



Stavební hmoty

Přednáška 6



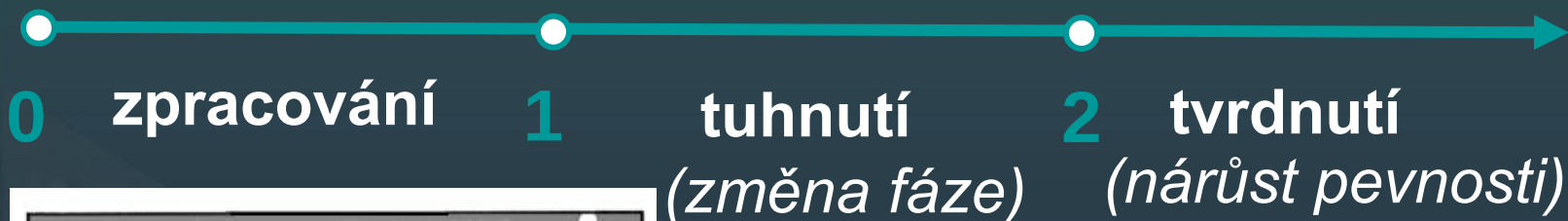
Pojiva





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
- hořečnaté 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.

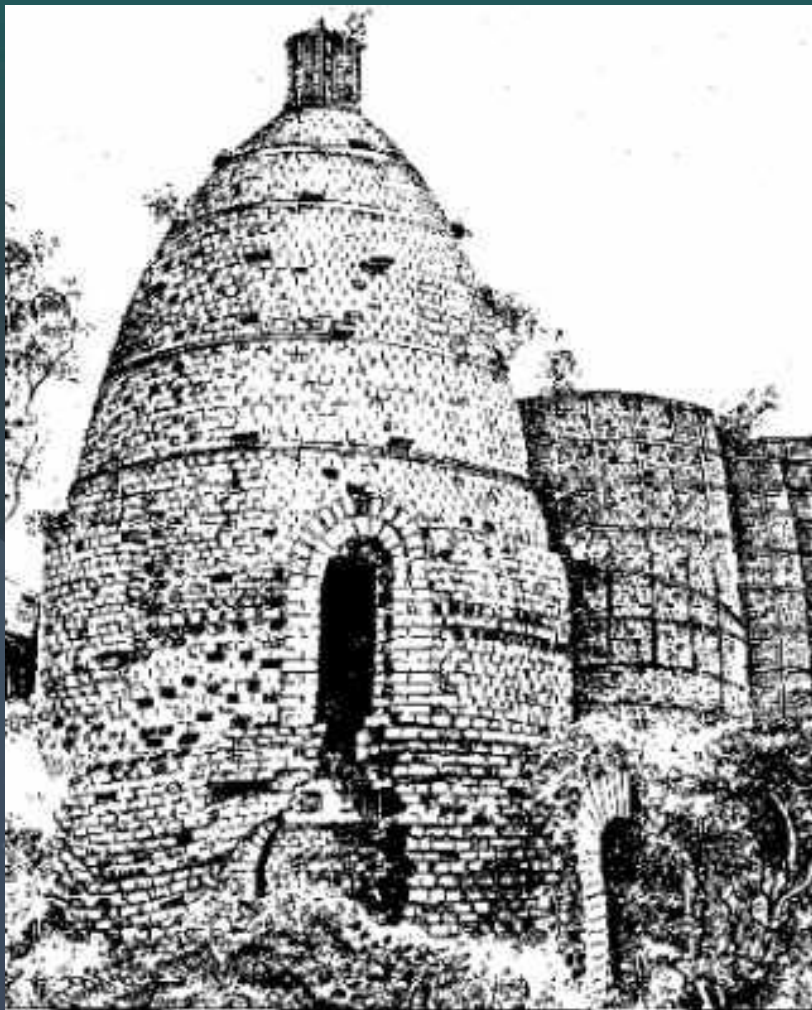


Cement





Cement



Joseph Aspdin

1824 - patent na
výrobu portlandského
cementu



Výroba cementu

Suroviny:

- vápenec

- přísady:

- sádrovec

- hydraulicky aktivní složky

(struska, pucolán, popílek..)



