



STAVEBNÍ HMOTY

Přednáška 2



Zkušebnictví

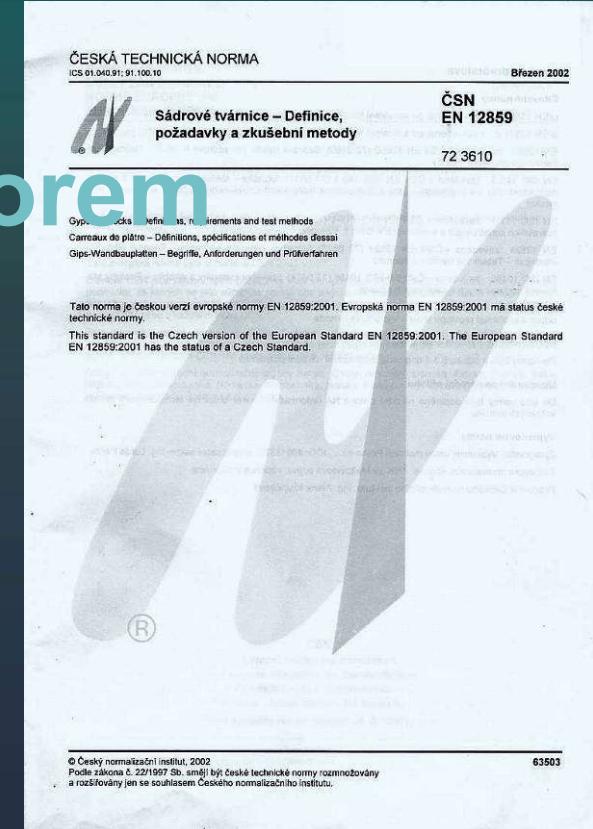
- ke zjištění vlastností materiálu je třeba ho vyzkoušet





Materiál se zkouší

- podle zkušebních norem
- na vhodném vzorku





Principy materiálového zkušebnictví

- zkoušíme za **definovaných** podmínek a **definovaným** postupem (podle zkušební normy)
- prováděná zkouška **simuluje namáhání**, kterému je materiál vystaven v praxi
- **stupeň namáhání** (míra namáhání) jsou často extrémní – **výsledek pak poskytuje určitou záruku**
- k dostatečné charakterizaci výrobku je potřeba **více různých zkoušek**



Zkušební laboratoř

- musí být způsobilá provádět příslušné zkoušky
 - kvalifikovaný personál
 - vybavení a přístroje
- **AKREDITACE**
- státní zakázky
 - povinné certifikace



Akreditace

Accredere = dávati víru

- Posouzení dokumentace
- Posouzení na místě akreditační komisí
- Na omezenou dobu
- Pravidelné prověřování



Cena cca 100 000 – 300 000 Kč



Stavební hmoty



CENTRUM STAVEBNÍHO INŽENÝRSTVÍ a.s.
Certifikační orgán č. 3048
akreditovaný Českým institutem pro akreditaci, o.p.s.
pracoviště ZLÍN, K Cibulkě 304, 764 32 ZLÍN - Louky
výdává



CERTIFIKÁT

č. CO/C – 05 – 0139/Z

Žadatel: Dřevařské závody 3J+K s.r.o., Bílá Třemešná 277, 544 72 BÍLÁ TŘEMEŠNÁ

Výrobce: dto žadatel

Výrobek: Dřevěné okno typ EURO IV-68

Popis: Rám a křídlo okna vyrobeno z třívrstvého lepeného borovicového dřevěného hranolu po-
dlně nenaopojeného tl. 68 mm; středové celobodové těsnění THERMOPLASTICKÝ
ELASTOMER typ 5150 AC; IS: dvojsklo, složení: planibel TOP N 4 mm- nerezový di-
stanční profil Chromatec 16 mm, Argon - F 4; okapnice: typ DONAU 22/24-F-Ti THER-
MO okapnice; kování MACO MULTI TREND 2000.

Název ověřovaného parametru	Zkušební metoda	Výsledek
Součinitel prostupu tepla U_w	ČSN EN ISO 12567-1	1,3 W/(m ² ·K)
Vnitřní povrchová teplota θ_u	ČSN 73 0546	$\theta_u = 10,5^\circ\text{C}$; $\theta_{w,0} = 21^\circ\text{C}$; $\theta_i = -15^\circ\text{C}$

Tímto certifikátem se potvrzuje shoda uvedených vlastností výrobku
s hodnotami požadovanými ČSN 73 0540-2 tabulka 3:

- maximální požadovaný součinitel prostupu tepla $U_{sh,w} \leq 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- požadovaná hodnota nejnižší vnitřní povrchové teploty $\theta_u \geq \theta_{w,0} = 10,2^\circ\text{C}$
- pro $\theta_{w,0} = 21^\circ\text{C}$, $\theta_i = -15^\circ\text{C}$ a $\varphi = 50\%$.

Podklady: žádost CO č. 0005/05/Z, protokol č. 337/05 o zkouškách, ČSIL a.s., pracoviště Zlín.

Podmínky platnosti: platnost certifikátu je podmíněna periodickou kontrolou rozhodných vlastností
v roční lhůtě.

Tímto certifikátem se potvrzuje shoda výše uvedených vlastností a neznamená ani nahrazuje
certifikaci podle zákona 22/1997 Sb. o technických požadavcích na výrobky.

Datum vydání: 10.11.2005
Vyrábal: Ing. Nizar Al-Hajjar



RNDr. Josef Vrána, CSc.
zástupce feditele CO



Zkušební vzorek

- **Reprezentativní** co do struktury zkoumané látky
- **Průměrný** co do výskytu ve zkoumaném souboru (charakterizuje celou zásobu nebo zdroj)
- **Dostatečný** z hlediska zkoušení a případného opakování zkoušek



Reprezentativní vzorek

- obsahuje všechny podstatné strukturní znaky





Velikost vzorku

U jednotlivých materiálů se může podstatně lišit:

- **Ocel** – 10^{-3} mm
- **Dřevo** – desítky mm
- **Beton** – min. 100 mm





Počet zkoušek

„ Jedno měření = žádné měření “

- většinou dán zkušební normou
- obvykle 3 - 6 měření
- statistické vyhodnocení
(minimalizace chyb měření)



Odběr vzorku

Závisí na struktuře materiálu

- **Kapaliny** – homogenní a nehomogenní
- **Kusové materiály** – plán odběru, odběr podle náhodných čísel
- **Sypké materiály** – dělení většího vzorku



Stavební hmoty

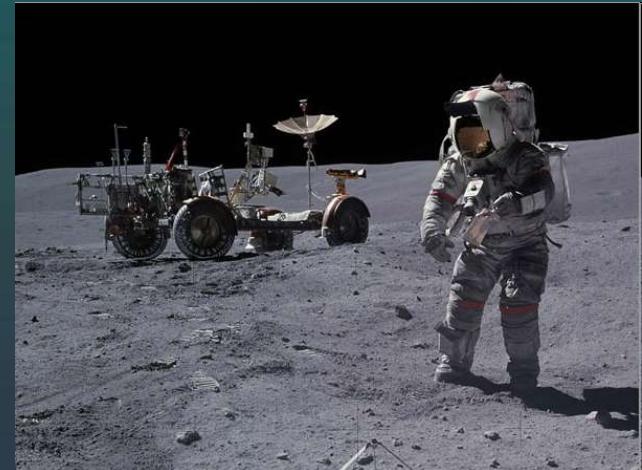
Odběr kapalin





Stavební hmoty

Odběr pevných vzorků





Výběr podle tabulky náhodných čísel

- 200 prvkový soubor, vybrat 5

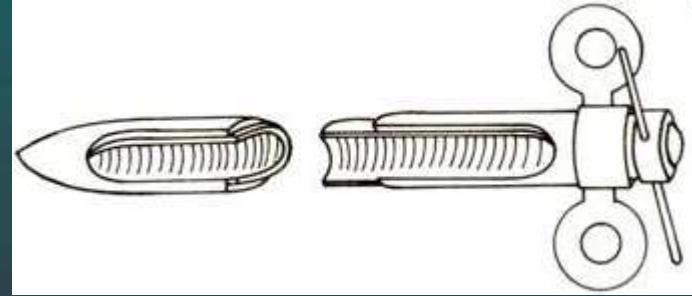
61424	20419	86546	00517
90222	27993	04952	66762
50349	71146	97668	86523
85676	10005	08216	25906
02429	19761	15370	43882
90519	61988	40164	15815
20631	88967	19660	89624
89990	78733	16447	27932

100, 197, 49, 82, 153





Odběr a dělení sypkých vzorků



Žlábkový dělič



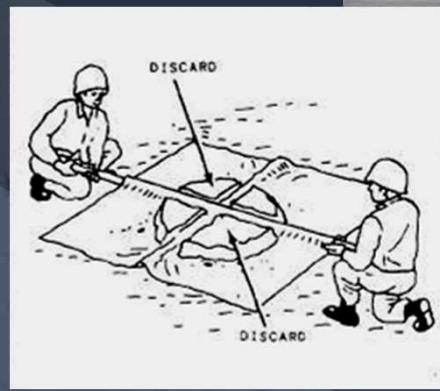
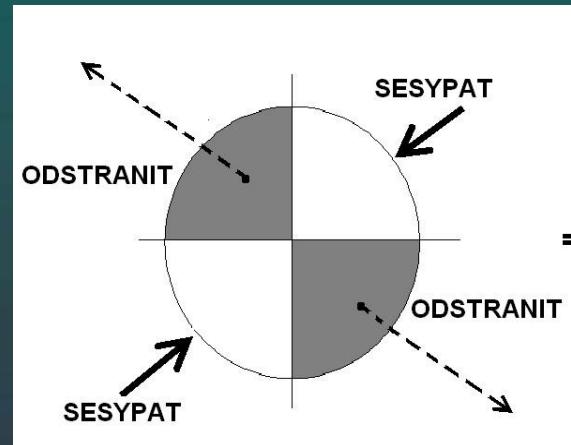
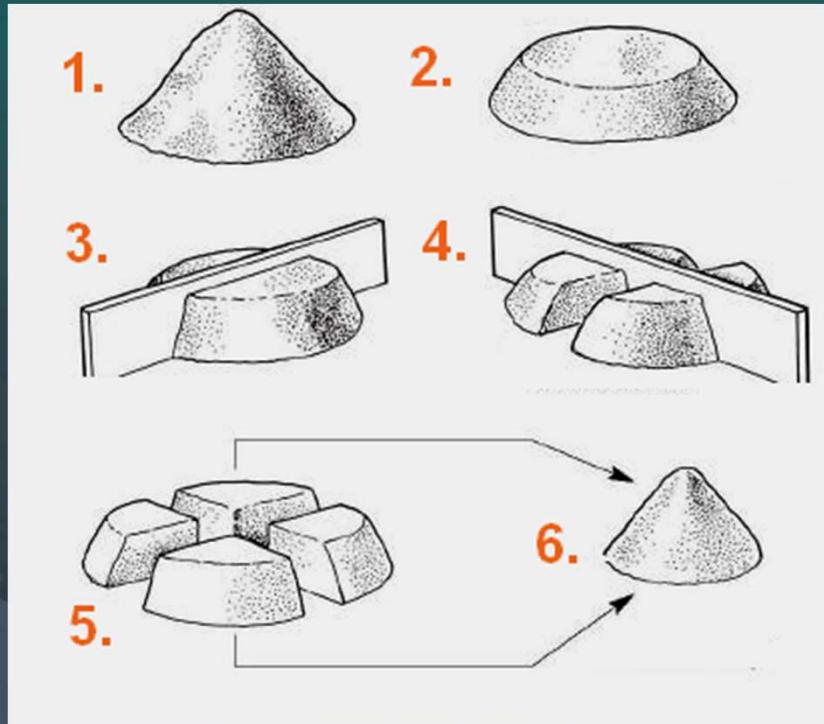
Rotační dělič





