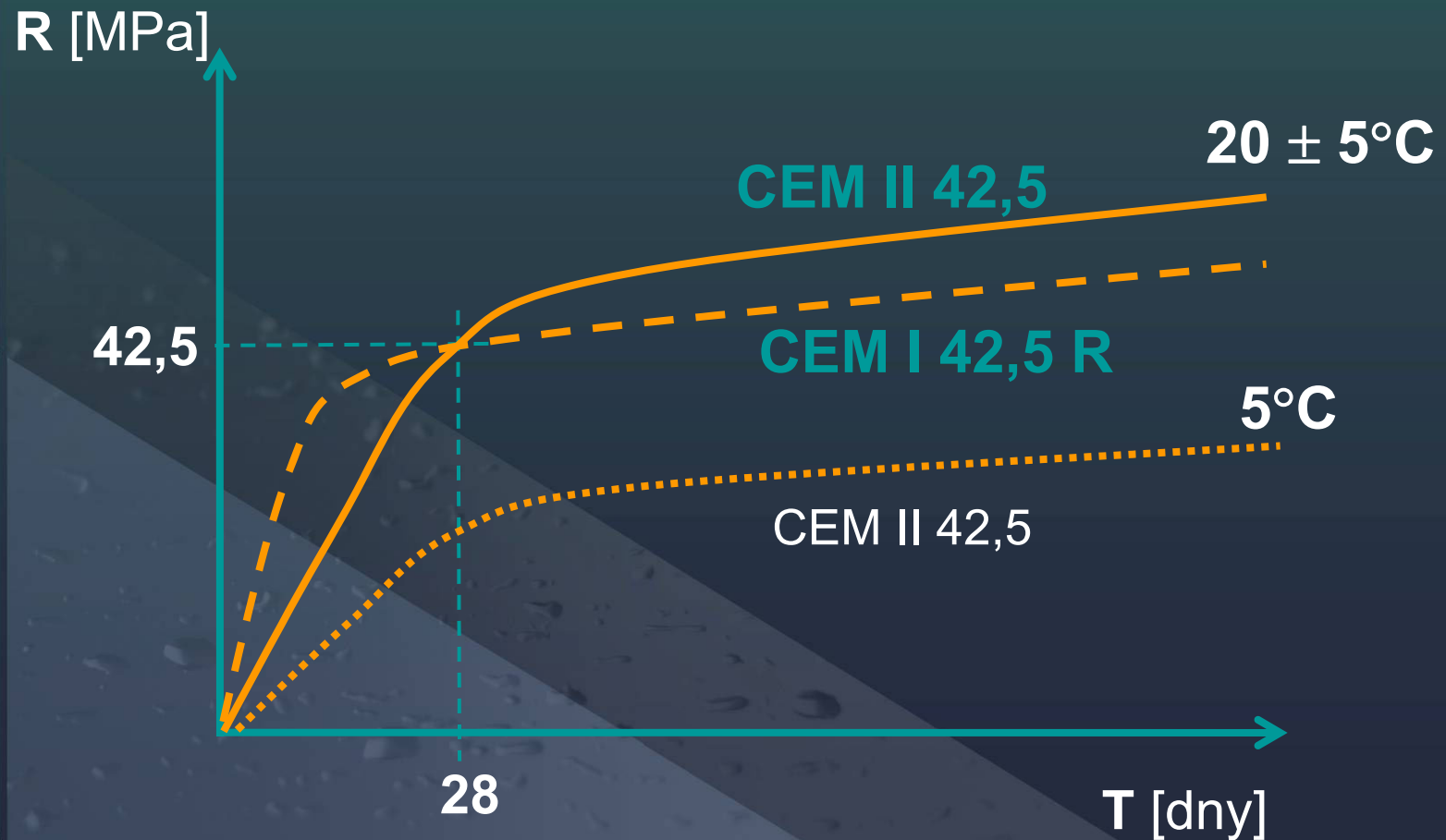
- normalizovaná pevnost cementu v tlaku v MPa po 28 dnech

- 32,5
- 42,5
- 52,5





# Nárůst pevnosti a pevnostní třída







# Vlastnosti některých cementů

- **Portlandský**
  - vysoké normové pevnosti,
  - strmý nárůst pevnosti
  - velké množství hydratačního tepla
- **portlandský struskový, vysokopecní**
  - odolnost vůči agresivnímu prostředí
  - malé hydratační teplo
- **cement s křemičitým úletem**
  - snížení porozity cementového kamene
  - vyšší pevnost
- **popílkový cement**
  - dobrá zpracovatelnost a vodotěsnost



# Použití portlandských cementů

- betony o vysokých pevnostech,
- armované a předpínané monolitické i prefabrikované konstrukce vystavené vysokému namáhání,
- náročné betonové výrobky
- konstrukce vystavené mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám (provzdušněné betony)
- stříkané betony





# Použití portlandských směsných cementů

- běžné betony, zejm. transportbetony
- běžné betonové a železobetonové monolitické a prefabrikované konstrukce
- masivních betonové konstrukce, opěrné stěny, vodní díla
- nevhodné do chemicky agresivního prostředí a do mrazuvzdorných konstrukcí



# Použití vysokopecních a směsných cementů

## Vysokopecní cementy:

- betony, které jsou trvale vystaveny vlhkému až mokrému prostředí (vodní díla),
- masivní a silnostěnné konstrukce

## Směsné cementy:

- masivní betonové konstrukce, základy, opěrné stěny apod.
- méně náročné betonů a bet. výrobky





