

2.3

Metody charakterizace horninového prostředí pro potřeby bezpečnostních rozborů (1)

- Geologické mapování
- Geochemický výzkum
- Karotážní metody
- Geotechnický výzkum
- Petrologický výzkum
- Fyzikální vlastnosti hornin
- Laboratorní výzkumy
- Výzkumy in situ

Geologické mapování

Geologická mapa je základním nástrojem geologického popisu lokality a podkladem pro situování a realizaci všech ostatních geologických aktivit.

Geologická mapa interpretuje v daném měřítku rozsah jednotlivých horninových těles a průběh hranic mezi nimi na zemském povrchu. Cílem geologického mapování je pak sběr dat pro co nejvěrnější zachycení této situace.

Do mapy je nutno průběžně zapracovávat relevantní informace ze všech na projektu zúčastněných geovědních disciplín.

Geologická mapa bude litologicko-stratigrafická
zakrytá
odkrytá

Měřítko 1 : 10 000

Hustota dokumentace 25 bodů/km²

Jednotný strukturovaný popis dokumentace v GIS

Jednotný systém odběru vzorků

Vazba na ostatní povrchové průzkumné metody

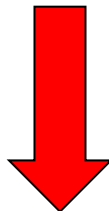
Metodické materiály:

Seznam účelových map 1 : 10 000 potřebných pro výběr lokalit HÚ a popis jejich náplně – Směrnice pro vybrané účelové mapy (Procházka a kol. 2004).

Směrnice ČGS pro Základní geologické mapování v měřítku 1 : 25 000 (Hanžl a kol. 2009) a metodické pokyny k ní (Hanžl ed 2010)

Hydrogeologického výzkum

- podzemní voda je transportním médiem znečištění z prostoru HÚ do biosféry
- jak rychle se radionuklidy při případném úniku budou pohybovat z prostoru úložiště závisí zejména na:
 - **hydraulických vlastnostech horninového prostředí**
 - **výskytu preferenčních cest proudění podzemních vod (vodivé poruchové zóny, zlomy....)**
 - **hydraulickém gradientu**
- pokud dojde k narušení biosféry na HL, ať už v průběhu výstavby HÚ, nebo později při ukládání odpadů, prvním indikátorem tohoto narušení bude podzemní voda





Identifikace cest proudění podzemních vod a hydraulických vlastností hornin v různých hloubkových úrovních je jedním ze základních předpokladů pro zhodnocení vhodnosti HL pro situování HÚ

Pro zhodnocení míry ovlivnění přírodního prostředí výstavbou a provozem HÚ je nutné mít dostatečně dlouhou časovou řadu dat z období před výstavbou. Tato data budou nezbytným podkladem pro řešení střetů zájmů.

Členění Hydrogeologického výzkumu na HL

- **Povrchový výzkum a výzkum v mělkých vrtech (do 100 m)**



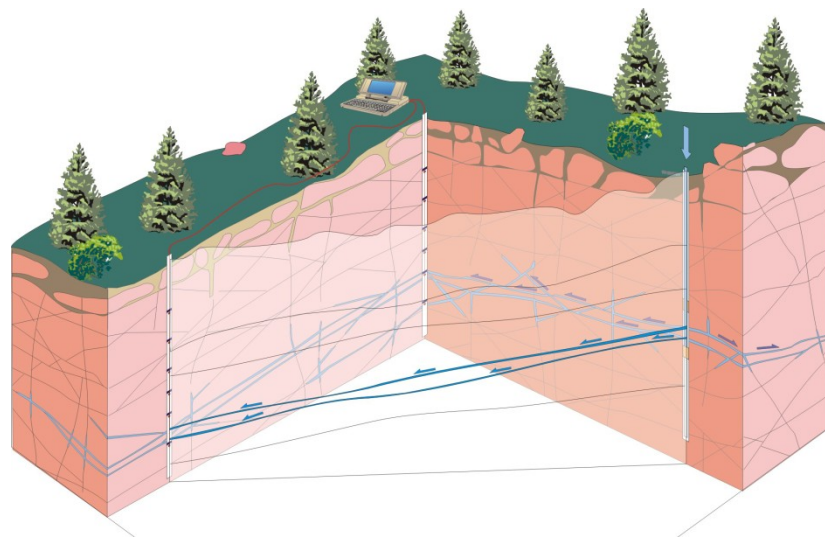
- **Výzkum v hlubokých vrtech**

Povrchový hydrogeologický výzkum a výzkum v mělkých vrtech

- **Hydrogeologické mapování 1:10 000**
 - hydrogeologická mapa
 - hydrologická mapa
 - mapa chemizmu vod
- **Hydrodynamické testy na mělkých vrtech**
 - vrty s hloubkou do 20 m
 - vrty s hloubkou 20-100 m
- **Hydrologický a hydrogeologický monitoring**
 - srážky
 - průtoky na vodních tocích
 - hladiny podzemních vod (vrty studny)
 - vydatnosti u pramenů

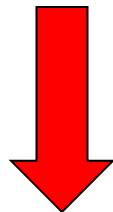
Hydrogeologický výzkum v hlubokých vrtech

- **Hydrodynamické zkoušky (HZ) v průběhu vrtání**
- **Hydrodynamické zkoušky po ukončení vrtání**
 - etážové HZ s konstantním testovaným intervalem (standární HZ)
 - etážové HZ zaměřené na ověření funkce vodivých struktur (detailní HZ)
 - interferenční (skupinové) HZ
 - monitoring piezometrických úrovní puklinových systémů



Hydrochemický výzkum

- podzemní voda je nejen transportním médiem ale i rozpouštědlem a reaktantem většiny chemických reakcí v horninovém prostředí
- chemické procesy mohou být pro bezpečnost HÚ prospěšné (retardace šíření kontaminace), ale mohou i zhoršovat podmínky v okolí HÚ (koroze kontejnerů a technického vybavení)
- je nutná znalost mechanismů a zákonitostí interakcí mezi vodou – horninovým prostředím – polem blízké interakce
- změny chemického složení vod jsou prvním indikátorem změn.





Znalost chemického složení vod na HYPL, jak povrchových, tak podzemních, je základní vstupní informací pro zhodnocení vhodnosti lokality pro výstavbu HÚ.

Pro zhodnocení míry ovlivnění přírodního prostředí výstavbou a provozem HÚ je nutné mít dostatečně dlouhou časovou řadu dat z období před výstavbou. Tato data budou nezbytným podkladem pro řešení střetů zájmů.

Hydrochemický výzkum povrchových vod a vod v mělkých vrtech

- **Hydrochemické mapování 1:10 000**
 - doplněk k hydrologickému mapování
 - mapa chemizmu vod
- **Odběry vod na mělkých vrtech**
 - vrty s hloubkou 20-100 m
 - odběry vod z vrtů, zjištění jejich chemického a izotopického složení
- **Hydrologický a hydrochemický monitoring**
 - srážky – chemické a izotopické složení (okrajové podmínky)
 - monitoring kvality povrchových vod a podzemních vod
 - data budou použitelná pro případné řešení střetu zájmů

Hydrochemický výzkum v hlubokých vrtech

- **Hydrodynamické zkoušky po ukončení vrtání**
 - u vrtů nad 100 metrů
 - etážové odběry vod
 - výzkum složení vod
 - genetiky vod
 - stáří vod
 - vertikální stratifikace vod
 - výzkum případných výronů plynů
 - všechna tato data jsou důležitá pro bezpečnostní analýzu HYPL

Cíle geochemického výzkumu

Geochemický výzkum patří mezi základní metody geologického výzkumu a průzkumu, spolu s geofyzikou tvoří rub a líc jedné mince. Spolu s geologickým mapováním pak tyto metody dávají ucelený model stavby zájmového území a procesů které se na ní podílely

Cíle prací

A. Charakterizovat zájmové území po geochemické stránce

B. Identifikovat přítomné nehomogenity jakými jsou :

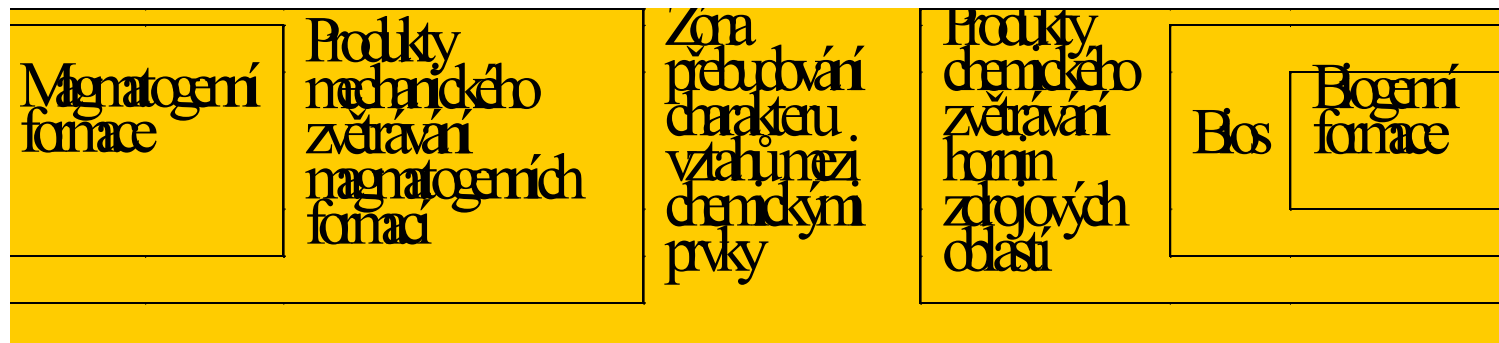
- petrografické variety hornin
- poruchová pásma, zlomy a jiné tektonické fenomény
- zóny alterací
- mineralizované zóny
- horninová rozhraní

Zdroj většiny těchto procesů se nachází v hloubkách více jak několik stovek metrů a výsledky geochemie tak představují jeden z významných podkladů při hledání vhodných prostor k vybudování HÚ

PRINCIP GEOCHEMICKÝCH METOD

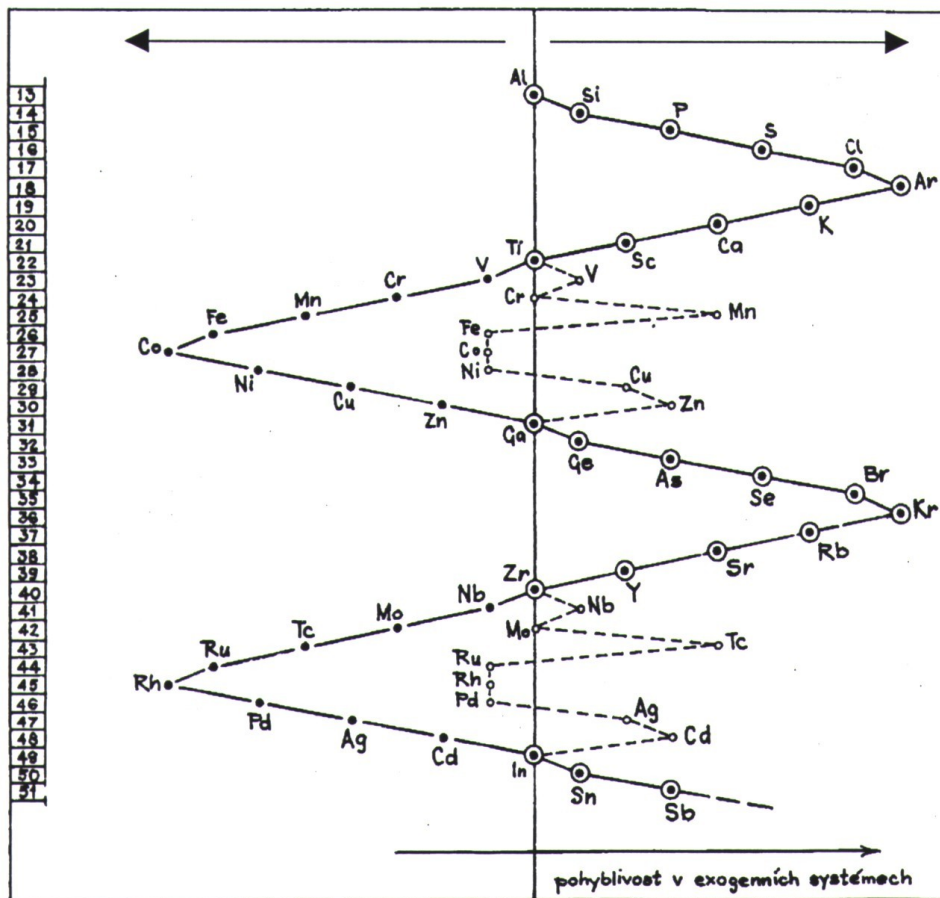
Metoda 1: Model migrace prvků v zóně hypergeneze Burkova a Rundquista