Stavební hmoty

Kvartace





Chyby měření

Každé měření je nepřesné



Chyby

- soustavné (přístroj, obsluha, metoda)
- náhodné (minimalizace opakováním)
- hrubé

„Schopnost spokojit se s právě postačující přesností je známkou vyspělého ducha !“

Kniha **Stavební hmota**, str.317



Laboratorní prostředí

- složení, tlak, teplota
- stavební materiály: většinou v běžné atmosféře
 - vlhkost vzduchu
 - teplota vzduchu



Normální laboratorní prostředí

- teplota: $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- relativní vlhkost vzduchu: 55 – 80 %



Skladování vzorků

- Ošetřování vzorků
- Označení vzorků
- Jednoznačná evidence





Vlastnosti stavebních materiálů

- rozhodují o použití materiálu
- zjišťují se zkouškami



Základní fyzikální vlastnosti

= vlastnosti související s hmotností a rozměry vzorku:

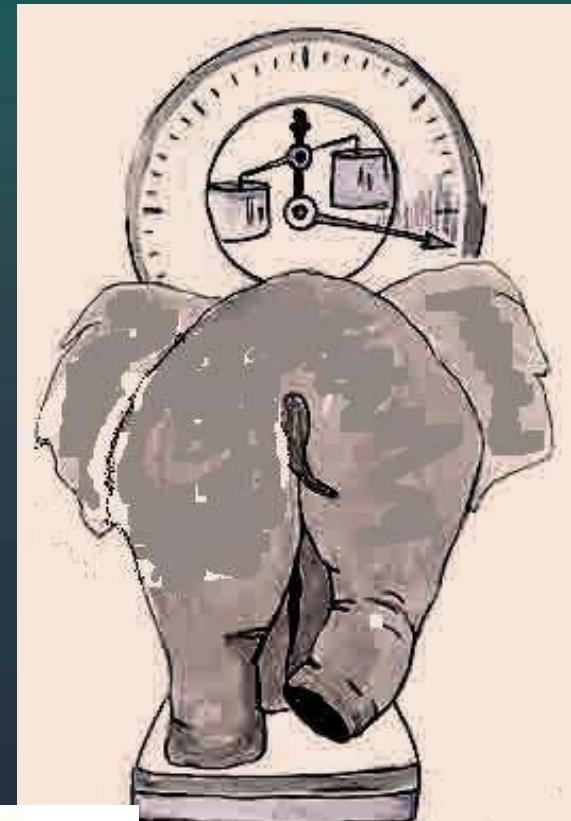
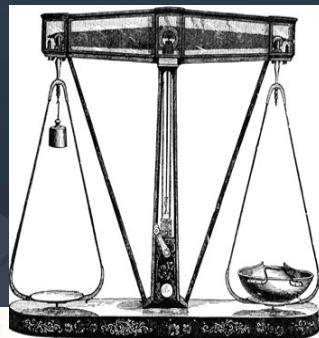
- **objemová hmotnost**
- **hustota**
- **pórovitost**
- **vlhkost**
- **zrnitost**



Hmotnost

Výběr vhodného typu vah
(mechanické, digitální)

- **váživost** (max. navážka)
- **citlivost**





Váhy

Mechanické , digitální

- **analytické** (citlivost 10^{-4} g, váživost do 200g)
- **technické laboratorní** (0,01 g)
- **předvážky** (0,1 - 0,2 g, 200 – 1000 g)
- **obchodní** (2-5 g, 5-25 kg)
- **průmyslové** (stovky kg)

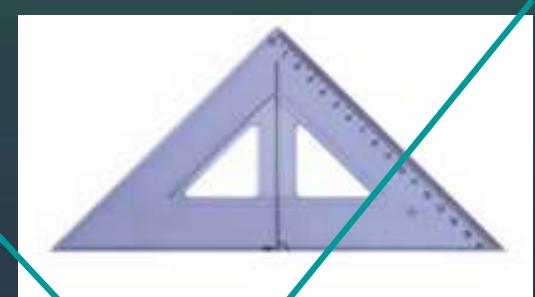




Rozměry

Délková měřidla: cejchovatelná

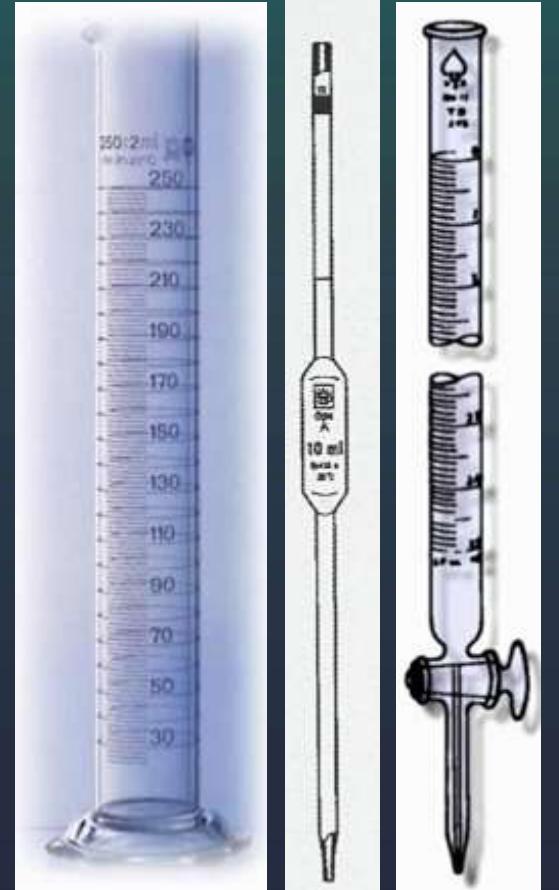
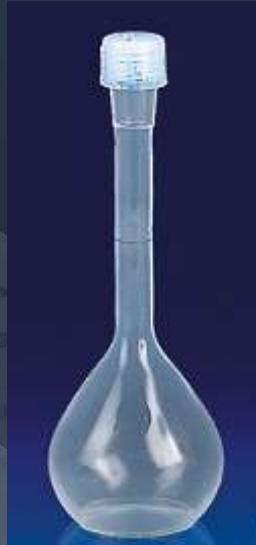
- Ocelové měřítko
- Ocelové pásmo
- Posuvné měřidlo
- Mikrometr
- Síta





Objem

- Výpočet z rozměrů
- Ponoření do kapaliny
 - odměrný válec
 - pyknometr
- Objem kapaliny
 - odměrná baňka
 - pipeta
 - bireta





Objemová hmotnost

X Hustota
(měrná hmotnost)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

[kg.m⁻³]



Stavební hmoty

Objemová hmotnost

$$\rho_v = \frac{m}{V_h + V_p}$$

m... hmotnost
materiálu

V_h ... objem vlastního
materiálu bez dutin

V_p ... objem dutin a
pórů

Hustota

$$\rho = \frac{m}{V_h}$$

m... hmotnost
materiálu

V_h ... objem vlastního
materiálu bez dutin



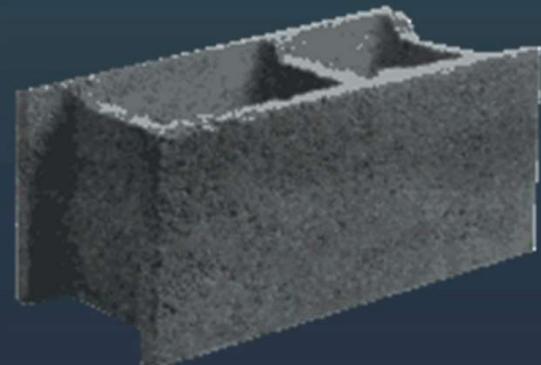
Objemová hmotnost není hustota !

$$\rho_v = 500 \text{ kg.m}^{-3} \quad \rho_v = 2400 \text{ kg.m}^{-3}$$



$$\rho = 2500 \text{ kg.m}^{-3}$$

pórobeton



$$\rho = 2500 \text{ kg.m}^{-3}$$

beton



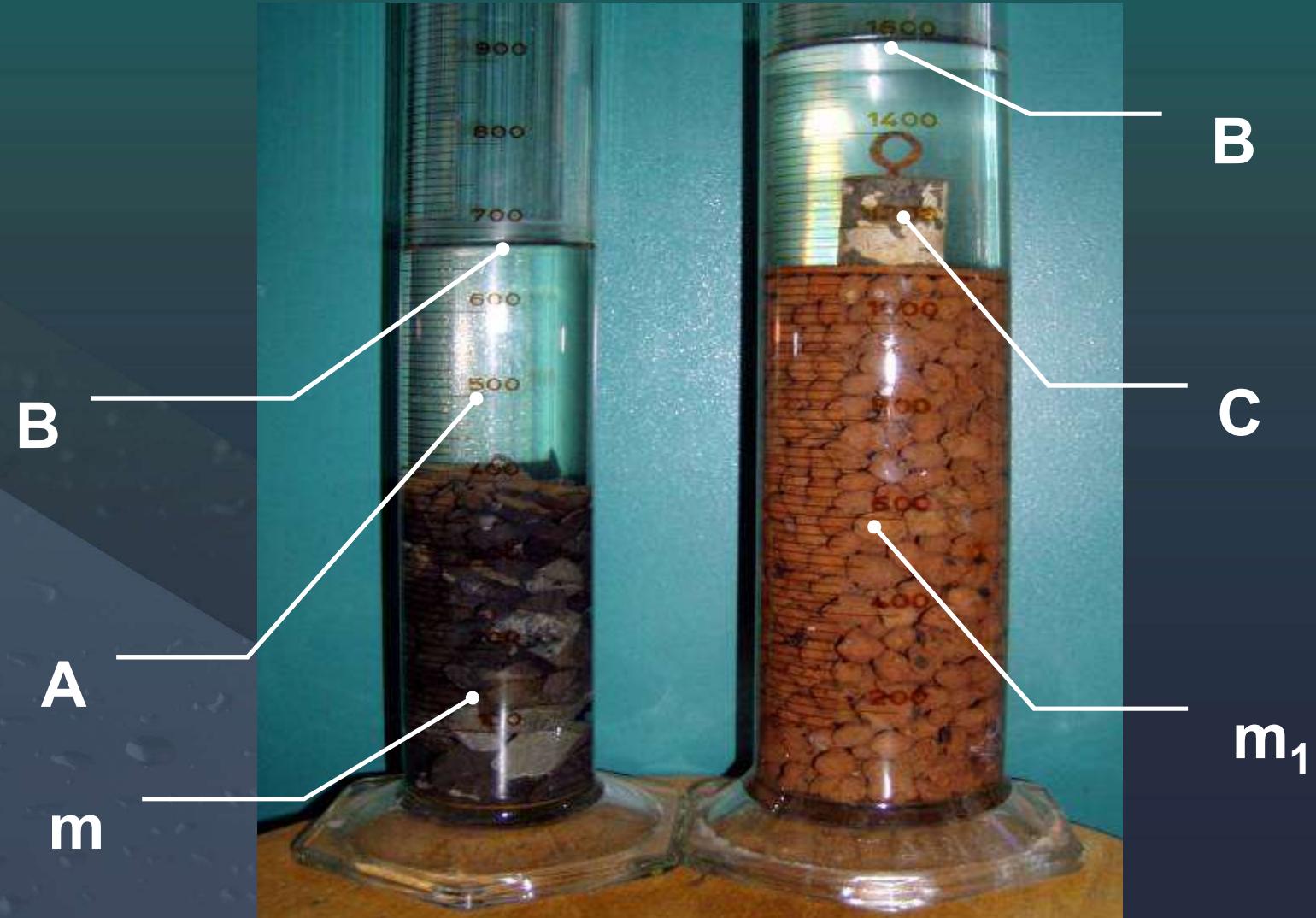
Stanovení objemové hmotnosti

$$\rho_v = \frac{m}{V_h + V_p}$$

- hmotnost vážením
- objem
 - změřením (pravidelný tvar)
 - v odměrném válci
 - na hydrostatických vahách



