

Hustotní parametry

Hustota minerálů: $D = m/V$ (rozměr $kg.m^{-3}$ [SI], $g.cm^{-3}$ [CGS])

hustota = specifická hmotnost = hmotnost objemové jednotky

Horniny se skládají z pevné fáze (minerály), kapalně fáze (pórové vody), plynné fáze (plyn v pórech), proto více parametrů:

Objemová hustota

$$D_o = m_t / V$$

Mineralogická hustota

$$D_m = m_t / V_t$$

Pórovitost (celková, otevřená, efektivní)

$$P = V_p / V$$

Metody měření: D_o , D_m , P_o - metoda trojího vážení

D_m - pyknometrická metoda

m_t - hmotnost pevné fáze

P_o - otevřená pórovitost

V_t - objem pevné fáze

V - celkový objem

V_p - objem pórů

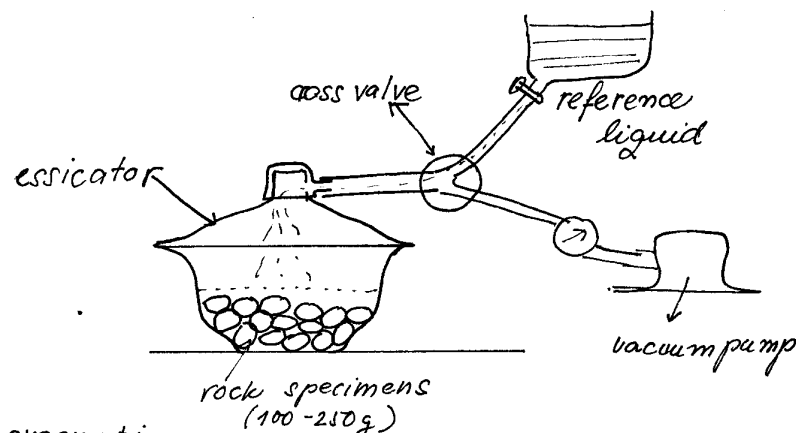
Metoda trojího vážení

$$D_o = D_k M_t / (M_p - M_{pv})$$

$$D_m = D_k M_t / (M_t - M_{pv})$$

$$P_o = 100 (M_p - M_t) / (M_p - M_{pv})$$

D_k - hustota kapaliny, M_t - hmotnost vzorku vysušeného do konstantní hmotnosti, M_p - hmotnost nasyceného vzorku, M_{pv} - hmotnost nasyceného vzorku ponořeného v kapalině



after evacuating the space with dried specimens, by means of cross valve, the essicator is disconnected from the vacuum pump and connected to the container with reference liquid

Pyknometrická metoda

(lze jí stanovit jen mineralogickou hustotu)

$$D_m = D_k (M_2 - M_1) / (M_4 - M_1 - M_3 + M_2)$$

M_1 - prázdný pyknometr

M_2 - pyknometr s vysušeným vzorkem

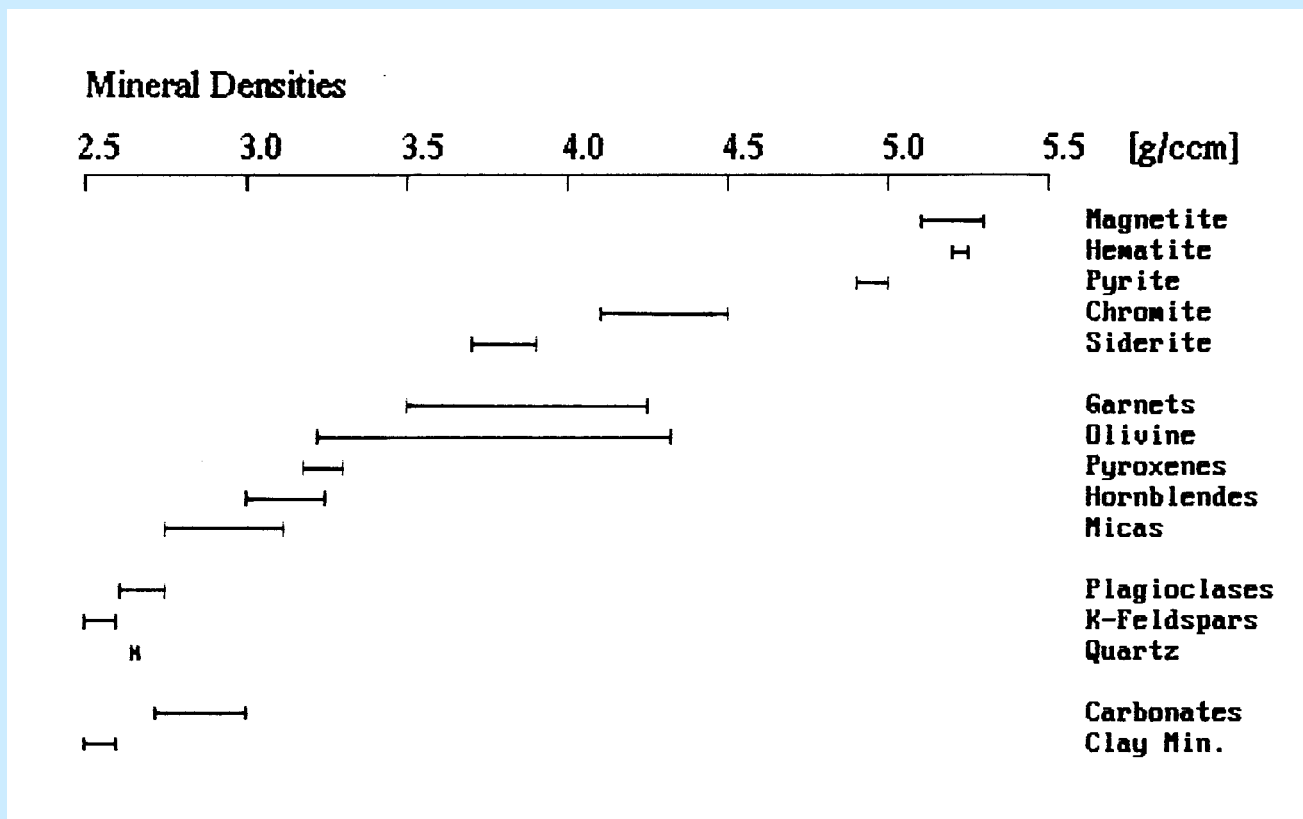
M_3 - pyknometr se vzorkem a kapalinou

M_4 - pyknometr s kapalinou bez vzorku

D_k - hustota referenční kapaliny

Podmínka: vakuování vzorku a stejná teplota kapaliny během vážení

Hustoty minerálů



Hustoty minerálů 2

Hustoty minerálů - ke grafickému znázornění

Živce

Ortoklas.....	2,57
Mikroklin.....	2,59
Albit.....	2,62
Oligoklas.....	2,65
Andezin.....	2,68
Anortit.....	2,76

Zástupci živců

Nefelín.....	2,62
Leucit.....	2,48
Sodalit.....	2,30
Analcim.....	2,26

Karbonáty

Kalcit.....	2,70
Dolomit.....	2,86
Magnezit.....	2,98
Ankerit.....	3,02
Siderit.....	3,73

Chlority

Klinochlor.....	2,66
Penin.....	2,70
Diabantit.....	2,85
Thuringit.....	3,16

Epidotová skupina

Zoisit.....	3,31
Klinozoisit.....	3,36
Epidot.....	3,40

Rudy

Sfalerit.....	4,05
Chalkopyrit.....	4,20
Pyrhotin.....	4,60
Pyrit.....	5,00
Magnetit.....	5,20
Hematit.....	5,26

Stříbro.....10,00

Zlato.....19,00

Jilové minerály

allofan.....	1,90
halloysit.....	2,10
montmorillonit.....	2,26
kaolinit.....	2,65
illit.....	2,75

zeolity.....2,20

sádrovec.....2,35

sůl kamenná.....2,15

grafit.....2,20

hnědé uhlí.....1,14

černé uhlí.....1,60

Amfiboly

obecný amfibol.....3,15

aktinolit.....3,20

riebeckit.....3,22

Olivíny

forsterit.....3,22

obecný olivín.....3,40

fayalit.....4,39

Serpentiny

chrysolit.....2,40

antigorit.....2,60

pyrofylit.....2,62

mastek.....2,70

scheelit.....6,00

wolframit.....7,20

galenit.....7,55

kasiterit.....7,00

uraninit.....8,00

cinabarit.....8,20

Křemen

křemen.....	2,65
tridymit.....	2,33
cristobalit.....	2,62
opál.....	2,20
coesit.....	2,91
stishovit.....	4,29