Matematický nástroj: korelační analýza



Co	Fe	Pd	Cr	Mn	V	Zn	Al	Si	Y	P	S	Cl	K
N	Rh	Pt	Cu	Ag	Cd	Ti	Ga	Zr	La	As	Se	Ba	Rb

Mobilita prvků v endo- a exogenním prostředí



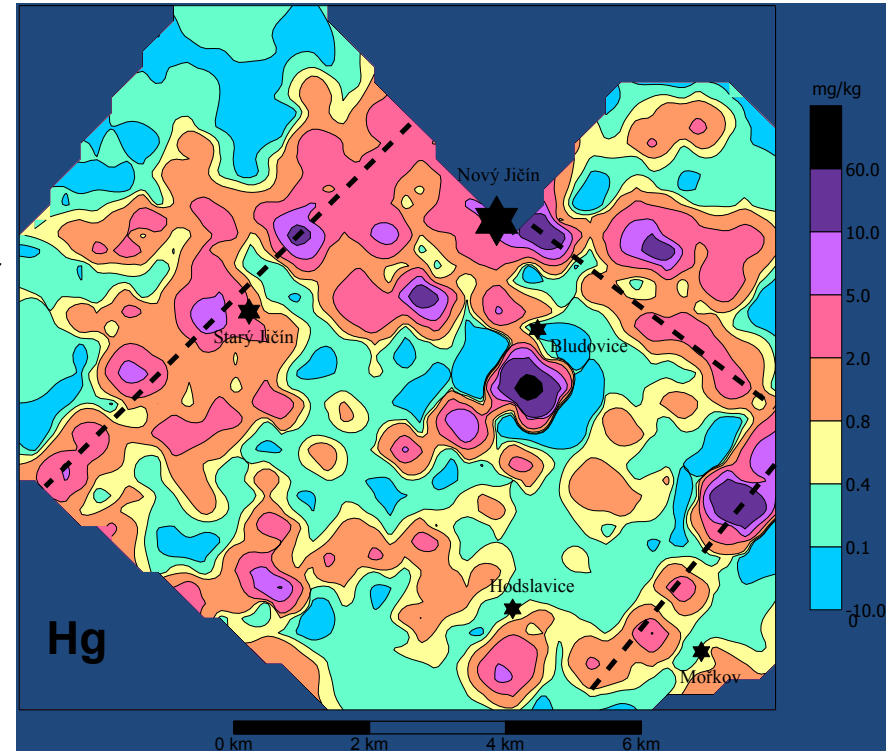
Chování prvků v „endogenních“ (tečky ve schématu) a „exogenních“ (kroužky) geochemických systémech. Šipky v horní části obrázku ukazují nárůst femafilních vlastností (do leva) a felsifilních vlastností (do prava) chemických prvků v „endogenním“ systému. Šipka v dolní části ukazuje směr nárůstu mobility prvků v „exogenním“ systému (Burkov, Rundquist, 1979).

Metoda 2: Identifikace geochemických anomálií neparametrickými metodami

Matematický nástroj:
neparametrické metody stanovení prahu anomality

Geochemické anomálie

- představují odchylky od geochemického pozadí
- indikují rudní projevy velmi často strukturně podmíněné (přívodní kanály)
- nezřídka jsou definovány v jiných místech než geofyzikální anomálie – vzájemně se doplňují



Nový Jičín
Půdní metalometrie

Rozdíl mezi běžnými a neparametrickými metodami

NEVÝHODY BĚŽNÝCH STATISTICKÝCH METOD :

Závisí na typu statistického rozdělení dat

Vyžadují testování na typ rozdělení, transformace dat

Procento anomálních hodnot je stále stejné pro všechny prvky

Vedou často k identifikaci falešných anomálií

VÝHODY NEPARAMETRICKÝCH METOD :

Jsou to metody neparametrické, tj. naprosto nezávislé na typu rozdělení

Odpadají veškeré testy na rozdělení a transformace dat

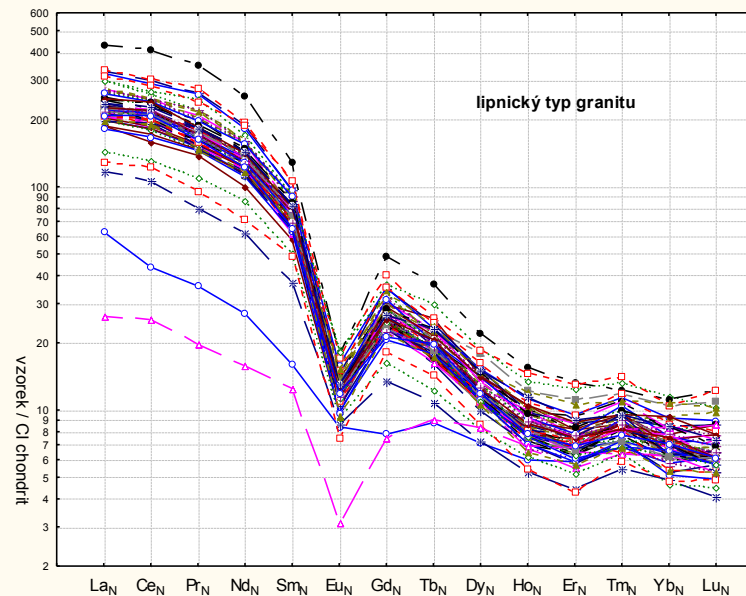
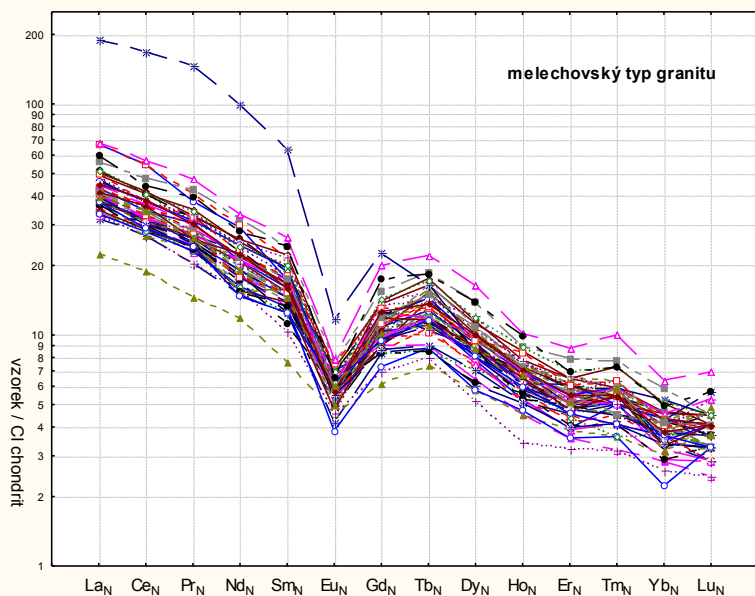
Mez anomaly je definována nejen dle výše obsahu daného prvku, ale i obsahu ostatních prvků nebo minerálů v asociaci

Znalosti geologa-řešitele slouží jako zpětná vazba pro ověření správnosti získaných výsledků

Jsou v souladu se systémovým přístupem

DALŠÍ MOŽNOSTI VYUŽITÍ GEOCHEMIE

- Identifikace „cizorodých“ těles v granitoidních masívech
- Odlišení petrografických facií granitoidních hornin
- Zpřesnění geologické mapy



Chondritem normalizované obsahy REE ve vzorcích zvětralinového pláště

	melechovský typ granitu	lipnický typ granitu	koutský typ granitu	pararuly
zvětralinový plášť	30 – 70	190 – 340	20 – 350	75 (40) – 200
pevné vzorky (vrty)	35 – 50	180 – 270	115 – 130	175 – 200

Obohacení hornin melechovského masivu lanthanem (normalizace na Cl chondrit - La_N)

PROJEKTOVANÉ GEOCHEMICKÉ PRÁCE

Plošné vzorkování:

Hustota vzorkování je zcela poplatná velikosti objektu, který má být identifikován, je nezbytné, aby hledaný objekt byl zastižen minimálně 3 – 5 vzorky.

Profilová vzorkovací síť:

- pravidelná čtvercová síť 100 x 100 m (variantně 150 x 150 m) nebo
- pravidelná obdélníková síť 100 x 150 m

Místo odběru vzorků - z eluvia co nejbližší nad pevnou horninou, aby se omezil na minimum vliv soliflukce a další nežádoucí jevy.

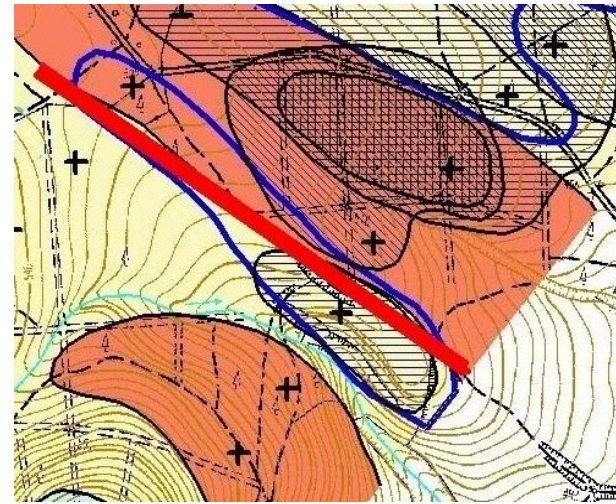
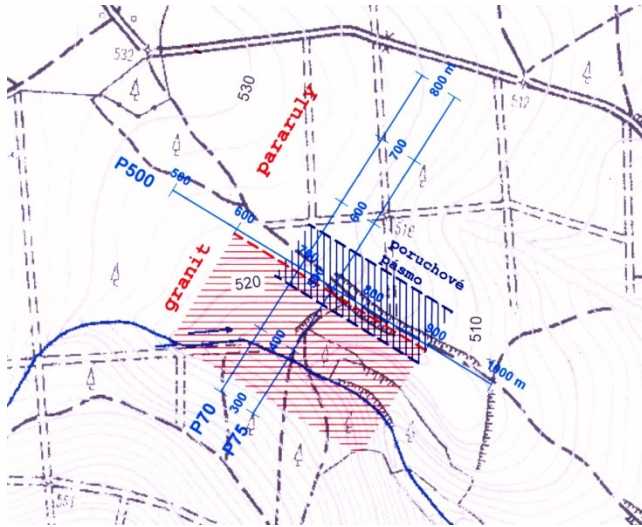
Vzorkování vrtů:

Krok vzorkování 4 m u vrtů do 100 m, u hlubších vrtů 6 m.