Metoda odměrného válce



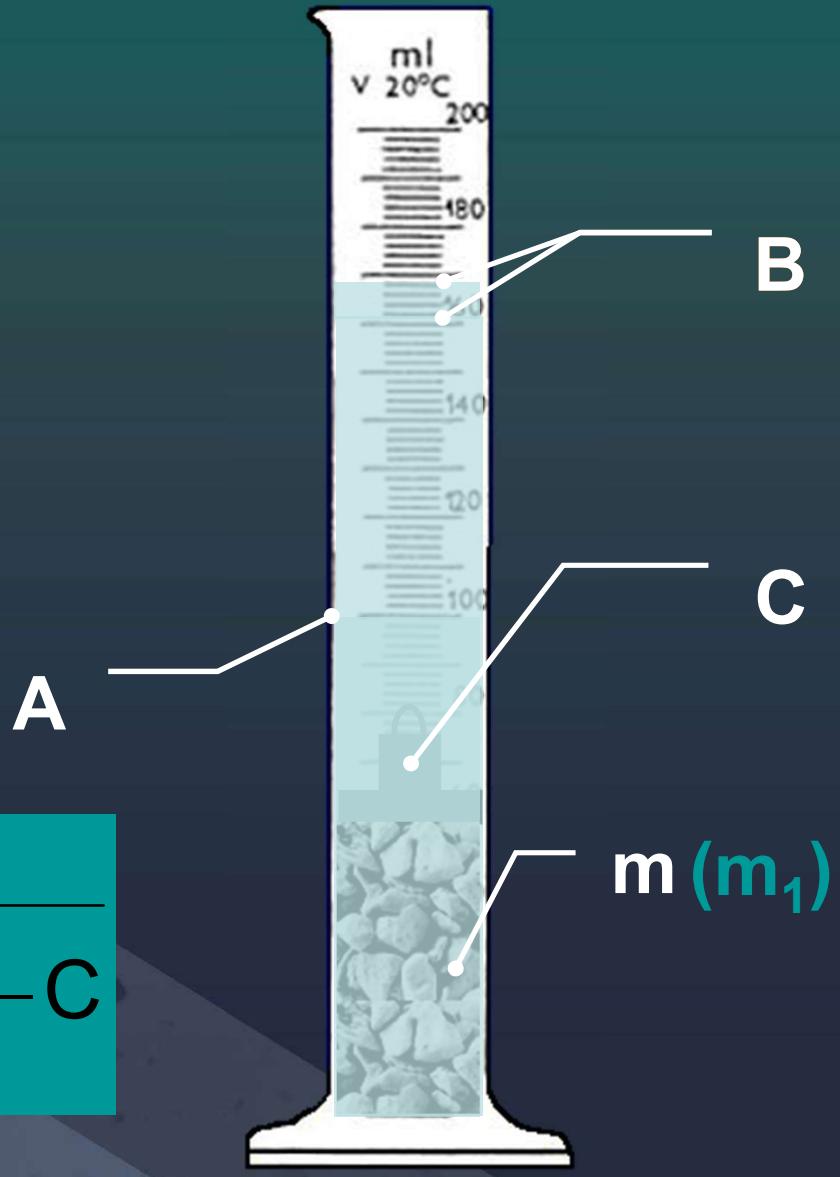


Metoda odměrného válce

$$\rho_v = \frac{m}{B-A}$$

$$\rho_v = \frac{m}{B-A + \frac{(m_1-m)}{\rho_{voda}}}$$

$$\rho_v = \frac{m}{B-A + \frac{(m_1-m)}{\rho_{voda}} - C}$$

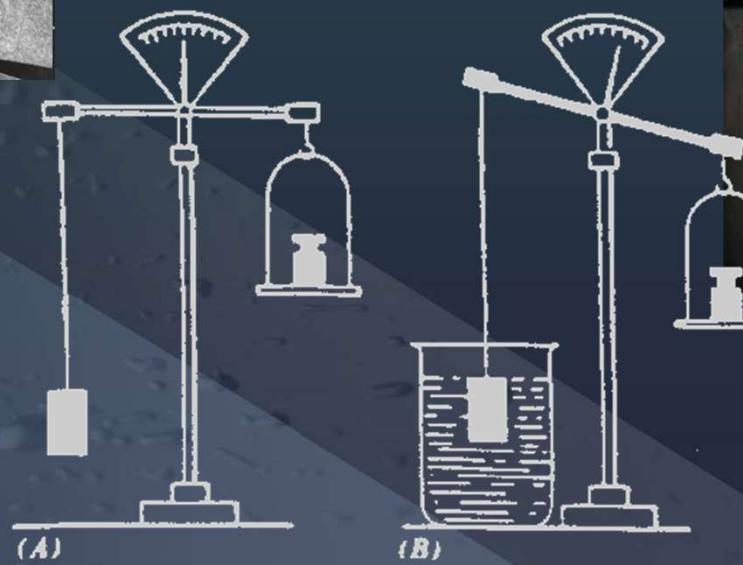




Metoda drátěného koše



Hydrostatické váhy





Metoda drátěného koše

- ČSN EN 1097-1

$$\rho_v = \rho_w \frac{M_3}{M_3 - (M_1 - M_2)}$$

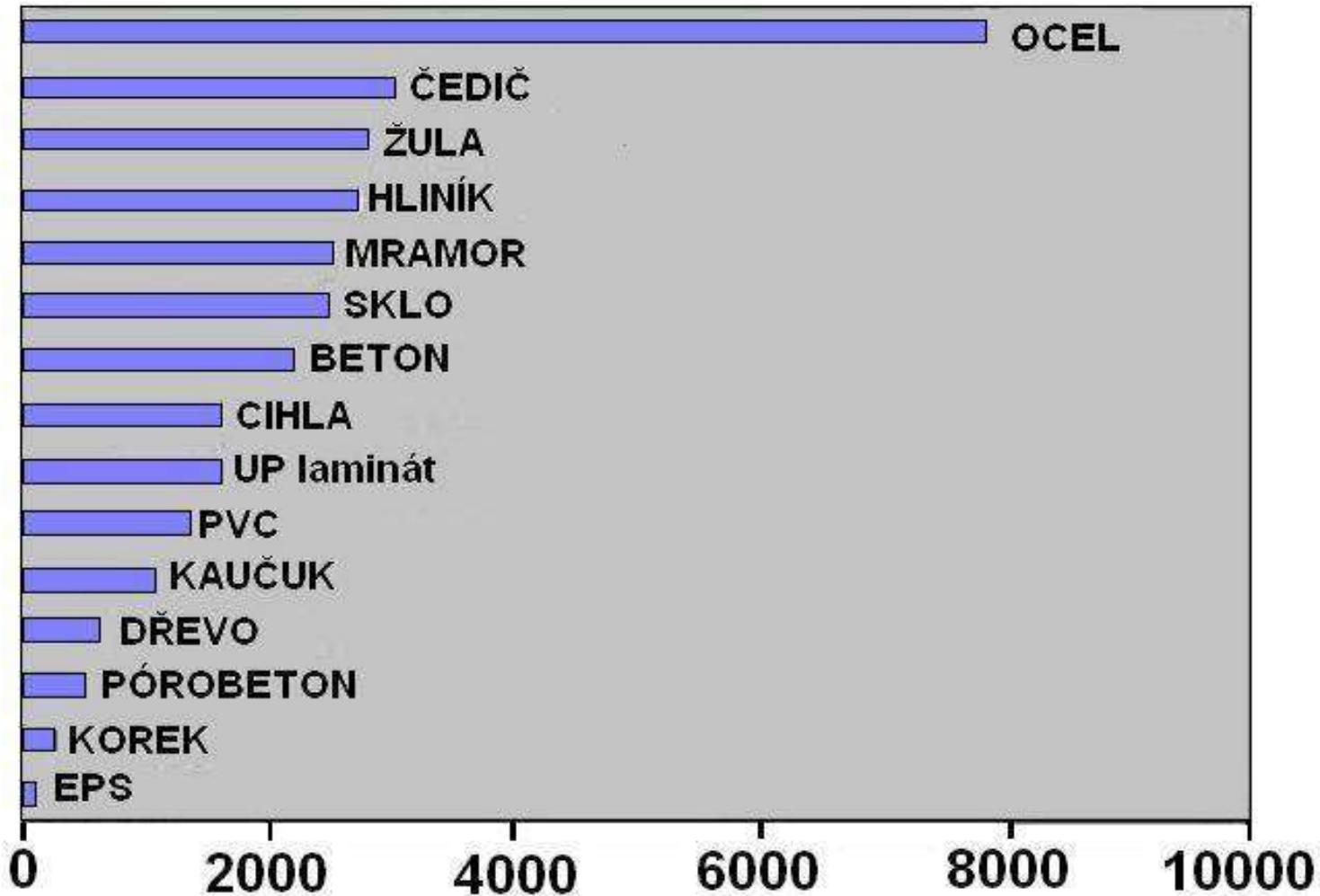
[Mg.m⁻³]

1Mg.m⁻³ = 1000kg.m⁻³

- M_1 hmotnost vzorku ponořeného v koši ve vodě (g)
- M_2 hmotnost prázdného koše ve vodě (g)
- M_3 hmotnost vysušeného vzorku (g)
- ρ_w hustota vody při teplotě zkoušení (Mg.m⁻³)



Objemové hmotnosti různých materiálů





Stanovení hustoty

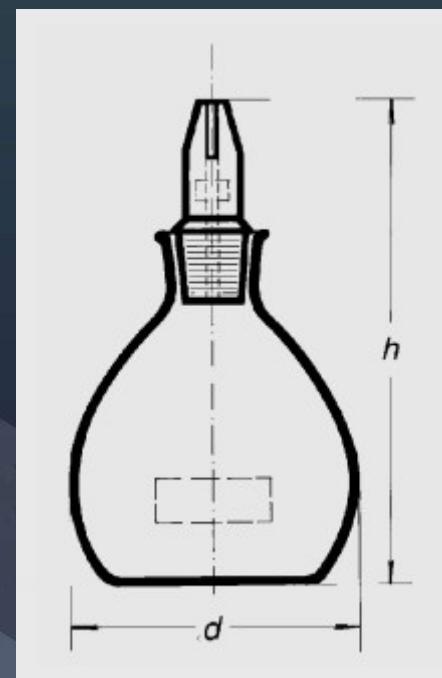
$$\rho_v = \frac{m}{V_h}$$

- **Hmotnost** vážením
- **Objem** nejčastěji pyknometricky
 - pro zjištění objemu bez pórů nutno rozemlít !