Slidy

muskovit.....2,83

biotit.....3,00

paragonit.....2,85

Pyroxeny

enstatit.....3,25

hypersten.....3,50

augit.....3,38

jadeit.....3,34

omfacit.....3,34

diopsid.....3,27

Granáty

pyrop.....3,53

grossulár.....3,59

spessartin.....4,19

almandin.....4,25

cordierit.....2,68

andaluzit.....3,15

sillimanit.....3,24

kyanit.....3,65

staurolit.....3,74

korund.....4,00

Akcesorie

zirkon.....4,69

monazit.....5,30

topaz.....3,54

apatit.....3,28

turmalín.....3,10

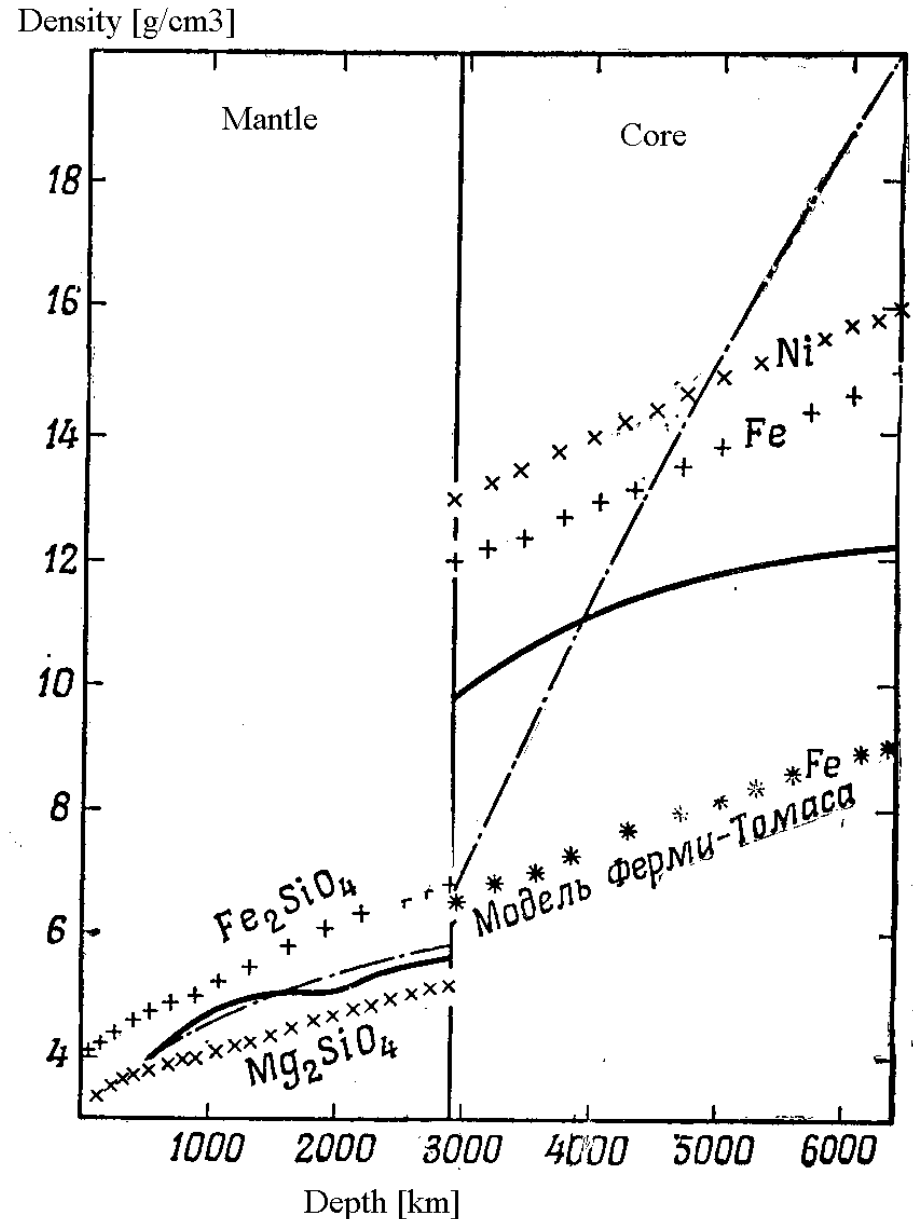
rutil.....4,80

diamant.....3,30

Hustotní stavba Země

Hustotní skok na hranici pláště a jádra potvrzuje seismologie, ale existuje několik modelů k jeho vysvětlení

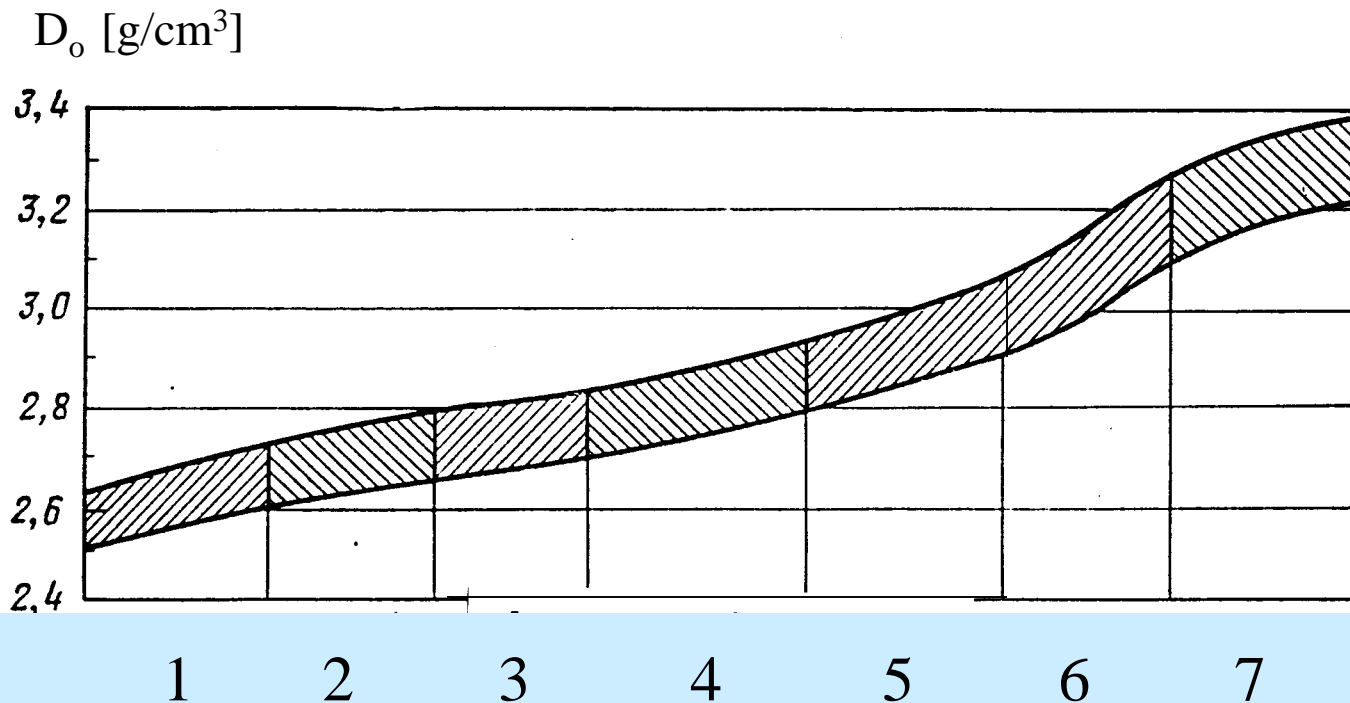
Na hranici Moho je hustota svrchního pláště $3,3 \text{ g/cm}^3$



Variation of density with depth

Objemové hustoty hlubinných magmatických hornin

(1) závisejí na minerálním složení, (2) u granitů a ultrabazik rostou obecně s bazicitou, (3) u granitů závisejí především na obsahu tmavých minerálů



1 granit

2 granodiorit

3 krem. diorit

4 diorit

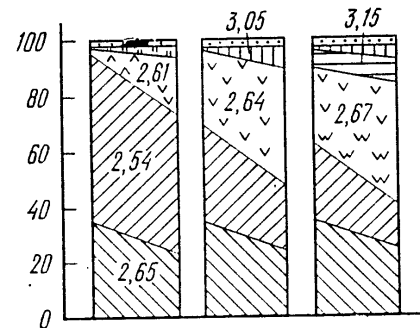
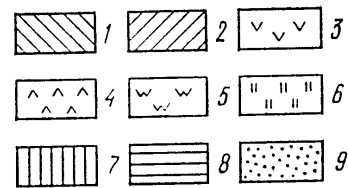
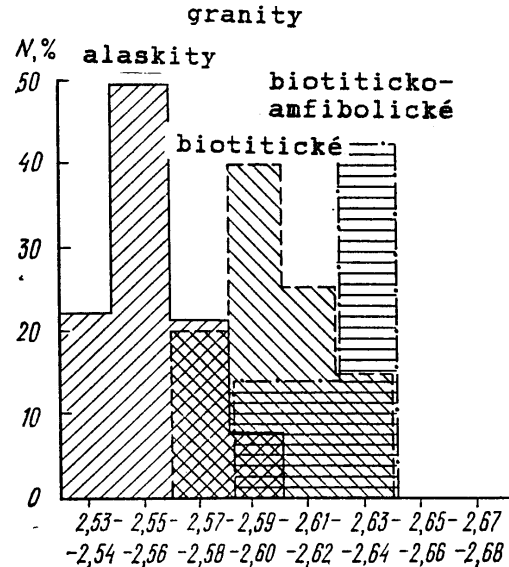
5 gabro

6 pyroxenit

7 peridotit

Objemové hustoty granitů

Objemová i
mineralogická hustota
granitů stoupá s
přibývajícím množstvím
slíd a amfibolu



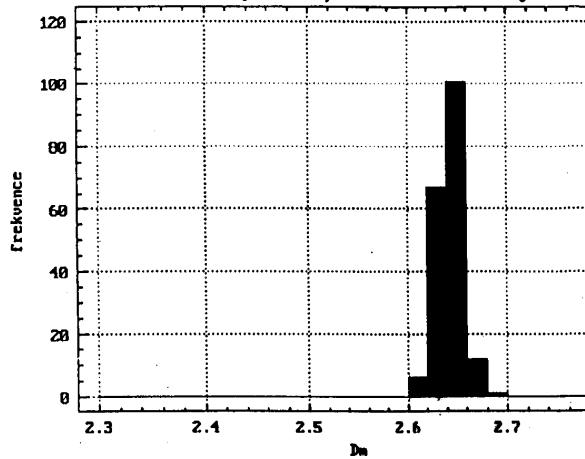
1 křemen, 2 mikroklin, 3 albit, 4 oligoklas, 5 andezin
6 muskovit, 7 biotit, 8 amfibol, 9 akcesorie

Hustota a minerální složení

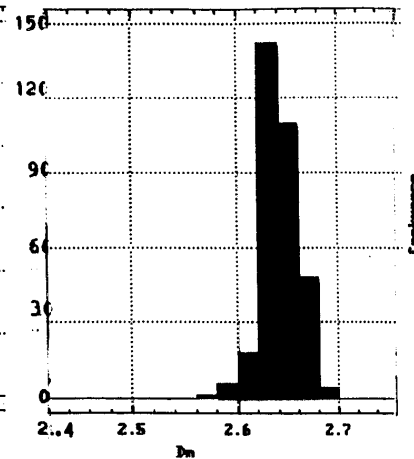
granitických hornin kyselého složení

Hustoty granitů Českého masívu 1

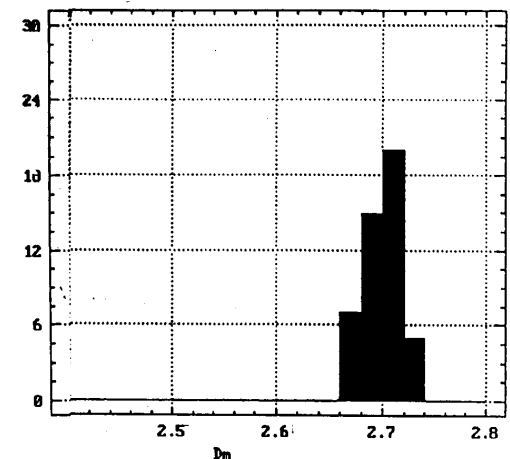
Karlovarský masív, krušnohorské žuly



Karlovarský masív, horské žuly

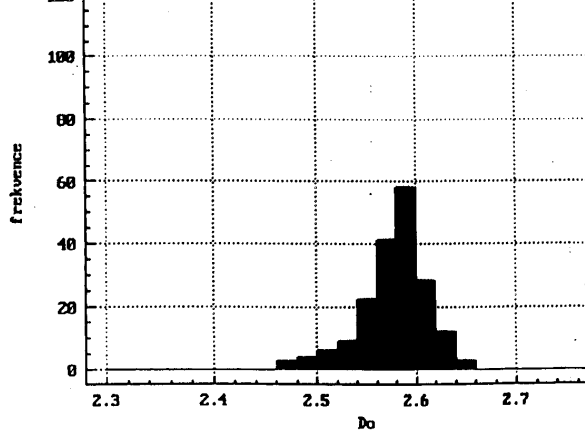


Středočeský pluton, blatenský granodiorit

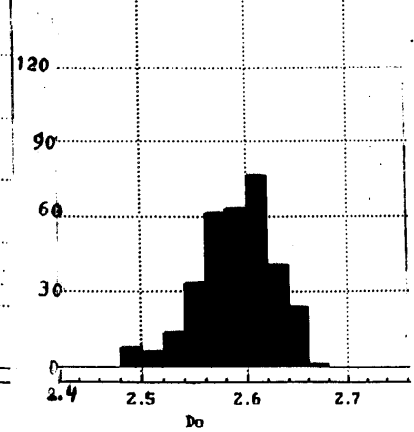


D_m [g/cm³]