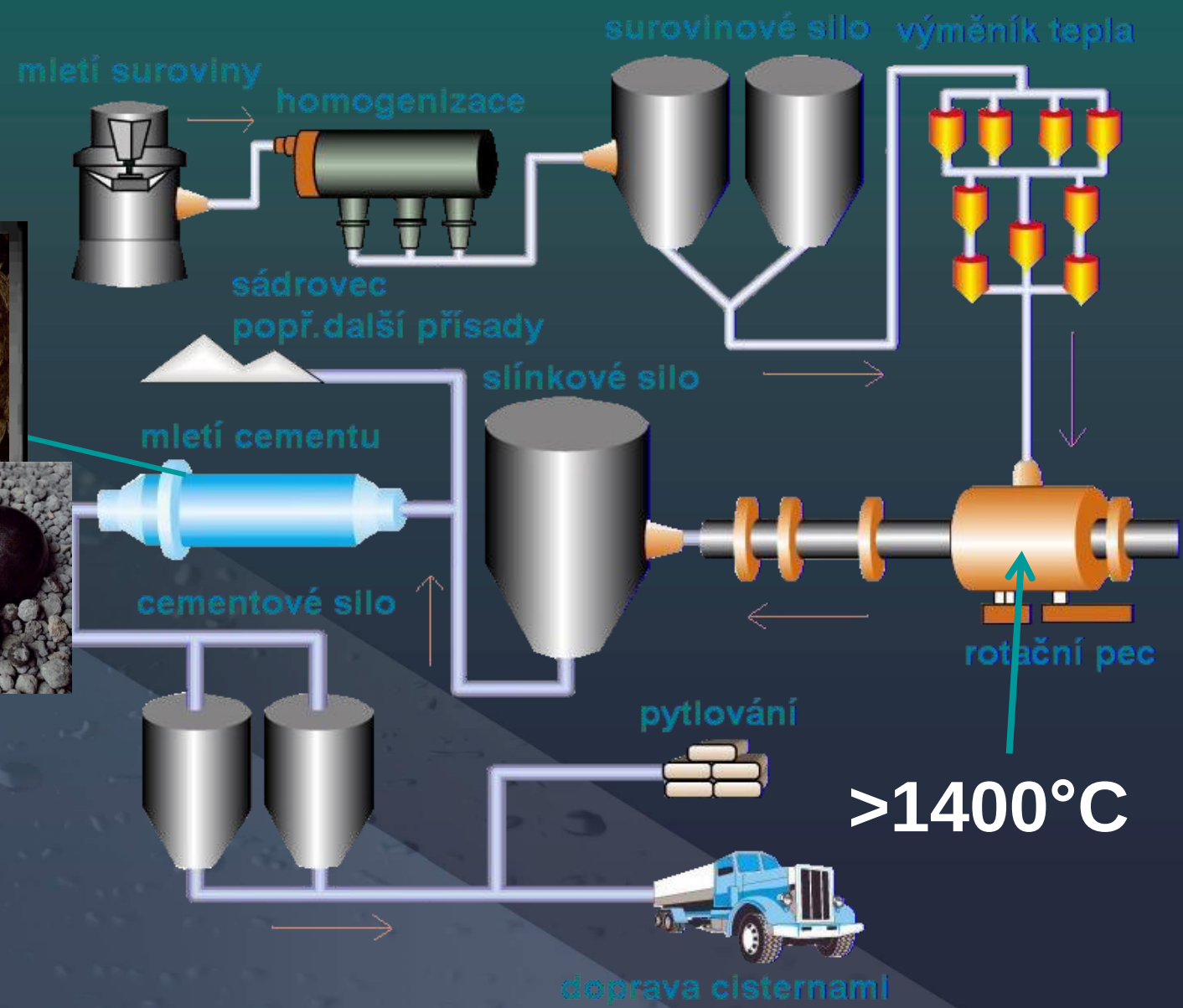


Výroba cementu





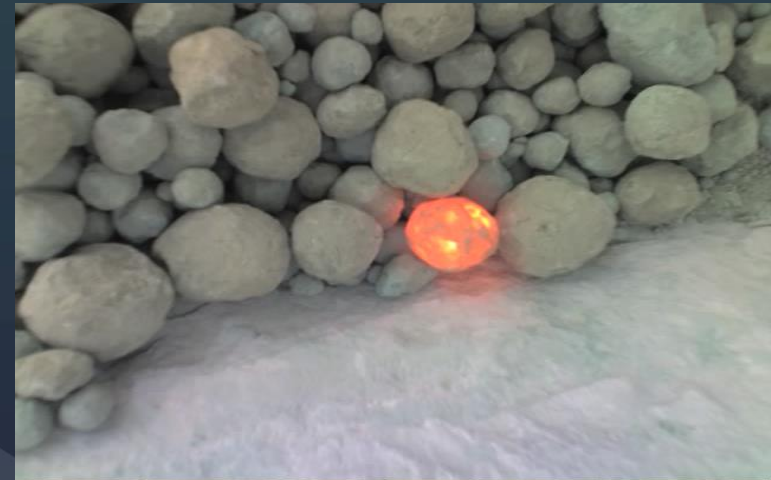
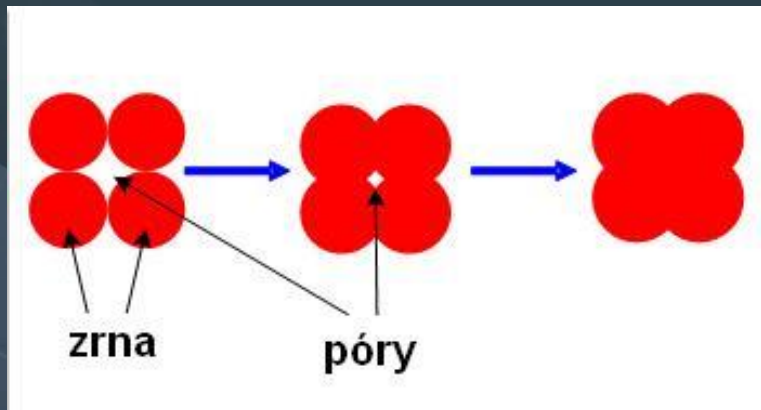
Výroba cementu





Slinování

- postupné spékání práškovité násady při teplotě 1400 - 1500°C na **slínek**
 - fyzikální proces slinutí zrn



- chemické procesy → **slínkové minerály**



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>
• 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



Dikalciumpsilikát

křemičitan dvojvápenatý

Belit



Trikalciumaluminát

hlinitan trojvápenatý

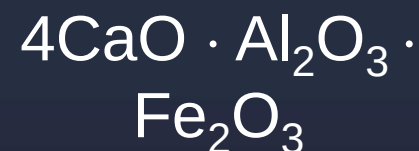


Tetrakalciumaluminát ferit

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	$3CaO \cdot SiO_2$
Dikalciúmsilikát	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)



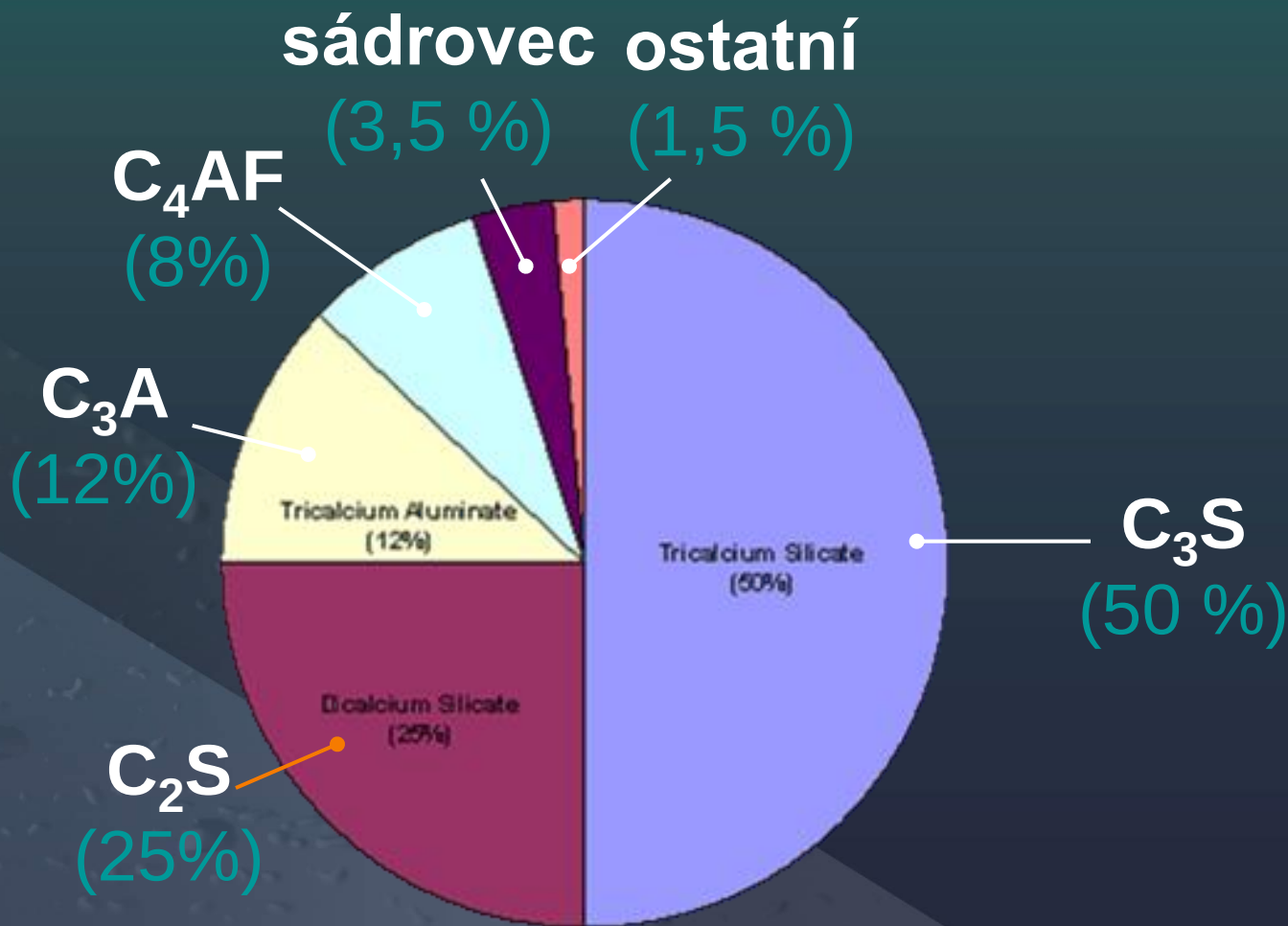


Složení slínku

název	značka	označ.	obsah (%)	hydratační teplo (kJ.kg ⁻¹)	rychlost hydratace
trikalcium silikát	C ₃ S	alit	37 - 75	500	rychlá
dikalcium silikát	C ₂ S	belit	5 - 40	250	střední
trikalcium- 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





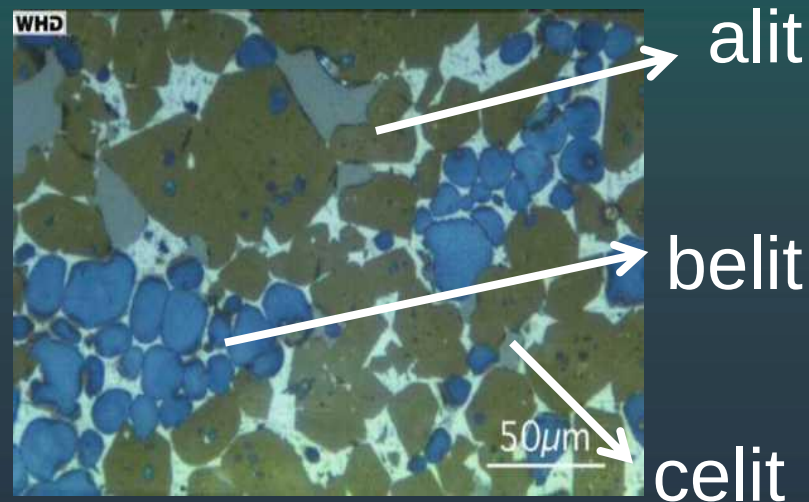
Obsah slínkových minerálů

Minerál Typ cementu	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
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 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 - Fe_2O_3 (je pouze v C_4AF)
- další limitující složka – Al_2O_3 (v C_4AF a v C_3A)



