



Stavební hmoty

Přednáška 6



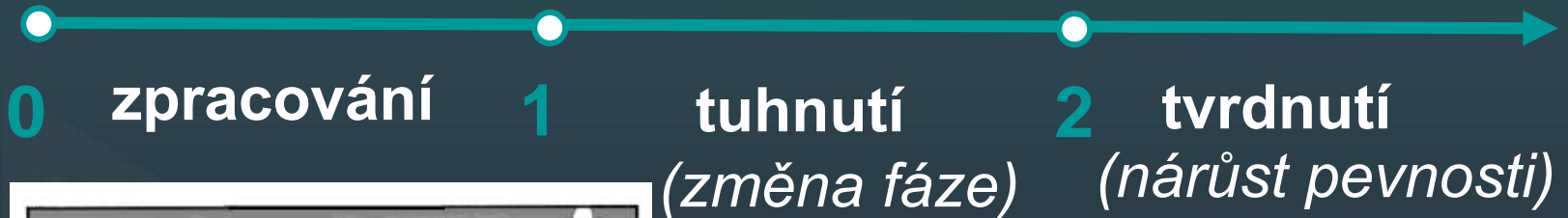
Pojiva





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
- nejsou odolná vůči vodě



Hydraulická

- tvrdnou i pod vodou
- odolná vůči vodě



Hydraulicita

- schopnost hydratace i pod vodou
- podmínka hydraulicity: přítomnost **hydraulitů** (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3)

Vzdušná pojiva

- sádra
- vzdušné vápno
- vodní sklo
- hořčnaté pojivo
 - geopolymery

Hydraulická pojiva

- hydraulické vápno
- cement



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.

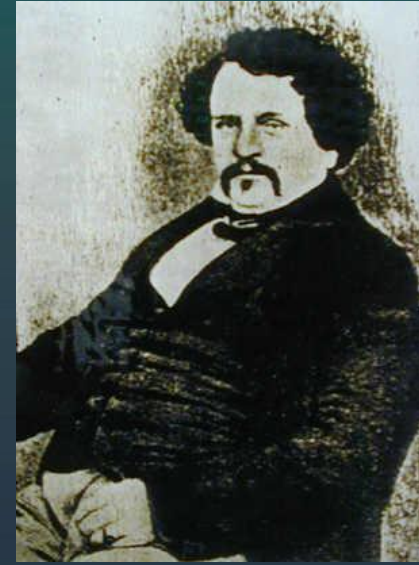
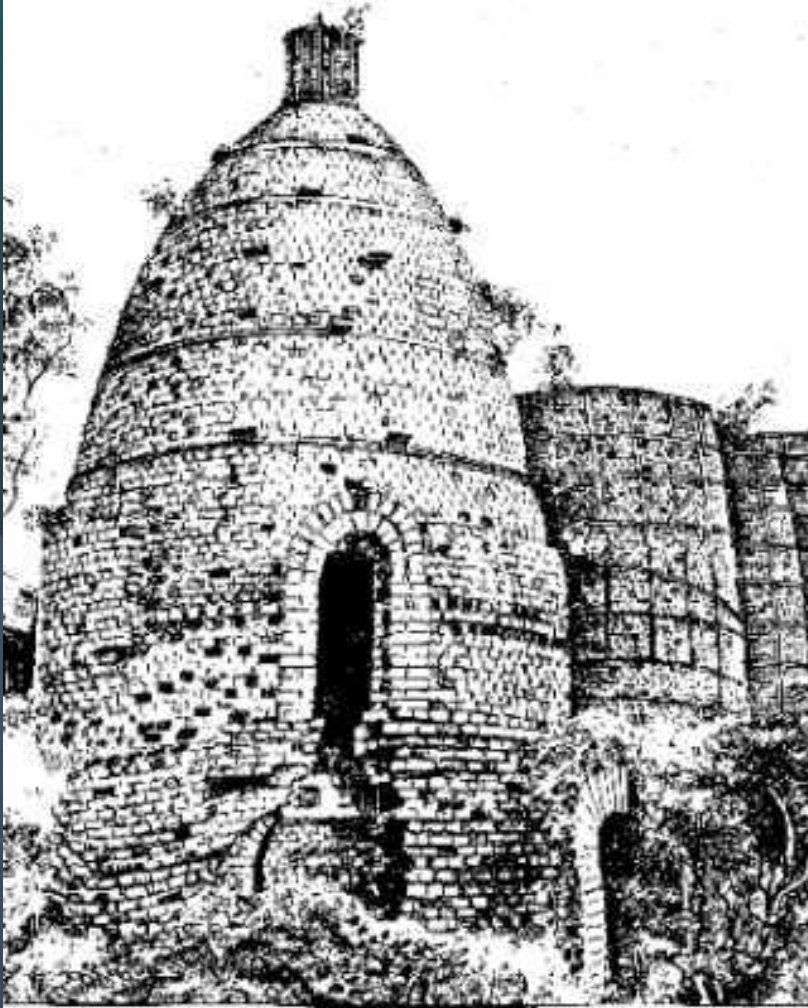


Cement





Cement



Joseph Aspdin

1824 - patent na výrobu portlandského cementu



Výroba cementu

Suroviny:

- vápenec

• přísady:

- sádrovec

- hydraulicky aktivní složky

(struska, pucolán, popílek..)



