

# Kamenivo

Kamenivo - je přírodní nebo umělý zrnitý materiál , anorganického původu určený pro stavební účely, jehož zrna projdou kontrolním sítím s čtvercovými otvory o velikosti 125 mm.

## Druhy kameniva podle původu:

Přírodní kamenivo - anorganického původu, těžené z přírodních ložisek nebo drcené z přírodního kamene (vystaveno jen mechanickému procesu).

Umělé kamenivo - anorganického původu, záměrně vyráběné, nebo získané z odpadu energetických závodů nebo průmyslové výroby (vystaveno tepelnému nebo jinému procesu).

Recyklované - anorganického původu, které bylo dříve použito v konstrukci

## Druha kameniva podle objemové hmotnosti:

- **Hutné** – objemová hmotnost větší než  $2,0\text{Mg/m}^3$
- **Pórovité** – objemová hmotnost menší než  $2,0\text{Mg/m}^3$
- **Těžké** - objemová hmotnost menší než  $3,0\text{Mg/m}^3$

## Druhy kameniva podle velikosti zrn:

- **Hrubé kamenivo** — velikost zrn 4mm až 125mm
  - drť – zrna do 22mm
  - štěrk – zrna větší než 22mm
- **Drobné kamenivo** – velikost zrn menší nebo rovna 4mm
- **Směs kameniva (štěrkopísek, štěrkdrt')** – směs hrubého a drobného kameniva
- **Filer** – kamenivo jehož většina zrn propadne sítím 0,063mm

### **Základní termíny:**

- **Zrnitost** – poměrná procentová skladba zrn kameniva podle propadu specifikovanou sadou kontrolních sít, grafickým znázorněním je **křivka zrnitosti**
- **Frakce** – zrna kameniva, která propadnou sítím s většími otvory (D) a zůstanou na sítích s menšími otvory (d)
- **Nadsítné** – část kameniva, které zůstane na větším ze sít (D) určující frakci kameniva
- **Podsítné** – část kameniva, které propadne menším za sít (d) určující frakci kameniva
- **Úzká frakce** – frakce kameniva v rozmezí dvou kontrolních sít, jejichž velikosti dosahují nejvýše 1:2 jakož i frakce omezená jen kontrolním sítím s otvory velikosti 1 a menší
- **Široká frakce** - frakce kameniva v rozmezí dvou kontrolních sít, jejichž velikosti přesahují poměr 1:2 jakož i frakce omezená jen kontrolním sítím s otvory velikosti větší než 1
- **Jemné částice** – frakce, která propadne sítím 0,063mm

### **Sady sít:**

#### **Normová sada kontrolních sít**

– **základní 0; 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 31,5(32); 63**

- základní plus 1 - 0; 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 5,6(5); 8; 11,2(11); 16; 22,4(22); 31,5(32); 45; 63

- základní plus 2 - 0; 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 6,3(6); 8; 10; 12,5(12); 14; 16; 20; 31,5(32); 40; 63

### **Měrná hmotnost kameniva $\rho$**

- hmotnost objemové jednotky kameniva bez dutin a pórů a bez mezer mezi zrny

$$\rho = \frac{M}{V} \quad [\text{Mg/m}^3]$$

### **Objemová hmotnost kameniva $\rho_{ps}$**

Je hmotnost objemové jednotky kameniva včetně dutin a pórů, ale bez mezer mezi zrny

**[Mg/m<sup>3</sup>]**

## Sypná hmotnost kameniva $\rho_b$

- hmotnost objemové jednotky kameniva včetně dutin a pórů a s mezerami mezi zrny [ $\text{Mg/m}^3$ ]

Rozlišuje se :

- sypná hmotnost volně sypaná
- sypná hmotnost setřesená

## Nasákavost kameniva $WA$

Přírůstek hmotnosti vzorku vysušených zrn kameniva v důsledku vsáknutí vody do dutin (otevřených pórů) zrn kameniva.

Vyjadřuje se v % hmotnosti kameniva

$$WA = \frac{M_{\text{nasyčené}} - M_{\text{vysušené}}}{M_{\text{vysušené}}} \cdot 100$$

## Vlhkost kameniva $w$

- Charakterizuje stav kameniva, v jakém je kamenivo dodáno, nebo jak vstupuje do výrobních postupů.
- Stanovuje se jako úbytek hmotnosti vlhkého kameniva, který nastává jeho vysušením při  $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$  do ustálené hmotnosti.
- Vyjadřuje se v % objemu vysušeného kameniva.

$$w = \frac{M_{\text{vlhké}} - M_{\text{vysušené}}}{M_{\text{vysušené}}} \cdot 100$$

## Pórovitost kameniva $PS$

- objem pórů a dutin v zrnech kameniva vyjádřený v % celkového objemu kameniva

$$PS = \left( 1 - \frac{\rho_{ps}}{\rho} \right) \cdot 100$$

## Mezerovitost kameniva $v_s$

- podíl objemu mezer mezi zrny v celkovém objemu kameniva

$$v_s = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_{ps}}\right) \cdot 100$$

Rozlišuje se mezerovitost:

- Mezerovitost volně sypaného kameniva
- Mezerovitost setřeseného kameniva

## Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva

### 1.

## Stanovení měrné hmotnosti kameniva

### Stanovení měrné hmotnosti fileru - Pycnometrická zkouška

- Měrná hmotnost kameniva je hmotnost objemové jednotky tuhé substance zrn, tj. bez dutin a pórů.
- Je podkladem pro výpočet pórovitosti kameniva a charakteristikou hmoty zrn kameniva
- Zkouška se provádí na vzorku kameniva rozmělněném tak jemně, aby vzniklé částice neobsahovaly póry.
- Zjišťuje se jako poměr množství použité navážky k jejímu objemu.
- Zjišťuje se pycnometrickou metodou s požitím vody nebo jiné pomocné látky.
- Ke zkoušce se použije vzorek rozmělněný na zrna menší než 0,125mm vysušený v sušárně do ustálené hmotnosti při teplotě  $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$

### Příprava zkušební navážky

- Zkušební navážka před vysušením s nejnižší hmotností 50g.
- Zkušební navážka se vysuší do ustálené hmotnosti při teplotě  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  a nechá se vychladnout v exsikátoru po dobu nejméně 90 minut. Zkušební navážka se zkontroluje, pokud obsahuje hrudky, tak je musíme rozmělnit pomocí stěrky.
- Vysušený filer se proseje na síť 0,125 mm. Všechny částice, které propadly sítí se uchovají.