# Speciální cementy

- **tamponážní a těsnicí** - pro sanační práce
- **síranovzdorné** –  $C_3A < 3,5\%$
- **silniční** – zvýšená pevnost v tahu a ohybu, vysoký modul pružnosti, malá smrštitelnost, odolnost proti povětrnosti a obrusu, mrazuvzdornost
- **bílý** –  $Fe < 1\%$
- **barevné** – 15 % pigmentů
- **fungicidní**
- **barnaté a strontnaté** - Ca nahrazen Ba nebo Sr. Mimořádně chemicky odolný, použití v chemickém průmyslu, v mořské vodě a na odstínění záření





# Cement pro zdění (MC)

## ČSN EN 413-1

- nižší pevnostní třídy  
**MC5, MC 12,5, MC 22,5**
- mohou obsahovat i hydraulické  
a vzdušné vápno





# Hlinitanový cement

- obsahuje přes 35 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- velmi rychle tuhne a tvrdne
- odolný vůči agresivnímu prostředí
- žáruvzdorný (do 1750 °C)



- vyžaduje důkladné vlhčení při tuhnutí
- časem ztrácí pevnost –
- **zakázán pro nosné konstrukce !**



1984 - havárie v n.p. Mesit, Uh. Hradiště, 18 mrtvých





# Zkoušení cementů

## ČSN EN 196 –

- 1 Stanovení pevnosti
- 2 Chemický rozbor cementů
- 3 Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti
- 4 Kvantitativní stanovení hlavních složek
- 5 Zkouška pucolanity pucolánových cementů
- 6 Stanovení jemnosti mletí
- 7 Postupy pro odběr a úpravu vzorků cementu
- 10 Stanovení obsahu ve vodě rozpustného chrómu (Cr6+) v cementu
- 21 Stanovení chloridů, oxidu uhličitého a alkálií v cementu





# Zkoušení cementů - pojmy

- cementová kaše: cement + voda
- cementová malta: cement + voda + **drobné kamenivo**
- beton: cement + voda + drobné + hrubé kamenivo
  
- vodní součinitel  $v/c$  : hmotnost vody/hmotnost cementu
  
- kaše normální hustoty





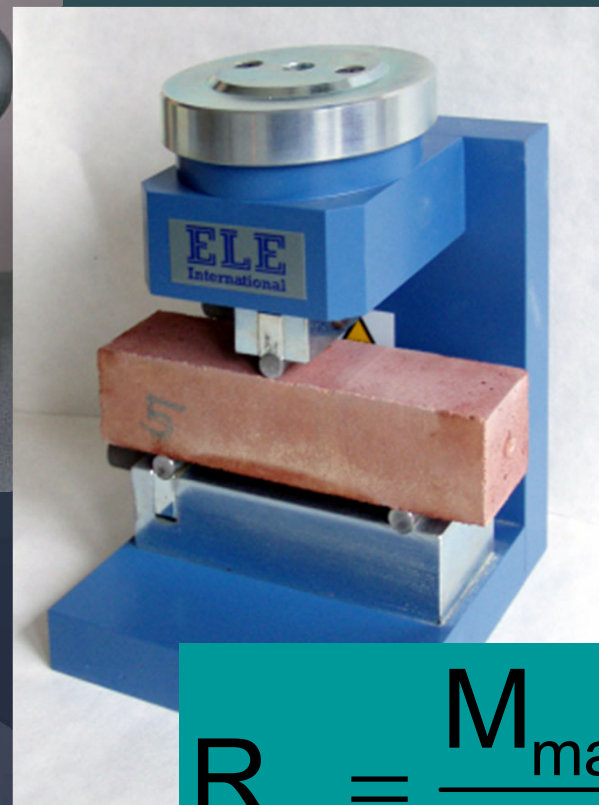
# Pevnost cementu (ČSN EN196-1)

v tlaku



$$R_t = \frac{F_{\max}}{A}$$

v tahu za ohybu



$$R_y = \frac{M_{\max}}{W}$$



# Statistické vyhodnocení pevnosti v tlaku

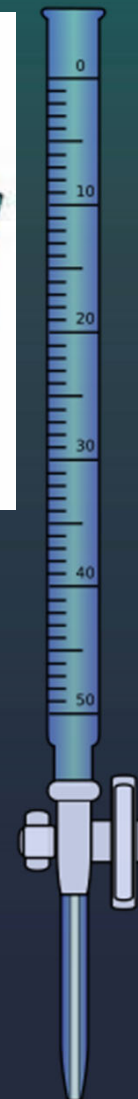
- zkušební sada - 3 tělíška → 6 zlomků
- z 6 výsledků **aritmetický průměr**
- jestliže se jedna hodnota ze šesti liší o **více než 10% od průměru**, vyřadí se a ze zbylých pěti se vypočte **nový aritmetický průměr**
- jestliže se opět jedna hodnota liší o více než 10% od tohoto průměru, je nutno **výsledek zkoušky odmítnout**





# Chemický rozbor cementu (ČSN EN196-2)

- ztráta žíháním
- nerozpustný zbytek
- stanovení síranů  
(gravimetrie)
- stanovení oxidů  
Ca, Si, Al, Fe, S,  
Mg (titrace)