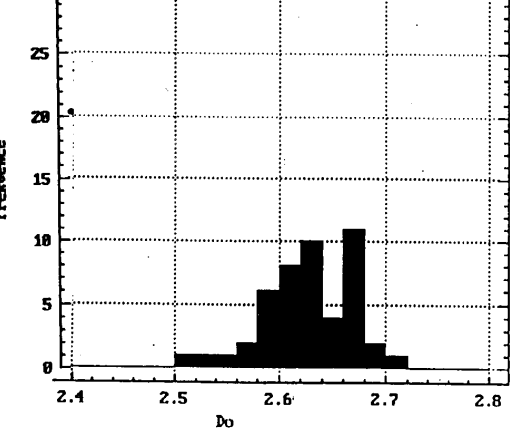
Karlovarský masív, krušnohorské žuly



Karlovarský masív, horské žuly



Středočeský pluton, blatenský granodiorit



65

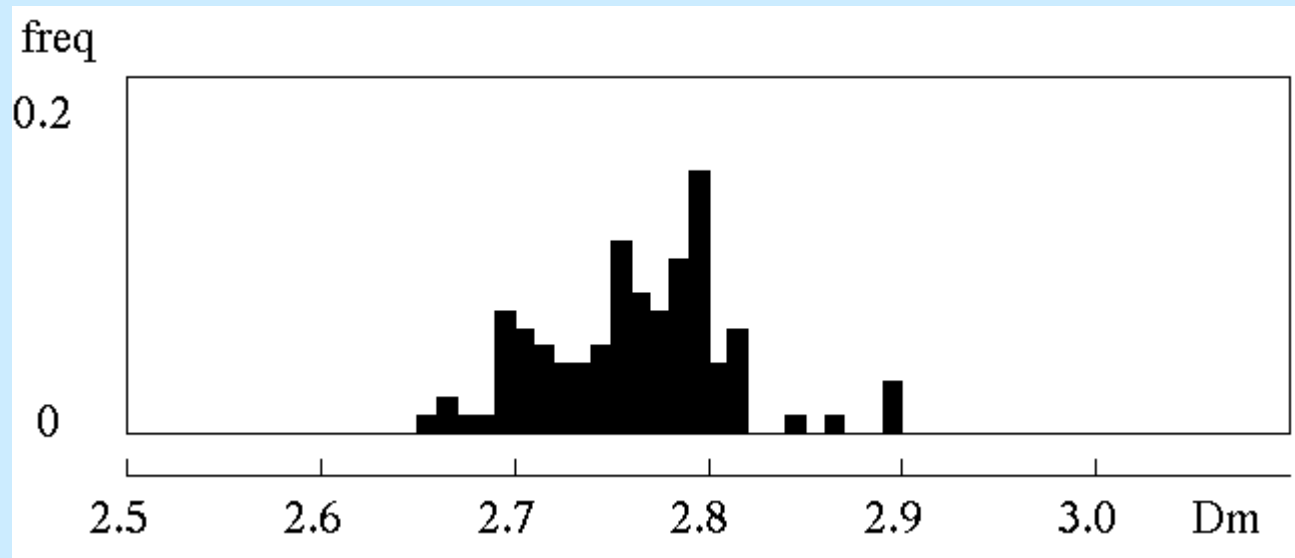
64

66

D_o [g/cm³]

Hustoty granitů Českého masívu 2

Třebíčský durbachitový masív



Hustoty magmatitů a metamorfitů

Magmatity a metamorfity tvoří převážnou část kůry

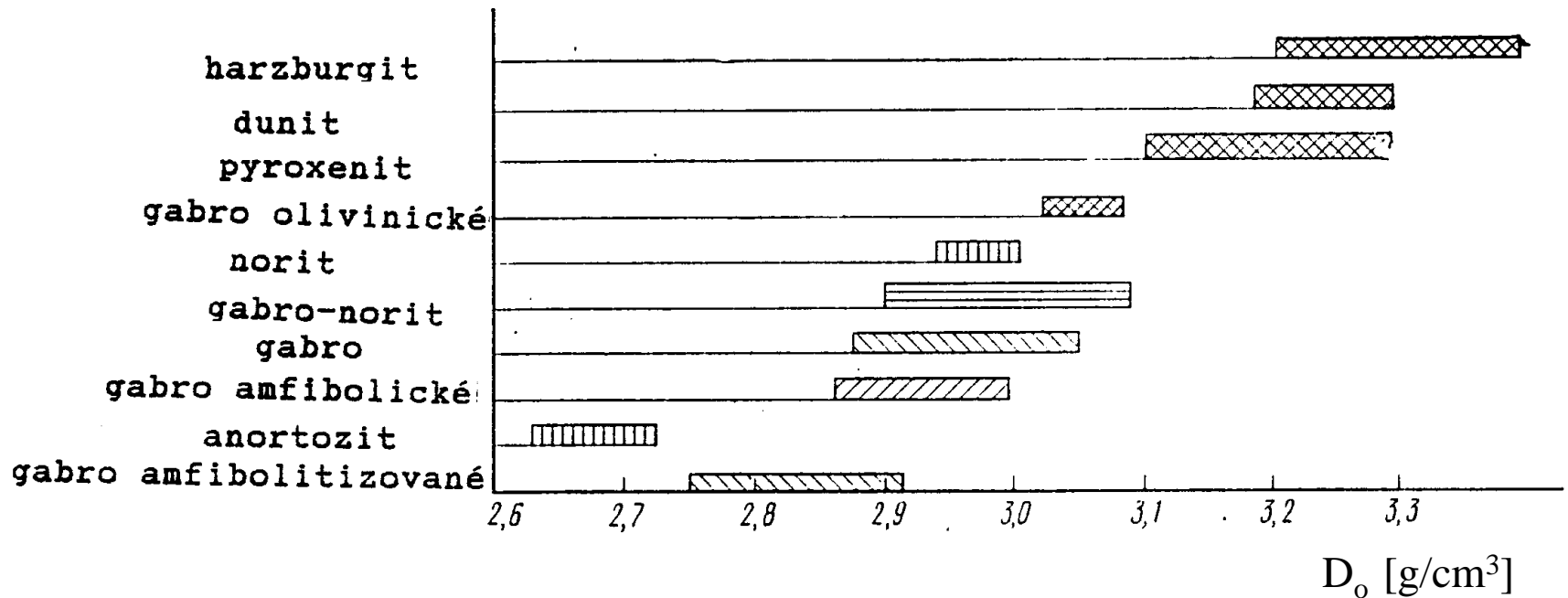
Mocnost kůry na kontinentech kolísá od 30 do 60 km. V Českém masivu je kůra nejmocnější v moldanabiku (cca 40 km), nízkou mocnost má v krušnohorském a oherském krystaliniku (cca 35 km). Celé rhenohercynikum střední Evropy se vyznačuje relativně nízkou mocností kůry, mezi 30-35 km.

Mineralogická hustota magmatitů a metamorfitů (údaje v g.cm^{-3}):

$\frac{2,63-2,68}{2,65}$	granity, alkalické syenity [fyolity, trachyty, fonolity]	ortoruly světlé metavulkanity granulity
$\frac{2,62-2,72}{2,70}$	granodiority, trondhjemit dacity, světlé andezity	ortoruly, migmatity porfyroidy (skaliny) běžné granulity kvarcity
$\frac{2,72-2,80}{2,75}$	tonality, melasyenity, anorthozity andezity, tefrity	ruly, svorové ruly, fylity migmatity, porfyroidy kalcitické mramory
$\frac{2,80-2,90}{2,85}$	diority bazaltické andezity, tefrity, bazalty ss.	sillimanitické pararuly svory, metabazity, migmatizované amfibolity dolomitické mramory tmavé granulity
$\frac{2,90-3,10}{3,00}$	gabra, meladiority bazalty, alkalické bazalty	zelené břidlice, amfibolity, granátické amfibolity retrogresované eklogity
$>3,10$	amfibolovce, troktolity rudy i více než 3,60	modré břidlice eklogity siderity

Horniny svrchního pláště v podloží kůry, zastoupené lherzolity, harzburgity, dunity, granátickými peridotity se vyznačují hustotami od $3,20$ do $3,60 \text{ g.cm}^{-3}$, charakteristická hustota pod Mohorovičičovou diskontinuitou je $3,30 \text{ g.cm}^{-3}$.
Střední mineralogická hustota kůry je přibližně $2,72-2,75 \text{ g.cm}^{-3}$.

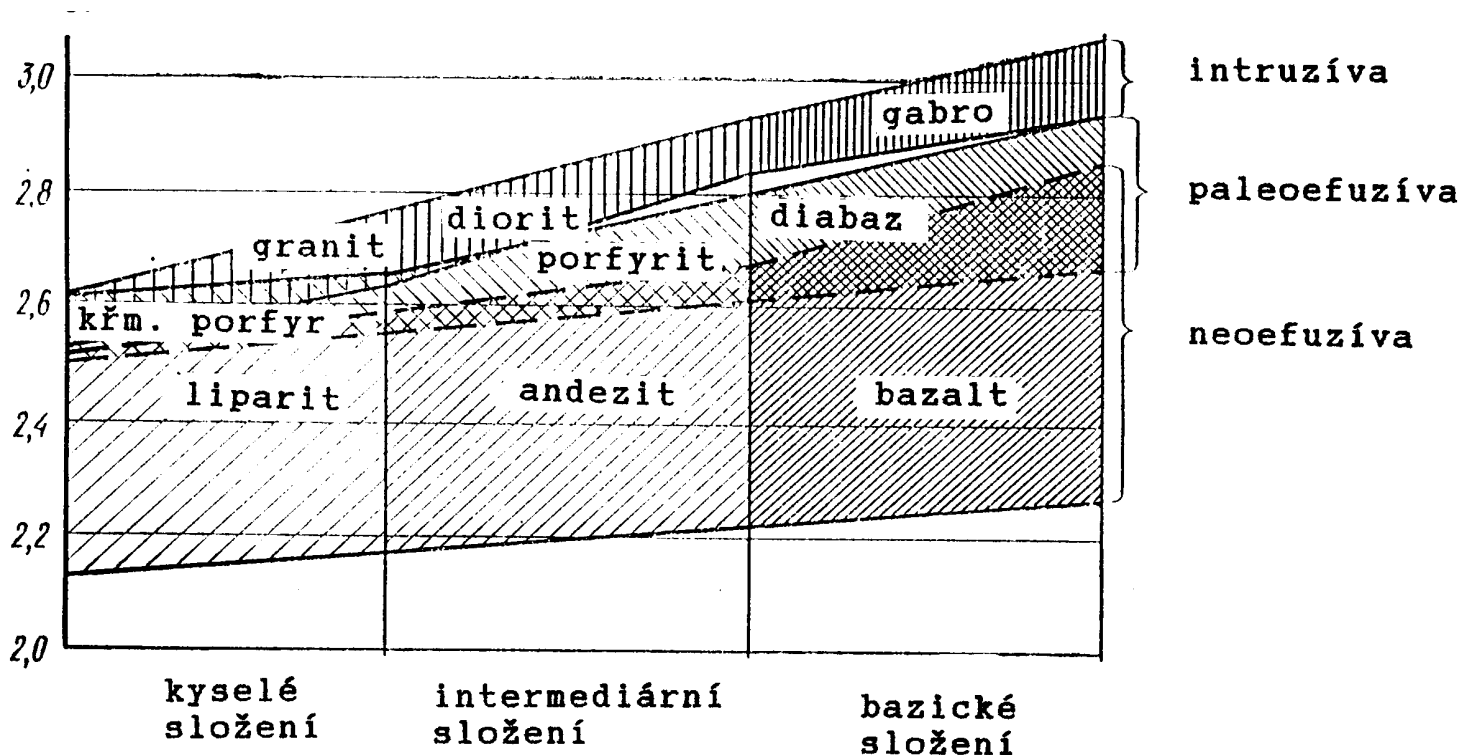
Objemové hustoty bazických až ultrabazických hornin



