

## AUTOŘI

Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – *kap. 5 a 6*  
Doc. Ing. Pavel Hánek, CSc. – *kap. 12*  
Ing. Bronislav Koska – *kap. 12*  
Ing. Danuše Nádherná – *kap. 2 a 3*  
Prof. Ing. Jaroslav Pacovský, CSc. – *kap. 4*  
Doc. Dr. Ing. Jan Pruška – *kap. 7, 8 a 9*  
RNDr. Jan Schröfel – *kap. 13 a 14*  
Ing. Jiří Svoboda, Ph.D. – *kap. 2 a 3*  
Ing. Radek Vašíček, Ph.D. – *kap. 2 a 3*  
Ing. Jan Záleský, CSc. – *kap. 10, 11*



Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem, státním rozpočtem České republiky a rozpočtem hlavního města Prahy

# OBSAH

## OBSAH

<b>AUTOŘI.....</b>	<b>1</b>
<b>1. HISTORIE, GEOLOGIE A POPIS ŠTOLY JOSEF .....</b>	<b>5</b>
1.1 HISTORIE ŠTOLY JOSEF .....	5
1.1.1 Štola Josef.....	5
1.1.2 Historie a hornická tradice .....	5
1.2 POPIS ŠTOLY JOSEF .....	8
1.3 GEOLOGIE V OKOLÍ ŠTOLY .....	9
<b>2. PROVOZNÍ ŘÁD PODZEMÍ .....</b>	<b>11</b>
2.1 PROVOZNÍ ŘÁD PODZEMÍ.....	12
2.1.1 Vstup do podzemí.....	12
2.1.2 Bezpečnostní prohlídky podzemí .....	13
2.1.3 Provozní dokumentace.....	14
2.1.4 Školení průvodců .....	14
2.1.5 Větrání a detekce ovzduší .....	15
2.1.6 Odvodnění .....	15
2.1.7 Požární ochrana .....	15
2.1.8 Osvětlení.....	15
2.1.9 Povinnosti návštěvníků v podzemí .....	16
2.1.10 Povinnosti průvodců.....	16
2.1.11 První pomoc .....	17
2.1.12 Plán vyznění.....	17
<b>3. BEZPEČNOST V PODZEMÍ.....</b>	<b>19</b>
3.1 BEZPEČNOST V PODZEMÍ – VÝŇATEK Z PROVOZNÍHO ŘÁDU PODZEMÍ A Z PROVOZNÍHO A ORGANIZAČNÍHO ŘÁDU UEF JOSEF .....	19
3.1.1 Povinnosti osob vstupujících do areálu a do podzemí UEF Josef.....	19
3.2 PROVOZNÍ KNIHY .....	20
3.2.1 List knihy příchodů a odchodů .....	20
3.2.2 List knihy přileb.....	20
3.2.3 Příloha ke knize „Příchodů a odchodů“ – Seznam osob.....	20
3.2.4 Příloha ke „Knize podzemí“ – Seznam osob.....	21
3.2.5 Příloha ke „Knize podzemí“ – Seznam osob a výpůjček .....	21
<b>4. PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ .....</b>	<b>22</b>
4.1 ÚVOD.....	22
4.2 EXPERIMENTÁLNÍ GEOTECHNIKA OBECNĚ .....	22
4.3 GEOTECHNICKÁ „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ .....	23
4.3.1 Základní přehled prováděných „in situ“ měření.....	23
4.3.2 Principy měřících zařízení.....	24
4.4 KONVERGENČNÍ MĚŘENÍ.....	25
4.4.1 Úvod.....	25
4.4.2 Využití konvergenčních měření při výstavbě objektů TOM .....	26
4.5 MĚŘENÍ KONTAKTNÍCH NAPĚTÍ.....	31
4.5.1 Úvod .....	31
4.5.2 Měřidla napětí .....	31
4.5.3 Měřicí ústředny.....	32
4.5.4 Příklad realizovaného projektu měření – Podzemní zásobník plynu Háje .....	32
4.6 ZÁSADY ÚSPĚŠNÉ REALIZACE GEOTECHNICKÝCH MĚŘENÍ „IN SITU“.....	42
<b>5. RAŽBA ŠTOL A TUNELŮ .....</b>	<b>46</b>
5.1 ZÁSADY CYKlickÉHO ZPŮSOBU RAŽBY .....	46
5.1.1 Rozpojování pomocí trhacích prací.....	46
<b>6. VÝZTUŽ ŠTOL A TUNELŮ.....</b>	<b>51</b>
6.1 ZÁKLADNÍ NÁZVOSLOVÍ .....	51
6.2 TYPY PROVIZORNÍ VÝZTUŽE .....	54

## OBSAH

6.2.1	Výdřeva štoly .....	54
6.2.2	Výdřeva tunelů .....	55
6.2.3	Ocelová výztuž .....	59
6.2.4	Svorníková výztuž .....	61
6.2.5	Sřítkaný beton .....	63
<b>7.</b>	<b>VYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN.....</b>	<b>66</b>
7.1	KLASIFIKACE PODLE RAŽNOSTI (ON 737508) .....	66
7.2	KLASIFIKACE PODLE PROTODJAKONOVA .....	66
7.3	KLASIFIKACE INDEXEM RQD .....	69
7.3.1	Praktický postup určení indexu RQD .....	69
7.4	KLASIFIKACE BIENIAWSKEHO (RMR) .....	70
7.4.1	Praktický postup určení indexu RMR .....	72
7.5	INDEX GSI .....	72
7.6	KLASIFIKACE INDEXEM Q .....	76
7.7	PRAKTICKÝ POSTUP URČENÍ INDEXU Q .....	85
7.8	POUŽITÍ KLASIFIKACÍ PRO URČENÍ DEFORMAČNÍCH CHARAKTERISTIK HORNIN .....	85
<b>8.</b>	<b>DISKONTINUITY.....</b>	<b>86</b>
8.1	ZAMĚŘENÍ PLOCH NESPOJITOSTI .....	87
8.1.1	Popis postupu zaměření .....	88
8.2	TEKTONOGRAMY .....	89
8.2.1	Sloupcové .....	89
8.2.2	Růžicové .....	90
8.2.3	Průsečnicové .....	91
8.2.4	Bodové .....	92
8.2.5	Konturové diagramy .....	93
8.3	POPIS DISKONTINUITNÍHO HORNINOVÉHO MASIVU .....	93
8.3.1	Praktické určení některých vlastností diskontinuit .....	94
8.4	UKÁZKA POPISU HORNINOVÉHO MASIVU .....	98
<b>9.</b>	<b>PRIMÁRNÍ NAPJATOST .....</b>	<b>100</b>
9.1	GRAVITAČNÍ NAPJATOST HORNINOVÉHO MASIVU .....	100
9.2	KRITICKÁ HLOUBKA .....	101
9.3	STANOVENÍ PŮVODNÍ NAPJATOSTI HORNINOVÉHO MASIVU MĚŘENÍM POMOCÍ TLAKOVÉ PODUŠKY 102	
<b>10.</b>	<b>MĚŘENÍ PÓROVÝCH NAPĚTÍ PIEZOMETREM BAT - ŠVÉDSKO.....</b>	<b>107</b>
10.1	POPIS ZAŘÍZENÍ .....	107
10.2	Hlavní komponenty piezometru BAT .....	108
10.3	PRINCIP MĚŘENÍ .....	108
10.4	FILTRY PRO SNÍMÁNÍ PÓROVÝCH NAPĚTÍ .....	108
10.5	SNÍMAČ PÓROVÉHO TLAKU .....	109
10.6	POLNÍ ČTECÍ JEDNOTKA – FIELD UNIT .....	110
10.7	MOŽNOSTI MĚŘENÍ .....	110
10.8	ZPRACOVÁNÍ A INTERPRETACE DAT .....	110
10.9	Hlavní přednosti piezometrů BAT .....	111
10.10	PODROBNÝ NÁVOD NA OBSLUHU POLNÍ ČTECÍ JEDNOTKY JE V PŘÍLOŽENÉM TEXTU:.....	111
<b>11.</b>	<b>POLNÍ ČTECÍ JEDNOTKA / IS FIELD UNIT .....</b>	<b>112</b>
11.1	POPIS ZAŘÍZENÍ .....	112
11.2	INSTALACE SOFTWARE .....	112
11.3	PROPOJENÍ ČTECÍ JEDNOTKY S POČÍTAČEM A SE SNÍMAČEM .....	112
11.4	IMPORTOVÁNÍ DAT DO POČÍTAČE .....	113
11.5	PRÁCE SE ČTECÍ JEDNOTKOU OBECNÉ INFORMACE .....	113
11.5.1	Stručný popis příkazů a jednotlivých nabídek čtecí jednotky .....	114
11.5.2	Nabídka IS Data Logger .....	114
11.5.3	Nabídka Field Unit .....	116
11.5.4	Nabídka Unit Sensor .....	116
11.6	ÚDRŽBA POLNÍ ČTECÍ JEDNOTKY .....	117

## OBSAH

11.7	MOŽNÉ PROBLÉMY PŘI MĚŘENÍ.....	117
11.8	VYBRANÉ ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE.....	118
<b>12.</b>	<b>GEODÉZIE V PODZEMNÍCH PROSTORÁCH .....</b>	<b>119</b>
12.1	ÚVOD.....	119
12.2	DRUHY ČINNOSTÍ A PRÁVNÍ PODKLADY .....	119
12.3	DŮLNÍ DOKUMENTACE A MAPY.....	120
12.4	DŮLNÍ BODOVÁ POLE.....	120
12.5	MĚŘICKÉ PRÁCE V HLUBINNÝCH DOLECH.....	121
12.5.1	<i>Měření polygonového pořadu.....</i>	<i>122</i>
12.5.2	<i>Přesný prorážkový polygonový pořad ve štole Josef.....</i>	<i>125</i>
12.6	DOKUMENTACE SKUTEČNÉHO STAVU LINIOVÝCH PODZEMNÍCH DĚL.....	128
12.6.1	<i>Možná využití.....</i>	<i>128</i>
12.7	ZAMĚŘENÍ SKUTEČNÉHO STAVU ČÁSTI STOLY JOSEF A JEHO SROVNÁNÍ S PROJEKTEM.....	129
12.7.1	<i>Zadání.....</i>	<i>129</i>
12.7.2	<i>Postup měření.....</i>	<i>129</i>
12.7.3	<i>Podrobný postup zpracování.....</i>	<i>130</i>
<b>13.</b>	<b>GEOLOGICKÉ MAPY.....</b>	<b>138</b>
13.1	GEOLOGICKÉ DŮLNÍ MAPY.....	141
13.1.1	<i>Komplexní důlní geologické mapy.....</i>	<i>141</i>
<b>14.</b>	<b>GEOLOGICKÁ STAVBA ÚZEMÍ ŠTOLY JOSEF (LOŽISKA ČELINA, MOKRSKO).....</b>	<b>145</b>
14.1	GEOLOGICKÁ STAVBA ŠIRŠÍHO OKOLÍ.....	146
14.2	REVÍR PSÍ HORY (HORNINY).....	148
14.3	LOŽISKO ČELINA.....	148
14.4	LOŽISKO MOKRSKO.....	149
14.5	LOŽISKO PROSTŘEDNÍ LHOTA.....	149
<b>15.</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA.....</b>	<b>151</b>

## 1. HISTORIE, GEOLOGIE A POPIS ŠTOLY JOSEF

### 1.1 Historie štoly Josef

#### 1.1.1 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 prvních 600 m podzemí. Rekonstrukce a výstavba celého areálu však bude pokračovat i nadále.

#### 1.1.2 Historie a hornická tradice

Štola Josef byla vyražena v 80. letech 20. stol. jako součást průzkumu tradiční zlatonosné oblasti, známé již ve středověku pod názvem Psí hory (někde se lze setkat i s označením Lodické hory podle tehdy existujícího dolu Lodice). Rudní revír Psí hory se rozprostírá přibližně 7 km jihovýchodně od městečka Nový Knín, jež v minulých dobách patřilo k významným báňským centrům Českého království.

Kromě Psích hor se zlato v okolí Nového Knína v minulosti dobývalo ještě v dalších třech revírech: v revíru novoknínském (oblast mezi Novým Knínem, Krámy a Malou Lečicí), kozohorském (rozprostírajícím se mezi obcemi Kozí Hory a Borotice jz. od Nového Knína) a libčickém (ležícím j. od Nového Knína mezi Libčicemi a Dražeticemi). Nejdůležitější ze všech zmíněných revírů byl revír libčický, kde se zlato těžilo s přestávkami od středověku až do první poloviny 20. století.

Oblast Psích hor je jako jediná z historických zlatonosných oblastí Novoknínska situovaná v horninách tzv. Jílovského pásma (viz kap. 1.3), pojmenovaného podle města Jílové u Prahy. Právě zlato dobývané v okolí Jílového sehrálo významnou úlohu zejména ve středověké historii naší země – sloužilo mj. jako hlavní surovina pro ražbu lucemburských dukátů (florénů), které zavedl r. 1325 jako první panovník ve střední Evropě Jan Lucemburský. Těžba u Jílového probíhala v různé intenzitě i v pozdějších obdobích. K jejímu zřejmě definitivnímu ukončení došlo až v r. 1968.

## 1.1.2.1 Počátky dobývání zlata

Písemných záznamů o historii dobývání zlata na Psích horách existuje velmi málo. Na mnoha místech revíru se ale dochovaly pozůstatky starých hornických prací, z nichž některé jsou v terénu dodnes patrné na první pohled.



Obr. 1.1 Hornické práce

Těžba zlata na našem území zaznamenala první velký rozkvět již za dob Keltů, zejména ve 2. a 1. stol. př.n.l. Keltové naprostou většinu svého zlata získávali z rozsypů a rýžovišť. Vzhledem k prokázané existenci rýžovišť na Čelinském potoce i v náplavech Vltavy u Smilovic (dnes zatopených Slapskou přehradou) a také vzhledem k blízkosti bývalého významného keltského oppida Hrazany je pravděpodobné, že keltští zlatokopové působili i na Psích horách.

## 1.1.2.2 Hlavní rozkvět těžby ve 14. století

Po odchodu Keltů zůstala místní ložiska dlouho nevyužita. Hlavní rozvoj těžby zlata na Psích horách přinesl až středověk. S dolováním se začalo patrně na přelomu 13. a 14. století. Největšího rozmachu v celé své historii dosáhla těžba na Psích horách v průběhu 14. století. V té době bylo zlato dobýváno z křemenných žil na mnoha místech revíru (zejména však v okolí Čeliny) pomocí úklonných šachtic a štol. Podzemní díla dosahovala průměrné hloubky kolem 20 m, největší dosažená hloubka je 60 m pod povrchem. V blízkosti největší šachty pracovala i kovárna na výrobu hornického nářadí a na Čelinském potoce bylo v provozu několik mlýnů na drcení rudy.



Obr. 1.2 Mlýn na drcení rudy

Středověcí horníci používali při své práci velice jednoduché vybavení. V dolech si svítili hliněnými kahánky naplněnými lojem. Rudu těžili železnými kladívky, tzv. *želízky* a čtverhrannými palicemi – tzv. *mlátky*. Želízko drželi havíři v levé ruce a přikládali ho k hornině. Do želízka tloukli mlátkem a tak vylamovali kusy zlatonosného křemene. Želízka se rychle opotřebovávala. Odhaduje se, že horník jich za jednu směnu spotřeboval více než dvacet.

Vytěžená ruda byla přepravována do rudních mlýnů, kde se drtila a mlela. Zlato se pak z rozemleté rudy oddělovalo amalgamací.

Období největšího rozkvětu těžby skončilo na přelomu 14. a 15. století. Příčinou úpadku byly rostoucí provozní náklady, vyčerpání přístupnějších partií zlatonosných křemenných žil, technické problémy při dolování ve větších hloubkách a také bouřlivá politická situace v zemi. Dobývání zlata tak bylo na několik desetiletí přerušeno.

### 1.1.2.3 *Obnova dolů*

K obnově dolů došlo na přelomu 15. a 16. století. Druhá etapa těžby zlata však trvala jen krátce a nebyla zdaleka tak významná. Podle dobových pramenů byly r. 1536 haldy největšího dolu Lodice „propůjčené k dodatečné těžbě zlata“. V horní knize novoknínského úřadu jsou o těchto haldách záznamy až do r. 1550. V zemských deskách z r. 1548 jsou zmíněny zlatorudní mlýny na Čelinském potoce, ovšem ze záznamu, pojednávajícím o jejich činnosti v minulém čase, vyplývá, že v té době se v nich už ruda nemlela. Těžba na Psích horách tedy zřejmě ustala po polovině 16. století.

Pozoruhodné je, že na rozdíl od jiných revírů v okolí Nového Knína, kde těžba a průzkumné práce probíhaly i v pozdějších obdobích, Psí hory od té doby zůstaly stranou veškerých hornických aktivit až do konce 20. století.

Většina pozůstatků po středověké hornické činnosti je soustředěna v okolí obce Čelina. Nejrozsáhlejší zbytky starých prací se nacházejí asi 1,5 km východně od obce Čelina v západní části Koňského vrchu. Křemenným žilám v okolí Mokrska, obsahujícím velmi jemnozrnné, a tudíž pouhým okem obtížně detekovatelné zlato, nebyla ve středověku věnována téměř žádná pozornost (výjimkou jsou stopy kutacích prací na vrchu Veselý).

K hlubšímu poznání hornické minulosti Psích hor přispěl v polovině 80. let minulého století i archeologický průzkum AV ČSSR, který vynesl na světlo mnoho hmotných stop po zaniklém dolování. Byly nalezeny mj. části mlýnských kamenů na drcení rudy, zbytky středověké kovárny, železné hornické nářadí či hliněné hornické kahany.

Bohužel není známo, kolik zlata bylo během obou hlavních období těžby na Psích horách získáno. Celkově však byly v celé novoknínské oblasti ve středověku vytěženy asi 4 tuny zlata. (Pro srovnání – odhadovaná produkce jílovských dolů do 20. stol. činila podle geologa P. Morávky přibližně 10 t zlata a na území celého Českého masivu se v průběhu dějin celkově získalo odhadem okolo 100 t tohoto cenného kovu.)

### 1.1.2.4 *Geologický průzkum Psích hor ve 20. století*

Oblast Psích hor zůstala tedy nevyužita a nezkoumána od 16. století až do konce století dvacátého. V letech 1977-1980 proběhl rozsáhlý regionální revizní průzkum hornin Jílovského pásma, který odhalil možnou přítomnost významného zlatonosného zrudnění na území Psích hor. Následoval podrobný průzkum oblasti, jenž probíhal mezi lety 1980-1990.

Jeho součástí bylo geologické mapování, geofyzikální průzkum, podrobný geochemický průzkum půdního pokryvu, průzkum pomocí vrtů z povrchu až do hloubky 300 – 600 m a konečně báňský průzkum z nově ražené štoly Josef, kombinovaný s podzemními vrty.

