

hustoty

obsah prednášky:

- definície, jednotky, druhy hustôt
- metódy určovania hustôt
- hustoty minerálov
- hustoty hornín
- pórovitosť
- záverečné poznámky

hustoty

definícia:

hustota (špecifická hmotnosť) = hmotnosť jednotkového objemu látky

fyzikálne jednotky pre hustotu:

system SI: $\text{kg/m}^3 = \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

používané sú však násobky:

$$1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3} = 1 \text{ kg}\cdot\text{dm}^{-3} = 1 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3} = 1 \text{ t}\cdot\text{m}^{-3} = 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$$

príklad : $2.75 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3} = 2750 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ (fylit)

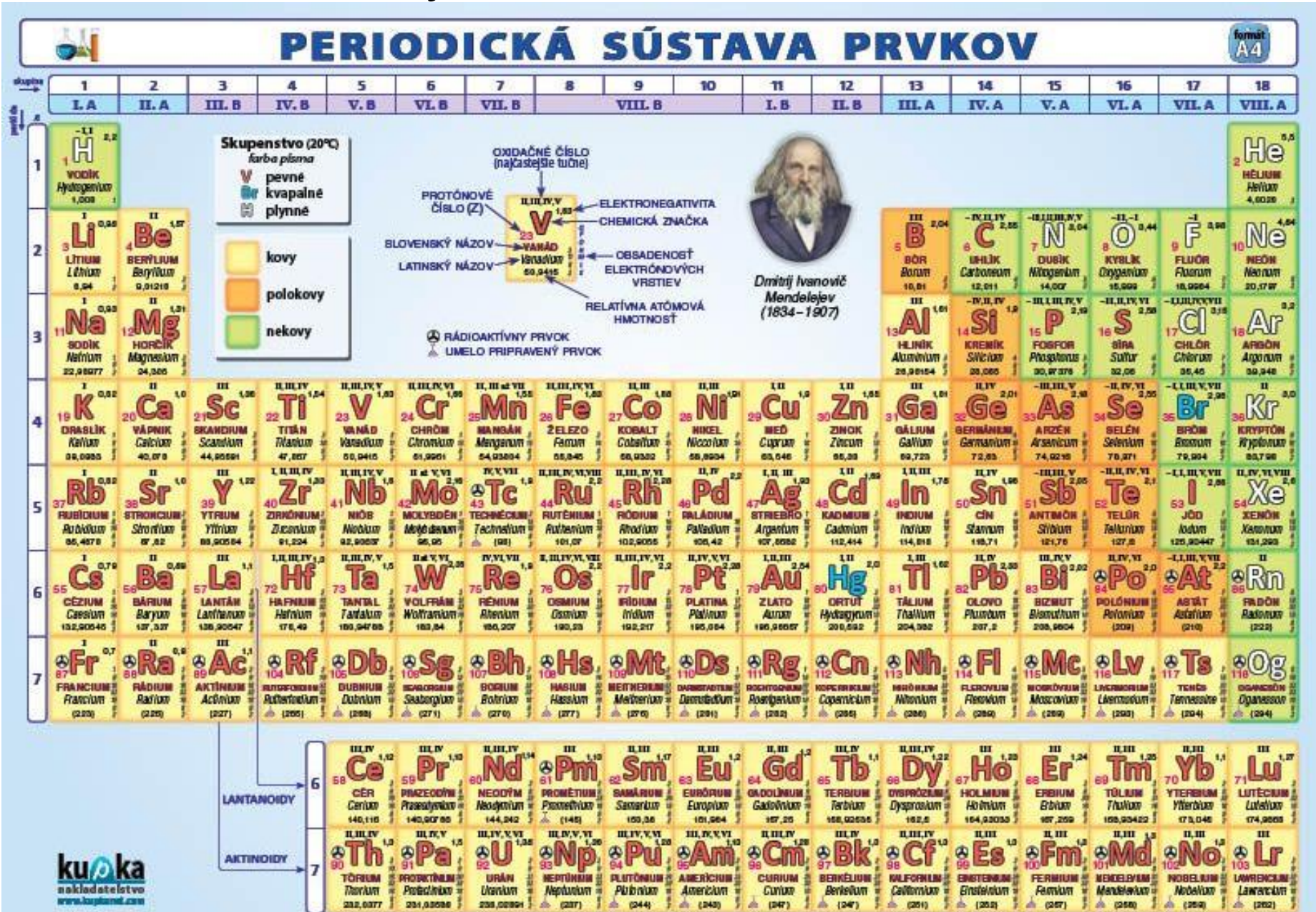
(priemerná hustota vrchnej časti zemskej kôry $\approx 2.67 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

(do pozornosti dávam vedecký článok:

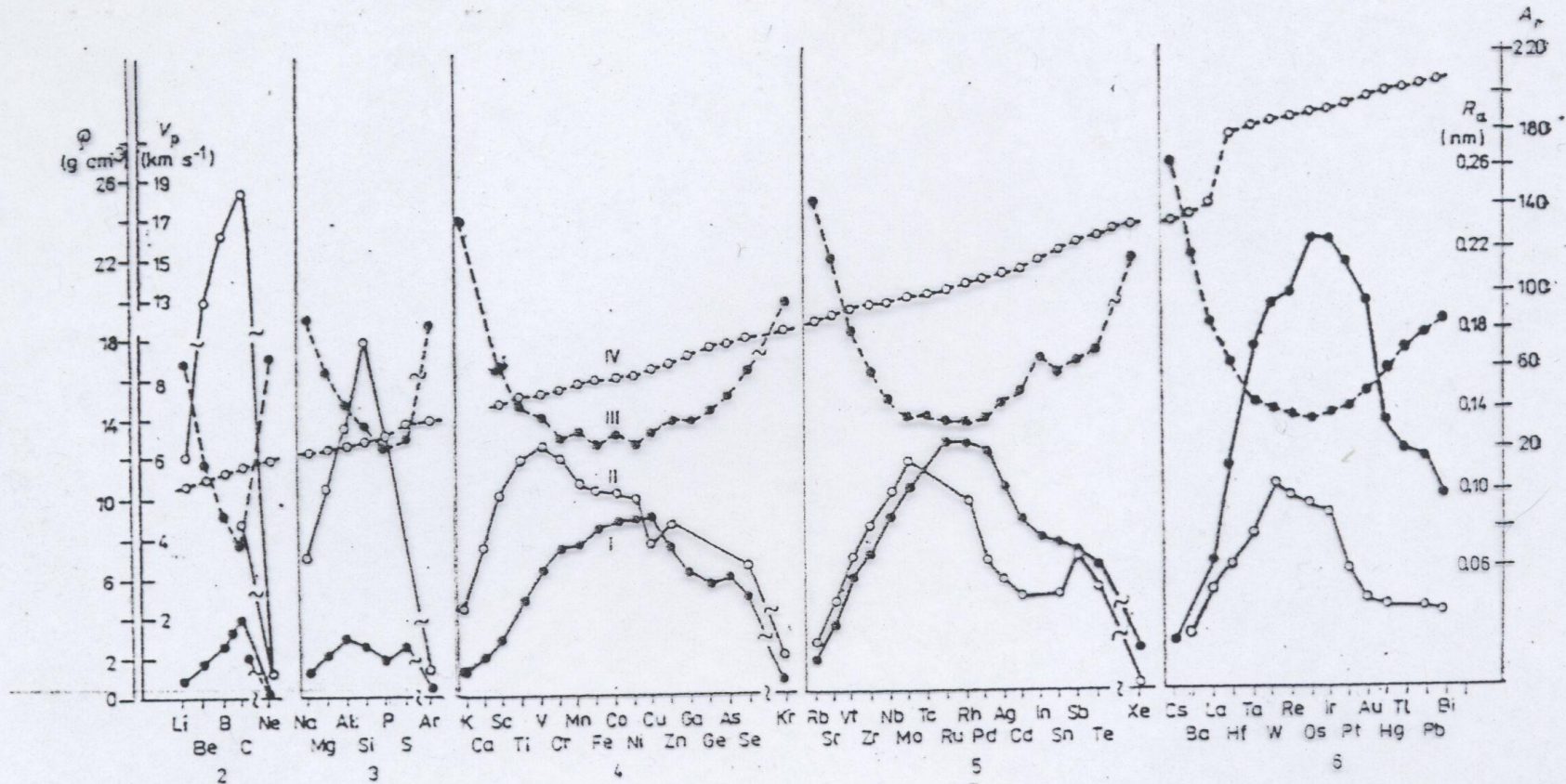
Hinze, W.J., 2003: Bouguer reduction density, why 2.67?

Geophysics Vol.68, Nr.5, 1559-1560)

hustoty – vlastnosti, súvislosti



hustoty – vlastnosti, súvislosti



Obr. 2. Závislost fyzikálných vlastností chemických prvků na jejich postavení v periodické soustavě

I — hustota, II — rychlost šíření podélných vln, III — atomový poloměr, IV — poměrná atomová hmotnost; 2 až 6 — periody soustavy prvků (Dortman, Magid 1969)

fázy stavby horniny:

rozpoznávame **tvrdú (pevnú), kvapalnú a plynnú fázu** horniny,

s odpovedajúcimi hmotnosťami (m_{tv} , m_{kv} a m_{pl}) a objemami (V_{tv} , V_{kv} , V_{pl}),

druhy hustôt:

mineralogická hustota: $\rho_m = m_{tv} / V_{tv}$
(matrix density)

objemová hustota: $\rho_o = m_{tv} / (V_{tv} + V_{kv} + V_{pl})$
(suchej horniny) (dried sample density)

prirodzená hustota: $\rho_n = (m_{tv} + m_{kv}) / (V_{tv} + V_{kv} + V_{pl})$
(natural density or bulk density)
(pri nasýtení pórov a zanedbaní hmotnosti plynnej fázy)

pórovitosť

pórovitosť (koeficient pórovitosti, porosity)

s odpovedajúcimi objemami (V_{tv} , V_{kv} , V_{pl}):

pórovitosť:

$$\phi = (V_{pl} + V_{kv}) / (V_{tv} + V_{kv} + V_{pl})$$

koeficient pórovitosti:

$$k_p = (V_{pl} + V_{kv}) / (V_{tv} + V_{kv} + V_{pl}) \cdot 100 [\%]$$

Pozn.: Platí zaujímavý vzťah: $\phi = 1 - \rho_o / \rho_m$

A ďalší: $\rho_n = \rho_m(1 - \phi) + \rho_{kv} \phi$

(kde ρ_{kv} je hustota kvapalnej fázy v póroch).