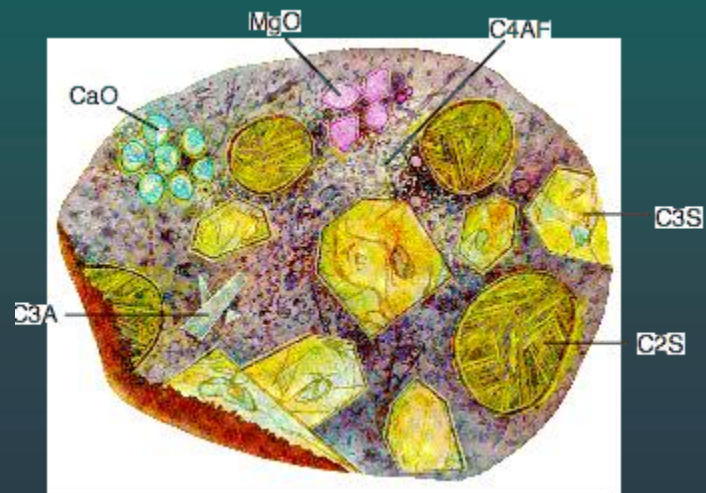
Odvození Boguových rovnic

- 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	$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$



Boguovy 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

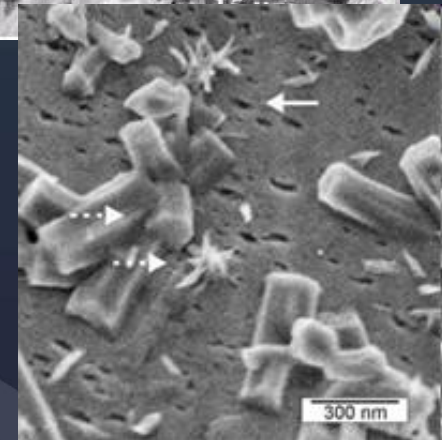
Hydratace závisí na:

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



Hydratace cementu

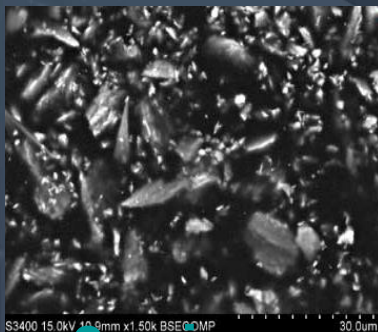
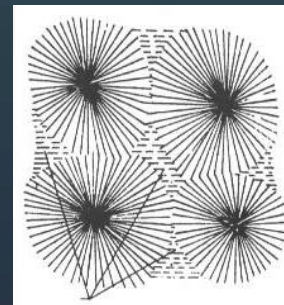
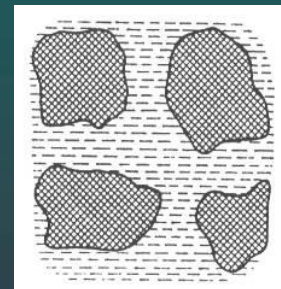
- reakce mezi vodou, sádkou a C_3A → krystalické hydráty (kalcium-alumino-hydrát CAH, ettringit A_3S a monofosfát A_3P)
- později reakce vody s C_3S → amorfní hydrát (kalcium-silikátový-hydrát - CSH gel).
- hydratace C_2S je podstatně pomalejší než předchozí, postupně zvyšuje pevnost
- jako poslední reakce pravděpodobně s SiO_2



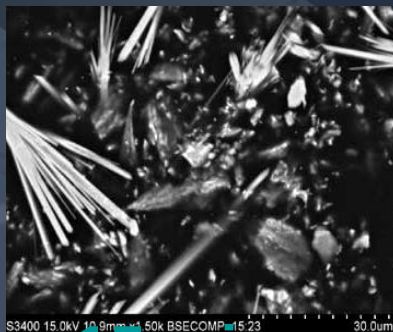


Hydratace cementu

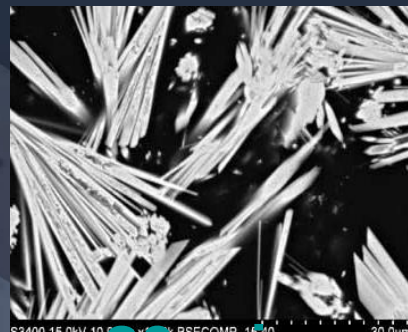
- vzniklé hydráty méně rozpustné → přesycený roztok → srážejí se v drobné krystalky
- kolem krystalků jako jader se vytvářejí krystalky hydratovaných složek
- vlivem molekulárních sil jsou krystaly přitahovány, střetávají se navzájem a proplétají.



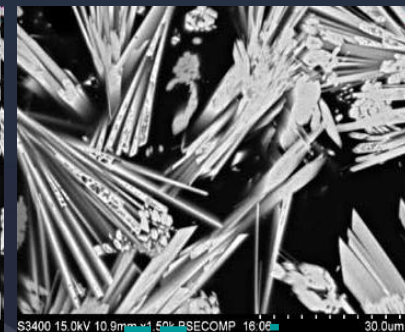
0 min



15 min



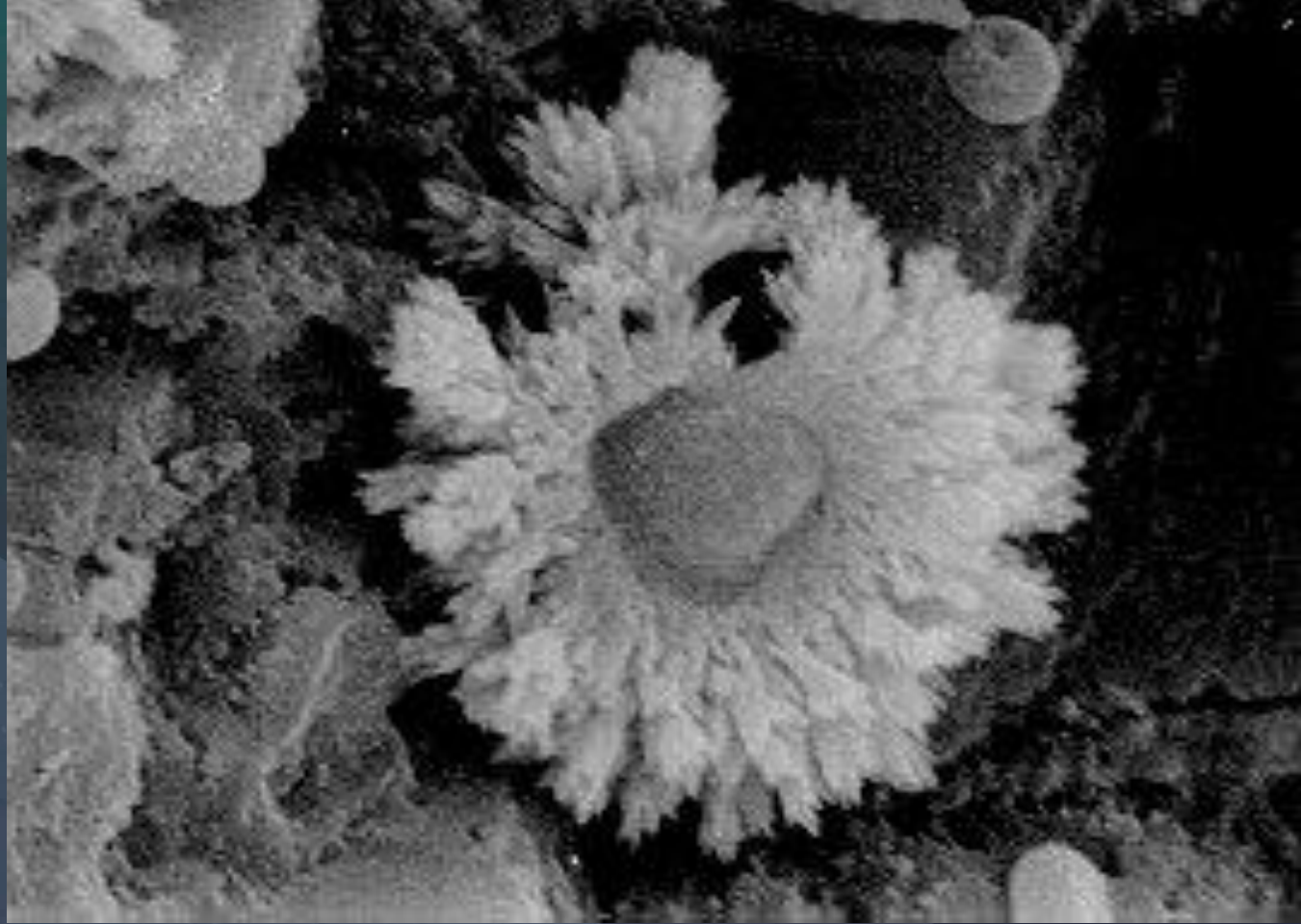
30 min



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“

■ 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“)