O rozsáhlosti celého průzkumu svědčí i následující výčet provedených prací:

- provedeny 103 jádrové vrty z povrchu o celkové délce 23 378 m
- provedeno 127 podzemních jádrových vrtů o celkové délce 13 137 m
- vyražena štola Josef:
  - hlavní chodba vedená napříč všemi ložisky – délka 1835 m
  - postranní chodby na jednotlivých ložiskách – celková délka 6 018 m
  - 3 větrací komíny – celková délka 330 m
- odebráno a zanalyzováno 9 818 půdních vzorků a přes 25 000 vzorků z vrtů a z podzemí

Výsledkem průzkumu bylo zhodnocení zásob zlata na dosud známých ložiskách Čelina a Mokrsko-východ (v minulosti již těžených) a především objevení nového ložiska Mokrsko-západ, jehož využitelné zásoby byly odhadnuty na 75 t Au. Toto ložisko tak v současnosti patří mezi nejbohatší ložiska zlata v Evropě. Celkový potenciál všech ložisek revíru byl odhadnut na 130 t Au, což je více, než kolik se vytěžilo na celém území České republiky během celé historie dobývání zlata.

V rámci průzkumu probíhala v letech 1989-1991 i experimentální podzemní těžba ložiska Čelina. Bylo vytěženo celkem 19 500 t rudniny, která se zpracovávala na úpravně Rudních dolů v Příbrami. Získáno z ní bylo 21,5 kg zlata.

K průmyslovému využití revíru nebylo vzhledem k předpokládanému negativnímu vlivu případné těžby na životní prostředí nikdy přistoupeno. Hlavní zdroj zlata – ložisko Mokrsko-západ by se totiž muselo dobývat výhradně povrchovým způsobem, což by mělo výrazný dopad na ráz tamní krajiny a kvalitu přírody. V polovině 90. let sice projevil o lokalitu zájem zahraniční těžební společnosti, ale díky protestům místních obyvatel a různých ekologických organizací z plánů na těžbu sešlo.

### 1.2 Popis štoly Josef

Podzemní výukové středisko UEF 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) - podrobněji viz kap. 1.3.

Průzkumná štola prochází ssv. směrem napříč horninovým masivem Veselého vrchu. Celková délka páteřní štoly je 1836 m, příčný průřez má velikost 14 až 16 m<sup>2</sup>. Výška nadloží je 90 – 110 m. Ze vstupních portálů jsou souběžně vedeny dva tunely délky 80 m o průřezu 40 m<sup>2</sup>.

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.



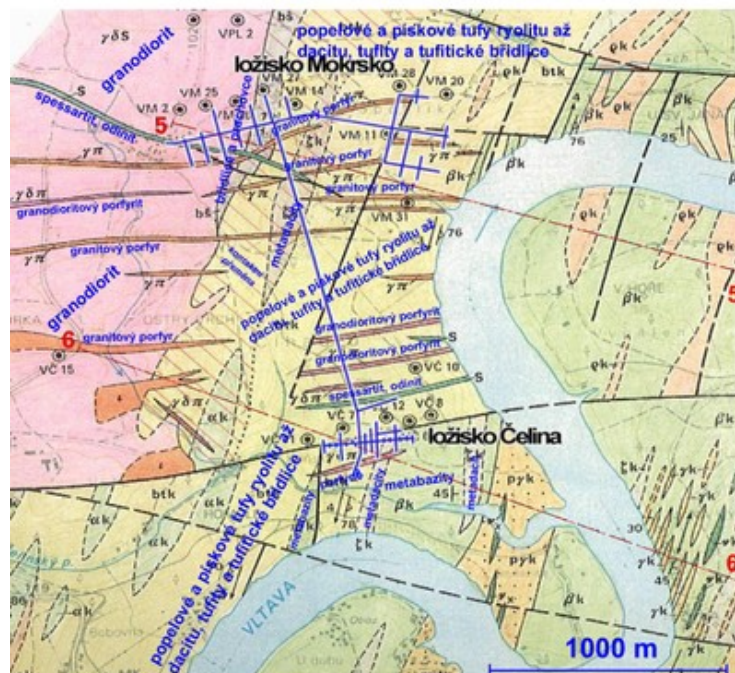
V současné době je zrekonstruováno prvních 600 m podzemních chodeb v západním čelinském pásmu (viz. Obr. 2.1). Do budoucna se plánuje zpřístupnění zbylých částí štoly a vybudování moderního povrchového zázemí (rekonstrukce stávající budovy pro administrativní servis, ubytovací kapacity, dílny a laboratoře).

## Technická data:

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

## 1.3 Geologie v okolí štoly

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. 1.3 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. PROVOZNÍ ŘÁD PODZEMÍ

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ v PRAZE**

**Podzemní výukové středisko Josef  
PROVOZNÍ ŘÁD PODZEMÍ**

zpracovaný dle požadavků vyhlášky ČBÚ č. 55/1996 Sb.

**Provozovatel:** České vysoké učení technické v Praze  
Stavební fakulta  
Centrum experimentální geotechniky  
Thákurova 7  
166 29 PRAHA 6

**Adresa pracoviště:** UEF Josef  
Smilovice, okres Příbram, Středočeský kraj

Závodní:	Ing. Jiří Bětík	..... podpis
Zodpovědná osoba provozovatele:	Prof. Ing. Jaroslav Pacovský, CSc.	..... podpis

# PROVOZNÍ ŘÁD PODZEMÍ

## 2.1 Provozní řád podzemí

Provozovatelem Podzemního výukového střediska 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 výukové středisko 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 Podzemního výukového střediska 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.

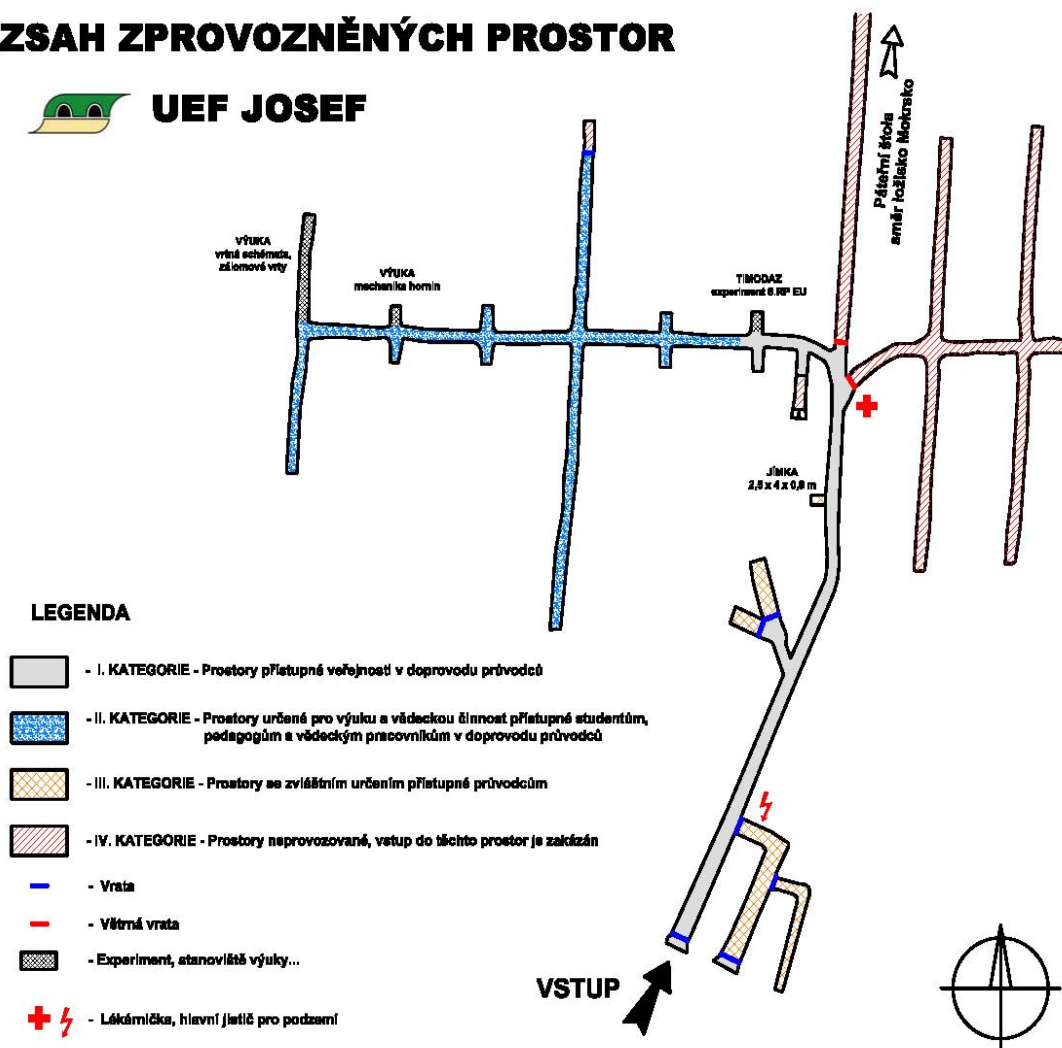
### 2.1.1 Vstup do podzemí

- a) Prostory Podzemního výukového střediska Josef, dále jen „podzemí“ jsou přístupné vstupním portálem páteří štoly.
- b) Vstup do podzemí je zabezpečen uzamykatelnou kovovou mříží, která umožňuje průchozí větrání a je označena zákazem vstupu nepovolaným osobám. Klíč od vstupu je uložen na určeném místě v provozní kanceláři a může být vydán pouze závodnímu, vedoucímu střediska a jeho zástupcům a pověřeným průvodcům.
- c) Vstup do podzemí je povolen pouze pověřeným pracovníkům výukové štoly - **proškoleným průvodcům**, ostatním pouze v jejich doprovodu a jen do určených prostor. Prostory podzemí jsou rozděleny do čtyř kategorií, jejich rozsah je uveden v mapové příloze.
  - I. Prostory přístupné veřejnosti v doprovodu průvodců.
  - II. Prostory určené pro výuku a vědeckou činnost přístupné v doprovodu průvodců.
  - III. Prostory se zvláštním určením přístupné průvodcům.
  - IV. Prostory neprovozované, vstup do těchto prostor je zakázán.Prostory se zákazem vstupu musí být vhodným způsobem označeny a zneprístupněny. Vstup do nich je možný jen na písemný příkaz, ve kterém závodní určí opatření k zajištění bezpečnosti vstupujících osob.
- d) Do podzemí se nesmí vstoupit a zdržovat se v něm bez nasazené ochranné přilby do podzemních prostor kategorie II. a III. je vstup povolen pouze s rozsvíceným osobním svítilkem, ve vhodné uzavřené obuvi a ochranném oděvu. Vhodnost obuvi a oděvu posoudí průvodce.
- e) Návštěvníci podzemí musí být před vstupem do něho seznámeni s částmi provozního řádu, které se jich týkají.
- f) Průvodci musí před vstupem do podzemí zjistit počet návštěvníků ve skupině, ověřit, zda se všichni návštěvníci zapsali do návštěvní knihy, a vydat všem návštěvníkům ochranné přilby, případně osobní svítilna. Po výstupu z podzemí musí provést početní kontrolu návštěvníků a vrácených přileb, případně svítilen. V případě, že je někdo pohřešován, neprodleně po něm musí být zahájeno pátrání. Pátrání zajišťuje průvodce. Není-li pohřešovaný nalezen do 10 minut od vyhlášení pátrání, povolá průvodce neprodleně výjezd HBZS a uvedomí závodního.
- g) Do počtu 20 návštěvníků může skupinu vést jeden průvodce. Při větším počtu návštěvníků musí být průvodci dva – jeden průvodce vede a druhý průvodce uzavírá skupinu.
- h) Průvodci musí být před započítáním výkonu funkce průvodce v podzemí prokazatelně seznámeni s tímto provozním řádem.

## ROZSAH ZPROVOZNĚNÝCH PROSTOR



UEF JOSEF



Obr. 2.1 Rozsah provozněných prostor UEF Josef

### 2.1.2 Bezpečnostní prohlídky podzemí

Prohlídky bezpečného stavu zpřístupněné trasy podzemí jsou prováděny ve třech stupních:

a) **Průběžné prohlídky** provádí průvodci zejména se zaměřením na:

- schůdnost a průchodnost určených cest
- větrání
- neporušenost ohrazení u míst se zákazem vstupu
- pořádek v podzemí

Případné závady hlásí vedoucímu střediska, v případě zjištění závad ohrožujících bezpečnost nebo zdraví návštěvníků musí být návštěvní provoz zastaven až do doby jejich odstranění.

## PROVOZNÍ ŘÁD PODZEMÍ

b) **Denní prohlídky** provádí pověřený průvodce zejména se zaměřením na stav:

- stability a neporušenosti výztuže důlních děl
- stability boků a stropů podzemních děl v místech bez výztuže
- schůdnosti a průchodnosti určených cest a její osvětlení
- stav ohrazení u míst se zákazem vstupu a v místech s nebezpečím pádu osob
- funkčnost přirozeného větrání
- detekce ovzduší, ověření koncentrace oxidu uhličitého
- funkčnost systému odvodňování
- požární bezpečnost
- vizuální kontrola elektroinstalace

Prohlídka v rozsahu denní prohlídky musí být provedena každý provozní den před vstupem první skupiny osob do podzemí. Výsledky prohlídek jsou zapisovány do knihy prohlídek. Závady ohrožující bezpečnost nebo zdraví návštěvníků musí být odstraněny před zahájením návštěvního provozu.

c) **Tříměsíční prohlídky** bezpečného stavu určených prostor provádí závodní se všeobecným zaměřením. Výsledky prohlídek jsou zapisovány do knihy prohlídek

### 2.1.3 Provozní dokumentace

- a) **Kniha prohlídek** – zaznamenává výsledky kontrol, předepsaných prohlídek, zjištěné závady a jejich odstranění, záznamy o provedených pracích při údržbě v podzemí, detekci ovzduší a odvodňování. Kniha se předkládá i pro záznamy dozorcích orgánů. Zápisy musí obsahovat datum, místo prohlídky, výsledek prohlídky (zjištění), podpis odpovědného pracovníka. V případě zjištěné závady musí být uveden termín jejího odstranění, osoba odpovídající za odstranění závady a případné přijetí náhradního opatření.
- b) **Kniha školení zaměstnanců** – zaznamenává zápisy o školení a přezkoušení průvodců pro vykonávané funkce. V zápise je uvedeno jméno průvodce, datum, téma školení, výsledek přezkoušení a podpisy průvodce a zkoušejícího.
- c) **Kniha evidence návštěv podzemí** – slouží k evidenci osob vstupujících do podzemí.
- d) **Kniha úrazů** – slouží k evidenci úrazů osob pohybujících se v podzemí.
- e) **Ostatní dokumentace** – dokumentace pro provádění speciálních prací při výuce a vědeckých experimentech bude zpracovávána dodatečně včetně technologických postupů.
- f) **Plán vyrozumění** – v dokumentaci jsou uvedeny předvídatelné druhy provozních nehod a havárií, způsoby jejich likvidace a dále seznam orgánů a organizací, které je třeba informovat, případně povolat na místo havárie. Dokumentace je uložena ve vstupu do správního objektu. Uvedenou dokumentaci a záznamy uchovává vedoucí střediska minimálně jeden rok. Pokud by došlo k hromadnému, těžkému nebo smrtelnému úrazu, uchovává se dokumentace nejméně pět let.

### 2.1.4 Školení průvodců

- a) Školení průvodců pro podzemí musí být provedeno před započatím práce a musí obsahovat mimo jiné tyto náplňové okruhy:
  - bezpečnost návštěvníků, používání ochranných pomůcek a osobních svítidel
  - první pomoc, umístění prostředků první pomoci
  - plán vyrozumění
  - umístění havarijního skladu, rozmístění hasebních prostředků, hlavní vypínač elektrické energie
  - znalost řešení základních krizových situací, které mohou v podzemí nastat

## PROVOZNÍ ŘÁD PODZEMÍ

- znalost kategorií zprovozněného podzemí a ústupu z podzemí.
- b) Školení musí být provedeno ve dvou částech:
- teoretická část
  - praktická část s projitím celé návštěvní trasy
- Zápis o školení průvodců musí být uveden v Knize školení zaměstnanců.

### 2.1.5 Větrání a detekce ovzduší

Podzemí je odvětráváno dle projektu, který zpracoval Ing. Petr Sobol v lednu 2007. Projekt větrání je uložen v provozním objektu. Veškeré odchylky od stanoveného projektu větrání jsou možné pouze s písemným souhlasem závodního.

- a) Ventilátor musí být spuštěn s předstihem min. 35 minut před vstupem osob do podzemí. V případě, že ventilátor nebude v provozu, mohou do podzemí vstoupit pouze určené osoby za účelem odstranění poruchy a zprovoznění ventilátoru.
- b) Ventilátor musí být v provozu po celou dobu přítomnosti osob v podzemí.
- c) V případě poruchy ventilátoru delší než 30 minut budou osoby z podzemí neprodleně odvolány.
- d) Kontrola a údržba ventilátoru bude provedena oprávněnou osobou 1x za rok, zápis o provedené kontrole bude uveden v knize kontrol.
- e) Po spuštění ventilátoru a uplynutí čekací doby 35 min. provede pověřený průvodce u vstupu do podzemí detekci ovzduší zaměřenou na zjištění koncentrace oxidu uhličitého. Maximální povolená koncentrace je 1 %, při překročení této hodnoty je vstup do podzemí zakázán. Naměřená hodnota kysličníku uhličitého musí být zaznamenána v **Knize prohlídek**.

Jedenkrát za půl roku bude v páteřní štole za vstupním portálem změřen objemový průtok a teplota větrů a odebrány vzorky ovzduší k provedení rozboru na kyslík, oxid uhelnatý a oxid uhličitý. Naměřené hodnoty budou zaznamenány v Knize prohlídek.

### 2.1.6 Odvodnění

Veškeré důlní vody jsou z podzemí odváděny pomocí drenážního potrubí uloženého v počvě páteřní štole. Funkčnost odvodňovacího systému bude kontrolována v rozsahu denních prohlídek.

### 2.1.7 Požární ochrana

- a) Podzemí je považováno za místo se zvýšeným požárním nebezpečím.
- b) Vstup do podzemí musí být označen výstražnou tabulkou s vyznačením zákazu kouření a zákazu použití otevřeného ohně. Použití otevřeného ohně je dovoleno jen se souhlasem závodního a jen na jeho písemný příkaz s uvedením příslušných opatření.
- c) Skladování jakýchkoliv hořlavých materiálů na požárně nebezpečných místech je zakázáno.
- d) Všechny odpady a obaly z prací prováděných v podzemí musí být po ukončení prací neprodleně vyneseny z požárně nebezpečných míst.
- e) Havarijní sklad s potřebnou prvotní výzbrojí je umístěn ve správním objektu.
- f) Vybavení havarijního skladu, počet a rozmístění ručních hasicích přístrojů a dalších hasebních prostředků je stanoveno v samostatně zpracovaném požárním řádu.