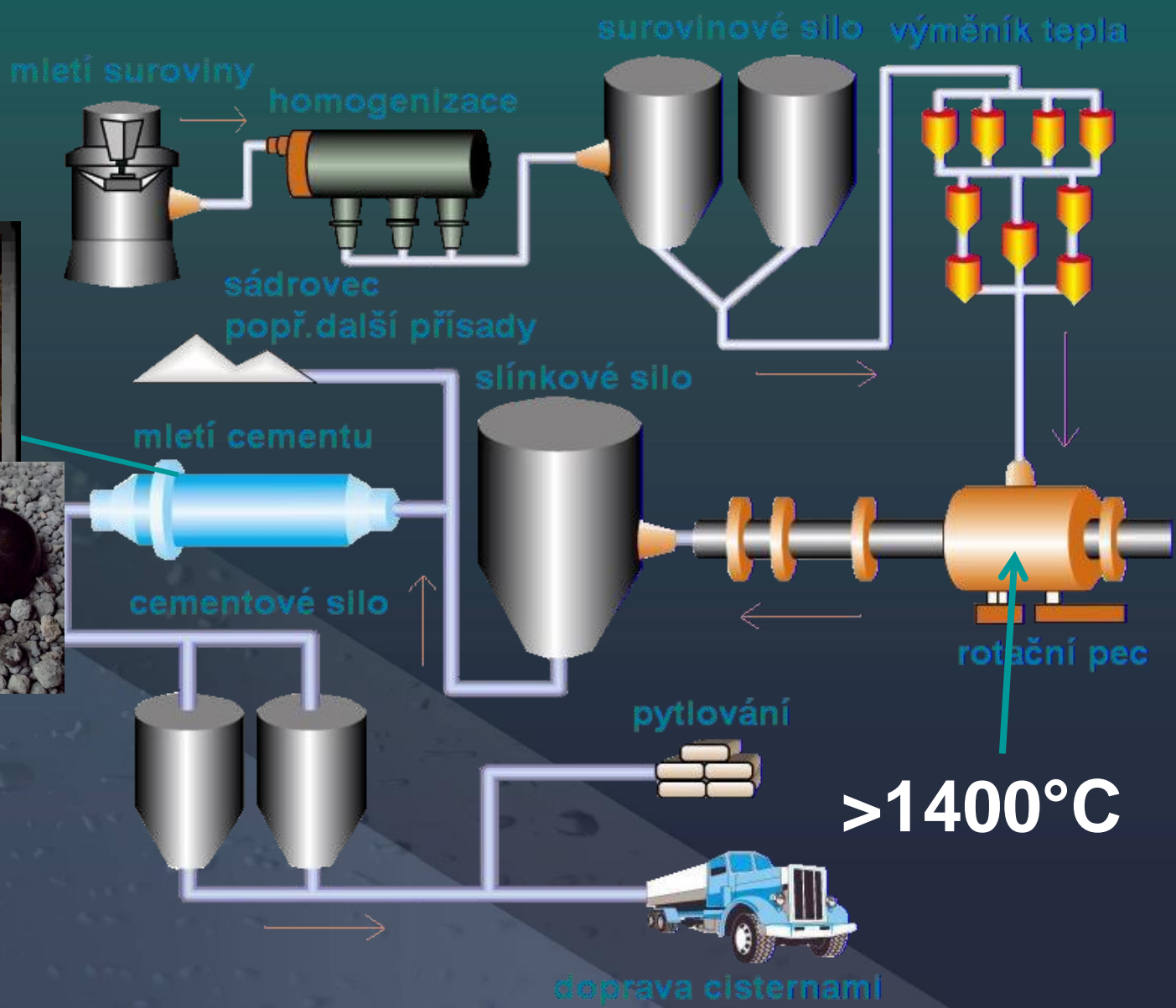


Výroba cementu





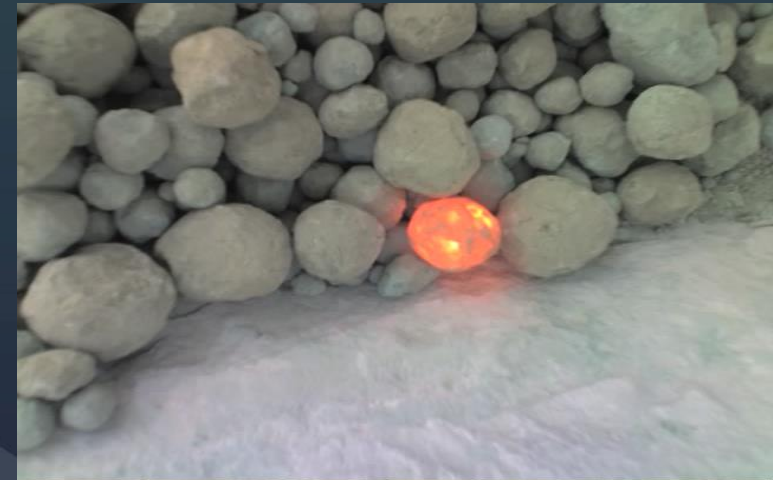
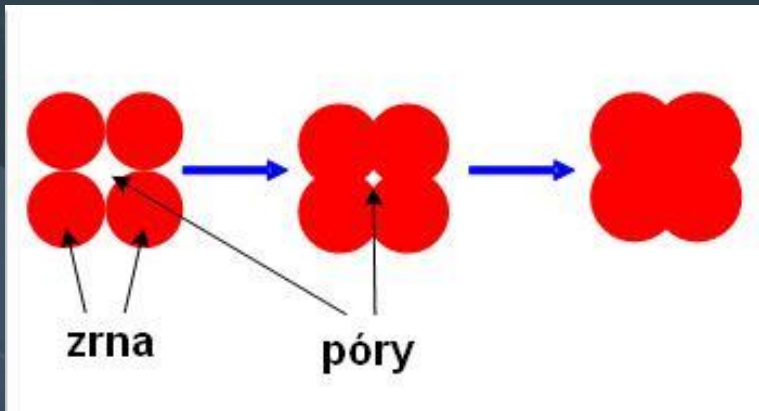
Výroba cementu





Slinování

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



- chemické procesy → **slínekové minerály**



Stavební hmoty

Rotační pec



až 1480 °C

Katedra materiálového inženýrství
a chemie

Stavební fakulta ČVUT v Praze



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>
• Σ	99,0 %

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

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



Mineralogické složení slínku

Trikalciumsilikát

křemičitan trojvápenatý

Alit



Dikalciomsilikát

křemičitan dvojvápenatý

Belit



Trikalciumaluminát

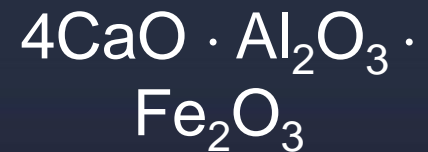
hlinitan trojvápenatý



Tetrakalciumaluminát ferit

hlinitoželezitan čtyřvápenatý

Celit
Brown-
millerit





Cementářská notace

- zkrácený zápis oxidů

Oxid vápenatý	C	CaO
Oxid křemičitý	S	SiO ₂
Oxid hlinitý	A	Al ₂ O ₃
Oxid železitý	F	Fe ₂ O ₃



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)



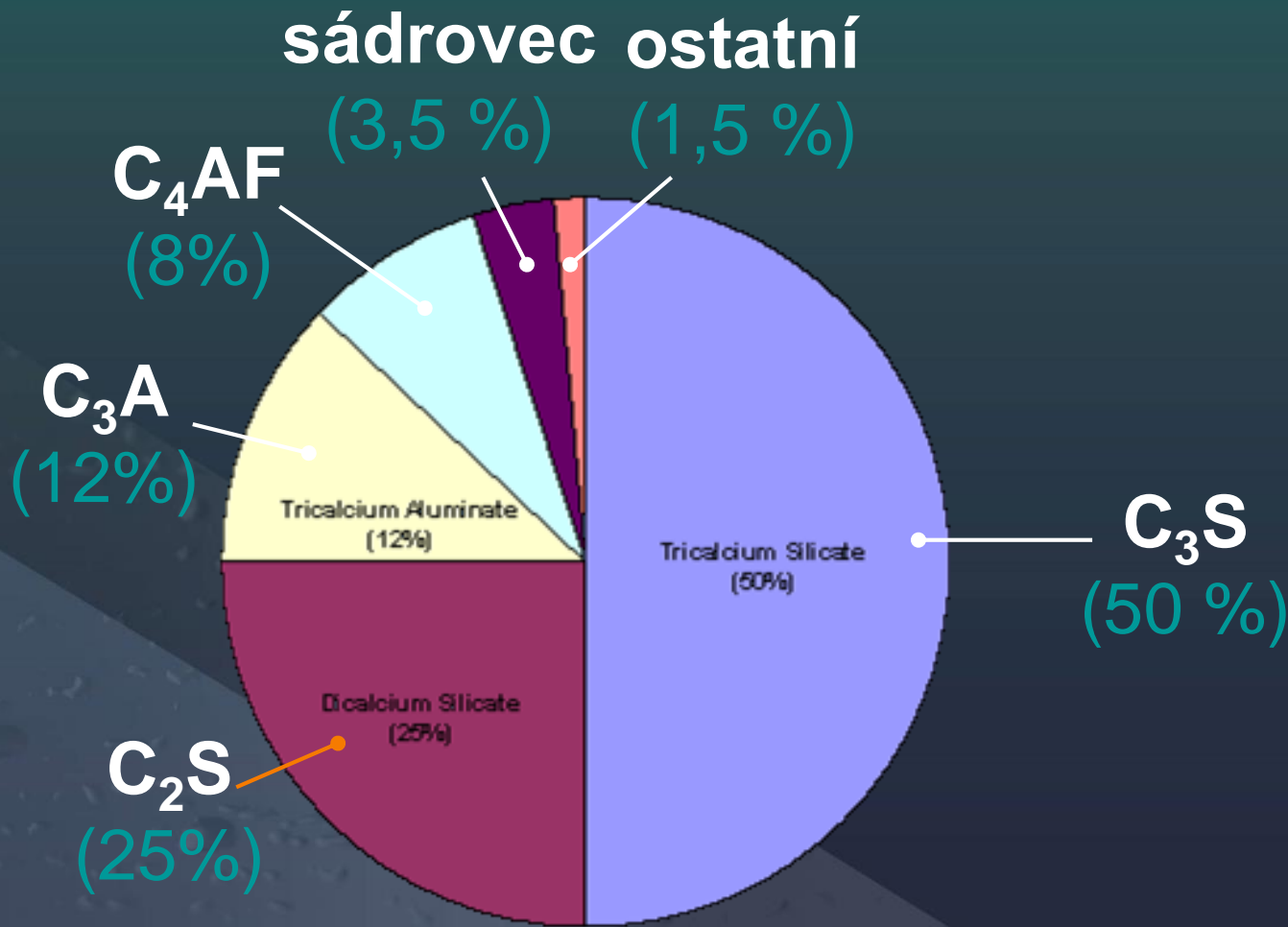


Složení slínku

název	značka	označ.	obsah (%)	hydratační teplo (kJ.kg ⁻¹)	rychlost hydratace
trikalciurn silikát	C ₃ S	alit	37 - 75	500	rychlá
dikalciurn silikát	C ₂ S	belit	5 - 40	250	střední
trikalciurn-aluminát	C ₃ A	amorfní fáze	3 - 15	910	velmi rychlá
tetrakalcium-aluminát ferit	C ₄ 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