metódy určovania hustôt:

- priame (laboratórne)
- nepriame (geofyzikálne):

priame: tzv. dvojité váženie, použitie denzitometra,
použitie pyknometra

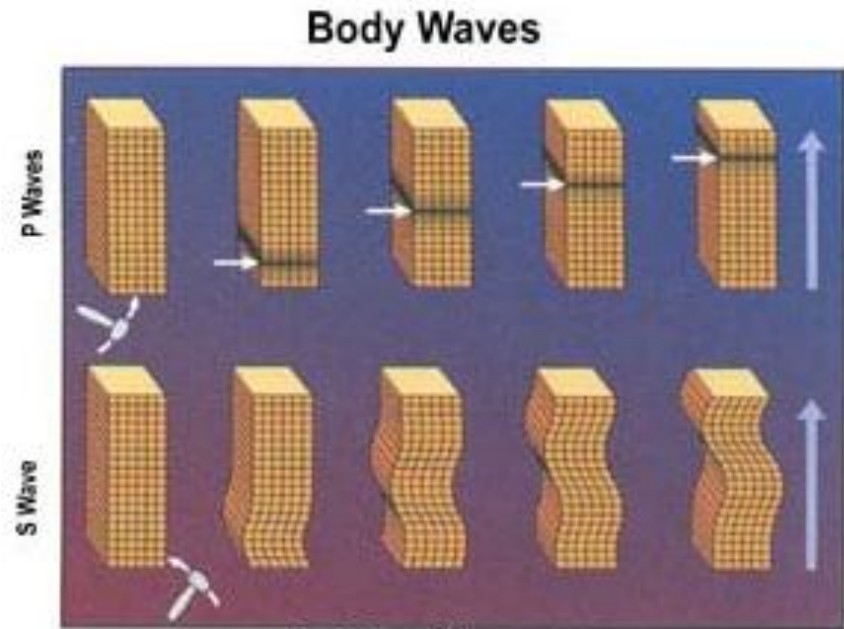
nepriame: výstupy zo seizmológie, seizmiky,
gravimetrického modelovania, Nettletonova
metóda v gravimetrii, výsledky vrtnej
gravimetrie, γ - γ karotáž

nepriame metódy určovania hustôt

zo seizmických dát:

- z teórie šírenia mechanických (seizmických) vln vyplýva, že ich rýchlosť (pozdĺžnych aj priečných; P-vlny a S-vlny) súvisí s hustotou a elastickými parametrami

- viacej autorov zistilo (empiricky) závislosť medzi rýchlosťou pozdĺžnych vln a hustotou:



$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad v_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

nepriame metódy určovania hustôt

zo seizmických dát – empirické závislosti:

hlavne pre sedimentárne horniny:

Nafe, Drake (1957)

Birch (1961)

Ludwig et al. (1970)

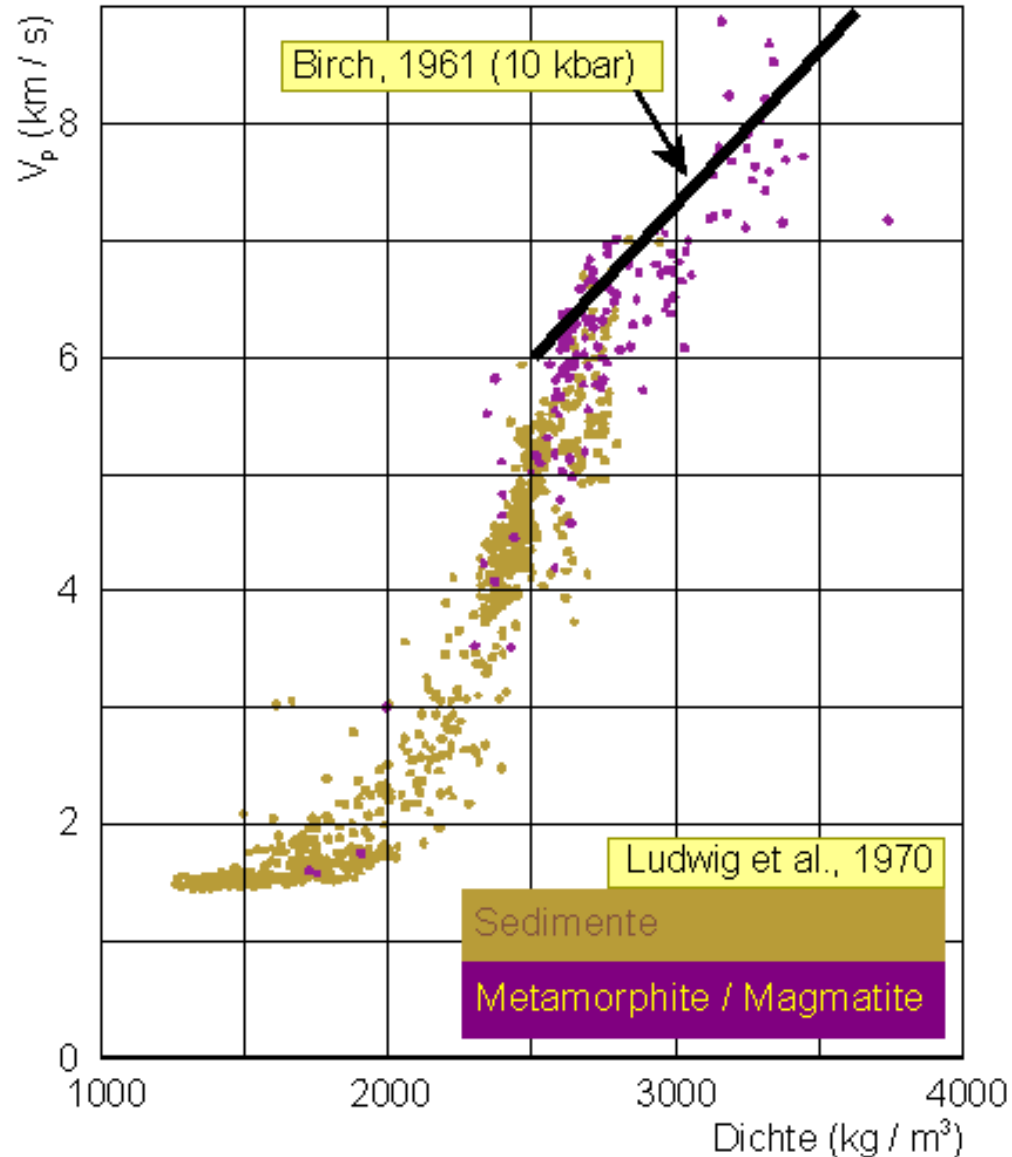
Gardner et al. (1974)

pre hlbinné horniny:

Lachenbruch, Morgan (1990)

Sobolev, Babeyko (1994)

Christensen, Mooney (1995)

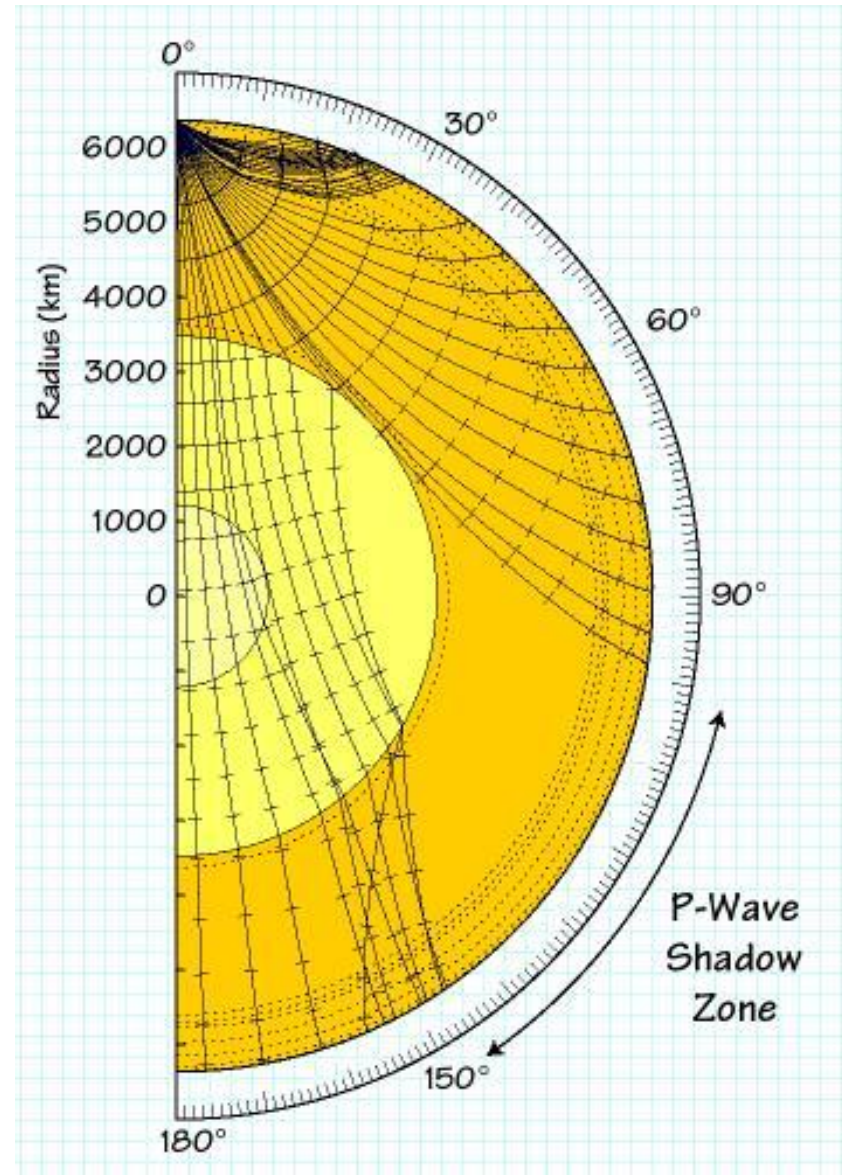


nepriame metódy určovania hustôt

zo seizmológie:

model rozvrstvenia zemského telesa:

- Bullenov model
- PREM (Dziewonski, Anderson, 1981)
= Preliminary Earth Reference Model
- IASPEI model
= International Association
of Seismology and Physics
of the Earth's Interior



nepriame metódy určovania hustôt

horná hranica [km]	spodná hranica [km]	“horná” hustota [g.cm ⁻³]	“spodná” hustota [g.cm ⁻³]
0	30	2.76	2.82
30	80	3.32	3.36
80	800	3.87	4.30
800	2900	4.41	5.57
2900	6371	9.74	17.90