### 2.1.8 Osvětlení

- a) Podzemí je osvětleno systémem stacionárních elektrických svítidel, která musí být před vstupem do podzemí rozsvícena.

## PROVOZNÍ ŘÁD PODZEMÍ

- b) Vstup do podzemních prostor kategorie II. a III. je povolen pouze osobám s rozsvíceným osobním svítidlem. Jako osobní svítidla lze používat hlavová svítidla typu 316S nebo důlní osobní svítidla typového označení T 1004.02 a T 1002.09.
- c) Za stav osobního svítidla odpovídá osoba, které bylo vydáno, a to od jeho převzetí do odevzdání. Převzaté osobní svítidlo je každý povinen před vstupem do podzemí vyzkoušet a přesvědčit se, zda je funkční a není zjevně porušeno. Zjistí-li na osobním svítidle závady, které znemožňují jeho bezpečné používání, vymění je za náhradní. Poškozená nebo nevyhovující osobní svítidla se nesmí používat.
- d) Každý, kdo je vybaven osobním svítidlem, je musí mít v podzemí při sobě a rozsvícené.
- e) Ten, kdo převzal důlní osobní svítidlo, jej nesmí otvírat ani s ním jinak manipulovat.
- f) Důlní osobní svítidlo smí být vydáno jen čisté a uzavřené s akumulátorem nabitým na předepsanou kapacitu.
- g) Pro nabíjení a uložení důlních osobních svítidel je vyčleněna místnost, kde probíhá výdej, příjem a nabíjení akumulátorů. V místnosti platí zákaz kouření a používání otevřeného ohně při nabíjení.
- h) Údržbu, opravy a kontrolu důlních osobních svítidel včetně akumulátorů smí provádět jen určení zaměstnanci a to podle návodu a pokynů výrobce.

### 2.1.9 Povinnosti návštěvníků v podzemí

- a) Před vstupem do podzemí jsou všichni návštěvníci povinni zapsat se do knihy návštěv a absolvovat úvodní instruktáž, při které budou seznámeni se svými povinnostmi. Seznámení potvrdí podpisem do knihy návštěv. Při pobytu v podzemí jsou návštěvníci povinni řídit se pokyny průvodců.
- b) Vstup do podzemí je povolen pouze v doprovodu průvodce a jen po vyznačené návštěvní trase.
- c) Vstup do podzemí je povolen jen s nasazenou ochrannou přilbou, případně rozsvíceným osobním svítidlem.
- d) Po ukončení pobytu v podzemí jsou návštěvníci povinni vrátit zapůjčená osobní svítidla a přilby.
- e) Návštěvníci jsou povinni dodržovat maximální opatrnost. V případě náhlého zhoršení zdravotního stavu jsou návštěvníci povinni upozornit průvodce.
- f) Pod vlivem alkoholu nebo psychotropních látek je vstup do podzemí zakázán.
- g) V podzemí je zakázáno kouření a používání otevřeného plamene.

### 2.1.10 Povinnosti průvodců

- a) Před prvním vstupem do podzemí v daný provozní den průvodci spustí hlavní ventilátor a po uplynutí čekací doby 35 minut provedou denní prohlídku podzemí.
- b) Před vstupem do podzemí průvodci seznámí návštěvníky s provozním řádem v bodech, jež se jich týkají a zkontrolují, zda návštěvníci potvrdili seznámení svým podpisem v knize návštěv.
- c) Před vstupem do podzemí průvodci provedou kontrolu počtu návštěvníků a porovnají tento počet s počtem vydaných ochranných přileb, případně osobních svítidel. Dále zkontrolují, zda každý návštěvník je vybaven ochrannou přilbou, případně osobním svítidlem, vhodnou obuví a ochranným oděvem.
- d) Při procházení návštěvní trasou v podzemí průvodce volí takovou rychlost chůze, která odpovídá skladbě návštěvníků a jejich fyzické kondici.
- e) Každý průvodce v podzemí musí mít u sebe klíče od všech vstupů do podzemí mimo prostor se zákazem vstupu.
- f) Po ukončení prohlídky v podzemí musí být provedena početní kontrola návštěvníků ve výpravě a početní kontrola odevzdaných přileb, případně osobních svítidel.



## PROVOZNÍ ŘÁD PODZEMÍ

- g) Průvodci kontrolují dodržování zákazu kouření a vstupu s otevřeným ohněm.
- h) Průvodci kontrolují, zda návštěvníci v podzemí dodržují návštěvní trasu a nepoškozuji zařízení.
- i) Průvodci při pochůzkách v podzemí provádějí průběžnou prohlídku podzemních prostor se zaměřením zejména na:
- schůdnost a průchodnost prohlídkové trasy
  - neporušenost hrazení u míst se zákazem vstupu
  - pořádek na prohlídkové trase
  - stav větrání.
- j) V případě nehody, úrazu nebo havárie, které průvodce nemůže řešit sám, postupuje dle bodu 12. tohoto provozního řádu.

### 2.1.11 První pomoc

- a) Pouzdra první pomoci jsou umístěna ve vchodu do správního objektu a u vstupu do výukových prostor (prostory kategorie II.)
- b) Nosítka pro přepravu postižených jsou umístěna ve správním objektu.
- c) Všichni průvodci musí být proškoleni v zásadách poskytování první pomoci v případě úrazu.

### 2.1.12 Plán vyrozumění

- a) Předvídatelné druhy provozních nehod a havárií a způsoby jejich likvidace

Druh havárie	Okamžitá opatření	Následná opatření
<b>POŽÁR NA POVRCHU</b>	Okamžitá odvolání všech pracovníků z podzemí. Přivolání <b>hasičského záchranného sboru</b> .	Opatření na zamezení rozšíření požáru.
<b>POŽÁR V PODZEMÍ</b>	Okamžitá odvolání všech pracovníků z podzemí. Přivolání <b>HBZS Praha, hasičského sboru a lékařské záchranné služby</b> v případě ohrožení zdraví pracovníků. Po vyfárání všech pracovníků z podzemí vypnutí větrání a zdroj el. energie.	Přivolání HBZS Praha.
<b>ZÁVAL S UZAVŘENÍM OSOBY</b>	Zahájení vyprošťovacích prací. Přivolání <b>HBZS Praha</b> .	Ohlásit <b>OBÚ v Kladně</b> .
<b>ZÁVAL V ČELBE BEZ OHROŽENÍ OSOB</b>	Zajištění zákazu vstupu do ohroženého prostoru nepovolaným osobám.	V případě zmáhaní závalu více jak 24 hod. Ohlásit <b>OBÚ v Kladně</b> .
<b>PRŮNIK HOŘLAVÝCH PLYNŮ NEBO KAPALIN DO PODZEMÍ</b>	Odvolání všech pracovníků z podzemí. Vypnutí všech přívodů el. energie do podzemí. Přivolání <b>HBZS Praha a hasičského záchranného sboru</b> .	
<b>PORUCHA VĚTRÁNÍ (VÝPADEK EL. ENERGIE, VADNÝ VENTILÁTOR)</b>	Odvolání všech pracovníků z podzemí při poruše delší než 30 min. V případě poruchy ventilátoru povolat pověřeného pracovníka.	Po obnově větrání vyčkat 35 min a pak provést detekci ovzduší v rozsahu denní prohlídky.
<b>ÚRAZ V PODZEMÍ</b>	Poskytování první pomoci postiženému, v případě potřeby přivolání <b>zdravotní záchr. služby</b> , transport postiženého z podzemí.	V příp. těžkého, smrtelného či hromadného úrazu ohlásit <b>OBÚ v Kladně</b> .

- b) Způsob rychlého a spolehlivého vyrozumění ohrožených osob

- telefonicky
- poslem

## PROVOZNÍ ŘÁD PODZEMÍ

c) Seznam orgánů a organizací, které je třeba informovat, případně povolat na místo havárie.  
V případě každé mimořádné události je třeba informovat:

- závodního
- vedoucího střediska nebo jeho zástupce
- bezpečnostní dozor střediska

(Jmenné seznamy zodpovědných osob včetně kontaktních údajů a dalších důležitých telefonních čísel jsou k dispozici v provozní kanceláři UEF Josef.)

### 3. BEZPEČNOST V PODZEMÍ

#### 3.1 Bezpečnost v podzemí – Výňatek z provozního řádu podzemí a z provozního a organizačního řádu UEF Josef

##### **KAŽDÁ OSOBA VSTUPUJÍCÍ DO AREÁLU A DO PODZEMÍ UEF JOSEF JE POVINNA SE PROKAZATELNĚ SEZNÁMIT s TÍMTO VÝŇATKEM**

Prostory podzemí jsou rozděleny do čtyř kategorií:

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

##### 3.1.1 Povinnosti osob vstupujících do areálu a do podzemí UEF Josef

Bezprostředně po příchodu do areálu se musí každá osoba:

- a) **prokazatelně seznámit s „Provozním řádem podzemí“ a „Provozním a organizačním řádem“**, resp. s **tímto výňatkem**
- b) **zapsat do „Knihy příchodů a odchodů“**, která je uložena v přijímací kanceláři správního objektu. Podpis v „Knize příchodů a odchodů“ zároveň slouží jako potvrzení o seznámení se s „Provozním řádem podzemí“ a „Provozním a organizačním řádem“, resp. s tímto výňatkem.
  - při odchodu z areálu musí každá osoba potvrdit odchod v „Knize příchodů a odchodů“
  - vstup osob do podzemí je povolen pouze na pokyn průvodce a v jeho doprovodu po vyznačené návštěvní trase
  - vstup do podzemních prostor kategorie I je povolen pouze s nasazenou ochrannou **přilbou**
  - vstup do podzemních prostor kategorie II a III je povolen pouze s **nasazenou ochrannou přilbou a rozsvíceným osobním svítlkem**, ve vhodné uzavřené obuvi a vhodném oděvu (vhodnost posoudí průvodce).
  - osobám vstupujícím do podzemí průvodce vydá ochrannou přilbu, příp. osobní svítlko a vydání potvrdí do „Knihy evidence vydaných ochranných přileb a svítlků“
  - se zapůjčenými ochrannými přilbami, příp. osobními svítlky nesmí nikdo manipulovat, jakékoli závady neprodleně nahlásí průvodci
  - po ukončení pobytu v podzemí všechny **osoby vrátí průvodci zapůjčené ochranné přilby, příp. osobní svítlky a vrácení potvrdí průvodce do „Knihy evidence vydaných ochranných přileb a svítlků“**
  - všechny osoby se musí chovat tak, aby nezpříčinily vznik úrazu nebo jiné závažné bezpečnostní situace, jsou povinny **řídít se pokyny průvodců** a dodržovat maximální opatrnost
  - provozovatel nepřebírá zodpovědnost za zdravotní způsobilost osob vstupujících do podzemí, v případě náhlého zhoršení zdravotního stavu jsou povinny upozornit průvodce
  - **je zakázán vstup osobám pod vlivem alkoholu nebo jiných omamných látek**
  - **v celém areálu je zakázáno kouření a používání otevřeného ohně**

### 3.2 Provozní knihy

#### 3.2.1 List knihy příchodů a odchodů

datum	jméno a příjmení	čas příchodu	čas odchodu	podpis	doprovázející průvodce	příloha ano-ne
date	name and surname	arrival time	departure time	signature	accompanying guide	appendix Yes - No

#### 3.2.2 List knihy přileb

datum	jméno	ochraná přilba vydání / vrácení	osobní svítilno vydání / vrácení	čas odchodu	čas příchodu	podpis vydání / vrácení	vydávající průvodce	příloha ano-ne
date	name and surname	hard hat lent / returned	mining light lent / returned	departure time	arrival time	signature lent / returned	responsible guide	appendix Yes - No

#### 3.2.3 Příloha ke knize „Příchodů a odchodů“ – Seznam osob

#### PŘÍLOHA KE "KNIZE ODCHODŮ A PŘÍCHODŮ" - SEZNAM OSOB

katedra:            jméno průvodce:

datum:            čas odchodu:            čas příchodu:

jméno a příjmení	podpis
name and surname	signature

## BEZPEČNOST v PODZEMÍ

### 3.2.4 Příloha ke „Knize podzemí“ – Seznam osob

#### PŘÍLOHA KE "KNIZE PODZEMÍ" - SEZNAM OSOB

katedra:                      jméno průvodce:

datum:                      čas odchodu:                      čas příchodu:

jméno	ochraná přilba	osobní svítilno	podpis vydání / vrácení
	vydání / vrácení	vydání / vrácení	
name and surname	hard hat	mining light	signature
	lent / returned	lent / returned	lent / returned

### 3.2.5 Příloha ke „Knize podzemí“ – Seznam osob a výpůjček

#### PŘÍLOHA KE "KNIZE PODZEMÍ" - Seznam osob a výpůjček Register of borrowed equipment - Appendix

akce, katedra:  
(event, department)

jméno průvodce:  
(responsible guide)

datum:  
(date)

čas příchodu:  
(arrival time)

čas odchodu:  
(departure time)

	příjmení (surname)	jméno (name)	ochraná přilba	osobní svítilno	podpis vydání / vrácení
			vydání / vrácení	vydání / vrácení	
			hard hat	mining light	signature
			lent / returned	lent / returned	lent / returned
1					
2					
3					
4					

## 4. PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

### 4.1 Úvod

Geotechnika má oproti ostatním oborům stavebního inženýrství výrazná specifika. Žádný z oborů stavebního inženýrství nepracuje s tak složitým stavebním prostředím. Statický návrh jakékoliv nadzemní konstrukce (ať z betonu, oceli, dřeva či z jiného konstrukčního materiálu) pracuje s materiálem téměř homogenním, izotropním. Zatížení nadzemní konstrukce je poměrně snadno stanovitelné, konstrukce jsou zatíženy stálým, nahodilým či jiným, ale téměř vždy přesně definovatelným, zatížením.

Při určitém zjednodušení „teritorium geotechniky“ začíná na povrchu země (terénu). Jakmile je i ta konstrukčně nejjednodušší stavba umístěna do zeminového či horninového prostředí, její zatížení, a tím i chování, se v nehomogenním, anizotropním prostředí stává obtížně (matematicky) definovatelným.

Geotechnické konstrukce (podzemní i základové) jsou situovány do prostředí, jež se neustále vyvíjí (mění). Na vytváření současné podoby prostředí se podílela a podílí řada obecně známých faktorů, dějů, s více či méně významným vlivem. Výsledkem je prostředí, jehož chování nelze bez výrazných zjednodušení matematicky či jinak popsat. To je hlavní důvod, proč musí v geotechnice existovat úzké propojení mezi teorií a experimentem. Podíl experimentů, experimentálních měření, laboratorních zkoušek, „in situ“ zkoušek, „in situ“ měření a fyzikálního modelování je výrazně vyšší než u ostatních stavebních oborů. Přestože provádění experimentů a měření je časově, odborně a finančně náročné, je třeba si uvědomit, že geotechnika bez experimentů je geotechnikou handicapovanou. V souladu s předešlými tvrzeními se u nás i v zahraničí klade důraz na *monitoring a observační měření v geotechnice* jako součásti experimentální geotechniky.

Vybudování Podzemního výukového střediska Josef podporuje rozvoj experimentální geotechniky a umožňuje Stavební fakultě ČVUT rozšířit praktickou přípravu a trénink studentů v mnoha oblastech stavebního inženýrství.

### 4.2 Experimentální geotechnika obecně

Experimentální část geotechniky v sobě zahrnuje:

- laboratorní zkoušky, měření a experimenty
- „in situ“ zkoušky, měření a experimenty
- fyzikální modelování geotechnických problémů

Laboratorní zkoušky, měření a experimenty zkoumají vyjmutou část geotechnického prostředí, zbavenou původní napjatosti, neovlivněnou nebo méně ovlivněnou stavem prostředí (plochami nespojitosti, vlivem působení podzemní vody apod.). „In situ“ zkoušky, měření a experimenty nejlépe vystihují chování, vlastnosti reálného prostředí. Jejich realizace je personálně, přístrojově a finančně velmi náročná.

„In situ“ zkoušky prováděné v mechanice hornin i zemin by měly poskytnout informace, které zohledňují vlivy působící na geotechnické prostředí a které jsou nepostihnutelné při zkouškách vzorků horniny či zeminy. Jedná se například o „in situ“ zkoušky pevnosti v tlaku, stříhu, smyku, tahu, zkoušky únosnosti deskou apod.

„In situ“ měření a experimenty mohou být částečně nahrazeny fyzikálním modelováním nebo laboratorními experimenty, avšak za předpokladu menšího či většího zjednodušení problému. Fyzikální modely, kterých se běžně užívá při vyšetřování vlastností různých fyzikálních soustav, jsou dvojího druhu. *Modely prvního druhu* se od skutečných, tj. vyšetřovaných soustav, neliší ani fyzikální strukturou, ani typem fyzikálních procesů. Nejčastěji se jedná o modely z ekvivalentních materiálů, zkoumané na základě teorie

podobnosti. *Modely druhého druhu* se od vyšetřovaných soustav obecně liší jak fyzikální podstatou, tak i měřítkem. Princip spočívá v tom, že některé procesy probíhající v různých fyzikálních oblastech mají stejné matematické vyjádření (elektroanalogie, fotoelasticimetrie).

Geotechnické „in situ” měření a „in situ“ experimenty se prolínají. Během experimentu, který má ve skutečném (reálném) prostředí například ověřit únosnost podzemní konstrukce, je prováděna celá řada měření (zatížení, deformací). Podzemní výukové středisko Josef umožňuje praktické seznámení se s těmito měřeními a experimenty.

### 4.3 Geotechnická „in situ“ měření v podzemním stavitelství

Geotechnická „in situ” měření jsou všeobecně považována za rozhodující prvek při snaze pochopit chování geotechnického prostředí. Pro konkrétní stavební dílo je z těchto měření vytvořen užší výběr, který představuje tzv. *observační měření*. Nejrozšířenějším a nejdůležitějším observačním měřením prováděným hlavně během výstavby podzemních staveb moderními tunelářskými technologiemi je měření deformace. Jedná se o tzv. *konvergenční měření*, které se provádí dvěma způsoby – geodeticky (totální stanicí), nebo klasickým konvergenčním pásmem.