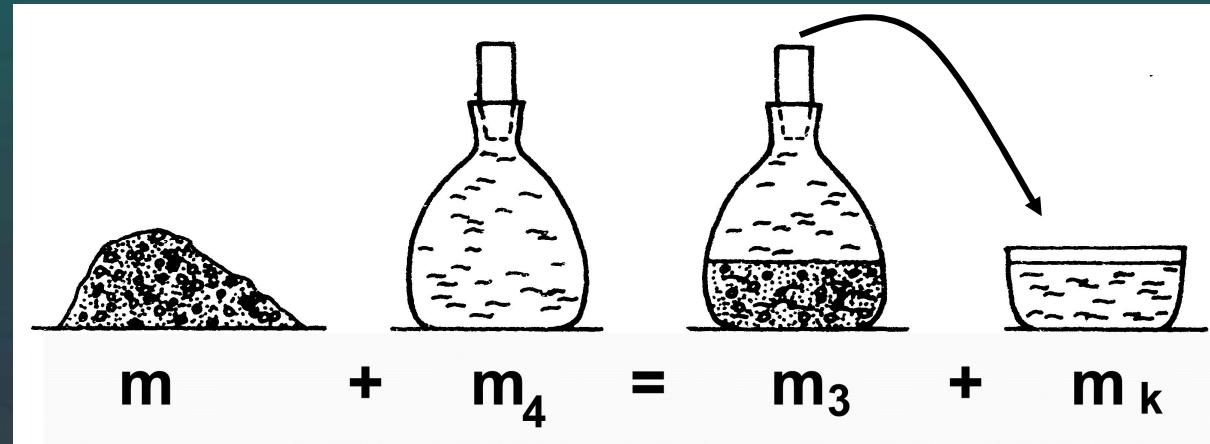
Pyknometr

- při úplném naplnění a uzavření zábrusovou zátkou s kapilárou pojme vždy stejný, snadno reprodukovatelný objem kapaliny





Pyknometrické stanovení hustoty



$$m_k = (m_2 - m_1) + m_4 - m_3$$

$$\rho = \frac{m}{V_h} = \frac{m}{V_k} = \frac{m \times \rho_k}{m_k}$$

$$V_k = \frac{m_k}{\rho_k}$$

$$\rho = \frac{m \times \rho_k}{m + m_4 - m_3}$$



Stavební hmoty





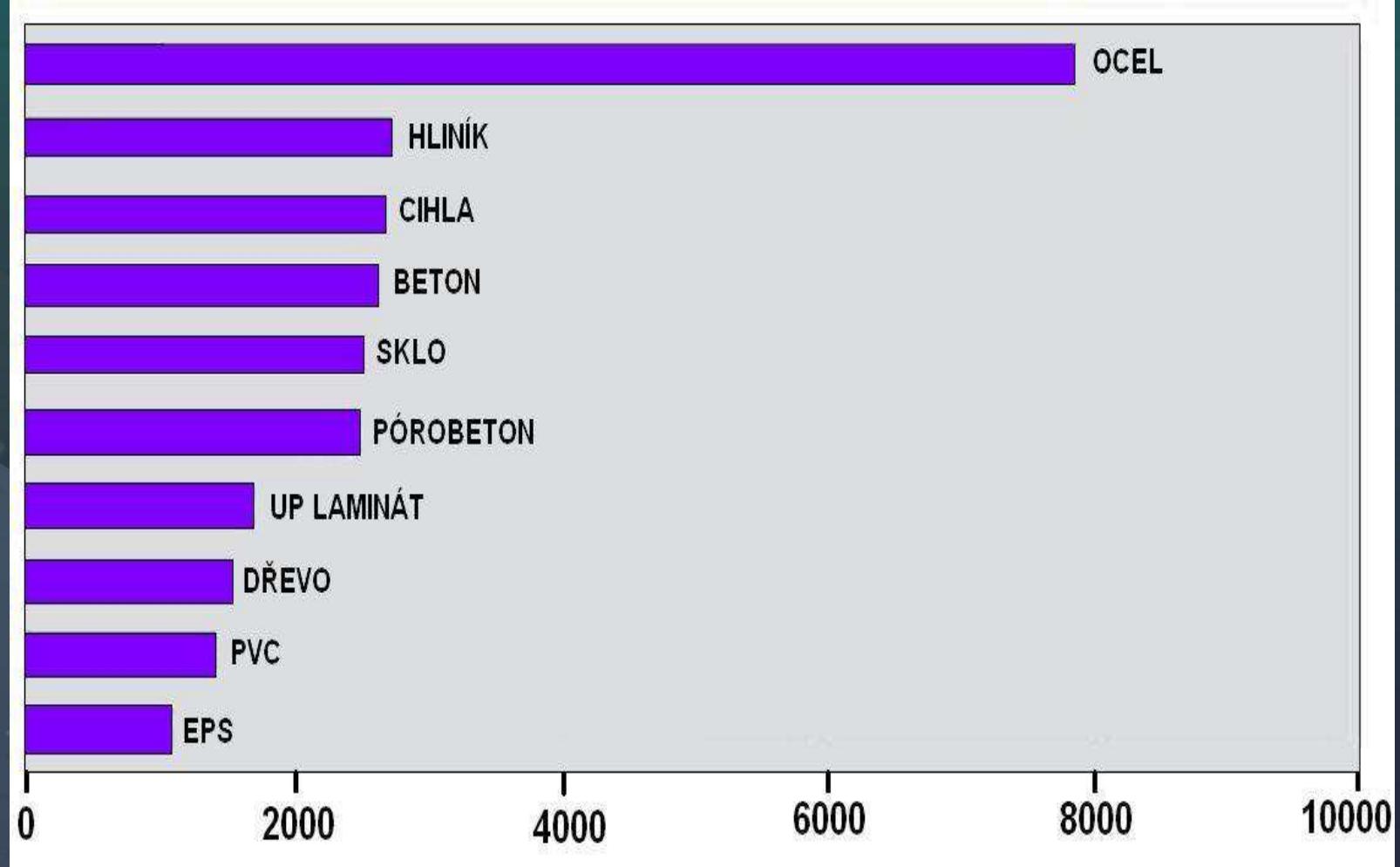
Heliový pyknometr





Stavební hmoty

Hustota různých hmot





**Katedra materiálového inženýrství
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze



Stavební hmoty



Hutnost



- míra vyplnění objemu pevnou fází
- bezrozměrná nebo %

$$h = \frac{V_h}{V} = \frac{\rho_v}{\rho}$$



Pórovitost

- poměr pórů k celkovému objemu materiálu

$$p = 1 - h = 1 - \frac{\rho_v}{\rho}$$

- bezrozměrná nebo %

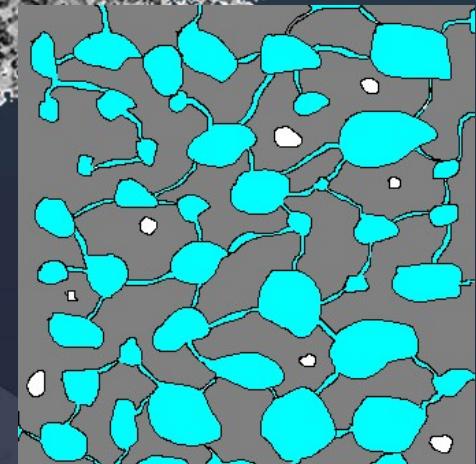
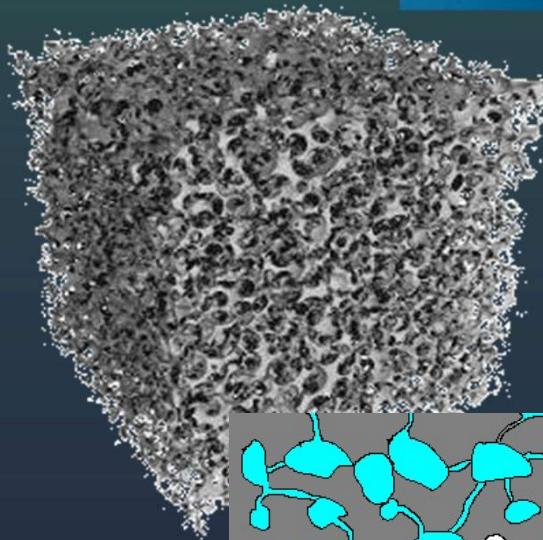
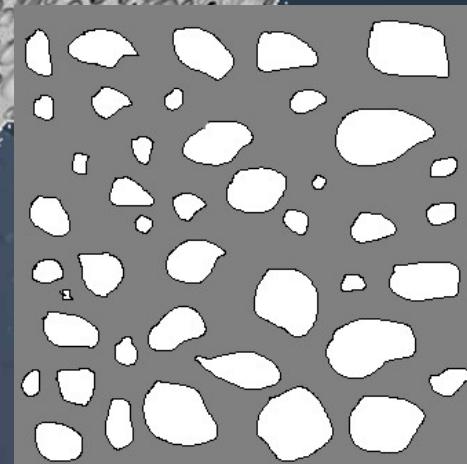
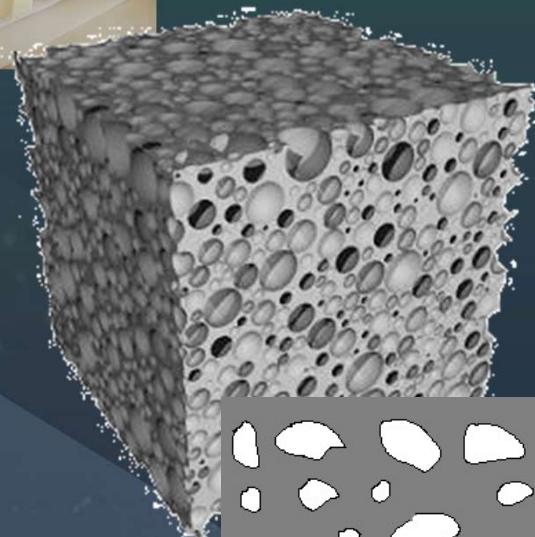