### Zkušební postup

- Stanovení měrné hmotnosti se provádí třikrát pomocí kalibrovaného pyknometru. Vážení se provádí s přesností 0,001 g.
- Zváží se čistý a suchý pyknometr se zátkou  $m_0$ . Do pyknometru se nasype (10±1) g fileru, odebraného ze zkušební navážky a znovu se zváží  $m_1$ . Přidá se tolik kapaliny, aby celý vzorek byl pod vodou.
- Pyknometr se zazátkuje, vloží se do vakuového exsikátoru a vakuovou pumpou se po dobu 5 minut dosahuje podtlaku (3,0±0,3) kPa. Pyknometr se ponechá 30 minut ve vakuovém exsikátoru při podtlaku (3,0±0,3) kPa.
- Po uvolnění podtlaku v exsikátoru, se pyknometr vyjme a vyplní kapalinou. Pyknometr se vloží bez zátky do vodní lázně o teplotě (25±0,1) °C tak, aby vyčníval 2 mm až 3 mm nad hladinu. Po 60 minutách se pyknometr zazátkuje.
- Horní plocha kapiláry se osuší a pyknometr se vytáhne z vodní lázně.
- Pyknometr se rychle ochladí pod tekoucí studenou vodou.
- Vnější povrch pyknometru se opatrně osuší a zváží se s náplní dílčí navážky a kapaliny  $m_2$ .

### Výpočet a vyjádření výsledků

- Měrná hmotnost fileru  $\rho_f$  v Mg/m<sup>3</sup> se vypočítá:

$$\rho_f = \frac{(m_1 - m_0)}{V - \frac{m_2 - m_1}{\rho_l}}$$

- kde:
- |          |   |
|----------|---|
| $m_0$    | je hmotnost prázdného pyknometru se zátkou [g],                           |
| $m_1$    | je hmotnost pyknometru se zkušební navážkou fileru [g],                   |
| $m_2$    | je hmotnost pyknometru se zkušební navážkou fileru, zalitá kapalinou [g], |
| $V$      | je objem pyknometru v [ml],   |
| $\rho_l$ | měrná hmotnost kapaliny při teplotě 25 °C [Mg/m <sup>3</sup> ],           |
| $\rho_f$ | měrná hmotnost fileru při teplotě 25 °C [Mg/m <sup>3</sup> ].             |

Měrná hmotnost fileru se vypočítá jako průměr hodnot ze tří stanovení a zaokrouhlí se na nejbližších 0,01 Mg/m<sup>3</sup>.

## 2.

### Stanovení objemové hmotnosti

- Metoda pyknometrická pro zrna kameniva od 0,063mm do 31,5mm
- Metoda vážením na hydrostatických vahách pro zrna kameniva od 31,5mm do 63mm
- Metoda v odměrném válci pro zrna kameniva do 50mm

### Stanovení objemové hmotnosti v odměrném válci

- ČSN 72 11 71 – neplatná, ale v praxi stále používána

#### Postup zkoušky:

- Připravíme si 1kg vzorku se zrny velikosti max. 30mm, respektive asi 2kg vzorku se zrny velikostí max. 50mm a přesně zvážíme  $m_s$  [kg].
- Odměrný válec o objemu 1litr naplníme přesně do poloviny vodou a odečteme hodnotu objemu  $V_1$  [dm<sup>3</sup>].
- Do odměrného válce nasypeme zváženou navážku kameniva, zamícháme kovovou míchací tyčinkou, aby se odstranily bublinky vzduchu a odečteme objem vody a kameniva  $V_2$  [dm<sup>3</sup>].

- **Objemová hmotnost** kameniva  $\rho_{ps}$  v  $Mg/m^3$  se pro každou navážku vypočte ze vztahu :

$$\rho_{ps} = \frac{m_s}{V_2 - V_1} \cdot 1000$$

kde:

- $m_s$  hmotnost navážky vysušené při 105°C až 110°C, [kg]  
 $V_1$  objem vody v odměrném válci před vsypáním kameniva [dm<sup>3</sup>]  
 $V_2$  společný objem kameniva a vody [dm<sup>3</sup>]

Měření provedeme dvakrát a jako výsledek uvedeme průměr obou měření.

## Stanovení objemové hmotnosti vážením na hydrostatických vahách

- ČSN EN 1097 - 6
- Podstata zkoušky je založena na Archimédově zákoně, tj. na rozdílu hmotností vzorku váženého na vzduchu a ponořeného v kapalině.

Horní mez frakce kameniva [mm]	Nejmenší hmotnost dílčí navážky [kg]
63	15
45	7

### Zkušební postup

- Zkušební vzorek se promyje na sítích 63mm a 31,5mm, aby se odstranily jemné částice a vzorek se nechá oschnout.
- Připravená zkušební navážka se vloží do drátěného koše a ponoří se pod hladinu alespoň o 50mm do nádoby s vodou o teplotě 22°C.
- Odstraní se vzduchové bublinky ze vzorku vyzdvižením koše 25mm ode dna nádoby a koš se nechá 25krát spadnout na dno při rychlosti jednoho zdvihu za sekundu.
- Koš s kamenivem se nechá zcela ponořený ve vodě 24hodin.
- Koš se vzorkem se protřepe a zváží ve vodě **M2**
- Koš s kamenivem se vyjme z vody, kamenivo se opatrně vyjme z koše na suchou utěrku.
- Prázdný koš se opět ponoří do vody, 25krát protřepe a zváží ve vodě **M3**