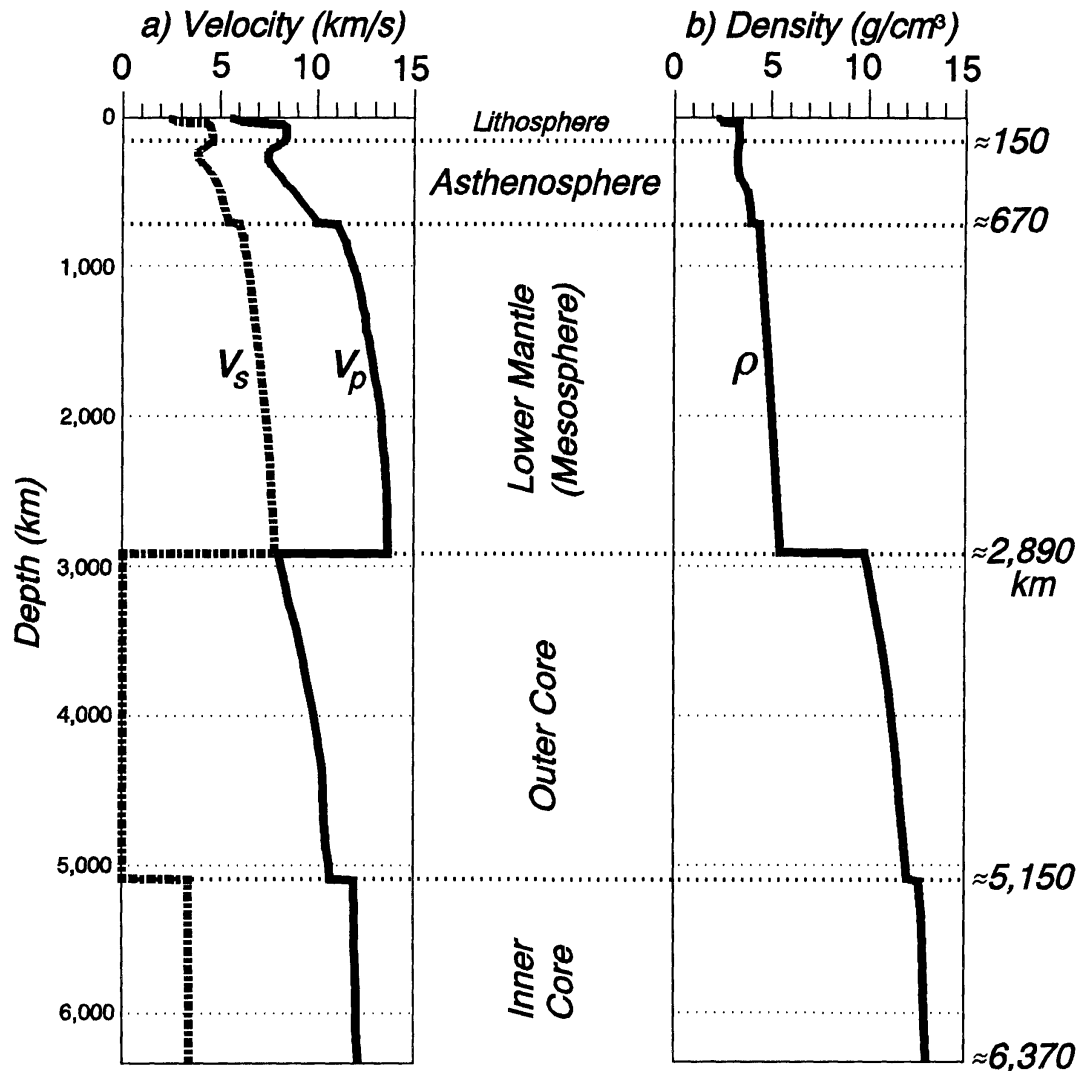
tzv. Bullenov model Zeme (70.roky 20.storočia)

nepriame metódy určovania hustôt

horná hranica [km]	spodná hranica [km]	“horná” hustota [g.cm ⁻³]	“spodná” hustota [g.cm ⁻³]
0	33	2.84	3.32
33	245	3.32	3.51
245	984	3.51	4.49
984	2000	4.49	5.06
2000	2700	5.06	5.4
2700	2886	5.4	5.69
2886	4000	9.95	11.39
4000	4560	11.39	11.87
4560	4710	11.87	12.3
4710	5160	12.3	12.74
5160	6378.137	12.74	13.03

nepriame metódy určovania hustôt

PREM model rozvrstvenia zemského telesa (zo seizmológie):



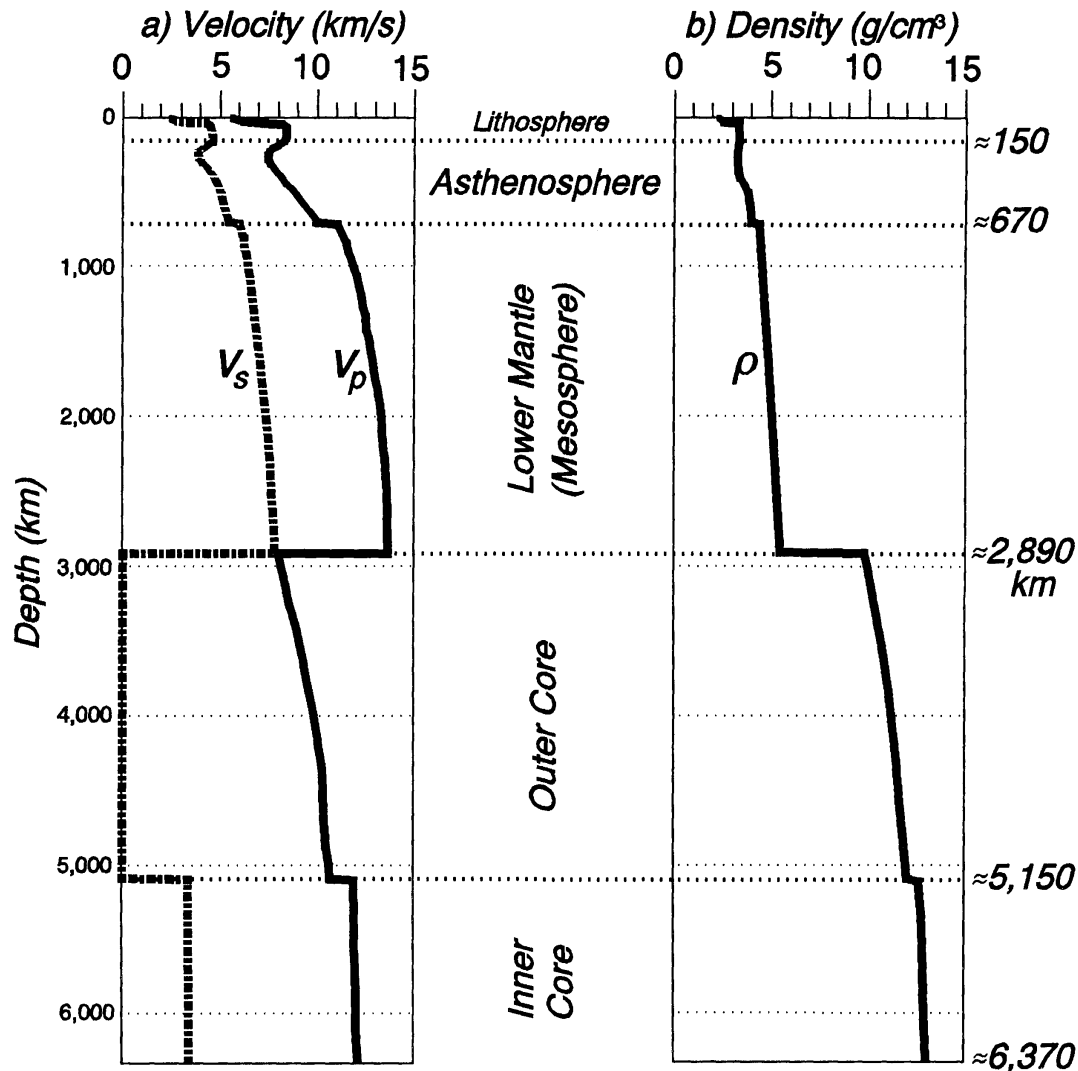
kvízové otázky:

Ako sa volá diskontinuita medzi plášťom a vonkajším jadrom?

A medzi vnútorným a vonkajším jadrom?

nepriame metódy určovania hustôt

PREM model rozvrstvenia zemského telesa (zo seizmológie):