Objemové hustoty vulkanických hornin

- závisí na složení, struktuře (sklovitá, pórovitá), stáří
- jsou nižší než u intruzív stejného chemického složení,
- jsou nižší u neovulkanitů než u paleovulkanitů (rekrystal., deform.)
- u pórových láv nízké, nejvyšší u masívní, nejnižší u pemzové struktury, velmi tedy závisí na pórovitosti

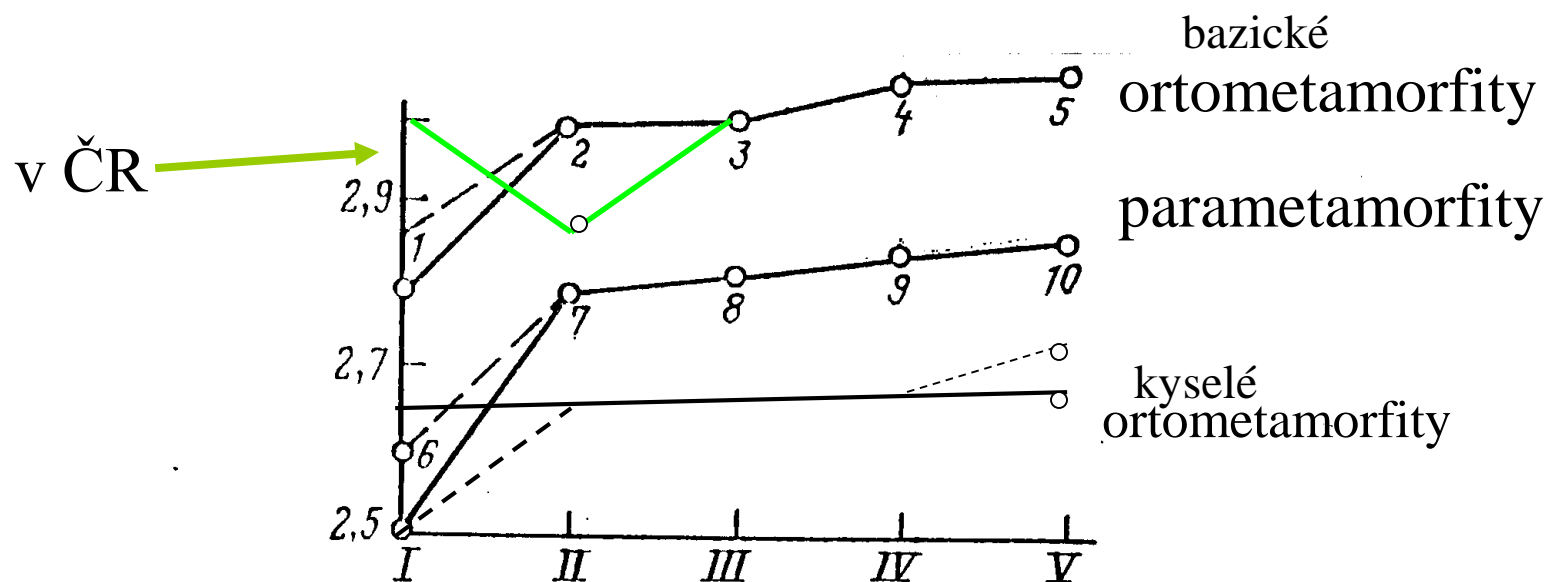
D_o [g/cm³]



Hustoty metamorfovaných hornin

progresivní regionální metamorfóza: přizpůsobování minerálního složení podmínkám vzniku podobně jako u principu minerální facie

Graf : objemové hustoty

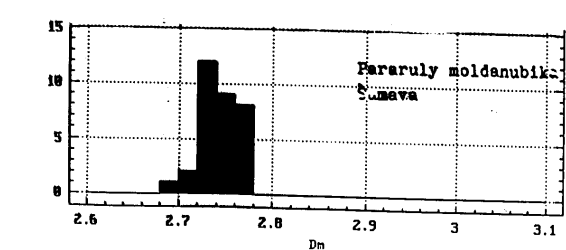
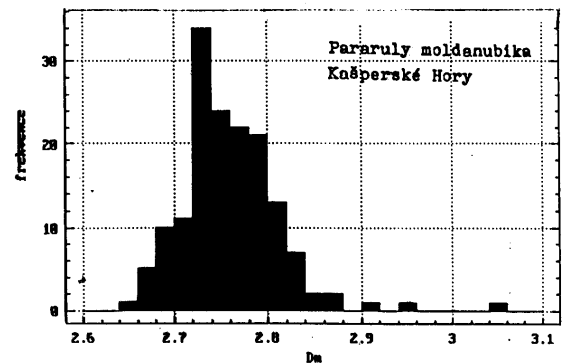
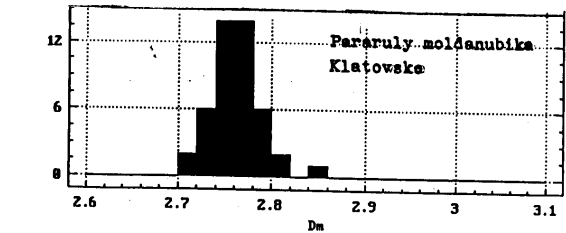
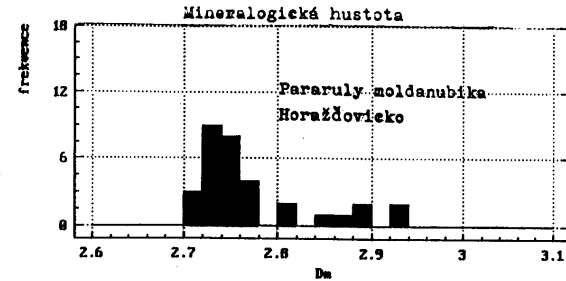
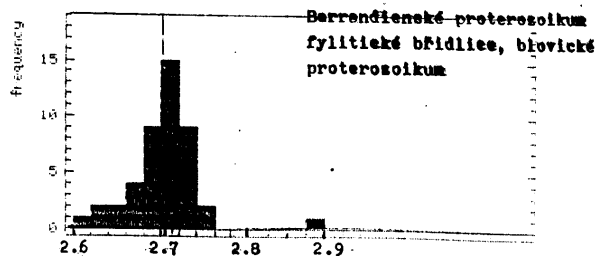
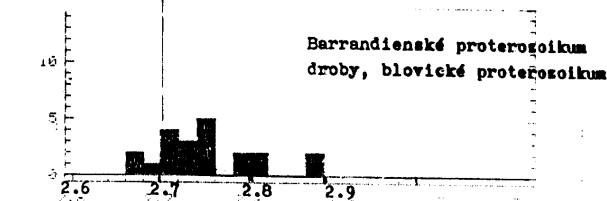
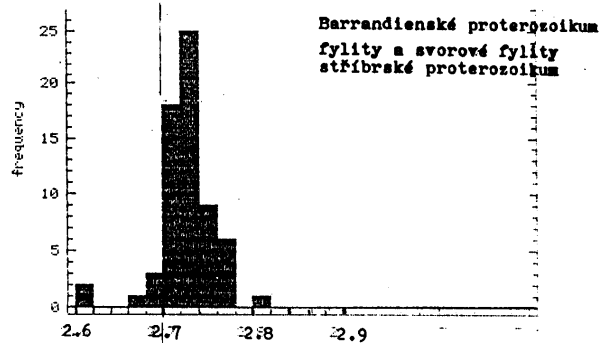
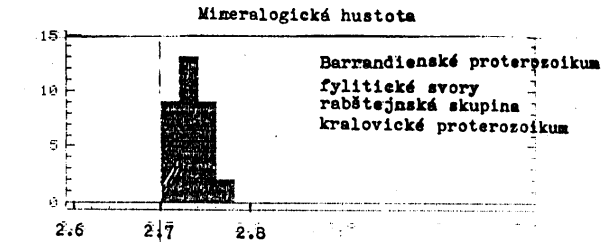


Změny hustot hornin izochemických řad během regionální metamorfózy

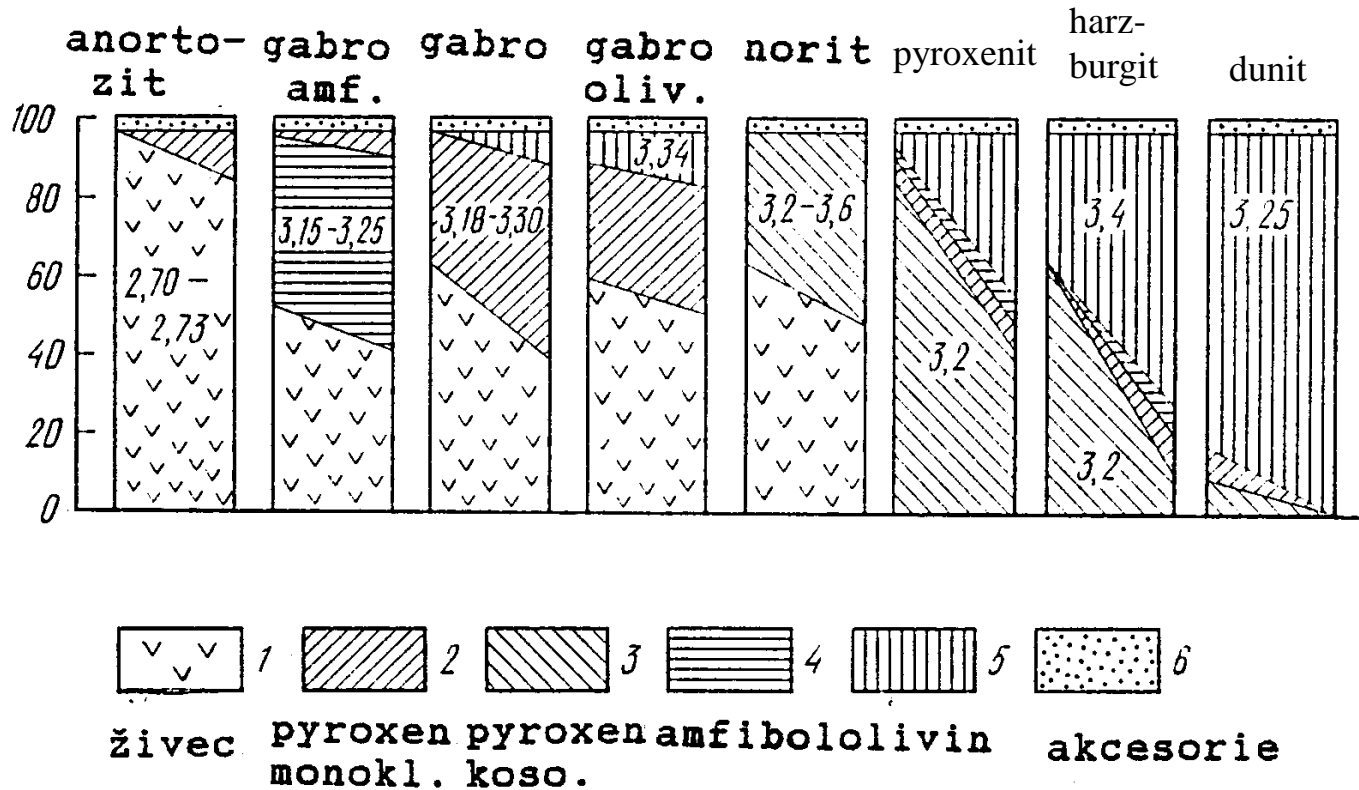
I nepřeměněné horniny, II prehnit pumpelcitová facie
III facie zelených břidlic, IV amfibolitová facie
V facie ganulitických amfibolitů