Stavební hmoty



Typy pórovitosti

- uzavřená
- otevřená





Vlastnosti související s pórovitostí

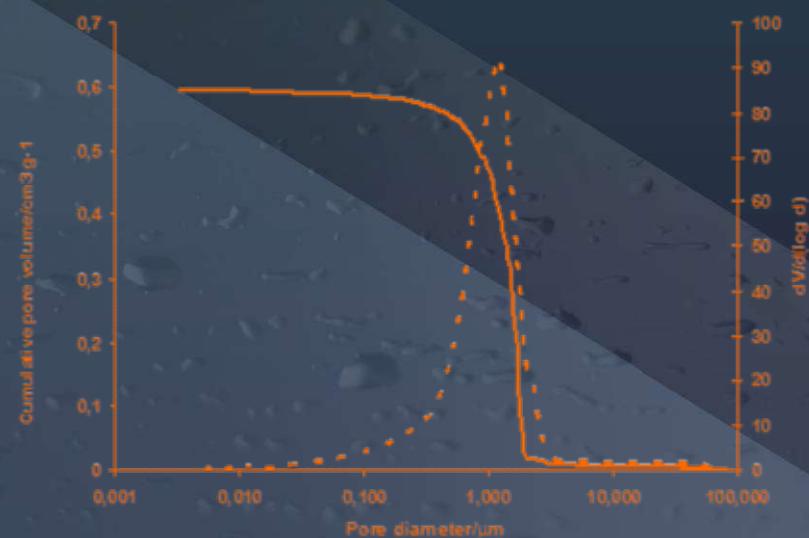
- Navlhavost → mrazuvzdornost
- Difúze kapalin a plynů
- Zvuková pohltivost
- Tepelně fyzikální vlastnosti
- Mechanické vlastnosti



Stanovení pórovitosti

Rtuťová porozimetrie

- rtuť je vtlačována do pórů a míra tlaku je úměrná rozměru pórů
- 400 MPa $\rightarrow \varnothing 1,5$ nm

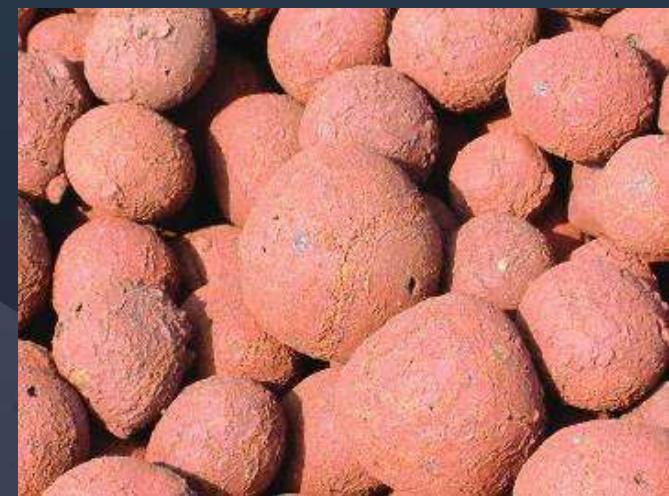




Vlastnosti sypkých materiálů

Sypké látky = pevná fáze je rozdělena do relativně malých částí - zrn

- vykazují soudržnost v důsledku tření mezi zrny => poloha zrn není zcela fixována



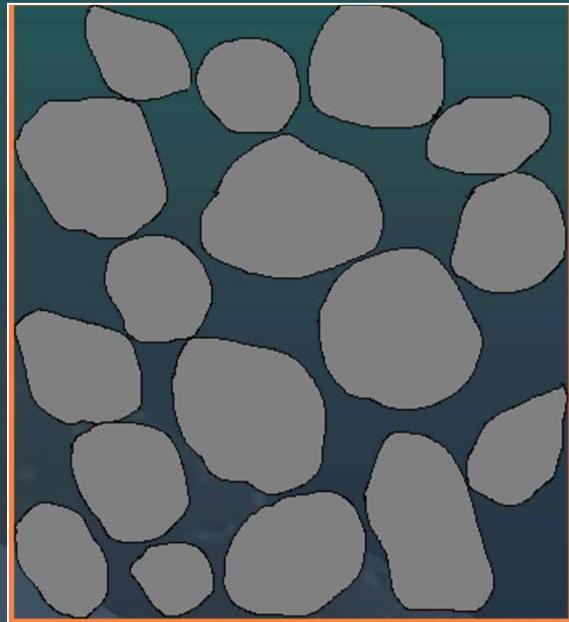


Mezerovitost

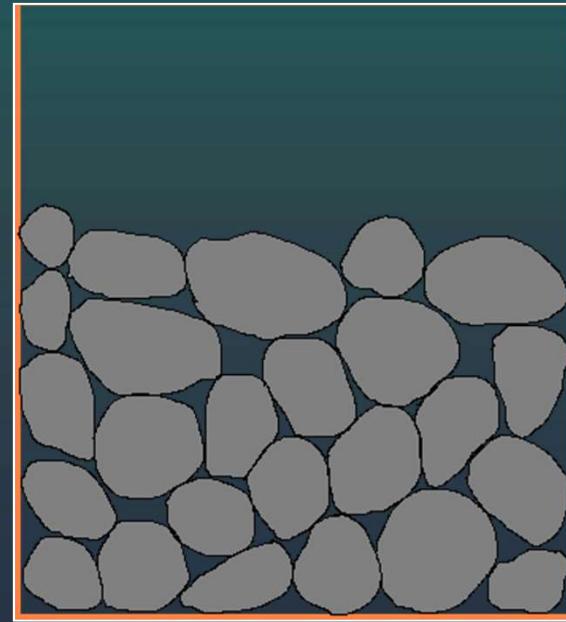
- Sypké látky mají mezi zrny mezery
- Podíl objemu mezer k celkovému objemu = **mezerovitost**
- Mezerovitost též látky závisí na **zhutnění**



Zhutnění



Volně sypaný
materiál → **nejvyšší**
mezerovitost



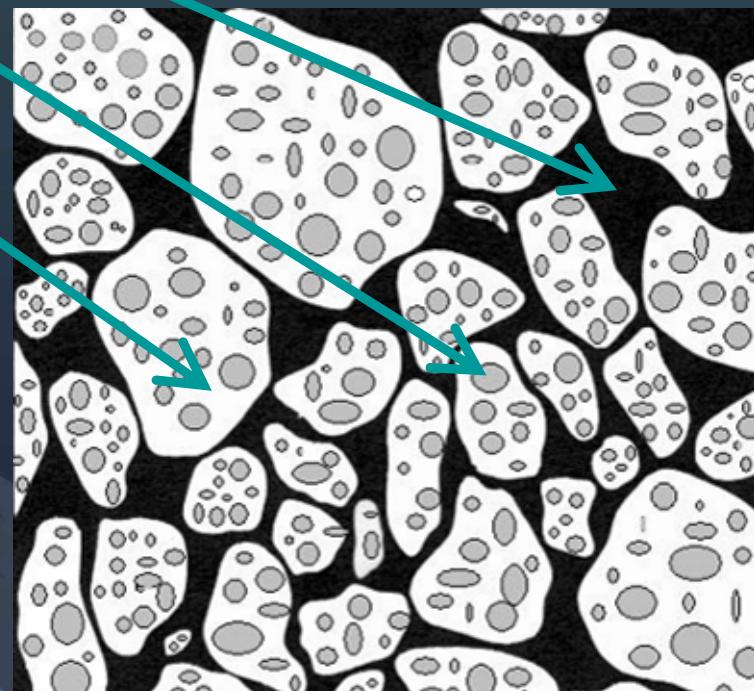
Maximálně zhutněný
materiál → **nejnižší**
mezerovitost



Sypná hmotnost

$$\rho_s = \frac{m}{V_h + V_p + V_m}$$

- ve stavu volně sypaném
- ve stavu setřeseném (zhutněném)





Měření sypné hmotnosti



- do předepsané nádoby (objem podle max. zrna)
- seříznutí přebytku
- předepsaný počet zhutňovacích vpichů



Rozdíly v sypné hmotnosti



CLIMATIZER PLUS:

- sypná hmotnost při volném zásypu bez stroje: **35 - 45 kg.m⁻³**
- při volném zasypání strojem na volné vodorovné plochy: **26 - 30 kg.m⁻³**
- při zhutněné aplikaci strojem za sucha: **38 - 45 kg.m⁻³**
- při max. zhutnění: **45 - 90 kg.m⁻³**



**Katedra materiálového inženýrství
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze



Stavební hmoty



Sypké materiály, používané ve
stavění se označují jako

KAMENIVO

- anorganický zrnitý materiál
- velikost zrn < 125 mm
- spotřeba 100 Mt/rok



Zrnitost

Poměrná procentní skladba zrn jednotlivých velikostí

- Zjišťuje se proséváním na sadě kontrolních sít
- **Velikost zrna - odpovídá velikosti otvoru síta, kterým zrno ještě propadne**





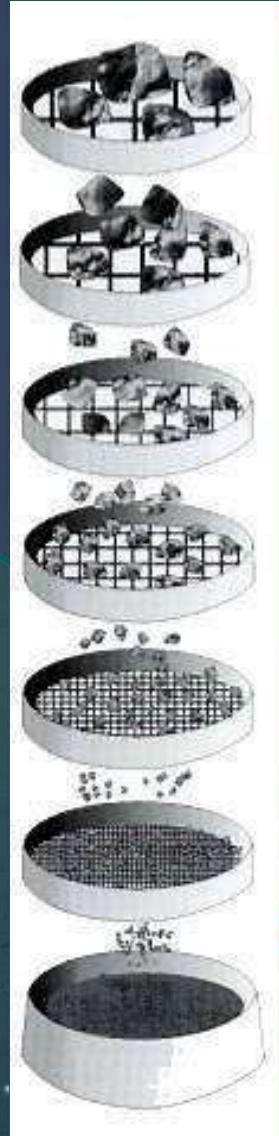
Normová sada sít (ČSN EN 933-2)