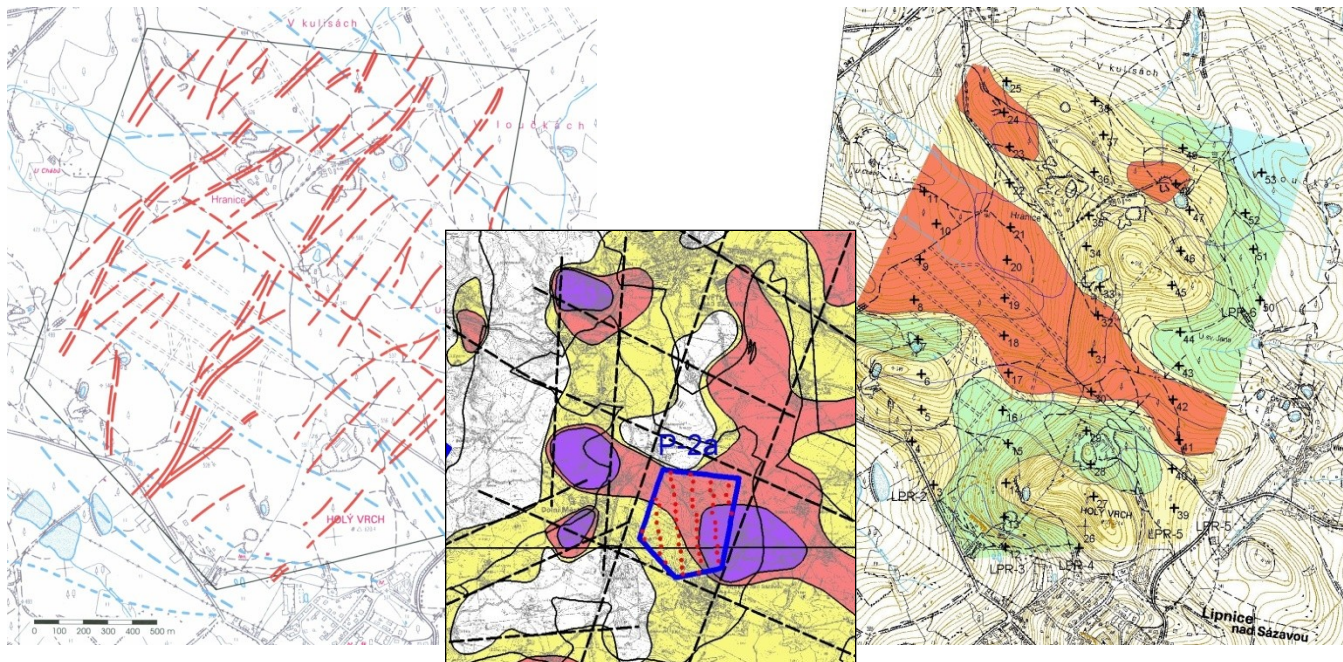
Chemické analýzy

Stanovení stopových prvků (Au, Ag, As, Ba, Be, Bi, Cd, Co, Cs, Cu, Ga, Hf, Hg, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Th, Tl, U, V, W, Y, Zn, Zr), majoritních prvků (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, MgO, Na_2O , K_2O , MnO, TiO_2 , P_2O_5 , Cr_2O_3), celkové síry a uhlíku a REE

PŘÍKLAD APLIKACE

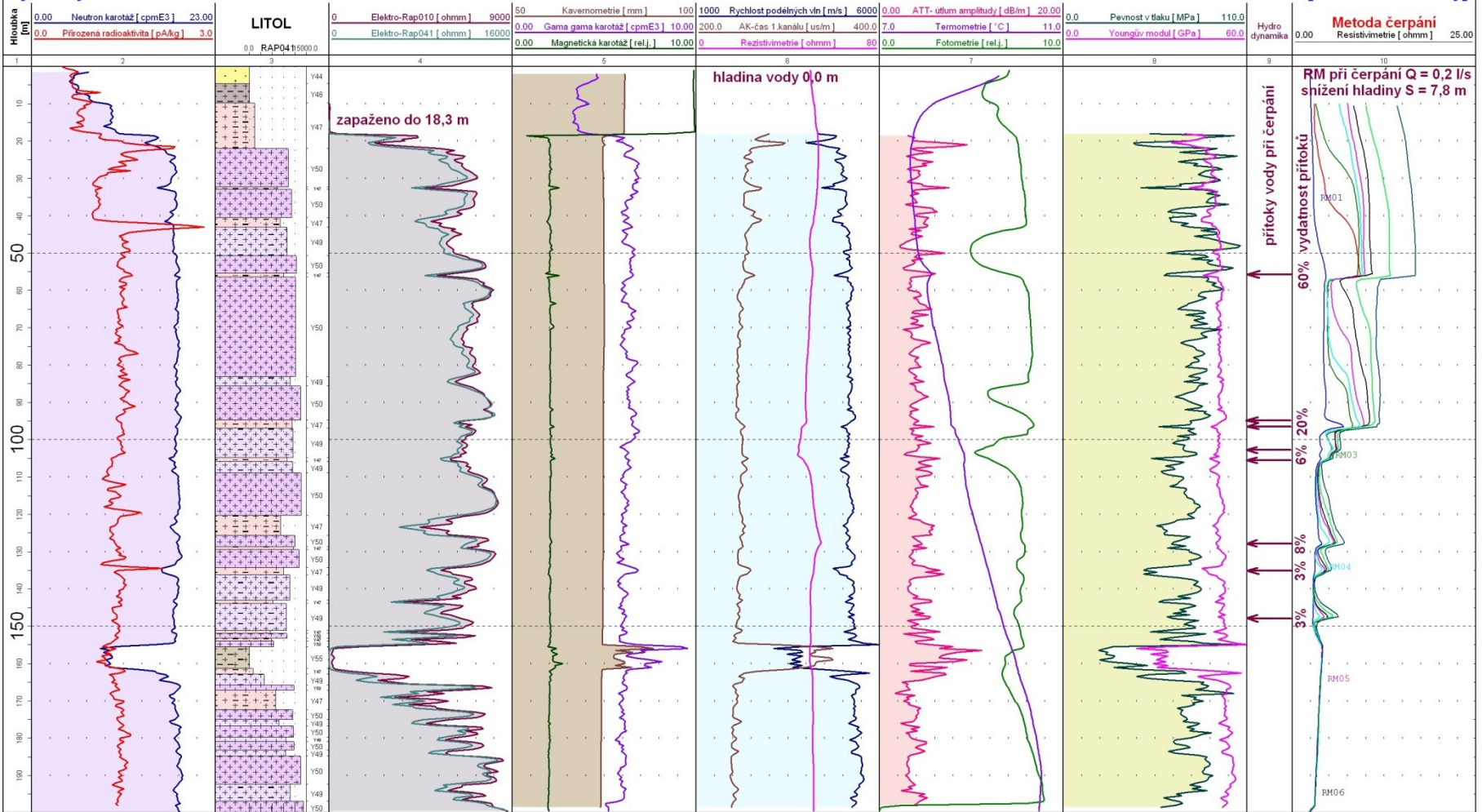


Melechovský masív – lokality P-2a a P-2b



Základní soubor karotážních metod

**Gama karotáž, neutron karotáž,
gama-gama karotáž, akustická karotáž,
elektrokarotáž, magnetická karotáž,
kavernometrie, termometrie, fotometrie,
inklinometrie, rezistivimetrie ve
variantách metody ředění (přírodní
proudění vody) a metody odčerpání
(pro zjišťování přítoků a vydatností).**