Z hlediska časového průběhu stavby lze geotechnická „in situ” měření rozdělit na měření realizovaná:

- před zahájením (prováděním) stavby
- v průběhu výstavby
- po dokončení stavby

Měření provedená *před zahájením stavby* jsou určena k získání výchozích údajů o horninovém či zeminovém prostředí, jeho struktuře a stavu napjatosti. Bývají součástí inženýrsko - geologického průzkumu místa stavby. Jsou ale též přípravou („nulovým čtením”) pro měření prováděná během výstavby díla. Např. monitorování vlivu přibližování se výrubu k měřenému místu na změny napjatosti a deformace geotechnického prostředí lze provést pouze v případě, že jsou měřidla instalována před zahájením výlomových prací.

Měření prováděná *během výstavby* jsou nejčastější, a též nejdůležitější. Tato měření tvoří rozhodující část observačních měření.

Účelem měření prováděných *po dokončení stavby* bývá monitorování bezpečnosti díla v průběhu jeho využívání. Tato měření nejsou častá, jsou prováděna pouze u vysoce speciálních podzemních konstrukcí a konstrukcí vystavených extrémním podmínkám (tunely v seizmických oblastech, podzemní zásobníky nebezpečných látek apod.).

Většinu známých způsobů měření lze využívat ve všech třech popisovaných časových úsecích. Měření mohou přecházet z jednoho časového úseku do druhého - mohou pokračovat, navazovat. Obecně však lze říci, že převládají měření deformace a napětí (napjatosti).

#### 4.3.1 Základní přehled prováděných „in situ“ měření

V základním přehledu lze uvést měření těchto veličin:

- původní napjatost geotechnického prostředí
- změny napjatosti a deformace geotechnického prostředí (v okolí výrubu) vyvolaných stavební činností (postupem výlomových prací)
- napětí a deformace na kontaktu mezi geotechnickým prostředím a konstrukcí
- napětí a deformace v ostění (z betonu, stříkaného betonu, drátkobetonu, prefabrikovaných dílců, litinových dílců apod.)
- osově síly v dočasně i trvalé výstroji

## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

- relativní deformace výrubu i ostění (provizorního i definitivního) - konvergenční metoda
- geodetické měření absolutní deformace výrubu i ostění (provizorního i definitivního)
- výškové změny podzemní stavby velmi přesnou nivelací
- nivelace povrchu terénu
- osově síly, napětí (předpětí) či únosnosti v kotvách a svornících
- samostatnou skupinu tvoří inženýrsko - geologické sledování stavby a geofyzikální měření.

### 4.3.2 Principy měřících zařízení

Měřidla použitá pro geotechnická měření „in situ“ lze konstrukčně rozdělit do dvou základních skupin:

- 1) *mechanická měřidla*
- 2) *elektrická měřidla*

Do skupiny mechanických měřidel patří především konvergenční pásmo používané na měření relativních změn deformací výrubu a ostění. Dále sem patří tyčový extenzometr a různé typy mechanických deformometrů.

Do skupiny měřidel založených na elektrickém principu patří:

*a) měřidla založená na principu polovodičových (křemíkových) tenzometrů*

Sem patří především měřidla napětí, u kterých se tlak kapalinového media převádí pomocí polovodičových tenzometrů na elektrický signál. Typickým představitelem této skupiny jsou hydraulické tlakové buňky.

*b) měřidla založená na principu odporových drátkových tenzometrů*

Jedná se např. o měřící svorníky a některé typy extenzometrů.

*c) měřidla založená na principu strunové tenzometrie*

Využívají se např. k měření poměrné směrově orientované deformace ostění (příčné, podélné). Lze je využít při konstrukci většiny typů extenzometrů a měřidel napětí.

*d) měřidla založená na indukčním principu měření*

Na indukčním principu pracují hlavně velmi přesná měřidla posunu či deformace.

V poslední době dochází k velkému rozvoji měření pomocí laserového paprsku a měření s využitím optických vláken. Využití laseru je rozšířené hlavně při geodetických měřeních vzdáleností. s výhodou lze laserový dálkoměr využít pro konvergenční geotechnické měření, jeho nevýhodou je dosažitelná přesnost ( $\pm 2$  mm).

Mezi méně využívané principy měření patří princip magnetický, elektromagnetický a kapacitní.

Na základě dlouholetých zkušeností lze konstatovat, že v naprosté většině případů je třeba základní geotechnická měření doplňovat měřeními dalších parametrů, jako je např. teplota a vlhkost prostředí. Měřidla teploty lze konstruovat na jakémkoliv tenzometrickém principu, což umožňuje měření stejnou aparaturou jako měření základní veličiny (např. napětí). Daleko větším problémem je konstrukce měřidel vlhkosti horninového, zeminového či konstrukčního prostředí. Měření změn vlhkosti materiálu je značně komplikované, s problematickou přesností a spolehlivostí výsledků. Využívá se nejčastěji radiometrie (gamma/neutronový paprsek), elektromagnetický způsob (Time Domain Reflectometry Theory) a kapacitní princip. Poměrně snadné je měření vlhkosti vzduchu, tento údaj však není příliš využíván.



## 4.4 Konvergenční měření

### 4.4.1 Úvod

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 (viz výše).

Princip NRTM spočívá v tom, že primární (provizorní) ostění tunelu je dimenzováno tak, aby se při zatížení horninovým tlakem „řizeně“ 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 přenesne 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 jílů) 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.*

### 4.4.2 Využití konvergenčních měření při výstavbě objektů TOM

Objekty TOM jsou montované, prefabrikované, přesypávané konstrukce. Klasické konvergenční měření při výstavbě těchto objektů bylo u nás poprvé využito v r. 1995 při výstavbě TOM 2 v Nýřanech (objekt přes Vejprnický potok na přeložce silnice II/180 Zbůch – Nýřany). Během výstavby tohoto objektu bylo realizováno komplexní geotechnické měření, včetně zatěžovací zkoušky. Deformace vnitřního líce ostění byla zjišťována dvojím způsobem: konvergenčním měřením a pomocí strunových tenzometrů (prováděl Kloknerův ústav ČVUT).

Zásadním požadavkem při výstavbě přesypávaných objektů je zachovat volný průjezdný profil. Strunová tenzometrie vyžaduje propojení měřených bodů pomocí struny, a tím omezuje, či zcela znemožňuje prostupnost průjezdného profilu. Využití konvergenčního měření se pro tyto montované, přesypávané konstrukce ukázalo jako velice výhodné. Je rychlé, jednoduché a nikterak neomezuje probíhající práce. Proto se postupně stalo součástí technologie výstavby objektů TOM.

Přínos konvergenčního měření spočívá v informaci o charakteru a velikosti deformací, nikoliv však v řádu desetiny milimetru. Během přesypávání konstrukce dosahují deformace řádu milimetrů (1 – 30 mm). Pro geodetické měření jsou tyto hodnoty na hranici měřitelnosti (geodetické měření délek pomocí laserových dálkoměrů je realizovatelné s maximální přesností cca 2 mm, u konvergenčního měření lze dosáhnout přesnosti 0,3 mm).

#### 4.4.2.1 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.

U konstrukce TOM, jejíž tubus tvoří dva boční (opěrové) prefabrikáty a jeden klenbový prefabrikát, se základní měřící profil osazuje minimálně 7 měřícími body. Vrchol klenby (1), nad a pod oběma klouby (4) a nade dnem konstrukce (2).

Měřící 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. 4.1).

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 měřící 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.

Měřící 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.

## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

Otvor v měřicích trnech se v případě systému „kolík – díra“ osazuje ve směru podélné osy konstrukce.



Obr. 4.1 Měřicí bod

### 4.4.2.2 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. 4.2). Pásmem se však neměří, pásmo slouží pouze k propojení měřicího 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. 4.2 Konvergenční pásmo

### 4.4.2.3 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.

## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

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.

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

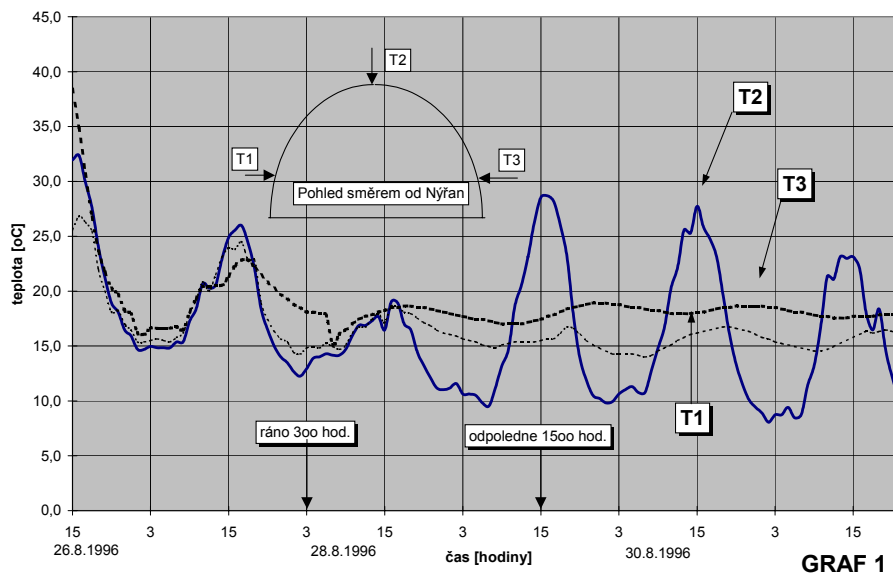
Je nutné si uvědomit, že změna teploty podobně působí délkové (i objemové) změny ostění (prefabrikátů), hlavně ve směru nejdelšího rozměru. Pro představu je prezentován grafický záznam měření teplotního zatížení konstrukce v Nýřanech, ze kterého vyplývá, že 24 hodinové změny teplotního zatížení konstrukce dosahovaly  $25^\circ\text{C}$  (viz. Obr. 4.3).

## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

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.



Obr. 4.3 Průběh teploty na kontaktu konstrukce TOM se zásypem

Problémem je provádění měření za větrného počasí. Pásma 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*

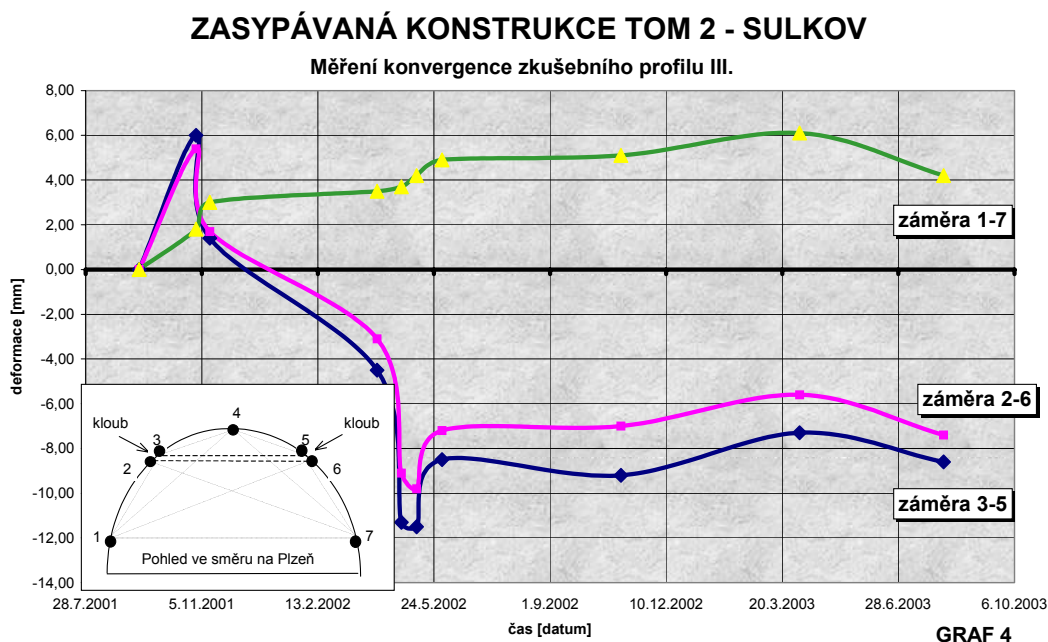
Chyby způsobené lidským faktorem mají rozhodující vliv na výslednou přesnost měření. Konvergenční měření se skládá z řady opakujících se úkonů, z nichž prakticky každý může ovlivnit výsledek měření. Zkušenost a pečlivost měřiče určují spolehlivost naměřených výsledků.

# PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

## 4.4.2.5 Příklady tabulkového a grafického výstupu konvergenčního měření

ZASYPÁVANÁ KONSTRUKCE TOM - 2 (NÝŘANY)																	
MĚŘENÍ KONVERGENCE PRSTENCE K1																	
Číslo měření	datum	výška zásypu 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	0,60
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. 4.4 Tabulkový výstup konvergenčního měření



Obr. 4.5 Grafický výstup konvergenčního měření

## 4.5 Měření kontaktních napětí

### 4.5.1 Úvod

Jedním z náročných typů měření je měření na kontaktu podzemní konstrukce - horninové či zeminové prostředí. Měření má poskytnout údaje o velikosti a průběhu zatížení konstrukce na základě změřených radiálních napětí na kontaktu.

Měření napětí (napjatosti) ať už horninového či zeminového prostředí, nebo měření napětí na kontaktu konstrukce - geotechnické prostředí, či měření napětí uvnitř konstrukce se neprovádí příliš často. Důvodem je finanční, přístrojová i odborná náročnost. Úspěšnost napjatostního měření závisí na každém kroku jeho realizace. Bohužel často mají výsledky napjatostních měření mizivý přínos z důvodu značné nezkušenosti subjektů provádějících měření. V odborné veřejnosti pak vzniká přesvědčení o neúčinnosti a neopodstatněnosti těchto měření (vysoká cena x nespolehlivé výsledky).

### 4.5.2 Měřidla napětí

Měření kontaktního napětí se provádí nejčastěji pomocí hydraulických tlakových buněk. V zahraničí existuje řada výrobců těchto měřidel, jejichž konstrukce se vzájemně jen mírně odlišují. Mezi nejpoužívanější patří výrobky firem Glötzl, Sinco atd.

V Centru experimentální geotechniky FSv ČVUT je problematika měření kontaktního napětí dlouhodobě systematicky řešena. První měření proběhlo na zasypávaném montovaném tunelu s bezmomentovou střednicí v Lokti u Karlových Varů již v letech 1977-79. Následovala celá řada dalších měření kontaktního napětí (stanice metra Národní třída 1981-83, zasypávaná odvodňovací štola velkolomu ČSA u Mostu 1981-84, III. Vinohradský tunel 1985-87, Strahovský tunel 1986–1992, kolektory v Brně 1993–1994, kolektor Panská 1994-95, podzemní laboratoř SCK.CEN v Molu v Belgii 1995, tunel Hřebeč 1995-96, podzemní zásobník plynu Příbram 1996-97, tunel Valík 2004-07, odvodňovací štola Zbraslav 2007). Postupně tak byly získávány důležité zkušenosti, na základě kterých se zdokonalovala konstrukce měřidla kontaktního napětí až do současné podoby.

Hydraulická tlaková buňka (Obr. 4.6) je měřidlo, kde je tlak kapalinového media převáděn na jinou měřitelnou veličinu, jejíž vztah k měřenému tlaku (tahu) je znám. Měřidlem je plochá kapalinová buňka o průměru 100 - 200 mm. Uvnitř je dutina s minimálním objemem pro hydraulickou náplň (speciální silikonový olej) s vlastnostmi zajišťujícími minimální tepelnou (objemovou) závislost. s ohledem na požadovanou životnost se pro výrobu komponentů buňky používá nerezový materiál.

Plnění kapalinovým médiem se provádí za speciálních podmínek ve vakuu. Svařování komponentů je prováděno plazmou. z těla buňky je vyvedena kapilára, která přechází v kovové pouzdro s tenzometrickým (polovodičovým) čidlem (100 kPa - 30 MPa). z pouzdra je vyveden elektrický kabel k odečítací jednotce.

Pro možnost měření tahových napětí jsou naplněné buňky při uzavírání přetlakovány. Povrchová úprava buňky zabraňuje ztrátě kontaktu s měřeným prostředím. Vyloučení vlivu smykových napětí na měřená radiální napětí se provádí vytvořením kluzných kontaktních ploch.

Při výrobě buňky je nutné přesně dodržovat stanovené technologické postupy. Každá buňka je před použitím dlouhodobě testována v různém zkušebním prostředí.



Obr. 4.6 Hydraulická tlaková buňka

### 4.5.3 Měřicí ústředny

Stejně jako měřidla napětí, tak i používané měřicí přístroje prošly vývojem. Od odečítání pomocí manometrů (u vaků), přes využití těžko manipulovatelných „přenosných“ tenzometrických můstků Peekel až k současnému stavu.

V současné době se data z hydraulické tlakové buňky odečítají v naprosté většině případů pomocí automatizované ústředny – tzv. dataloggeru. Pro manuální odečet, který je dnes používán zcela výjimečně, většinou pouze jako kontrola automatizovaného odečtu hodnot, lze použít upravený kapesní digitální multimetr, opatřený vlastním přídavným zdrojem měřících impulsů. Automatizovaná měření pomocí malých, snadno dostupných ústreden, vyvinutých ve spolupráci s firmou AD-SYS, byla v CEG zahájena v r.1993.

### 4.5.4 Příklad realizovaného projektu měření – Podzemní zásobník plynu Háje

V březnu 1996 byla na žádost Plynoprojektu Praha a.s. zahájena příprava projektu geotechnických kontinuálních měření, který se měl realizovat během výstavby a zkušebního tlakování zátky. Jednalo se o:

- měření napětí a teploty ve stříkaném drátkobetonu tělesa tlakové zátky
- měření kontaktního napětí mezi horninovým masivem a tělesem tlakové zátky.

V červenci 1996 bylo na žádost Plynoprojektu měření rozšířeno o:

- měření změn napjatosti horninového masivu v blízkosti tělesa tlakové zátky.

Současně s tímto souborem měření prováděla během tlakování zkušební zátky firma MONITORING SERVIS měření deformací horninového masivu v oblasti tlakování, měření deformací tlakové zátky ze stříkaného drátkobetonu, měření teploty uvnitř tělesa zátky i na kontaktu s horninou a měření zkušebního tlaku a teploty vody během tlakování zátky.

#### 4.5.4.1 Popis konstrukce podzemního zásobníku

V r. 1992 se Český plynárenský podnik TRANSGAS o.z. rozhodl vystavět podzemní zásobník plynu v blízkosti Příbrami. Za generálního projektanta projektu byl vybrán PLYNOPROJEKT a.s., který se problematikou skladování plynu v podzemním kavernovém zásobníku zabýval od r.1979. Na základě detailního geologického průzkumu bylo v r.1989 rozhodnuto umístit podzemní zásobník do hloubky 950 m. Po ukončení podrobného geologického, geotechnického a hydrogeologického průzkumu byla započata ražba zásobníku.



