

ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Praktická cvičení v Podzemní laboratoři Josef

Výukové podklady pro předmět Geotechnika (135GET)



AUTOŘI

Prof. Ing. Jaroslav Pacovský, CSc.

Doc. Dr. Ing. Jan Pruška

Ing. Linda Černá Vydrová, Ph.D.

Ing. Kristýna Čápová

Ing. Lucie Hausmannová

Ing. Jan Smutek

Bc. Michal Roll

Tento projekt je spolufinancován **RPMT 2015** (Inovace předmětu Geotechnika se zaměřením na praktickou část ve štole Josef)

OBSAH

1.	ÚVOD.....	4
2.	ŠTOLA JOSEF	5
2.1	POPIS	5
2.2	GEOLOGIE	6
2.3	PROVOZNÍ ŘÁD.....	7
3.	VÝUKOVÉ PODKLADY	9
3.1	ZÁKLADY STATISTICKÉHO VYHODNOCOVÁNÍ.....	9
3.1.1	<i>Statistické zjišťování.....</i>	9
3.1.2	<i>Zpracování statistických údajů.....</i>	9
3.1.3	<i>Vyhodnocení zpracovaných údajů a jejich analýza.....</i>	9
3.1.4	<i>Pevnostní zkoušky – Schmidtovo kladívko.....</i>	9
3.1.5	<i>Statistické vyhodnocení naměřených dat.....</i>	9
3.1.6	<i>Vyhodnocení zkoušky Schmidtovým kladívkem.....</i>	13
3.2	KLASIFIKACE HORNIN INDEXEM RQD	14
3.3	KONVERGENČNÍ MĚŘENÍ.....	17
3.3.1	<i>Příprava konstrukce pro měření.....</i>	18
3.3.2	<i>Konvergenční měřidlo</i>	18
3.3.3	<i>Provádění vlastního měření.....</i>	19
3.3.4	<i>Nepřesnosti zatěžující konvergenční měření</i>	19
3.3.5	<i>Příklady tabulkového a grafického výstupu konvergenčního měření</i>	22
3.4	GEOLOGICKÉ MAPOVÁNÍ.....	23
3.4.1	<i>Zaměření ploch nespojitosti</i>	24
3.4.2	<i>Tektonogramy.....</i>	26
3.4.3	<i>Ukázka popisu horninového masivu</i>	30
4.	POUŽITÁ LITERATURA.....	32

1. ÚVOD

Tyto výukové materiály slouží jako podklad pro praktickou výuku předmětu Geotechnika v Podzemní laboratoři Josef. Předmět je podpořen projektem RPMT *Inovace předmětu Geotechnika se zaměřením na praktickou část ve štole Josef*.

Podzemní laboratoř Josef je unikátní pracoviště otevřené v roce 2007, které slouží pro potřeby výzkumu a praktické výuky studentů. Více o vzniku podzemních prostor, geologických podmínkách a provozu laboratoře je popsáno v kapitole 2.

Součástí předmětu Geotechnika jsou povinná cvičení v rozsahu 2 výukových hodin týdně. Vzhledem k náplni tohoto předmětu, která je zčásti vysoce praktického charakteru, se budou některá cvičení vyučovat v Podzemní laboratoři Josef. Jedná se o následující 4 úlohy: Statistické vyhodnocení měření Schmidovým kladívkem, Klasifikace horninového masivu pomocí indexu RQD, Konvergenční měření a Geologické mapování v podzemí. Kapitola 3 obsahuje shrnutí problematiky týkající se těchto úloh a informace potřebné pro jejich vyhodnocení.

2. ŠTOLA JOSEF

Štola Josef vznikla v souvislosti s relativně nedávným geologickým průzkumem revíru Psí hory. Její ražba začala r. 1981. Jedná se o rozsáhlé podzemní dílo s celkovou délkou chodeb téměř 8 km, které bylo využíváno nejen při zjišťování geologických poměrů v oblasti a odběru vzorků, ale sloužilo též jako přístup do podzemí při poloprovozní těžbě zlata v letech 1989-1991 (podrobněji viz níže).

Od poloviny devadesátých let po ukončení všech průzkumných prací štola i její okolí postupně chátraly. V r. 2000 byl stav areálu již natolik neuspokojivý, že bylo z bezpečnostních důvodů přistoupeno k zabetonování obou přístupových portálů do štoly.

O tři roky později vznikl na půdě ČVUT nápad využít opuštěné podzemní dílo Josef ke zřízení unikátního podzemního vzdělávacího a experimentálního pracoviště.

V roce 2004 se ČVUT dohodlo se společností Metrostav a.s. o zprovoznění štoly (v dodatku rámcové smlouvy o spolupráci). V květnu 2005 byla podepsána smlouva mezi Stavební fakultou ČVUT a správcem průzkumného díla, kterým je Ministerstvo životního prostředí, o zapůjčení štoly pro vzdělávací a výzkumné účely.

V srpnu 2005 byla proražena betonová zátka jednoho z portálů, čímž došlo ke znovuzpřístupnění štoly. Počátkem září 2005 zkontrolovala Báňská záchranná služba stav podzemních prostor a pak byl portál opět uzavřen. K definitivnímu otevření obou portálů došlo až v srpnu 2006. Ihned poté se začalo s rekonstrukcí podzemních prostor. V současnosti je zrekonstruováno a zpřístupněno více jak 5 km chodeb.

2.1 Popis

Podzemní laboratoř Josef využívá prostor bývalé průzkumné štoly Josef. Štola se nachází přibližně 50 km jižně od Prahy mezi obcemi Čelina a Smilovice u Slapské přehrady. Tato lokalita byla vybrána, protože ze všech uvažovaných možností nejlépe vyhovuje požadovaným kritériím:

- snadná dosažitelnost od Prahy
- finanční dostupnost (pořizovací cena, náklady na provozování)
- pestré (nemonotónní) geologické prostředí
- možnost rozšiřovat podzemní části pracoviště
- perspektiva vybudování moderního zázemí

Důlní dílo Josef je součástí zlatorudního revíru Psí Hory. Horninové prostředí tvoří slabě metamorfované vulkanické a vulkanosedimentární horniny (bazalty, andezity, ryolity, tufy, tufity), pronikane mladšími intruzivními horninami (granodiority, albitické žuly).

Průzkumná štola prochází ssv. směrem napříč horninovým masivem Veselého vrchu. Celková délka páteřní štoly je 1836 m, příčný průřez má velikost 14 až 16 m². Výška nadloží je 90 – 110 m. Ze vstupních portálů jsou souběžně vedeny dva tunely délky 80 m o průřezu 40 m².

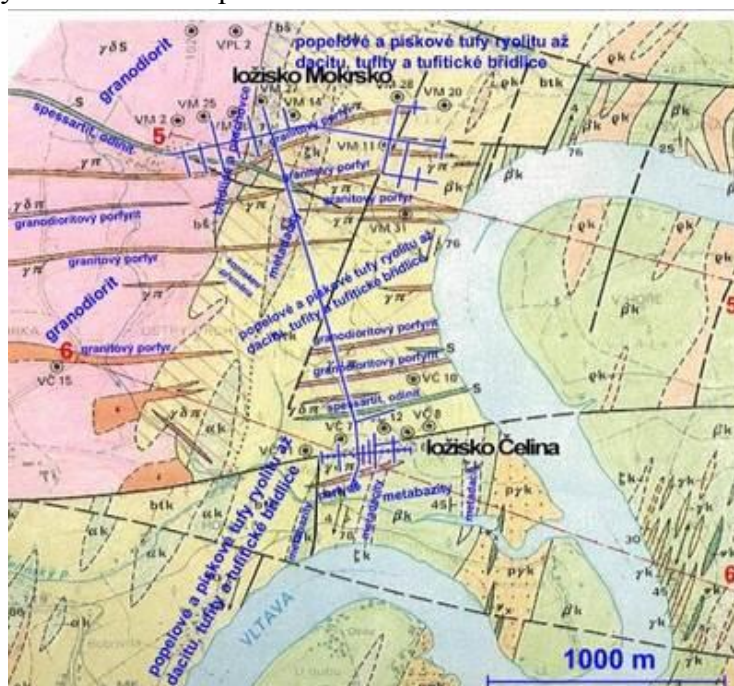
Na páteřní průzkumnou štolu navazují další liniová průzkumná díla s četnými rozrážkami sledujícími rudní struktury s napojením do dalších 2 pater. Celková délka chodeb dosahuje téměř 8 km. Převážná většina (kolem 90%) výlomů není vystrojena. Konec páteřní štoly je propojen 110 m vysokým nevystrojeným větracím komínem s povrchem terénu.

Technická data:

Celková délka chodeb	7 853 m
Délka páteřní štoly	1 835 m, profil 14-16 m ²
Celková délka ostatních chodeb	6 018 m, profil 9 m ²
Výška nadloží	90-110 m

2.2 Geologie

Štola Josef byla vyražena jako součást průzkumných prací ve zlatonosném rudním revíru Psí hory. Rudní revír Psí hory se rozprostírá převážně v proterozoických, více než 600 milionů let starých, horninách tzv. Jílovského pásma, do kterých později během variského vrásnění pronikly granitoidy Středočeského plutonu.



Obr. 2.2.1 Geologie v okolí štoly

Jílovské pásmo tvoří 1-6 km široký a až 70 km dlouhý pruh vulkanických a subvulkanických hornin, táhnoucí se na jihozápad od Jílového u Prahy. Kromě Psích hor se v něm nacházejí i další rudní revíry spojené s těžbou zlata (Jílové u Prahy, Štěchovice-Slapy, Smolotely-Horní Líšnice). Historicky nejvýznamnější bylo dobývání zlata v okolí Jílového u Prahy.

V oblasti Psích hor je Jílovské pásmo zastoupeno vulkanity bazického až kyselého složení (bazalty, andezity, dacity a ryolity) ve střední části revíru, subvulkanickými plagiogranity (albitickými žulami) na východním okraji a ložiskově nejvýznamnějšími kyselými až intermediárními tufy s polohami bazických tufů a kyselých až bazických láv. Horniny Jílovského pásma byly pravděpodobně koncem proterozoika slabě regionálně metamorfovány. Horniny ležící na styku s intruzivním tělesem granodioritu byly postiženy také kontaktní metamorfózou.