- Kamenivo se nechá proschnout až zmizí na povrchu vodní film, ale zrna jsou stále vlhká a zváží se **M<sub>1</sub>**
- Kamenivo se vloží do sušárny o teplotě 110±5°C na tak dlouho až se dosáhne ustálené hmotnosti **M<sub>4</sub>**
- Všechna vážení se zaznamenají s přesností 0,1% hmotnosti zkušební navážky.
- **Objemová hmotnost zrn po vysušení v sušárně [Mg/m<sup>3</sup>]**

$$\rho_{ps} = \rho_w \cdot \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

- **Objemová hmotnost zrn vodou nasycených a povrchově osušených [Mg/m³]**

$$\rho_{ps} = \rho_w \cdot \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

- Vypočítá se nasákavost [%] po ponoření do vody na 24 hodin:

$$WA_{24} = \frac{100 \cdot (M_1 - M_4)}{M_4}$$

Kde:

$M_1$  hmotnost vodou nasyceného a povrchově osušeného kameniva [g]

$M_2$  hmotnost vzorku nasyceného kameniva ponořeného ve vodě v koši [g]

$M_3$  hmotnost prázdného koše ve vodě [g]

$M_4$  hmotnost zkušební navážky na vzduchu vysušené v sušárně [g]

$\rho_w$  hustota vody

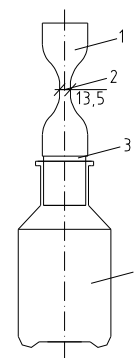
- Hodnoty objemové hmotnosti zrn se zaokrouhlí na 0,01 Mg/m³
- Nasákavost se zaokrouhlí na 0,1%

## Stanovení objemové hmotnosti metoda Pyknometrická

- ČSN EN 1097 - 6
- Příprava dílčích navážek

Horní mez frakce kameniva [mm]	Nejmenší hmotnost dílčí navážky [kg]
31,5	1,5
16	1,0
8	0,5
4 (nebo menší)	0,25

## • pyknometr



- 1 Skleněná nádoba,
- 2 Ryska,
- 3 Zárub, který odpovídá širokému hrdlu baňky,
- 4 Baňka se širokým hrdlem a plochým dnem.

## Pracovní postup

- Vzorek se umístí do nádoby a přidá se voda, tak aby byl vzorek zcela ponořen.
- Vzorek se ponechá ve vodě po dobu 24 hod.
- Následně se odlije voda a vzorek se povrchově osuší.
- Vzorek kameniva se vyjme z nádoby a rozloží na suchou tkaninu, jednotlivá zrna kameniva se povrchově osuší. Následně se zjistí hmotnost vzorku  $m_a$ .
- Vzorek usušeného kameniva se vloží do pyknometru a naplní se vodou.
- Kamenivo v pyknometru se promíchá, aby se odstranily vzduchové bubliny mezi jednotlivými zrny.
- Pyknometr se doplní vodou až po rysku, osuší se a zjistí se hmotnost  $m_b$  pyknometru s vodou a vzorkem.  
  
Obsah pyknometru se vyjme, zaplní se vodou až po vyznačenou rysku. Zvážením pyknometru naplněného vodou se získá veličina  $m_c$ .
- Objemová hmotnost vysušeného vzorku – vzorek se vloží na 24 hod do sušárny o teplotě  $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ . Po vysušení se vzorek znovu zváží  $m_d$ .

## Výpočet a vyjádření výsledků

- Objemová hmotnost nasyceného povrchově osušeného vzorku  $\rho_{ps}$  v  $\text{Mg/m}^3$  se vypočítá ze vztahu:

$$\rho_{ps} = \frac{m_a}{m_a - (m_b - m_c)} \cdot \rho_w$$

- Objemová hmotnost vysušeného vzorku  $\rho_{po}$  v  $\text{Mg/m}^3$  se vypočítá ze vztahu:

$$\rho_{po} = \frac{m_d}{m_a - (m_b - m_c)} \cdot \rho_w$$

kde:  $m_a$  je hmotnost nasyceného povrchově osušeného vzorku [g],  
 $m_b$  je celková hmotnost pyknometru, kameniva a vody [g],  
 $m_c$  je celková hmotnost pyknometru s vodou [g],  
 $m_d$  je hmotnost vysušeného vzorku [g],  
 $\rho_w$  je hustota vody [ $\text{Mg/m}^3$ ].

Hodnoty objemové hmotnosti předem vysušených zrn se vyjádří s přesností na nejbližší  $0,01 \text{ Mg/m}^3$ .

Objemová hmotnost kameniva se stanoví z výsledků dvou dílčích navážek, výsledná hodnoty se zaokrouhlí s přesností na  $0,01 \text{ Mg/m}^3$ .

## 3. Stanovení sypné hmotnosti – volně sypaného kameniva

### ČSN EN 1097 – 3

#### • Příprava dílčích navážek

Horní zrno kameniva <b>D</b> [mm]	Objem [l]
do 4	1,0
do 16	5,0
do 31,5	10,0
do 63	20,0



### Příprava dílčích navážek

- Hmotnost vzorků se určuje dle maximální velikosti kameniva
- Vzorek se vysuší při teplotě  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  do ustálené hmotnosti.

### Zkušební postup

- Zjistí se hmotnost prázdné, suché nádoby  $m_1$ , nádoba se přeplní kamenivem pomocí lopatky, která však nesmí být výše než 50 mm nad horním okrajem plněné nádoby.
- Opatrně se srovnávací lištou odstraní převršené kamenivo, při této operaci nesmí dojít ke zhutnění povrchu kameniva. Pokud povrch kameniva není pravidelný, zarovnáme ho ručně tak, aby kamenivo pokud možno vyplňovalo objem nádoby.
- Zváží se naplněná nádoba a zaznamená se její hmotnost na 0,1 %  $m_2$ .