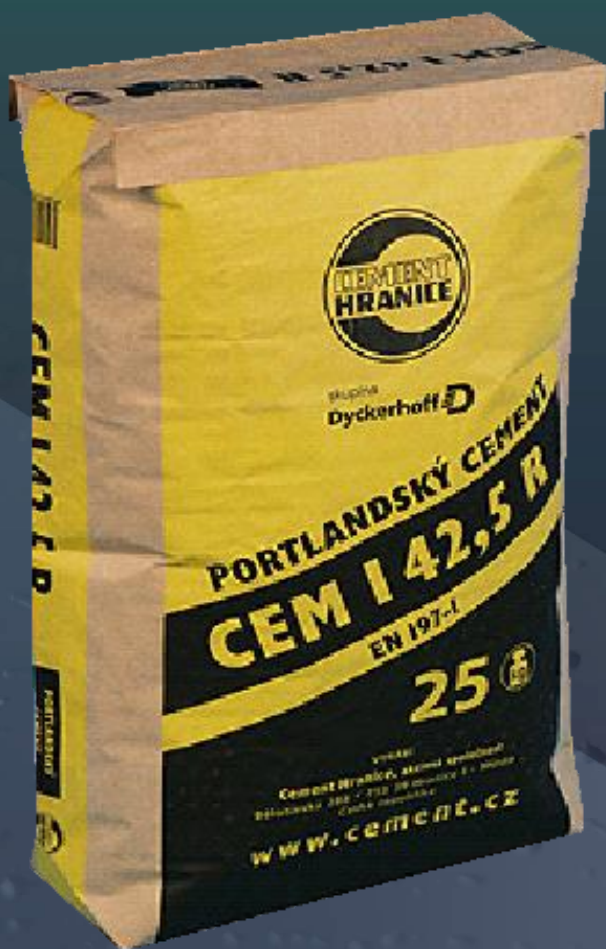
noty

Druhy cementů - ČSN EN 197-1

Hlavní druhy	Označení 27 druhů cementů pro obecné použití		Složení (poměry složek podle hmotnosti)										Doplňující složky
			Hlavní 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	-	-	-	-	-	-
	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:

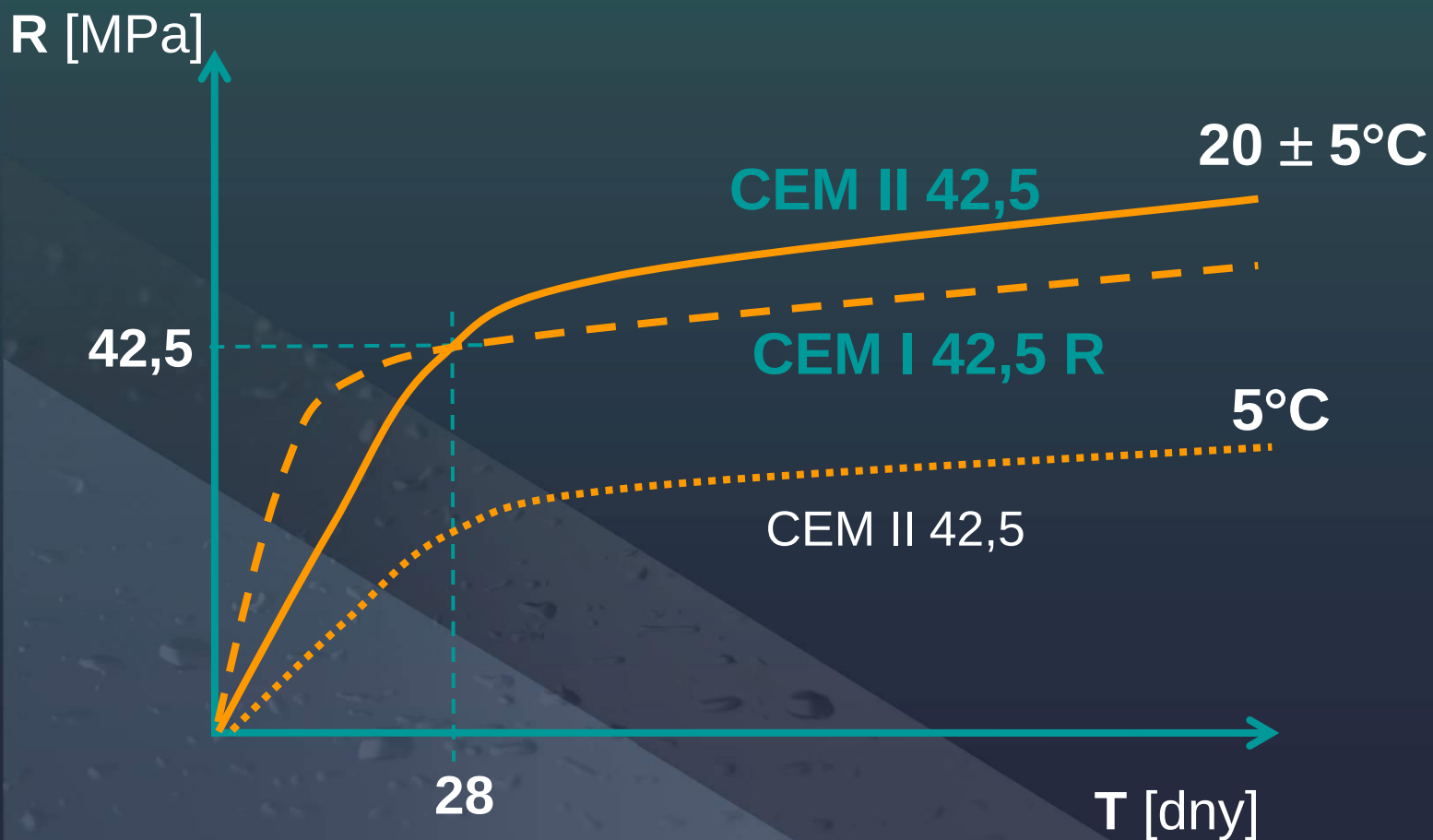
- normalizovaná pevnost cementu v tlaku v MPa po 28 dnech

- ~~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





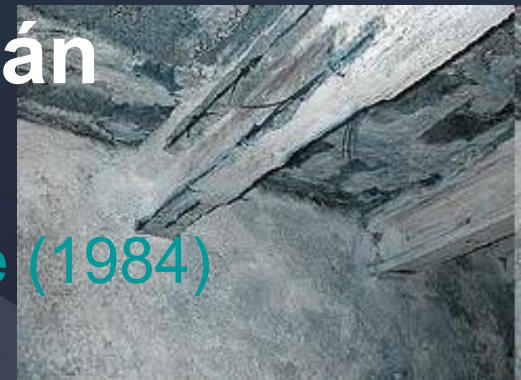
Hlinitanový cement

- 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
- ČSN P CEN/TR 196-4 Kvantitativní stanovení hlavních složek
- 5 Zkouška pucolanity pucolánových cementů
- 6 Stanovení jemnosti mletí
- 7 Postupy pro odběr a úpravu vzorků cementu
- 8 Stanovení hydratačního tepla - Rozpouštěcí metoda
- 9 Stanovení hydratačního tepla - Semiadiabatická metoda
- 10 Stanovení obsahu ve vodě rozpustného chrómu (Cr6+) 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





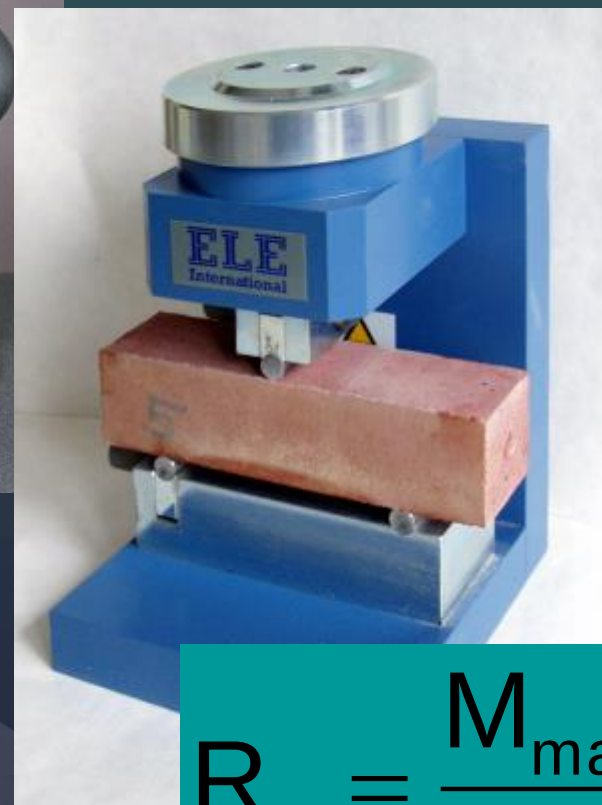
Pevnost cementu (ČSN EN196-1)