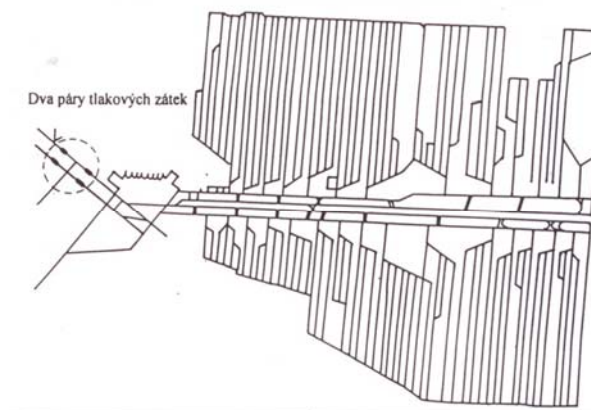
## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

Zásobník má pokrývat špičky spotřeby plynu v hlavním městě a jeho okolí. Podzemní způsob skladování plynu byl zvolen s ohledem na příznivé geologické prostředí střeodočeského plutonu v místě starého uranového dolu.

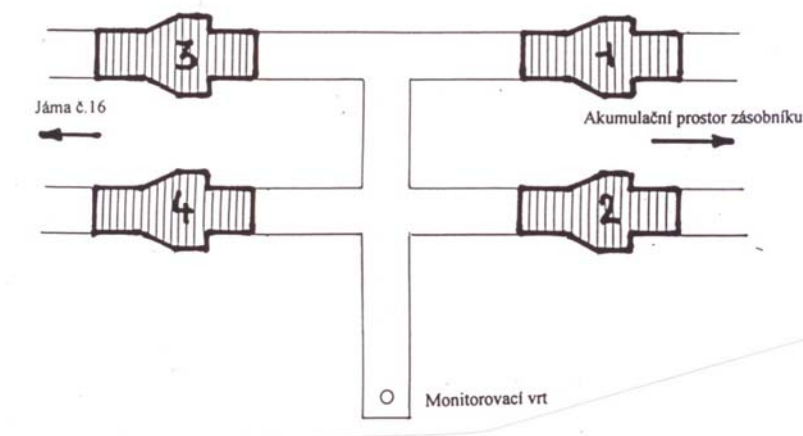
Podzemní zásobník plynu (PZP) se skládá ze tří základních částí:

- podzemní část s akumulačním prostorem pro jímání plynu,
- přechodová spojovací část s plnicími a technologickými vrty,
- povrchová část s technologickým zázemím.

Akumulační prostor je tvořen systémem nevystrojených liniových výrubů (Obr. 4.7) tvořících rozsáhlou galerii uzavřenou dvěma páry tlakových zátek (Obr. 4.8).



Obr. 4.7 Podzemní zásobník plynu – systém akumulačních výrubů



Obr. 4.8 Schéma rozmístění tlakových zátek

Podzemní část je situována do hloubky 950 m a zaujímá plochu cca 1,5 km<sup>2</sup>. Profil liniových výrubů je 11 - 15 m<sup>2</sup>. Celkový objem výrubů je 620 000 m<sup>3</sup>, což představuje 45 km chodeb. Oba přístupy do galerie jsou uzavřeny speciálními zátkami (hrázemi) ze stříkaného drátkobetonu. Prostor mezi zátkami je zaplněn vodou, jejíž tlak je regulován s ohledem na tlak plynu v zásobníku. Deformace obou párů tlakových zátek a okolního horninového prostředí je kontinuálně monitorována. Podzemní část zásobníku je s povrchovou technologickou částí a s kontrolní monitorovací částí spojena systémem vystrojených vrtů.

Zásobník je navržen na maximální denní spotřebu 6mil. m<sup>3</sup> plynu. Tento objem je možné odebírat po dobu 10 dnů při tlaku 9,5 MPa. Po úspěšném zkušebním provozu je možné

## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

skladovat plyn při tlaku do 12,5 MPa, což umožňuje odběr 9mil. m<sup>3</sup> denně po dobu 15 dnů. Efektivní kapacita plynového zásobníku je 60mil. m<sup>3</sup> přírodního plynu.

### 4.5.4.2 Geologické a geotechnické poměry PZP

Širší zájmové území zásobníku patří do oblasti moldanubika, vlastní zásobník je situován do variského plutonu, přibližně 600 m od tektonického kontaktu se sedimenty proterozoika. Pluton je tvořen granity, tonality a křemennými diority. Masiv prostupují tektonické poruchy ve směru SZ-JV a SZ-JZ.

95% výrubů je provedeno v neporušené hornině s vysokými pevnostními parametry. V blízkosti poruchových zón (5% výrubů) je hornina méně kvalitní. Zásobník byl ražen ve stabilních horninách, kromě ražeb procházejících hlavními plochami nespojitosti (3% ražeb).

Geotechnické parametry zastižených hornin:

měrná hmotnost  $\rho_s = 2862 \text{ kg/m}^3$

pórovitost  $n = 0,8\%$

stupeň nasycení  $S_r = 0,28$

jednoosá pevnost v tlaku  $R_{hc} = 210 \text{ MPa}$

pevnost v prostém tahu  $R_{ht} = 10,5 \text{ MPa}$

smyková pevnost  $R_{h\tau} = 45,4 \text{ MPa}$

Poissonovo číslo  $\nu = 0,2$

modul pružnosti  $E = 83\,000 \text{ MPa}$

modul přetvárnosti  $E_{def} = 80\,000 \text{ MPa}$

průměrné horizontální geostatické napětí  $\delta_x = 34 \text{ MPa}$

průměrné vertikální geostatické napětí  $\delta_z = 26 \text{ MPa}$

součinitel tlaku v klidu  $K_r = 1,3$

Hydrogeologická měření ukázala, že počáteční přítok vody byl max. 0,2 l/min. Propustnost horninového masivu se pohybuje v rozmezí  $k = 10^{-11} - 10^{-14} \text{ m/sec}$ . V blízkosti poruchových zón byl naměřen součinitel propustnosti  $k = 10^{-9} \text{ m/sec} - 10^{-11} \text{ m/sec}$ . Při propustnosti větší než  $k = 10^{-9} \text{ m/sec}$  byla provedena chemická injektáž při tlaku 10 MPa.

### 4.5.4.3 Konstrukce zkušební zátky

Vzhledem ke zvolené unikátní (ve světě do té doby nepoužité) technologii výstavby tlakových hrází s využitím stříkaného drátkobetonu bylo rozhodnuto před výstavbou definitivních zátek vystavět zkušební zátku, a tu podrobit detailnímu testování. Jednotlivé fáze nástřiku zátky jsou na Obr. 4.9.



Obr. 4.9 Fáze nástřiku zátky

Na zkušební zátce byla hlavně ověřena:

- vhodnost použité technologie stříkaného drátkobetonu

## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

- ověření bezpečné statické funkce zátky při zkušebním tlaku 17,5 MPa
- ověření (ne)propustnosti vlastního tělesa zátky, kontaktu zátky a horninového prostředí a vlastního horninového prostředí v okolí zátky
- ověření funkce navrženého monitorovacího systému.

Vzhledem k vysoké požadované bezpečnosti konstrukce definitivních tlakových zátek, vyplývající z jejich specifické funkce, byl původní požadavek generálního projektanta, tj. měření deformace tělesa zkušební zátky a deformace blízkého horninového prostředí, rozšířen o měření napjatosti ve stříkaném drátkobetonu zátky i napjatosti v horninovém prostředí.

### 4.5.4.4 Rozsah provedených měření

Celkový projekt měření zahrnoval:

- měření napětí na kontaktu tělesa ze stříkaného drátkobetonu a horninového masivu pomocí hydraulických tlakových buněk (HTB)
- měření napětí uvnitř tělesa ze stříkaného drátkobetonu pomocí hydraulických tlakových buněk (HTB)
- měření teploty uvnitř tělesa ze stříkaného drátkobetonu pomocí polovodičových teploměrů
- měření napětí v horninovém masivu v blízkosti vzdušného čela zátky pomocí měřících svorníků (výrobce Ústav geoniky AV ČR)
- měření deformace na návodní a vzdušné straně zátky pomocí snímačů posunu (zajišťovala firma Monitoring servis)
- měření deformace horninového masivu bezprostředně zatíženého tlakem vody pomocí extenzometrů posunu (zajišťovala firma Monitoring servis)
- měření vývinu teploty uvnitř tělesa zátky, na kontaktu mezi tělesem zátky a horninovým masivem a vně kontaktu s tělesem zátky (zajišťovala firma Monitoring servis).

Všechna měření byla plně automatizovaná, kontinuální.

### 4.5.4.5 Měřící zařízení

Měření kontaktního napětí a napětí uvnitř tělesa zátky bylo prováděno pomocí 15 ks hydraulických tlakových buněk (HTB) s tenzometrickým převodníkem hydraulického tlaku na elektrický signál. K automatizovanému kontinuálnímu měření a k registraci naměřených dat byly použity dvě měřící centrály AD-SYS. Teplota uvnitř tělesa zátky byla měřena dvěma polovodičovými teploměry (T).

Pro možnost měření tahových napětí byly buňky naplněné kapalinovým mediem při uzavírání „přetlakovány“. Malé tahové napětí snese tenzometrický převodník bez těchto opatření.

Vyloučení vlivu smykových napětí na naměřená radiální napětí se provádí vytvořením kluzných kontaktních ploch.

Pro kontinuální měření napětí v horninovém masivu v blízkém okolí výrubu zátky bylo použito 5 ks měřících svorníků (S). Pomocí čtyř snímačů rovnoměrně rozmístěných po jeho délce bylo možno měřit tahovou, resp. tlakovou sílu v ose svorníku.

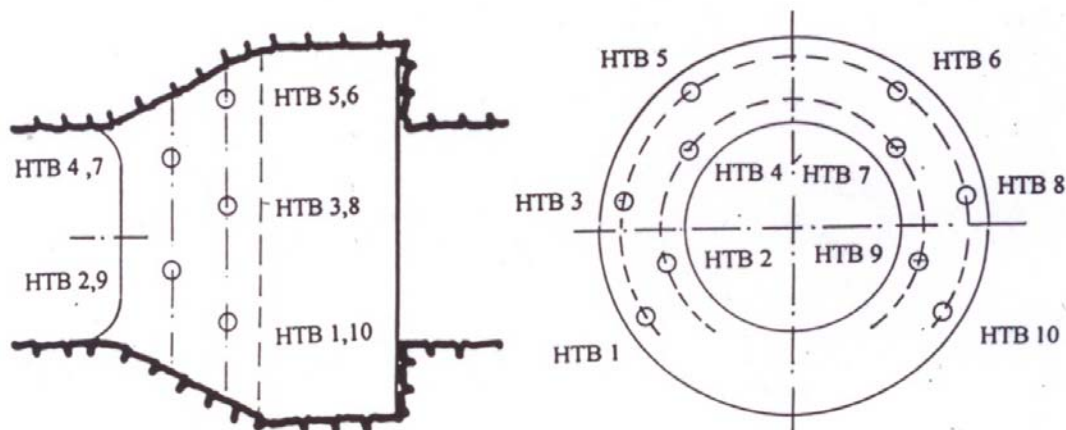
### 4.5.4.6 Instalace měřícího zařízení

Instalace měřícího zařízení byla provedena v několika fázích. V první fázi byly osazeny hydraulické tlakové buňky na kontaktu mezi tělesem zátky a horninovým masivem. Ve druhé fázi byly osazeny hydraulické tlakové buňky současně s teploměry uvnitř tělesa zátky. Ve třetí fázi byly osazeny měřící svorníky.

## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

### *Instalace HTB na kontaktu tělesa zátky s horninovým masivem*

S ohledem na výsledky matematického modelování napjatosti a deformace zátky při zkušebnímu zatížení tlakem 17,5 MPa bylo rozhodnuto umístit tlakové buňky do zkosené části válcového tělesa zátky. Matematické modelování provedené firmou DOLEXPART ukázalo, že velikost radiálního napětí na kontaktu v místě zkosení může teoreticky dosáhnout hodnoty až 50 MPa. Proto bylo v této šikmé části zátky osazeno 10 ks HTB buněk rozmístěných dle schématu (Obr. 4.10).



Obr. 4. 10 Schéma rozmístění tlakových buněk na kontaktu zkoseného výlomu zátky

Buňky byly osazeny do vyrovnávacího cementového lože. Kontakt buňky s cementovým ložem byl vytvořen kluzný pomocí mikrotenové fólie. Fixování buněk k horninovému masivu bylo provedeno ve třech bodech přichytkami. Vytvoření kluzného kontaktu mezi buňkou a vyrovnávacím cementovým ložem spolu s použitím plochých přichytek mělo eliminovat vliv kontaktního smykového napětí na měřené hodnoty napětí radiálního.

Ztrátám kontaktu mezi buňkou a tělesem ze stříkaného drátkobetonu při případném smršťování betonu (rozevírání kontaktu) měly zamezit ostny trčící z povrchu buněk. Buňky bezpečně registrovaly jak tlakové, tak tahové namáhání kontaktu.

Elektrická vedení od všech buněk byla po válcovém obvodu tělesa zátky svedena do jednoho místa, odkud svazek kabelů vedl k měřicí centrále AD-SYS instalované ve vzdálenosti cca 15 m od vzdušného čela zátky. K měřicí centrále byly připojeny současně buňky i teploměry umístěné uvnitř tělesa zátky.

### *Instalace HTB a polovodičových teploměrů uvnitř tělesa zátky*

Výsledky matematického modelování napjatosti a deformace ukázaly, že v tělese ze stříkaného drátkobetonu může lokálně dojít k namáhání betonu v tahu až 2,5 MPa. V místech předpokládaného největšího tahového namáhání proto bylo osazeno 5 buněk. Pro možnost měření tahového napětí byly buňky vybaveny ostny zamezujícími ztrátě kontaktu povrchu buňky s drátkobetonem (Obr. 4.11).

## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ



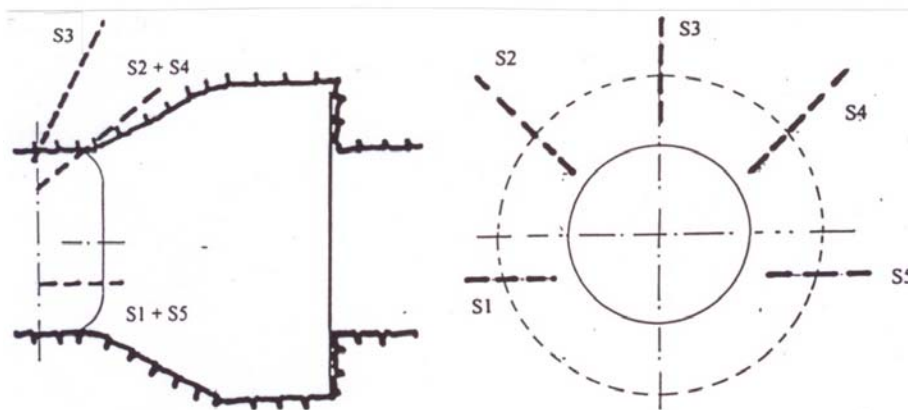
Obr. 4.11 Hydraulická tlaková buňka s ostny

V průběhu nástřiku tělesa zátky bylo nutno změnit technologii nástřiku, došlo k časovému skluzu, a proto nemohly být buňky instalovány na původně vybraná místa. Po 48 hodinovém pobytu pracovníků firmy v podzemí byly buňky instalovány o 50cm níže než bylo požadováno. Obě krajní buňky byly instalovány vždy společně s jedním teploměrem pro registrování vývoje teploty uvnitř tělesa zátky.

Elektrická vedení byla opět svedena do jednoho místa a odtud k měřicí centrále. Připojení buněk a teploměrů k měřicí centrále bylo provedeno dne 7.7.1996.

### *Instalace měřících svorníků*

Měřící svorníky byly instalovány až po celkovém dokončení tlakové hráze (zátky) do šikmých vrtů, jejichž orientace a rozmístění je znázorněna na Obr. 4.13.



Obr. 4.12 Schéma rozmístění měřících svorníků

Instalaci lepených měřících svorníků zajistil jejich výrobce - Ústav geoniky AV ČR. Jejich připojení na speciálně upravenou měřicí centrálu AD-SYS bylo provedeno dne 30.7.1996 (Obr. 4.14).

## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ



Obr. 4.13 Připojení měřicích svorníků na datalogger AD-SYS

### 4.5.4.7 Průběh a výsledky měření

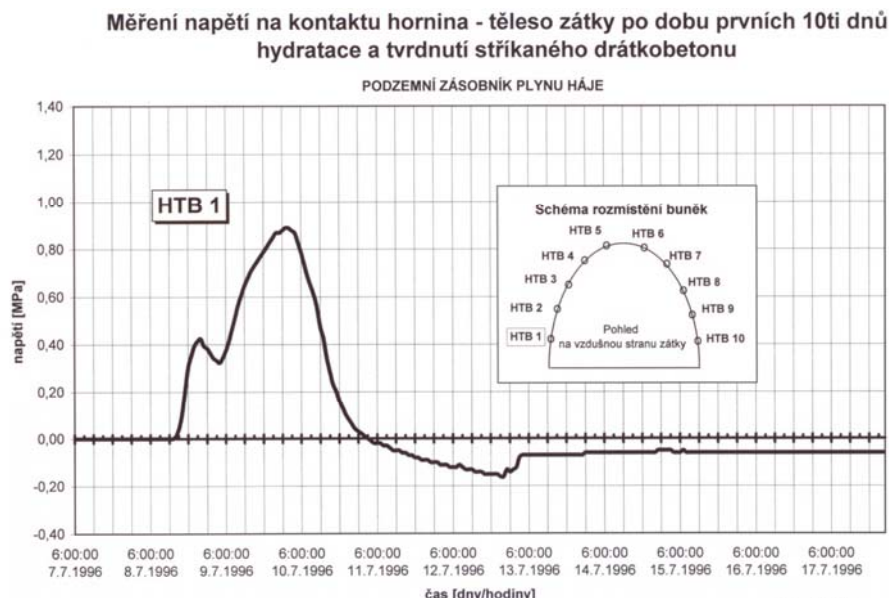
Celé měřené období je vhodné rozdělit na dvě části:

- měření při nástřiku a tvrdnutí tlakové zátky až do zahájení vrtných a injektážních prací - tj. od 7.7.1996 do 31.8. 1996
- měření při injektování a zkušebním tlakování zátky - tj. od 1.9. 1996 do 31.1.1997

#### Průběh a výsledky měření v době od 7.7. 1996 do 31.8. 1996

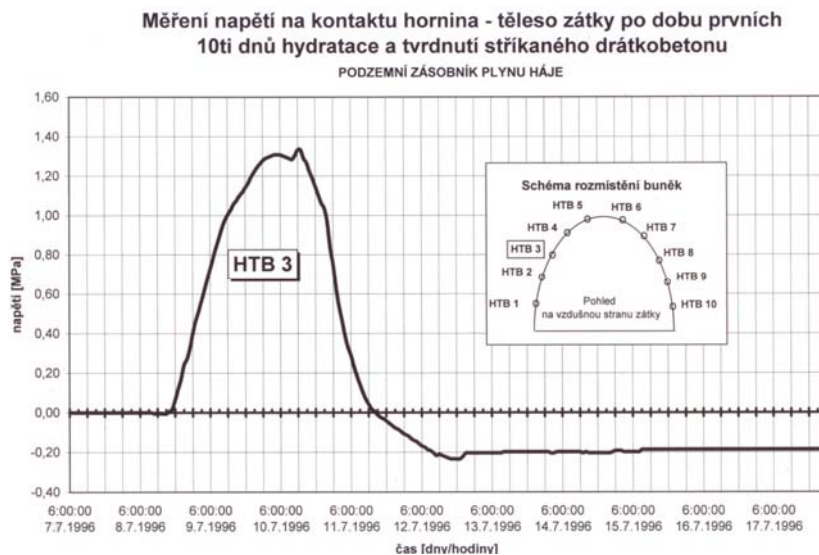
*Výsledky a průběh měření napětí na kontaktu hornina - těleso zátky po dobu hydratace a tvrdnutí stříkaného drátkobetonu*

Vývoj kontaktního napětí pro některá měřicí místa (v jednotlivých instalovaných buňkách) je znázorněn na Obr. 4.15 a 4.16.