### Výpočet a vyjádření výsledků

Sypná hmotnost **volně sypaného** kameniva  $\rho_b$  v  $\text{Mg/m}^3$  se vypočítá:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

kde:  $m_2$  je hmotnost nádoby se zkušební navážkou [kg],

$m_1$  je hmotnost prázdné nádoby [kg],

$V$  je objem nádoby v [l],

$\rho_b$  je sypná hmotnost volně sypaného kameniva [ $\text{Mg/m}^3$ ].

Hodnoty objemové hmotnosti předem vysušených zrn se vyjádří s přesností na nejbližší 0,01  $\text{Mg/m}^3$ .

Objemová hmotnost předem vysušených zrn se stanoví průměrem výsledků dvou dílčích navážek, výsledek se vyjadřuje s přesností na 0,01  $\text{Mg/m}^3$ .

## Mezerovitost kameniva $v$ volně sypaného

**Mezerovitost  $v$**  v % se vypočítá dle vzorce:

$$v = \left( 1 - \frac{\rho_b}{\rho_{ps}} \right) \cdot 100$$

kde:  $v$  je mezerovitost v [%],  
 $\rho_b$  sypná hmotnost volně sypaného kameniva [ $\text{Mg/m}^3$ ],  
 $\rho_{ps}$  objemová hmotnost [ $\text{Mg/m}^3$ ].

## Stanovení sypné hmotnosti - setřeseného kameniva

### Zkušební postup

Zjistí se hmotnost prázdné, suché nádoby  $m_1$ , nádoba se plní pomocí lopatky kamenivem.

- Nádoba s kamenivem se umístí na vibrační stůl, který se uvede do provozu. Zároveň se do nádoby doplňuje kamenivo, dokud povrch kameniva není v úrovni okraje plněné nádoby.
- Pokud povrch kameniva není pravidelný zarovnáme ho ručně tak, aby kamenivo zcela vyplňovalo objem nádoby.
- Zváží se nádoba vyplněná kamenivem a zaznamená se její hmotnost na 0,1 %  $m_2$ .

### Výpočet a vyjádření výsledků

Sypná hmotnost setřeseného kameniva  $\rho_s$  v  $\text{Mg/m}^3$  se vypočítá:

$$\rho_s = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

kde:  $m_2$  je hmotnost nádoby se zkušební navážkou [kg],

$m_1$  je hmotnost prázdné nádoby [kg],

$V$  je objem nádoby v [l],

$\rho_s$  je sypná hmotnost zhuštěného kameniva [ $\text{Mg/m}^3$ ].

Hodnoty objemové hmotnosti zrn předem vysušených se vyjádří s přesností na nejbližší 0,01  $\text{Mg/m}^3$ .

Objemová hmotnost zrn předem vysušených je průměrem výsledků dvou dílčích navážek, zaokrouhlena na 0,01  $\text{Mg/m}^3$ .

## Mezerovitost kameniva $v$ setřeseného

**Mezerovitost  $v_s$**  v % se vypočítá dle vzorce:

$$v_s = \left( 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{ps}} \right) \cdot 100$$

kde:  $v$  je mezerovitost v [%],

$\rho_s$  sypná hmotnost setřeseného kameniva [ $\text{Mg/m}^3$ ],

$\rho_{ps}$  objemová hmotnost [ $\text{Mg/m}^3$ ].

## 4.

### Stanovení vlhkosti kameniva

#### Příprava zkušební navážky

Vypočítá se nejmenší hmotnost zkušební navážky z hodnoty velikosti horního síta  $D$  [mm].

jestliže  $D \geq 1,0$  mm, nejmenší hmotnost v kg musí být 0,2.D,

jestliže  $D < 1,0$  mm, nejmenší hmotnost musí být 0,2 kg.

#### Zkušební postup

- Zjistí se hmotnost prázdné a čisté nádoby  $M_2$ .
- Zkušební navážka se rovnoměrně rozprostře na dně nádoby.
- Zvážení nádoby a zkušební navážky s původní vlhkostí se získá veličina  $M_1$ .
- Odečtením veličin ( $M_1 - M_2$ ) se získá skutečná hmotnost vlhké navážky.
- Nádobu se vloží do sušárny o teplotě ( $110 \pm 5$ ) °C. Sušení se provádí do ustálené hmotnosti.
- Následně se v exsikátoru stanovuje zda má navážka ustálenou hmotnost.
- Navážka, která má ustálenou hmotnost se zaznamená jako veličina  $M_3$ .

### Výpočet a vyjádření výsledků

Hodnota vlhkosti  $w$  je hmotnost vody ve zkušební navážce vyjádřena jako procento hmotnosti vysušené zkušební navážky.

Vlhkost  $w$  se vypočítá dle následujícího vztahu v %:

$$w = \frac{M_1 - M_3}{M_3} \cdot 100$$

kde:  $M_1$  je hmotnost zkušební navážky [g],

$M_3$  je ustálená hmotnost vysušené zkušební navážky [g].

Výsledek se zaokrouhlí na nejbližší 0,1 %.

5.

## Metody stanovení odolnosti proti drcení metodou otlukového bubnu – Los Angeles

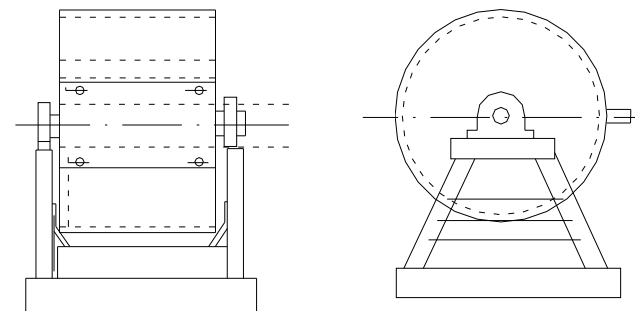
### ČSN EN 1097 – 2

#### Definice

- Podstatou zkoušky je drcení kameniva ocelovými koulemi v rotujícím bubnu.
- Výsledek zkoušky se udává jako součinitel Los Angeles.
- Součinitel Los Angeles je procentní podíl zkušební navážky, který propadl sítím 1,6 mm po ukončení zkoušky.