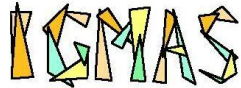


Ako sa volá diskontinuita medzi plášťom a vonkajším jadrom?
Gutenberg-Wiechert

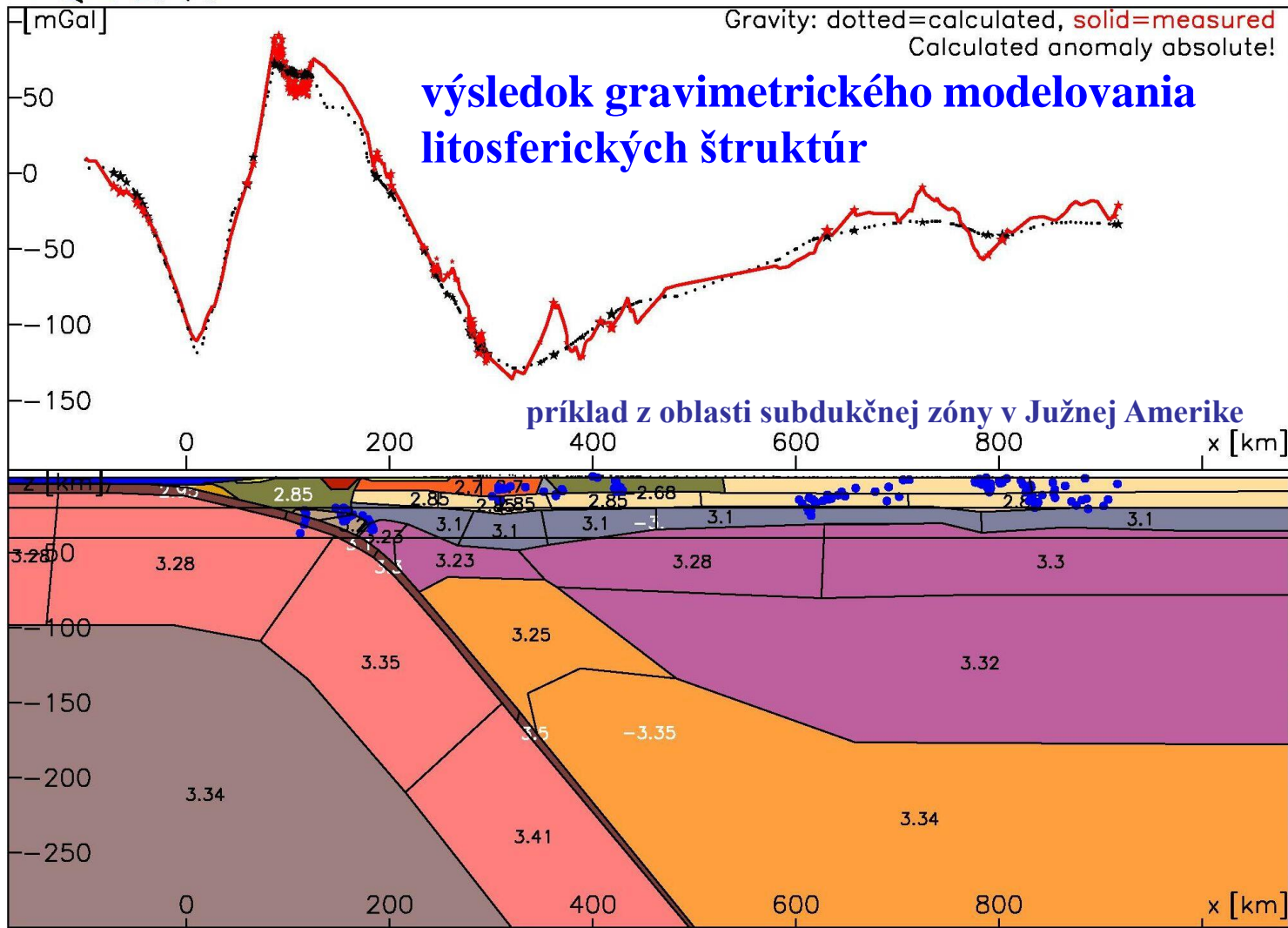
A medzi vnútorným a vonkajším jadrom?
Lehmann-Bullen

nepriame metódy určovania hustôt

gravimetrické modelovanie:



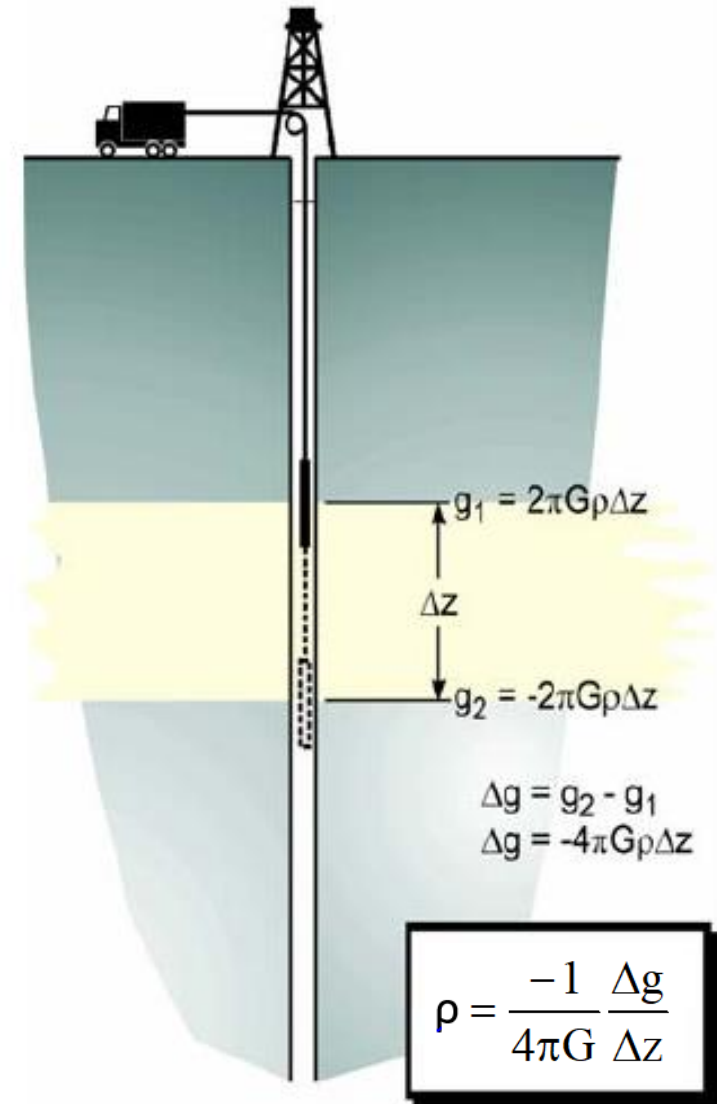
3-D Gravity and Magnetic Modeling
Along the Chilean Margin at 36–42S Vers. 2/ 2



nepriame metódy určovania hustôt

vrtná gravimetria (BHGM – borehole gravity meter)

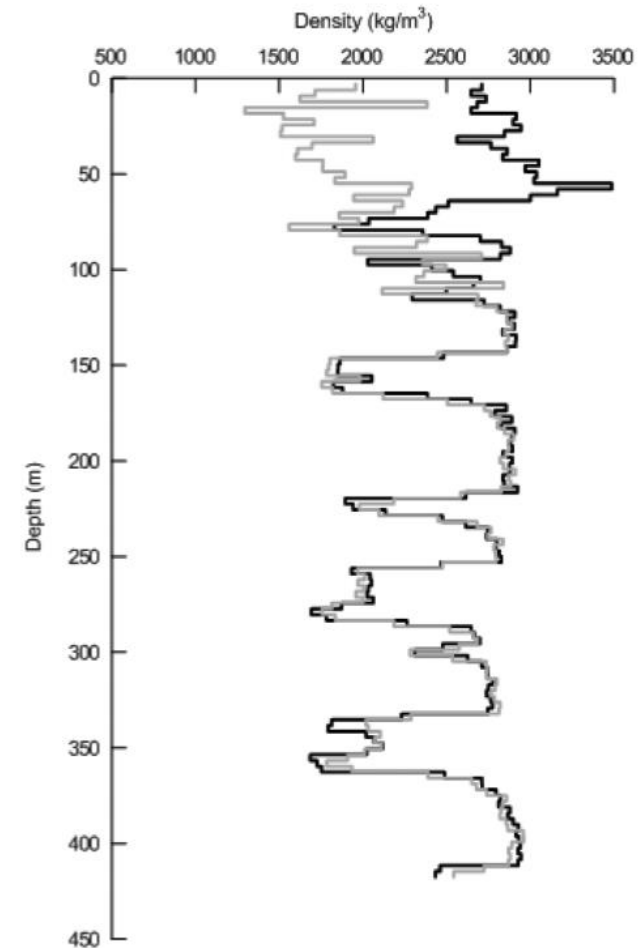
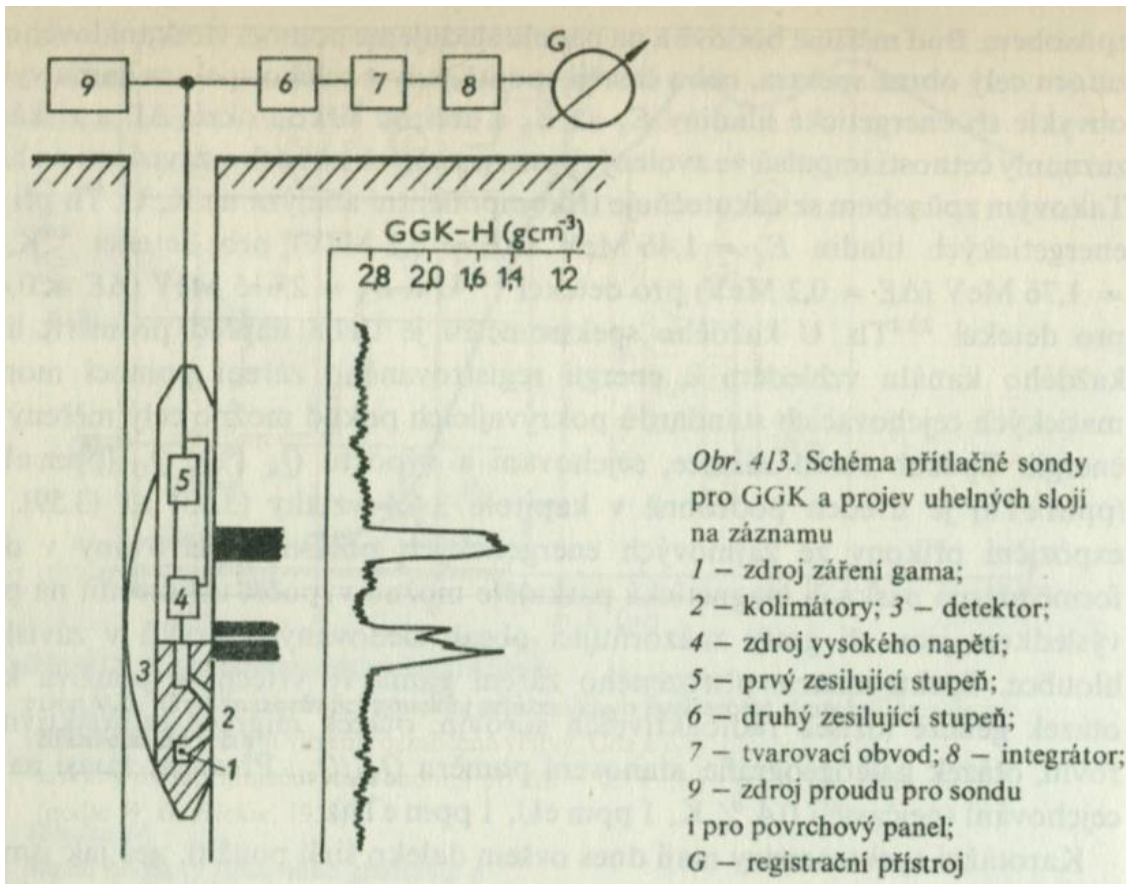
vrtný dynamický gravimeter
(v špeciálnom prevedení)
je spúšťaný pozdĺž vrtu a
z rozdielov Δg na úsekoch
 Δz je možné odhadnúť
hustotu vrstvy



nepriame metódy určovania hustôt

gamma-gamma karotážna metóda

založená na reakcii gamma žiarenia na hustotu horninového prostredia (tzv. Comptonov rozptyl); dosah od vrtu – max. 0.6 m detekovateľný rozsah: $1 - 2.8 \text{ g.cm}^{-3}$



nepriame metódy určovania hustôt

odhad presnosti týchto metód:

- ťažko vyjadriť,
- približne na úrovni ± 0.2 až $\pm 0.1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.
ale výsledky sa väčšinou udávajú na 2 des. miesta,
- pri zohľadnení nejednoznačnosti modelovania môže byť náto presnosť aj omnoho horšia.

priame (laboratórne) metódy určovania hustôt

priame (laboratórne) metódy určovania hustôt

váženie vzoriek + denzintometer

- a) určenie objemovej hustoty ρ_o pomocou dvojitého váženia,
- b) určenie objemovej hustoty ρ_o pomocou denzitometra,
- c) určenie mineralogickej hustoty ρ_m pomocou dvojitého váženia,
- d) určenie mineralogickej hustoty ρ_m pyknometricky (tzv. trojité váženie)
- e) originálny spôsob určenia mineralogickej hustoty od doc. Dydu – zmenou hustoty kvapaliny (dá sa relatívne dobre regulovať) a pozorovaním vznášania sa vzorky minerálu v nej.

priame (laboratórne) metódy určovania hustôt

a) dvojité váženie (určenie objemovej hustoty):

- Vzorka sa vysuší v peci (hmotnosť vzorky: 100 až 500 g).
- Vzorka sa zváži najprv na vzduchu (m) a potom ponorená v kvapaline (voda) (m').
- Objemová hustota sa potom určí podľa vzťahu (kde ρ_k je hustota kvapaliny - vody):

$$\rho_o = \frac{m}{m - m'} \rho_k$$

odvodenie

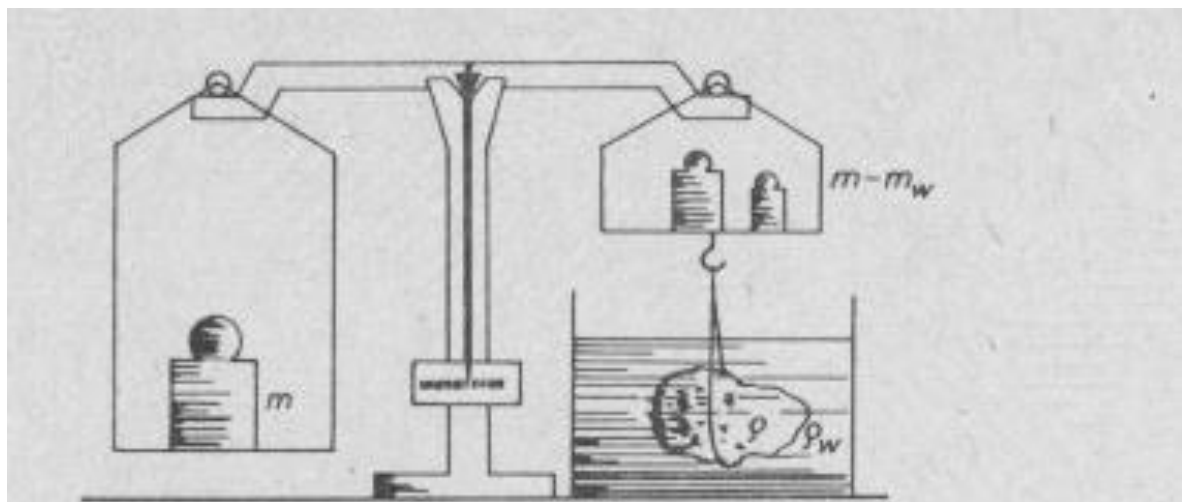


Abb. 2.54. Dichtebestimmung mit der hydrostatischen Waage

a) dvojité vážení (určenie objemovej hustoty):

V prípade pórovitej vzorky je postup trošku zložitejší:

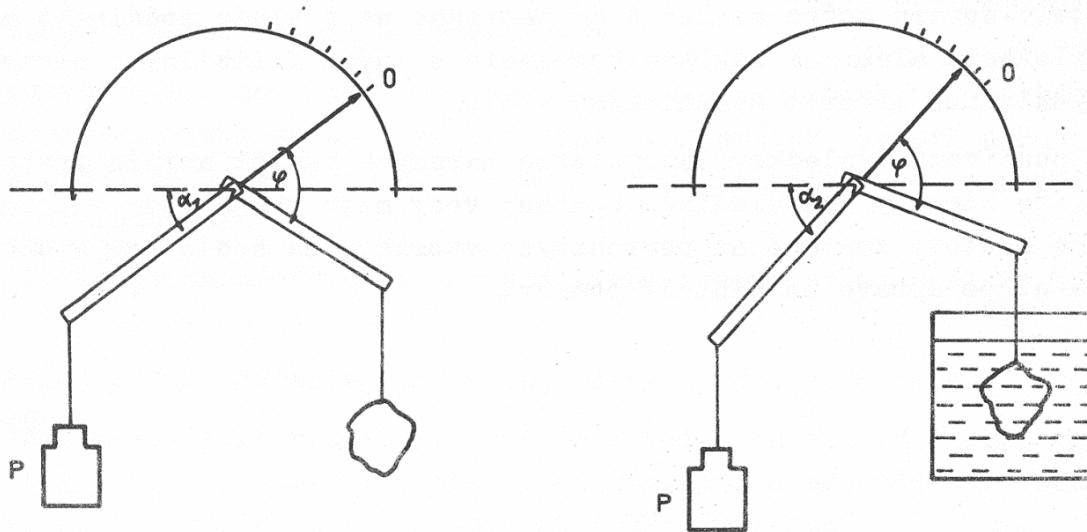
- a) Vzorka sa vysuší v peci a pokryje sa vrstvičkou parafínu alebo laku.
- b) Vzorka sa zváži najprv na vzduchu – bez parafínovej vrstvičky (m) a s ňou (m_p) a až potom ponorená (zaparafínovaná) v kvapaline (voda) (m_p').
- c) Objemová hustota sa potom určí podľa vzťahu (kde k je konštanta na korekciu parafínovej vrstvičky):

$$\rho_o = \frac{m}{m - m_p' - k(m_p - m)} \rho_k$$

bez odvodenia

b) odhad hustoty pomocou denzitometra:

- Vzorka sa zavesí na rameno denzitometra a vykompenzuje sa závažím (aby ukazovala šípka na nulu).
- Vzorka sa ponorí do vody a šípka ukáže na hodnotu hustoty.



Obr. 2.25: Určovanie hustôt denzitometrom

$$\alpha_2 = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{ctg}(\varphi) + \rho_0 \operatorname{ctg}(\alpha_1)}{\rho_0 - 1}$$

c) dvojité váženie (určenie mineralogickej hustoty):

- a) Vzorka sa naopak nasycuje kvapalinou (aby prenikla do všetkých pórov), nehodí sa na to voda ale nejaká prchavá látka (napr. toluén).
- b) Vzorka sa zváži najprv na vzduchu (m) a potom ponorená a nasýtená v danej kvapaline (m_k).
- c) Mineralogická hustota sa potom určí podľa vzťahu (kde ρ_k je hustota kvapaliny):

$$\rho_m = \frac{m}{m - m_k} \rho_k$$

d) určenie mineralogickej hustoty pyknometricky:

- a) Vzorka sa rozdrví na prášok a vysuší sa.
- b) Najprv sa zváži čistý pyknometer (špeciálna sklenená nádobka) (m_1), potom s práškom naplneným asi do tretiny (m_2) a na záver s kvapalinou aj s práškom (m_3). Je potrebné vedieť aj hmotnosť pyknometra s kvapalinou bez prášku (M).

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - M - m_1 - m_2} \rho_k$$



priame (laboratórne) metódy určovania hustôt

usporiadanie lab. metód podľa presnosti:

najmenej presné – určenie hustoty denzitometrom
(ale najrýchlejšie)

metóda dvojitého váženia – stredne presná

najpresnejšia - pyknometrická metóda (tiež
nazývaná ako trojité váženie), ale najpomalšia.

Všetky tieto laboratórne metódy dokážu určiť
hustoty s presnosťou menej ako $\pm 0.02 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
(pyknometricky až na úrovni $\pm 0.01 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

hustoty jednotlivých fáz

- **plynná fáza** (najmä vzduch, ale aj uhlovodíkové plyny)
- **kvapalná fáza** (najmä voda, ale aj ropa)
- **tvrdá (pevná) fáza** (minerály)
- plazmatické skupenstvo sa v prípade minerálov a hornín bežne nevyskytuje

hustoty jednotlivých fáz



plynná fáza

Dôležité : Hustota závisí v tomto prípade od teploty a tlaku!

Pri tzv. „izbových podmienkach“, t.j. 20°C a 0.1 MPa sa rovná hustota vzduchu $0.0012 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Pri mnohých výpočtoch ju považujeme za nulovú.

Pri uhľovodíkových plynoch sa pohybuje v intervale:
od $0.000715 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (metán) do $0.00317 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (pentán).

Často sa však uvažuje blízka vzduchu, čiže nulová.

hustoty jednotlivých fáz

kvapalná fáza



Opäť - hodnota hustoty závisí od teploty a tlaku (!)

Pri tzv. „izbových podmienkach“, t.j. 20°C a 0.1 MPa závisí hustota prírodnej pórovej vody od jej mineralizácie a mení sa: od 1.010 g·cm⁻³ (sladká) do 1.240 g·cm⁻³ (silný soľný roztok).

**Pri sladkej vode sa často uvažuje hodnota 1.0 g·cm⁻³,
Pri slanej morskej vode to je hodnota 1.03 g·cm⁻³ .**

Hustota ropy závisí značne od jej chemického zloženia a pohybuje sa v intervale od 0.61 (ľahké) po 1.05 g·cm⁻³ (ťažké). V priemere sa často berie ako hodnota 0.9 g·cm⁻³.

hustoty jednotlivých fáz

tvrdá (pevná) fáza = minerály



V priemere sa pohybuje ρ_m v intervale od 1.0 po 6.0 g·cm⁻³.
- v skutočnosti od 0.92 (ľad) po 22.59 g·cm⁻³ (čisté Os).