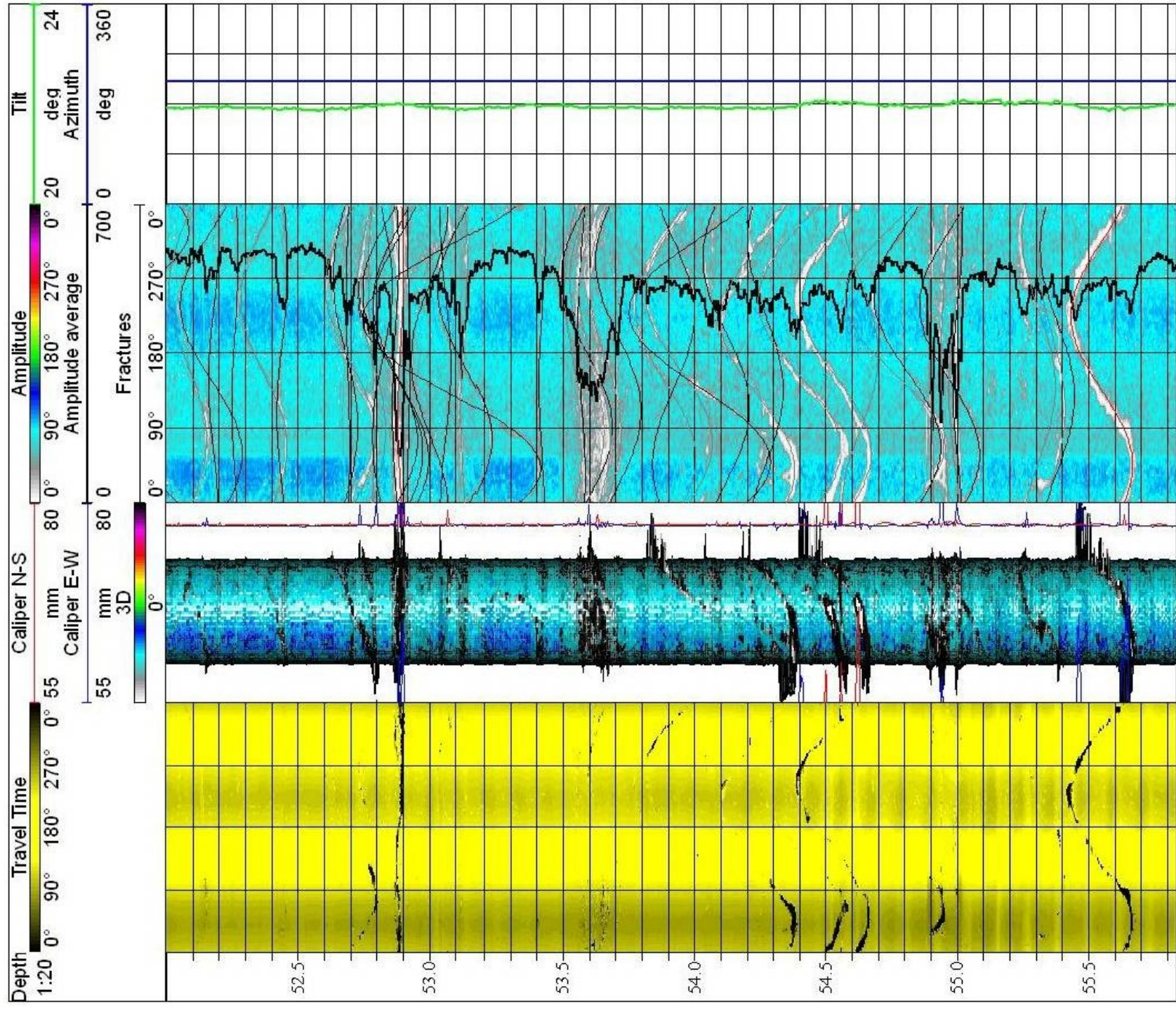
VYSVĚTLIVKY

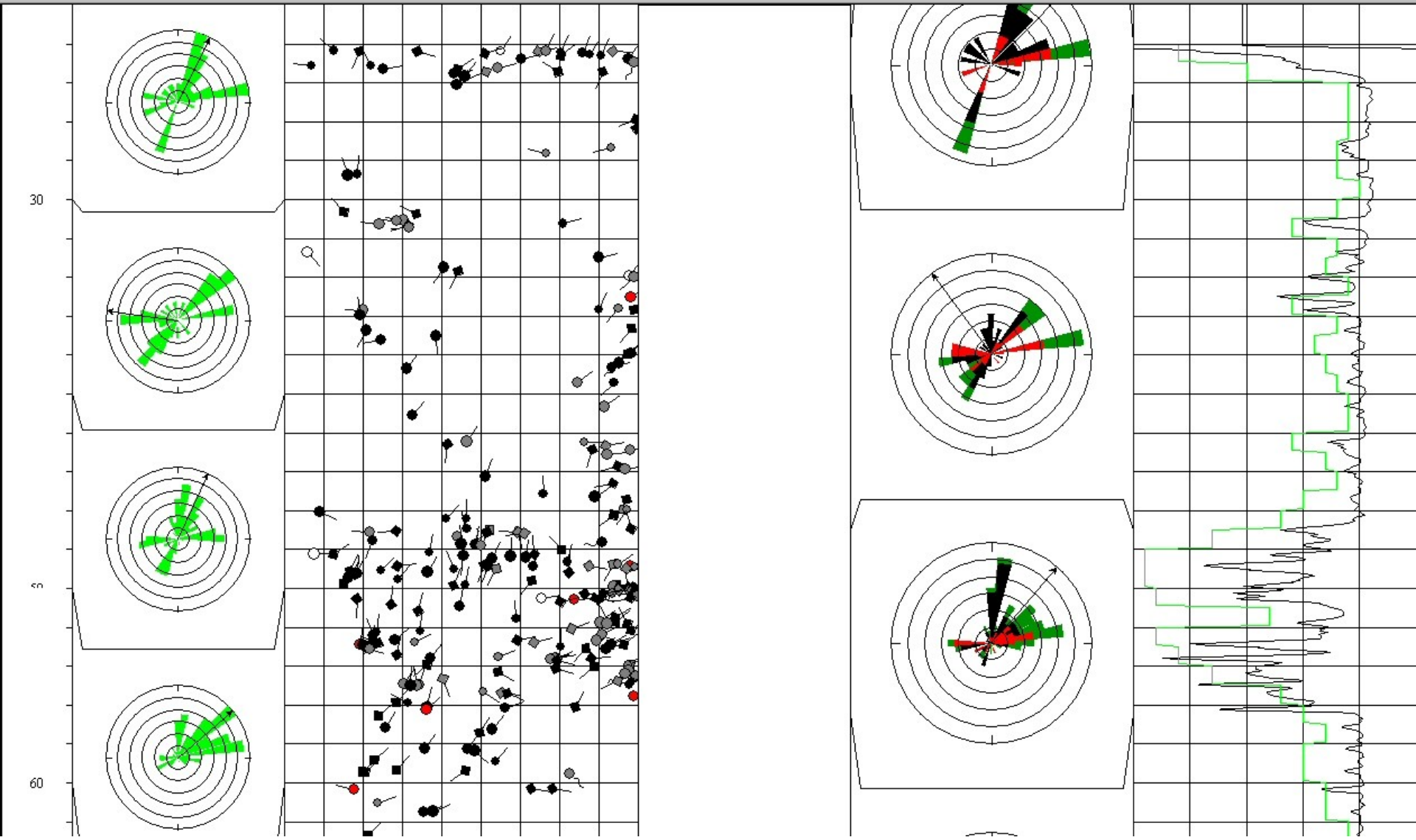
- Y44 eluvium písčité
- Y46 granit silně porušený
- Y47 granit porušený
- Y49 granit slabě porušený
- Y50 granit neporušený
- Y55 granit silně alterovaný

Soubor speciálních karotážních metod

Akustická vrtní televize –

registruje se orientovaný rozvinutý obraz stěny vrtu. Výsledkem interpretace je prostorové zobrazení puklin protínajících vrt, dále rozlišení otevřených a uzavřených puklin.





Optická vrtní televize –

registruje se orientovaný rozvinutý obraz stěny vrtu. Výsledkem interpretace je prostorové zobrazení programem vytvořeného obrazu jádra ve třech rovinách 0° , 120° a 240° , na kterých jsou patrné puklina a poruchy protínající vrt.

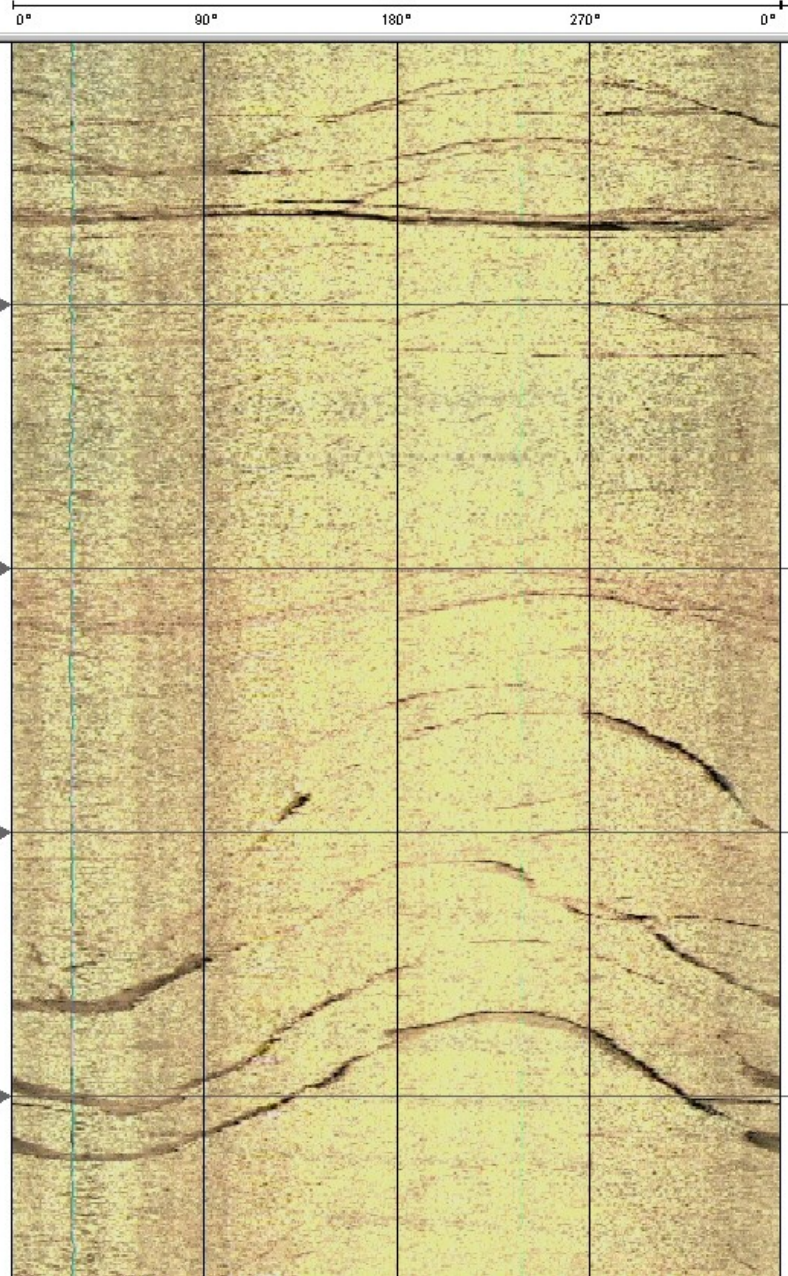
Depth
1m:10m

Image

3D-0°

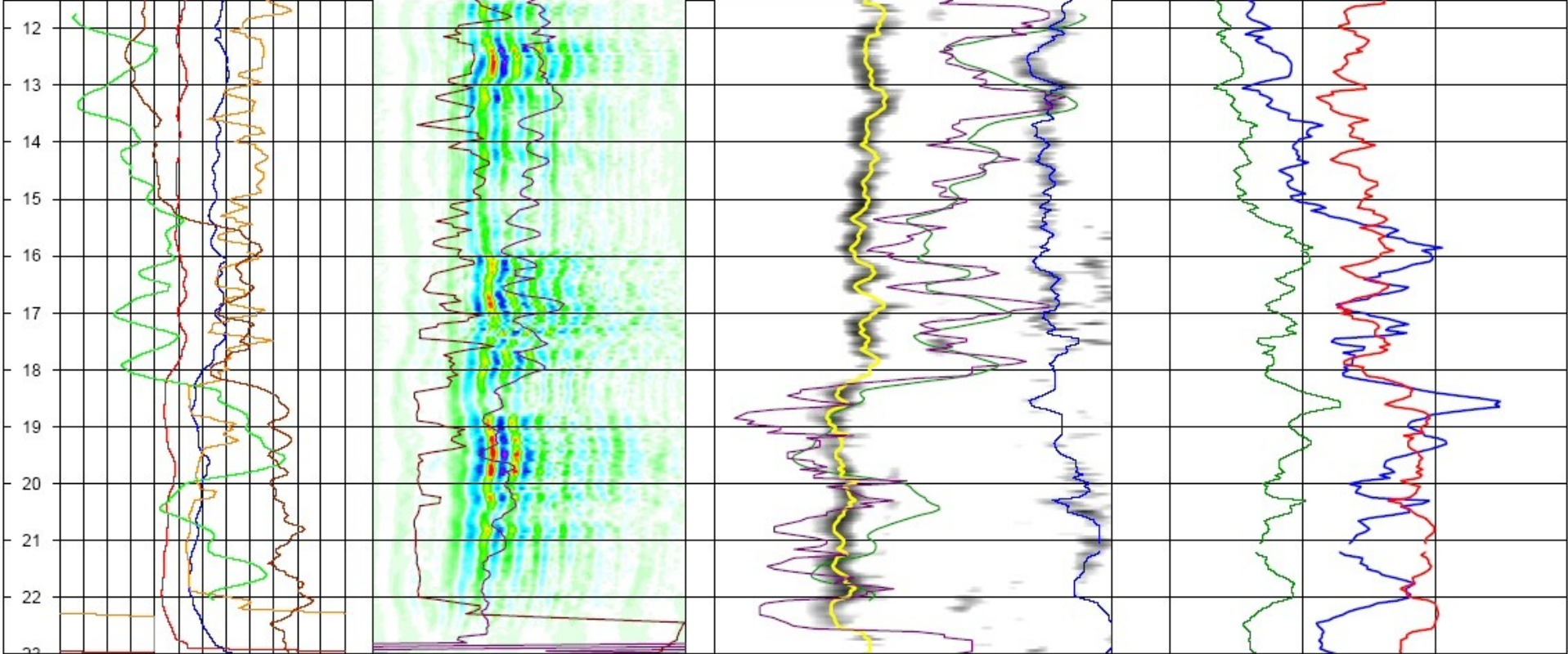
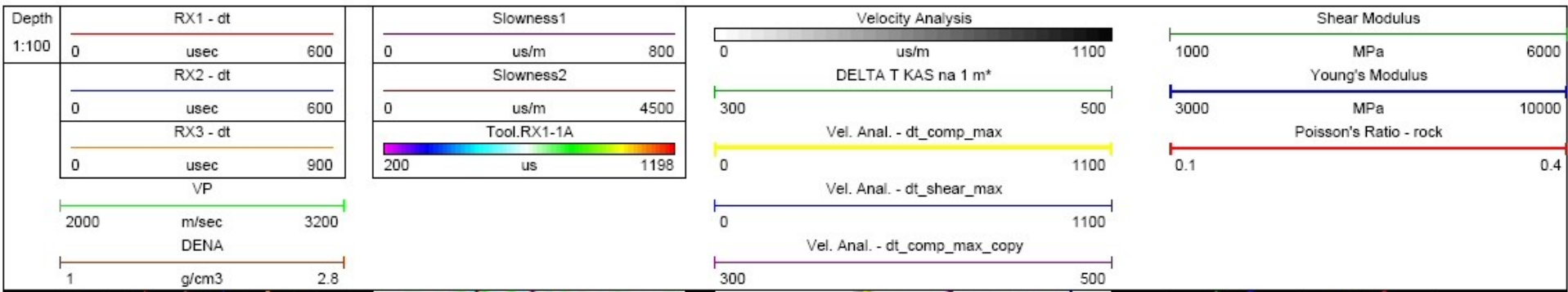
3D-120°

3D-240°



Akustická karotáž s registrací úplného vlnového obrazu FW -

registruje se úplný vlnový obraz, z kterého se interpretací získává podélná i příčná vlna. Dále jsou počítány geomechanické parametry jako smykový modul, Youngův modul a Poissonovo číslo.



Přehled Geotechnických prací

- Testy na vzorcích (povrchové vzorky, vrtné jádro), přidružené popisné metody – hodnocení porušenosti pomocí geomechanických koeficientů a skenování povrchu vrtného jádra.
- Geomechanické testy ve vrtech.

Povrch a připovrchová část testována méně – soustředění do hlubších partií masivu – místo předpokládaného úložiště.