V nadloží Jílovského pásma leží vulkanosedimentární souvrství budované převážně slabě metamorfovanými tufy a tufitickými břidlicemi. Na západě zasahuje rudní revír Psí hory ještě do výběžku amfibolicko-biotitického granodioritu Středočeského plutonu.

Oblast Psích hor byla koncem 20. stol. zkoumána v souvislosti se zamýšlenou obnovou těžby zlata. V revíru se nacházejí dvě zlatonosná ložiska – ložisko Čelina, těžené již ve středověku, a ložisko Mokrsko. Zatímco ložisko Čelina a rudní zóna Mokrsko-východ jsou situovány v tufech a vulkanitech Jílovského pásma, převážná část rudní zóny Mokrsko-západ leží v granodioritu Středočeského plutonu.



Zdejší rudní revír patří z pohledu zásob Au k nejbohatším v Evropě. Podle odhadů ukrývají místní ložiska až 130 t tohoto drahého kovu. Zlatonosné zrudnění je soustředováno do křemenných žil a žilníků. Místní zlato dosahuje sice vysoké ryzosti, ale je většinou velmi jemnozrné. Také jeho průměrný obsah v hornině není vysoký (2 g/t). Díky tomu ložisko Mokrsko zůstalo ve středověku stranou zájmu horníků a jeho potenciál byl plně rozpoznán až v 80. letech 20. stol.

Koncem minulého století se začalo vážně uvažovat o obnovení těžby zlata v oblasti. Největší koncentrace Au jsou soustředěny v hloubkách do 300 m pod povrchem. Zlato by tedy muselo být dobýváno povrchově, což by znamenalo citelné a nevratné zásahy do okolní krajiny. Pro jeho separaci by navíc bylo nutné použít ekologicky riskantní metodu kyanidového loužení. Proto ke komerční těžbě zlata na Psích horách zatím nedošlo a v blízké budoucnosti ani nedojde.

2.3 Provozní řád

Provozovatelem Podzemní laboratoře Josef je České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6. Provozovatel je držitelem oprávnění k hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem, které vydal obvodní báňský úřad v Kladně dne 5.3.2007 pod č.j 1179/07/02/001. Podzemní laboratoř Josef slouží především k praktické výuce studentů fakulty stavební a dále k provádění ověřovacích pokusů a praktických zkoušek v souvislosti s vědeckou a výzkumnou činností provozovatele. Provozování Podzemní laboratoře Josef je považováno za činnost prováděnou hornickým způsobem dle § 3, odst.h) zákona č.61/1988 Sb. V platném znění a proto se jeho provoz řídí mimo jiné vyhláškou ČBÚ č.55/1996 Sb. V platném znění.

Osoby, které vstupují do podzemí, musí být seznámeny s výňatkem z provozního řádu štoly Josef:

	ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
	Podzemní laboratoř Josef

VÝŇATEK Z PROVOZNÍHO ŘÁDU PODZEMÍ ŠTOLY JOSEF

Provozní řád podzemí je umístěn v provozním objektu povrchového areálu štoly Josef.

Prostory podzemí jsou rozděleny do čtyř kategorií:

- I. Prostory přístupné veřejnosti v doprovodu průvodců.
- II. Prostory určené pro výuku a vědeckou činnost.
- III. Prostory se zvláštním určením přístupné provozovateli.
- IV. Prostory neprovozované, vstup do těchto prostor je zakázán.

Povinnosti osob vstupujících do podzemí štoly Josef

- vstup do podzemí je umožněn pouze proškoleným osobám a osobám vstupujícím v doprovodu průvodce
- průvodce musí osoby před vstupem do podzemí prokazatelně seznámit s Provozním řádem podzemí, příp. s jeho Výňatkem
- každá osoba musí být před vstupem do podzemí zapsána v „Knize návštěv“ (uložena v administrativní budově povrchového areálu) a v „Knize podzemí“ (uložena v provozním objektu povrchového areálu)
- vstup do prostor I. kategorie je povolen pouze s nasazenou ochrannou přilbou
- vstup do prostor II. kategorie je povolen pouze s nasazenou ochrannou přilbou a rozsvíceným osobním svítidlem, v reflexní vestě, se zapnutým detektorem plynů a ve vhodné uzavřené obuvi
- všechny osoby se musí chovat tak, aby nezapříčinily vznik úrazu nebo jiné závažné bezpečnostní situace, jsou povinny řídit se Provozním řádem podzemí nebo pokyny průvodce a dodržovat maximální opatrnost
- po ukončení pobytu v podzemí jsou osoby povinny vrátit zapůjčené osobní ochranné pomůcky, odepsat se z „Knihy podzemí“ a před opuštěním areálu i z „Knihy návštěv“
- provozovatel nepřebírá odpovědnost za zdravotní způsobilost osob vstupujících do podzemí, na náhlé zhoršení zdravotního stavu je každá osoba povinna upozornit
- je zakázán vstup osobám pod vlivem alkoholu nebo jiných omamných látek
- je zakázáno kouření a používání otevřeného ohně

Vypracoval: Ing. Danuše Nádherná, březen 2011

3. VÝUKOVÉ PODKLADY

3.1 Základy statistického vyhodnocování

3.1.1 Statistické zjišťování

Statistické zjišťování znamená získání dat, tedy souboru naměřených hodnot. Je to nejdůležitější část experimentální práce, neboť chybně získané nebo neúplné údaje již dalšími postupy nelze opravit.

3.1.2 Zpracování statistických údajů

Zpracování statistických údajů představuje třídění naměřených hodnot, jejich sestavení do tabulek a grafů, výpočet statistických charakteristik.

3.1.3 Vyhodnocení zpracovaných údajů a jejich analýza

Vyhodnocení zpracovaných údajů a jejich analýza je konečnou fází statistické práce.

3.1.4 Pevnostní zkoušky – Schmidtovo kladívko

Schmidtovo kladívko (odrazový tvrdoměr) bylo navrženo pro využití při nedestruktivních zkouškách ztvrdlého betonu. V případě hornin lze jeho pomocí zjistit tvrdost horniny (tzn. odpor horniny proti deformaci jejího povrchu, vyvolaný působením tvrdšího tělesa určitých rozměrů). Tato zkouška se in-situ využívá velmi často - je rychlá, zařízení je jasně definované a jednoduché a zároveň je prokázána korelace na jednoosou tlakovou pevnost horniny.

Při zkoušce Schmidtovým kladívkem je zjišťována velikost odrazu závaží od testovaného povrchu. Z velikosti odrazu je pomocí korelačních vztahů stanoví pevnost horniny v tlaku.

Schmidtovo kladívko se skládá z ocelového beránku s pružinou, která jej po uvolnění vymršťuje na ocelový razník opřený o povrch horniny. Velikost odrazu se zachycuje na stupnici.

V praxi je vždy potřeba vyhledat v rámci zkoušeného povrchu několik zkušebních míst (nejčastěji tři), každé pokud možno na jiném horninovém bloku. Každé zkušební místo je upraveno – pokud povrch horniny není čistý a hladký, vybrousí se za sucha tak, aby byla patrná struktura horniny. Provádí se většinou deset zkušebních úderů kladívkem pro každé ze zkušebních míst.

3.1.5 Statistické vyhodnocení naměřených dat

Hodnota pevnosti vzorku je hodnotou odvozenou z náhodného výběru vzorků, proto je zapotřebí posoudit ji jako statistickou veličinu, to je stanovením základních charakteristik statistického souboru. Hodnoty se vyhodnocují podle Gauss-Laplaceovy funkce (obr. 3.1.1.). Toto rozdělení se nazývá normální a je definováno funkcí:

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{t^2}{2}}$$

Výukové podklady

Kde: t směrodatná proměnná

$$t = \frac{R_i - \bar{R}}{s}$$

Kde: R_i hodnoty jednotlivých pevností

\bar{R} průměrná hodnota pevností, jež je stejná pro celý základní soubor i výběr (aritmetický průměr)

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{n}$$

Kde: n počet vzorků výběru ze základního souboru

s směrodatná odchylka základního souboru

$$s = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{n}}$$

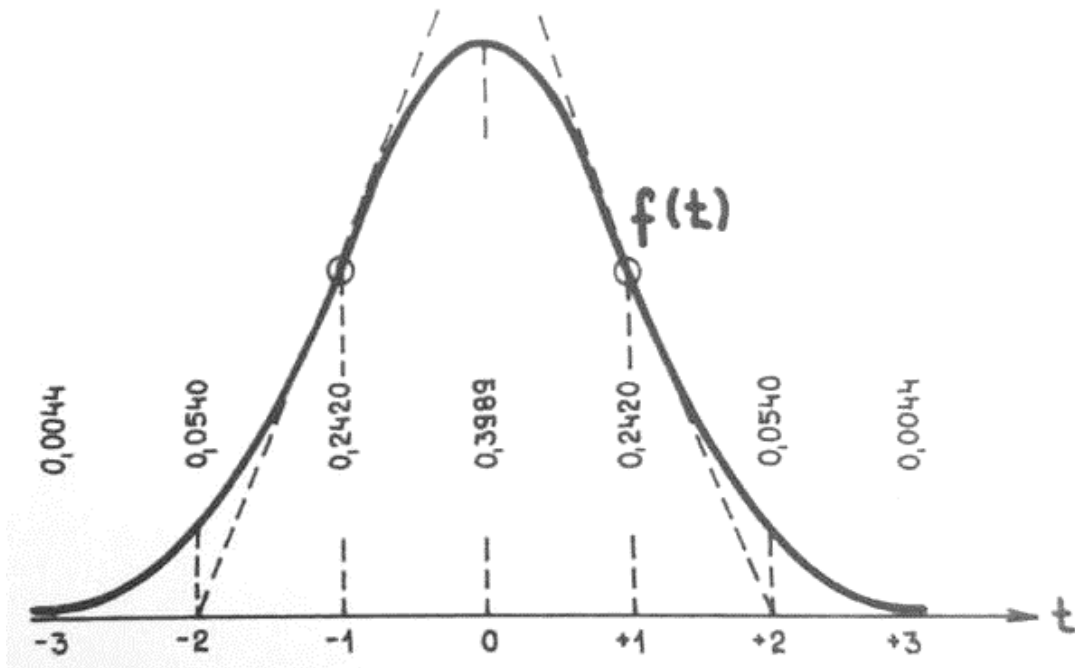
Pro počet n – základního souboru

$$s = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{n - 1}}$$

Pro počet n – výběru ze základního souboru

Normální rozdělení, definované touto rovnicí, je charakterizováno hodnotami statistického průměru \bar{R} a směrodatnou odchylkou s . Zavedením směrodatné proměnné t se tyto charakteristiky vyloučí a hodnoty křivky lze snadno vypočítat. Z rovnice křivky četnosti, uvedené výše, plyne pro průměr ($t=0$) hodnota:

$$f(0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} = 0,3989$$



Obr. 3.1.1.1. Normální křivka pravděpodobnostního rozdělení

Pro hodnotu \bar{x}_s ($t = \bar{x}1$) bude pak:

$$f(\bar{x}1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}e} = 0,2420$$

Dále pak pro hodnotu \bar{x}_{2s} ($t = \bar{x}2$):