Platí, že hustota minerálov závisí od dvoch skutočností:

- 1) od koncentrácie atómov s vyššou pomernou atómovou hmotnosťou a nižším atómovým polomerom (prevažne pri rudných mineráloch)
- 2) od usporiadania – iónových polomerov, valencie, typu väzby, mriežky; inými slovami od kryštalografickej sústavy (prevažne pri horninotvorných mineráloch)

Príklady:

uhlík – grafit (2.2, hexagonálna) vs. diamant (3.5, kubická)

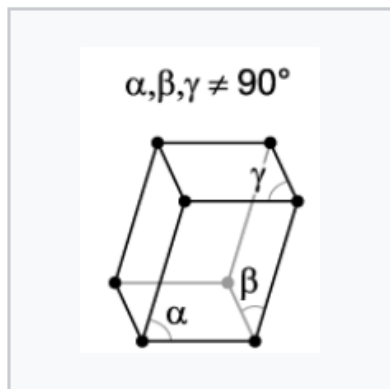
CaCO₃ – aragonit (2.9, rombická) vs. kalcit (2.7, trigonálna)

hustoty jednotlivých fáz

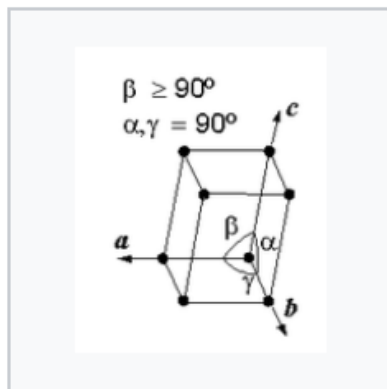
tvrdá (pevná) fáza = minerály



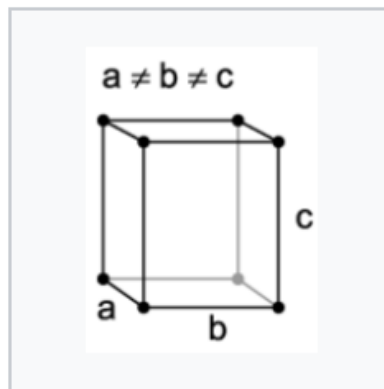
kryštalografické systémy



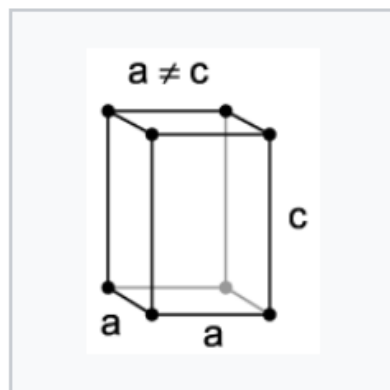
Triklinická sústava



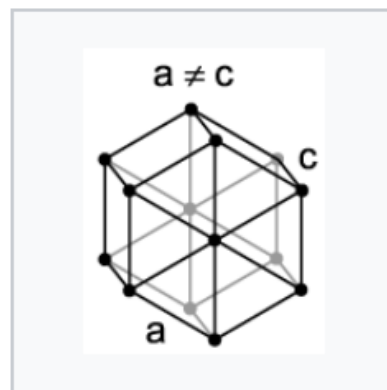
Monoklinická sústava



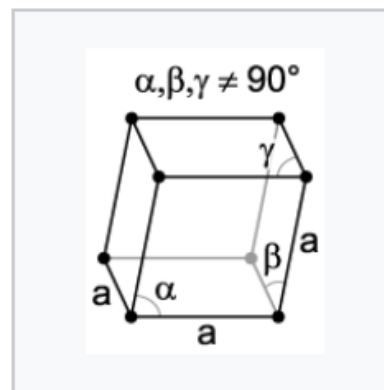
Rombická sústava



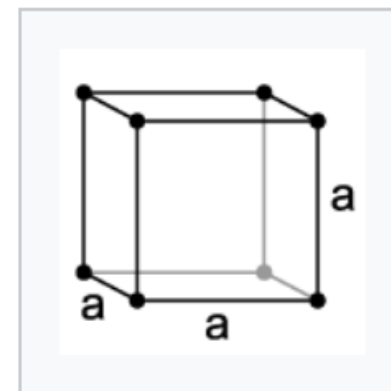
Tetragonálna sústava



Hexagonálna sústava



Trigonálna sústava



Kubická sústava

hustoty jednotlivých fáz

tvrdá (pevná) fáza = minerály



kryštalografické sústavy

triklinická - albit, kaolinit, chalkantit,...

monoklinická - amfibol, biotit, ortoklas,...

rombická - olivín, barit, aragonit,...

kubická - diamant, pyrit, magnetit,...

tetragonálna - chalkopyrit, rutil, kasiterit,...

hexagonálna - grafit, apatit, beryl,...

trigonálna - kremeň, kalcit, hematit,...

hustoty jednotlivých fáz

tvrdá (pevná) fáza = minerály



V priemere sa pohybuje ρ_m v intervale od 1.0 po 6.0 g·cm⁻³.
- v skutočnosti od 0.98 (ľad) po 22.59 g·cm⁻³ (čisté osmium).

Podľa hustoty delíme minerály na:

a) husté ($\rho_m > 4 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

(Se, Te, drahé kovy – Au, Ag, Cu, sulfidy – pyrit, pyrotín, galenit oxidy a hydroxidy – napr. hematit; zirkón, monazit, ceruzit, barit)

b) so strednou hustotou ($\rho_m \cong 2.5$ až 4 g·cm⁻³)
(väčšina minerálov)

c) s malou hustotou ($\rho_m < 2.5 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$)

(grafit, síra, opál, silikáty, karbonáty, chloridy – halit, sylvín)

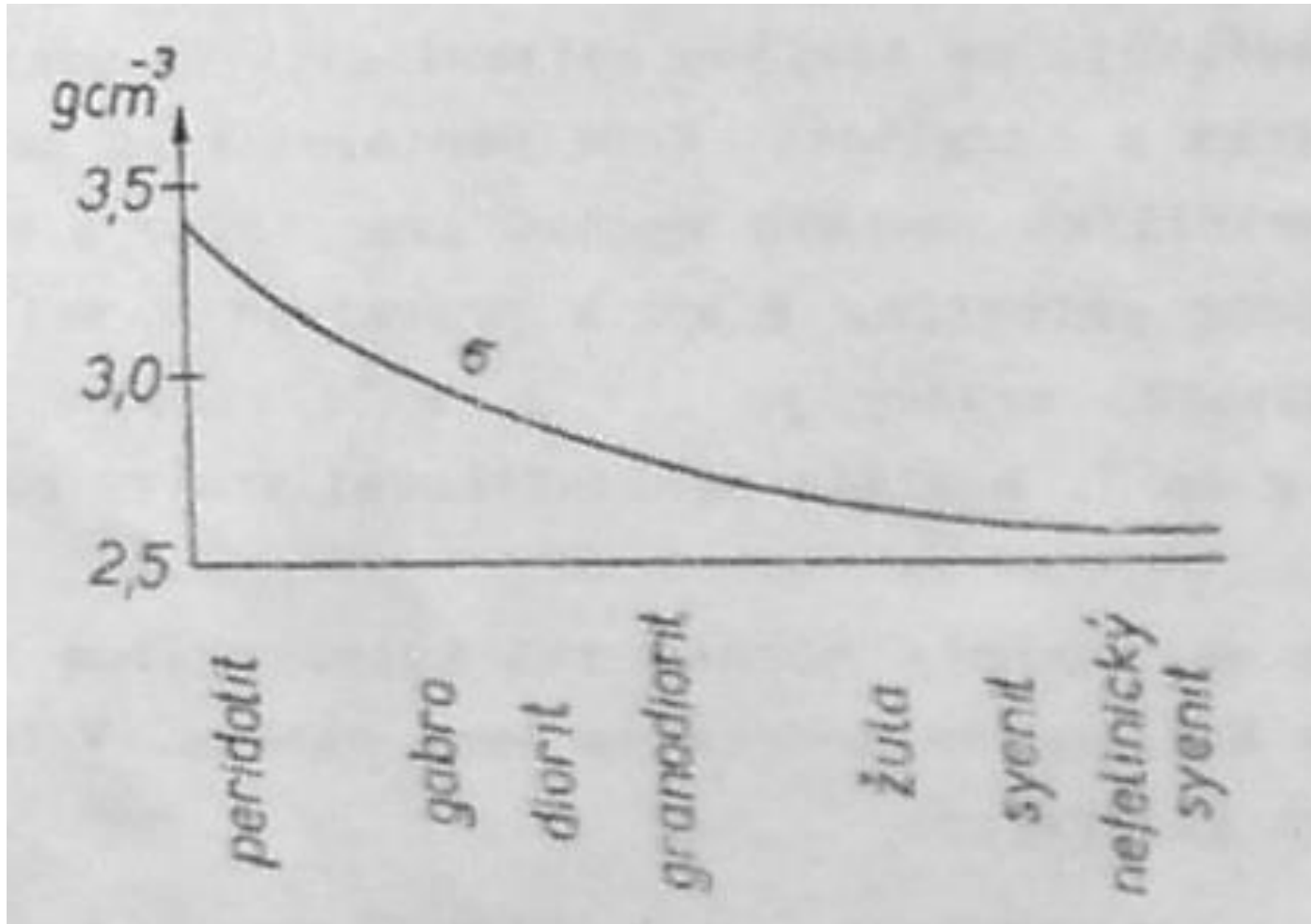
hustoty hornín

magmatické horniny

- vo všeobecnosti patria medzi horniny s vyššou hustotou,
- hustota stúpa lineárne s bázicitou (zvyšovaním koncentrácie Fe-Mg minerálov a s poklesom koncentrácie SiO_2),
- plutonické horniny majú vo väčšine prípadov vyššiu hustotu v porovnaní s ich extruzívnymi ekvivalentami,
- pri rudných horninách stúpa hustota spolu so zvyšovaním koncentrácie rudných kovov, ich sulfidov a oxidov,

hustoty hornín

magmatické horniny



hustoty hornín

magmatické horniny

Plutonické magmatické horniny:

syenit (2.6), granit (2.65), granodiorit (2.7), diorit (2.9),
gabro (3.0), peridotit (3.4)

Extruzívne magmatické horniny:

trachyt (2.4), ryolit (2.5), andezit (2.6), dacit (2.9), bazalt (3.0)

Pozn.: Zaujímavosťou je pemza – ktorá má niekedy objemovú hustotu (suchej vzorky) menšiu ako $1 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (vďaka jej pórovitosti) a tým je schopná aj plávať na vode.