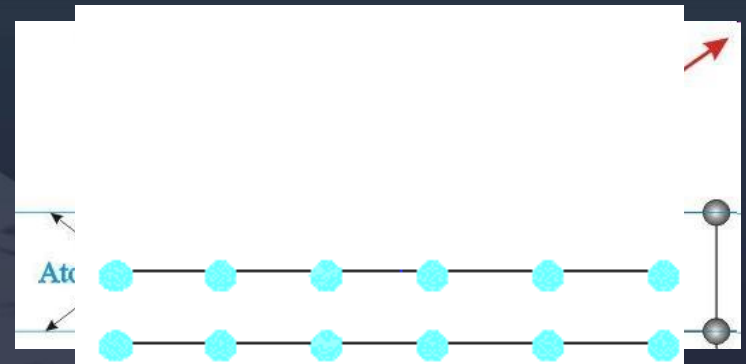
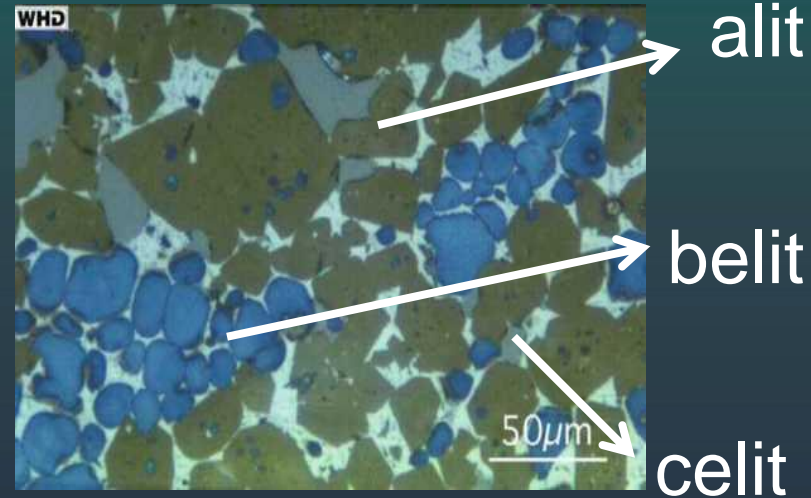
Obsah slínekových minerálů

Minerál	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Typ cementu				
Portlandský	65	15	8	9
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 potencionálního 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 - Fe_2O_3 (je pouze v C_4AF)
- další limitující složka – Al_2O_3 (v C_4AF a v C_3A)



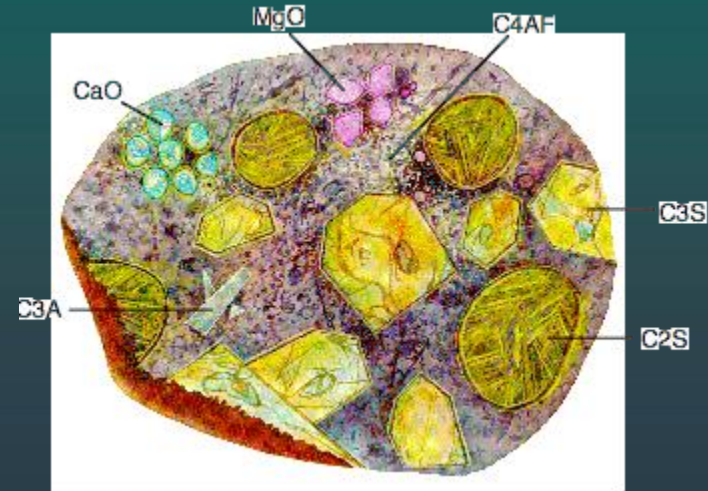
Odvození Boguových rovnic

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

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	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$



Boguvy 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 rozdělání cementu s vodou

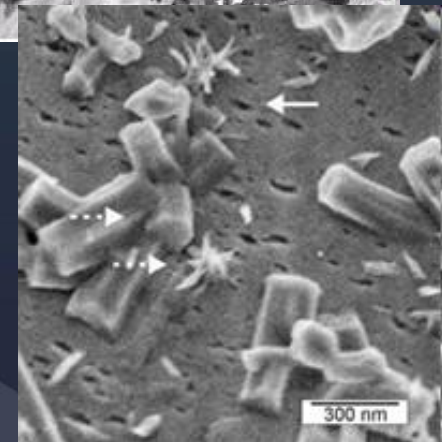
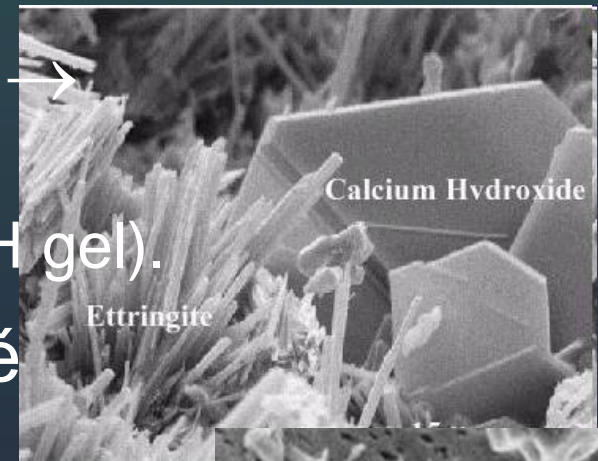
Hydratace závisí na:

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



Hydratace cementu

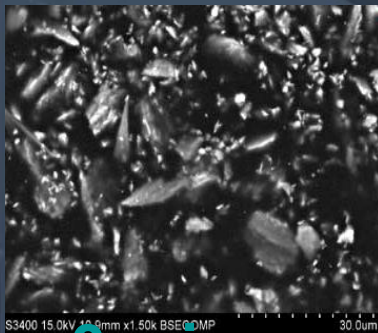
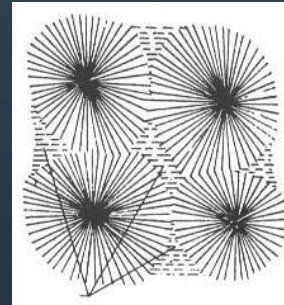
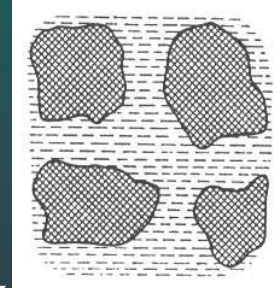
- reakce mezi vodou, sádkou a C_3A → krystalické hydráty (kalcium-alumino-hydrát CAH, ettringit Aft a monofosfát Afm)
- později reakce vody s C_3S → amorfní hydrát (kalcium-silikátový-hydrát - CSH gel).
- hydratace C_2S je podstatně pomalejší než předchozí, postupně zvyšuje pevnost
- jako poslední reakce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



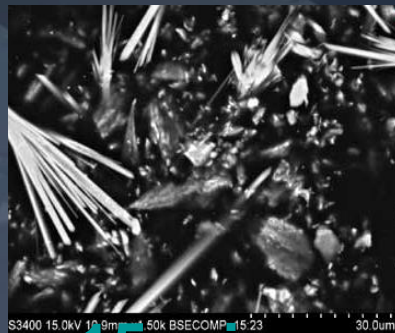


Hydratace cementu

- 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.