Hustoty metamorfítů Českého masívu

Dm [g/cm³]

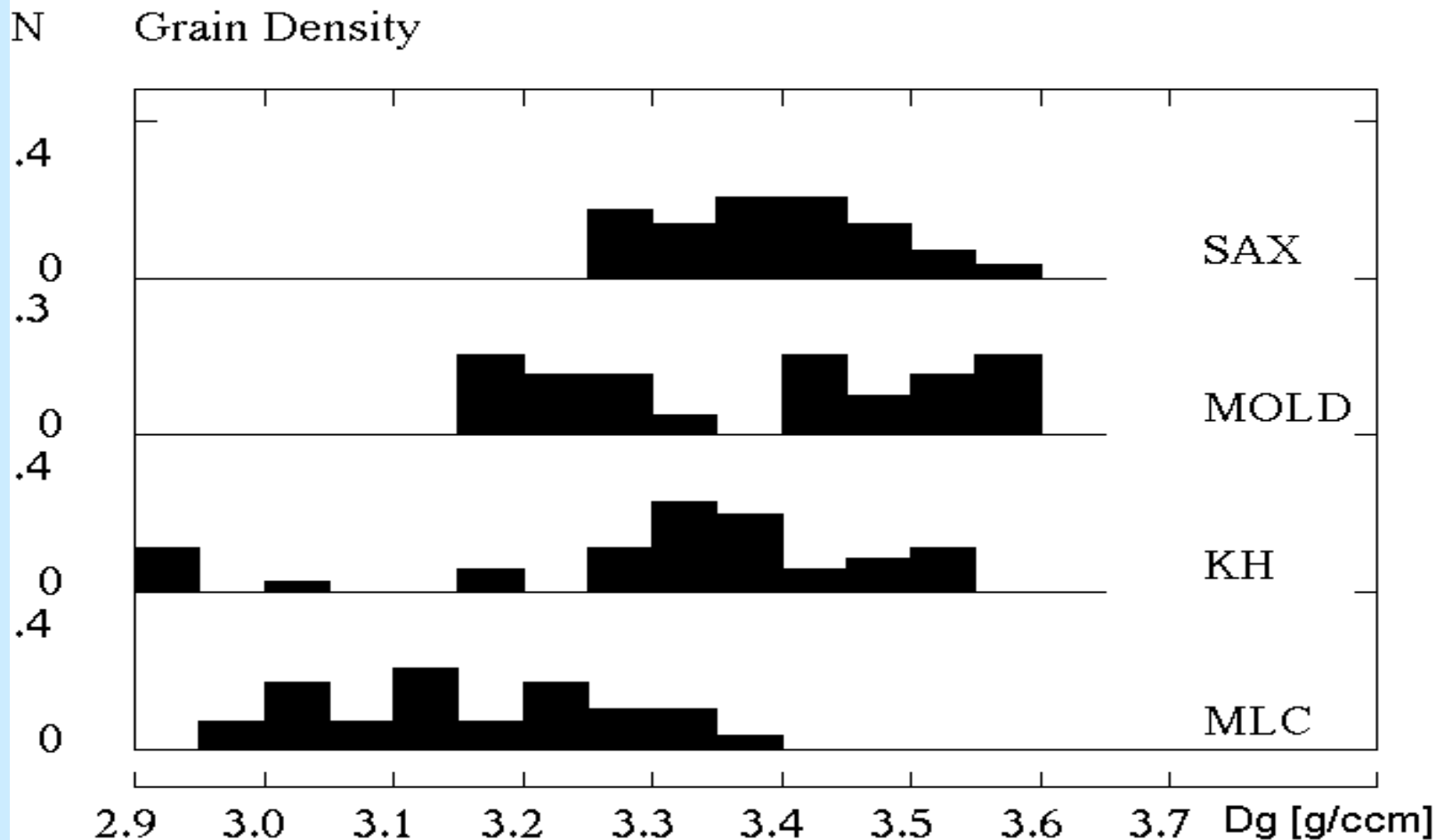


Hustoty metabazitů - Dm



Rozpětí změn hustoty a minerální složení hornin skupiny gabra a metabazitů

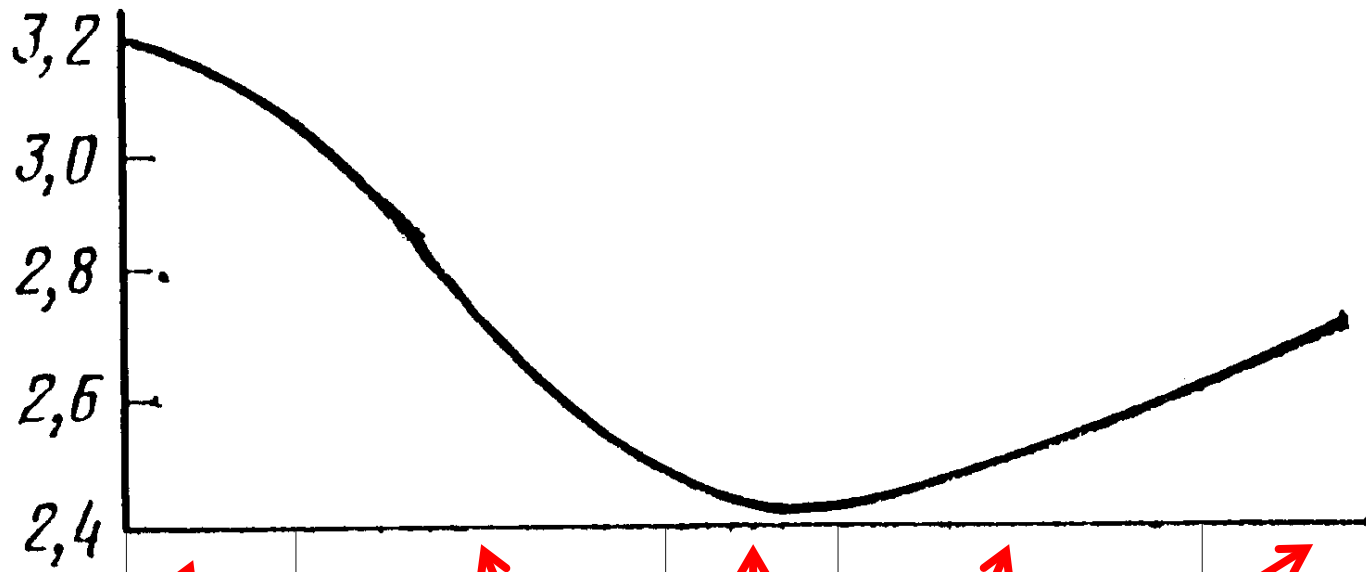
Hustoty eklogitů ČM



SAX-saxothuringikum, MOLD-moldanubikum, KH- kutnohorské krystalinikum. MLC-mariánsko-lázeňský metabazitový komplex