Stavební hmoty

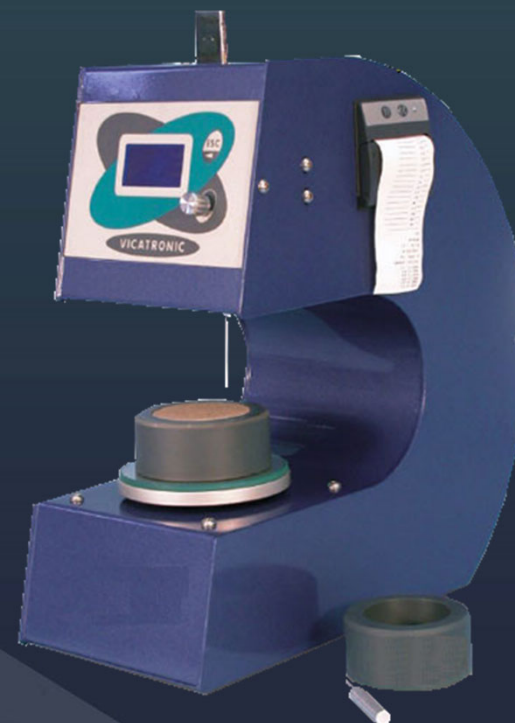
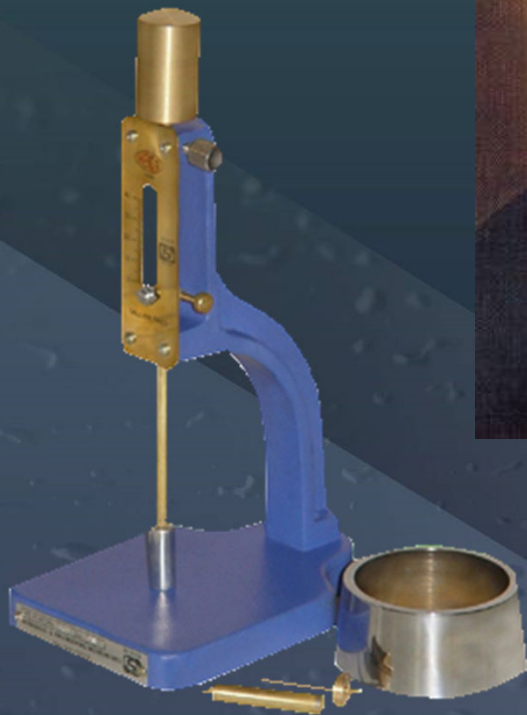
# Doba tuhnutí (ČSN EN196-3)

Katedra materiálového inženýrství  
a chemie

Stavební fakulta ČVUT v Praze



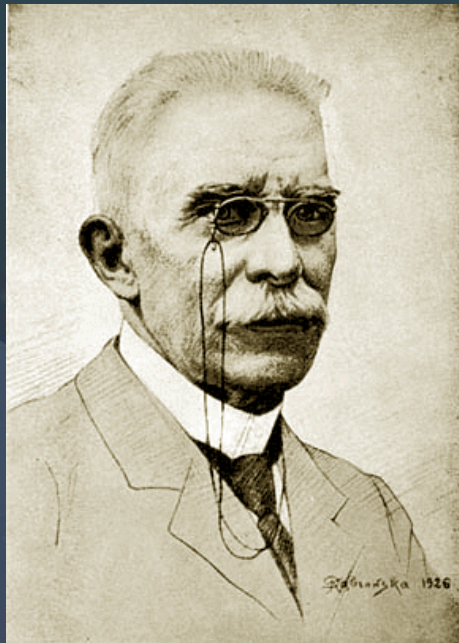
Louis Vicat  
(1786 -1861)



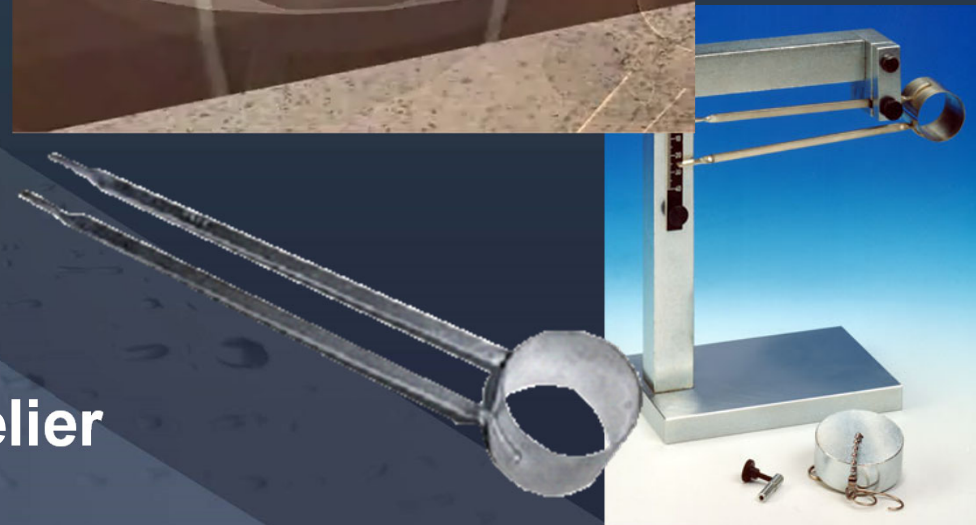


# Objemová stálost (ČSN EN196-3)

- rozpínání cementu v důsledku hydratace CaO nebo MgO



Henry Louis Le Chatelier  
(1850-1936)





# Kvantitativní stanovení hlavních složek (ČSN EN196-4)

- regulátory tuhnutí
- slínek
- struska
- vápenaté látky (křída, vápenec)
- křemičité látky (křemen, popílek, pucolán)



