

## Cvičení č. 1 - Základní materiálové parametry porézních stavebních materiálů

Materiály můžeme dle různých kritérií, např. vlastností, převažující funkce, chemického složení atd., dělit na základní skupiny:

1) anorganické materiály – kovové

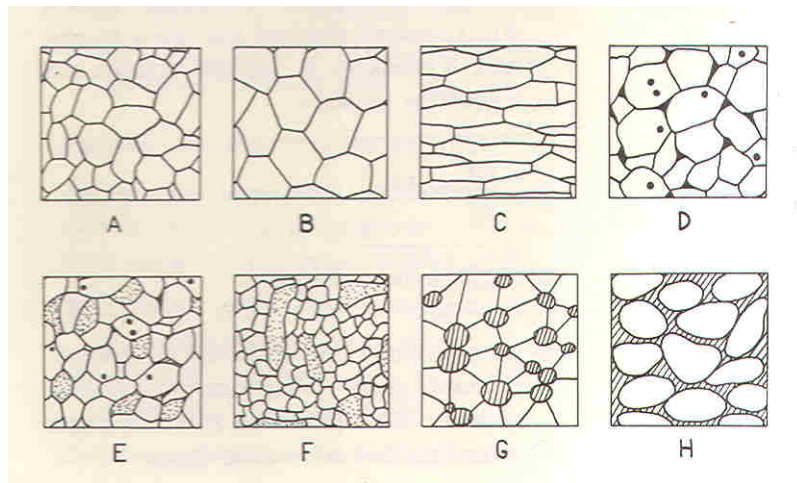
nekovové (keramika, sklo, anorganická pojiva, povrchové povlaky, monokrystaly)

2) organické materiály – paliva, plasty, papír

3) kompozitní materiály – matrice s výztuží (kombinace nejméně dvou různých materiálů); sklokeramika, železobeton, sklocement

Podle úrovně sledování rozlišujeme texturu a strukturu materiálu. Textura popisuje vzájemné prostorové uspořádání částic a pórů na makroskopické úrovni (od 0,1 mm). Struktura charakterizuje druh a skladbu jednotlivých fází látek bez ohledu na prostorové uspořádání na mikroskopické úrovni ( $<1\mu\text{m}$ ).

Obr. 1 Idealizované mikrostruktury.



A) polykrystalická s různě velkými zrny, B) polykrystalická s prakticky stejně velkými zrny, C) polykrystalická s orientovanými zrny (mikrotextura), D) mikrostruktura s malými póry, E) mikrostruktura s póry velikosti zrna, F) mikrostruktura s velkými póry, G) mikrostruktura o dvou fázích, krystalické a skelné (čárkovaná), H) mikrostruktura o dvou fázích, přičemž krystalická nemá přímou vazbu.

Struktura látek je určena základními geometrickými charakteristikami a to objemem (pórovitost), rozměrem, distribucí a tvarem pórů a měrným povrchem. Tvar pórů může být otevřený, otevřený spojitý (beton, cihly, pórobeton) a uzavřený (nenasákavé, slinutý keramický střep, polystyren).

Obr. 2 Rozdíl mezi strukturou a mikrostrukturou.

Vnitřní struktura	Mikrostruktura				
Uspořádání tuhých látek					
<p>homogenních, z</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- atomů</li> <li>- iontů</li> <li>- molekul</li> </ul> <p style="text-align: center;">Velikost <math>&lt; 10^{-9}</math> m</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">Pravidelné Krystalické</td> <td style="width: 50%; border: none;">Nepřavidelné Amorfní</td> </tr> </table>	Pravidelné Krystalické	Nepřavidelné Amorfní	<p>heterogenních, ze</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- zrn téhož složení (těže vnitřní struktury)</li> <li>- zrn různého složení (různé vnitřní struktury)</li> </ul> <p>za přítomnosti, nebo bez přítomnosti pórů</p> <p style="text-align: center;">Velikost <math>&gt; 10^{-9}</math> m</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">Neorientované</td> <td style="width: 50%; border: none;">Orientované Mikrotextura</td> </tr> </table>	Neorientované	Orientované Mikrotextura
Pravidelné Krystalické	Nepřavidelné Amorfní				
Neorientované	Orientované Mikrotextura				

Pronikání kapaliny do otevřených pórů různé velikosti lze vypočítat dle rovnice

$$r = \frac{2\gamma}{p \cos \Theta} \Rightarrow r_{Hg} = \frac{1,227}{p} \Rightarrow r_{H_2O} = \frac{0,146}{p},$$

kde  $p$  je tlak kapaliny [Pa],  $\Theta$  je úhel smáčení [°], voda 0°, rtuť 140°,  $\gamma$  je povrchové napětí [ $Nm^{-1}$ ], voda 0,073  $N m^{-1}$ , rtuť 0,47  $N m^{-1}$ .