v tlaku

v tahu za ohybu



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



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



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**



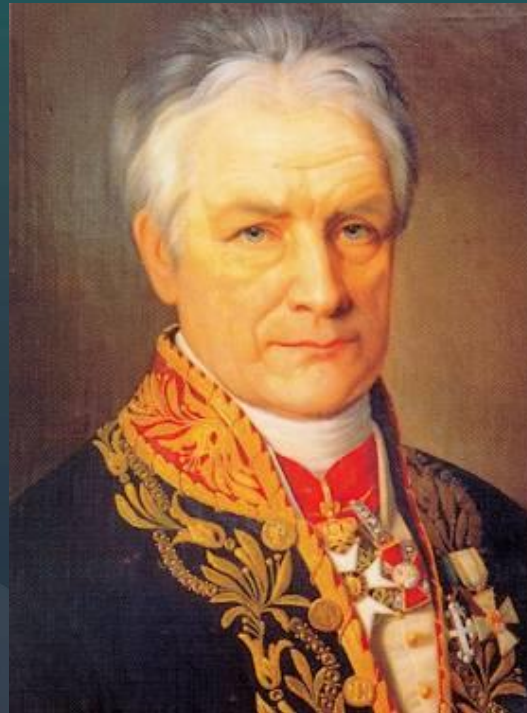
Chemický rozbor cementu (ČSN EN196-2)

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

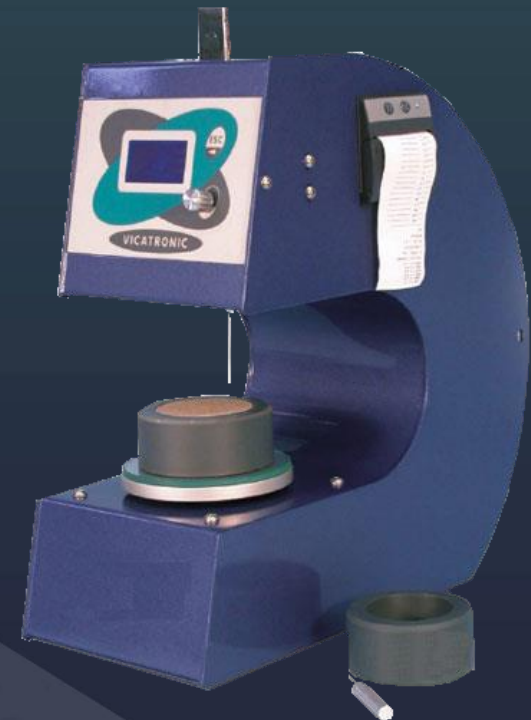
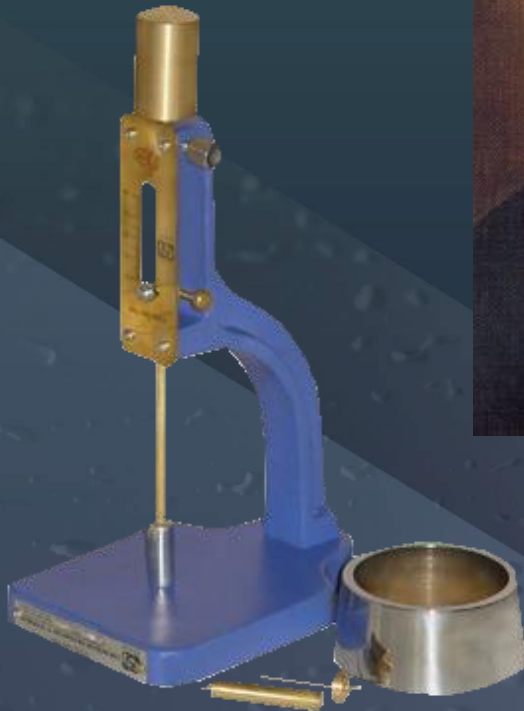




Doba tuhnutí (ČSN EN196-3)



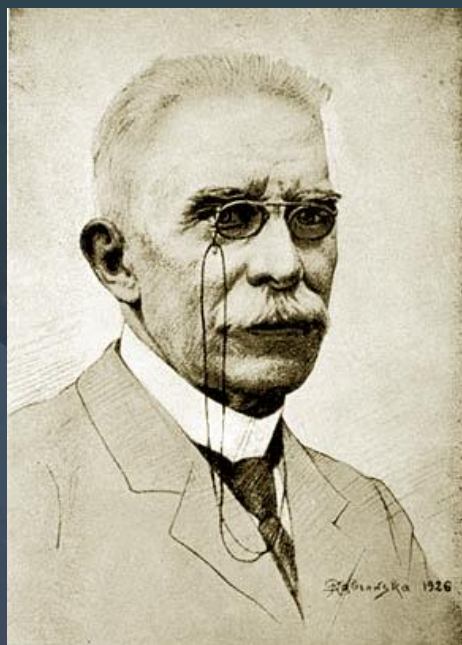
Louis Vicat
(1786 -1861)





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)