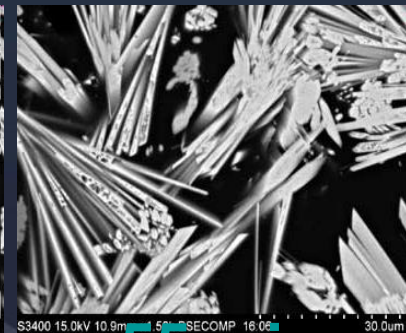
0 min



15 min



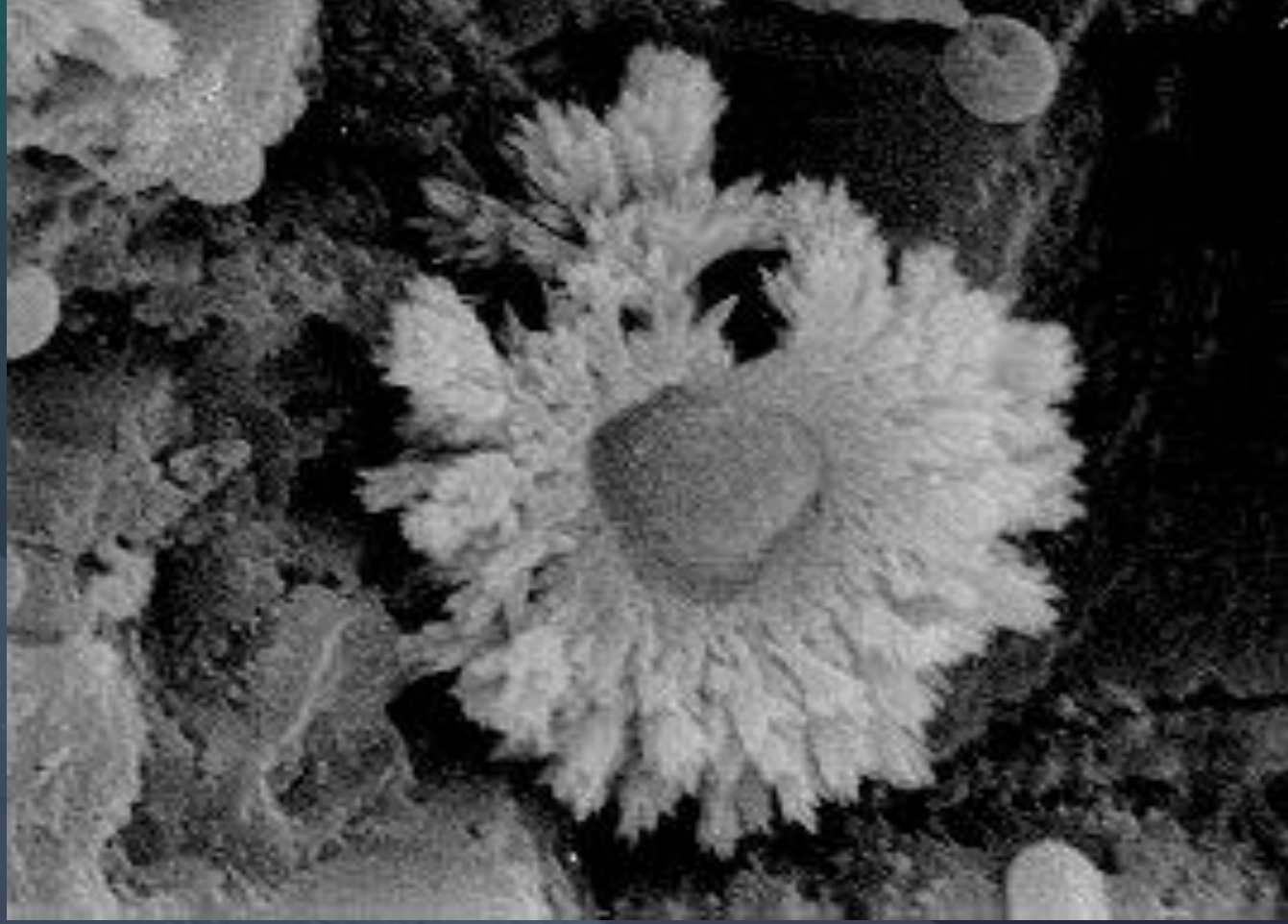
30 min



55 min



Hydratující cement



**Katedra materiálového inženýrství
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze



Stavební hmoty





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“
- Popílky
 - 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“)



Druhy cementů - ČSN EN 197-1

Hlavní druhy	Označení 27 druhů cementů pro obecné použití		Složení (poměry složek podle hmotností)										
			Hlavní složky										Doplňující složky
			Slínek	Vysokopecní struska	Křemičitý úlet	Pucolány		Popílky		Kalcinová břídlíce	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
CEM II	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
CEM II	Portlandský popilkový 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
CEM II	Portlandský cement s kalcinovou břídlicí	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
CEM II	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
CEM II	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:

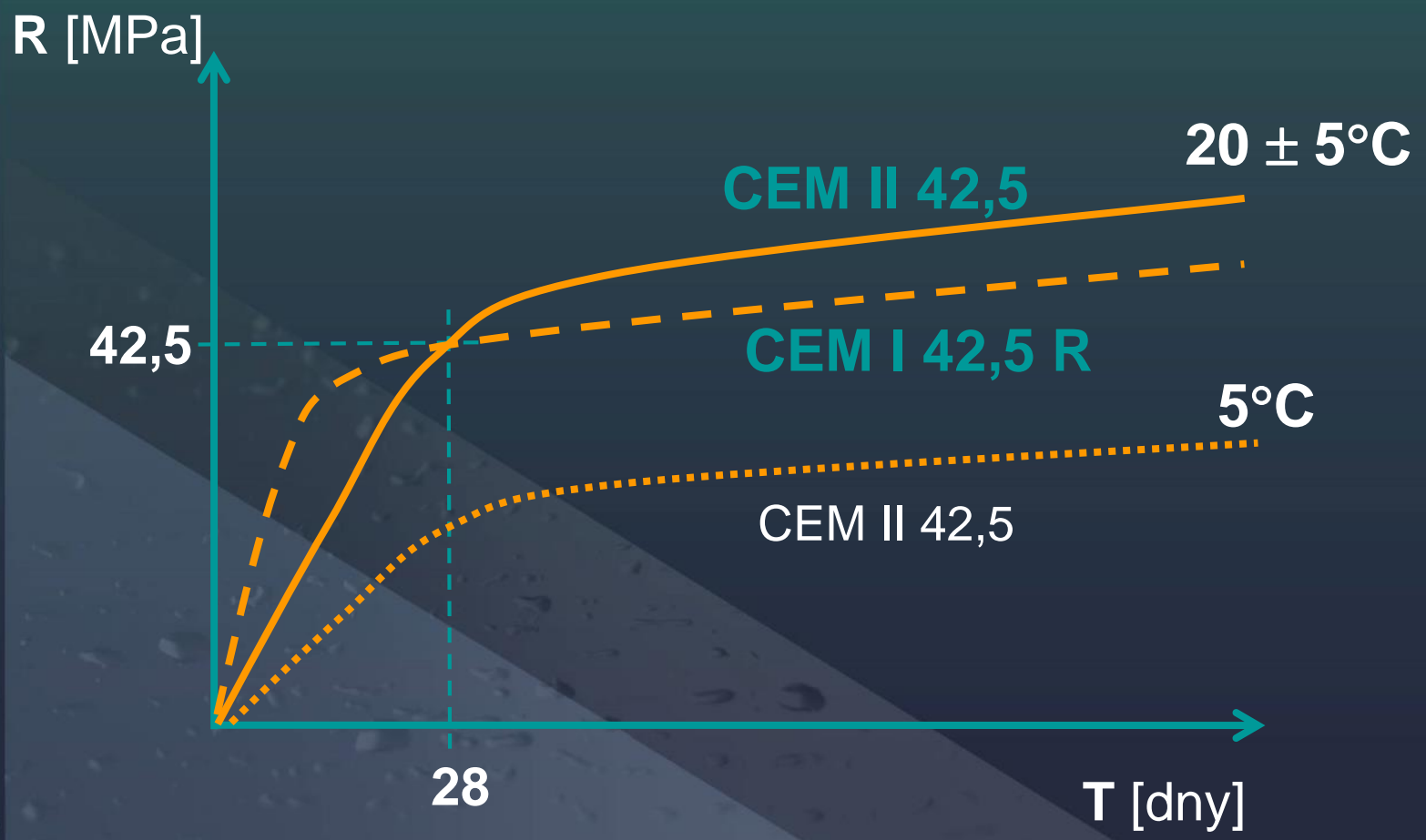
- normalizovaná pevnost cementu v tlaku v MPa po 28 dnech

- ~~22,5~~ (zrušena)
- 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 % Al_2O_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 !**

(havárie v n.p. Mesit, Uherské Hradiště (1984)

- 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





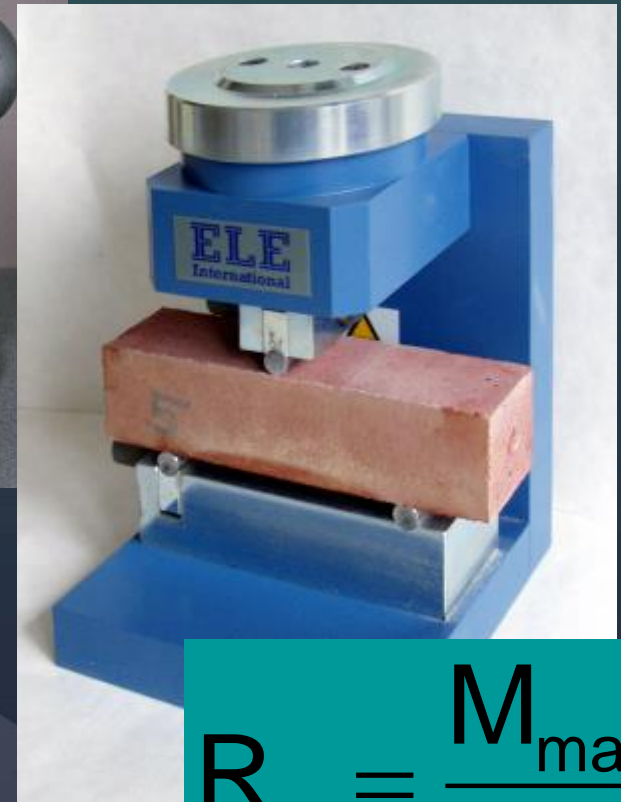
Pevnost cementu (ČSN EN196-1)

v tlaku



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

v tahu za ohybu



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



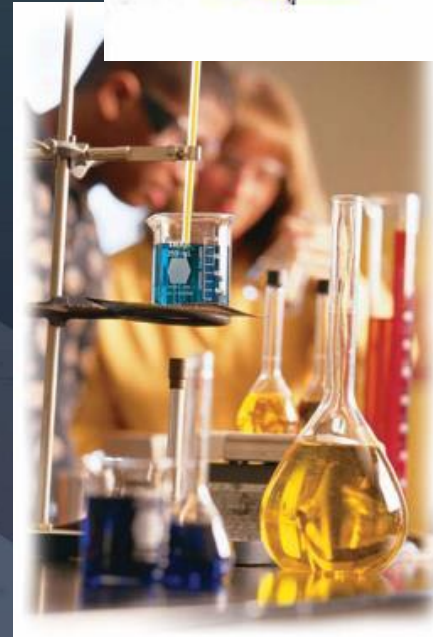
Statistické vyhodnocení pevnosti v tlaku