Hustoty ultrabazik – serpentinizace a karbonatizace

$D, g/cm^3$



ultrabazity

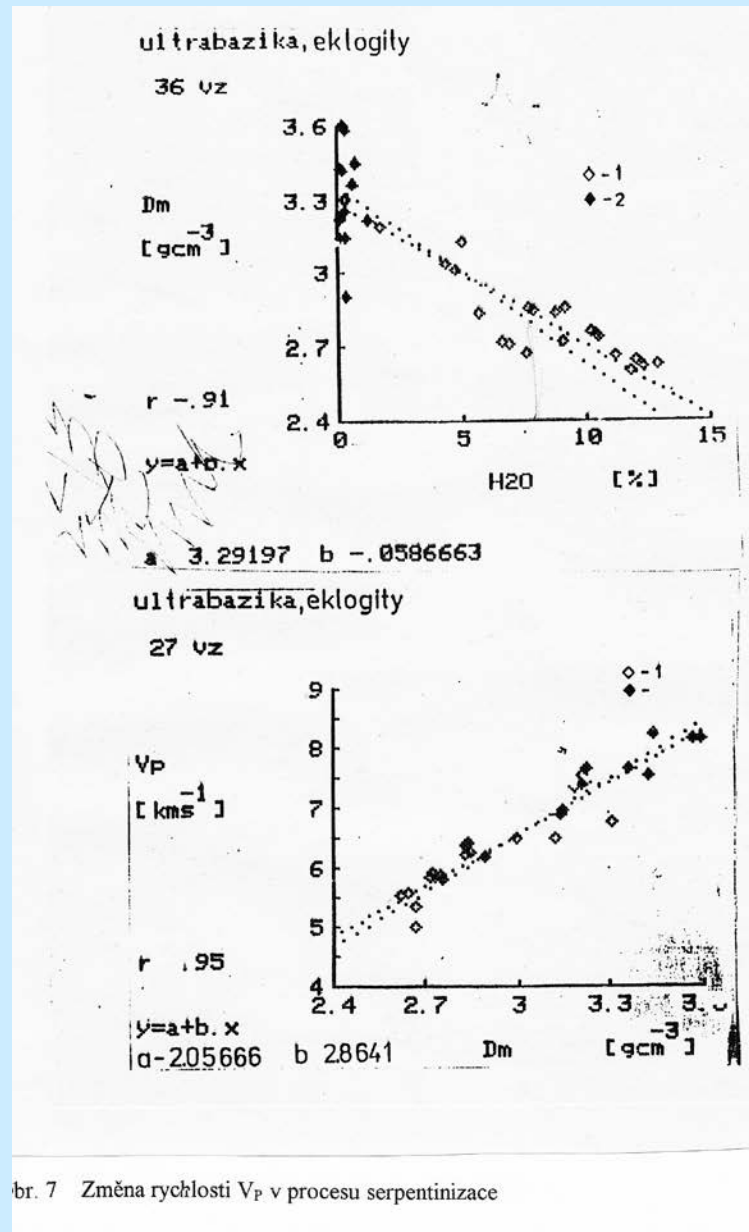
serpentinizované ultrabazity

serpentina

karbonatizované serpentina

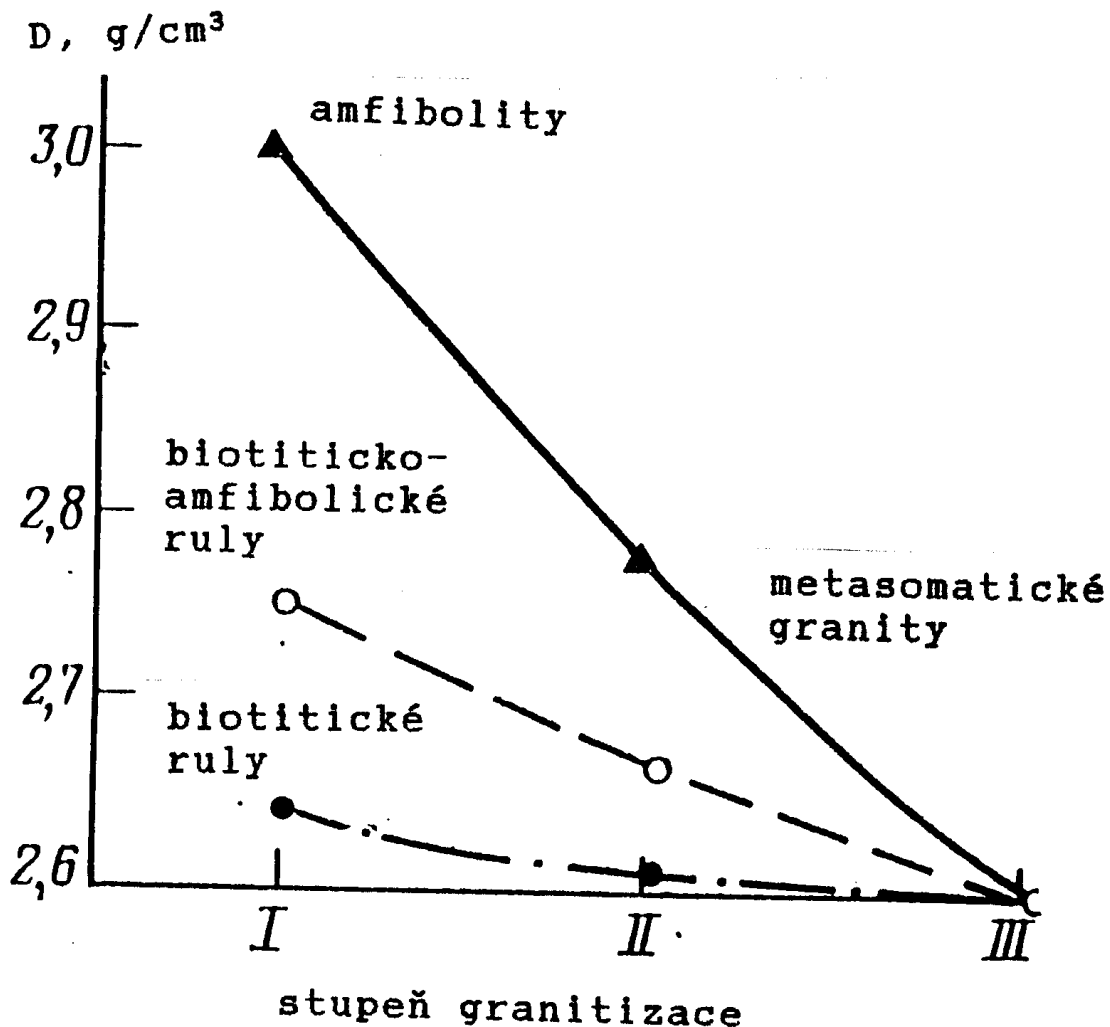
karbonatity

Závislost Dm ultrabazik na obsahu vody



Hustoty ultramamorfů

ultramamorfóza:
hluboké přeměny
jako metasomatóza,
selektivní mobilizace
za nízkých tlaků a
vysokých teplot



Změny hustot hornin během ultramamorfózy

Autometamorfóza, hypergeneze

Hustoty dynamometamorfitů se mění, vliv mají texturní změny a přeměny minerálů, nárůst nebo pokles pórovitosti (mylonitizace, tektonické brekcie, fylonitizace)

Hustoty autometamorfitů: 1. serpentinizace a amfibolitizace ultrabazik : hyperbazit (peridotit) -> serpentinizovaný hyperbazit - >serpentinit <- karbonatizovaný serpentinit <- karbonatit - hustota nejdříve klesá a pak stoupá, 2. autometamorfóza granitů – sada procesů (**albitizace** mírně zvyšuje D_m , **serpentinizace**, **kaolinizace** – zvyšují značně pórovitost, **fluoritizace**, **greisenizace** zvyšují D_m)

Hypergeneze (D_o): zvětrávání, pokles objemové hustoty, růst pórovitosti

Objemové hustoty usazených hornin - řídicí parametry: minerální složení, značná pórovitost a proto jsou nižší než u metamorfitů a intruzív. Klastické sedimenty: nízká hustota, karbonáty vyšší, závislost na diagenезi, hloubce a tektonice

Vysokoteplotní přeměny

Migmatitizace - snižuje hustotu rul až k $2,65 \text{ g/cm}^3$ – vliv živců a křemene

Cordieritizace - snižuje hustotu rul až k $2,68 \text{ g/cm}^3$ - vliv křemene a cordieritu

Retrogrese eklogitů do granulitové a amfibolitové facie - snižuje hustotu až ke $2,80$ z původních $3,30 - 3,50 \text{ g/cm}^3$ - vznik plagioklasů, přeměna granátů a pyroxenů, vznik amfibolů a křemene

Metasomatóza v okolí rudních ložisek

Silicifikace - Do i Dm se přibližuje k hustotě křemene, zmenšuje se i pórovitost (póry se ucpávají)

Kaolinizace, zjílovatění živců - klesá Dm a výrazně Do, zvyšuje se pórovitost

Karbonatizace - v případě dolomitizace, ankeritizace a sideritizace stoupá s obsahem Fe a intenzitou procesu Do i Dm a klesá pórovitost (póry se ucpávají)

Sericitizace - stoupá Dm, někdy i Do, ale pórovitost se obvykle zvětšuje

Adularizace - přínos K, Na, nízkoteplotní živce. Snižuje se Dm, ale zmenšuje se i pórovitost (póry se ucpávají)

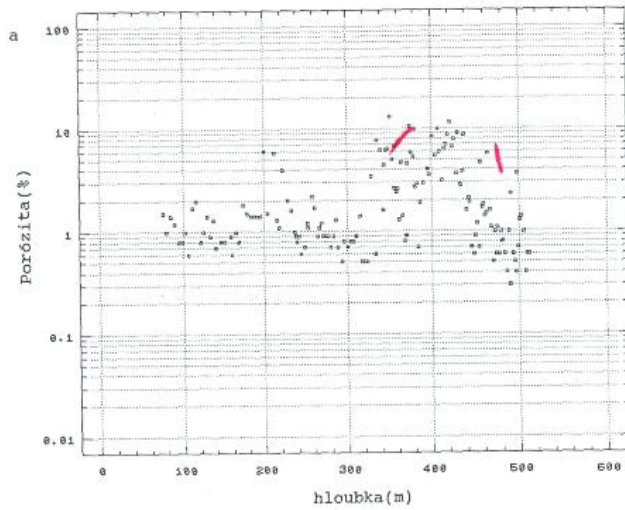
Alkalická metasomatóza - přínos K, Na - jílové minerály, alkalické živce - Dm se snižuje

Zrudnění - Do i Dm se podstatně zvyšují - viz hustoty rudních minerálů - v okolí rudních ložisek pyrit, pyrhotin, magnetit- aureoly okolo vulkanosedimentárních ložisek

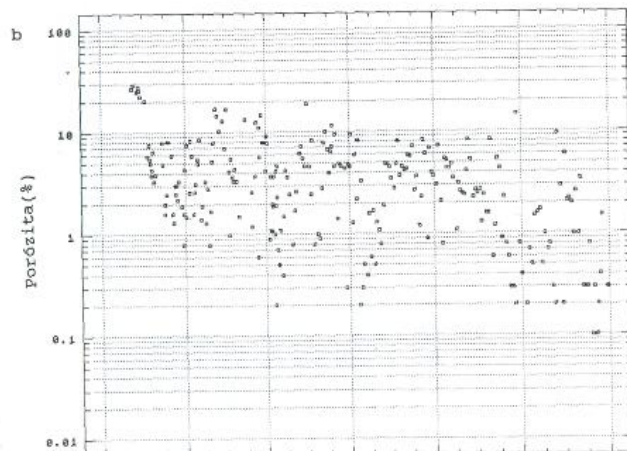
Póroitosť granitů v tektonických zónách – karlovarský masív