## Postup

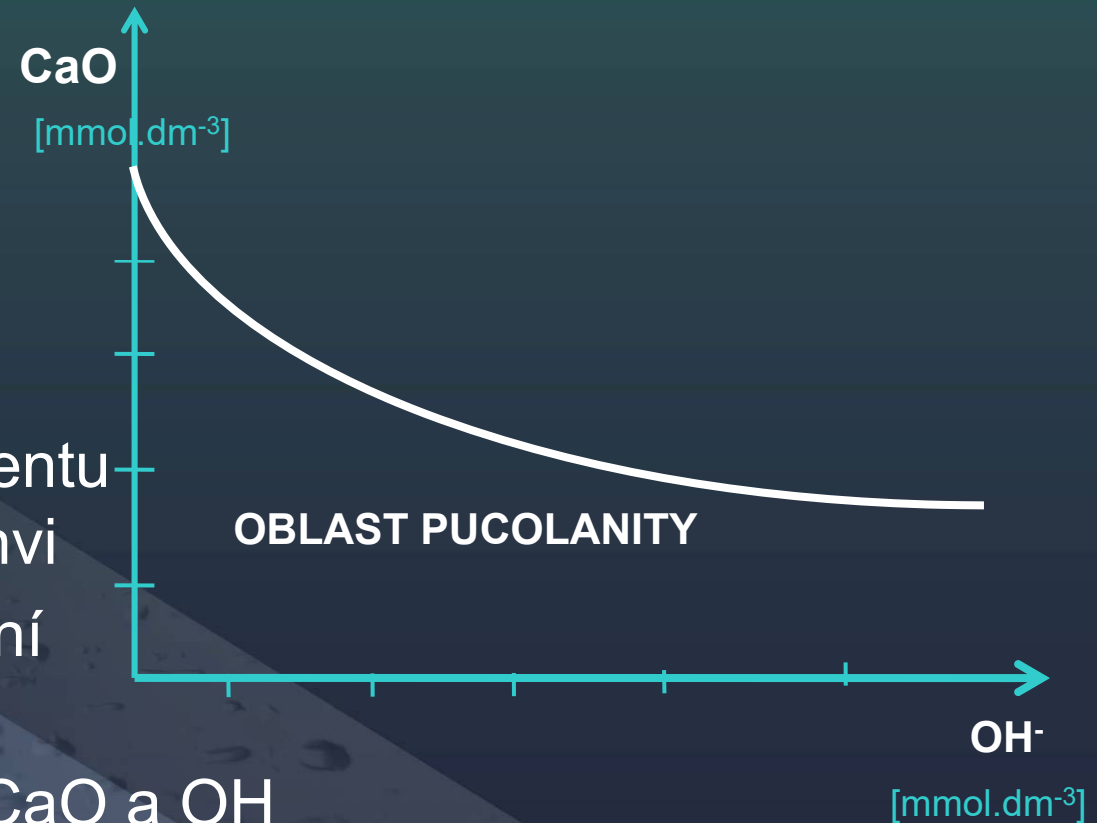
- rozpuštění v EDTA (kyselina ethylendiamintetraoctová)
- rozpuštění ve zředěné  $\text{HNO}_3$
- obsah  $\text{CO}_3$ , obsah  $\text{CO}_2$
- obsah  $\text{S}^{2-}$  v cementu a ve zbytku po 1.kroku





# Pucolanita (ČSN EN196-5)

- reakce  $\text{SiO}_2$  s  $\text{Ca(OH)}_2$



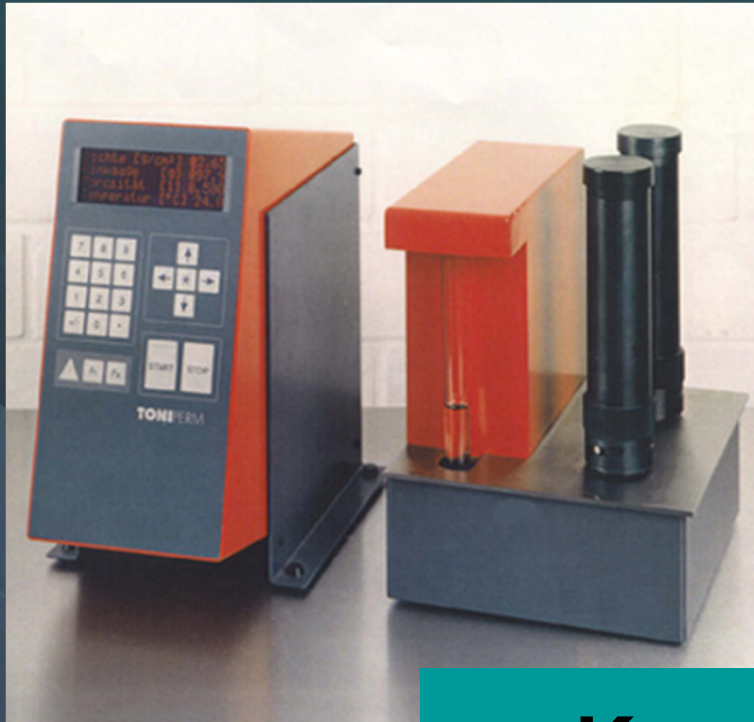
- rozmíchání cementu s vodou v PE lahvi
- ponecháno 15 dní při 40°C
- zjištění obsahu CaO a OH





# Jemnost mletí (ČSN EN196-6)

- Blainův přístroj



$$S = \frac{K}{\rho} \times \frac{\sqrt{e^3}}{(1-e)} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{0,1\eta}}$$



# Postupy pro odběr a úpravu vzorků cementu (ČSN EN196-7)

- přednáška 2 – odběr vzorků



# Stanovení obsahu ve vodě rozpustného chrómu (Cr6+) v cementu (ČSN EN196-10)

- hygienické a ekologické vlastnosti



# Stanovení chloridů, oxidu uhličitého a alkálií v cementu (ČSN EN196-7)

- chloridy – Volhardova titrace
  - urychlení koroze výztuže
- alkalické kovy (K, Na) – plamenný fotometr
  - alkalická reakce v kamenivu
  - vyjádření ekvivalentního obsahu  $\text{Na}_2\text{O}$