#### Zkušební zařízení

Otlukový buben pro zkoušku Los Angeles



#### Zkušební zařízení

- 11 ocelových koulí o průměru 45 a 49 mm s hmotností 400 až 445 g. Celková hmotnost všech koulí je mezi 4 690 a 4 860 g.
- Zkušební sadu sít.
- Váhy s přesností 0,1 % hmotnosti navážky.
- Sušárna s cirkulací vzduchu udržující teplotu  $110 \pm 5$  °C.
- Pomocný materiál (misky, štětce, prachovky).

#### Zkušební postup

- Do otlukového bubnu se vloží v následujícím pořadí: ocelové koule, zkušební navážka.
- Zkušební zařízení se uvede do provozu. Po 500 otáčkách (rychlostí 31 – 33 otáček za minutu) se buben zastaví.
- Vybírací otvor zařízení musí být natočen tak, aby při odběru zkoušeného vzorku nedocházelo ke ztrátám navážky. Při odběru vzorku se klade velký důraz na odběr jemných částic, které se mohou zadržet v přepážkách zkušebního zařízení.

## Výpočet a vyjádření výsledků

- Stanoví se křivka zrnitosti a velikost zbytku na síť 1,6 mm, která se zaznamená jako hodnota **m** [mm]. Součinitel Los Angeles **LA**[%] se vypočítá ze vzorce:

$$LA = \frac{5000 - m}{50}$$

- Výsledek se zaokrouhlí na celé číslo.

## Zkoušení geometrických vlastností kameniva

## Stanovení zrnitosti – síťový rozbor

**ČSN EN 933-1**

### Příprava zkušební navážky

Pro cvičení se připraví navážka cca 2000 g **M<sub>1</sub>**.

Velikost zrna kameniva <b>D</b> (největší) [mm]	Hmotnost zkušební navážky (nejmenší) [kg]
63	40
32	10
16	2,6
8	0,6
< 4	0,2

### Zkušební postup

Praní – obsah jemných částic

- Zkušební navážka se vloží do nádoby a přidá se dostatečné množství vody tak, aby kamenivo bylo zcela pod vodou.
- Vzorek se promíchá.
- Síto o velikosti ok 0,063 mm se navlhčí z obou stran a na toto síto se nasadí odlehčovací síta o velikosti ok 1 nebo 2 mm. Vzorek se sype na horní síto a promývá se vodou tak dlouho, dokud neodtéká čirá voda.
- Zůstatek nad sítím o velikosti ok 0,063 se vysuší při (110±5) °C do ustálené hmotnosti. Nechá se vychladnout, zváží se a zaznamená hmotnost **M<sub>2</sub>**.

### Prosévání

- Propraný a vysušený materiál se nasype na síta, která jsou sestavena do sloupce. Síta budou sestavena od nejmenších otvorů po největší (0,063; 0,125; 0,250; 0,500; 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63 mm). Horní síto se opatří víkem a pod dolním sítem dnem.
- Navážka kameniva se po dávkách nasype na horní síto, uzavře se víkem a upevní se přitlačnou deskou prosévacího přístroje.
- Sítovací zařízení mechanicky otřásá sloupcem sít.
- Po ukončení zkušebního cyklu se postupně odebírají jednotlivá síta a ručně se dokončí prosévání.
- Aby se zabránilo přetížení sít, množství materiálu na každém sítě v g po ukončení prosévání nesmí být větší než:

$$\frac{A \cdot \sqrt{d}}{200}$$

- kde: A plocha síta [mm<sup>2</sup>],  
d velikost otvoru síta [mm].

### Vážení

- Zváží se zůstatek na sítě s největšími otvory a zaznamená se jeho hmotnost **R<sub>1</sub>**. Pokračuje se podobným způsobem s následujícími síty. Hmotnost navážky zachycené na sítech se do protokolu zaznamenají jako dílčí hmotnosti **R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>,..., R<sub>i</sub>**.
- Částice propadlé sítem 0,063 mm na dno zkušebního sloupce sít se označuje jako propad **P**.

### Výpočty a vyjádření výsledků

- Jednotlivé zůstatky na sítech se vyjádří v procentech k původní hmotnosti navážky **M<sub>1</sub>**.
- Následně se sečtou všechna procentuelní zastoupení na sítech a výsledná hodnota se porovná s původní propranou navážkou.

Vypočítá se procento jemných částic **f**, které propadly sítem 0,063 dle vztahu:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \cdot 100$$

- kde: **M<sub>1</sub>** je hmotnost vysušené zkušební navážky [kg],  
**M<sub>2</sub>** je hmotnost proprané a vysuš. navážky nad sítem 0,063 mm [kg],  
**P** je hmotnost propadu jemných částic na dně po sítovém rozboru [kg]

Jestliže součet hmotnosti **R<sub>i</sub>** a **P** se liší o více než 1 % od hmotnosti **M<sub>2</sub>**, zkouška se musí opakovat.

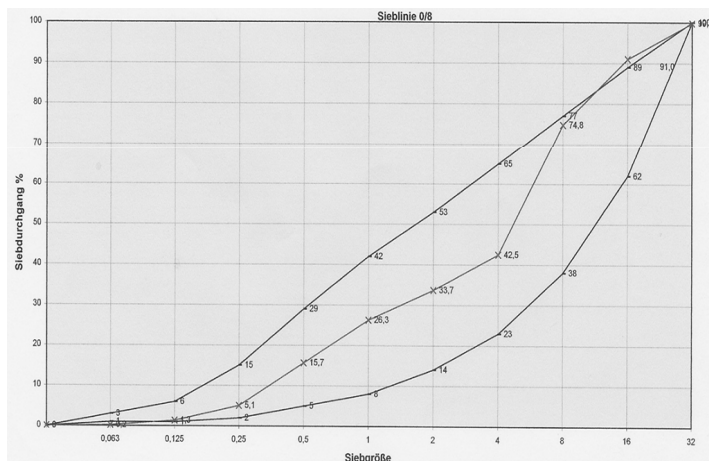
Číselné hodnoty se znázorní graficky vynesáním křivky zrnitosti.