Obr. 4

Změny porozity s hloubkou ve vrtu H3-1

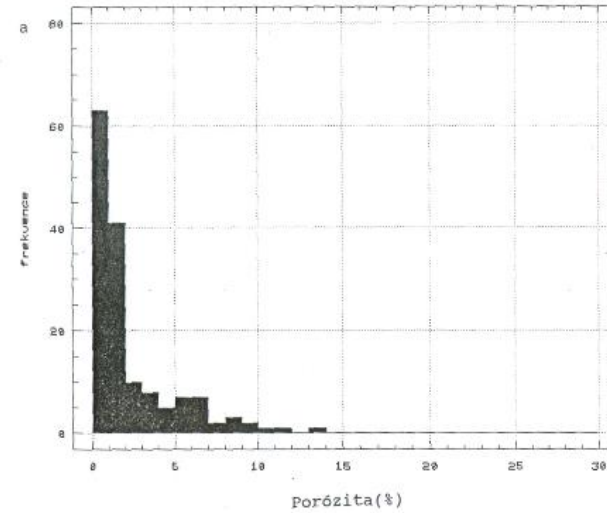


Změny porozity s hloubkou ve vrtu H3-2

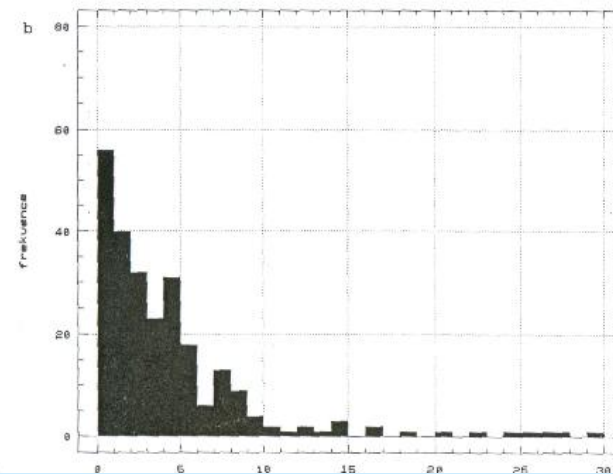


Obr. 3

Žily karlovarského masívu - vrt H3-1



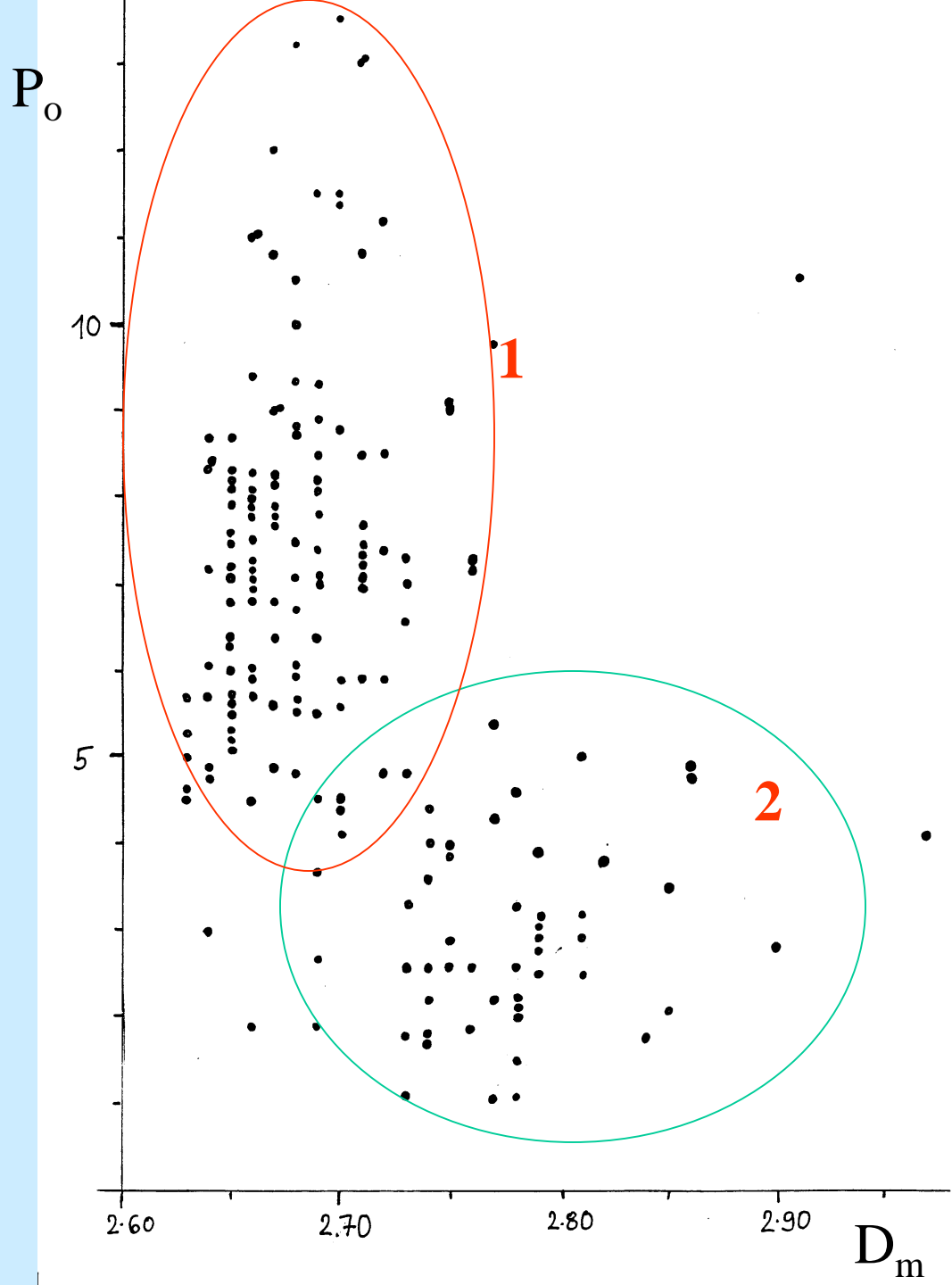
Žily karlovarského masívu - vrt H3-2



Pórovitost žul a greisenů cínoveckého pně

1 - alterované albit-cinvalditové granity

2 - greiseny



Hustoty sedimentů

Řídicí parametry: minerální složení a významně se podílí **pórovitost**

Objemové hustoty jsou zpravidla nižší než u metamorfitů a hlubinných magmatitů, neplatí to pro železité slepence, dolomity, ankerity a siderity

V pánvích existuje závislost na diagenetickém zpevnění a hloubce, ale mocnost není rozhodující pro pórovitost příkrovových sekvencí

Recentní nezpevněné sedimenty se vyznačují vysokou pórovitostí, až do 50 %, a nízkou D_0 .

Velmi nízké hustoty, jsou charakteristické pro uhlí, diatomity a organogenní břidlice

Pórovitost sedimentů Českého masívu

psamity

prachovce

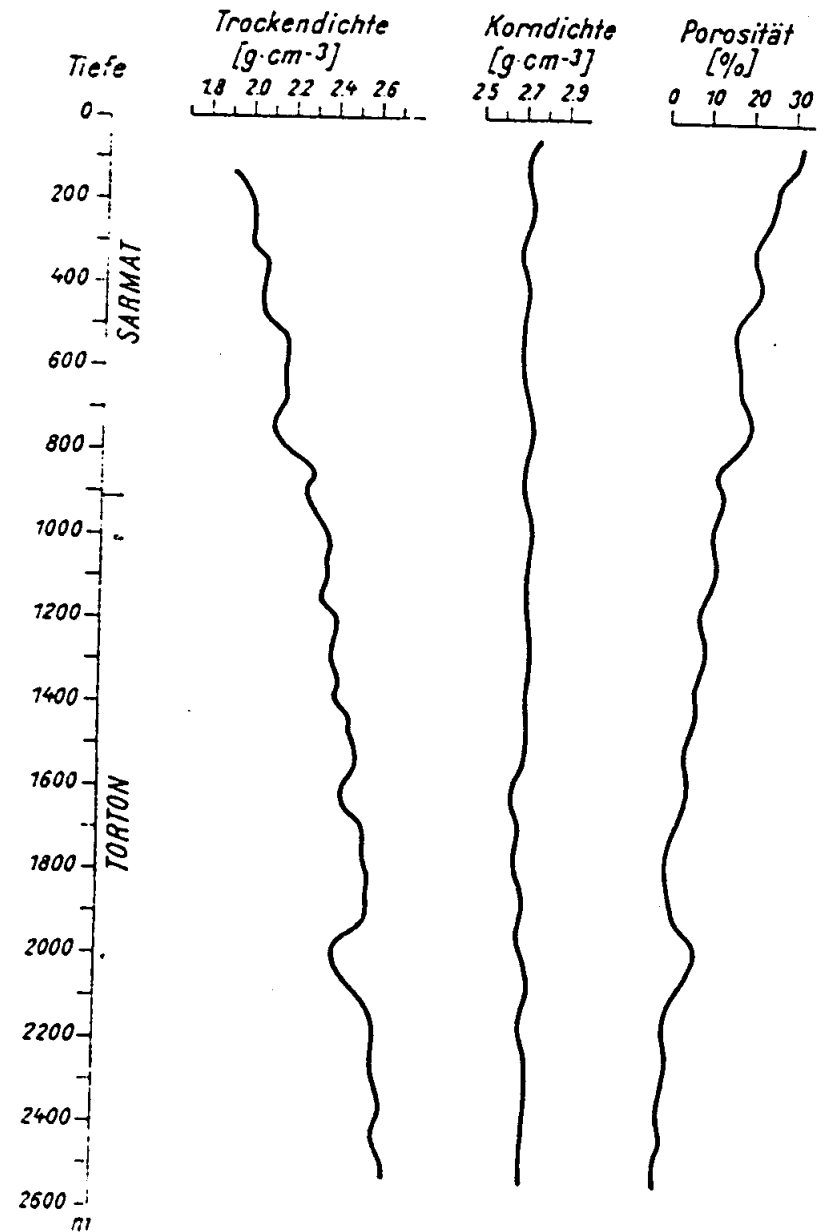
pelity



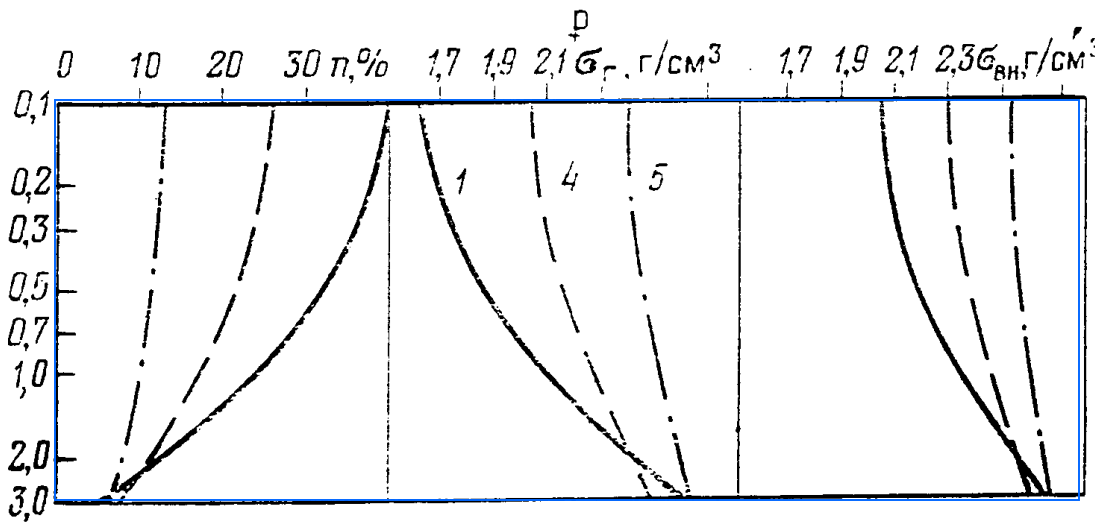
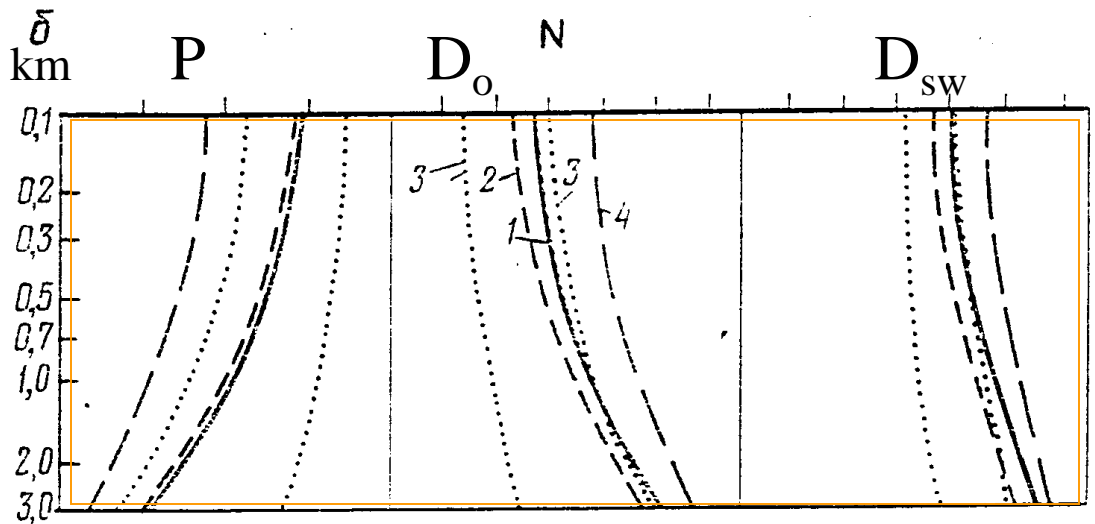
Gradienty hustoty D_0 a pórovitosti neogénních hornin vrtu Sečovce