# Požadavky na mechanické a fyzikální vlastnosti cementů (ČSN EN197-1)

Pevnostní třída	Pevnost v tlaku MPa				Počátek tuhnutí	Objemová stálost (rozepnutí) mm
	Počáteční pevnost		Normalizovaná pevnost			
	2 dny	7 dnů	28 dnů		minut	
32,5 N	-	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$	$\geq 75$	$\leq 10$
32,5 R	$\geq 10,0$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$	$\geq 60$	
42,5 N	$\geq 10,0$	-	$\geq 52,5$	-	$\geq 45$	
42,5 R	$\geq 20,0$	-				
52,5 N	$\geq 20,0$	-				
52,5 R	$\geq 30,0$	-				





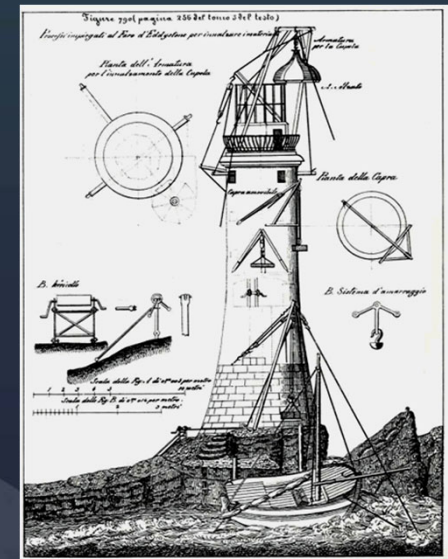
## CEM I 52,5 N / CEM I 42,5 R (průměrné hodnoty :

Druh cementu	CEM I 52,5 N	
Výrobní závod	Mokrý	
Požadavky normy	ČSN EN 197-1	skutečnost
Pevnost v tlaku [MPa] • počáteční - 2 dny • normalizovaná - 28 dnů	$\geq 20,0$ $\geq 52,5$	35,2 61,4
Pevnost v ohybu [MPa] • počáteční - 2 dny • normalizovaná - 28 dnů	--- ---	6,6 8,7
Počátek tuhnutí [min.]	$\geq 45$	172
Konec tuhnutí [min.]	---	231
Objemová stálost [mm]	$\leq 10$	1,3
Obsah síranů (SO <sub>3</sub> ) [%]	$\leq 4,0$	2,93
Obsah chloridů [%]	$\leq 0,10$	0,054
Obsah alkálií (Na <sub>2</sub> O eq.) [%]	---	0,72
Měrný povrch [m <sup>2</sup> /kg]	---	425
Normální konzistence [%]	---	30,2
Ztráta žíháním [%]	$\leq 5,0$	1,36
Nerozpustný zbytek [%]	$\leq 5,0$	3,05



# Hydraulické vápno

- znali ho staří Římané  
(Plinius, Vitruvius)  
„*Opus caementicium*“
- ve středověku neznámé
- znovuobjeveno při pálení  
vápenců s obsahem jílu
- 1796 – „římský cement“  
(Parker, Smeaton)





# Hydraulické vápno

- **Suroviny:**
  - jílovité vápence s obsahem hydraulických oxidů (**NHL**)
  - pálené vzdušné vápno +  
+ pucolánová příměs (**HL**)
- **Pucolány** - látky, které obsahují amorfní oxid křemičitý a oxid hlinitý a způsobují hydraulicitu vápna
  - přírodní: tras, pemza, sopečný tuf, křemelina
  - umělé: elektrárenský popílek, křemičitý úlet, struska





# Hydraulické vápno

- od cementu se liší vyšším obsahem volného CaO a absencí alitu ( $C_3S$ )
- podle hodnoty hydraulického modulu se dělí na:
  - silně hydraulická vápna (MH 1,7 až 3) - nehasí se
  - středně hydraulická vápna (MH 3 až 6) - hasí se
  - slabě hydraulická vápna s MH 6 až 9 - hasí se





# Výroba hydraulického vápna

## Přírodní hydraulické vápno (NHL):

- pálení suroviny při teplotě pod 1250 °C
- hašení na prach (pouze při  $MH > 3$ )

## Hydraulické vápno (HL):

- společné mletí kusového vápna a pucolánové příměsi





# Požadavky na přirozeně hydraulické vápno

Druh	SO <sub>3</sub> (hm. %)	Volné vápno (hm. %)	Pevnost v tlaku po 28 dnech
NHL 1	≤ 2	≥ 50	≥ 0,5 až ≤ 3
NHL 2	≤ 2	≥ 40	≥ 2 až ≤ 7
NHL 3,5	≤ 2	≥ 25	≥ 3,5 až ≤ 10
NHL 5	≤ 2	≥ 15	≥ 5 až ≤ 15

POZNÁMKA: Hodnoty se vztahují na konečný výrobek  
po odpočtu volné a vázané vody v něm.