- 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**



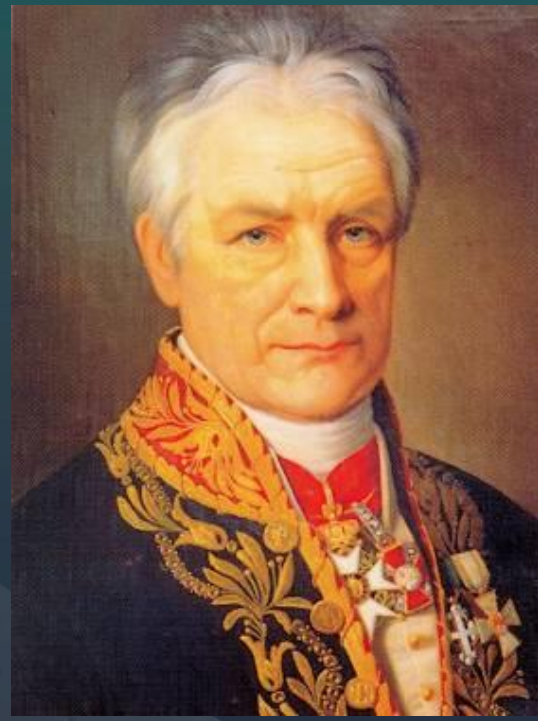
Chemický rozbor cementu (ČSN EN196-2)

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

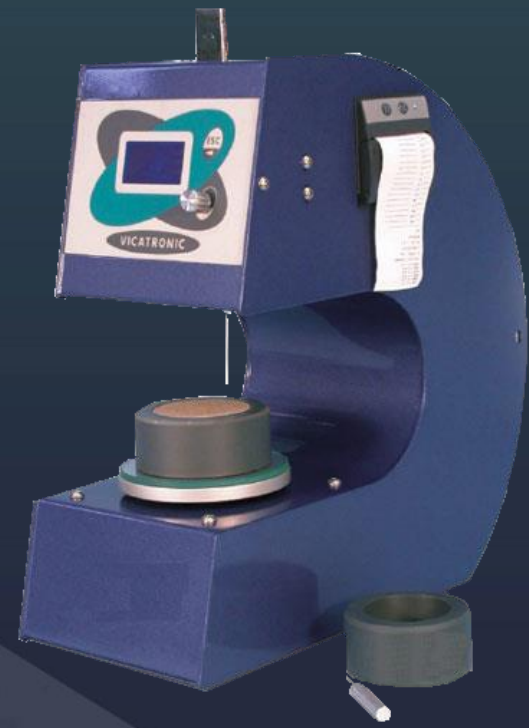
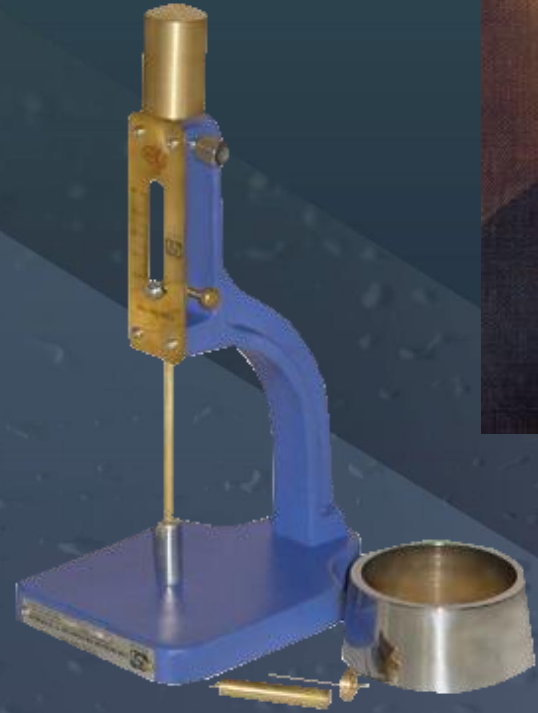




Doba tuhnutí (ČSN EN196-3)



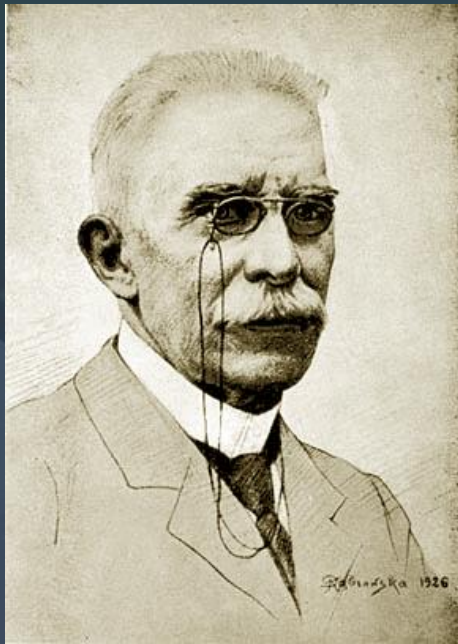
Louis Vicat
(1786 -1861)



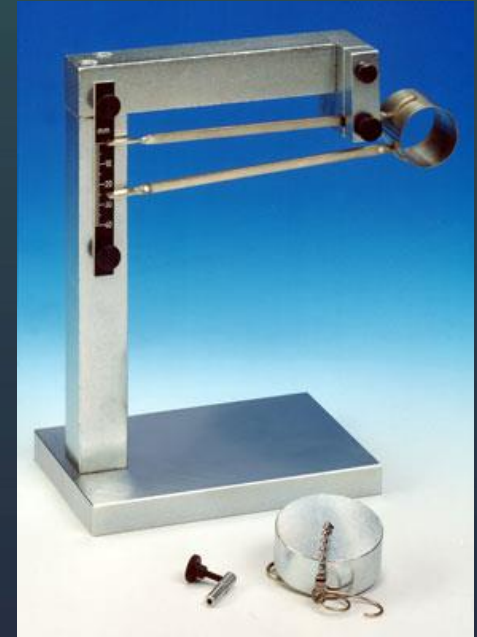


Objemová stálost (ČSN EN196-3)

- 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)



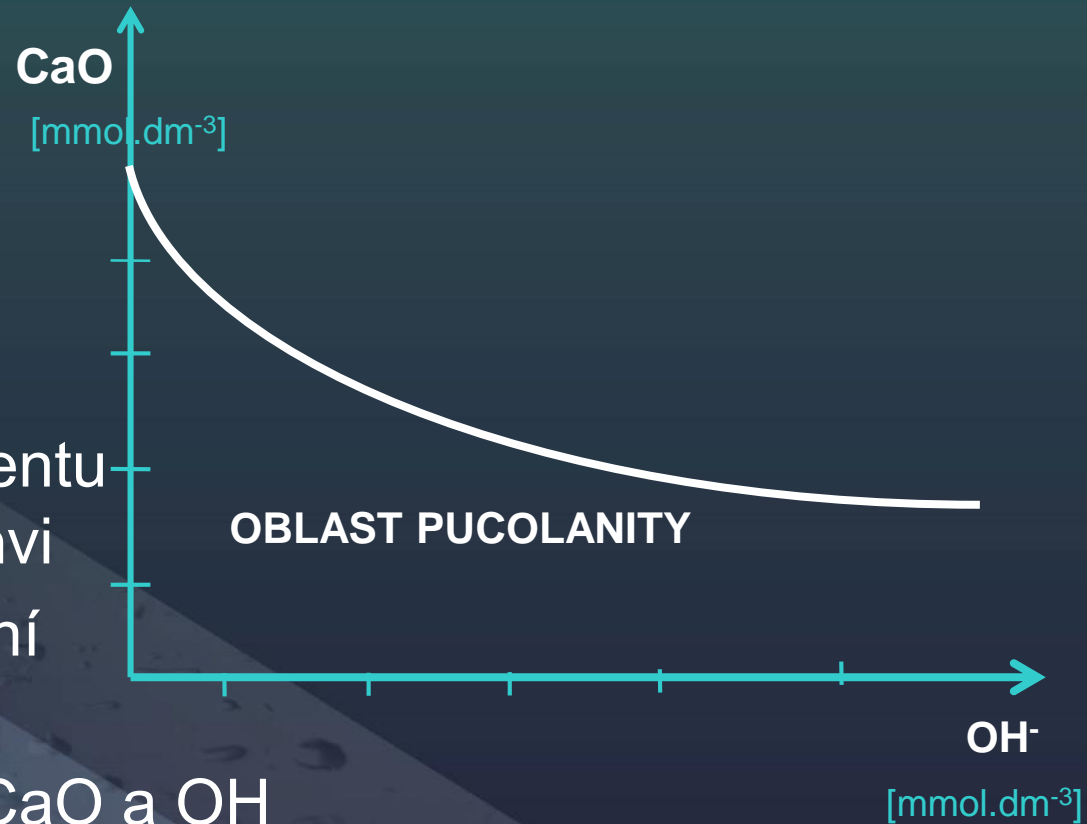
Postup

- rozpuštění v EDTA (kyselina ethylendiamintetraoctová)
- rozpuštění ve zředěné HNO_3
- obsah CO_3 , obsah CO_2
- obsah S^{2-} v cementu a ve zbytku po 1.kroku