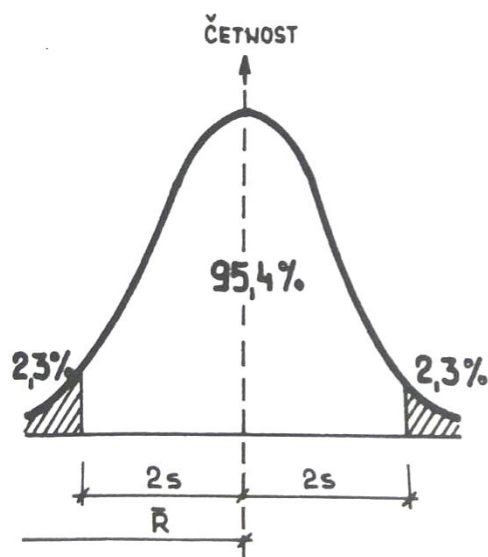
$$f(\bar{x}2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{1}{e^2} = 0,0540$$

Pro úseky \bar{x}_s ($t = \bar{x}1$) jsou body křivky inflexními. Tečny v těchto bodech protínají vodorovnou osu ve vzdálenosti \bar{x}_{2s} od hodnoty $\bar{R}(t=0)$. Křivka je symetrická ke svislé ose, s maximem v bodě $t=0$ a asymptotou v bodech \bar{x}_{∞} je vodorovná osa.

Plocha omezená funkcí četnosti:

$$F(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{t^2}{2}} \cdot dt = 1$$

Lze tedy jednoznačně stanovit, jak velká je část této plochy, ohraničená určitými mezemi, ve vztahu k celkové ploše. Zpravidla se užívá mezí \bar{x}_{2s} ($t = \bar{x}2$), mezi nimiž tvoří plocha 95,45% celku. Zbytek je pak přibližně 4,55 = 4,6% celkové plochy. Jestliže tedy hodnoty pevnosti R_i leží v mezích \bar{x}_{2s} od hodnoty průměrné \bar{R} , existuje pouze 4,6 procentní pravděpodobnost, že by některé hodnoty statistického souboru z určených mezí vybočily (obr. 3.1.2.).



Obr. 3.1.2. Plocha omezená normální křivkou s oboustranně omezeným intervalem

Plocha omezená normální křivkou s oboustranně omezeným intervalem má pro různé hodnoty intervalu následující velikost:

Proměnná v intervalu	Část celé plochy [%]
$\bar{\pm} s$	68,27
$\bar{\pm} 2s$	95,45
$\bar{\pm} 3s$	99,73

Počet vzorků z jednoho místa odběru se volí tak, aby rozptyl $p \leq 1,5$, přičemž:

$$p = \frac{R_{max}}{R_{min}}$$

Maximální a minimální hodnota pevnosti je při pravděpodobnostním výskytu asi 2,3% hodnot na každé straně za těmito hodnotami, tedy pro směrodatnou proměnnou $t=2$:

$$R_{max,min} = \bar{R} \left(1 \pm 2 \cdot \frac{v}{\sqrt{n}} \right)$$

Kde: v součinitel variability základního souboru, přičemž:

$$v = \frac{s}{\bar{R}}$$

Hodnota $\frac{v}{\sqrt{n}} = v'$ je součinitelem variability výběrových průměrů.

Je zřejmé, že $v' < v$

Výukové podklady

Bude-li tedy :

$$p = \frac{R_{max}}{R_{min}} = \frac{1 + 2 \frac{v}{\sqrt{n}}}{1 - 2 \frac{v}{\sqrt{n}}} \leq 1,5$$

Lze stanovit počet vzorků z jednoho místa v závislosti na předem odhadnuté hodnotě součinitele variability (variačního součinitele) pro základní soubor:

$$n \geq 100v^2$$

v [%]	n [ks]
30	9
25	6
20	4
15	3

Počet tří vzorků při každé zkoušce se považuje za minimálně nutný. S méně vzorky již nelze provést statistický rozbor.

3.1.6 Vyhodnocení zkoušky Schmidtovým kladívkem

Při vyhodnocování zkoušek se uvede jako výsledná hodnota její pevnosti hodnota průměrná \bar{R} (aritmetický průměr), směrodatná odchylka s a součinitel variability v . To jsou statistické hodnoty pevností, jež se používají jako reprezentativní pro další aplikaci.

Poznámky:

Aritmetický průměr – je nejlepším odhadem veličiny X , získáme-li n opakovaným měřením této veličiny hodnoty x_1, x_2, \dots, x_n

Míry variability – variabilita znamená způsob uspořádání jednotlivých hodnot uvnitř souboru vzhledem k jeho střední hodnotě (k aritmetickému průměru). Může se stát, že dva soubory hodnot stejné fyzikální veličiny mohou mít shodný průměr, ale odlišnou variabilitu.

3.2 Klasifikace hornin indexem RQD

Úkolem klasifikace hornin je podat správný a výstižný obraz o rozhodujících vlastnostech horninového prostředí. Klasifikace podle indexu RQD (Rock Quality Designation) byla odvozena Deerem v roce 1967. Jedná se o nejjednodušší indexovou klasifikaci. Kvantitativní ohodnocení horninového masivu se provádí na základě jádrových vrtů (minimálního průměru 54,7 mm) získaných při geologickém průzkumu. Index RQD (rozsah 0 až 100) je definován vztahem:

$$RQD = \frac{\sum L_{10}}{L} \times 100\%$$

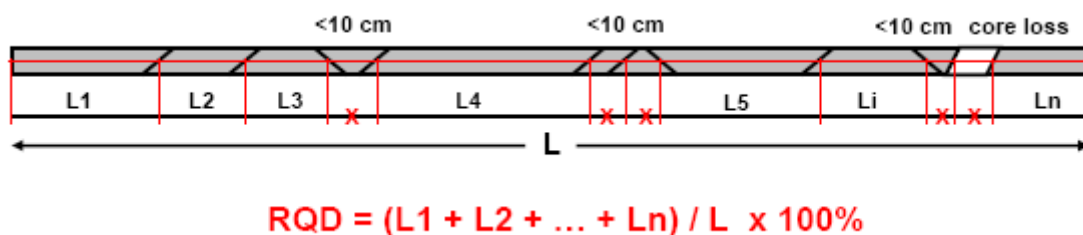
kde: L_{10} délka neporušeného kusu v jádrovém vrtu delšího než 10 cm
 L celková navrtaná délka

Index RQD je směrově závislý parametr a tak se jeho hodnota může výrazně měnit se směrem vrtu, tzn. reprezentuje kvalitu horniny in situ. Při vyhodnocování délky jader je nutné vyloučit trhliny vzniklé vlivem vrtací technologie. Tabulka 3.2.1 udává základní klasifikaci kvality horniny podle indexu RQD.

Kvalita horniny	RQD
výborná	100 - 90
dobrá	90 - 75
střední	75 - 50
nízká	50 - 25
velmi nízká	25 - 0

Tab. 3.2.1 Klasifikace podle indexu RQD

Na Obr. 3.2.1 je schematicky naznačeno určení indexu RQD na vrtném jádře, kde červenými křížky jsou označeny délky, které se neuvážují do délky L_{10} (kratší než 10 cm či chybějící).



Obr. 3.2.1 Praktický postup určení indexu RQD

Výnosy vrtných jader jsou obvykle ukládány do dřevěných nebo plastových boxů (Obr. 3.2.2). Na jádře jsou označeny tzv. návrty. Jedná se o místa, v kterých byl vrtný proces přerušen a z jádrovnice bylo vyjmuto jádro. Po provedení každého návrtu byla proměřena hloubka vrtu a označena přímo na jádro nebo ukládací box.

Pro praktické cvičení v Podzemní laboratoři Josef je možné využít předtištěných formulářů (Obr. 3.2.3).

Výukové podklady



Obr. 3.2.2 Ukázka vyhodnocení indexu RQD

3.3 Konvergenční měření

V posledních 20-ti letech došlo k postupnému rozšíření konvergenčního měření v inženýrské praxi. S rozvojem a rozšiřováním nové rakouské tunelovací metody (NRTM) se stalo nepostradatelnou součástí při výstavbě tunelů pomocí technologií využívajících stříkaného betonu. Součástí těchto technologií jsou tzv. observační měření.

Princip NRTM spočívá v tom, že primární (provizorní) ostění tunelu je dimenzováno tak, aby se při zatížení horninovým tlakem „řízeně“ deformovalo, a tím došlo ke zmenšení zatížení. Úkolem observačního měření je sledovat změny zatížení ostění a změny vnitřního tvaru líce ostění v čase. Zatímco měření zatížení ostění, neboli měření napjatosti na kontaktu ostění – horninové (zeminové) prostředí, je přístrojově, personálně, a tím i finančně značně náročné, konvergenční měření je přístrojově nenáročné, lze ho provést poměrně rychle a jeho výsledky jsou naprosto postačující pro rozhodování o případném zesílení primárního ostění.

Statickým výpočtem se obvykle stanoví hraniční (maximální) hodnoty vertikální a horizontální složky deformace ostění. Při dosažení těchto hraničních hodnot musí statik na základě výsledků konvergenčního měření učinit opatření k zamezení nárůstu deformací, např. provedením další vrstvy stříkaného betonu ostění.