Trockendichte - objemová hustota

Korndichte - mineralogická hustota



Hustota a pórovitost usazených hornin 1



Taranská plošina

- 1 jílovec
- 2 prachovec
- 3 pískovec
- 4 slínovec
- 5 vápenec

P – otevřená pórovitost

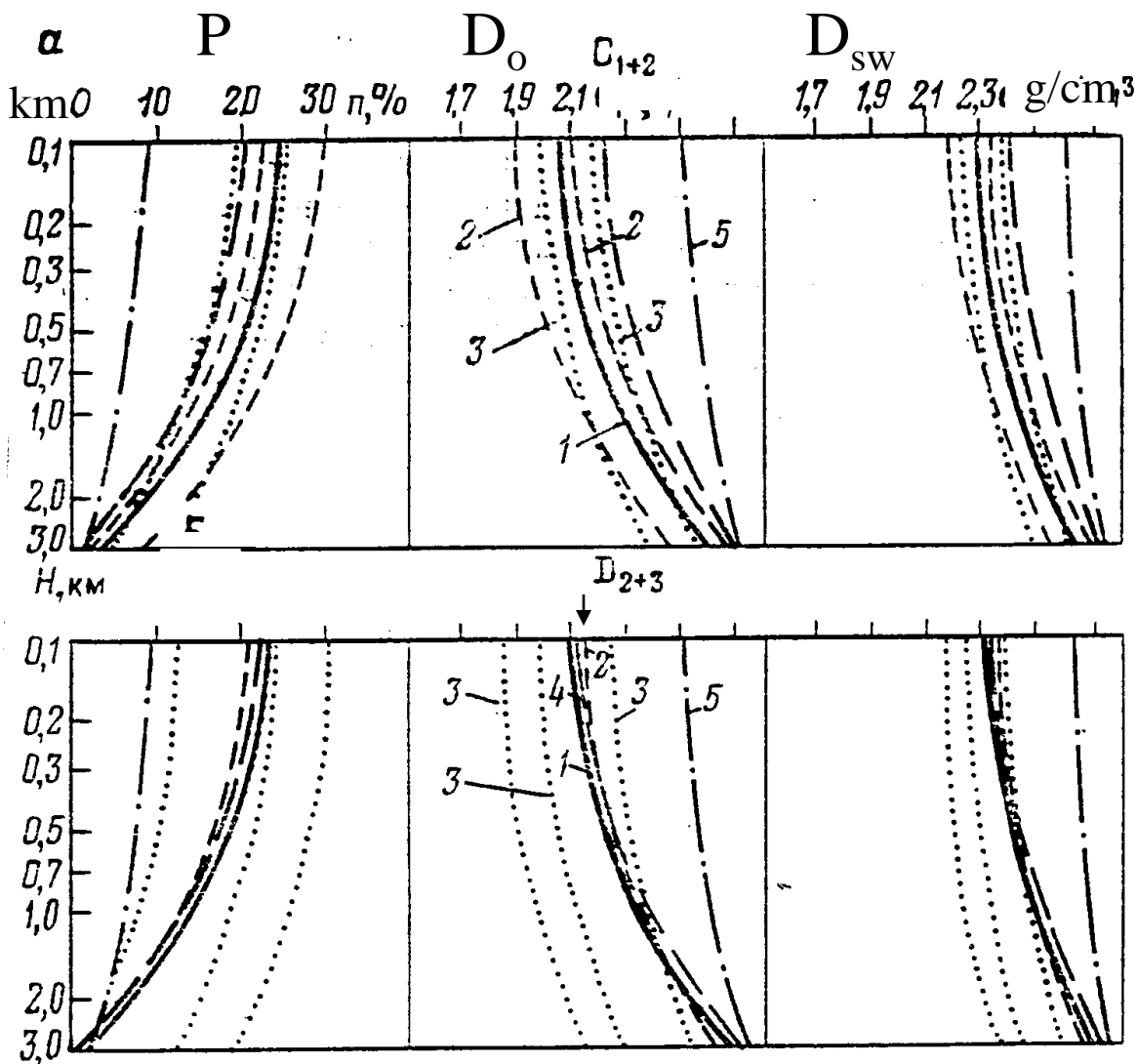
D_o - objemová hustota

D_{sw} - hustota s póry nasycenými vodou, tj. odhad hustoty přirozené,

D_n

N – neogen, p -paleogen

Hustota a pórovitost usazených hornin 2



Ruská platforma

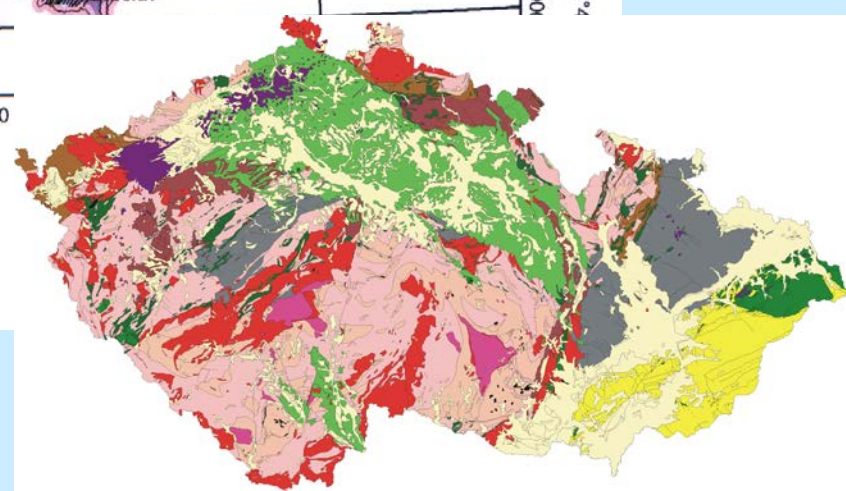
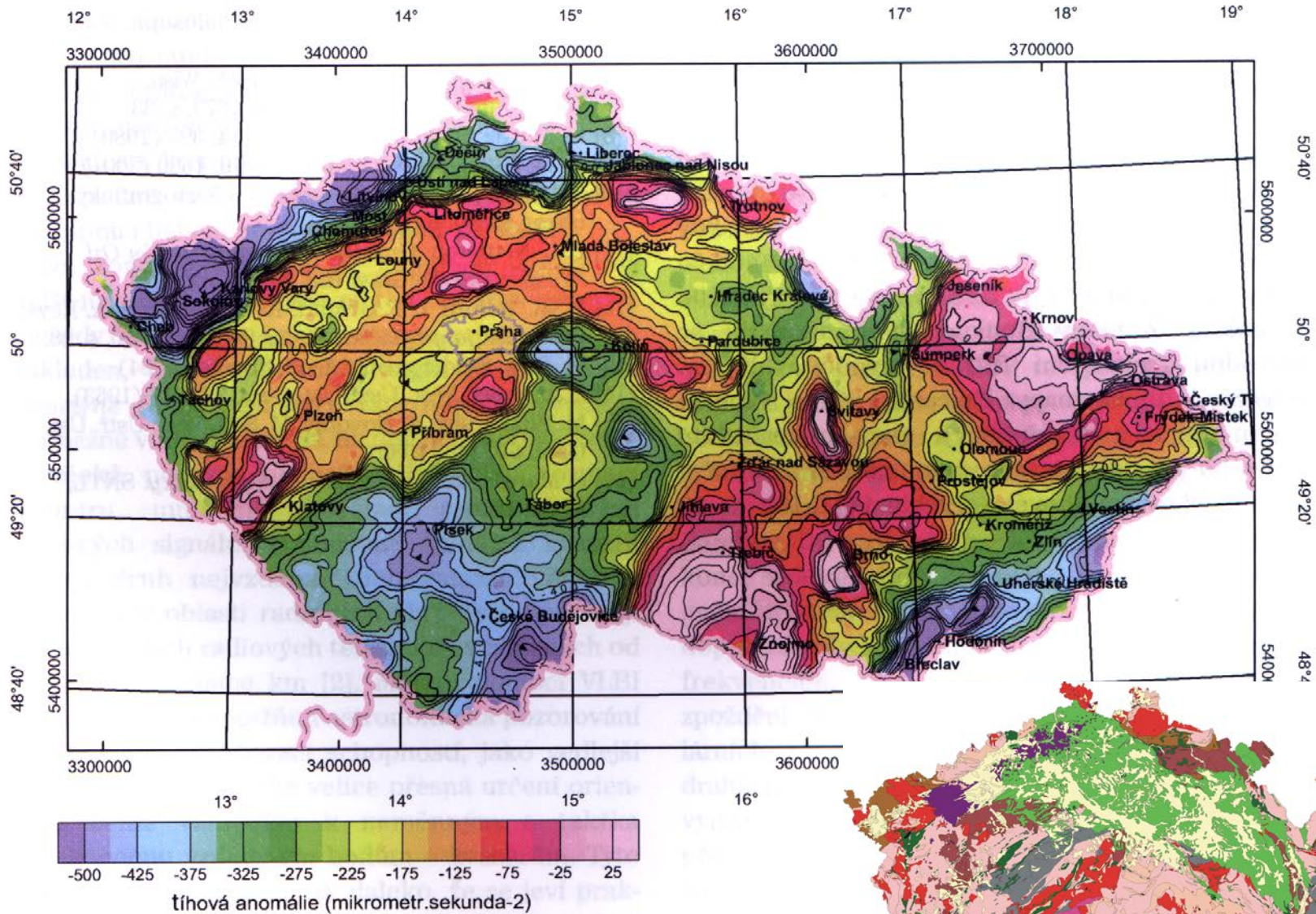
- 1 jílovec
- 2 prachovec
- 3 pískovec
- 4 slínovec
- 5 vápenec

- P – pórovitost,
 D_0 – objemová hustota
 D_{sw} – hustota s póry nasycenými vodou
 Hloubka je v km !
 C - karbon,
 D - devon

Bouguerova anomálie

- Tíhové anomálie informují o hustotních nehomogenitách v kůře, velmi spolehlivě do cca 15 km hloubky. Indikace poskytují o geologické stavbě do hloubky cca 40 km. Pro geologické účely slouží anomálie Bouguerovy.
- **Negativní anomálie** tvoří hlavně granity, migmatity a větší formace a struktury sedimentů.
- **Pozitivní anomálie** působí bazické horniny a nepřeměněná ultrabazika.
- Málo rozsáhlé jsou anomálie drobnějších zdrojů, např. uhelná ložiska, organické břidlice, soli, některé vulkanity (negativní) -rudní ložiska, siderity, karbonáty v sedimentárních jednotkách, bazické vulkanity, fylity, modré břidlice, některé ruly (pozitivní).
- Tíže pro geologické účely se měří gravimetry. Registrují se anomálie v desítkách $\mu\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, resp. v mgl. Výsledky se prezentují v mapách Bouguerových anomálií. Pro ČR jsou v měřítku 1:50 000 uloženy v Geofondu České geologické služby.

Gravimetrická mapa České republiky



Krušnohorské tíhové minimum