Pucolanita (ČSN EN196-5)

- reakce SiO_2 s $\text{Ca}(\text{OH})_2$



- 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 Na_2O



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

Pevnostní třída	Pevnost v tlaku MPa				Počátek tuhnutí minut	Objemová stálost (rozepnutí) mm
	Počáteční pevnost		Normalizovaná pevnost			
	2 dny	7 dnů	28 dnů			
32,5 N	-	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$	≥ 75	≤ 10
32,5 R	$\geq 10,0$	-				
42,5 N	$\geq 10,0$	-	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$	≥ 60	
42,5 R	$\geq 20,0$	-				
52,5 N	$\geq 20,0$	-	$\geq 52,5$	-	≥ 45	
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	≥ 20,0 ≥ 52,5	35,2 61,4
Pevnost v ohybu [MPa] • počáteční - 2 dny • normalizovaná - 28 dnů	--- ---	6,6 8,7
Počátek tuhnutí [min.]	≥ 45	172
Konec tuhnutí [min.]	---	231
Objemová stálost [mm]	≤ 10	1,3
Obsah síranů (SO ₃) [%]	≤ 4,0	2,93
Obsah chloridů [%]	≤ 0,10	0,054
Obsah alkálií (Na ₂ O eq.) [%]	---	0,72
Měrný povrch [m ² /kg]	---	425
Normální konzistence [%]	---	30,2
Ztráta žíháním [%]	≤ 5,0	1,36
Nerozpustný zbytek [%]	≤ 5,0	3,05

**Katedra materiálového inženýrství
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze



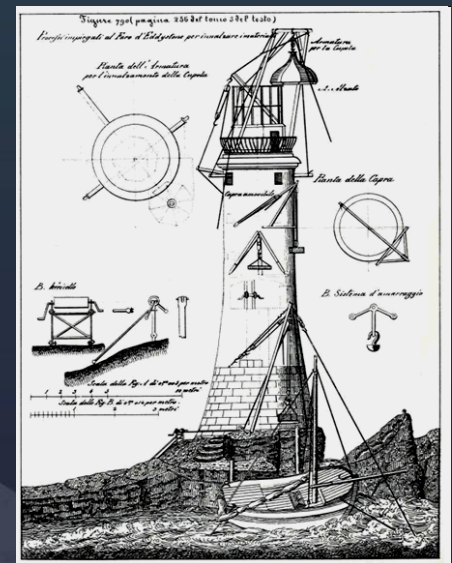
Stavební hmoty





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 ₃ (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 (CaSO_4)
 - sádra
 - anhydritové pojivo

- ze sádrovce nebo anhydritu



Důl Naica, Mexiko



Zdroje sádrovec

- přírodní
- **energosađrovec**
(mokr vpencov vypírka spalin)
- syntetick sádrovec
 - chemosađrovec
 - **fosfosađrovec**
 - citrosađrovec





Sádra

- hemihydrát síranu vápenatého -



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



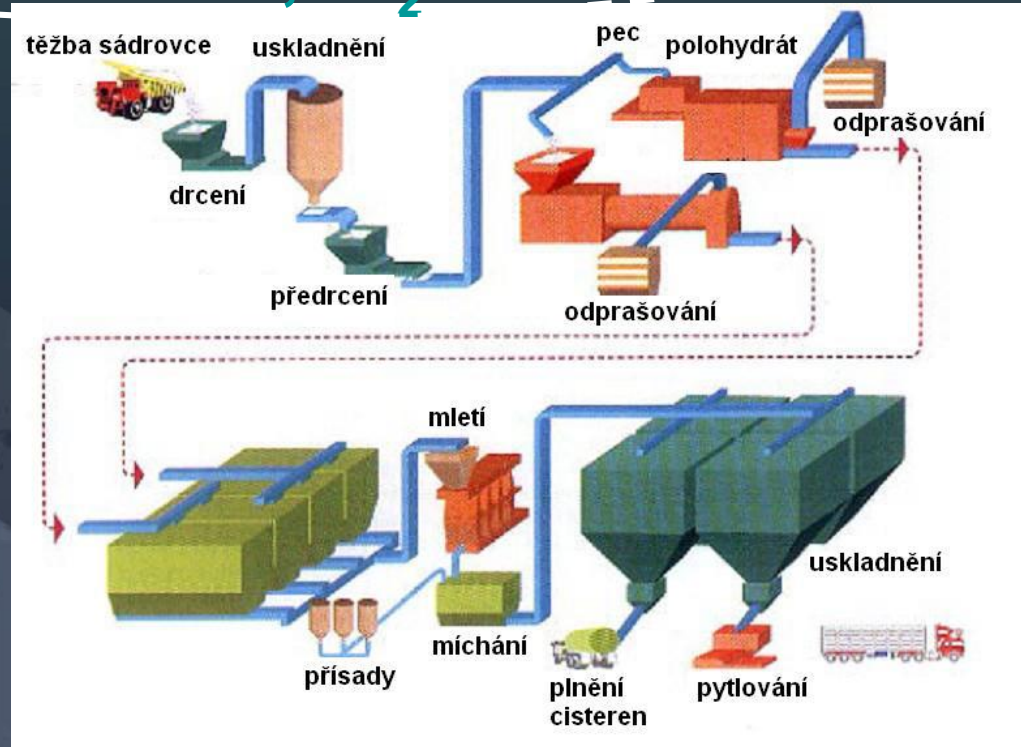
© Elnu A. Cabrera





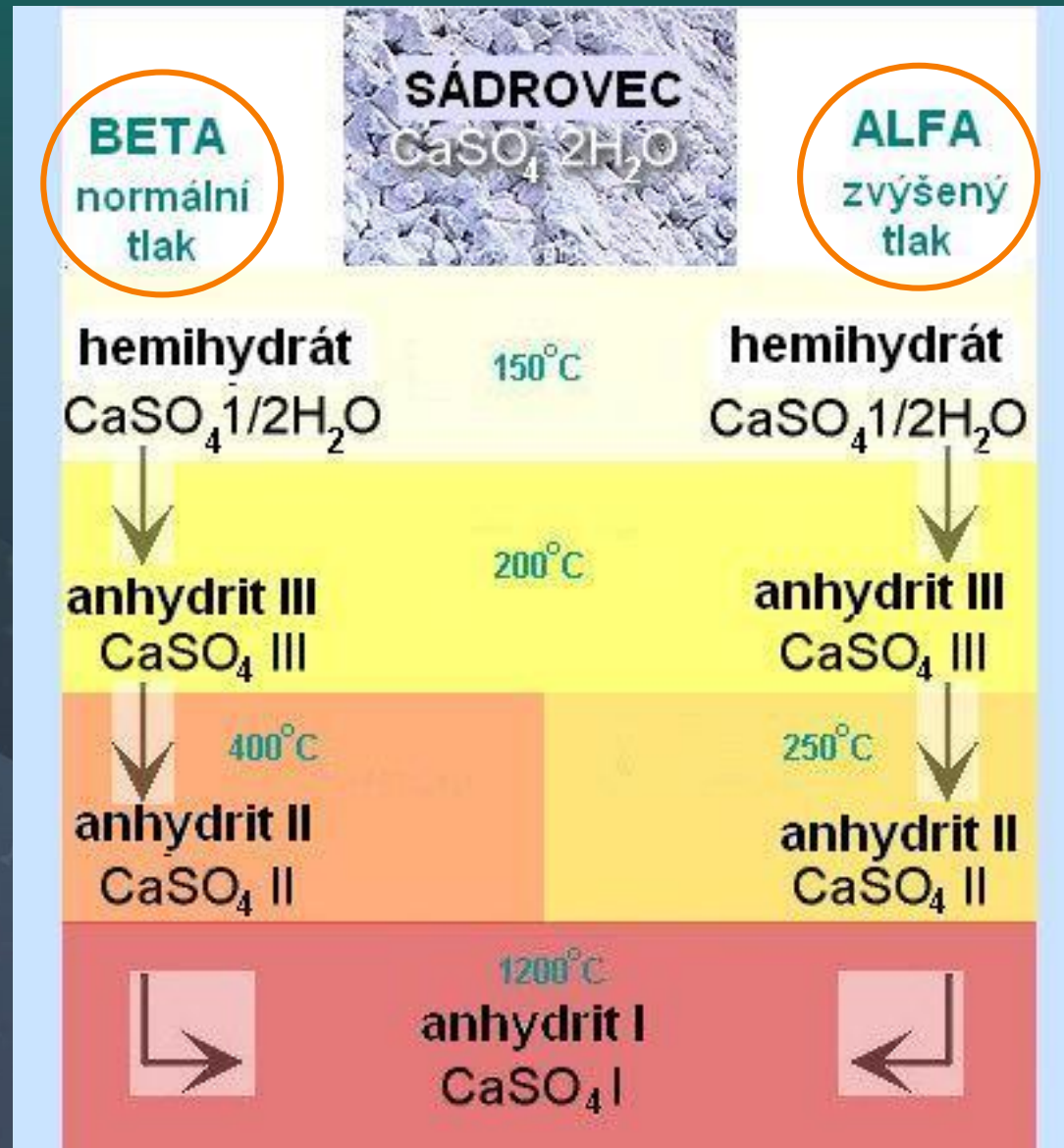
Výroba sádry

- kalcinace (150-200°C)