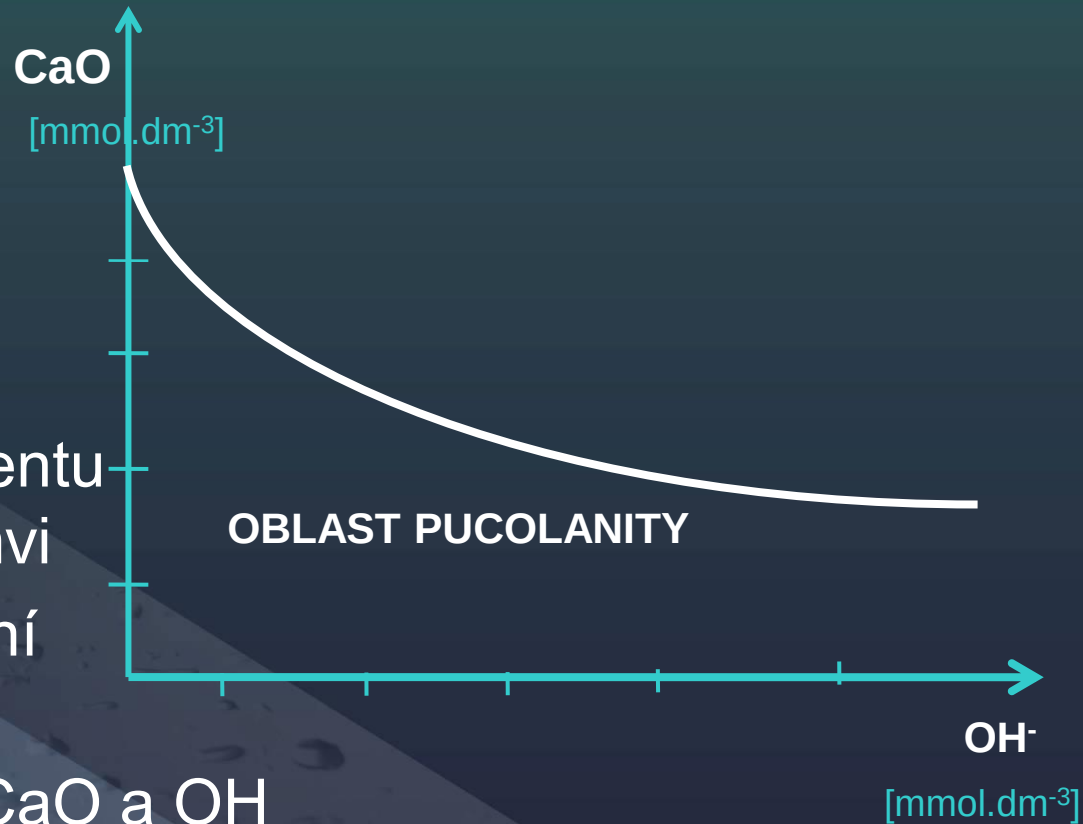
Postup

- 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 Ca(OH)_2

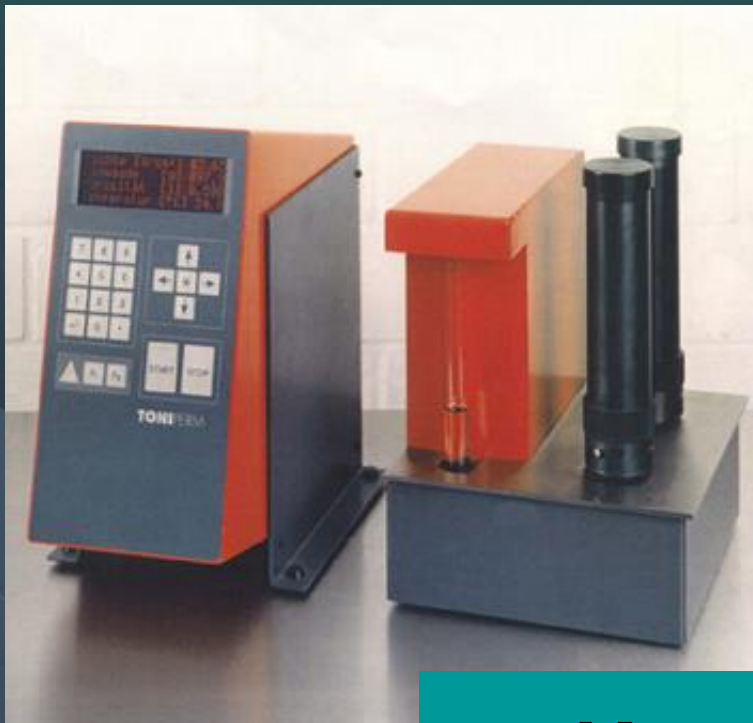


- rozmíchání cementu s vodou v PE lahvi
- ponecháno 15 dní při 40°C
- zjištění obsahu CaO a OH^-



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 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 L ^{a)}	–	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75
32,5 N	–	≥ 16,0			
32,5 R	≥ 10,0	–			
42,5 L ^{a)}	–	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60
42,5 N	≥ 10,0	–			
42,5 R	≥ 20,0	–			
52,5 L ^{a)}	≥ 10,0	–	≥ 52,5	–	≥ 45
52,5 N	≥ 20,0	–			
52,5 R	≥ 30,0	–			



Požadavky na chemické vlastnosti (ČSN EN197-1)

Vlastnost	Metoda zkoušení	Druh cementu	Pevnostní třída	Požadavky ^{a)}
Ztráta žíháním	EN 196-2	CEM I CEM III	všechny	$\leq 5,0 \%$
Nerozpustný zbytek	EN 196-2 ^{b)}	CEM I CEM III	všechny	$\leq 5,0 \%$
Obsah síranů (jako SO ₃)	EN 196-2	CEM I CEM II ^{c)} CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	$\leq 3,5 \%$
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	$\leq 4,0 \%$
		CEM III ^{d)}	všechny	
Obsah chloridů	EN 196-2	všechny ^{e)}	všechny	$\leq 0,10 \%$ ^{f)}
Pucolanita	EN 196-5	CEM IV	všechny	musí vyhovět



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.]	≥ 45	172
Konec tuhnutí [min.]	---	231
Objemová stálost [mm]	≤ 10	1,3
Obsah síranů (SO_3) [%]	$\leq 4,0$	2,93
Obsah chloridů [%]	$\leq 0,10$	0,054
Obsah alkálií (Na_2O eq.) [%]	---	0,72
Měrný povrch [m^2/kg]	---	425
Normální konzistence [%]	---	30,2
Ztráta žíháním [%]	$\leq 5,0$	1,36
Nerozpustný zbytek [%]	$\leq 5,0$	3,05

**Katedra materiálového inženýrství
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze

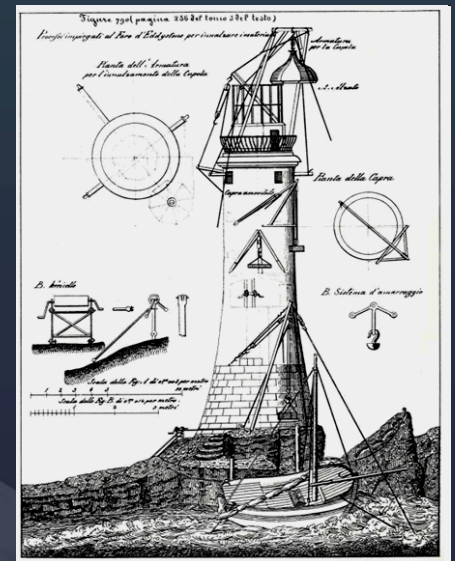


Stavební hmoty



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

- **Přírodní hydraulické vápno (NHL)**
 - jílovité vápence s obsahem hydraulických oxidů
 - pálení suroviny při teplotě $< 1250\text{ }^{\circ}\text{C}$
 - hašení na prach (pouze při $MH > 3$)
- **Směsné vápno (FL)**
 - pálené vzdušné vápno + pucolánová příměs
 - společné mletí kusového vzdušného vápna a pucolánové příměsi
- **Hydraulické vápno (HL)**
 - vápno + další látky (cement, struska, popílek)
- **Pucolány** - látky, které obsahují amorfnní 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 (FL, HL):

- společné mletí kusového vápna a pucolánové příměsi





Požadavky na přirozeně hydraulické vápno dle ČSN EN 459-1

Druh	Pevnost v tlaku po 28 dnech [MPa]
NHL 2; FL 2; HL 2	≥ 2 až ≤ 7
NHL 3,5; FL 3,5; HL 3,5	$\geq 3,5$ až ≤ 10
NHL 5; FL 5; HL 5	≥ 5 až ≤ 15





Použití hydraulického vápna

Rekonstrukce památkových objektů

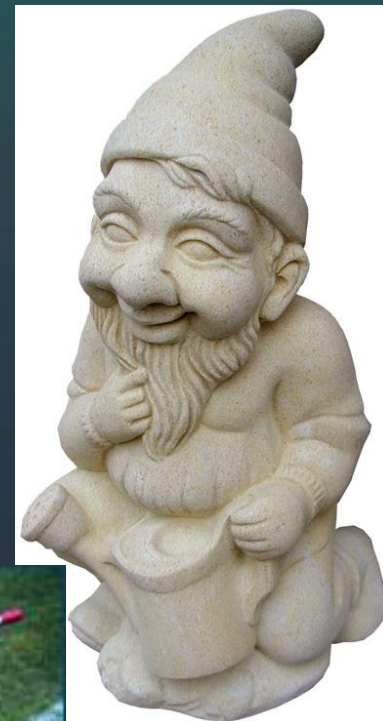
- malty pro zdění, vnější omítky, nátěry
 - lepší prodyšnost
 - menší pevnosti
 - nižší kondenzace
 - nevznikají výkvěty
- v ČR se nevyrábí



Nevhodné použití cementu ve starém zdivu

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

Vzdušná pojiva





Vápenosíranová pojiva

- pojiva na bázi síranu vápenatého (CaSO_4)
 - sádra
 - anhydritové pojivo

- ze sádrovce nebo anhydritu



Důl Naica, Mexiko



Zdroje sádrovce

- přírodní
- **energosaádrovec**
(mokrý vápencová
vypírka spalin)
- syntetický sádrovec
 - chemosaádrovec
 - **fosfosaádrovec**
 - citrosaádrovec