hustoty hornín

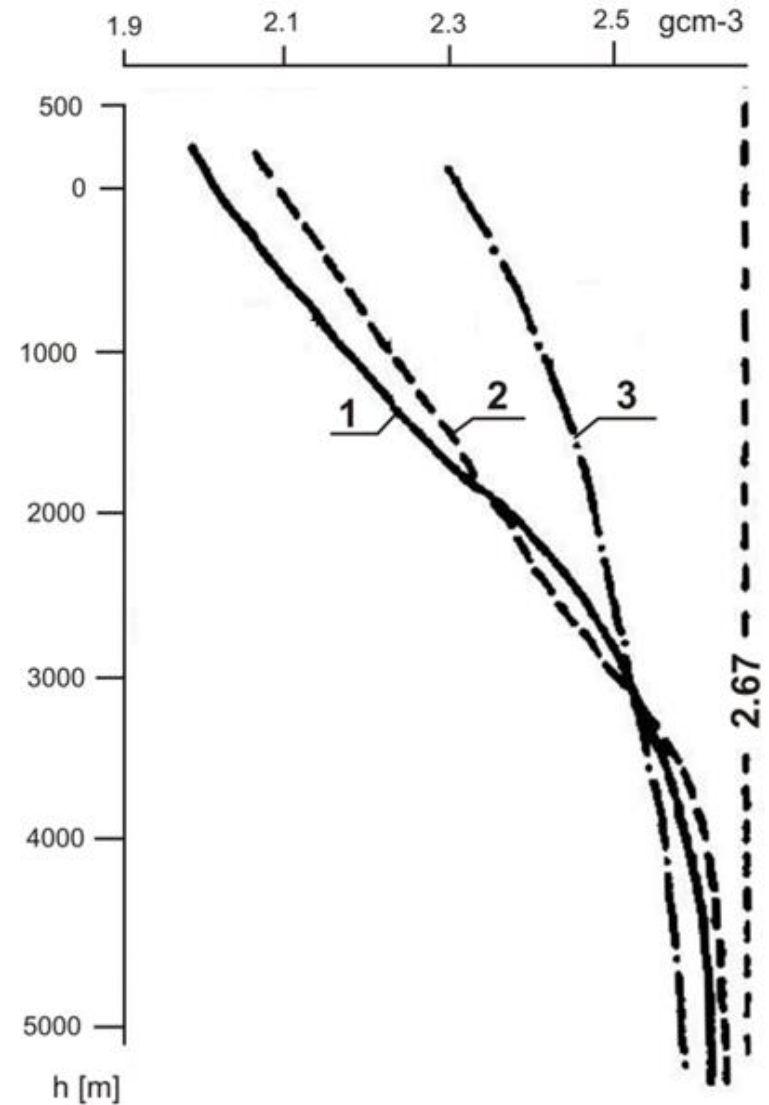
sedimentárne horniny

- vo všeobecnosti patria medzi horniny s nižšou hustotou,
- hustota stúpa s vekom a hĺbkou, v sedimentárnych panvách dochádza v dôsledku vyššieho tlaku ku nasledujúcim fenoménom:
 - a) premeny v usporiadaní a uložení zrn,
 - b) vypudzovanie vody, obsiahnutej v zrnách,
 - c) deformácia a drtenie zrn,
 - d) rekryštalizácia minerálov do kompaktnejších sústav.
- priemerný rozsah: $2.0 - 2.6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

hustoty hornín

sedimentárne horniny

- dôležitý je nárast hustoty s hĺbkou,
- druhý dôležitý aspekt je vek horniny.



Obr. 3. Závislosť prirodzených hustôt na hĺbke panví. Vysvetlivky: 1 - viedenská panva, 2 - dunajská panva, 3 - Východoslovenská nížina (Šefara et al., 1987).

hustoty hornín

sedimentárne horniny

Príklady:

hliny (2.0 – 2.2), íly (1.9), pieskovce (2.3), zlepenca (2.4),
aleurity (2.5), vápenca (2.6), anhydrit (2.8), fulorit (3.0)

druhy uhlia: rašelina (0.8), hnedé uhlie (1.0),
čierne uhlie (1.3), antracit (1.5).

Pozn.: Pri sedimentárnych horninách sa hustota veľmi mení pri suchej a vodou nasýtenej vzorke. Pre účely modelovania v gravimetrii používame výlučne hodnoty vodou nasýtených vzoriek.

Zaujímavé sú vlastnosti ílových hornín – v dôsledku zmršťovania ílov môže dôjsť ku poklesu ich hustoty až o $0.2 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

hustoty hornín

metamorfované horniny

Príklady: kvarcit (2.6), fylit (2.75), mramor (2.8), serpentinit (2.8), chloritická bridlica (2.9), amfibolit (3.0),

- patria medzi horniny so strednou až vyššou hustotou,
- hustota je silne závislá od typu metamorfózy: pri kompakkcii, prínose bázickejšej magmy a vzniku skarnov hustota stúpa, pri granitizácii a prínose kyslej magmy klesá (aj pri serpetinizácii),

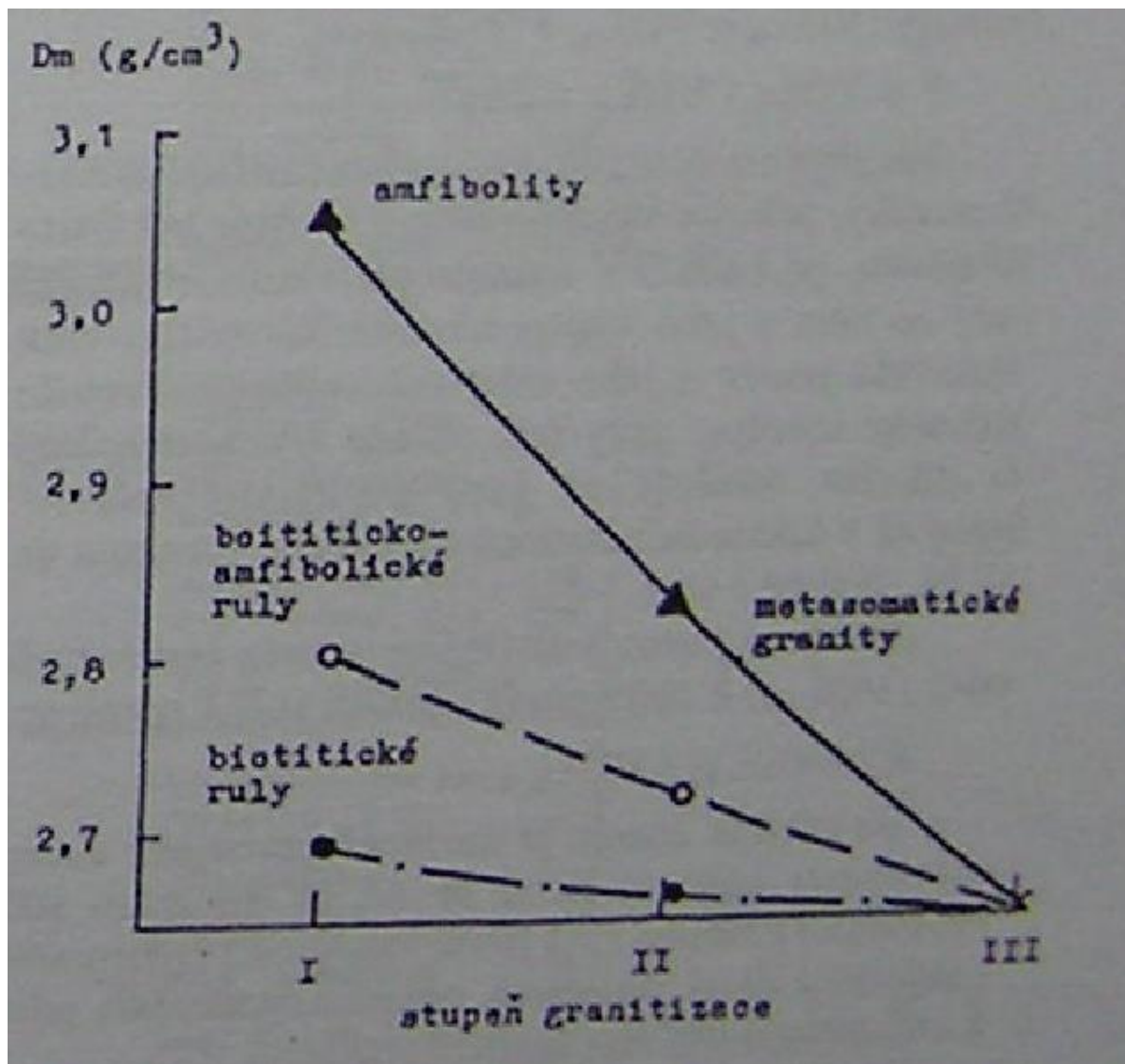
hustoty hornín

metamorfované horniny

- zvetrávanie môže viesť u magmatických hornín ku poklesu až $-0.05 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,
- známy prípad poklesu hustoty je serpentinizácia ultrabázik - znižuje sa ich hustota so zvýšením serpentinizácie (olivín: $4.0 \rightarrow$ serpentín: $2.6 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$),
- tektonicky postihnuté zóny vykazujú zníženú hustotu oproti svojmu okoliu (v dôsledku drtenia a hydrotermálnych premien).

hustoty hornín

metamorfované horniny - granitizácia



hustoty hornín, tabuľka príkladov

ktoré by sme mali
(ako geofyzici) vedieť
spamäti?

granit, bazalt, fylit,
eklogit, pieskovec,
vápenec, dolomit,
nafta, uhlie, siderit,
magnetit,...