125 mm
63 mm
31,5 mm
16 mm
8 mm
4 mm
2 mm
1mm
0,500 mm
0250 mm
0,125 mm
0,063 mm

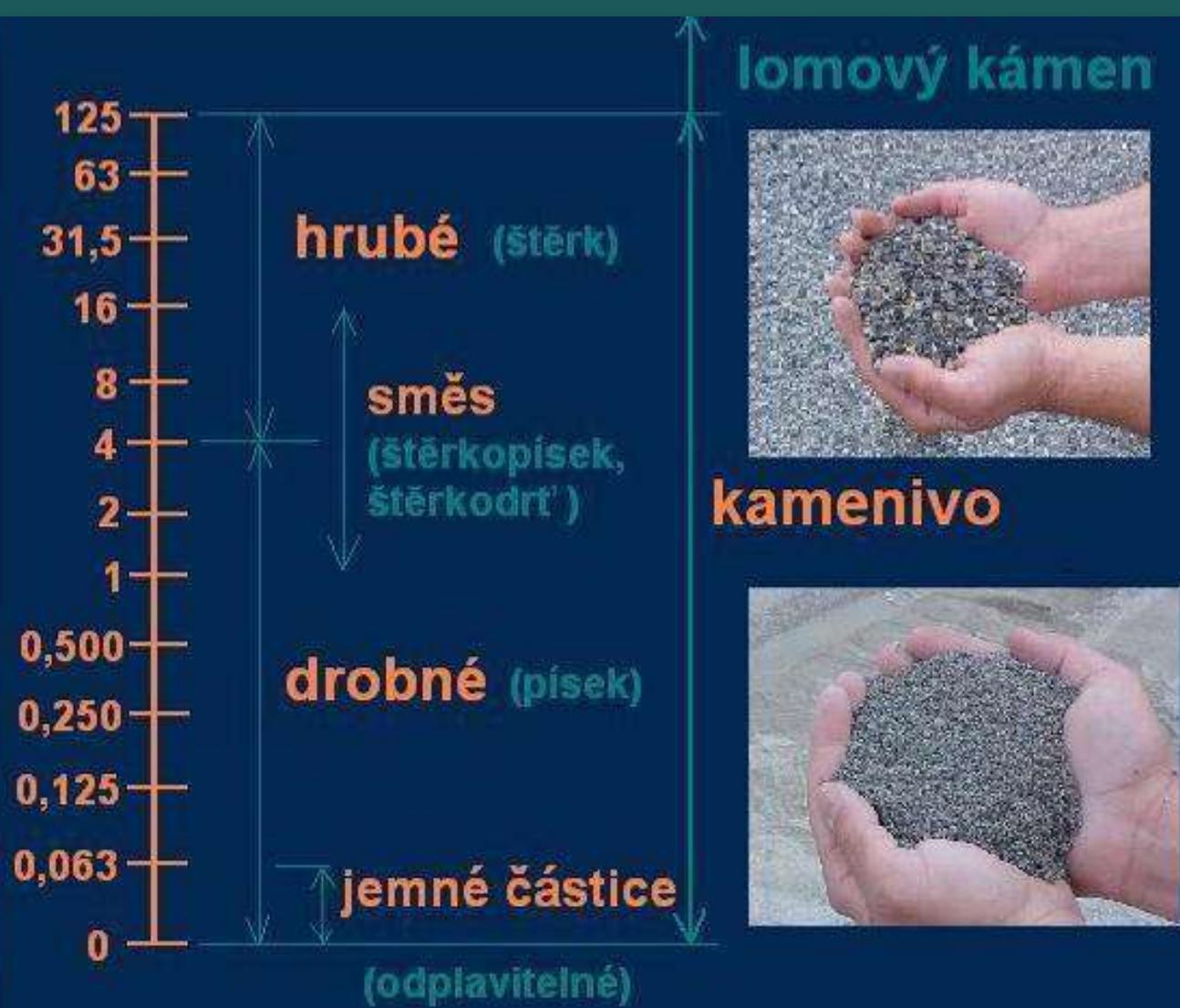




Stavební hmoty



Rozdělení kameniva





Prosévací zkouška





Prosévací zkouška - definice

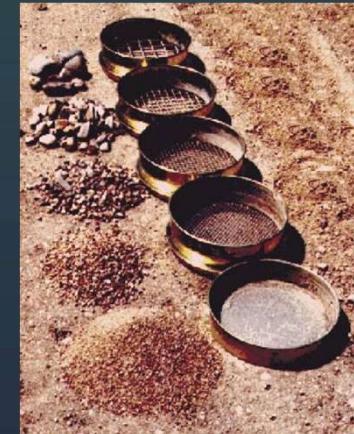
Frakce - kamenivo se zrny v určitém rozmezí velikostí - souhrn zrn určité velikosti, která propadla horním sítěm frakce a byla zadržena dolním sítěm frakce

- **široká frakce** ($D > 2.d$): např. 4-16,8-32
- **úzká frakce** ($D \leq 2.d$): např. 4-8, 8-16



Prosévací zkouška - definice

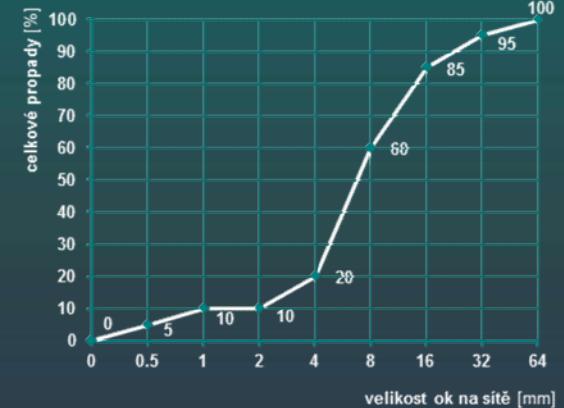
- **Dílčí zbytek [kg, %]** – množství zrn, které zůstalo na sítě po zkoušce
- **Celkový zbytek [%]** – součet dílčího zbytku na sítě a dílčích zbytků na všech sítech s většími otvory
- **Celkový propad [%]** – součet dílčího propadu sítěm a dílčích propadů na všech sítech o menších otvorech





Čára zrnitosti

- Grafické vyjádření zrnitosti
- Lomená spojitá čára –
 - osa X – velikosti ok na sítech
 - osa Y – celkové propady na příslušném sítě
- Pouze stoupající charakter !
- Chybějící frakce – vodorovná čára
- Svislá čára – nikdy!





Příklad:

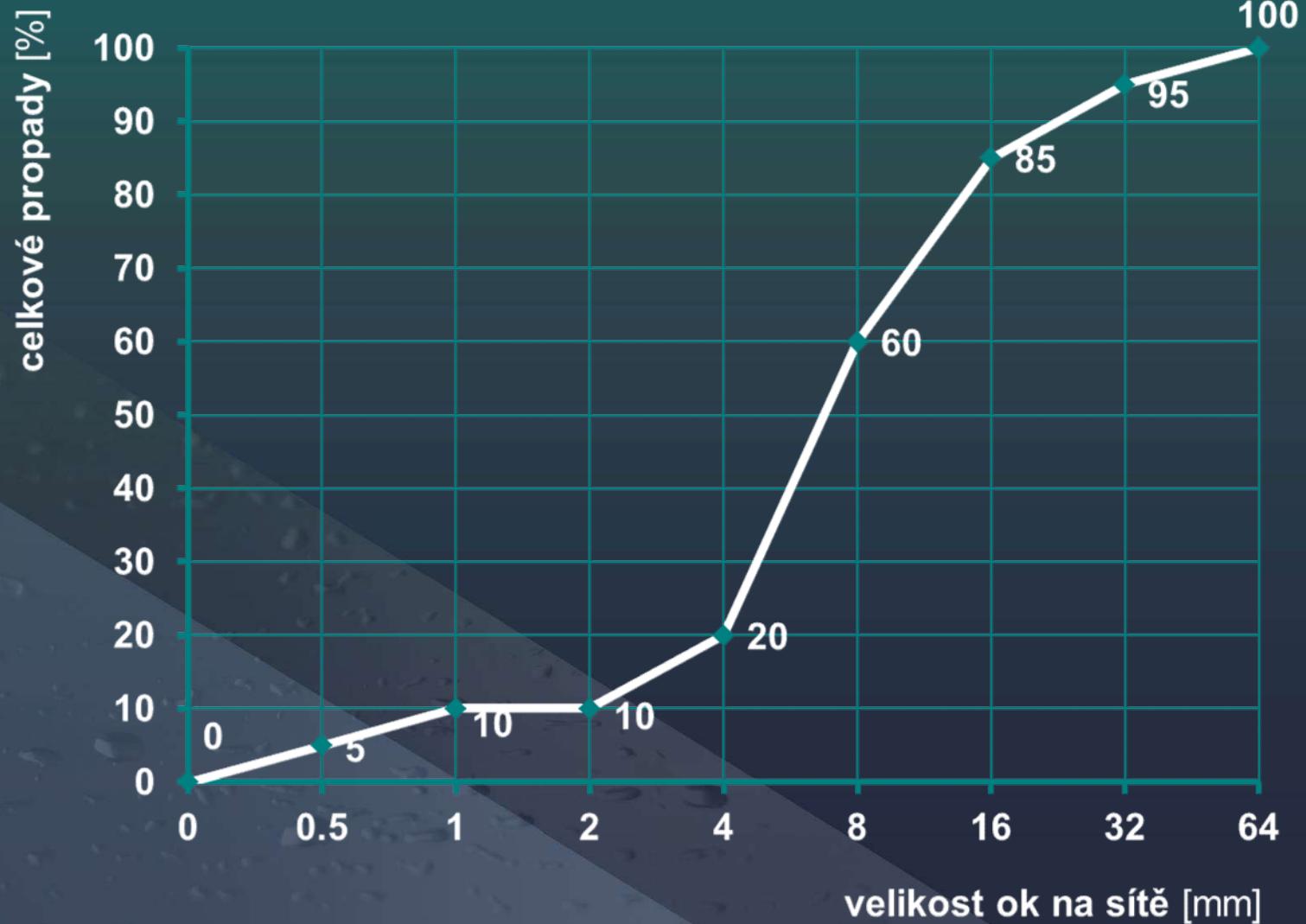
Je dáno kamenivo frakce d/D (např. 4/16)

- Sestrojte čáru zrnitosti tohoto kameniva, jestliže po prosévací zkoušce byly při navázce 1000 g zjištěny tyto zbytky na sítech:

Velikost síta	Dílčí zbytky		Celkové zbytky	Celkové propady
	g	%		
64	0	0	0	100
32	50	5	5	95
16	100	10	15	85
8	250	25	40	60
4	400	40	80	20
2	100	10	90	10
1	0	0	90	10
0,5	50	5	95	5
< 0,5 (dno)	50	5	100	0