V komplikovaných geologických či technologických podmínkách je konvergenční měření nutno doplnit měřením kontaktního napětí (zatížení). Měření kontaktního napětí (popř. i měření změn napětí v ostění a napětí v horninovém prostředí) signalizuje změny deformací s předstihem. Napětí na kontaktu narůstá a při jeho určité velikosti dojde k deformaci konstrukce ostění, a tím napětí (zatížení) poklesne. Konstrukce před zatížením „uhne“ a zatížení přeneseme horninové (zeminové) prostředí. Dojde k redistribuci napětí. Konstrukce ostění musí být samozřejmě dimenzována tak, aby nedošlo k jejímu kolapsu.

Nejzávažnější chyby při konvergenčním měření vznikají vlivem nezkušenosti realizátora měření a nepochopení principu (ve snaze „znásilňovat“ jeho výsledky a převzít naměřené hodnoty pro jiné aplikace).

Konvergenční měření je měření geotechnické. Geotechnika má oproti ostatním inženýrským disciplínám značná specifika. Zatímco nadzemní stavby a konstrukce (betonové, ocelové, atd.) pracují prakticky s homogenním materiálem (modul pružnosti, Poissonovo číslo), který se v rozsahu konstrukce nemění, v horninovém či zeminovém prostředí dochází (až na vzácné výjimky, kdy jsou konstrukce budovány např. v prostředí naprosto homogenních, izotropních jílu) ke změně parametrů prakticky na každém metru a v čase se tyto parametry mohou rychle měnit. Zkušený geotechnik se tedy nesnaží získat hodnotu zatížení či deformací s přesností na 3 desetinná místa a získanou hodnotu aplikovat v rozsahu celé konstrukce, ale snaží se co nejjednodušším způsobem získat co nejvíce informací o rozdělení napětí a deformací v celém rozsahu konstrukce. Měření je nutné provádět v měřičských polích skládajících se z měřících profilů. Nejde tedy o získání co nejpřesnějších výsledků (založených na přesnosti měřidel), ale o co nejvíce změřených míst (bodů). Plně postačí, pokud dojde (při působení všech negativních vlivů) ke shodě 30 % naměřených hodnot.

V tomto duchu je nutno (z geotechnického hlediska) přistupovat i k interpretaci výsledků konvergenčních měření. Je důležité si uvědomit, že *úkolem konvergenčního měření je stanovit relativní délkové (tvarové) změny konstrukce. Konvergenční měření nepracuje s absolutními rozměry (délkami) konstrukce, konvergenční měření ani neposkytuje informaci, jak se jednotlivé koncové body záměry podílí na naměřené relativní změně. Výsledky konvergenčního měření poskytují s omezenou přesností představu k jak velkým deformacím a jakého charakteru v čase dochází. Poskytují dostatečné přesné informace pro statika, zda se splnily předpoklady o velikost nárůstu zatížení či deformace v čase.*

3.3.1 Příprava konstrukce pro měření

Příprava konstrukce spočívá v instalaci měřících bodů. Měřicí profily jsou osazeny minimálně třemi body, jeden bod se instaluje ve vrcholu konstrukce, dva na bocích konstrukce min. 0,5 m nad počvou (dnem). Obvykle se instalují 5-ti bodové profily. V případě konstrukcí, které mají montážní spáry (klouby), jsou body instalovány nad a pod kloubem.

Velice ojediněle se instaluje měřící bod ve dně konstrukce (pod vrcholem klenby). Tyto body nelze kvůli probíhající stavební aktivitě pod tubusem konstrukce chránit před poškozením.

Měřicí body jsou konstruovány v závislosti na způsobu uchycení konvergenčního měřidla. Teoreticky (ze strojařského hlediska) je nejpřesnější měření délek při použití kulových tvarů. Výrobně je tento způsob poměrně složitý, prodlužuje dobu měření a zvyšuje nároky na zručnost měřiče. Osvědčený je systém „kolík – díra“ (Obr. 3.3.1).

Klouby by měly být osazeny „napevno“. Naprosto nevhodný je způsob, kdy se měřící kloub na každé měření šroubuje na pevně fixovaný trn se závitem. Tento způsob výrazně zvyšuje riziko chyby měřiče způsobené nestejným našroubováním měřící části při opakovaném měření. Materiál použitý pro měřicí body (trny) závisí na prostředí a délce měření. V agresivním prostředí je nezbytné použít nerezovou ocel, v běžném neagresivním prostředí stačí kvalitní ocel s povrchovou úpravou či nátěrem.

Měřicí trny musí být dostatečně robustní, aby odolaly „zatěžovacím zkouškám“ nezvaných experimentátorů. Nevhodné jsou kulové body na tenkém dřívku. Trny musí být v konstrukci dokonale fixovány, např. pomocí chemických kotev Fisher. Tyto kotvy lze po 15 min zatěžovat tahem až 200 kg. Povrch trnů je vhodné kromě nátěru opatřit ochranným krytem, který trn chrání proti mechanickému poškození i proti prašnosti a povětrnostním vlivům. Otvor v měřících trnech se v případě systému „kolík – díra“ osazuje ve směru podélné osy konstrukce.



Obr. 3.3.1 Měřící bod

3.3.2 Konvergenční měřidlo

Typ konvergenčního měřidla závisí na měřené délce. Pro krátké záměry do 2,5 m lze použít tyčový extenzometr, kde tyč nahrazuje pásmo. Vlastní měření se však, stejně jako u pásmového konvergenčního měřidla, provádí měřidlem na principu mikrometru. Pro záměry delší než 2,5 m se nejvíce používá konvergenční měřidlo, kterému se z důvodu použití pásma (místo tyče) říká konvergenční pásmo (Obr. 3.3.2). Pásmem se však neměří, pásmo slouží pouze k propojení měřícího bodu na jedné straně záměry s měřidlem na druhé straně záměry.

Konvergenční měřidlo se skládá z upínacího kloubu na volném konci prodlužovacího pásma, z vlastního prodlužovacího pásma a z těla konvergenčního měřidla. Součástí těla konvergenčního měřidla je druhý upínací kloub, napínací siloměr (dynamometr) a vlastní

měřidlo relativních změn délek (posuvné měřidlo). Posuvné měřidlo používá princip „šuplery“, přesnost čtení je proto obvykle 0,05 mm. Siloměr zajišťuje vždy stejné napnutí pásma, odečet z posuvného měřidla se provádí po dosažení stanoveného napnutí pásma. Doporučená napínací síla je 100 N.



Obr. 3.3.1 Konvergenční pásmo

3.3.3 Provádění vlastního měření

Prodlužovací pásmo je opatřeno otvory pro fixaci potřebných základních vzdáleností. Do těchto otvorů zapadá kolík na pérovém mechanismu, který je součástí těla měřidla. Pásmo je opatřeno v určitých vzdálenostech (25 mm, 50 mm nebo 100 mm) otvory, do kterých kolík pérového mechanismu zapadne. Tím je vymezeno tzv. základní čtení. Vlastní odečet je prováděn na posuvném měřidle.

Při následujícím odečtu (při příštím měření) se před napnutím pásma nastaví předchozí základní čtení a provede se nový odečet na posuvném měřidle. **Rozdíl obou čtení na posuvném měřidle vyjadřuje relativní změnu posunů. Základní čtení vyjadřuje pouze polohu otvoru, pro který bylo předchozí čtení prováděno. Přesnost dělení pásma se při měření vůbec neprojevuje.**

Pokud velikost deformací přesáhne rozsah čtení posuvného měřidla, kolík se v pásmu zasune do dalšího nejbližšího otvoru. Když se blíží konec využitelnosti rozsahu posuvného měřidla, provede se čtení pro oba sousední otvory. Při měření je nutné (vhodné) zachovávat stejný postup. A to jak pořadí jednotlivých záměr, tak hlavně způsob upevňování kloubů.

Klouby konvergenčního měřidla se zasouvají do otvoru trnu vždy ze stejné strany trnu, tzn. dodržovat např. směr „od čelby - vlevo“. Jeden z portálů tunelu je tedy během prvního (nulového) měření prohlášen za čelbu, ke které se při zasouvání kloubu stojí čelem a distanční část kloubu musí být vždy nalevo od kolíku kloubu.

Nulové měření se z bezpečnostního důvodu provádí dvěma pásmy. Někdy, hlavně vlivem neodborného zacházení s pásmem, může dojít k jeho přetržení, pak lze přejít bez ztráty kontinuity měření na měření druhým pásmem.

V případě nedostatečných zkušeností se doporučuje provést veškerá měření 2x, a to tak, že po dokončení všech záměr se celé měření provede ještě jednou od začátku. Tím se nahodilá chyba měření výrazně zmenšuje. Je to sice časově náročnější než okamžité opakování stejné záměry, ale pravděpodobnost odhalení chyby je daleko vyšší.

3.3.4 Nepřesnosti zatěžující konvergenční měření

Chyby ovlivňující přesnost získávaných výsledků lze rozdělit na:

- chyby způsobené vlastním konvergenčním měřidlem, či jeho součástmi (měřící trny)
- chyby způsobené lidským faktorem

Chyby způsobené měřidlem

Upínací klouby

Kloubové části mohou po určité době v závislosti na materiálu vykazovat „vůle“ kloubového mechanismu. Vzhledem k tomu, že se při měření napínají všechny části měřidla silou alespoň 100 N, tyto chyby se prakticky neprojeví. Samozřejmě za předpokladu, že je zachována perfektní, všesměrná pohyblivost kloubů. Vliv běžné změny teploty kloubů se na výsledku měření neprojeví.

Napínací pásmo

Napínací pásmo je v podstatě prodloužením vlastního měřidla. Nezávisí na přesnosti jeho dělení, délková kalibrace je tedy zbytečná. Při jednotlivých různě dlouhých záměrech vždy dochází, za předpokladu správné funkce siloměru, ke stejnému prodloužení pásma vlivem napnutí. Dle Hookova zákona je protažení 10 m pásma silou 100 N, při průřezu pásma $5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ a $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ N m}^{-2}$ rovno 1,25 mm. Jako napínací pásmo se používá měřičské pásmo. Měřičská pásma se zhotovují z pérové oceli nebo oceli válcované za studena. Pochopitelně nelze použít látková či umělohmotná pásma.