Testy na vzorcích

- vnitřní stavba a stavební anizotropie horniny,
- porozimetrické charakteristiky – vysokotlaká rtuťová porozimetrie,
- průběhu nasákavosti jako funkce času a výšky hladiny vody,
- mineralogická identifikace zvětrání horniny,
- tepelná vodivost a tepelná roztažnost,
- abrazivnost horniny,

Testy na vzorcích

- pevnost v prostém tlaku, modulu pružnosti a Poissonovo číslo,
- pevnost v příčném tlaku,
- triaxiální test deformace horniny za trojosého stavu napjatosti.



- Digitální skenování obrazu vrtného jádra.
- Hodnocení porušenosti horninového masivu podle indexových geomechanických klasifikačních systémů (Q, RQD, RMR).

Geotechnické testy ve vrtu

- Měření napětového stavu horninového masivu → úplný tenzor napětí:
 - Hydraulické štěpení stěn vrtu.
 - Metoda odlehčeného vrtného jádra.
- Deformometrická měření ve vrtu (GOODMAN JACK) – modul přetvárnosti.
- Porovnání parametrů zjištěných na vzorcích vrtných jader a parametrů horninového masivu zjištěných in-situ.

Účel testovacích prací

- Vstupní hodnoty jednotlivých fyzikálně-mechanických vlastností hornin pro různé typy modelů (THM, geomechanické apod.), inženýrské klasifikační systémy (Q, RQD, RMR).
- Ověření stupně porušenosti horninového masivu – výběr nejméně porušené části masivu pro vybudování HÚ.
- Optimalizace dalšího postupu při vrtání vrtů
- Projektování a optimalizace postupu realizačních prací samotného úložiště.

Petrologie

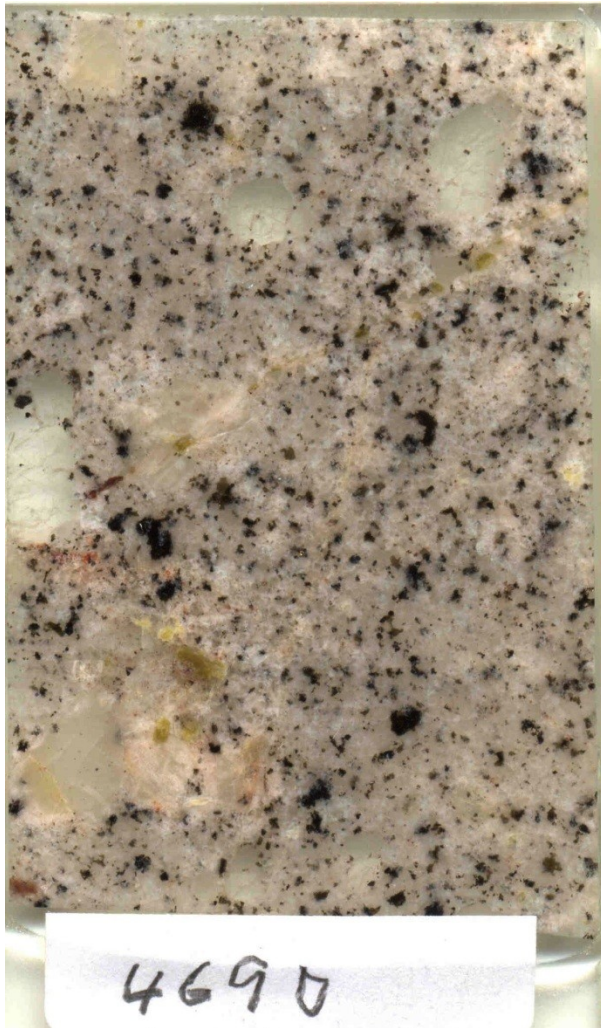
je jednou ze základních geovědních disciplin.

Jako věda nejen popisující, ale komplexně studující horniny v tom nejširším smyslu, hraje v popisu a hodnocení studijních lokalit **zásadní a integrující úlohu.**

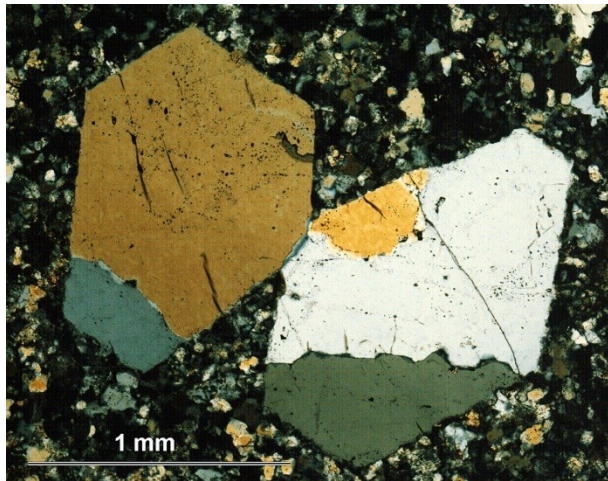
Petrologie dokumentuje charakter hornin a jejich rozšíření při geologickém mapování



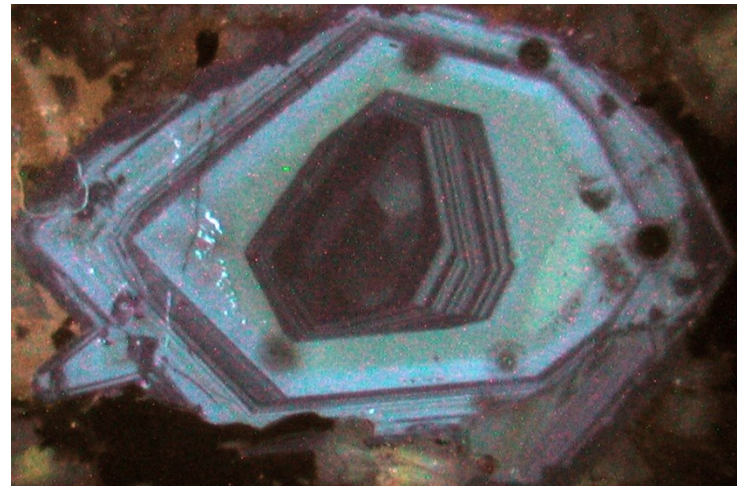
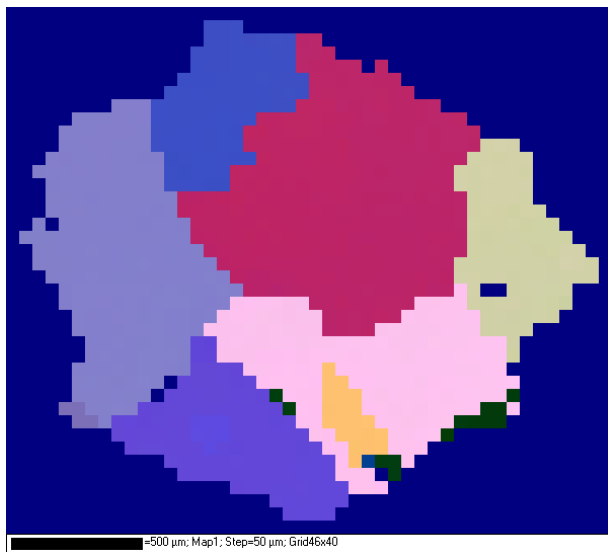
Petrologie zkoumá texturu a strukturu hornin



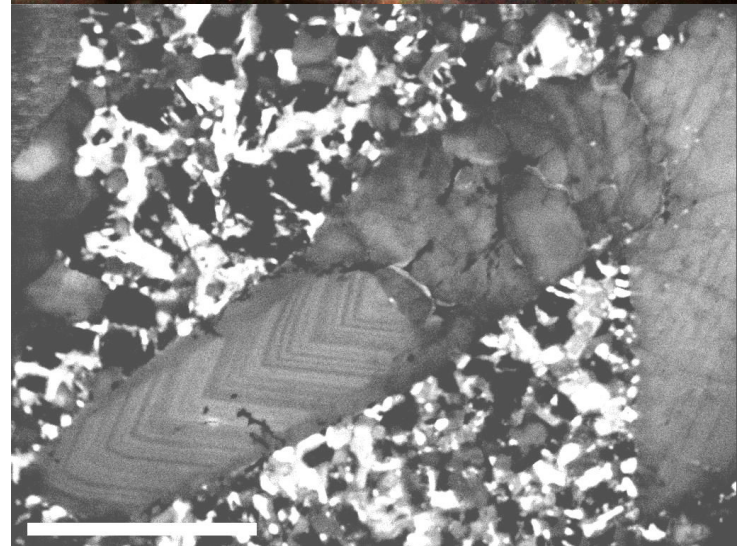
Petrologie zkoumá texturu a strukturu hornin



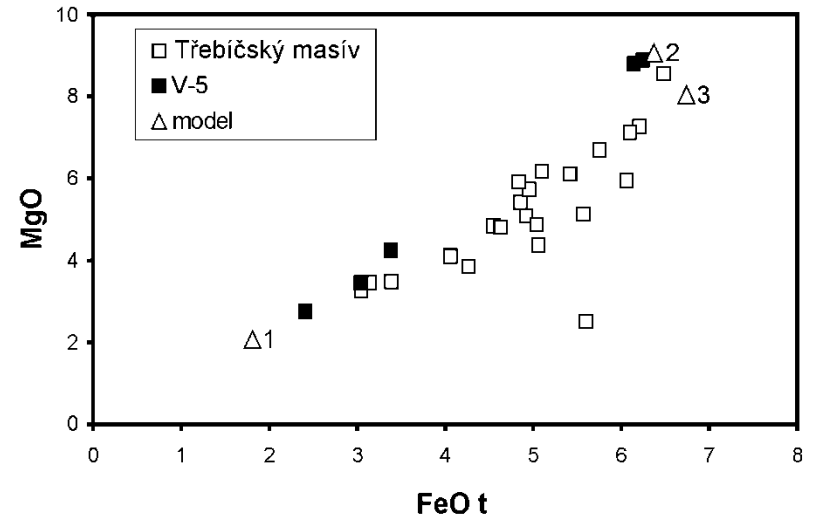
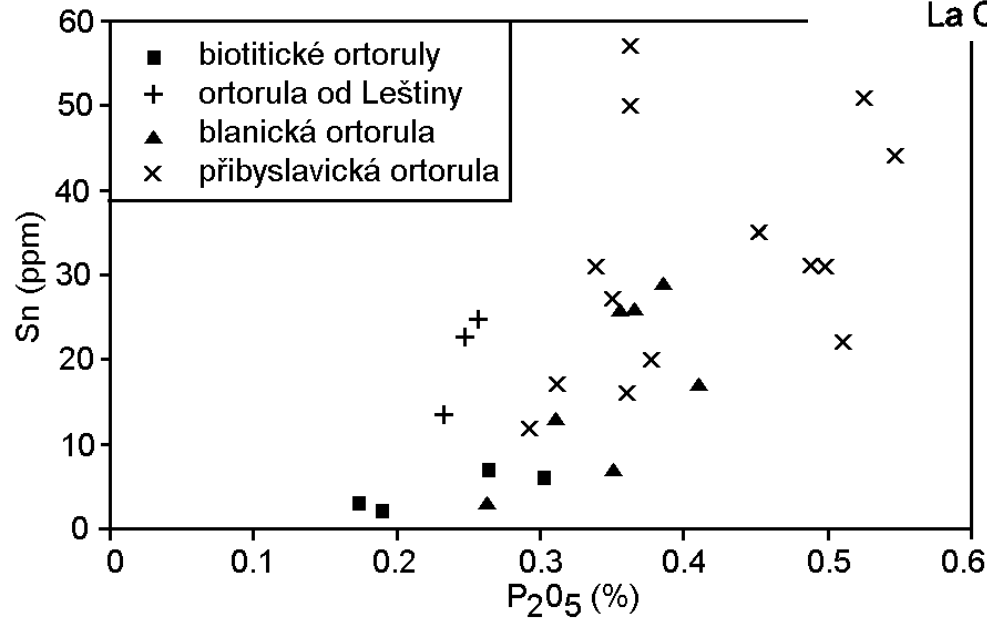
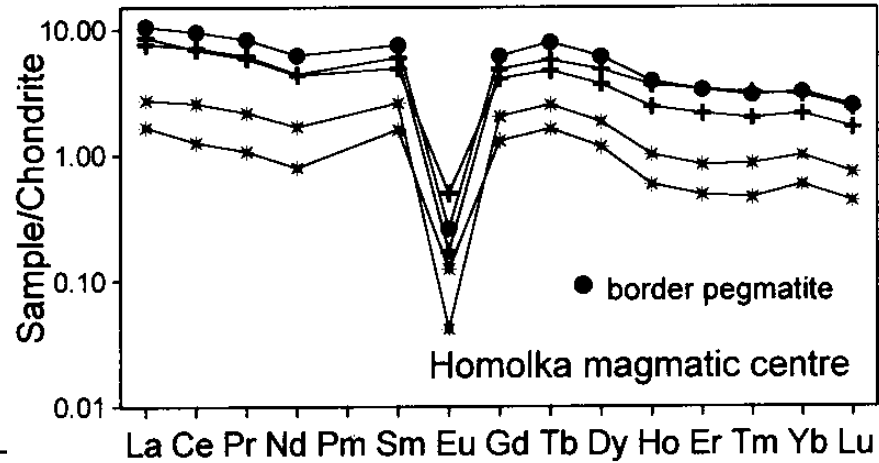
EBSD