Obr. 4.14 Vývoj kontaktního napětí – HTB 1

## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ



Obr. 4.15 Vývoj kontaktního napětí – HTB 3

Z jednotlivých průběhů bylo zjištěno, že velikost naměřeného tlakového napětí na kontaktu se pohybovala v rozmezí 0,1 - 1,3 MPa, přičemž nejmenší napětí bylo naměřeno ve vrcholu zátky. Již výsledky těchto měření signalizovaly rozdílnou kvalitu kontaktu po obvodu konstrukce zátky.

Měření dále ukázalo, že v důsledku procesu smršťování může vzniknout až tahové namáhání kontaktu. Velikost naměřených tahových napětí byla po obvodu zátky rozdílná, větší tahová napětí byla naměřena spíše v místech větších kontaktních tlakových napětí vyvolaných objemovou expanzí drátkobetonu. Naměřená tahová napětí dosahovala až 0,2 MPa.

Doba trvání objemové expanze během hydratace se pohybovala v rozmezí 12 - 36 hodin. Doba trvání poklesu kontaktního napětí během smršťování byla delší (60 - 72 hodin). Po 4 až 8 dnech od nástřiku zátky došlo k úplnému uklidnění napjatosti na kontaktu.

*Výsledky a průběh měření napětí a teploty uvnitř zátky ze stříkaného drátkobetonu po dobu hydratace a tvrdnutí stříkaného drátkobetonu*

Příklad vývoje napětí a teploty je znázorněn na Obr. 4.16. Maximální naměřené hodnoty napětí uvnitř drátkobetonu dosahují 7,5 MPa a byly tedy výrazně vyšší než maximální naměřená kontaktní napětí (1,3 MPa).

Za předpokladu platnosti Hookova zákona lze početně určit napětí v betonu, které vzniká při hydrataci (zvýšením teploty):

$$\sigma = E * \varepsilon * \delta t$$

Pro stanovení modulu pružnosti v tlaku je možné použít empirický vztah:

$$E = 14\,700 + 400 * R_{bc}$$

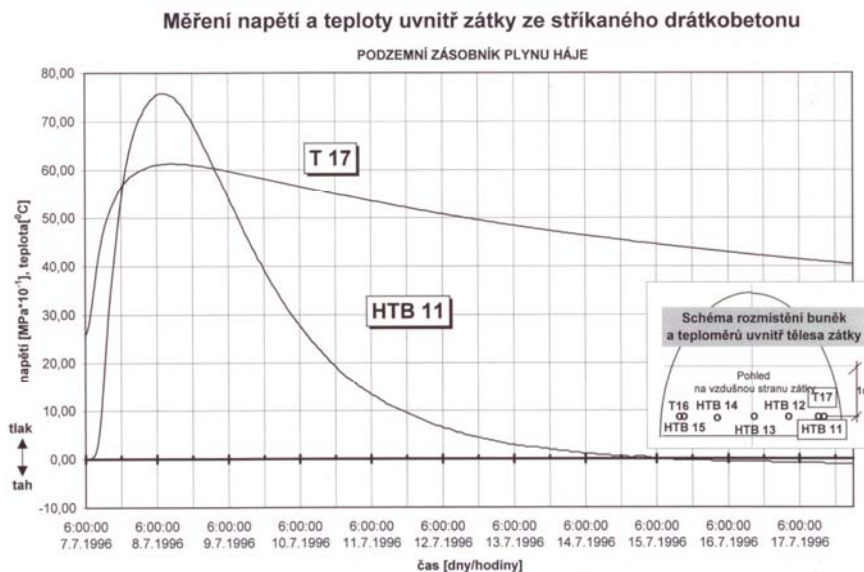
[Klokner]

Pokud je uvažováno pro beton B40 pevnost v tlaku  $R_{bc} = 40$  MPa, nárůst teploty o 38 °C vyvolaný hydratací a součinitel smršťování betonu  $\varepsilon = 0,00001$  až  $0,000005$ , dosazením do první rovnice se získá:

$$\sigma_{\text{hydratační}} = 5,8 \text{ až } 11,6 \text{ MPa}$$

Naměřená hodnota 7,5 MPa je tedy v relaci s hodnotami vypočtenými.

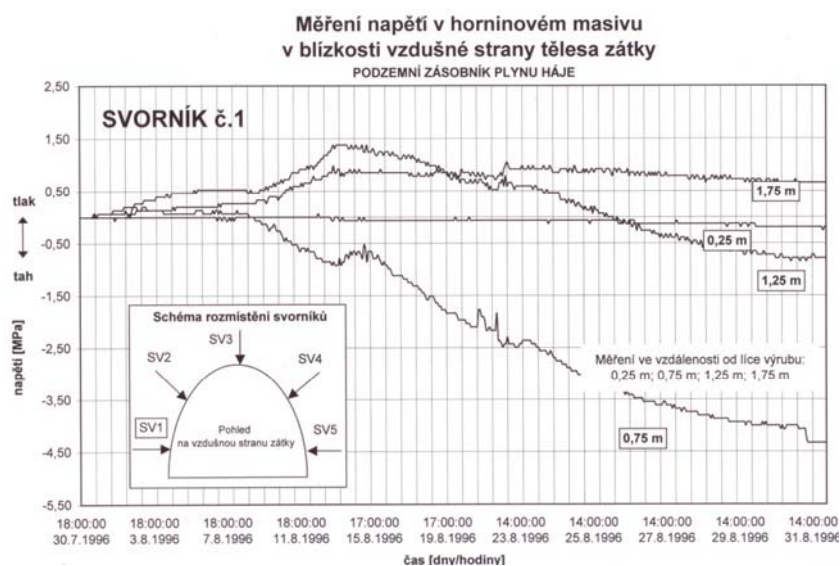
## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ



Obr. 4.16 Vývoj hydratačního napětí – HTB 11

*Výsledky a průběh měření napětí v horninovém masivu v blízkosti vzdušné strany tělesa zátky*

Měřicí svorníky byly instalovány 20 dní po nastříkání zátky. Každý měřicí svorník měl 4 měřící místa ve vzdálenosti 0,25 m, 0,75 m, 1,25 m a 1,75 m od líce výrubu. Dle výrobce byly svorníky konstruovány tak, aby měřící tenzometry byly citlivé pouze na osová napětí a aby vliv ostatních napětí byl potlačen. Příklad změn naměřených hodnot napětí je znázorněn na Obr. 4.18.



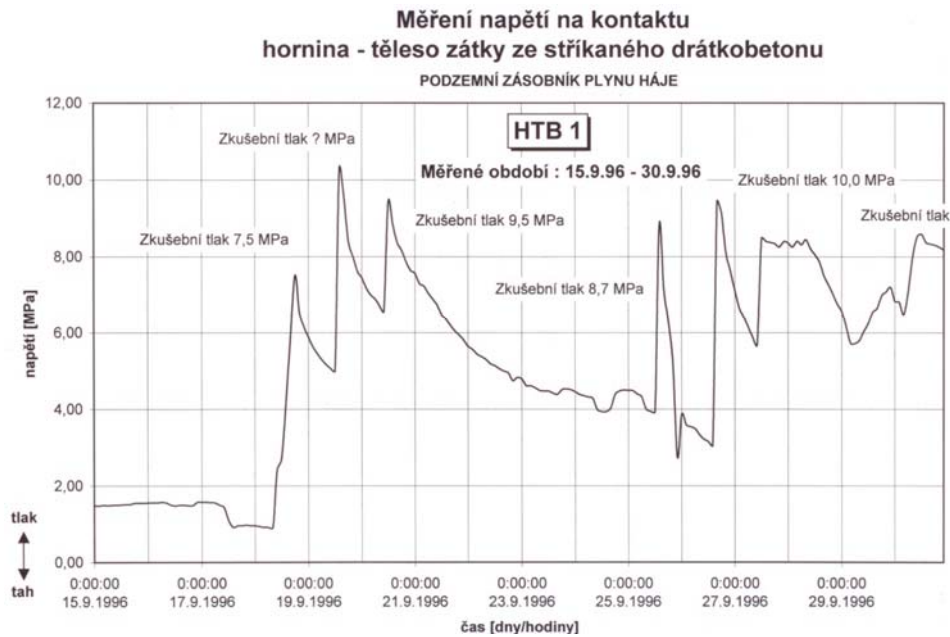
Obr. 4.17 Změny napětí v horninovém masivu

*Výsledky a průběh měření napětí na kontaktu hornina - těleso zátky při provádění injektážních prací a tlakování zátky*

Buňky umístěné na kontaktu velice citlivě a přesně reagovaly na tlakové injektáže i vlastní zkušební tlakování zátky (Obr. 4.19).



## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

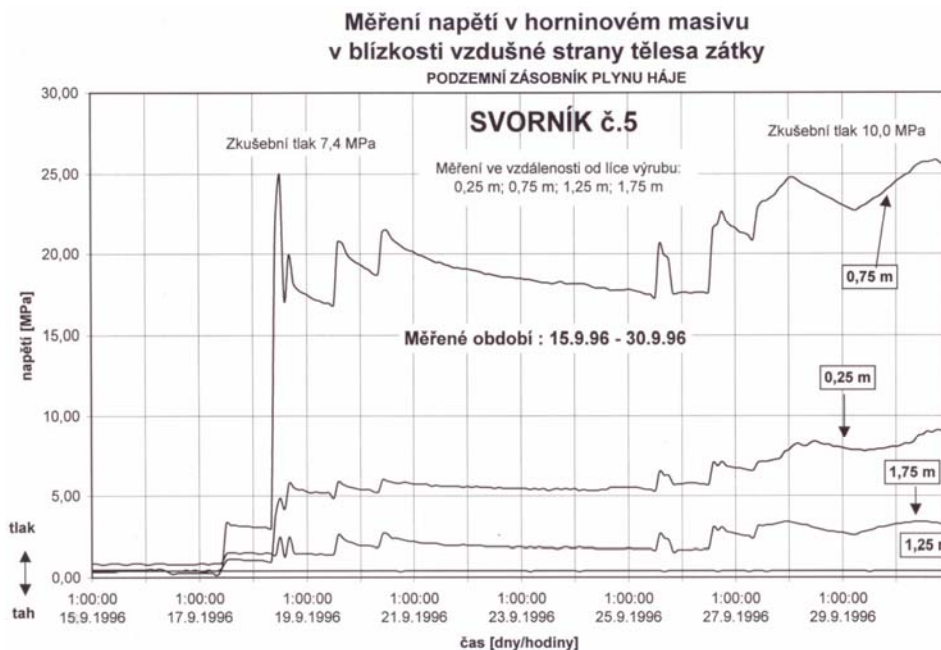


Obr. 4.18 Změny napětí na kontaktu během tlakování

Maximální naměřené kontaktní napětí 22 MPa nedosáhlo ani 50% kontaktního napětí určeného matematickým modelováním (50 MPa).

*Výsledky a průběh měření napětí v horninovém masivu v blízkosti vzdušné strany tělesa zátky při provádění injektážních prací a tlakování zátky*

Ze získaných průběhů je vidět, že prakticky vždy způsobilo tlakování zátky změnu napětí ve svornících směrem „do tlaku“ (Obr. 4.20).



Obr. 4.19 Změny napětí v horninovém masivu během tlakování

### 4.5.4.8 Závěr

Napjatostní a teplotní měření provedená na zkušební zátce ze stříkaného drátkobetonu poskytla řadu důležitých informací.

#### A) Měření napětí na kontaktu hornina - těleso zátky

- během procesu tvrdnutí drátkobetonu (během objemové expanze) bylo naměřeno maximální kontaktní napětí 1,3 MPa (tlak)
- po ukončení procesu smršťování drátkobetonu byla na kontaktu naměřena maximální tahová napětí 0,2 MPa
- maximální naměřená hodnota kontaktního napětí nepřesáhla během celého zkušebního tlakování zátky hodnotu 22 MPa, což není ani 50% hodnoty určené matematickým modelováním
- měření kontaktního napětí může okamžitě po nástřiku tělesa zátky signalizovat kvalitu kontaktu, která je pro nepropustnost zátky nezbytná
- měření kontaktního napětí je schopno dlouhodobě sledovat změny napětí vyvolané injektováním či tlakováním tělesa zátky a jeho kontaktu s horninou

#### B) Měření napětí a teploty uvnitř tělesa zátky

- naměřená napětí uvnitř tělesa zátky dosáhla maximální hodnoty 7,5 MPa v tlaku
- smršťováním došlo k poklesu napětí až do oblasti tahových napětí (0,17 MPa)
- maximálního tlakového napětí při objemové expanzi drátkobetonu bylo dosaženo při dosažení maximální hydratační teploty
- objemová expanze drátkobetonu trvala přibližně poloviční dobu než smršťování
- maximální naměřená teplota během hydratace činila 63 °C

#### C) Měření změn napětí v horninovém masivu pomocí měřících svorníků

- po 2 - 7 dnech od instalace došlo k postupnému zatížení svorníků (tlakem i tahem), přestože nebylo prováděno zkušební tlakování
- maximální hodnoty napětí naměřené během zkušebního tlakování (35 MPa v tlaku, 12 MPa v tahu) je nutné konzultovat s výrobcem měřících svorníků
- svorníky citlivě reagovaly na prováděné tlakování zátky
- při tlakování naměřené hodnoty ve svornících signalizovaly zatěžování horninového masivu směrem „do tlaku“, což odpovídá výsledkům matematického modelování

Výsledky měření potvrdily vhodnost a úspěšnost prováděného kontinuálního měření. Věrohodná interpretace získaných výsledků však vždy vyžaduje instalování dostatečného počtu měřidel.

## 4.6 Zásady úspěšné realizace geotechnických měření „in situ“

Na základě zkušeností, získaných při realizaci méně či více úspěšných projektů geotechnických měření od r.1977, lze formulovat tyto zásady „in situ“ měření:

1) *Základním předpokladem úspěšné realizace jakéhokoliv geotechnického měření „in situ“ je přistupovat k měření s vědomím, že každý krok jeho realizace může zásadně ovlivnit výsledek měření.* Geotechnická měření „in situ“, vzhledem k náročnému prostředí, (místa, kde se měření provádí, mívají nezpevněnou počvu se stálým přítokem až „deštěm“ podzemní vody, obvykle agresivního charakteru, měřený úsek je často bez zdroje elektrického proudu, měření se provádí ve stísněných prostorových podmínkách, instalace ani měření nesmí zdržet či jinak negativně ovlivnit pracovní cyklus atd.), často nutí realizátory projektu měření improvizovat. Každá sebemenší nekvalifikovaná změna (odchylka) od projektem předepsaného postupu může zásadně ovlivnit výsledek měření.

2) *Geotechnická měření jsou finančně a odborně značně náročná.* Jde o vysoce odbornou práci, která vyžaduje jak teoretické, tak praktické znalosti z podzemního stavitelství, zakládání staveb, mechaniky hornin, mechaniky zemin, inženýrské geologie, stavební mechaniky apod. Vyžaduje též znalosti měřicí elektroniky, schopnost práce s PC, strojařské schopnosti, a v neposlední řadě též dobrou fyzickou kondici a určitou zanáčenost kutila. Jedná se tedy o multidisciplinární problematiku, vyžadující týmovou práci, vedenou zodpovědným koordinátorem měření. Jeho účast v terénu při všech krocích realizace je předpokladem úspěšného měření.

3) *V naprosté většině případů nemá smysl provádět měření v jednotlivých místech (lokálně), ale měření provádět v profilech, nebo nejlépe v měřičských polích.* Přesto jsou lokální měření častá. Vzhledem k omezeným finančním možnostem objednatele měření dochází k instalaci 1 - 2 měřidel (i když drahých, od renomovaných firem) s rozhodnutím odečítat měřené hodnoty manuálně v relativně dlouhých intervalech. Nebezpečí špatné interpretace výsledků se tím ještě více prohlubuje.

4) *Mnohem důležitější než přesnost měřidel je vzhledem k velké proměnlivosti veličin v geotechnickém prostoru potřeba jejich instalace v co největším počtu.* Nebezpečí chyby při měření (získání nepřesného výsledku) narůstá s každým krokem realizace měření, ale zpřesňovat výsledky měření zvyšováním přesnosti měřidla je finančně neadekvátní. Zkušenosti ukázaly, že pokud nepřesáhne celková chyba měření 25% (při působení všech negativních vlivů), je získaná přesnost výsledků dostačující.

5) *Vzhledem ke specifčnosti geotechnického prostředí, jeho nehomogenitě, anizotropii, neohraničenosti, jsou změny fyzikálního chování, změny napjatostně - deformačních stavů tak komplikované, často zcela nepředvídatelné, i v „klidovém“ stavu proměnné v čase, že není možné jednotlivým sběrem dat (odečtem naměřených hodnot maximálně 1x za den) postihnout chování geotechnického prostředí.*

Splnění posledního požadavku (četnosti měření), umožnil až rozvoj výpočetní techniky, a hlavně její finanční dostupnost. Dostatečná četnost měření znamená zajistit tak časté měření geotechnických veličin, které postihne (zachytí) všechny změny v čase, způsobené jakýmkoliv vlivem.

Změny geotechnických veličin, jejich vývoj v čase je spojován v podzemním stavitelství se dvěma termíny – **reologie** a **časový faktor**. Ani jeden z těchto pojmů však nevystihuje problém v celé jeho šíři. Jak pojem *reologie*, tak pojem *časový faktor* zahrnuje ve své definici jenom část problematiky změny chování prostředí, nesnaží se postihnout změny geotechnických parametrů v čase vlivem všech podnětů.