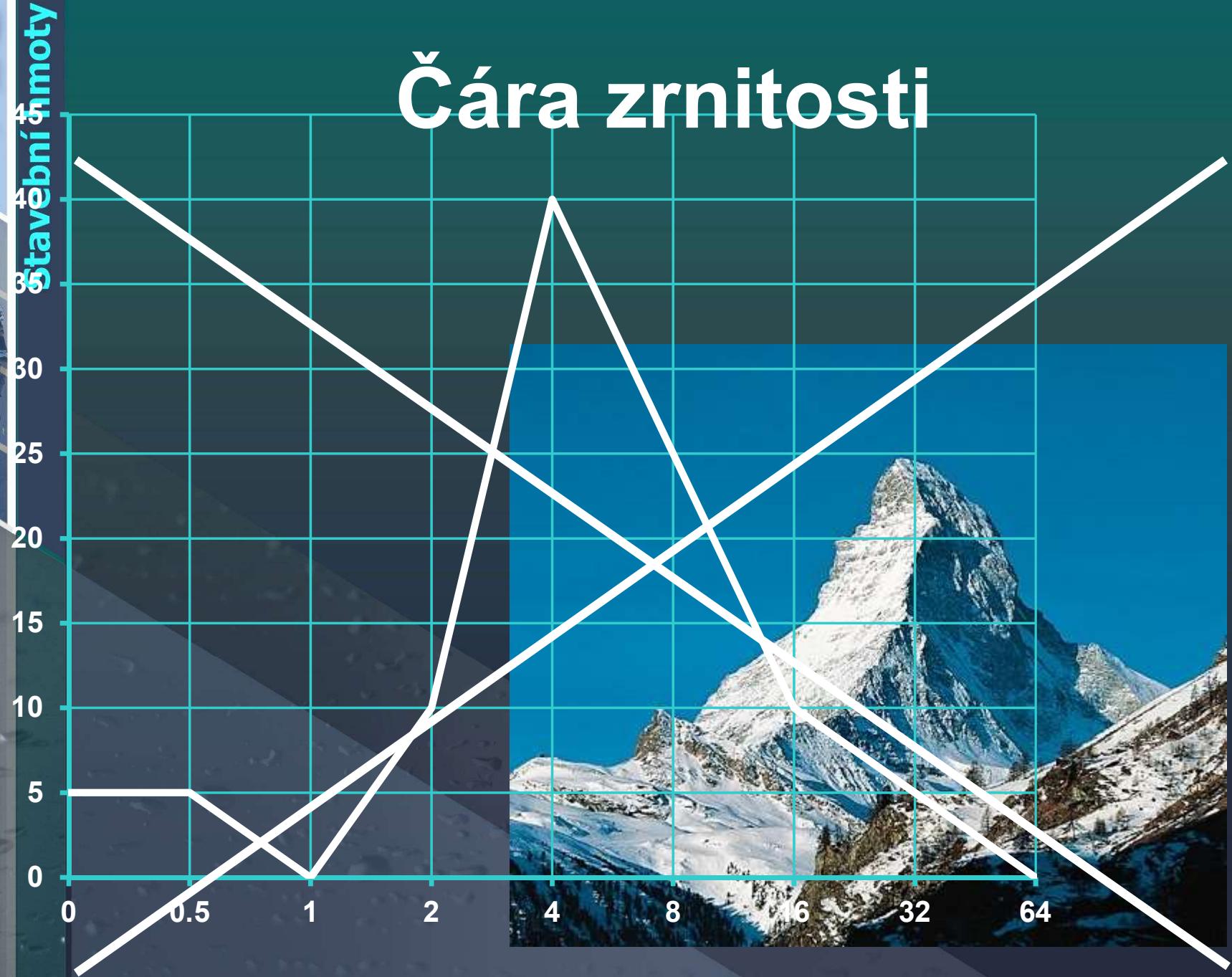


Čára zrnitosti





Čára zrnitosti





Modul zrnitosti (modul jemnosti)

Jednočíselné vyjádření zrnitosti

$$FM = \frac{\text{suma celkových zbytků \%}}{100 \%}$$

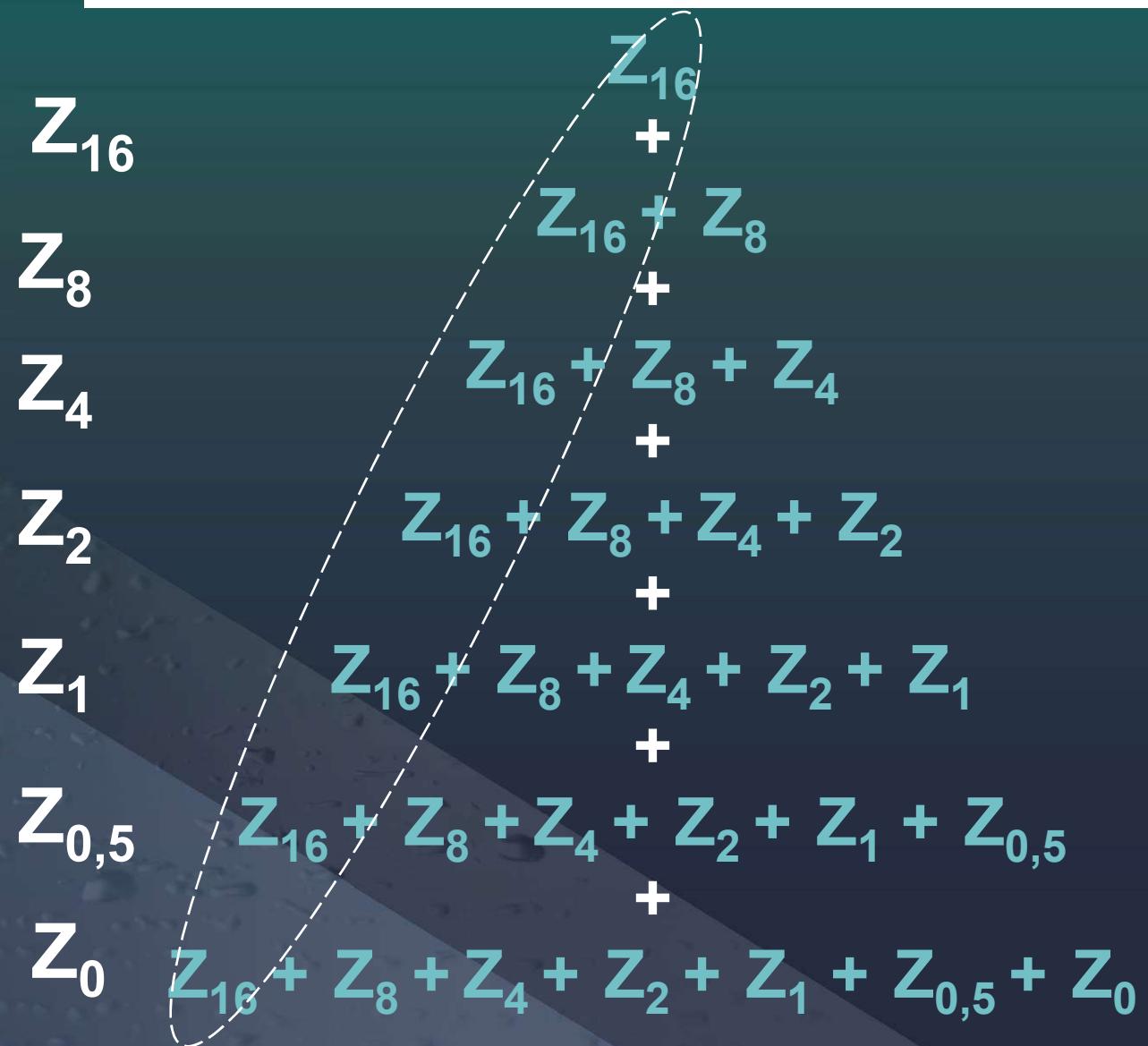
$$FM = \frac{\text{suma celkových zbytků [g]}}{\text{celková hmotnost vzorku [g]}}$$



Stavební hmoty



$$FM = \frac{\text{suma celkových zbytků [\%]}}{100 \%}$$





Modul zrnitosti (ČSN EN 12620)

na 6 sítech základní řady (4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125)

$$FM = \frac{\sum[(\times 4) + (\times 2) + (\times 1) + (\times 0,5) + (\times 0,25) + (\times 0,125)]}{100}$$

$$1 < FM < 6$$

- čím je FM větší, tím hrubší je kamenivo



Jemné částice (dříve odplavitelné)

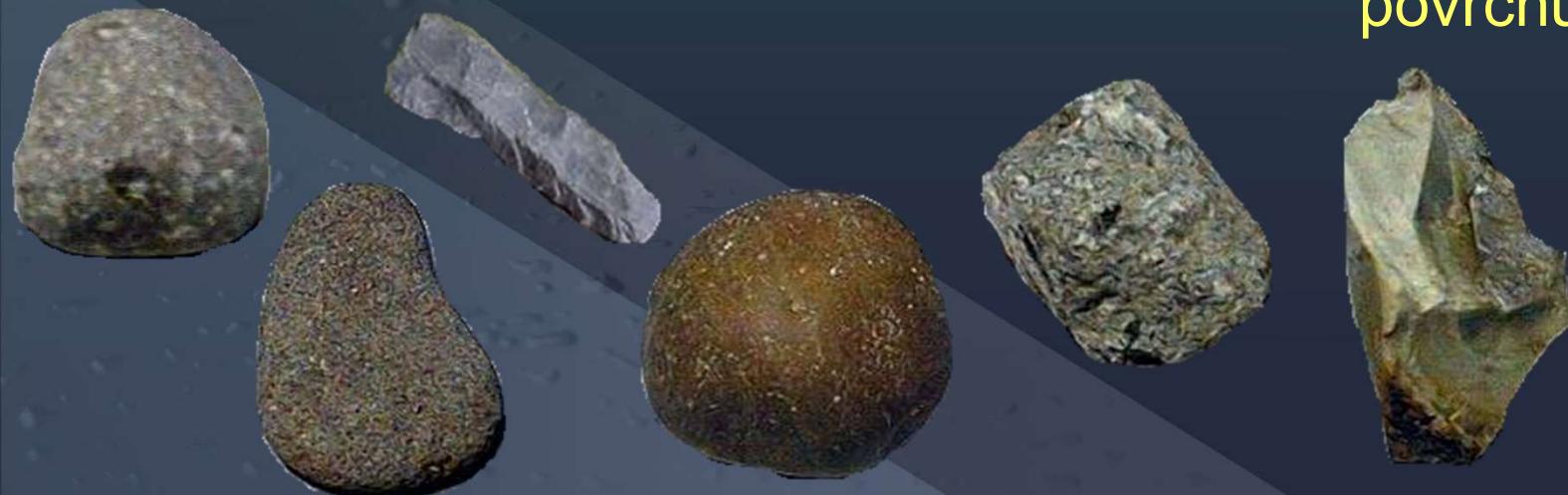
- = zrna menší než $0,063 \text{ mm}$ < 3 %
- stanovení proplachováním
- prosívání přes síto $0,063 \text{ mm}$
- zkouška methylenovou modří
- zkouška ekvivalentu písku
- přípustné množství:
 - drobné kamenivo < až 22 %
 - hrubé kamenivo < 1,5 %
- při vyšším množství
 - vyšší spotřeba cementu
 - menší pevnost



Tvar zrn

Zrna:

- třírozměrná / plochá / dlouhá
- s povrchem hladkým / drsným
- s hrany zaoblenými / ostrohranná





Index plochosti

- **ČSN EN 933-3**
 - úzké frakce d/D se prosévají na tyčových sítech s mezerami $D/2$
- **Souhrnný index plochosti** = procento zrn propadlých síty z celkové hmotnosti zkoušených zrn