Póry nejsou jednoduché kapiláry, ale jejich tvar je složitý a proměnlivý. Proto se pórovitost materiálu popisuje pomocí distribuce pórů, což je funkce stanovující velikost a rozdělení pórů. Pro její určení se používají různé metody, např. porozimetre rtuťová či sorpce plynů, elektronová či optická mikroskopie, nasávání či vytěšňování kapalin. Pórovitost popisuje také měrný povrch, který se může stanovit provzdušňovací metodou, nebo adsorpcí dusíku metodou BET.

Celkovou pórovitost materiálu můžeme vypočítat dle rovnice

$$P_c = 100 * \left(1 - \frac{\rho_v}{\rho_{mat}}\right) [\%],$$

kde  $\rho_v$  je objemová hmotnost látky [ $kg m^{-3}$ ] a  $\rho_{mat}$  je hustota matrice [ $kg m^{-3}$ ].

Nejjednodušší metodou, jak zjistit základní materiálové charakteristiky, je **metoda gravimetrická**. Ze změřených rozměrů daného vzorku a jeho hmotnosti lze vypočítat objemovou hmotnost materiálu.

$$\rho_v = \frac{m_s}{V} \quad [\text{kg m}^{-3}].$$

Hodnotu obsahu nasycené vlhkosti lze spolu s dalšími materiálovými parametry získat **měřením vakuové nasákavosti** daného vzorku. Z hmotnosti suchého vzorku  $m_s$ , hmotnosti vodou nasyceného vzorku  $m_v$  a hmotnosti ponořeného vodou nasyceného vzorku, tzv. Archimédovy hmotnosti  $m_a$ , se vypočítá objem vzorku dle rovnice

$$V = \frac{m_v - m_a}{\rho_l} \quad [\text{kg m}^{-3}],$$

kde  $\rho_l$  je hustota kapaliny (vody).

Základní vlastnosti, jako jsou obsah nasycené vlhkosti  $w_c$  a hustota materiálu  $\rho_{mat}$  se určují z následujících rovnic

$$w_c = \psi_0 \rho_v = \frac{m_v - m_s}{V} \quad [\text{kg m}^{-3}],$$

$$\rho_{mat} = \frac{m_d}{V(1 - \psi_0)} \quad [\text{kg m}^{-3}].$$

kde  $\psi_0$  otevřená poróznost porézního materiálu, definovaná jako poměr objemu otevřených pórů v materiálu ku celkovému objemu tohoto materiálu.

Experimentální postup: Zkušební těleso se umístí do nádoby určené pro evakuaci a nádoba se vevakuuje. Následně se naplní pod vakuem destilovanou vodou a vzorek se ponechá opět evakuovat. Vodou zcela nasycený vzorek se umístí na digitální váhu a určí se jeho hmotnost  $m_v$  a hmotnost pod vodou  $m_a$ .

Určení objemu stavebních materiálů s nepravidelným tvarem a povrchem je velmi obtížné, a proto se využívá **nepřímé metody, tzv. pyknetrické**, kdy je měření objemu nahrazeno vážením vzorku v pyknetru. Pyknetr je speciální nádoba se zátkou, ve které je kapilára pro výtok přebytečné kapaliny, tudíž je objem pyknetru vždy shodný. Hustota materiálu se vypočítá dle rovnice

$$\rho_{mat} = \frac{m_1}{m_3 - (m_2 - m_1)} * \rho_l \quad [\text{kg m}^{-3}],$$

kde  $m_1$  je hmotnost suchého vzorku [kg],  $m_2$  je hmotnost zavřeného pyknetru se vzorkem a kapalinou [kg],  $m_3$  je hmotnost pyknetru se zátkou naplněného zcela kapalinou [kg],  $\rho_l$  je hustota měřené kapaliny [kg m<sup>-3</sup>].

Kromě celkové otevřené pórovitosti má zásadní vliv na chování materiálů při transportu vlhkosti, mechanickém či tepelném zatížení také velikost a distribuce jednotlivých pórů. Z tohoto důvodu se budeme zabývat také teoretickým stanovením poloměru kapilár,

což představuje jisté teoretické zjednodušení reálné porézní struktury materiálů. Experimentální měření je poté možno provést například pomocí rtuťové či plynové porozimetrie (viz. výše).