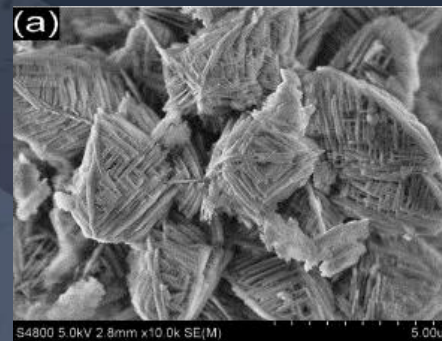
Dehydratace sádrovce





Rozdíly mezi α a β sádrrou

	β - sádra	α - sádra
Velikost částic	1 – 5 μm	10 – 20 μm
Porozita částic	porézní	nízká
Měrný povrch	velký	malý
Poruchy v krystalové mřížce	velké	malé
Nárůst pevnosti	rychlejší	pomalejší
Konečná pevnost	nižší	vyšší





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)

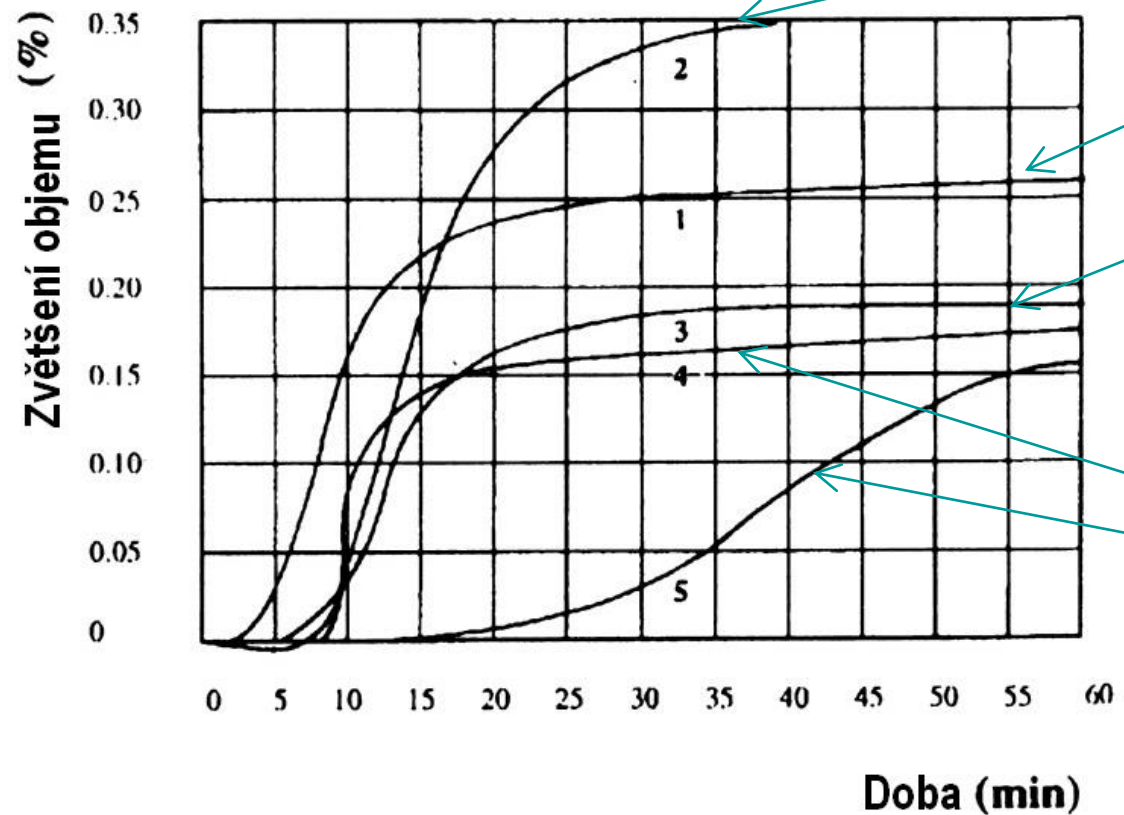
Rozdělení sádry podle doby tuhnutí a podle jemnosti mletí (podle ČSN 72 23 01)

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
 $v/s = 0,6$

Sádra 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 spotřebováváno)
- zpomalení postupu tepla konstrukcí
- **sádra může být použita jako ochrana proti ohni** (např. dřevěných či ocelových prvků)



Modifikace vlastností sádry

- zpomalovače (klíh, kyselina citronová, melasa)
- urychlovače (sádrovec)
- fungicidní přísady
- hydrofobizační přísady
- barevné pigmenty
- látky zvyšující plastičnost suspenze (kořen proskurníku lékařského)
- výztuž (vlákna)





Pevnost sádry

- závislost na vlhkosti

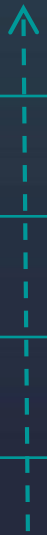
Ošetřování a uložení sádry	Vlhkost % hmot.	Pevnost v tlaku	
		MPa	%
vysušení při 35 - 40 °C	0	13,8	100 ↑
vlhkost vzduchu 65 %	0,04	13,6	98,5
vlhkost vzduchu 90 %	0,15	12,9	93,5
plné nasycení vodou	17,5 ↓	6,4	46,5 ↓



Pevnost sádry

- závislost na vodním součiniteli ($= \frac{\text{hm. vody}}{\text{hm. sádry}}$)

Vodní součinitel	Objemová hmotnost	Pevnost v tlaku
	kg.m-3	MPa
0,50	1410	14,6
0,55	1300	13,0
0,60	1230	11,4
0,65	1170	10,8
0,75	1040	9,5





Použití sádry (~~ČSN 72 2301~~)

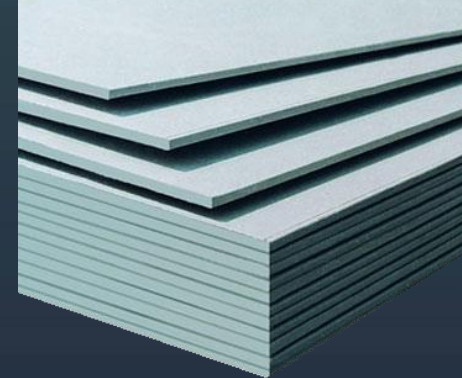
	Použití	Doporučené třídy a druhy
1	Výroba sádrových stavebních výrobků všeho druhu	G-2 až G-7 (A-B-C, I-II-III)
2	Výroba tenkostěnných stavebních výrobků a dekoračních prvků	G-2 až G-7 (A-B, I-II)
3	Provádění omítkových prací, spárování, speciální účely	G-2 až G-25 (B-C, II-III)
4	Výroba forem a modelů v průmyslu (porcelánovém, keramickém, strojním) a v lékařství	G-5 až G-25 (B, III)
5	Pro lékařské účely	G-2 až G-7 (A-B, II-III)





Použití sádkry ve stavebnictví

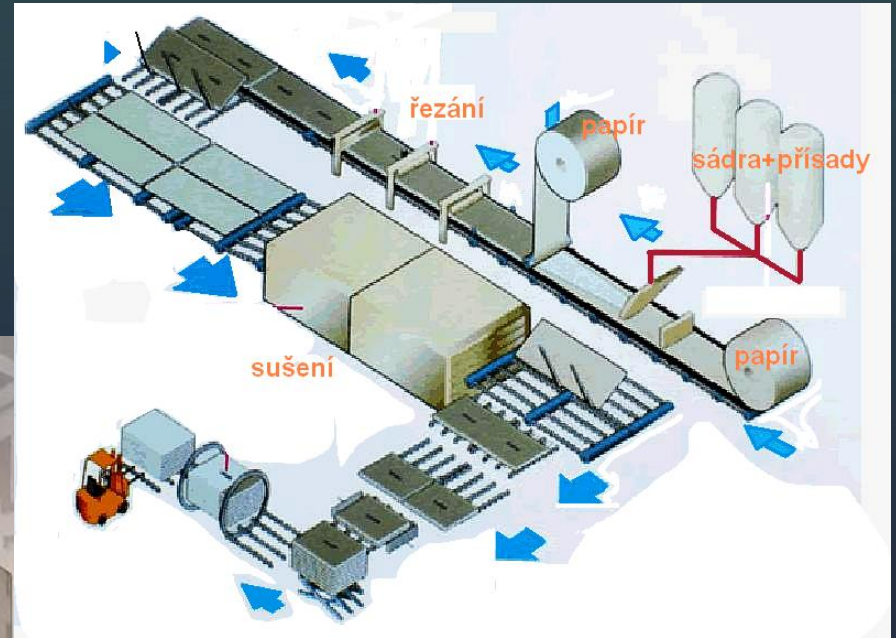
- malty pro vnitřní použití
- tvárnice
- podlahové potěry
- sádrokartonové desky
- sádrovláknité desky