Tvarový index

- ČSN EN 933-4

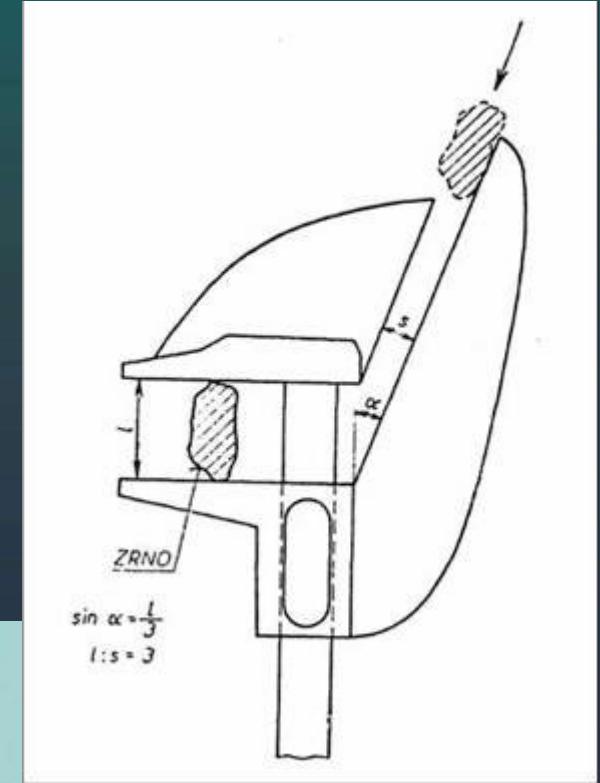
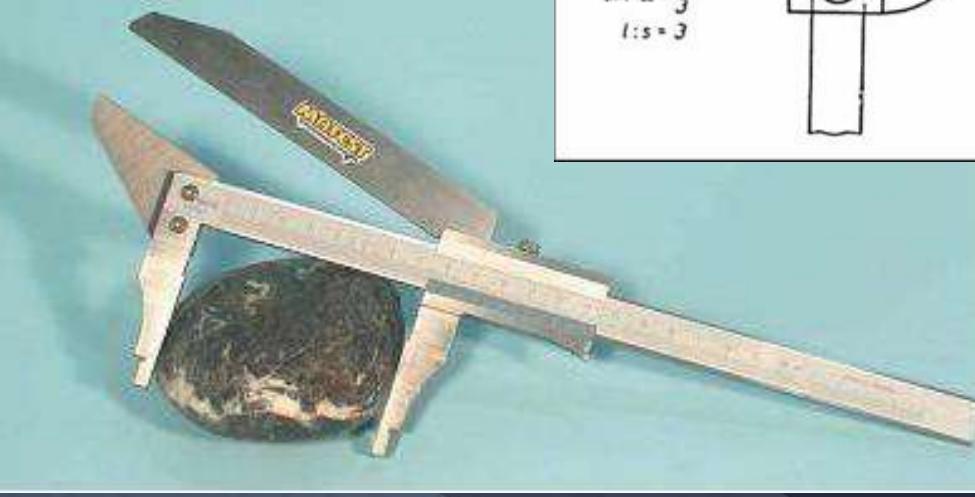
hmotnostní podíl zrn, jejichž poměr rozměrů L/E je větší než 3 z celkové hmotnosti zkoušených zrn [%]

- **rozměrový součinitel L/E** - poměr délky L ku tloušťce E
- $L/E > 3$ - zrna nekubického formátu





Měření tvarového indexu





Měrný povrch



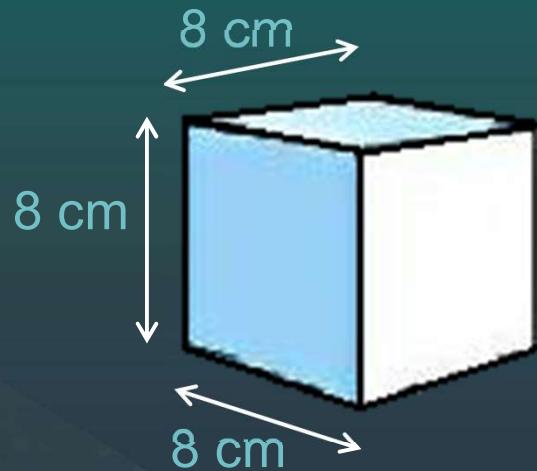
Povrch všech zrn v jednotce hmotnosti

- Jednotky: **m^2/kg** (cm^2/g)
- Čím je materiál jemnější, tím je měrný povrch větší



Stavební hmoty

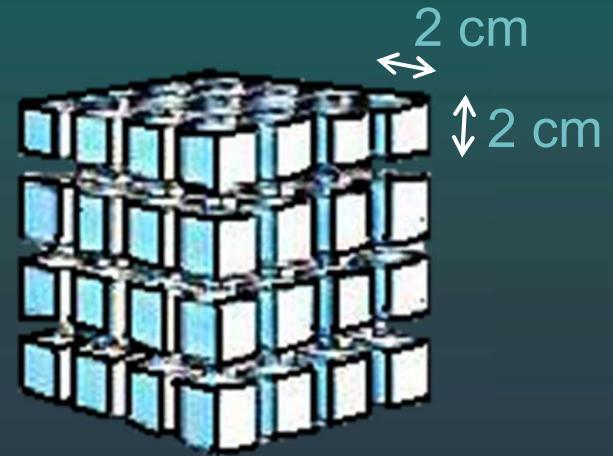
Měrný povrch



a) Povrch

$$6 \times 8 \times 8 \text{ cm} = \\ 384 \text{ cm}^2$$

$$a_b = 1/4 a_a$$



b) Povrch

$$64 \times (6 \times 2 \times 2) = \\ 1536 \text{ cm}^2$$

$$S_b = 4 S_a$$



Stavební hmota	Materiál	Velikost částic (mm)	Počet částic na gram	Měrný povrch cm ² /g
hrubé kamenivo		≥ 4	90	11
		1 - 2	90 - 720	11 - 23
		0,5 - 1	720 - 5800	23 - 45
drobné kamenivo		0,25 - 0,5	5800 - 46000	45 - 91
		0,1 - 0,25	$4,6 \cdot 10^4$ - $7,2 \cdot 10^5$	91 - 227
		0,05 - 0,1	$7,2 \cdot 10^5$ - $5,8 \cdot 10^6$	227 - 454
prach		0,002 - 0,05	$5,8 \cdot 10^6$ - $9,0 \cdot 10^6$	454 - 11300
jíl		≤ 0,002	$9 \cdot 10^{10}$	11 300
montmorillonit		≤ 0,002	$9 \cdot 10^{10}$	$8 \cdot 10^6$



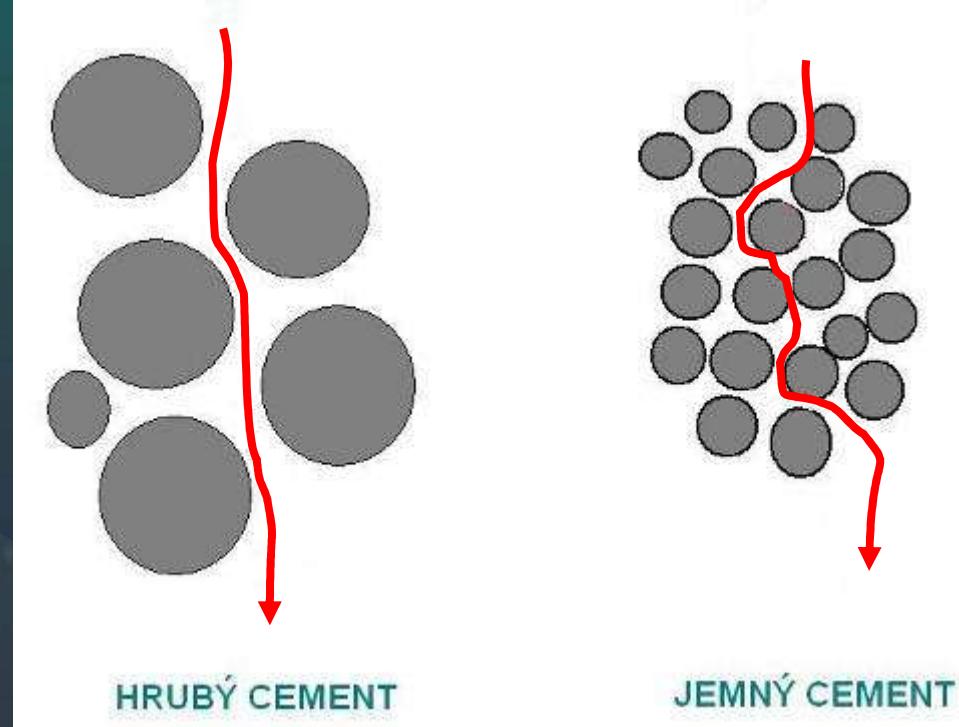
Měření měrného povrchu

- prosévací metoda
- permeabilitní metoda
- adsorpce plynu





Permeabilitní metoda



Princip – měření času, po který prochází určené množství vzduchu cementovým lůžkem



Stavební hmoty

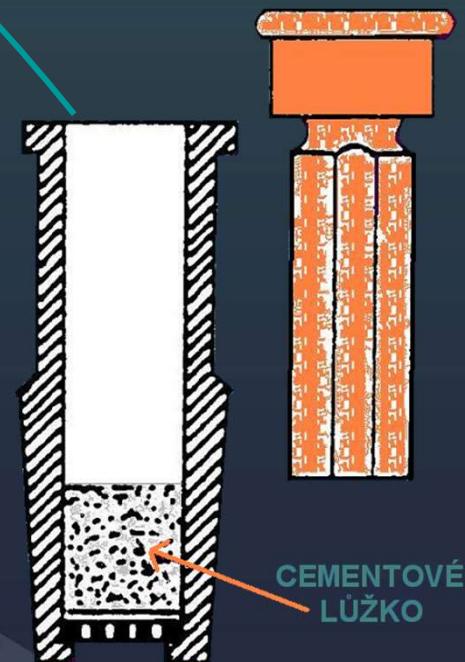
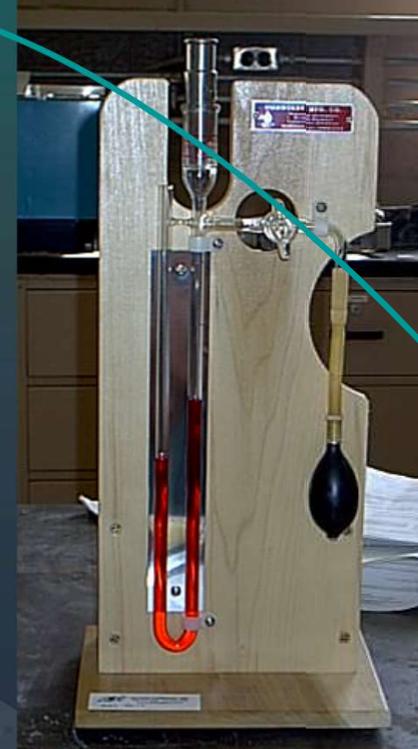
Blainův přístroj





Stavební hmoty

Blainův přístroj





Výpočet měrného povrchu

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

- **K** konstanta přístroje
- **e** porozita cementového lůžka (obvykle $e = 0,500$)
- **t** čas poklesu kapaliny [s]
- **ρ** hustota cementu [g.cm^{-3}]
- **η** viskozita vzduchu při teplotě měření [Pa.s]



Výpočet měrného povrchu - kalibrace přístroje

$$K = S_0 \times \rho_0 \times \frac{(1 - e)}{\sqrt{e^3}} \times \frac{\sqrt{0,1 \eta_0}}{\sqrt{t_0}}$$



- S_0 měrný povrch **referenčního cementu** [$\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$]
- ρ_0 hustota referenčního cementu [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]
- t_0 doba poklesu kapaliny [s]
- η_0 viskozita vzduchu při teplotě měření [Pa.s]



Jemnost mletí

- Pomocí měrného povrchu se udává jemnost mletí, např. cementů
- Měrný povrch běžných cementů
250 – 350 m²/ kg





**Katedra materiálového inženýrství
a chemie**

Stavební fakulta ČVUT v Praze



Stavební hmoty