Pomocí parametru objemové nasákavosti materiálu  $w_{sat}$ , který lze stanovit standardní laboratorní zkouškou, je možné teoreticky určit poloměr kapiláry  $r$ . Pro názornou ukázkou stanovení poloměru kapiláry zvolíme krychli o délce hrany 1 000 mm, která je plně nasycená vodou. Podle konkrétní hodnoty nasákavosti materiálu, lze stanovit objem kapilár  $Q_k$ , a tím i váhové množství vody v kapilárách  $Q_v$ . Objem kapilár lze vyjádřit ze vztahu

$$Q_k = V \frac{w_{sat}}{100},$$

kde  $V$  je objem krychle v  $\text{mm}^3$ ,  $w_{sat}$  nasákavost materiálu v % objemu.

Váhové množství vody  $Q_v$  v kapilárách je potom možno určit ze vztahu

$$Q_v = Q_k \cdot \rho_{vody},$$

kde  $\rho_{vody}$  je uvažováno hodnotou  $1\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , tj.  $0,001\text{ g}\cdot\text{mm}^{-3}$ .

Náhradní teoretickou délku množiny kapilár  $l_k$  lze určit výpočtem ze vztahu

$$l_k = \frac{Q_v}{F},$$

kde  $F$  je smykový tok napětí, udávaný konstantou  $0,00765\text{ g}\cdot\text{mm}^{-1}$ . Z teoretického předpokladu volného transportu vody v kapilárách, lze stanovit jejich počet  $n$  pomocí následujícího vztahu

$$n = \frac{l_k}{a_k}.$$

Protože do hmoty ve tvaru krychle může pronikat voda jak na protilehlých stranách, tak i současně ortogonálně na dalších stranách, lze určit parametr délky kapilár  $a_k$  ze vztahu:

$$a_k = \frac{1000}{2} = 500\text{ mm}.$$

Prostým porovnáním objemů lze potom stanovit teoretický poloměr kapiláry  $r$

$$\frac{Q_k}{n} = \pi \cdot r^2 \cdot l_k \Rightarrow r = \left( \frac{Q_k}{n \cdot \pi \cdot l_k} \right)^{1/2}.$$

Tlakové napětí v porézním prostoru vlivem kapilární elevace lze poté stanovit ze vztahu

$$h \cdot \rho_v = \frac{2F}{r}, \text{ resp. } \sigma = \frac{2 \cdot F}{r}.$$

## Zadání laboratorního cvičení č. 2:

**Úkol: 1.** Gravimetrickou metodou určete objemovou hmotnost daného materiálu.

Pomocí digitálního délkoměru se změří co nejpřesněji rozměry zkušební tělesa, každý rozměr v různých bodech nejméně třikrát, do výpočtu objemu  $V$  se použije aritmetický průměr naměřených hodnot. U zcela vysušeného zkušební tělesa se určí jeho hmotnost  $m_s$ .

Vypočítejte objemovou hmotnost zkušební tělesa  $\rho$ .

**Úkol: 2.** Na základě hustoty matrice změřené pomocí heliové pyknometrie, určete celkovou otevřenou pórovitost daných materiálů.

Pomocí známé hustoty matrice a změřené hodnoty objemové hmotnosti (viz. bod 1.) se vypočte hodnota celkové otevřené pórovitosti.

**Úkol: 3.** Pomocí pyknometrické metody určete hustotu písku, určete jeho objemovou a následně sypanou hmotnost po setřesení. Vypočítejte mezerovitost:

$$M = 1 - \frac{\rho_s}{\rho_v}$$

kde  $\rho_s$  je sypaná hmotnost ( $\text{g cm}^{-3}$ ) a  $\rho_v$  je objemová hmotnost ( $\text{g cm}^{-3}$ ).

Pozn. Setřesení proveďte trojím bouchnutím odměrného válce o podložku.

**Úkol: 4.** Určete teoretický poloměr kapiláry cihelného zdiva a napětí v tlaku ve zdivu způsobené vlivem kapilární elevace.

Laboratorně byla zjištěna nasákavost cihelného zdiva  $w_{sat} = 36 \%$  objemu.

### Laboratorní protokol:

Titulní strana: název experimentu

jméno studenta (nebo členů pracovní skupiny)

datum

Vlastní protokol: krátký popis testovaných materiálů

popis použitých experimentálních metod

seznam použitých pomůcek a přístrojů

naměřené hodnoty a použité konstanty

výpočtové a výsledné hodnoty

vyhodnocení