# Použití hydraulického vápna

Rekonstrukce památkových objektů

- malty pro zdění, vnější omítky, nátěry
  - lepší prodyšnost
  - menší pevnosti
  - větší dilatační celky
  - nižší kondenzace
  - nevznikají výkvěty
- v ČR se nevyrábí



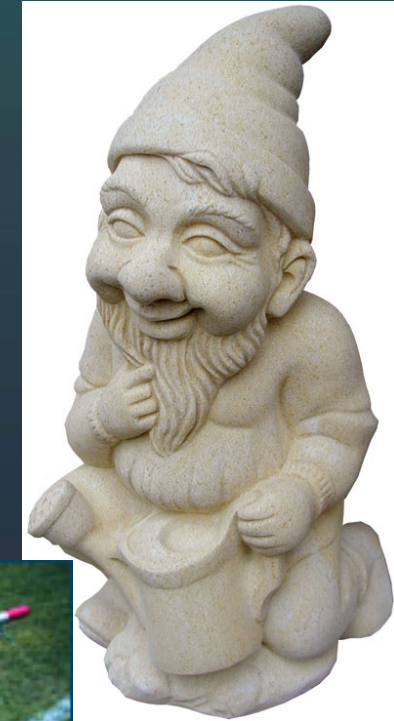
Použití cementu ve starém zdivu





# Vzdušná pojiva

- sádra
- vzdušné vápno
- anhydritové pojivo
- vodní sklo
- hořečnaté pojivo



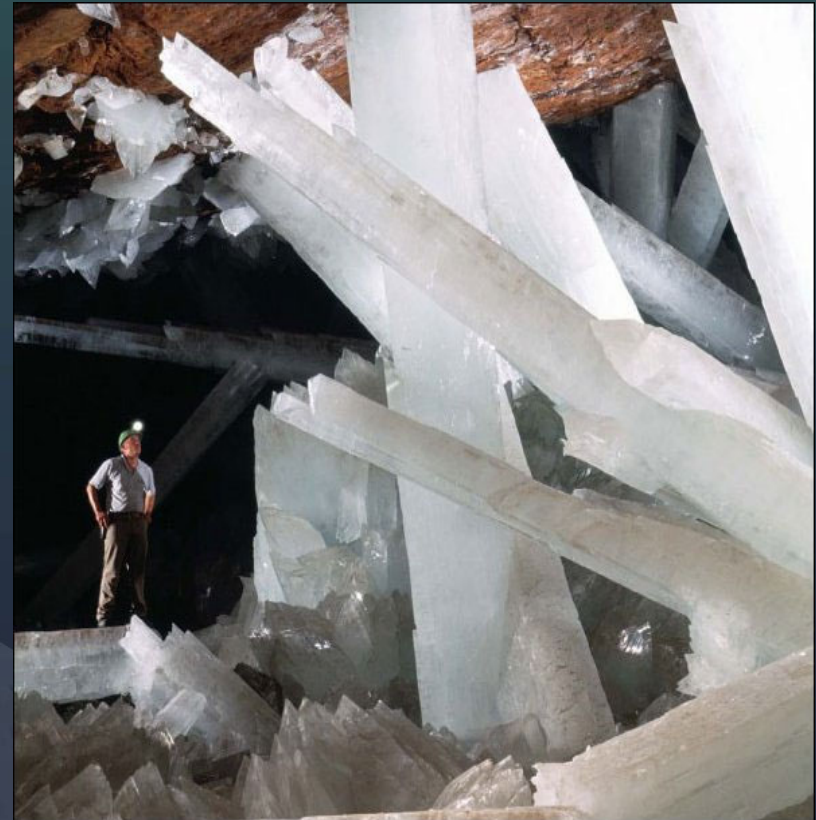




# Vápenosíranová pojiva

- pojiva na bázi síranu vápenatého ( $\text{CaSO}_4$ )
  - sádra
  - anhydritové pojivo

- ze sádrovce nebo anhydritu



Důl Naica, Mexiko



# Zdroje sádrovce

- přírodní
- **energosađrovec**  
(mokr vápencov vypírka spalin)
- syntetický sádrovec
  - chemosađrovec
  - **fosfosađrovec**
  - citrosađrovec





# Sádra

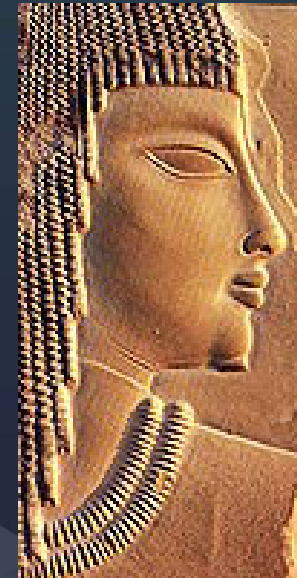
- hemihydrát síranu vápenatého -



- jedno z nejstarších pojiv
  - Asyřané – 5000 let p.n.l.
  - Egyptané
  - Řekové
  - Římané