## Stanovení zrnitosti – sítový rozbor

Otvor síta [mm]	Hmotnost zbytku R <sub>i</sub> [g]	Procenta zbytku R <sub>i</sub> / M <sub>1</sub> x 100 [%]	Hmotnost propadu [g]	Součet procent. Propadu 100 - (R <sub>i</sub> / M <sub>1</sub> x 100) [%]
31,5				
22,4				
16				
11,2				
8				
4				
2				
1				
0,5				
0,25				
0,125				
0,063				
p (zbytek na dně)				
f (%)		Procento jemných částic f = K + p / M <sub>1</sub> * 100		
Vysušená hmotnost po odplavení M <sub>2</sub>			K (M <sub>1</sub> - M <sub>2</sub> )	
Celková vysušená hmotnost M <sub>1</sub>				

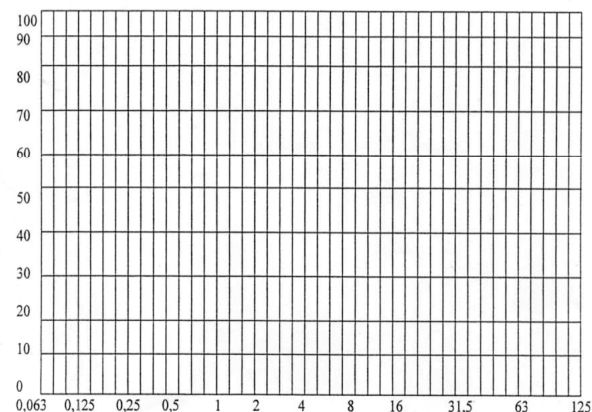
## Stanovení zrnitosti – Křivka zrnitosti

**Křivka zrnitosti** – je součtová čára, jejíž každý bod udává, kolik procent z celkové hmotnosti vzorku činí hmotnost všech zrn menších než určitý průměr zrna.



## Stanovení zrnitosti – Křivka zrnitosti

Grafické vyjádření výsledků (čára zrnitosti)



## Výpočet ideální křivky zrnitosti

O výpočet **ideální křivky** zrnitosti se pokoušeli různí autoři. Někteří doporučují pro dosažení minimální mezerovitosti křivku i **plynulou**, jiní křivku **přetržitou** (taková při které je vynechána určitá frakce).

Lze ji vyjádřit :

- matematicky (Fuller, Hummel, Bolomey, EMP)
- čarou zrnitosti

## Výpočet ideální křivky zrnitosti

1. Fuller

$$y_F = \left( \frac{d}{D_{\max}} \right)^{nF} \cdot 100$$

$$y_4 = \left( \frac{d_4}{D_{\max}} \right)^{0.5} \cdot 100 = \sqrt{\frac{4}{16}} \cdot 100 = 50\% \quad \text{frakce 0-4mm} \quad 50\%$$

$$y_8 = \left( \frac{d_8}{D_{\max}} \right)^{0.5} \cdot 100 = \sqrt{\frac{8}{16}} \cdot 100 = 70,7\% \quad \text{frakce 4-8mm} \quad 20,7\%$$

$$y_{16} = \left( \frac{d_{16}}{D_{\max}} \right)^{0.5} \cdot 100 = \sqrt{\frac{16}{16}} \cdot 100 = 100\% \quad \text{frakce 8-16mm} \quad 29,3\%$$

# Výpočet ideální křivky zrnitosti

2. Bolomey

$$y_B = \left( A + (100 - A) \cdot \sqrt{\frac{d}{D_{\max}}} \right) \cdot 100$$

3. EMPA

$$y_E = 50 \left( \frac{d}{D_{\max}} + \sqrt{\frac{d}{D_{\max}}} \right) \cdot 100$$

4. Hummel

$$y_H = \left( \frac{d}{D_{\max}} \right)^{n_H} \cdot 100$$

# Výpočet ideální křivky zrnitosti

Kde:

$n_F$

exponent  $n_F=0,5$

$n_H$

exponent  $n_F=0,4$  pro těžené kamenivo a  $n_F=0,3$  pro drcené kamenivo

$D_{\max}$

maximální zrna kameniva

$Y$

váhové % celkového propadu sítím s čtvercovými otvory o hraně  $d$  mm

$A$

konstanta dle konzistence a typu kameniva

konzistence	zavhlá	Málo měkká	měkká	Velmi měkká	tekutá
Kamenivo těžené	4	6	8	10	12
Kamenivo drcené	6	8	10	12	14

## Stanovení tvaru zrn – Index plochosti

ČSN EN 933-3

- Určuje se u zrn větších než 4 mm a menších než 80 mm.
- Určuje se jak u těžného kameniva tak u drcného kameniva.

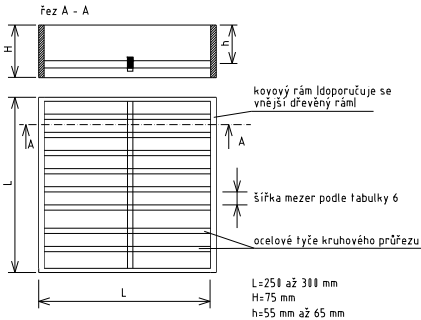
### Podstata zkoušky

- Zkouška se skládá ze dvou prosévacích operací. V první se vzorek roztřídí na jednotlivé frakce podle tabulky. Následně se každá frakce prosévá na tyčových sítích, které mají rovnoběžné mezery.
- Celkový index plochosti se vypočítá z celkové hmotnosti zrn propadlých na tyčových sítích a vyjádří se jako procento z celkové vysušené hmotnosti zkoušených zrn.
- Pokud se požaduje index plochosti každé roztříděné frakce, pak se výsledná hodnota vypočítá z hmotnosti zrn propadlých příslušným tyčovým sítím a vyjádří se jako procento hmotnosti příslušné frakce.