Vliv změn teploty se projevuje v závislosti na koeficientu teplotní roztažnosti α . Tento koeficient se pro běžně používaná pásma uvádí hodnotou $11 \cdot 10^{-6}$ pro 1°C . Což znamená, že se 10 m dlouhé pásmo při změně teploty o 10°C prodlouží/zkrátí o 1,1 mm. Desetimetrové záměry patří mezi ty nejdelší, změna o 10°C uvnitř konstrukce představuje značně extrémní případ. Přesto se doporučuje tuto opravu jednoduchým způsobem zavádět ($\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta t$).

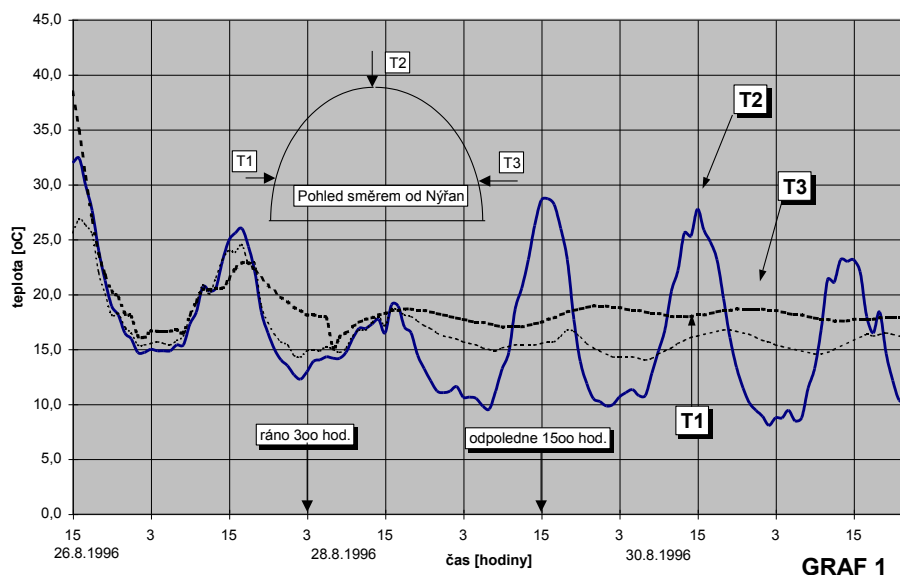
Je nutné si uvědomit, že změna teploty podobně působí délkové (i objemové) změny ostění (prefabrikátů), hlavě ve směru nejdelšího rozměru. Pro představu je prezentován grafický záznam měření teplotního zatížení konstrukce v Nýřanech, ze kterého vyplývá, že 24 hodinové změny teplotního zatížení konstrukce dosahovaly 25°C (viz. Obr. 3.3.3).

U ražených podzemních staveb se vliv změn teploty na výsledky konvergenčního měření nezavádí z důvodu minimálních změn teploty v podzemí.

Siloměr

Pomocí siloměru se dosahuje vždy stejného napnutí pásma. Doporučená napínací síla je min. 100 N. Siloměr je nutné 1x za 3 měsíce přeměřit, překontrolovat. Vliv poklesu napínací síly dynamometru (pružiny) v čase se však může projevit pouze při dlouhodobém měření v řádu desítek let. Vliv změny teploty na velikost napínací síly se nezavádí.

Výukové podklady



Obr. 3.3.2 Průběh teploty na kontaktu konstrukce TOM se zásypem

Problémem je provádění měření za větrného počasí. Pásmo je větrem rozkmitáno, rozkmitání siloměr nezabrání. Při záměrech kolem 10 m se tímto vlivem přesnost měření snižuje o cca 0,3 mm. Pokud je to možné, je vhodnější se měření za větrného počasí vyhnout.

Tělo konvergenčního měřidla

Mechanické části těla, stejně jako upínací klouby, podléhají opotřebení v závislosti na použitém materiálu. Při napínání jsou zatěžovány vždy konstantní silou, tím se případné vůle vždy stejně vymezují. Více namáhané části (závitové) je nutné v případě velkého opotřebení vyměnit. Vliv změny teploty lze zavést stejným koeficientem jako u prodlužovacího pásma. Při běžných měřeních se nezavádí (cca 0,05 mm při 10°C).

Posuvné měřidlo

Pracuje na principu „šuplery“. Přesnost čtení je 0,05 mm. Je součástí těla měřidla, teplotní vliv se nezavádí, je obsažen v teplotní změně celého těla. Vzhledem k využitelné přesnosti konvergenčního měření se recalibrace posuvného měřidla neprovádí. Povolena chyba z metrologického hlediska činí ½ citlivosti (tj. 0,025 mm) pro celý rozsah měřidla. U konvergenčního měřidla se zpravidla využívá cca polovina 100 mm rozsahu.

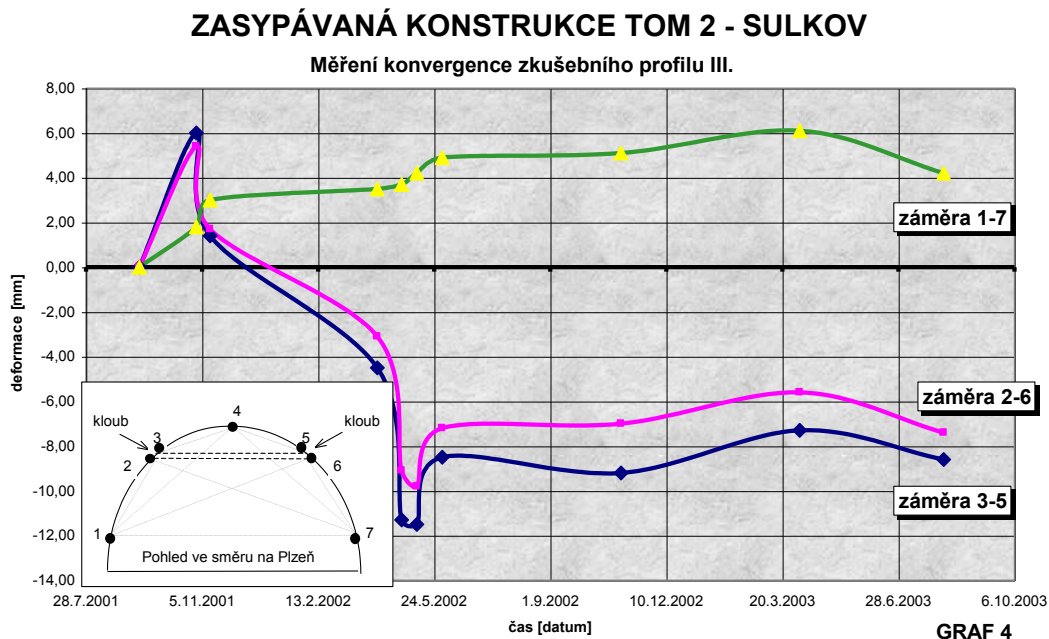
Chyby způsobené lidským faktorem

Chyby způsobené lidským faktorem mají rozhodující vliv na výslednou přesnost měření. Konvergenční měření se skládá z řady opakujících se úkonů, z nichž prakticky každý může ovlivnit výsledek měření. Zkušenost a pečlivost měřiče určují spolehlivost naměřených výsledků.

3.3.5 Příklady tabulkového a grafického výstupu konvergenčního měření

ZASYPÁVANÁ KONSTRUKCE TOM - 2 (NÝŘANY)																	
MĚŘENÍ KONVERGENCE PRSTENCE K1																	
Číslo měření	datum	výška zášypu od zákl.sp. [m]	záměra														
			.3 - 1			.3 - 5			.2 - 1			.2 - 5			.2 - 4		
			hl. čtení [m]	nonius [mm]	změna [mm]	hl. čtení [m]	nonius [mm]	změna [mm]	hl. čtení [m]	nonius [mm]	změna [mm]	hl. čtení [m]	nonius [mm]	změna [mm]	hl. čtení [m]	nonius [mm]	změna [mm]
1	23.8.1996	0	4,275	27,20	0,00	4,200	36,60	0,00	1,675	18,20	0,00	5,950	23,60	0,00	4,650	39,40	0,00
2	26.8.1996	1,3	4,275	27,20	0,00	4,200	37,60	-1,00	1,675	18,20	0,00	5,950	22,60	1,00	4,650	38,05	1,35
3	29.8.1996	2	4,275	27,20	0,00	4,200	37,60	-1,00	1,675	20,05	-1,85	5,950	22,70	0,90	4,650	36,40	3,00
4	3.9.1996	2,3													4,650	38,00	1,40
5	6.9.1996	3													4,650	38,40	1,00
6	11.9.1996	3,2													4,625	13,15	1,25
7	16.9.1996	3,5													4,625	13,60	0,80
8	20.9.1996	4,6	4,275	29,15	-1,95	4,200	36,10	0,50	1,675	20,00	-1,80	5,950	24,30	-0,70	4,625	16,40	-2,00
9	26.9.1996	5,2	4,275	29,90	-2,70	4,200	34,90	1,70				5,950	23,00	0,60	4,625	16,20	-1,80
10	1.10.1996	5,4													4,625	18,30	-3,90
11	6.10.1996	5,6													4,625	16,10	-1,70
12	11.10.1996	6,6	4,275	32,90	-5,70	4,200	33,35	3,25	1,675	20,50	-2,30	5,950	14,20	9,40	4,625	12,40	2,00
13	7.12.1996	9,15										5,975	23,10	25,50	4,650	23,30	16,10
14	7.1.1997	9,15	4,250	13,60	-11,40	4,175	9,90	1,70				5,975	20,90	27,70	4,650	20,20	19,20
15	30.1.1997	9,15	4,250	14,10	-11,90	4,175	10,20	1,40				5,975	21,05	27,55	4,650	20,50	18,90
16	6.3.1997	9,15	4,250	14,60	-12,40	4,175	10,50	1,10				5,975	20,50	28,10	4,650	20,80	18,60
17	13.1.1998	9,15	4,375	16,40	-15,20	4,305	15,10	0,50				6,100	15,90	31,70	4,775	18,00	20,40
18	16.12.1998	9,15	4,375	16,60	-15,40	4,305	15,80	-0,20				6,100	15,20	32,40	4,775	17,10	21,30
19	24.2.2000	9,15	4,375	16,60	-15,40	4,305	15,70	-0,10				6,100	15,00	32,60	4,775	16,60	21,80
20	24.7.2001	9,15	4,375	17,70	-16,50	4,305	15,70	-0,10				6,100	15,00	32,60	4,775	17,50	20,90