Horniny a nerastné suroviny	Interval hustôt	Stredná hustota	Horniny a nerastné suroviny	Interval hustôt	Stredná hustota
	[g.cm ⁻³]			[g.cm ⁻³]	
<i>Vyvrele horniny</i>					
ryolit	2,35-2,70	2,52	diorit	2,72-2,99	2,86
andezit	2,40-2,80	-	diabáz	2,50-3,20	2,91
granit	2,50-2,81	2,61	bazalt	2,70-3,30	2,99
granodiorit	2,67-2,79	2,73	gabro	2,70-3,50	3,03
perfýr	2,60-2,89	2,74	pyroxenit	2,93-3,34	3,17
<i>Metamorfované horniny</i>					
kvarcit	2,50-2,70	2,60	serpentinit	2,40-3,10	2,78
fylit	2,68-2,80	2,75	chlor.bridl.	2,75-2,98	2,87
mramor	2,60-2,90	2,77	amfibolit	2,90-3,04	2,96
krem.bridl.	2,63-2,91	-	eklogit	3,20-3,54	3,37
<i>Sedimentárne horniny</i>					
<i>vodou nasýtená vzorka</i>			<i>suchá vzorka</i>		
alúvium	1,96-2,00	1,98		1,50-1,60	1,54
hĺina	1,63-2,60	2,21		1,30-2,24	1,70
piesok	1,70-2,30	2,00		1,40-1,80	1,60
íl	1,60-2,20	1,93		1,20-1,80	1,43
pieskovec	1,61-2,76	2,35		1,60-2,68	2,24
vápenec	1,93-2,90	2,55		1,74-2,76	2,11
dolomit	2,28-2,90	2,70		2,04-2,64	2,30
<i>Nerudné minerály a niektoré nerastné suroviny</i>					
nafta	0,60-0,90	-	kamenná soľ	2,10-2,60	2,22
lignit	1,10-1,25	1,19	kaolinit	2,20-2,63	2,53
hnede uhlie	1,20-1,50	1,32	kremeň	2,60-2,70	2,65
antracit	1,34-1,80	1,50	biotit	2,70-3,20	2,92
grafit	1,90-2,30	2,15	magnezit	2,90-3,12	3,03
<i>Rudné minerály</i>					
siderit	3,70-3,90	3,83	sfalerit	3,50-4,00	3,75
limenit	4,30-5,00	4,67	chalkopyrit	4,10-4,30	4,20
magnetit	4,90-5,20	5,12	pyrit	4,90-5,20	5,00
hematit	4,90-5,30	5,18	argentit	7,20-7,36	7,25
kasiterit	6,80-7,10	6,92	galenit	7,40-7,60	7,50

Príklad:
tabuľka
zo správy
Husák
a kol. (1991)

Označenie stĺpcov:

Do – objemová
hustota,

Dm – mineralogická
hustota,

Dp – prirodzená
hustota,

p - pórovitosť

Litost stratigrafické súbory	n	Do (gcm ⁻³)		Dm (gcm ⁻³)		p (%)		Dp (gcm ⁻³)	
		\bar{x}	ds	\bar{x}	ds	\bar{x}	ds	\bar{x}	ds
1. Spodná stratovulk. stavba	2226	2,37	0,28	2,67	0,09	11,11	9,70	2,48	0,19
2. Tanádsky intruz.kompl.	709	2,61	0,10	2,70	0,05	3,22	3,16	2,64	0,07
3. Vulkanicko-sediment. komplex spod.bádenu	124	2,11	0,27	2,62	0,08	19,28	9,88	2,30	0,19
4. Sebechlebská formácia	24	1,89	0,31	2,57	0,09	26,33	11,94	2,15	0,20
5. Hodrušsko-štiavnický intruzívny komplex	1002	2,63	0,08	2,69	0,06	2,14	2,21	2,65	0,07
6. Červenostudn.súvrst.	43	2,16	0,27	2,68	0,07	19,49	9,78	2,36	0,20
7. Studenská formácia	326	2,37	0,23	2,65	0,09	10,67	8,15	2,48	0,16
8. Intruz.kompl.Baniska	116	2,59	0,10	2,67	0,06	2,87	2,97	2,63	0,08
9. Intruz.kompl.Zlatna	289	2,63	0,08	2,69	0,06	2,09	2,08	2,65	0,06
10. Hlinícke ryolity	94	2,32	0,23	2,59	0,10	10,51	6,83	2,43	0,17
11. Vrchná stratovul.stav.	68	2,20	0,28	2,73	0,06	19,75	9,32	2,40	0,19
12. Ladzianské súvrstvie	7	1,47	0,16	2,43	0,06	39,35	6,12	1,86	0,10
13. Badánská formácia	21	2,24	0,42	2,54	0,05	11,93	15,60	2,36	0,27
14. Drastická formácia	46	2,24	0,25	2,73	0,06	17,93	9,40	2,42	0,15
15. Breznický komplex	19	2,04	0,30	2,57	0,09	21,22	9,96	2,25	0,20
16. Inovecká formácia	60	2,37	0,33	2,65	0,08	11,12	11,68	2,48	0,24
17. Jastrabská formácia	32	2,20	0,32	2,58	0,09	13,73	12,53	2,34	0,22
18. Alkalické bazalty a bazanity	7	2,78	0,13	2,81	0,11	1,30	0,91	2,79	0,10
19. Sedimenty Žiars.kotl.	11	1,78	0,17	2,64	0,10	32,60	5,28	2,11	0,12
20. Pliocén	6	2,10	0,54	2,64	0,10	21,03	17,51	2,31	0,37
Predneogénne podložie									
1. Paleogén	46	2,58	0,20	2,72	0,06	5,00	7,06	2,63	0,16
2. Mezozoikum	747	2,71	0,10	2,76	0,08	1,89	2,06	2,73	0,09
3. Mladšie paleozoikum	941	2,67	0,08	2,72	0,07	1,65	1,63	2,69	0,09
4. Kryštalinikum	227	2,68	0,08	2,72	0,07	1,30	1,13	2,69	0,08

Zaujímavosť – hustoty rôznych druhov látok:

asfalt	1.3	hliník	2.7
azbest	2.1 – 2.8	horčík	1.74
bakelit	1.3	kaolín	2.2
betón	2.3 – 2.4	keramika	2.0 – 3.0
bronz	7.8 – 8.8	korok	0.15 – 0.2
celuloid	1.4	kosti	1.7 – 2.0
tehla	1.8 – 2.4	krieda	1.8 – 2.6
cín	7.31	koža	0.85 – 1.0
cukor	1.6	ľudské telo po nadýchnutí	0.945
diamant	3.5	ľudské telo priemer	0.985
drevo (dub)	0.63 – 0.72	ľudské telo po vydýchnutí	1.025
drevo (jaseň)	0.56 – 0.64	meď	8.96
drevo (jedľa)	0.48 – 0.56	mosadz	8.40 – 8.75
drevo (mahag)	0.7	nikel	8.9
dural	2.8	nylón, polyamid	1.1
grafit (tuha)	2.1	ocel'	7.85
guma	0.96 – 1.30		

Zaujímavosť – hustoty rôznych druhov látok:

olovo	11.34
papier	0.7 – 1.1
parafín	0.87 – 0.93
platina	21.45
plexisklo	1.18
porcelán	2.1 – 2.4
PVC	1.2 – 1.5
sklo	2.4 – 2.8
striebro	10.5
soľ kuchynská	2.16
teflón	2.1 – 2.3
titán	4.54
uhlík	2.25
vosk	0.95 – 0.98
wolfrám	19.3
zinok	7.14
zlato	19.32
železo	7.87

zdroj:

<http://www.converter.cz/tabulky/hustota-pevne.htm>

pórovitosť

pórovitosť:

objem v hornine, ktorý je zaplnený kvapalnou a plynnou fázou

$$\phi = (V_{pl} + V_{kv}) / (V_{tv} + V_{kv} + V_{pl})$$

koeficient pórovitosti:

$$k_p = (V_{pl} + V_{kv}) / (V_{tv} + V_{kv} + V_{pl}) \cdot 100 [\%]$$

póry (podľa vzniku):

- primárne (pri vzniku horniny),
 - magmatické – pri tuhnutí magmy
 - sedimentárne – priestor medzi granulami (úlomkami)
 - metamorfované – medzikryštalické priestory
- sekundárne (neskôr vzniknuté)
 - pri zvetrávaní, biochemických a biologických procesoch, tektonických procesoch, rekryštalizácii, ...

pórovitosť

póry (podľa rozmerov):

určuje tzv. efektívny (stredný) priemer d_{ef} ,

podľa veľkosti d_{ef} delíme póry na:

1. hrubé nadkapilárne póry ($d_{ef} > 10^{-1}$ mm)

(hrubozrnné sedimenty, kavernózne karbonáty)

2. kapilárne póry ($d_{ef} \approx 10^{-4} - 10^{-1}$ mm)

(jemnozrnné sedimenty, stmelené horniny)

póry kategórie 1 + 2 nazývame ako megapóry,

v nich sa pórová voda pohybuje samovoľne

3. tenké subkapilárne póry ($d_{ef} \approx 10^{-6} - 10^{-4}$ mm)

(prírodné adsorbenty, íly, dolomity, tufy)

pórová voda sa takmer nehýbe

4. malé mikropóry ($d_{ef} < 10^{-6}$ mm)

(íly - zeolity)

pórová voda pevne naviazaná na štruktúru horniny

pórovitosť

póry (podľa komunikácie):

prepojené (odkryté) a neprepojené (zakryté),
pri odkrytých póroch sa ešte hovorí o tzv. účinnej
a retenčnej pórovitosti

pozn.: v tejto súvislosti je dôležité spomenúť
dva dôležité pojmy:

tzv. efektívna pórovitosť: popisuje maximálny objem pórov,
v ktorých sa nachádza (môže nachádzať) voľná
kvapalná fáza; rozlišuje sa prietoková a odtoková
efektívna pórovitosť,

tzv. dynamická pórovitosť: popisuje objem pórov, v ktorých
sa nachádza pohybujúca sa kvapalná fáza (pod vplyvom
zmeny hydrodynamického tlaku).

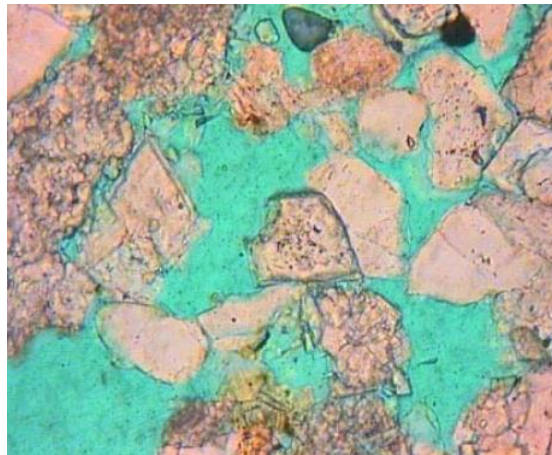
metódy určovania pórovitostí

výpočtom

z určených hustôt (objemovej a mineralogickej)
(podľa vzťahu: $\phi = 1 - \rho_o / \rho_m$)

meraním

- optickým spôsobom (z výbrusov)
- vtláčaním vody alebo ortute (vodná a ortuťná porometria)



hustoty

záverečné poznámky

rôzne typy hustôt – z hľadiska použitia a interpretácie:

- tzv. diferenčná hustota (objekty navzájom),
- tzv. dĺžková a plošná hustota (pri idealizovaných telesách),
- redukčná vs. korekčná hustota,