© Kfir A. Cabrera

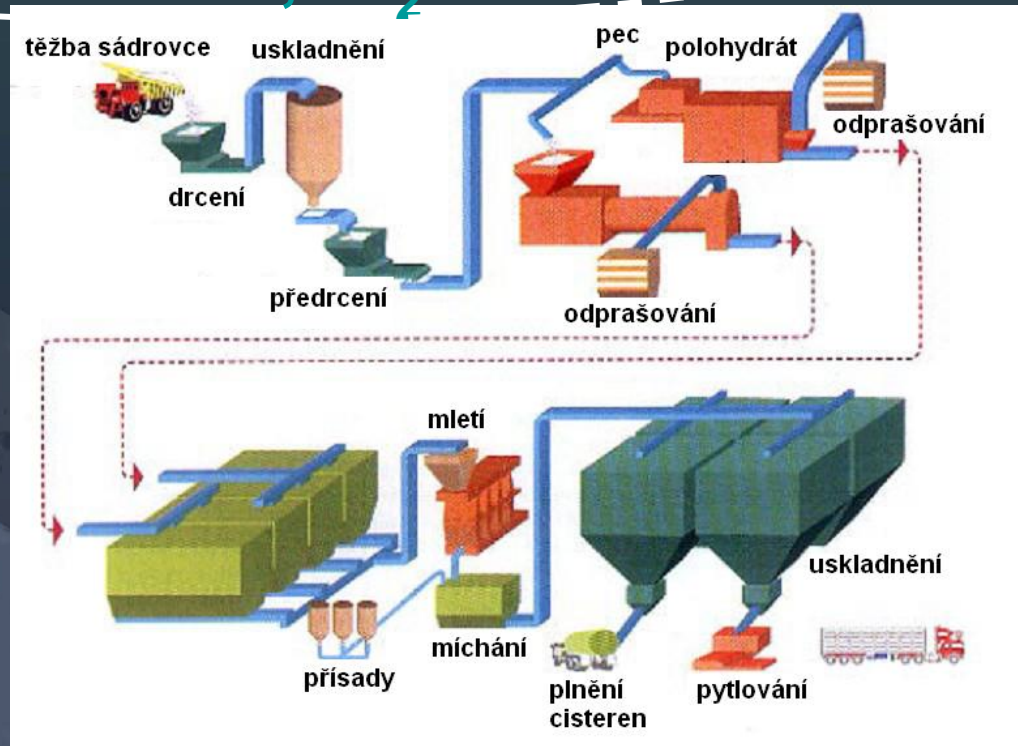






# Výroba sádky

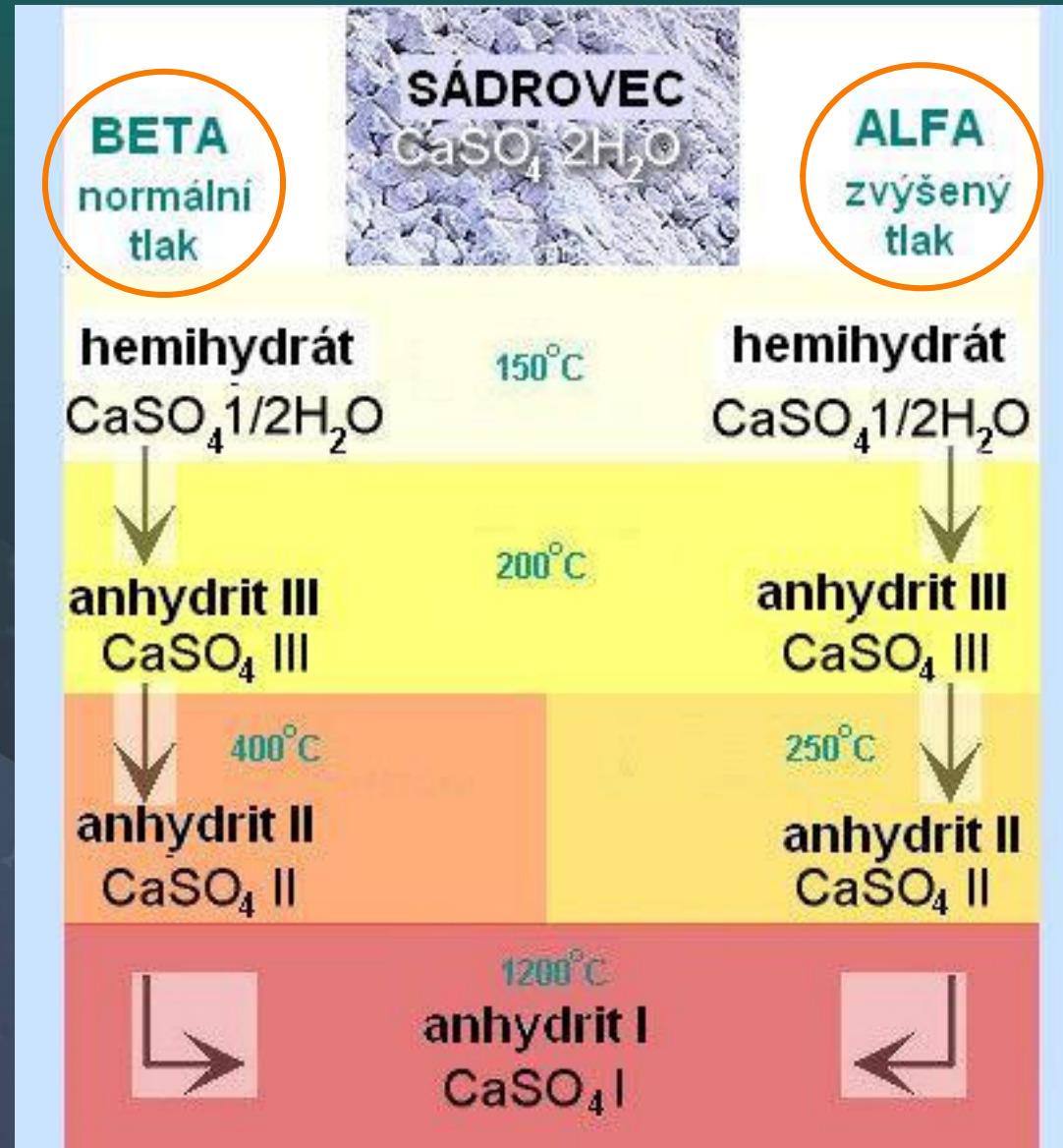
- kalcinace (150-200°C)







# Dehydratace sádrovce

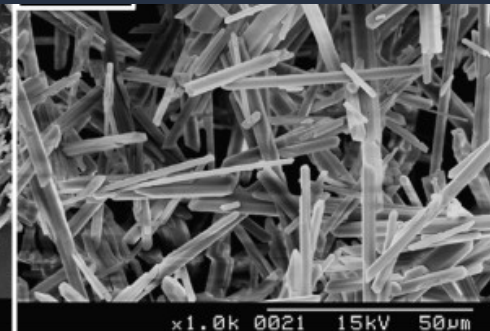
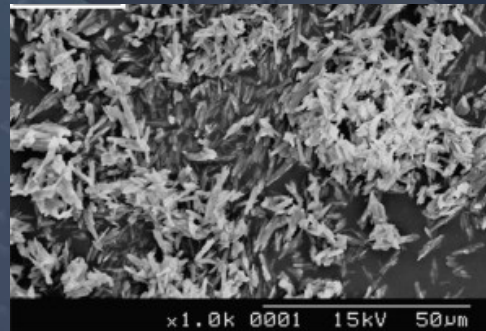