**Reologie** (reologické vlastnosti, chování) je pojem, který je vysvětlován jako vliv času na změnu geotechnických parametrů. Je však většinou interpretován jako změna parametrů v čase při neměnnosti jednoho z parametrů. Např. jak se mění velikost deformace v čase při konstantním (neměnném) působícím zatížení.

**Časový faktor** (faktor času, dobový účinek) je pojem, který se nejvíce používá v podzemním stavitelství a mechanice hornin. Obecně platí, že částice hmoty tvořící těleso potřebují určitý čas k tomu, aby se sestavily a přeskupily svá napětí tak, aby jako celek byly schopny čelit účinku vnějších sil. Známy rakouský tunelář Rabcewicz definuje časový faktor takto: „Čas určuje pořadí všech opatření, která je třeba při ražbě a vystrojení tunelu přijmout.“ Při Nové rakouské tunelovací metodě se na základě observačních měření deformací tunelového profilu v čase přijímají opatření na zesílení výstroje.

Oba pojmy pracují tedy s určitým zjednodušením problému. Čas je v geotechnice parametr, který je do matematického modelu chování prostředí zaváděn velice obtížně, a proto zcela ojediněle. Matematicky modelovat lze (méně či více úspěšně) vliv času pouze na jednotlivé parametry.

## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

V čase dochází i ke změnám „klidového stavu“. Představa, že tzv. primární napjatost horninového či zeminového masivu, neboli klidový stav napětí, znamená neměnnost geotechnických parametrů, není správná. Klidový stav ve své podstatě neexistuje. i v „klidovém stavu“ vyvolá jakýkoliv, i zcela nepozorovatelný podnět (např. změna teploty, vlhkosti) změnu kvality geotechnických parametrů (např. pevnosti, propustnosti), které mají za následek změny napjatostně deformačního stavu. Průběh dějů v čase je ještě složitější vlivem nehomogenity a anizotropie prostředí. i v „klidovém stavu“ tedy dochází k redistribuci napětí, ke změně a pohybu napjatostních polí a uzlů. Příroda a s ní geotechnické prostředí se neustále vyvíjí, mění. Proto je třeba na geotechnické prostředí nahlížet jako na časově proměnlivý systém.

Každý umělý zásah uvádí do pohybu další časově závislé děje. Vlivem výrubu (nebo výkopu) dochází k sekundárnímu stavu napjatosti, jehož průběh (vývoj) je závislý na dalších parametrech (například na rychlosti provedené změny). Výsledný časově závislý děj, který probíhá v geotechnickém prostředí, je superpozicí mnoha dějů a podnětů. Je tedy pochopitelné, že geotechnika je nucena pracovat s určitým zjednodušením dějů při řešení své problematiky, ale tato zjednodušení musí být stanovena na základě co nejlepší znalosti chování prostředí, kterou lze získat pouze jeho pozorováním a měřením. Vzhledem k současné dosažené úrovni elektroniky a informatiky se naskýtají nové možnosti dokonalejšího poznání časově závislých jevů, probíhajících v geotechnickém prostředí.

S ohledem na rychlost možných změn (často zcela neodhadnutelnou) nelze v naprosté většině případů vystačit s manuálním sledováním (měřením) těchto změn. Jediným logickým závěrem je tedy v maximální možné míře využívat kontinuální sledování a měření dějů. Měření je vhodné provádět na co největší ploše (v měřicích polích) a sledovat vývoj co největšího množství geotechnických parametrů v čase. Na základě výsledků kontinuálních měření je potom možné stanovit experimentální modely chování jako vstupní modely pro vytvoření matematických modelů chování.

Vždy budou nutná určitá zjednodušení, ale získané nové poznatky rozhodně přispějí k navrhování bezpečných, a přitom ekonomických konstrukcí.

### Pozn.: Předpoklady provádění kontinuálních měření

Nejprve je nutné definovat, co si představit pod pojmem kontinuální měření geotechnických veličin.

***Kontinuální měření geotechnických veličin je měření, které svou četností zachytí (postihne) kontinuitu změn chování prostředí v čase.***

Kontinuálním měřením může být i manuální měření prováděné 1x za den, ovšem pouze za předpokladu, že nedojde mezi dvěma po sobě provedenými měřeními k takovému vývoji měřené hodnoty (parametru), že naměřená změna mezi těmito hodnotami nereprezentuje skutečný vývoj.

V případě multiparametrických měření musí být splněna podmínka, že každá dvě po sobě provedená měření postihují změny kteréhokoliv z registrovaných parametrů. Hlavním nedostatkem manuálních měření je jejich nedostatečná četnost. Jak již bylo konstatováno, děje probíhající v geotechnickém prostředí jsou tak komplikované, často zcela nepředvídatelné, i v „klidovém“ stavu časově závislé, reagující na desítky až stovky podnětů, že maximální dosažitelná četnost manuálního odečtu jednou za den je v naprosté většině případů zcela nedostatečná. Dle praktických zkušeností je i v těch nejjednodušších případech nutné provést alespoň 24 měření za den, což je možné pouze při použití automatizovaného způsobu měření a registraci naměřených hodnot.

## PŘÍKLADY „IN SITU“ MĚŘENÍ V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ

Realizace kontinuálních měření narážela v minulosti na celou řadu problémů, jejichž nemožnost řešení vždy přinutila jak objednatele, tak realizátora měření k zjednodušení (redukci) projektu měření, což mnohdy posunulo měření až za hranici smysluplnosti.

Při respektování všech formulovaných zásad je tedy nutno při realizaci kontinuálních měření splnit další předpoklady:

- použitá měřidla musí splňovat možnost automatické registrace hodnot
- k registraci naměřených hodnot se použije automatizovaná měřící centrála.

## 5. RAŽBA ŠTOL A TUNELŮ

Ražení v pevnějších horninách se provádí v současném stadiu vývoje tunelovacích metod:

- *cyklickým způsobem*, při němž pravidelně opakují operace, které vždy v souhrnu jednoho cyklu umožní postup ražby o jeden pracovní *záběr*. Rozpojování horniny se provádí většinou pomocí trhavin, využívá se však i beztrhavinové ražení (při menších pevnostech horniny),
- *plynulým způsobem*, při němž se podzemní dílo najednou „vyvrtává“ pomocí mohutného tzv. plnoprofilového stroje.

### 5.1 Zásady cyklického způsobu ražby

#### 5.1.1 Rozpojování pomocí trhacích prací

Při cyklickém ražení *pomocí trhacích prací* se pracovní cyklus skládá z následujících činností: Vrtání, nabíjení a odstřel, větrání, nakládání a odvoz rubaniny, provizorní vystrojení, prodlužování instalací (větrací lutny, potrubí tlakové vody a vzduchu, odvodnění).

Každá z těchto činností má své specifické místo a vyhrazený potřebný čas v pravidelně se opakujícím cyklu prací. Vzhledem k běžné organizaci práce v podzemí na více směn je žádoucí, aby se navržený pracovní cyklus vešel celý do jedné směny, případně u malých profilů dva cykly do jedné směny.

*Vrtání* patří k časově nejnáročnějším činnostem z pracovního cyklu. Při této činnosti se pomocí výkonných pneumatických nebo ještě výkonnějších hydraulických vrtacích kladiv realizují vrty, které slouží k umístění náloží trhaviny. Vrtání probíhá na rotačně-přiklepném principu a v současné době již jen zcela výjimečně ručně. Vrtací kladiva jsou běžně umístěna ve větším počtu na lafetách kolového nebo pásového vrtacího vozu, postup vrtání je plně mechanizovaný a řízený jedním pracovníkem; u nejmodernějších vrtacích strojů s využitím počítače.

Vrty v čelbě tunelu nejsou rozmístěny nahodile, nýbrž každý z nich má přesné místo v tzv. vrtném schématu. *Vrtné schéma* představuje takové rozmístění vrtů, které při správně navržených ostatních parametrech odpalu zajistí postup ražby o délku jednoho záběru v projektovaném profilu štoly či tunelu. Trhací práce na čelbě štoly či tunelu lze provádět buď s použitím zálohu, nebo bezzálomovým způsobem.

Při mnohem častější ražbě s pomocí zálohu jsou ve vrtném schématu na čelbě rozmístěny tři základní typy vrtů:

- *Záломové vrty*, jejichž nálože po výbuchu konají nejobtížnější práci s prvotní výtrží horniny, která je upnutá ze tří stran do okolního masivu (vyjma do prostoru již provedeného výrubu). Jsou umístěny ve speciálních sestavách v oblasti těžiště čelby, odpalují se jako první a vytvoří vlom do čelby.
- *Přibírkové vrty*, jejichž zpožděné exploze náloží zajišťují rozšíření zálohu. Působení energie trhaviny je usnadněno usměrněním výbuchu do již vytrženého prostoru prvotního vlnu; vrtají se proto vždy kolmo k čelbě a obsahují množství trhaviny odpovídající kubatuře horniny, která k danému probírkovému vrtu přísluší.
- *Obrysové vrty* slouží k umístění náloží, které mají zajistit po výbuchu vylomení co nejpresnějšího obrysu podzemního díla, současně však nesmí výrazně poškodit trhlinami horninový masiv v okolí výrubu.

Schematické znázornění směru působení výbuchu a pohybu rubaniny při obvyklém časovém postupu odpalu od zálomových k obrysovým vrtům je na Obr. 5.1.

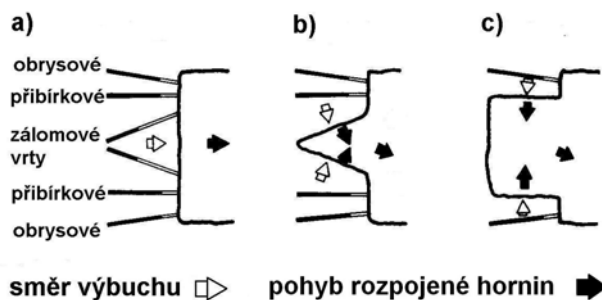
Při zálomovém způsobu ražby se vesměs používají různé kombinace elektrických rozbušek typu DeR (milisekundové rozbušky s intervalem zpoždění mezi jednotlivými stupni 40 a 80 ms), DeD a DeP (dlouhointervalové rozbušky se zpožděním mezi jednotlivými stupni 250

## RAŽBA ŠTOL A TUNELŮ

a 500 ms). Tyto dlouhointervalové rozbušky umožňují získání času potřebného pro přemístění horniny rozpojené zálomem.

Podle geometrického uspořádání sestavy zálomových vrtů dělíme zálomy na sbíhavé, přímé a přechodné.

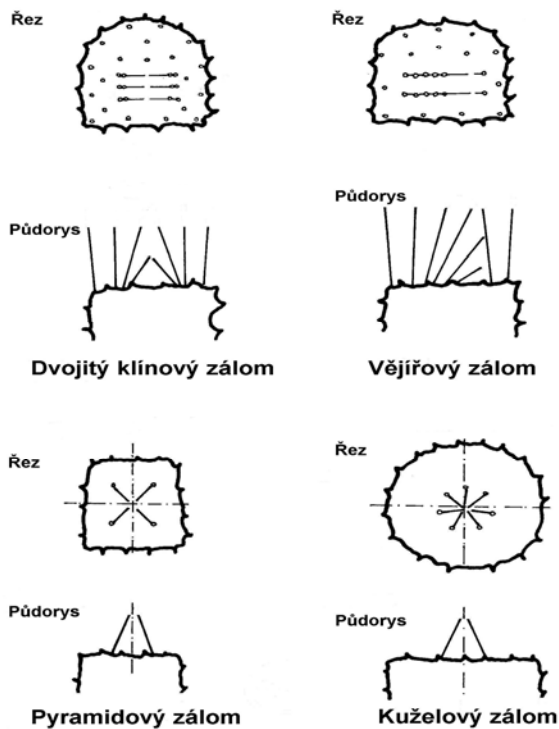
*Sbíhavé zálomy* používají vrty, které nejsou kolmé k teoretické rovině čelby a mají tvar klínu, dvojitého klínu, jehlanu, kužele nebo vějíře, což umožňuje snazší výtrž upnuté horniny (Obr. 5.1). Funkčně jsou zcela vyhovující, jejich ruční vrtání ve štolách malých profilů je však obtížné. U velkých tunelových profilů jsou sbíhavé zálomy při použití moderních počítačově řízených vrtacích vozů velmi dobře použitelné, neefektivněji zejména svislý klínový zálom.



Obr. 5.1 Druhy vrtů a schéma působení výbuchu



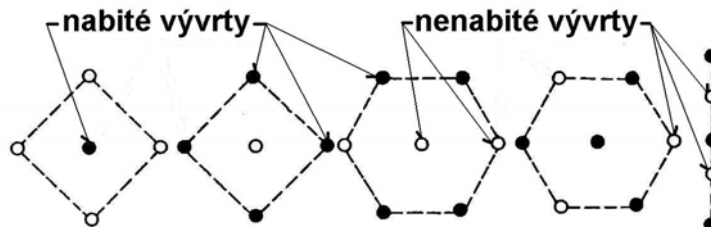
Klínové zálomy



Obr. 5.2 Sbíhavé zálomy

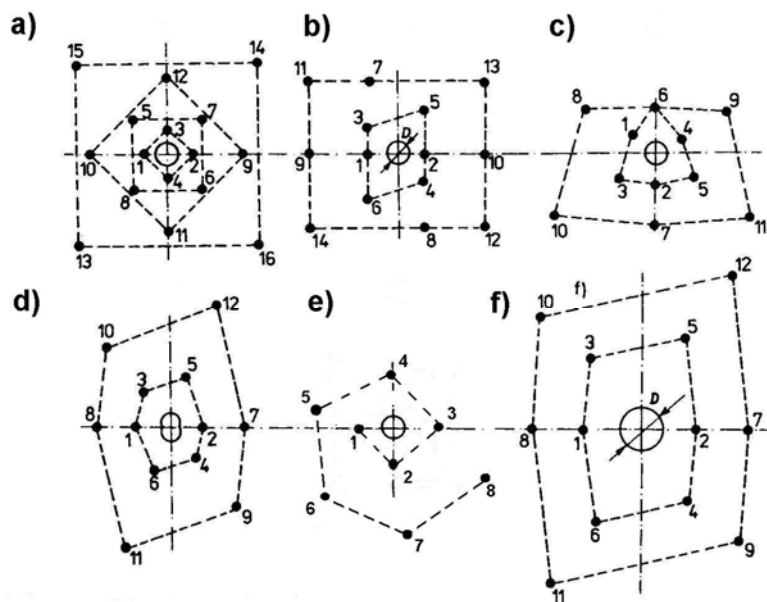
*Přímé zálomy* mají všechny vrty kolmé k teoretické rovině čelby, paralelní vrty jsou stejně dlouhé a pro usnadnění výtrže se upnutí horniny v čelbě snižuje provedením nenabitých vrtů. K přímým zálomům patří zálomy tříštivé (kanadské) a zálomy válcové (uvolňovací).

U *tříštivých zálomů* jsou nabité a nenabité vrty stejného průměru umístěny v malých vzdálenostech (Obr. 5.3) a odpalují se všechny současně. Malá vzdálenost vrtů (do 10 cm) omezuje délku záběru, neboť vzhledem k nepřesnostem ve vedení vrtů by mohlo dojít k propojení vrtů v oblasti jejich paty a tím k znehodnocení funkce zálomu. Jejich použití je v současnosti výjimečné.



Obr. 5.3 Tříštivé zálomy

Účinnost zálomu se zvyšuje se zvětšováním průměru nenabitého vrtu. u všech typů válcových zálomů (Obr. 5.4) bývá uvolňovací vrt pouze jeden (případně „svrtaná“ dvojice u „Coromant“ zálomu), ale o průměru 100 až 200 mm. Odpal nabitých vrtů se provádí postupně, zpravidla protisměrně vzhledem k uvolňovacímu vrtu, s výjimkou spirálového zálomu zvaného „kanadská zátka“. Válcové zálomy umožňují provádět záběry značných délek (od 2 do 6 m), a to v přímé závislosti na průměru volného vrtu, pro jejich vrtání při velkých délkách je proto použití výkonných lafetových vrtacích vozů nevyhnutelnou nutností.

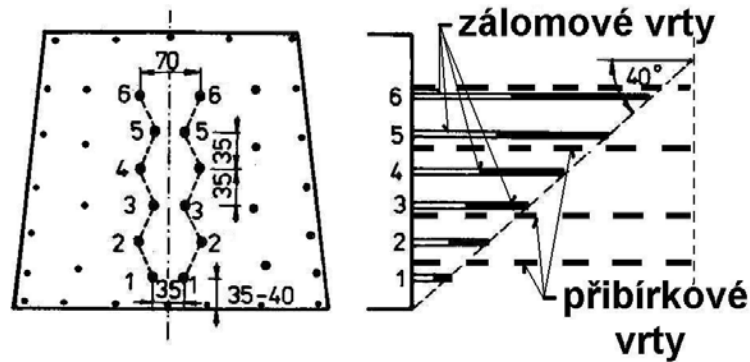


Obr. 5.4 Válcové (uvolňovací) zálomy

a) čtvercový; b) obdélníkový; c) Těby; d) Coromant; e) jednoduchý spirálový – „kanadská zátka“; f) dvojitý spirálový

K *přechodným zálomům* patří zálom stupňovitý (Obr. 5.5) a šroubový, které jsou používány zejména v uhelných dolech, trychtýřový zálom se uplatňuje při ražbě šachet a komínů.





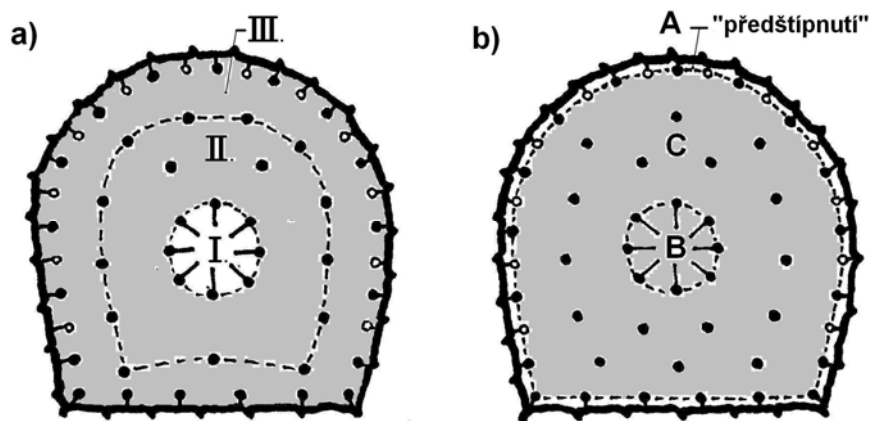
Obr. 5.5 Stupňovitý zálom

Vedle záломových vrtů jsou vysoké nároky kladeny na obrysové vrty, a to zejména v případech, kdy je požadováno jednak co nejmenší narušení horninového masivu v bezprostředním okolí raženého díla trhacími pracemi, jednak provedení co nejplynulejšího líce výrubu bez větších technologických nadvýkonů. Tyto požadavky lze účinně zajistit speciálními způsoby tzv. řízeného výlomu – hladkým odpalem a presplittingem (přeštípnutím).