Obr. 3.3.3 Tabulkový výstup konvergenčního měření

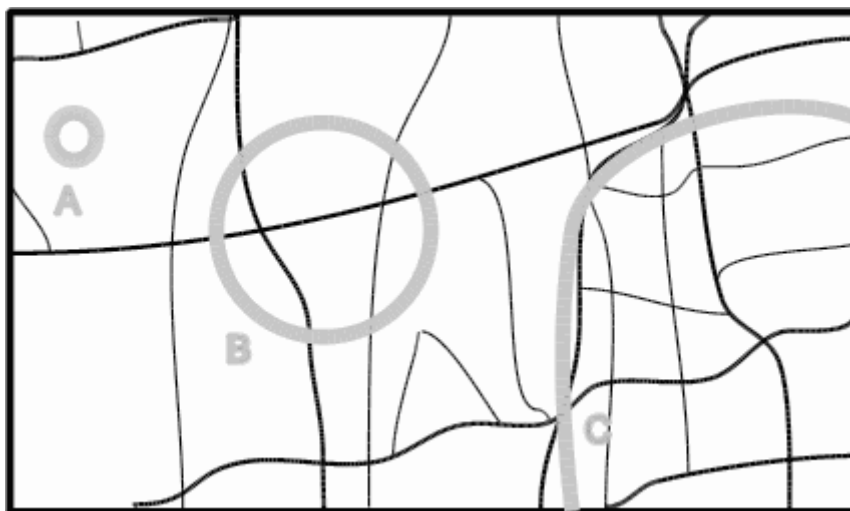


Obr. 3.3.4 Grafický výstup konvergenčního měření

3.4 Geologické mapování

Horninový masiv je jedinečný přítomností diskontinuit, které jej rozdělují na oblasti neporušené (intaktní) horniny. Diskontinuitou (plochou nespojitosti) rozumíme jakékoli rozdělení horninového masivu (kontinua horninového masivu) bez ohledu na její vznik. Mezi plochy nespojitosti tedy patří vrstevné plochy, honové plochy, pukliny, praskliny, zlomy apod. Horninový masiv byl po miliony let vystaven vnějším vlivům – mechanickým, termálním a chemickým. Právě tyto vlivy vytvořily v různých geologických dobách (a čase) různé napjatostní stavy diskontinuit. Vznik diskontinuit (např. smýkaný zlom) má často velký vliv na jejich geometrické a mechanické vlastnosti, a proto je důležité znát způsob formování plochy nespojitosti z hlediska principů strukturní geologie.

Z inženýrského hlediska plochy nespojitosti značně zhoršují mechanické vlastnosti hornin jako např. propustnost, pevnost, přetvárnost apod. Průběžné a vzhledem ke stavbě i velké diskontinuity mají vliv na stabilitu podzemních děl či skalních stěn (obr 3.4.1), proto je důležité znát jejich geometrické, mechanické a hydrologické vlastnosti.



Obr 3.4.1 Diskontinuity a podzemní stavby

A – vrt, B – štola, C – tunel

Plochy nespojitosti mohou být buď tektonického původu, nebo netektonického původu. Mezi tektonické plochy nespojitosti patří zlomové plochy a různé systémy puklin vzniklé při horotvorných procesech, mezi netektonické plochy nespojitosti patří:

- plochy nespojitosti vzniklé ochlazováním popř. smršťováním magmatu (honové plochy v žule, plochy omezující čedičové sloupce apod.)
- systémy puklin zhruba rovnoběžných s povrchem terénu, vzniklé uvolňováním napětí po odlehčení tíhy nadloží
- systémy puklin a smykových ploch provázejících gravitační pohyby na svazích i vertikální poklesy v důsledku nerovnoměrné kontrakce podložních hornin
- vrstevní plochy a systémy puklin provázející procesy diagenetického zpevnění sedimentů.

Velice často je v horninách více systémů ploch nespojitosti, např. jeden hlavní systém, jenž dělí horninový masiv na velké bloky a podružný systém či systémy. U sedimentů jsou většinou hlavními plochami nespojitosti vrstevní plochy, tektonické poruchy. U jílových

sedimentů bývá hlavní systém puklin rovnoběžný se směrem vrstevních ploch, podružné systémy jsou tvořeny krátkými a hustými puklinami kolnými k vrstevným plochám.

Podle významu vzhledem k horninovému masivu se plochy nespojitosti se někdy dělí do řádů:

Diskontinuity I. řádu do této skupiny zařazujeme svislé zlomy oddělující kontinentální kry (tzv. kontinentální zlomy) a diskontinuity oddělující jednotlivé hloubkové vrstvy zeměkoule (Mohorovičičova diskontinuita, Gutenbergova diskontinuita apod.). Diskontinuity prvního řádu většinou neovlivňují stabilitu podzemních děl.

Diskontinuity II. řádu se dělí na primární a sekundární. Primární diskontinuity souvisejí se vznikem masivu. Mezi tyto diskontinuity řadíme např. vrstevné plochy a honové plochy. Sekundární diskontinuity nesouvisejí se vznikem masivu a jsou vesměs tektonického původu. Diskontinuity, jejichž vzdálenost se pohybuje řádově v centimetrech až kilometrech, vznikly makroseismickým porušením a ovlivňují stabilitu podzemních děl. Při mikroseismickém porušení zůstává masiv pevnou intaktní hmotou.

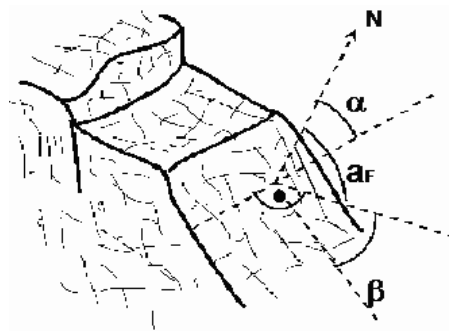
3.4.1 Zaměření ploch nespojitosti

Při průzkumu ploch nespojitosti se používá pro jejich zaměřování geologický kompas (obr. 3.4.2), kterým měříme:

- směr roviny - úhel α , který svírá hlavní přímka dané roviny (průsečnice s vodorovnou rovinou) se směrem magnetického severu. Pohybuje se v rozmezí 0 - 360° (obr. 3.4.3).
- směr sklonu roviny - úhel α_f , který svírá ve směru klesání orientovaný půdorysný průmět spádové přímky dané roviny se směrem magnetického severu. Pohybuje se v rozmezí 0 - 360°. (obr. 3.4.3)
- sklon roviny úhel β , který svírá spádová přímka dané roviny s rovinou horizontální. Pohybuje se v rozmezí 0 - 90° (obr. 3.4.3).



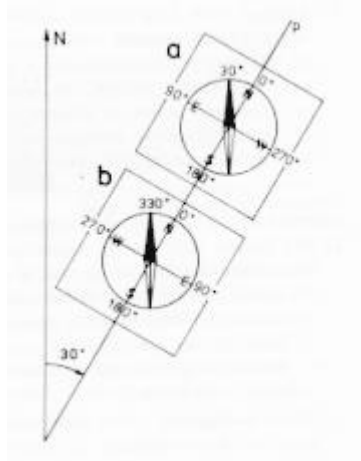
Obr. 3.4.2 Geologický kompas



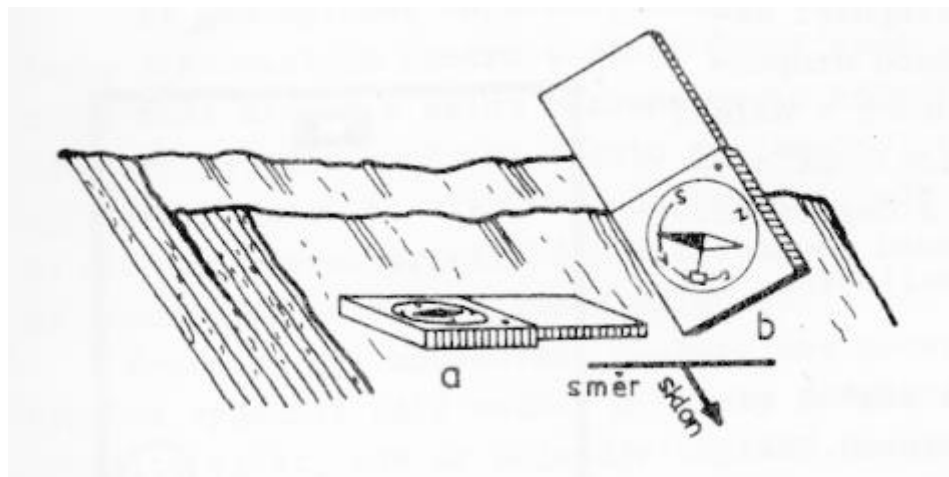
Obr. 3.4.3 Měřené veličiny určující směr diskontinuity: α směr roviny, α_f směr sklonu, β sklon roviny

Popis postupu zaměření

Geologický kompas (obr. 3.4.2) má své specifické vybavení a některé zvláštnosti, kterými se liší od běžných kompasů. Především má dělení azimutální stupnice provedeno proti směru hodinových ručiček (běžné kompasy po směru), tzn. je přehozen východ a západ. Tato změna umožňuje přímé odečítání směrových úhlů, s nimiž se pracuje v geologii. Směr přímky p na obr. 2.4 je 30° . Na stupnici normálního kompasu bychom odečetli 330° (obr. 3.4.4. b), na stupnici geologického kompasu čteme přímo hledanou hodnotu 30° (obr. 3.4.4. a). K měření sklonu geologických prvků slouží sklonoměr - klinometr. Nejčastěji pracuje na principu zavěšeného závaží (kyvadla), které sleduje směr zemské tíže. Velikost sklonu udává poloha kyvadla, kterou čteme na stupnici sklonoměru (viz obr. 3.4.5. b).