## Stanovení tvaru zrn – Index plochosti

### Zkušební zařízení

- Zkušební síta se čtvercovými otvory: 80 mm; 63 mm; 50 mm; 40 mm; 31,5 mm; 25 mm; 16 mm; 12,5 mm; 10 mm; 8 mm; 6,3 mm; 5 mm a 4 mm.
- Odpovídající tyčová síta. Mezní odchylky jsou zaznačeny v tabulce.



## Stanovení tvaru zrn – Index plochosti

### Příprava zkušební navážky

- Zkušební navážka se vysuší při teplotě  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  do ustálené hmotnosti. Po ustálení se zváží a zaznamená jako hmotnost **Mo**.

### Zkušební postup

- Prosévání na zkušebních sítích
- Zkušební navážka se proseje na zkušebních sítích (viz. tabulka).
- Zváží se a odloží zrna, která propadla sítím 4 mm a zůstala na síti 80 mm.
- Prosévání na tyčových sítích
- Každá frakce se proseje na odpovídajícím tyčovém síti dle tabulky. Prosévání se provádí ručně.
- Zváží se materiál z každé frakce, který propadl tyčovým sítím.

## Stanovení tvaru zrn – Index plochosti

Frakce kameniva $d/D_i$ [mm]	Šířka mezery tyčového síta [mm]
63/80	$40 \pm 0,3$
50/63	$31,5 \pm 0,3$
40/50	$25 \pm 0,2$
31,5/40	$20 \pm 0,2$
25/31,5	$16 \pm 0,2$
20/25	$12,5 \pm 0,2$
16/20	$10 \pm 0,1$
12,5/16	$8 \pm 0,1$
10/12,5	$6,3 \pm 0,1$
8/10	$5 \pm 0,1$
6,3/8	$4 \pm 0,1$
5/6,3	$3,15 \pm 0,1$
4/5	$2,5 \pm 0,1$

## Stanovení tvaru zrn – Index plochosti

### Výpočet a vyjádření výsledků

- Vypočítá se součet hmotnostní frakcí, které propadly sítím **M1**.
- Vypočítá se součet hmotností částic v každé frakci, které propadly odpovídajícím tyčovým sítím **M2**.
- Souhrnný index plochosti **FI** se vypočítá:

$$FI = \left( \frac{M_2}{M_1} \right) \cdot 100$$

- kde: M1 je součet hmotností zrn v každé frakci [g],  
M2 je součet hmotností zrn v každé frakci, která propadla odpovídajícím tyčovým sítím (tabulka) [g].

Index plochosti FI se zaokrouhlí na celé číslo

## Stanovení tvaru zrn – Index plochosti

- Index plochosti **Fli** pro každou frakci zvlášť se vypočítá:

$$FI_i = \left( \frac{m_i}{R_i} \right) \cdot 100$$

- kde: Ri je hmotnost každé frakce [g],  
mi je hmotnost materiálu v každé frakci, který propadl odpovídajícím tyčovým sítím (tabulka) [g].



## Stanovení tvaru zrn – Tvarový index

ČSN EN 933-4

### Podstata zkoušky

- Jednotlivá zrna jsou roztříděna na základě poměru jejich délky **L** k tloušťce **E** pomocí dvoučelistového posuvného měřítka.
- Tvarový index se vypočítá jako hmotnostní podíl zrn, jejich poměr rozměrů **L/E** je větší než 3 a vyjádří se jako procento k celkové hmotnosti zkoušených zrn.

### Příprava zkušební navážky

- Vzorek se vysuší při teplotě  $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ .

Horní velikost zrna <b>D</b> [mm]	Hmotnost zkušební navážky (nejmenší) [kg]
63	45
32	6
16	1
8	0,1

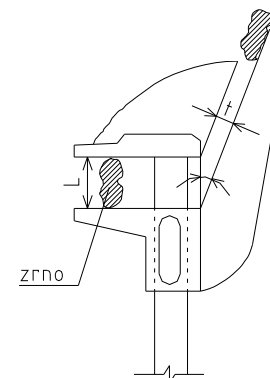
## Stanovení tvaru zrn – Tvarový index

### Zkušební postup

- Zkušební navážka se proseje na příslušných sítích.
- Ponechají se jen ta zrna, která odpovídají příslušné frakci kameniva a zváží se **M1**.
- Pomocí dvoučelistového posuvného měřítka se u jednotlivých zrn zjistí délka **L** a tloušťka **E**. Zrna, která mají poměr **L/E** > **3** se nazývají nekubická.
- Zváží se zrna nekubického tvaru a zaznamená se hmotnost jako **M2**

## Stanovení tvaru zrn – Tvarový index

Posuvné dvoučelistové měřidlo



# Stanovení tvaru zrn – Tvarový index

## Výpočty a vyjádření výsledků

Tvarový index **SI** se vypočítá podle vztahu:

$$SI = \left( \frac{M_2}{M_1} \right) \cdot 100$$

kde: M1 je hmotnost zkušební navážky [g],  
M2 je hmotnost nekubických zrn [g].

Zaznamenaná se tvarový index, zaokrouhlený na celé číslo.

## Další zkoušky kameniva

## Zkouška humusovitosti kameniva

ČSN 72 1177

Tato zkouška informativně zjišťuje **přítomnost humusovitých látek**, které škodlivě působí při tvrdnutí cementu. Jejím účelem je posoudit, zda lze kamenivo použít do betonu, nebo malty bez obavy, že se v něm vyskytují humusovité látky ve škodlivé míře.