# Rozdíly mezi $\alpha$ a $\beta$ sádrrou

	$\beta$ - sádra	$\alpha$ - sádra
Velikost částic	1 – 5 $\mu\text{m}$	10 – 20 $\mu\text{m}$
Porozita částic	porézní	nízká
Měrný povrch	velký	malý
Poruchy v krystalové mřížce	velké	malé
Nárůst pevnosti	rychlejší	pomalejší
Konečná pevnost	nižší	vyšší

$\beta$  - sádra



$\alpha$  - sádra



# Tuhnutí sádry



## Třídy pevnosti sádry (ČSN 72 2301)



Třída	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-10	G-13	G-16	G-19	G-22	G-25
Pevnost v tlaku v MPa	2	3	4	5	6	7	10	13	16	19	22	25



# Druhy sádry (ČSN 72 2301)

Rozdělení sádry podle doby tuhnutí a podle jemnosti mletí (podle ČSN 72 23 01)

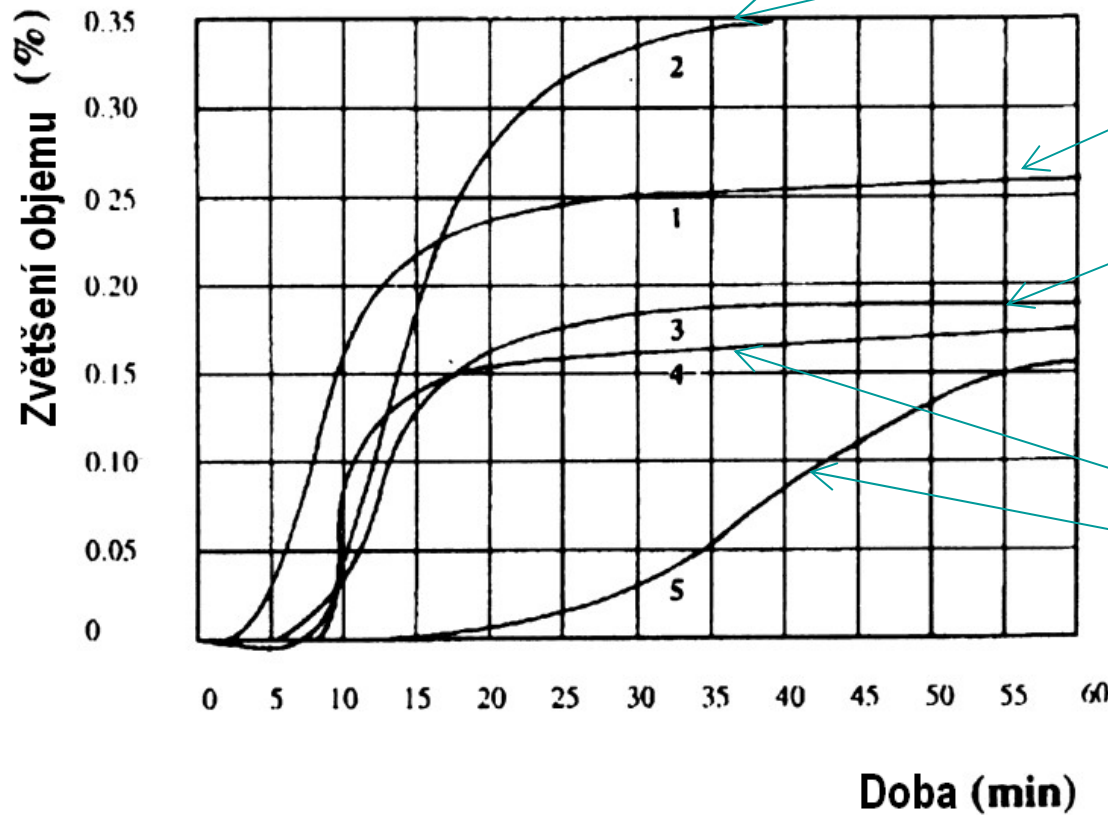
Druh	Označení	Počátek tuhnutí	Konec tuhnutí max.
rychle tuhnoucí	A	2 min	15 min

Druh	Označení	Zbytek na síť 0,2 mm nejvýše v %
hrubě mletá	I	30
středně mletá	II	15
jemně mletá	III	2





# Nabývání tuhnoucí sádry na objemu



Vysoce expanzní sádra

Běžná sádra  
 $v/s = 0,56$

Běžná sádra  
 $v/s = 0,6$

Sádky se  
zpomalovačem  
tuhnutí



# Požární odolnost sádry

- **nehořlavá** (třída A1)
  - obsahuje krystalovou vodu (17 % hmotnosti)
  - za vysokých teplot se voda uvolňuje v podobě vodní páry
    - fyzická ochrana konstrukce vodní parou
    - dochází k rekalcinaci sádry (teplo je spotřebovááno)
- zpomalení postupu tepla konstrukcí
- **sádra může být použita jako ochrana proti ohni** (např. dřevěných či ocelových prvků)





# Požární zkouška v Mokrsku



1000 °C

20 °C

Stěna ze  
sádrových bloků  
nebyla jako jediná  
zničena ohněm