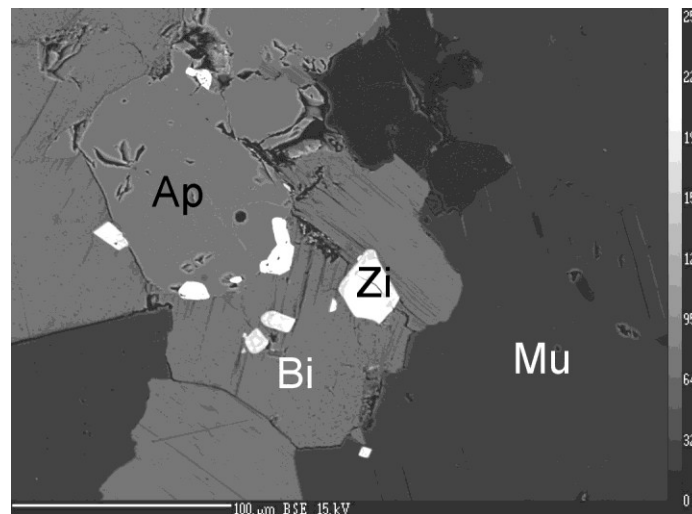
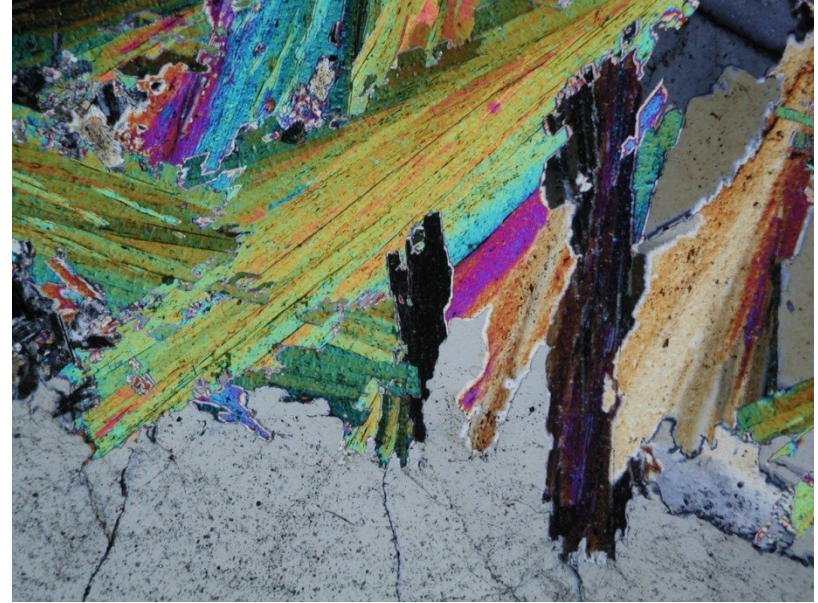
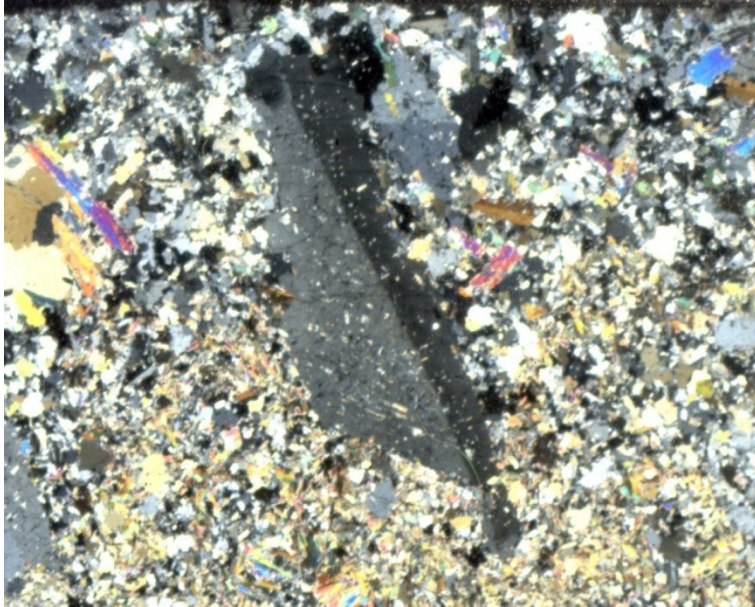
CL



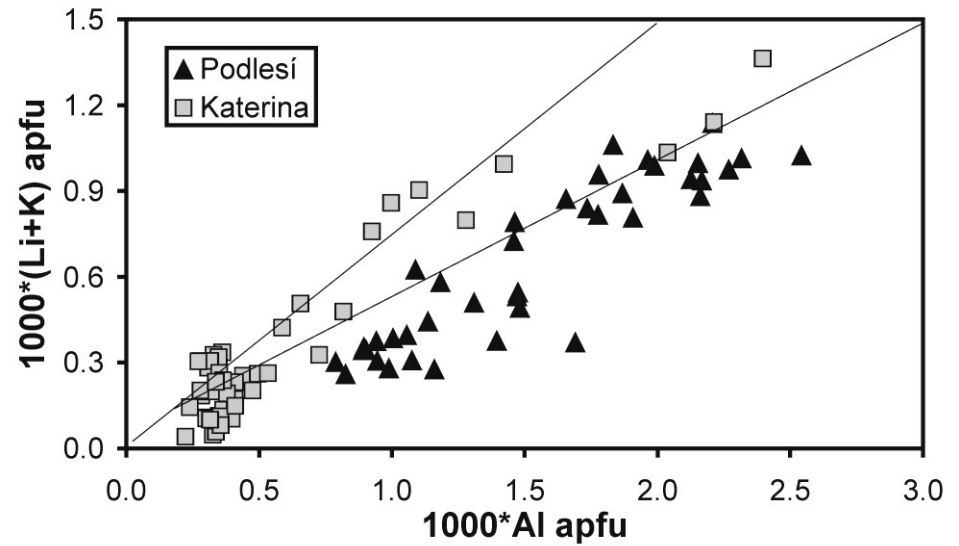
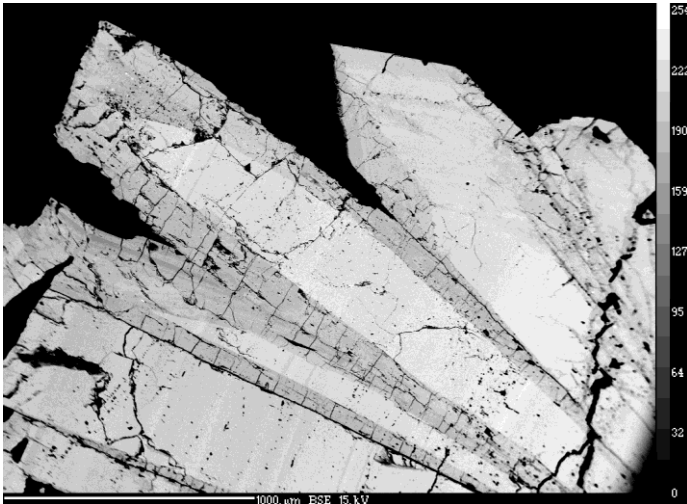
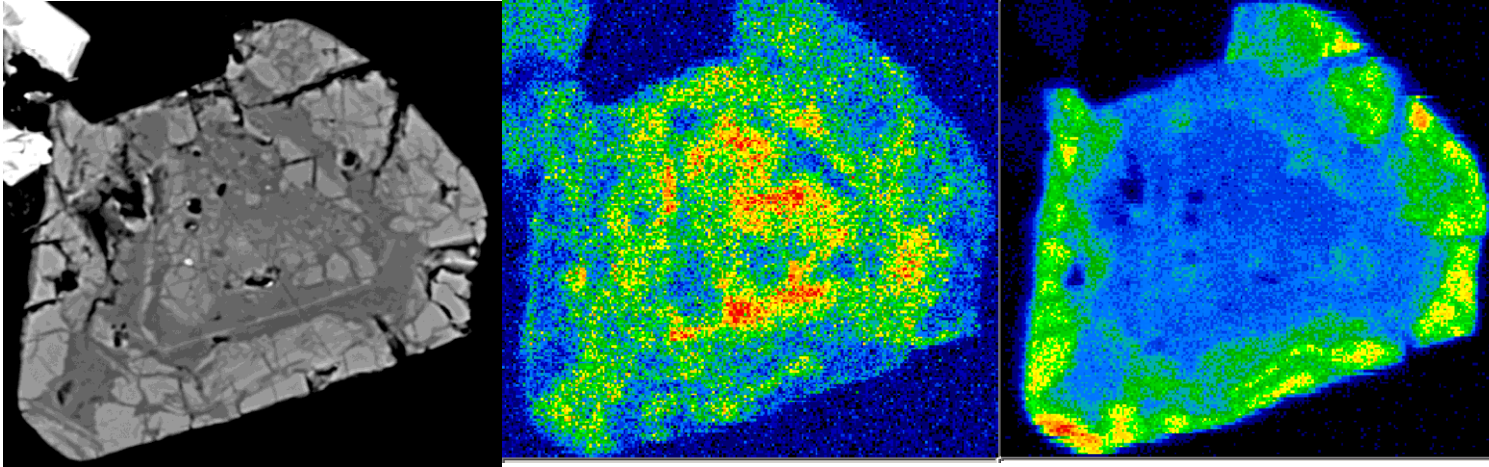
Petrologie zkoumá chemické složení hornin