Sádra

- hemihydrát síranu vápenatého -



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



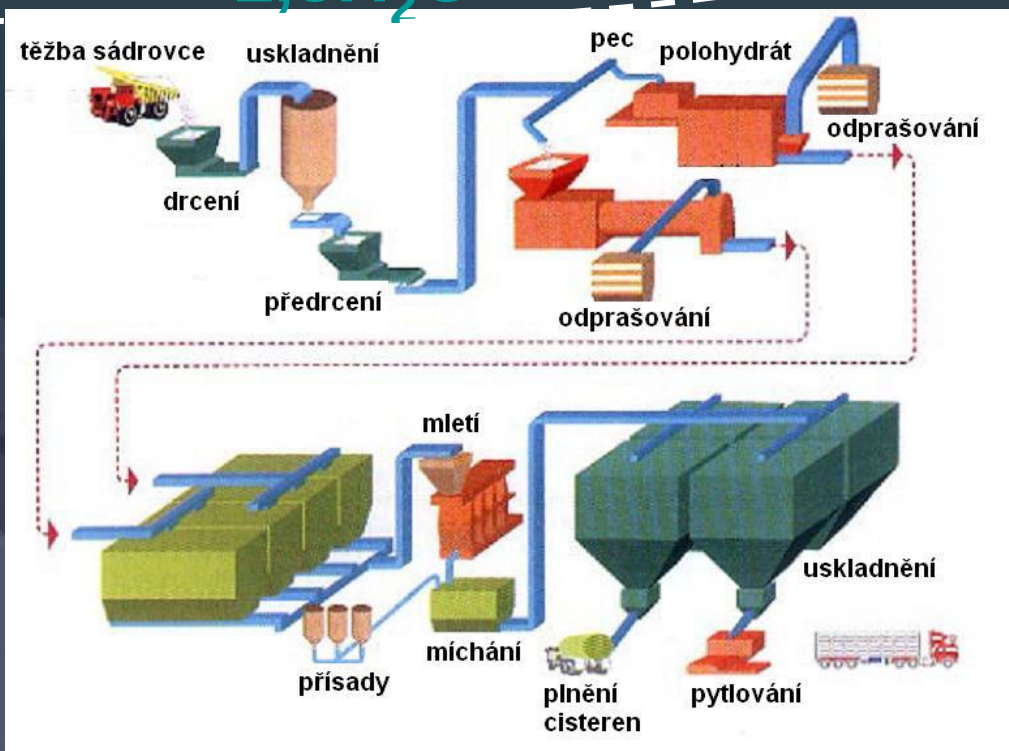
© Kluu A. Cabrera





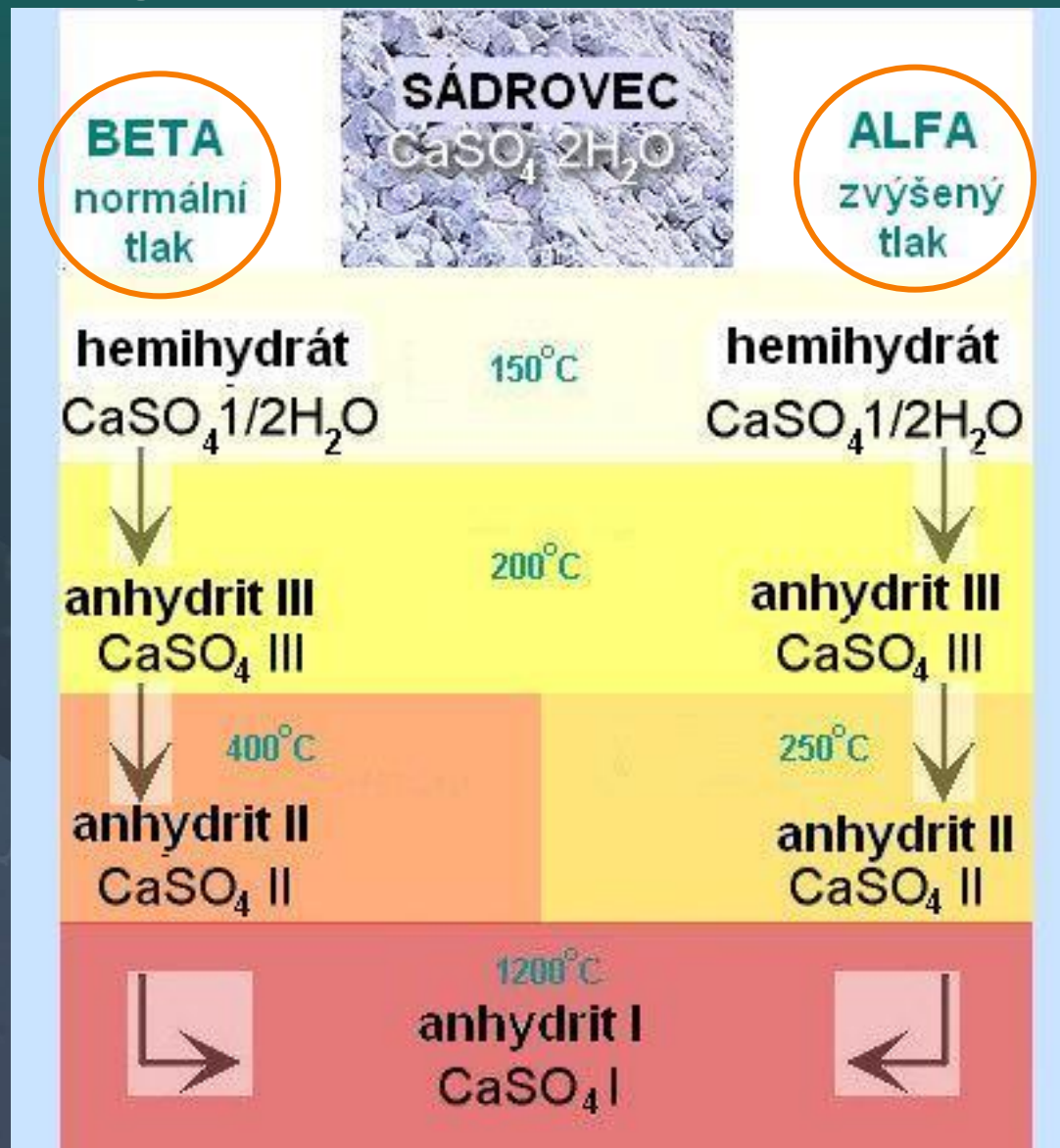
Výroba sádry

- kalcinace (150-200°C)





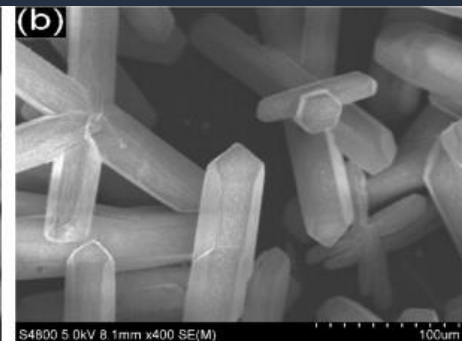
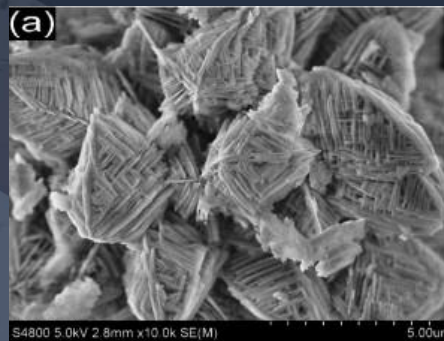
Dehydratace sádrovce





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)

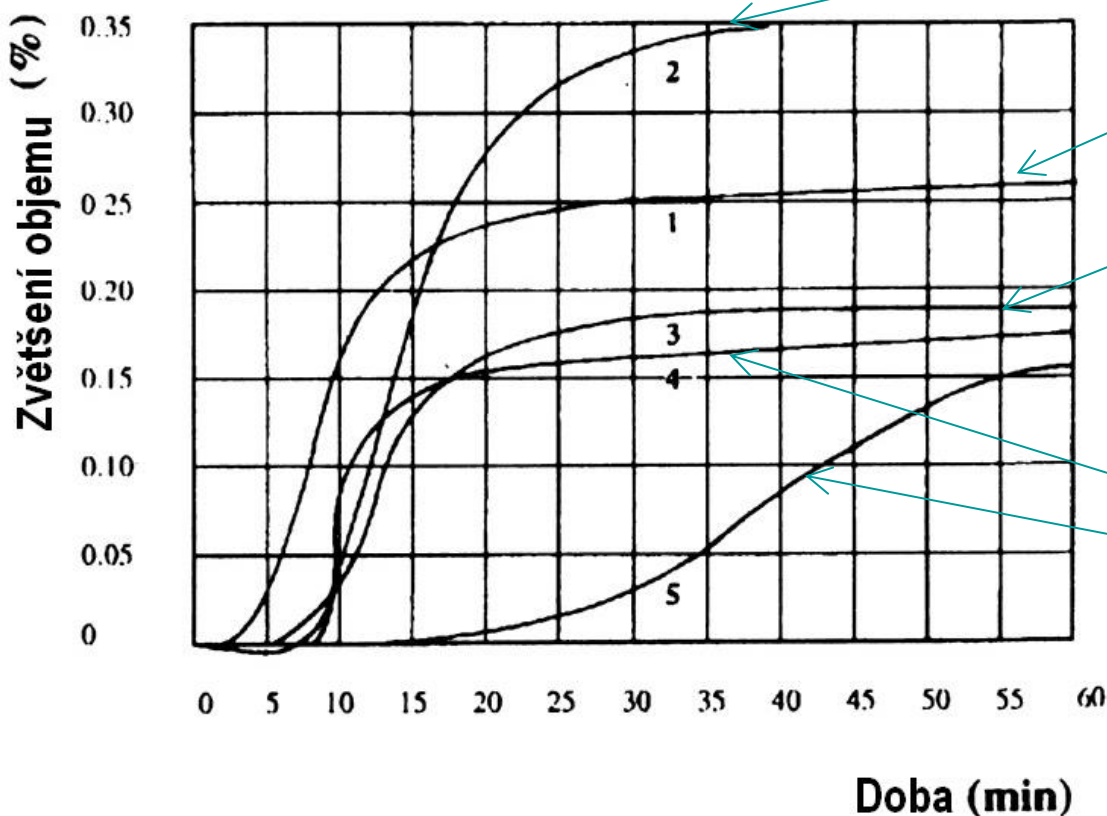
Rozdělení sádry podle doby tuhnutí a podle jemnosti mletí (podle ČSN 72 23 01)