Obr. 3.4.4 a) geologický kompas b) normální kompas



Obr. 3.4.5 Měření geologickým kompasem
a) směru roviny b) sklonu roviny

Zásady měření geologickým kompasem jsou následující bez ohledu na typ a provedení kompasu:

- směr severu je zásadně orientován ve směru klesání spádové přímky,
- kompas přikládáme hranou k měřené ploše,
- při zaměřování geologických prvků musí být spojnice sever-jih rovnoběžná s vodorovnou rovinou,

Výukové podklady

- při zaměřování sklonu geologických prvků musí být spojnice sever-jih ve směru spádové přímky,

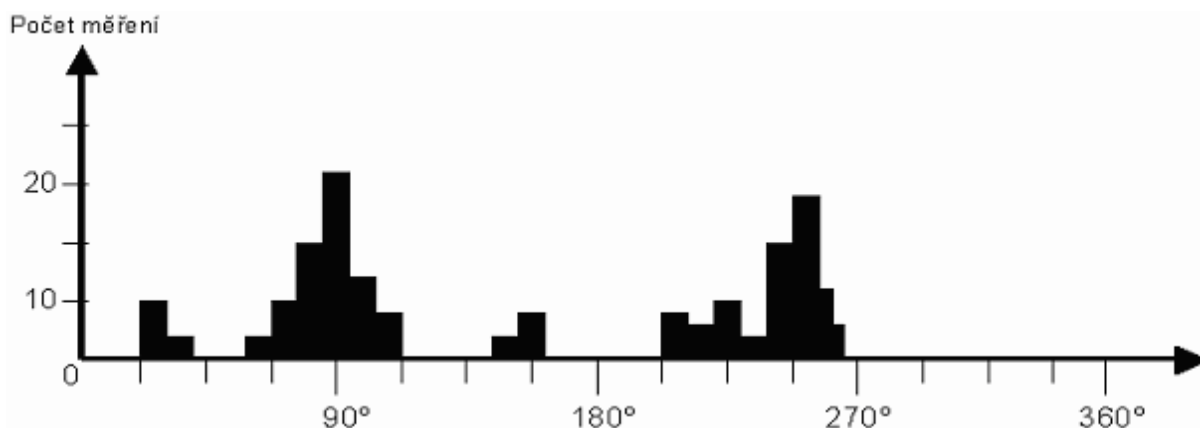
3.4.2 Tektonogramy

Při geologickém mapování, dokumentaci geologických lokalit, analýze strukturně tektonických poměrů v daném území apod. získáme velké množství údajů např. směr sklonu a sklon z kompasového měření vrstevních ploch ~ puklin, zlomů apod. Při větším množství těchto dat snadno ztrácíme přehled o tom, který ze zjištěných směrů se vyskytuje nejčastěji, zda jsou v souboru statisticky významné systémy charakteristické pro zkoumanou lokalitu, nebo zda tyto systémy a směry přednostní orientace vůbec existují. Proto je při zpracování souboru dat prostorové orientace strukturních prvků výhodné vyjádřit celý soubor graficky formou různých diagramů, na nichž je pak okamžitě vidět, zda se objevuje zvýšená četnost výskytu daného prvku v nějakém přednostním směru. Tak jako v každém statistickém vyhodnocení je potřeba mít k dispozici dostatečně velký soubor dat. Ve všeobecné a strukturní geologii se nejčastěji používají tyto základní druhy diagramů:

- sloupcové diagramy
- růžicové diagramy
- průsečnicové diagramy
- bodové diagramy
- konturové diagramy.

Sloupcové diagramy

Sloupcové diagramy se zpracovávají v pravoúhlé souřadnicové síti, kdy se hodnoty znaku (směr sklonu roviny, směr roviny pod.) vynášejí intervalově na vodorovnou osu a četnosti znaků na osu svislou (obr. 3.4.6). Tento způsob zobrazení je pro svoji jednoduchost velice používán, jeho nevýhodou je však to, že zobrazuje jen jeden znak.



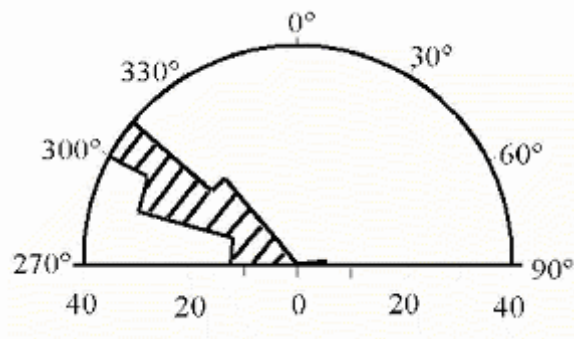
Obr. 3.4.6 Sloupcový diagram

Růžicové diagramy

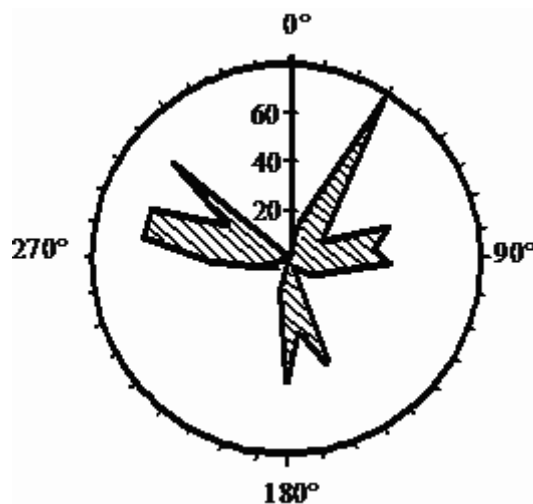
Výukové podklady

Růžicové diagramy zobrazují statistické vyhodnocení směrového rozložení četnosti výskytu geologického prvku v polárních souřadnicích.

Růžicové diagramy se zpracovávají buď ve formě úhlových histogramů (obr. 3.4.7) či ve formě úhlových polygonů (obr. 3.4.8). Princip tohoto zobrazení je stejný jako u sloupcových diagramů až na souřadnicový systém zobrazení.



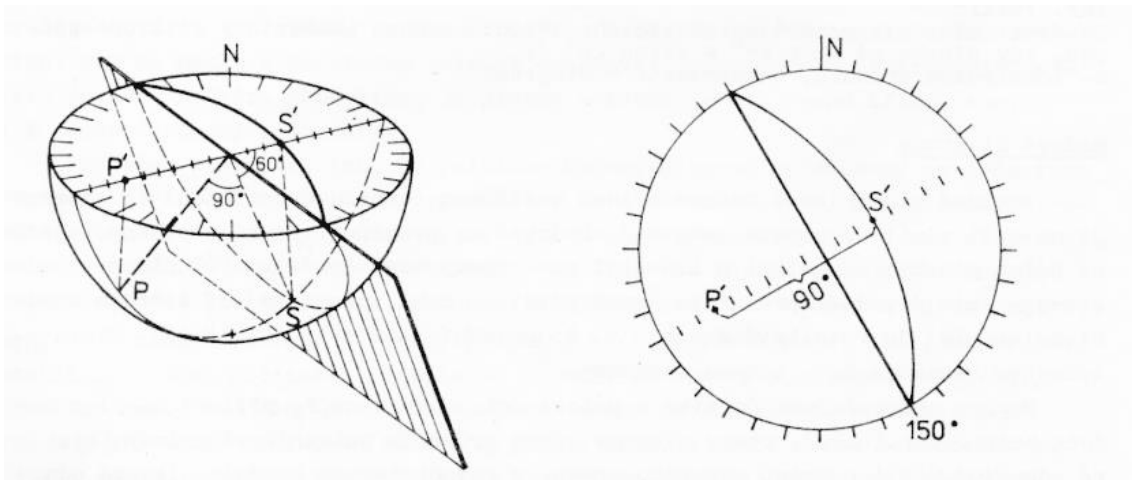
Obr. 3.4.7 Úhlový histogram



Obr. 3.4.8 Úhlový polygon

Průsečnicové diagramy

Při vynášení geologických prvků do sloupcových nebo růžicových diagramů ztrácíme vždy jeden údaj o vynášené ploše nebo prvku. Tento nedostatek odstraňuje vynášení geologických prvků do kruhových diagramů zhotovovaných pomocí projekčních sítí, kde vynášíme směr i sklon měřených prvků. Nejčastěji se k tomuto účelu používají plochojevné Lambertovy sítě. Jsou sestrojeny jako projekce poledníkových a rovnoběžníkových souřadnic, promítnutých na tečnou průmětnu umístěnou na pólu spodní polokoule. Sítě jsou buď v poloze meridionální (pohled na kouli jako na nárysnu), nebo pólové - ekvatoriální (pohled na kouli jako na půdorysnu). Rovinné plochy dané směrem a sklonem se zobrazují pomocí velkých (poledníkových) oblouků meridionální sítě, kde oblouk představuje průsečnici roviny s povrchem spodní polokoule (obr. 3.4.9). Čím blíže je rovina v poloze vertikální, tím plošším obloukem se v tektonogramu zobrazuje. Vznikají tak tzv. průsečnicové diagramy.

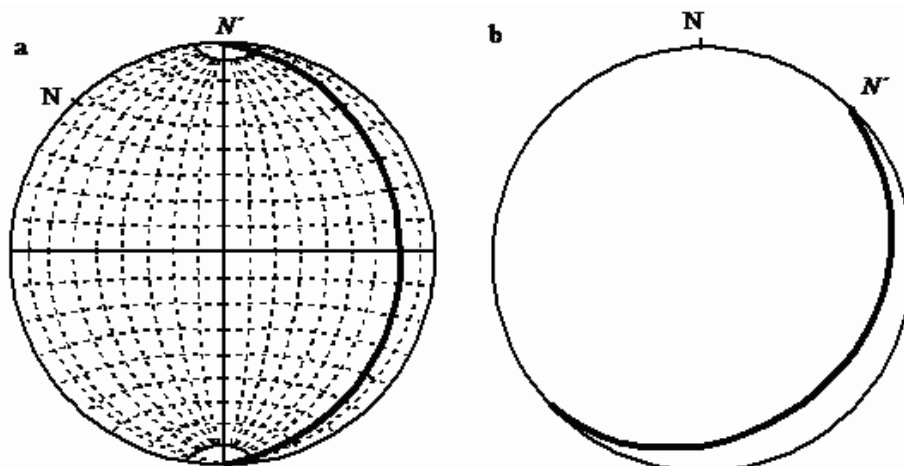


Obr. 3.4.9 Poloha plochy, její spádnice a pólu ve spodní polokouli a v diagramu

- S - průsečík spádové přímky roviny s projekční polokoulí,
- S' - průmět S do ekvatoriální roviny,
- P - průsečík normály k rovině s projekční polokoulí (pól plochy),
- P' - průmět P do ekvatoriální roviny

Postup sestavení průsečnicového diagramu je následující (obr. 3.4.10):

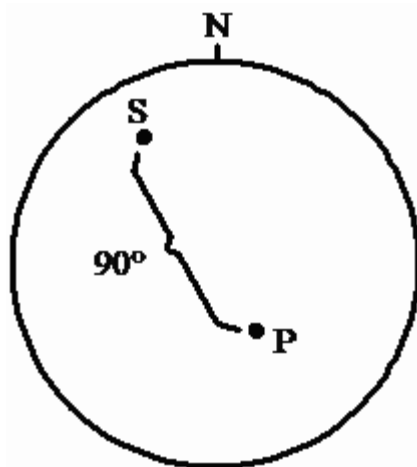
- na síť s vyznačenými hemisferami položíme průsvitku a označíme na ní sever
- na průsvitku zakreslíme kružnici shodnou s obrysovou kružnicí sítě
- na průsvitce najdeme podle rovnoběžníkového dělení sítě bod, který odpovídá úhlu směru plochy
- otočíme průsvitku kolem středu sítě tak, aby naznačený bod byl na severním pólu sítě
- na rovník nanese úhel sklonu a to na stranu, na níž plocha skutečně zapadá (vzhledem k severnímu pólu průsvitky)
- takto získaným bodem vykreslíme poledníkový oblouk (průmět měřené plochy)
- otočíme průsvitku zpět do normální polohy a získáme zobrazení dané plochy v tektonogramu.