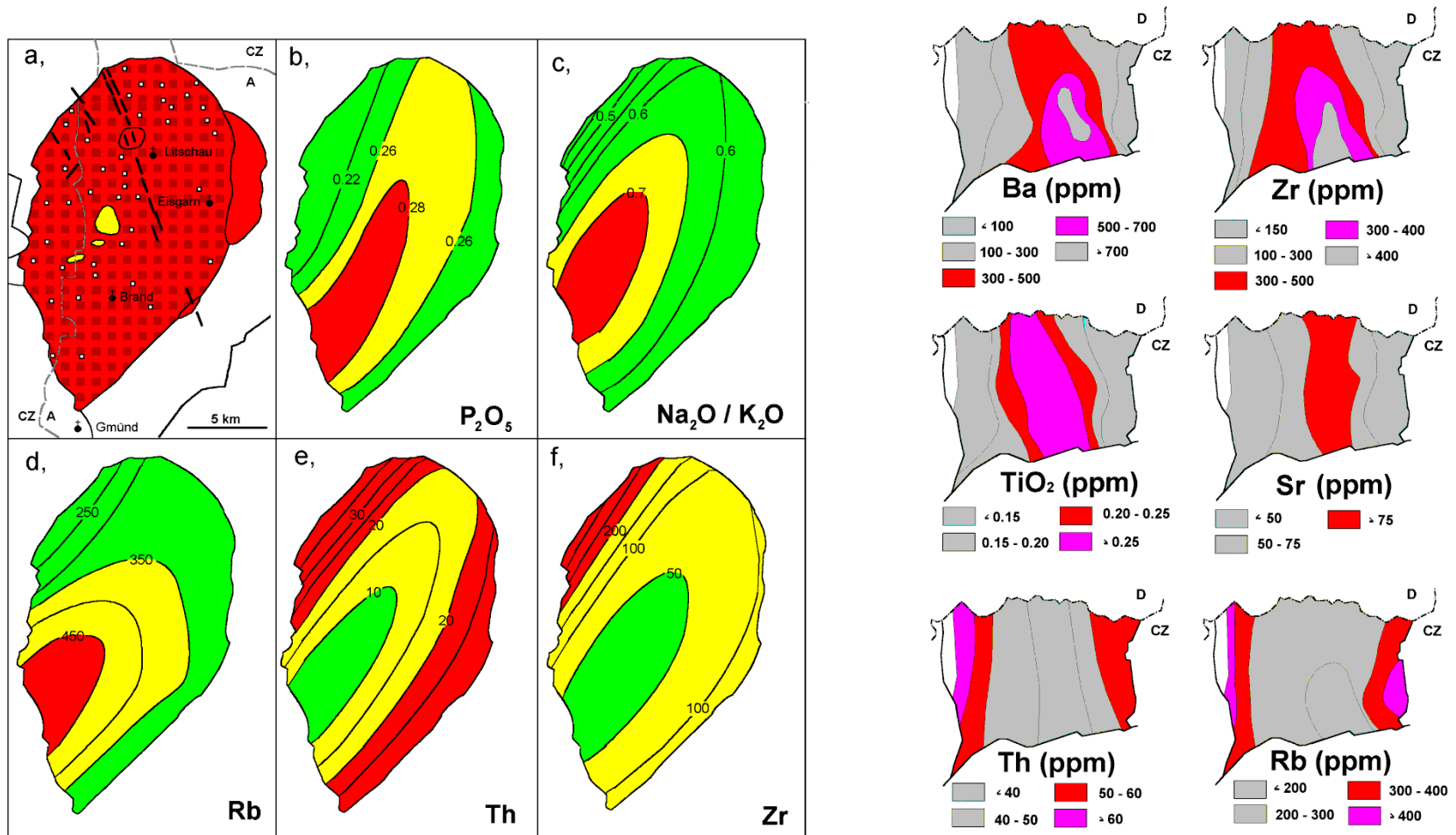
Petrologie zkoumá minerální složení hornin



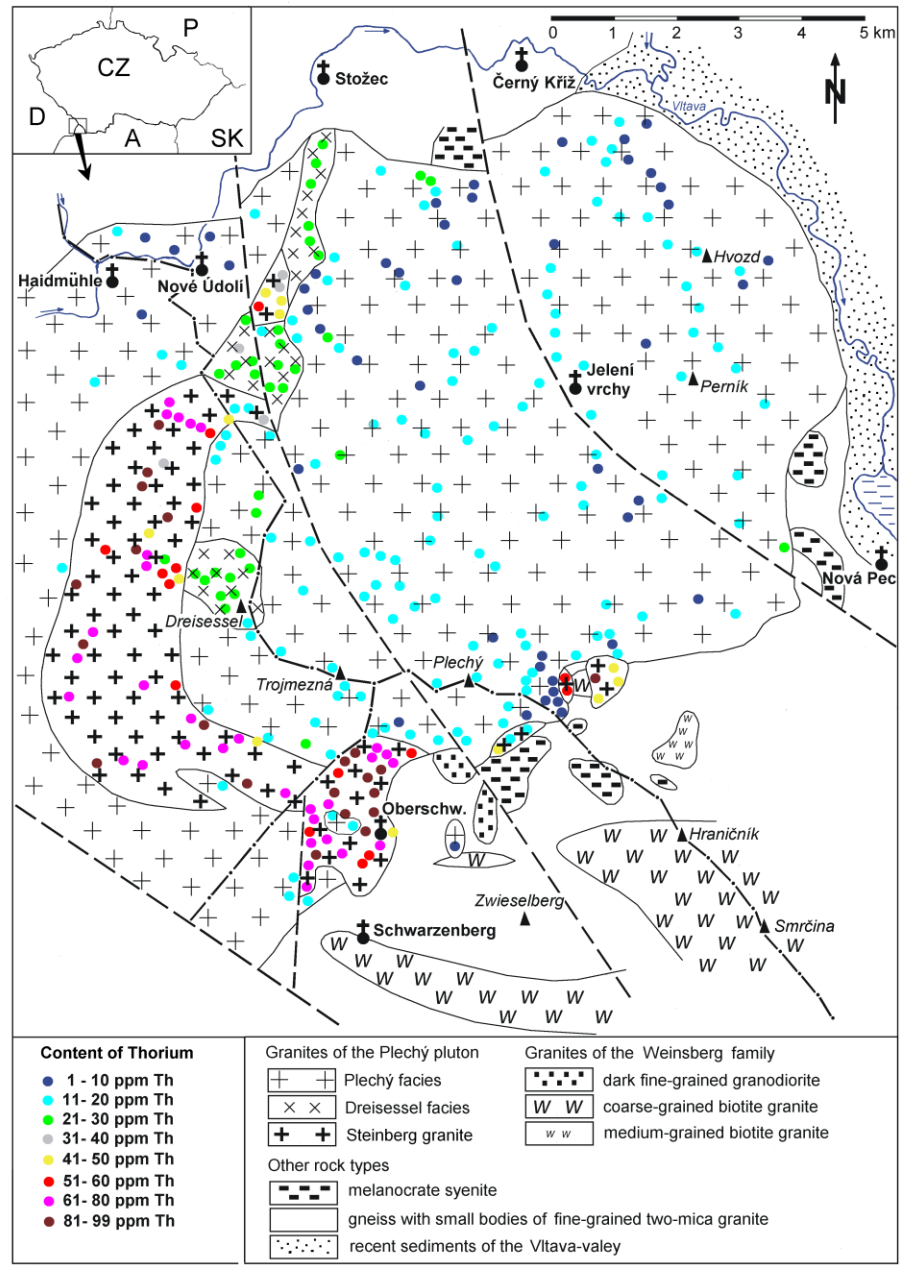
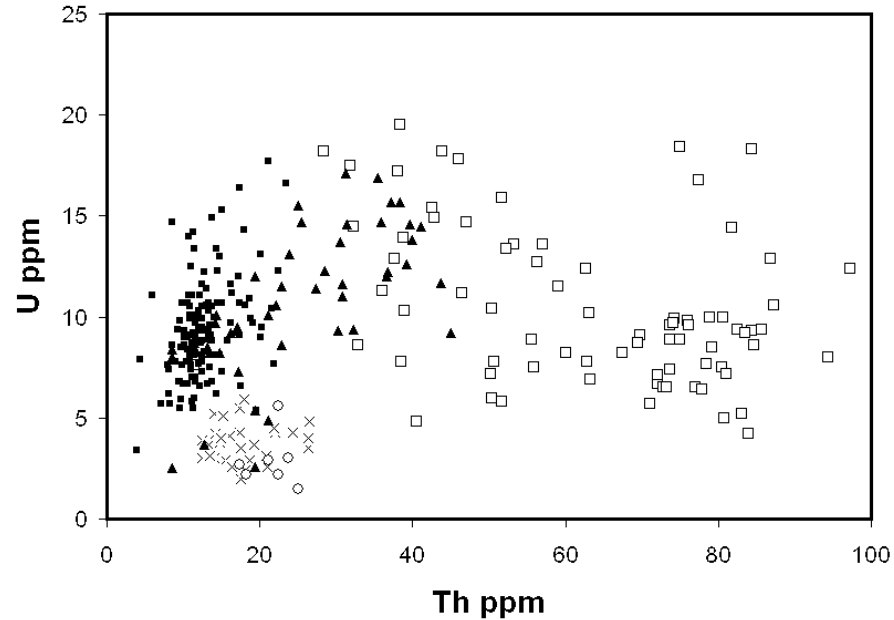
Petrologie zkoumá vlastnosti minerálů



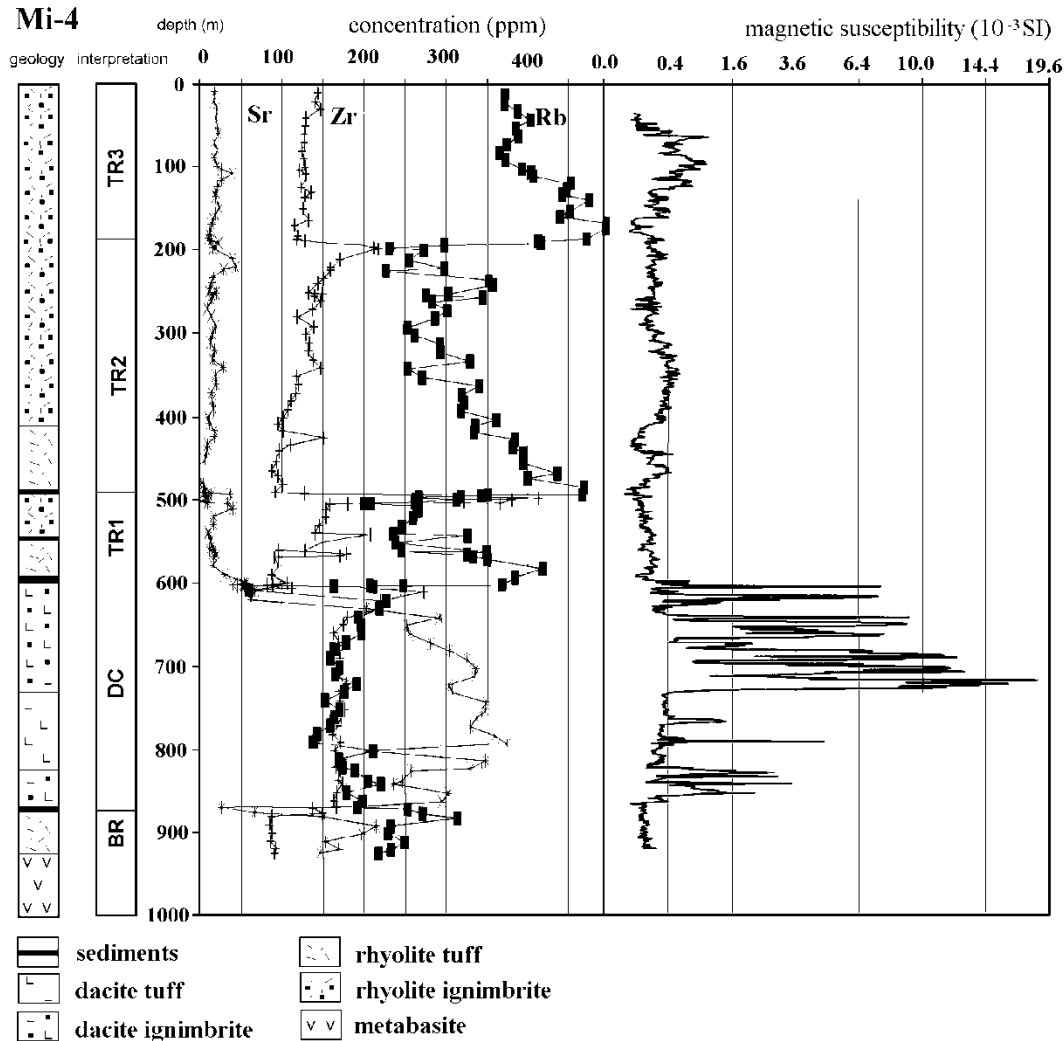
Petrologie definuje rozsah jednotlivých horninových jednotek a jejich vzájemný vztah **na povrchu**