**Drobná frakce se vyluhuje roztokem hydroxidu sodného NaOH, který rozpouští humusovité látky. Tyto látky se zbarvují žlutě až tmavě hnědě**

## Zkouška humusovitosti kameniva

### Postup zkoušky:

- Do odměrného válce se volně nasype zkušební vzorek 130 ml a válec se doplní do 200 ml roztokem hydroxidu sodného.
- Důkladně se protřepe, válec se nechá 4 hod. stát a po opětovém protřepání se nechá stát dalších 20 hod. v klidu.
- Po celých 24 hod. se válec uchovává pokrytý krycím sklem při teplotě místnosti, na místě nevystaveném přímému slunečnímu světlu.
- K přípravě barevného etanolu se do odměrného válce odpipetuje 5 ml roztoku titanu a do 200 ml se doplní roztokem hydroxidu sodného, protřepe se pokryje krycím sklem a nechá 24 hod v klidu.
- Po 24 hod po přidání roztoku hydroxidu sodného ke kamenivu se zrakem posuzuje zbarvení roztoku nad kamenivem.

## Zkouška humusovitosti kameniva

### Vyjádření výsledků

- a) Při porovnání s barevným etanolem se pozoruje, zda roztok nad kamenivem je světlejší či tmavší než etanol.
- b) Při posuzování podle barevné stupnice se zbarvení roztoku nad kamenivem vyjadřuje takto :

A – bezbarvý nebo světle žlutý,  
B – sytě žlutý,  
C – žlutočervený,  
D – světle hnědočervený ( světle hnědý),  
E - tmavě hnědočervený ( tmavě hnědý).

Za rozhraní mezi zbarvením B a C se považuje zbarvení etanolu. Je-li roztok nad kamenivem *tmavší* než *etanol*, respektive *tmavší* než *sytě žlutý*, je kamenivo podezřelé z obsahu humusovitých látek ve škodlivém množství

## Stanovení trvanlivosti kameniva

Trvanlivost hmoty zrn **hrubého** kameniva se posuzuje podle výsledků urychlené zkoušky **síranem sodným**, při níž se úzká frakce střídavě **nasakuje roztokem síranu sodného a vysušuje**.

Hydratací síranu sodného ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) se jeho krystalky rozpínají a způsobují tak rozrušení zrn kameniva.

## Stanovení trvanlivosti kameniva

### Zkušební cyklus:

- Navážka frakce, nasáklá roztokem síranu sodného, se vsype na misku, **suší se 4 hodiny** při  $t = 105 - 110\text{ }^{\circ}\text{C}$  a nechá zchladnout na teplotu místnosti.
- Vysušená navážka se opět nechá **nasáknout** roztokem síranu sodného po dobu **nejméně 16 hodin**.
- Jednotlivé **skupiny cyklů končí** po 3,5 a každém dalším 5-tém cyklu, počítáno od začátku zkoušky.
- Po ukončení obou zkoušek navážku promyjeme čistou vodou, vysušíme a prosejeme příslušným mezním sítem frakce a zbytek na sítu zvážíme.

## Stanovení trvanlivosti kameniva

Výsledkem zkoušky je:

- a) **stupeň trvanlivosti  $T_n$**  – což je nejvyšší **počet cyklů  $n$** , při kterém úbytek hmotnosti zrn nepřekročil ustanovenou mez.
- b) Výrok, zda kamenivo (frakce) při zkoušce vyhovělo či nevyhovělo požadovanému stupni trvanlivosti  **$T_n$** , což se posoudí podle výsledného **úbytku hmotnosti** zrn po předepsaném počtu  **$n$**  zkušebních cyklů.

## Stanovení trvanlivosti kameniva

Úbytek hmotnosti v [%]:

$$Q_{tm} = \frac{m_1 - m_2}{m_1}$$

Kde  $m_1$  hmotnost navážky před zkouškou [g]  
 $m_2$  hmotnost zbytku na síti po a zkušebních cyklech [g]

## Stanovení odolnosti kameniva proti mrazu

### Princip zkoušky

- Zkouška je určena pro hutné kamenivo.
- Zjišťuje se obdobným způsobem jako trvanlivost, kamenivo je však nasáklé vodou.
- Zmrazovací zkouška se skládá z několika po sobě následujících skupin zkušebních cyklů.
- Úzká frakce kameniva, která je **nasáklá vodou**, se střídavě zmrazuje na vzduchu při **teplotě  $-20^{\circ}\text{C}$**  a **rozmrazuje** ve vodě při **teplotě  $+20^{\circ}\text{C}$** .
- Po určitém počtu zkušebních cyklů (15, 25 a po každých 25 nebo 50 cyklech, počítáno od začátku zkoušky) se zjišťuje rozsah porušení zrn a to těmito způsoby:

## Stanovení odolnosti kameniva proti mrazu

- Navážka se prohlédne (vzhled zrn)
- Navážka se vysuší a prosévá se **dolním mezním sítím frakce**, kterým byla vyříděna navážka při přípravě ke zkoušce.

Zbytky na sítu se zváží a určí hmotnosti zrn v [%] dle vztahu:

$$Q_{mn} = \frac{m_1 - m_2}{m_1}$$

Kde  
 $m_1$  hmotnost navážky před zkouškou [g]  
 $m_2$  hmotnost zbytku na síti po  $n$  zkušebních cyklech [g]

## Stanovení odolnosti kameniva proti mrazu

- Po každé skupině cyklů (popř. jen na závěr celého zkušebního cyklu) se zjistí a zaznamená charakter zrn – trhliny, odštěpky, snadno jehlou porušitelná místa, drobení hran, rohů, ploch apod. U hrubších frakcí též změna počtu zrn proti výchozímu stavu.

### Výsledek zkoušky:

- stupeň mrazuvzdornosti  $M_n$**  – což je nejvyšší zjištěný počet cyklů, při němž výsledný úbytek hmotnosti zrn ještě nepřekročil ustavenou mez.
- Výrok, zda kamenivo (frakce) při zkoušce vyhovělo či nevyhovělo požadovanému stupni mrazuvzdornosti  $M_n$ , což se posoudí podle výsledného úbytku hmotnosti zrn po předepsaném počtu  $n$  zkušebních cyklů)