Obr. 3.4.10 Zobrazení plochy pomocí Lambertovy sítě (plocha má sklon 20°JV a směrem 45°)
a) konstrukce oblouku b) průsečnicový diagram

Bodové diagramy

Rovinné plochy nespojitosti určené směrem sklonu a sklonem se zakreslují do sítě v pólové poloze jako bod, který je určen průsečíkem poledníkové přímky s rovnoběžkovou kružnicí. U každého diagramu je nutné označit, jakým způsobem jsou roviny zobrazeny (směrem roviny, spádovou přímkou či pólem roviny).



Obr. 3.4.11 Bodový diagram plochy se směrem 60° k SV a se sklonem 30° k SZ

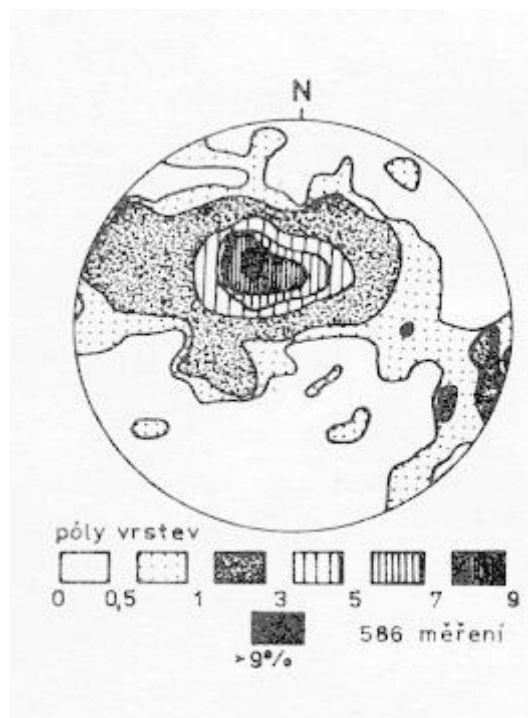
Popis vytvoření bodového diagramu:

Rovinu zakreslujeme do sítě v pólové poloze v podobě bodu (obr. 3.4.11), který získáme jako průsečík poledníkové přímky (která odpovídá údaji o směru měřeného prvku) s rovnoběžkovou kružnicí (která odpovídá údaji o sklonu). Rovnoběžkové kružnice většinou bývají vyznačeny v intervalech po 10°, přičemž obvodová kružnice představuje velikost sklonu 0° a střed sítě 90°. U každého diagramu je pak třeba výrazně označit, jakým způsobem jsou roviny zobrazeny (směrem roviny, spádovou přímkou nebo pólem roviny). Při zpracování většího souboru prvků bývá již na první pohled patrné shlukování bodů do určitých center nebo do pásů. Pro ještě větší názornost se ale většinou bodové diagramy převádějí do diagramů konturových.

Konturové diagramy

Konturové diagramy (obr. 3.4.12) jsou nejčastěji používanými diagramy vůbec. Jsou odvozeny z primárních bodových diagramů pomocí izolinií sestrojených na základě statistického výpočtu plošné hustoty bodů. Uvnitř každého pole omezeného izoliniemi je průměrná plošná hustota stejně velká. Předností konturových diagramů je to, že je na nich dobře patrné rozmístění a hustota zkoumaných dat. Každý konturový diagram musí mít tyto základní prvky:

- legendu vysvětlující jednotlivé použité šrafy
- lokalizaci a popis
- číselný údaj o počtu zpracovaných dat
- vyznačení směru severu (N)
- vyznačení, zda se jedná u plošných prvků o zobrazení pomocí spádových přímek nebo pomocí pólů.

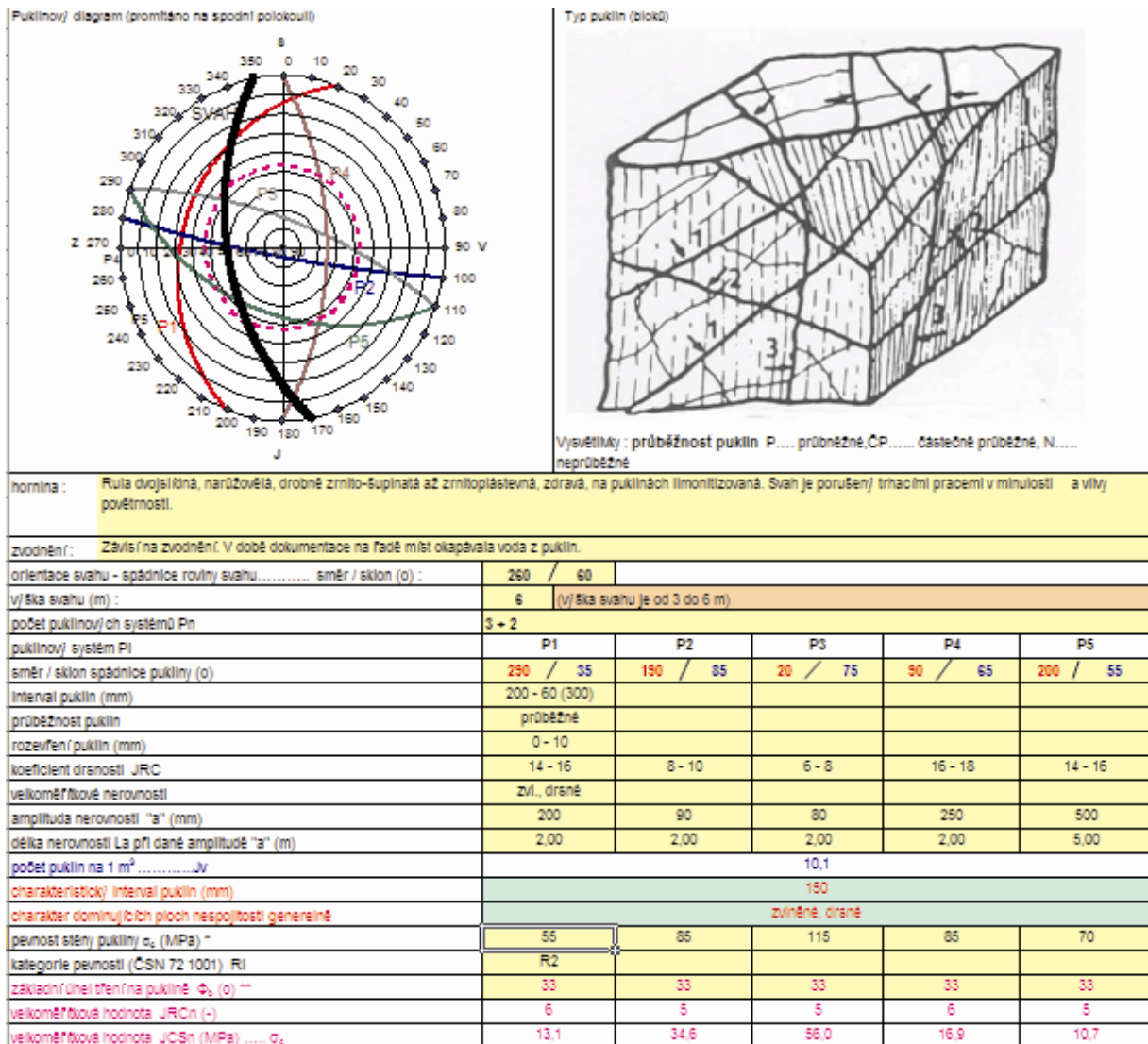


Obr. 3.4.12 Konturový diagram

3.4.3 Ukázka popisu horninového masivu

Na obr. 3.4.13 je znázorněn výřez z praktické dokumentace skalních svahů (výchozů, stěn) provedené firmou Geotec GS.

Výukové podklady



Obr. 3.4.13 Popis horninového masivu – výřez

4. POUŽITÁ LITERATURA

- IFCO Foundation Expertise, Manual IS-field unit (version 1.*), December 2001, Netherlands
- BAT – Groundwater Monitoring System: <http://www.bat-gms.com>
- Hánek, P. – Novák, Z.: Geodézie v podzemních prostorách 10. 2. přepracované vydání. Praha, ČVUT FSv 2004, 112 s., dotisk 2008.
- Zákon č. 44/1988 Sb. o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon), ve znění zákona ČNR č. 541/1991 Sb.
- Vyhláška Českého báňského úřadu č. 435/1992 Sb. o důlně měřické dokumentaci při hornické činnosti a některých činnostech prováděných hornickým způsobem ve znění vyhlášky ČBÚ č. 158/1997 Sb.
- Koska, B.: Možnosti rozšíření systému Profiler 4000 a jeho testování. Porovnání se systémem Dibit. Diplomová práce, ČVUT FSv 2002.
- Pouba Zd.: Geologické mapování, nakladatelství ČSAV, Praha 1959
- Chlupáč I. et al: Geologická minulost České republiky
- Morávek P.: Zlato v Českém masívu
- webový portál Centra experimentální geotechniky