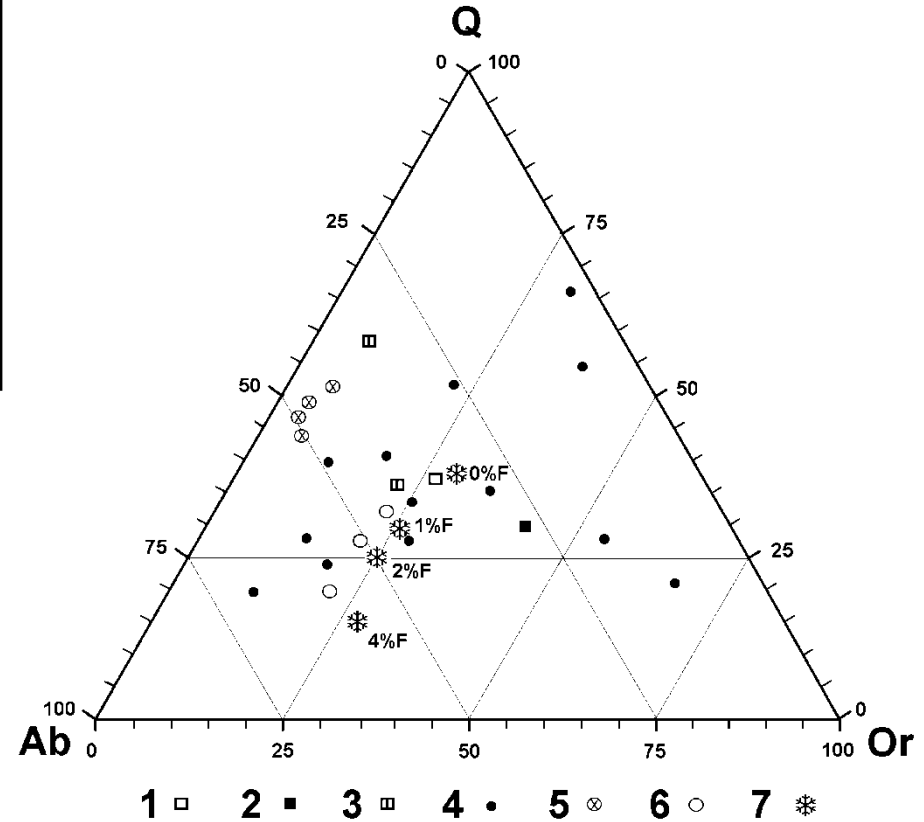
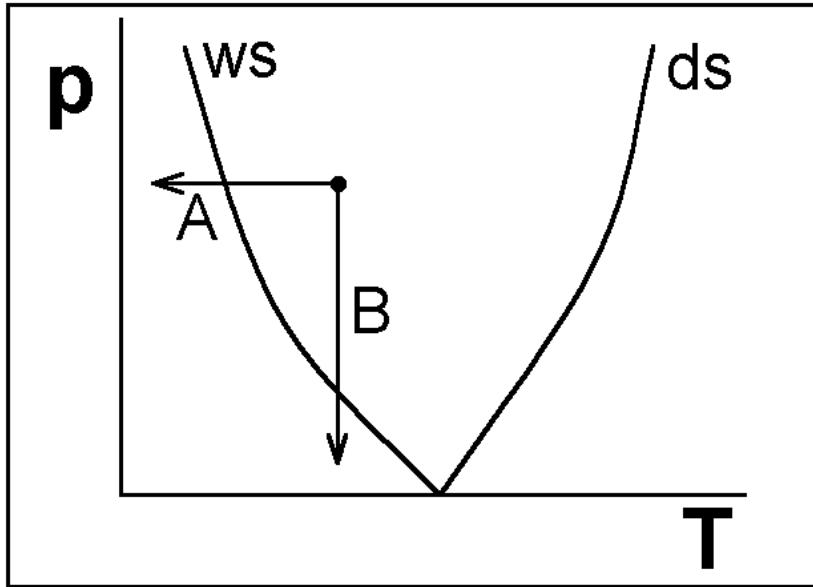
s výraznou podporou spektrometrie gama



Petrologie definuje rozsah jednotlivých horninových jednotek a jejich vzájemný vztah i ve vrtech



Petrologie formuluje modely vzniku hornin



**Petrologie zastřešuje poznatky
podpůrných disciplin**

a

**formuluje prostorový model
lokality**

Fyzikální vlastnosti hornin.

Fyzikální vlastnosti hornin

Měřené parametry

Fyzikální vlastnosti horninového masívu, litostratigrafického celku, nebo geologické formace jsou studovány s cílem podchytit a identifikovat petrografické a strukturní změny charakterizující studované těleso a ovlivňující jeho fyzikální pole.

1. Hustotní parametry
2. Elektrické odporové vlastnosti (rezistivita)
3. Přirozená radioaktivita
4. Elastické vlastnosti
5. Magnetická vlastnosti

Základní charakteristika metod

1. **Hustotní parametry – objemová hustota, mineralogická hustota, otevřená pórovitost. Principem stanovení je metoda trojího vážení. U objemové a mineralogické hustoty činí chyba stanovení $0,003 \text{ g.cm}^{-3}$ a u pórovitosti $0,2 \%$.**
2. **Rezistivita - měření se provádí střídavým proudem pomocí digitálního nízkofrekvenčního můstku. Relativní přesnost měření je udávána $3 - 5 \%$.**
3. **Přirozená radioaktivita hornin - je stanovena scintilační spektrometrií gama a poskytuje obsahy přirozených radioaktivních prvků eTh, eU(Ra), K, včetně nerovnováhy uranu a radia. K měření se používají scintilační laboratorní spektrometry s relativní chybou 10%**
4. **Metody studia rychlostí podélných elastických vln**
 - **stanovení prostorové distribuce mikrotrhlin metodou ultrazvukové pulzní transmise umožňuje měření rychlosti P-vln v prostoru na kulových vzorcích ve 132 nezávislých směrech v rozmezí omezujícího tlaku 0.1 až 400 MPa**
 - **rychlosti podélných elastických vln ve 3 základních texturních směrech, kdy rychlost je stanovena obecně ve směru vrtu a ve dvou směrech pasných.**

Přínos metod pro výzkum HÚ

Hustotní parametry

Pórovitost :

- **Pórovitost je jedním z nejlepších indikátorů porušení horniny, její slabě zvýšené hodnoty, od 0,5 do cca 2 %, charakterizují celé několik desítek metrů mocné porušené bloky. Je vhodným parametrem pro interpretaci výsledků karotáže a ostatních hydrogeologických a geofyzikálních metod.**

Objemová hustota :

- **je závislá na porušení horniny, ale i na jejím minerálním složení. Koreluje zpravidla s rychlostí V_p a dalšími elastickými parametry. Je podkladem gravimetrických výpočtů a matematických modelů**

Mineralogická hustota

- **je ukazatelem hustotní látkové homogenity, je vhodným parametrem pro indikaci změn v nerostném složení, které působí např. hematitizace, chloritizace, zrudnění, výskyt leukokratnějších a bazičtějších facií, atp.**
- **Hustota hornin koreluje s tepelným tokem v hornině a je jedním z parametrů pro jeho dobré vyhodnocení**

Magnetické vlastnosti:

- **magnetická susceptibilita velmi citlivě odráží litologii granitů z hlediska jejich tektonomagmatické provenience a jejich magmatického vývoje. Citlivě reaguje na nerostné složení a na výskyt magneticky aktivních minerálů**
- **anizotropie magnetické susceptibility umožňuje efektivní indikaci vnitřní stavby granitů a umožňuje tak určit průběh určitých interních diskontinuit s vymezením celých bloků odlišného postavení**
- **termoanalýza určuje teplotu Curieova bodu, která je stabilní, na velikosti zrna nezávislá a pro jednotlivé feromagnetické minerály veličinou specifickou. U alterovaných granitů může docházet k silným změnám jejich susceptibility, které by mohly být příčinou případných změny v magnetickém působení granitu v okolí úložiště při jeho zahřívání. Metoda je inovativní, v zahraničí zatím ve výzkumu HÚ nepoužívaná.**

Radioaktivita hornin (eTh, eU(Ra), K)

- **poskytuje obsahy přirozených radioaktivních prvků, včetně nerovnováhy uranu a radia, které jsou dobrým indikátorem recentních a subrecentních změn v horninovém masívu. Thorium i uran jsou inkompatibilní stopové prvky, jejichž rozdílnou mobilitu lze využít při charakterizaci poruchových pásem a bloků. Stanovené prvky slouží k výpočtu tepelného toku a k rekonstrukci karotážního záznamu, který může z technických důvodů v některých částech profilů chybět**

Rezistivita

- **je závislá na modálním složení hornin, na vnitřní stavbě minerálů a na tvaru, struktuře a propojení pórů. Pórový prostor významně ovlivňuje rezistivitu. Vnitřní stavba hornin a vlastnosti pórového prostoru podmiňují anizotropii rezistivity. Je podpůrnou informací pro geofyzikální metody**

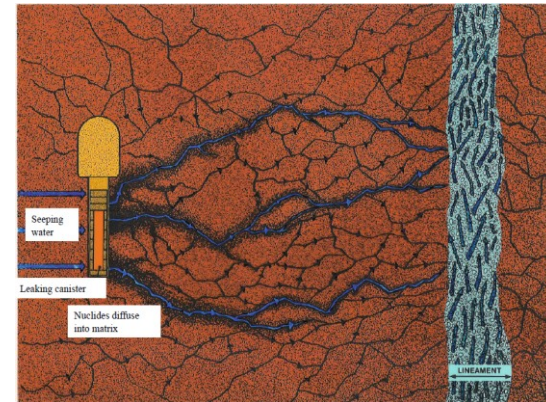
Elastické vlastnosti

- Stanovení prostorové distribuce mikrotrhlin metodou ultrazvukové pulzní transmise přináší základní charakteristiku pórového prostoru v doménách s malým makroskopickým porušením, které jsou nejvhodnější k budování úložiště. V kombinaci se stanovením permeability a absolutní porozity je nepostradatelnou informací o petrofyzikálních vlastnostech studovaného horninového masívu, kterou nelze získat jinou metodikou.
- Rychlosti podélných elastických vln stanovené ve třech směrech umožňují použít získané hodnoty pro interpretaci seismických a karotážích měření, ale i pro výpočty různých geomechanických parametrů. V_p koreluje s pórovitostí (objemovou hustotou) i s rezistivitou, upozorňuje na změny pórovitostí v souvislosti s alteracemi. Lze je využít k výpočtům Youngova modulu a Poissonovy konstanty.

Výzkum vlastností hornin pro bezpečnostní analýzy

Definice parametrů, charakterizující horninové prostředí, nutných pro bezpečnostní výpočty

- průtok vody jednotlivými trubkami (puklinami) = transportní cesta
- průřez trubek (puklin)
- smáčený povrch trubek (puklin)
- pórovitost matrice ε
- tortuozita matrice
- difúzní koeficienty horninové matrice pro kationty a anionty D_e
- sorpční koeficienty pro radionuklidy pro horninovou matici a puklinovou výplň K_d



Koncept vzorkování

Obecně: vzorkování neporušené horninové matrice + jiné typy hornin ve vrtu (povrchy puklina, mylonitizovaná zóna, xenolity, dislokační jíly apod.)

1. krok screeningu: CEC, specifický povrch/porozita, TEM

2. krok screeningu: vsádkové a difúzní experimenty na vybraných vzorcích

Základní vzorkovací krok: po 20 m

Významné: vzorkování hlubokových vrtů (chybí data)

V dalších etapách prací je možné krok vzorkování zvětšit/kombinovat vzorkování v několika vrtech = menší počet vzorků = menší náklady

Nutné vrtat obezřetně (antropogenní vliv na lokalitu)

Šetřit s jádrem a zachovat určité partie celistvé (nepůlit)

Navržený koncept prací studia migračních vlastností horniny na hypotetické lokalitě

1. vyhodnocení sorpčních vlastností

- primární screening: stanovení CEC a specifického povrchu
- stanovení K_d : vsádkové experimenty

2. stanovení pórovitosti (metoda nasycení vodou)

3. vyhodnocení difúzních vlastností

- primární screening, včetně stanovení D_e a F_f : TEM
- stanovení D_e : průnikové difúzní experimenty

Vzorky pro detailní popis migračních vlastností hornin (vsádkové experimenty, TEM a difúzní experimenty) musí být odebírány ze sousedních partií vrtného jádra (musí na sebe navazovat).