Sádrokarton

- sádrové jádro (sádra, rozvlákněný papír, skelná vlákna) + karton





Druhy sádrokartonových desek

- stěnové desky (druh A)
- stěnové desky se sníženou absorpcí vody ($H_1 - H_3$)
- plášťové desky (druh E)
- stěnové desky se zvýšenou pevností jádra při vysokých teplotách (druh F)
- podkladové desky (druh P)
- desky s kontrolovanou objemovou hmotností (D)
- desky se zvýšenou pevností (R)
- desky se zvýšenou tvrdostí povrchu (I)





Značení sádrokartonových desek

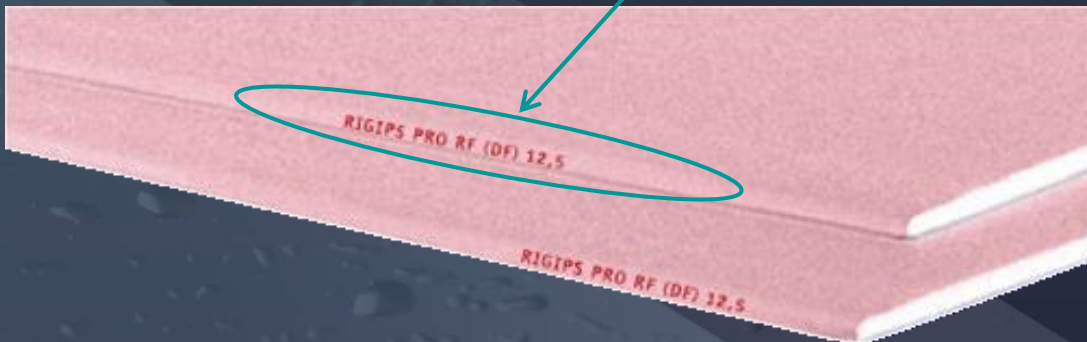
- ČSN EN 520



Sádrokartonová deska
Gypsum plasterboard

Rigips RF (DF)

ČSN EN 520 - 1200 / 12,5 / Hrana PRO
EN 520 - 1200 / 12,5 / Edge PRO





Speciální desky

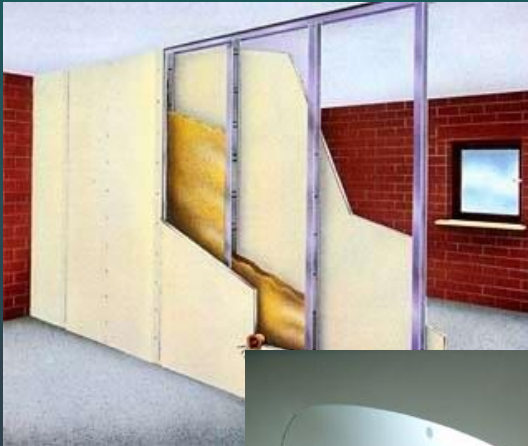
- protipožární
- akustické
- izolační





Použití sádkartonu

- normální desky – do 65% vlhkosti
- impregnované desky – trvale do 75 % vlhkosti
krátkodobě až 100 %

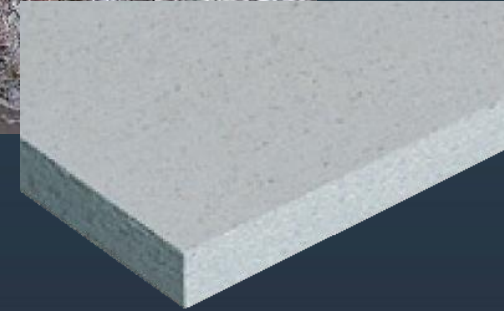


~~sklepy, sprchy,
mokré provozy~~



Sádrovláknité desky

- sádra (80%) + celulózová vlákna (20 %)
 - nemají karton na povrchu
 - vyšší objemová hmotnost
 - vyšší pevnost
 - lepší požární odolnost
 - vhodné i do vlhkých prostor

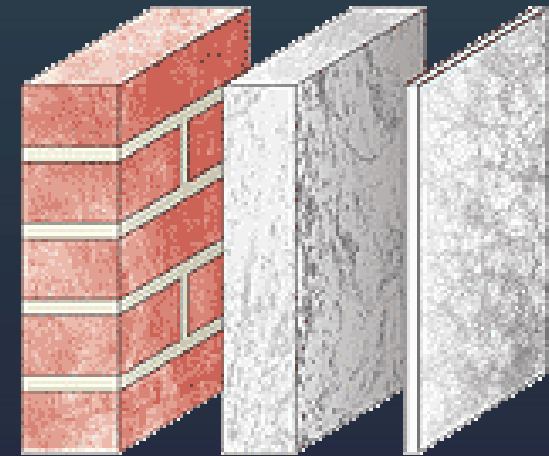
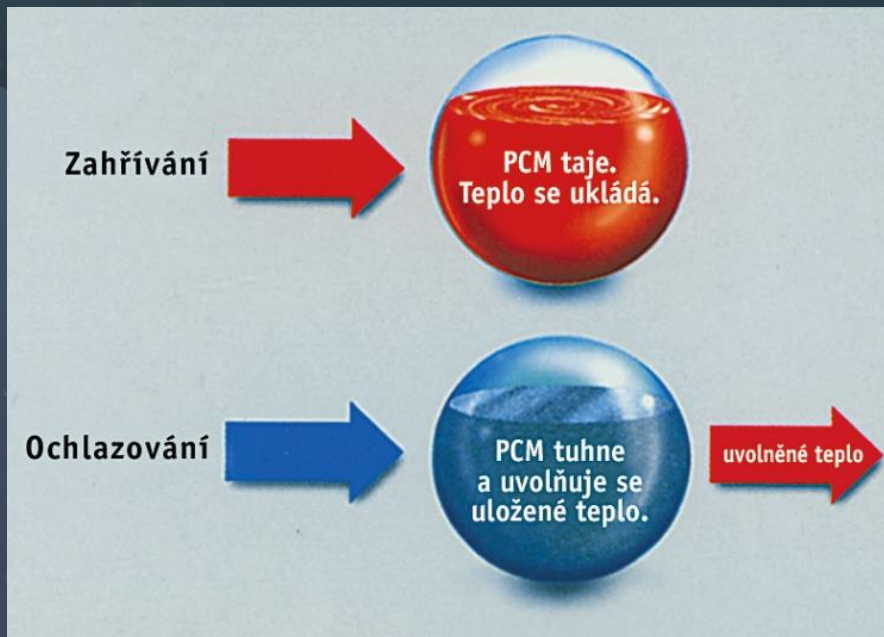




Sádrové desky PCM

PCM – phase change materials

- při teplotě okolo 25 °C mění látkové skupenství
- zvýšení akumulace při nižší hmotnosti

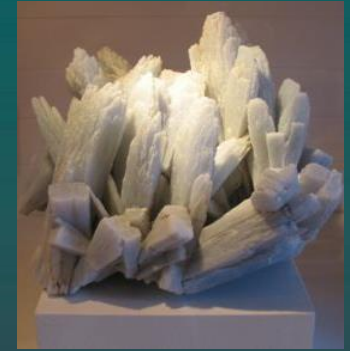


10 cm

1,5 cm



Anhydrit



- bezvodý CaSO_4 + budič
- jako budič se užívá: vápno, cement, sírany
- i v přítomnosti budičů je tvrdnutí pomalé
- použití na „samonivelační“ vrstvy





Samonivelační podlahy

- obsahují plastifikátor, zlepšující tekutost směsi
 - tekuté směsi se při tuhnutí smršťují => součástí směsi je plnivo (1:1 – 1:2)





Další síranová pojiva

- Keenův cement
 - sádrovec + kamenec
- Scottova sádrovina
 - sádrovec + vápno
- De Wyldeho sádrovina
 - sádrovec + vodní sklo
- Pariánská sádrovina
 - sádrovec + borax