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
 $v/s = 0,6$

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 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 sádky

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

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)

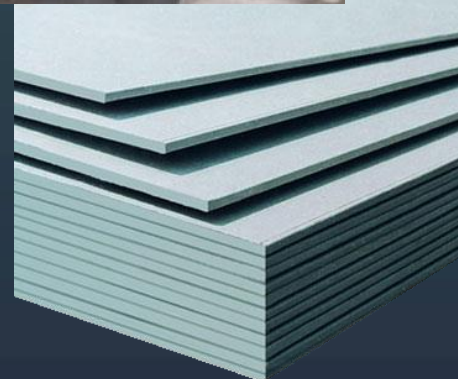
Použití		Doporučené třídy a druhy
1	Výroba sádrových stavebních výrobků všeho druhu	G-2 až G-7 (A-B-C, I-II-III)
2	Výroba tenkostěnných stavebních výrobků a dekoračních prvků	G-2 až G-7 (A-B, I-II)
3	Provádění omítkových prací, spárování, speciální účely	G-2 až G-25 (B-C, II-III)
4	Výroba forem a modelů 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 sádky ve stavebnictví

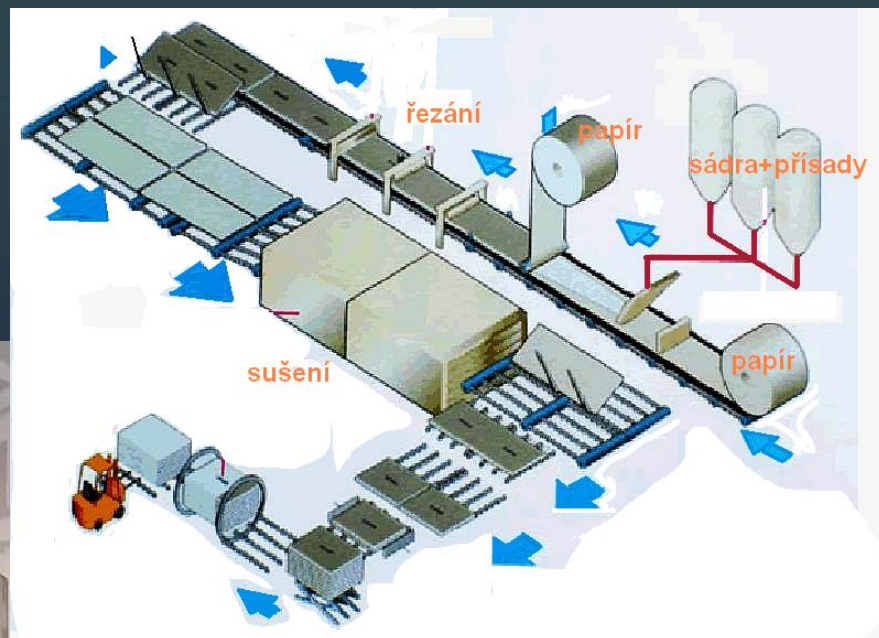
- malty pro vnitřní použití
- tvárnice
- podlahové potěry
- sádrokartonové desky
- sádrovláknité desky





Sádrokarton

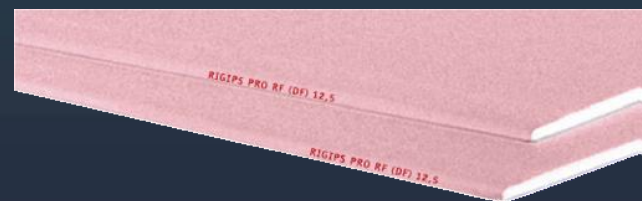
- sádrové jádro (sádra, rozvlákněný papír, skelná vlákna) + karton





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

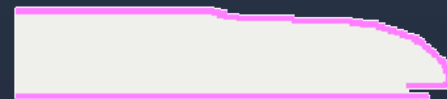
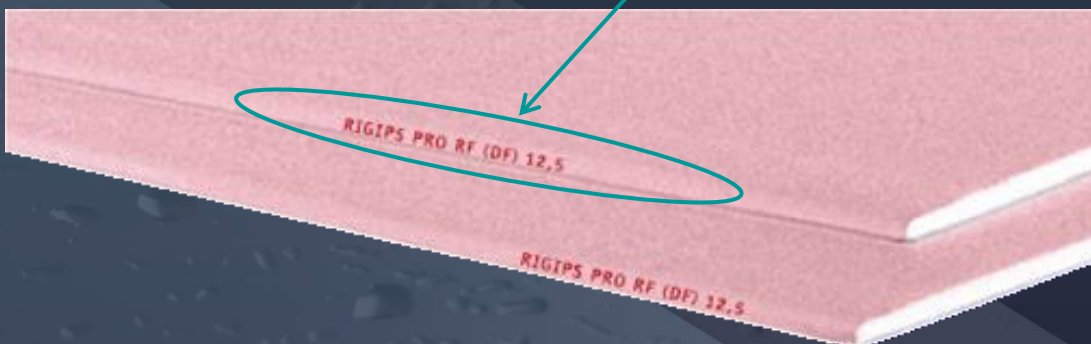
- ČSN EN 520



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



Jsem **NOVÁ**

- jsem **protipožární** sádrokartonová deska
- jsem **ideální** pro **požární bezpečnost**
- jsem snadno **rozpoznatelná**
- jsem **vyhovující** nové **normě ČSN EN 520**

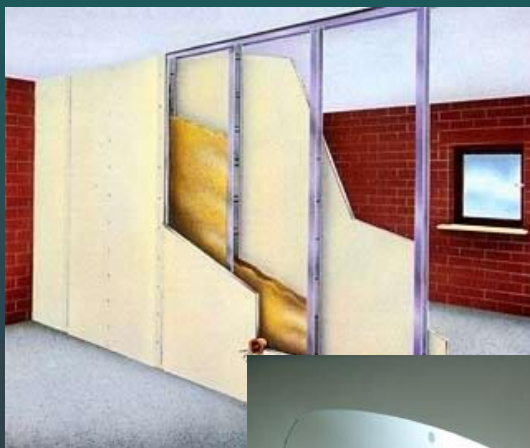
Jsem **RŮŽOVÁ**





Použití sádkartonu

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

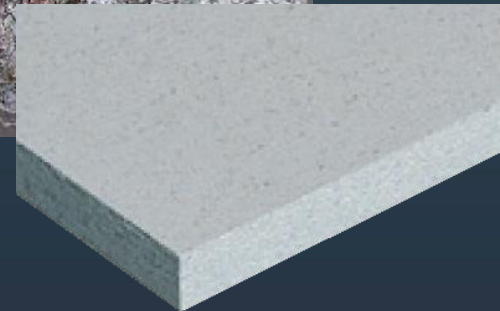


~~sklepy, sprchy,
mokré provozy~~



Sádrovláknité desky

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

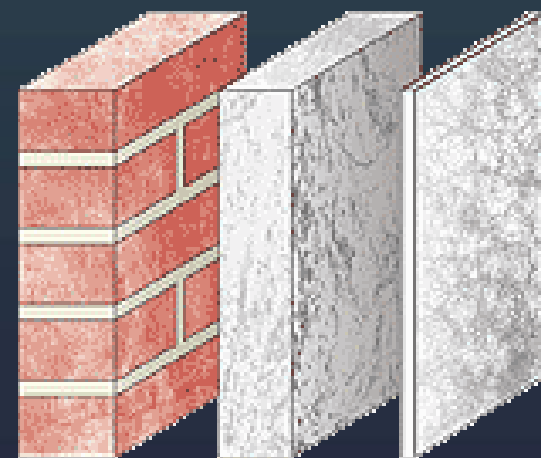




Sádrové desky PCM

PCM – phase change materials

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

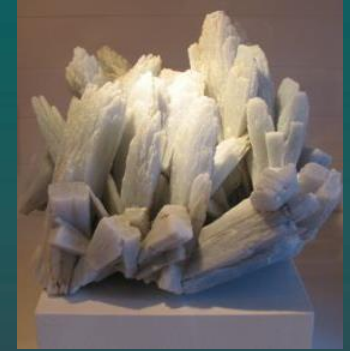


10 cm

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