Oba postupy mají určité společné rysy, liší se však podstatně okamžikem odpalu obrysových vrtů. Společnými znaky jsou hustě rozmístěné vrty po obvodě výrubu (vzdálenost cca 30 cm), které nejsou všechny nabitý (mezilehlé nenabitě vrty slouží jako perforace), používání trhavin s nízkou náložovou hustotou (v ČR je používána trhavina Obrysit), případně tlumení účinku výbuchu nálože vůči horninovému masivu (např. odcloněním půlenou dřevěnou tyčí či plastovou vložkou).

Hladký odstřel takto uspořádané obrysové nálože odpaluje po zálomu a přibírkových vrtech až jako poslední v pořadí (zpoždění v desítkách až stovkách milisekund), takže obrysové vrty vlastně dočišťují obrys výrubu do prostoru předchozího hrubého výlomu (Obr. 5.6a).

Presplitting naopak nálože v obrysových vrtech odpaluje jako první v pořadí a jejich úkolem je vytvořit mezi obrysovými vrty nabitými i prázdnými trhlinu. Tato trhlinka velmi přesně sleduje tvar budoucího výlomu a současně vytváří účinné fyzikální rozhraní pro radiální trhliny v masivu vznikající působením následujících výbuchů vnitřních náloží v profilu na horninový masiv za lícem výrubu (Obr. 5.6b).

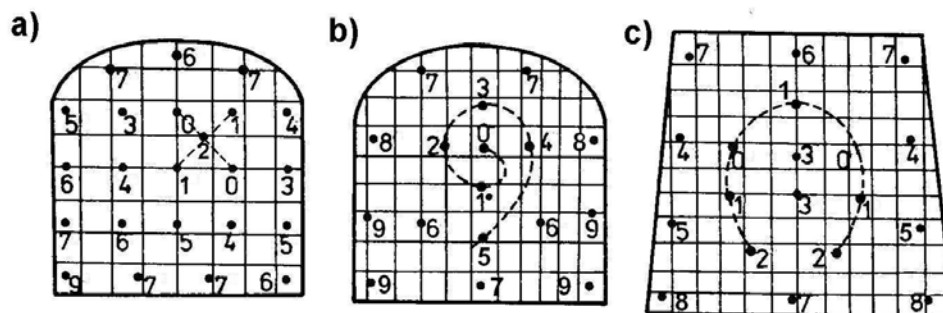


Obr. 5.6 Schéma časových fází odpalu při řízeném výlomu

a) fáze při hladkém odpalu; I. – zálomové vrty, II. – přibírkové vrty, III. – obrysové vrty

b) časové fáze odpalu při presplittingu; A – obrysové vrty, B – zálomové vrty, C – přibírkové vrty

*Bezzálomový způsob ražení* je umožněn specifickými vlastnostmi milisekundového roznětu náloží s použitím elektrických rozbušek DeM (milisekundové rozbušky s intervalem zpoždění mezi jednotlivými stupni 15 až 23 ms). Vrtné schéma je tvořeno paralelními vrty kolnými k teoretické rovině čelby, obrysové vrty jsou jako obvykle z prováděcích důvodů mírně úklonné. Uspořádání vrtů a zejména časování jednotlivých náloží tvoří pravidelné sestavy, které byly vyzkoušeny praktickým používáním (Obr. 5.7).



Obr. 5.7 Sestavy pro bezzálomové ražení

a) čtverec; b) spirála; c) podkova

Rozpojování horniny při bezzálomovém způsobu ražení probíhá tak, že výbuch každé nálože vytvoří v jejím okolí soustavu trhlin, které jsou fyzikálním rozhraním pro napětové vlny vzniklé výbuchem milisekundově zpožděných následujících náloží. Odpal celé soustavy vyvolává velmi složité odrazy a vzájemnou interferenci napětových vln, z nichž rezultuje komplikované prostorové namáhání způsobující vyhovující rozpojení horniny. Velkou nevýhodou bezzálomového ražení je velký odhoz rozpojené horniny od čelby, který oproti ražení se zálomem dosahuje až pětinasobných hodnot. Pro větší tunelové profily je proto tento postup nevhodný.

## 6. VÝZTUŽ ŠTOL A TUNELŮ

### 6.1 Základní názvosloví

Podle způsobu provádění rozeznáváme:

- *Ražená podzemní díla*, u nichž celá výstavba probíhá v podzemí bez zásahu do nadloží. Tento typ se uplatňuje především při uložení podzemního díla ve větší hloubce (nadloží díla má mocnost větší než šířka výrubu). Za cenu vyšších nákladů a provedení náročných technických opatření lze tímto způsobem realizovat i mělce uložené tunely, čímž se značně sníží negativní ovlivnění životního prostředí.
- *Podzemní díla prováděná z povrchu*, u nichž se nejčastěji výstavba díla provádí v otevřené jámě a po vybudování se hotové dílo zasype (tzv. *hloubené tunely*). Jedná se zpravidla o objekty s nízkým nadložím nebo budované bezprostředně pod povrchem území. Narušení životního prostředí při tomto způsobu provádění je zpravidla během výstavby značné a stavební postup by měl otevření jámy omezovat na co nejkratší dobu. Zvláštním typem podzemních konstrukcí prováděných z povrchu jsou *tenkostěnné přesypávané tunely*.

Provádění ražených podzemních objektů - *tunelování* - zahrnuje veškeré práce, spojené s vytvořením projektovaných podzemních prostor a zajištěním jejich stability jak v průběhu provádění, tak za provozu v průběhu životnosti díla. K dalším činnostem patří např. doprava v tunelu případně v přístupové šachtě, čerpání přítoků podzemní vody, větrání, měřičské práce apod.

Podstatnými složkami tunelovacích prací při stavbě podzemního díla jsou:

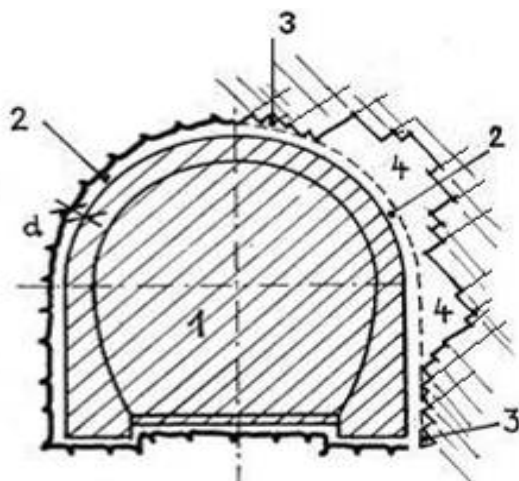
- *Rubání*, tj. rozpojování horniny ve výrubu požadovaného tvaru a velikosti. Rozpojování se provádí buď trhacími pracemi (pomocí výbušnin), nebo s využitím tunelovacích strojů na *čelbě tunelu*.
- *Vyztužování*, které je buď provizorní (dočasné), nebo definitivní (trvalé).

Činnost spojená s rozpojením, naložením, odvozem rubaniny a provizorním vyztužením výrubu se nazývá *ražba*.

Rubání, jakožto prvotní složka tunelování, je činnost, kterou se získává volný prostor v podzemí, tzv. *Výrub*. Rozpojená hornina (mechanicky či trhacími pracemi) se nazývá *rubanina*.

S výrubem souvisí řada pojmů tunelářské terminologie, které označují speciální typy výrubů:

- *dílčí výlom* - výrub části průřezu štoly nebo tunelu, *plný výlom* - výrub celého (plného) profilu tunelu,
- *teoretický výlom* - je omezen teoretickým rubem ostění (Obr. 6.1),

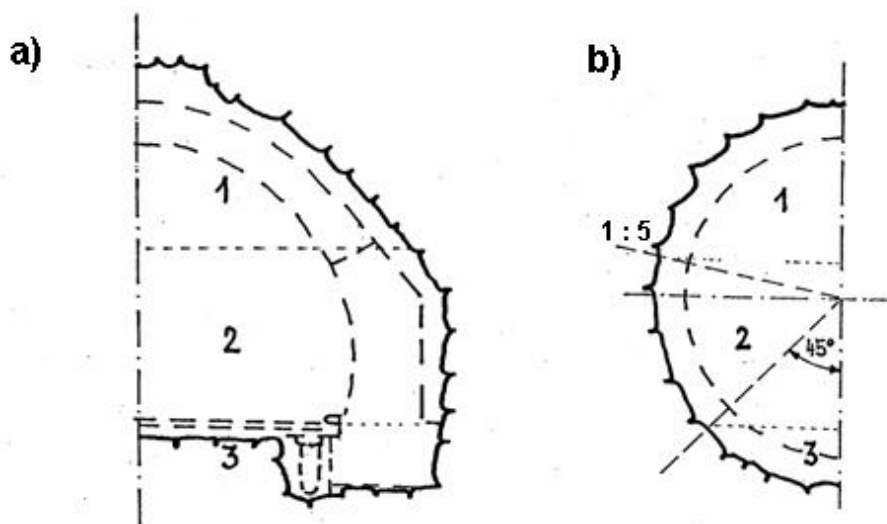


Obr. 6. 1 Typy výlomů

1 – teoretický výlom 2 – vícevýlom 3, 4 - nadvýlomy

- *přerub* - vyrubáný prostor, ležící za teoretickým rubem ostění. Dělí se na zvětšený výrub (vícevýlom) a nadměrný výrub (nadvýlom). *Vícevýlom* je projektovaný přerub, který je nutný pro provedení navrhované úpravy rubu zdiva (historicky zejména izolací, u současných technologií již prakticky vymizel). *Nadvýlom* je nechtěný přerub, který vzniká jednak v důsledku použití určité technologie ražby (trhací práce), jednak toho, že horninový masiv vytváří velmi specifické podmínky pro ražbu, a to jak svým nestejnorodým složením (nehomogenitou), tak zejména tektonickým porušením. Nadvýlom může být klasifikován jako zaviněný či nezaviněný podle toho, zda byla dodržena technologie prací, předepsaná pro určitý typ geologických podmínek. Tato klasifikace je velmi důležitá z hlediska fakturačního – nezaviněné nadvýlomy jsou investorem hrazeny, zaviněné nikoliv.

Vyrubáný tunelový průřez je názvoslovně rozdělen na tři části. Horní část výrubu, obvykle v jeho zaklenuté části, se nazývá *přístropí* neboli *kalota*. Pruh výrubu, který spojuje obě postranní (opěrové) části tunelu, se nazývá *opěří*. Spodní část výrubu, v níž se obvykle nachází spodní klenba či základy opěr, má název *dno* neboli *počva*.



Obr. 6. 2 Části výrubu

1 – kalota 2 – opěří 3 – dno (spodní klenba)

## VÝZTUŽ ŠTOL A TUNELŮ

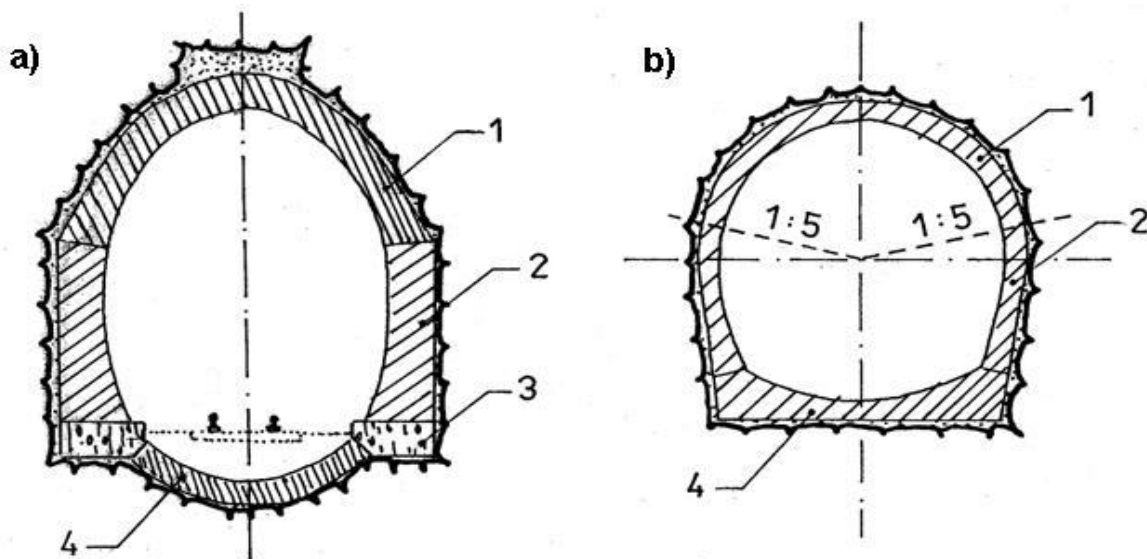
*Vyztužování* je druhou zásadní složkou tunelování. Zajišťuje se jím prostor vytvořený v podzemí rubáním. Vyztužení nahrazuje původní působení vyrubané horniny na líc výrubu a zabráňuje porušení či nadměrným deformacím horninového masivu v okolí výrubu. Zásadně se rozeznává výztuž

- dočasná (provizorní) – např. výdřeva, svorníková výztuž, ocelová žebra, stříkaný beton a vhodné kombinace těchto typů,
- trvalá (definitivní) - např. ostění ze stříkaného betonu, monolitické betonové ostění, dílcové (tubingové) ostění.

*Dočasnou výztuží* se rozumí spolehlivé zajištění stability díla a bezpečnosti pracujících během výstavby. Obvykle zůstává zabudována v podzemí do konce své (obvykle omezené) životnosti a není proto uvažována jako dlouhodobě staticky spolupůsobící součást ostění provozovaného podzemního díla.

*Trvalá výztuž (ostění)* nahrazuje staticky po dokončení výstavby podzemního díla dočasnou výztuž a navíc je mnohostrannou funkční součástí podzemního díla (souvisí s ním podstatná část technologického vybavení tunelu). Musí být navržena s ohledem na celkovou předpokládanou životnost objektu.

Ostění podzemních staveb je tvořeno několika konstruktivními částmi nosného charakteru: Stabilitu kaloty zajišťuje *horní klenba*, boční části výrubu zajišťují *opěry*, které mohou být uloženy buď na *základech opěr*, nebo navazují přímo na *spodní klenbu*. Tyto části jsou přesně rozlišitelné u tuhých ostění klasického typu, u moderních ostění pružných (zejména kruhových) je rozlišení jednotlivých částí formální, umožňuje však poměrně jednoznačnou orientaci v profilu (Obr. 6.3).



Obr. 6.3 Části ostění ražených tunelů

- a) tunelové ostění klasického typu s tuhými opěrami; b) ostění hydrotechnické štoly;  
1 – horní klenba, 2 – opěra, 3 – základ opěry, 4 – spodní klenba

V současnosti nejpoužívanější konvenční způsob ražby tunelů, kterým je *Nová rakouská tunelovací metoda*, zajišťuje výrub *dvouplášťovým ostěním*. Provizorní vyztužení v průběhu ražby zajišťuje tzv. *primární ostění* z armovaného stříkaného betonu, definitivní vyztužení je tvořeno *sekundárním ostěním*, které může být z železového i prostého betonu.

## 6.2 Typy provizorní výztuže

V Podzemním výukovém středisku Josef je instalováno několik typů provizorní výztuže štol a tunelů:

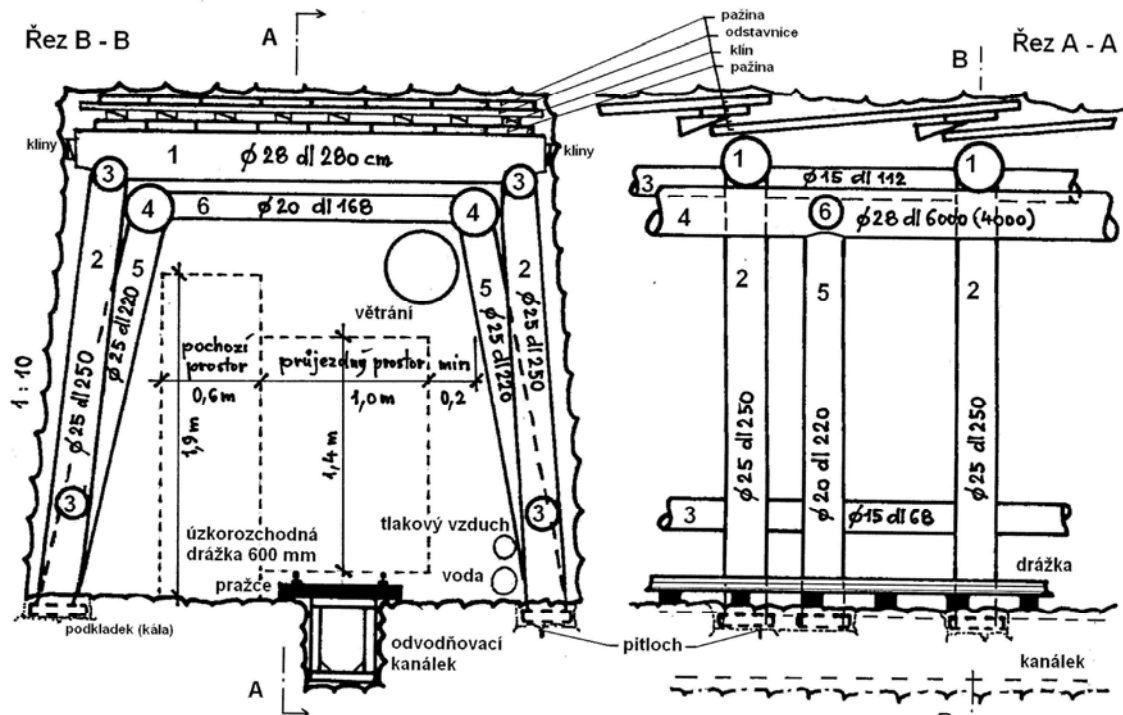
- výdřeva štoly,
- výdřeva staré Rakouské soustavy,
- poddajná ocelová výztuž typu k a TH,
- příhradová ocelová výztuž,
- svorníková výztuž,
- stříkaný beton.

### 6.2.1 Výdřeva štoly

Výdřeva neboli provizorní výstroj z dřevěných prvků, se již v současnosti pro zajištění štol ani tunelů v kompletním provedení nepoužívá. Pouze výjimečně, v případě neočekávaně vysokých tlaků horniny, se mohou použít pro zvýšení únosnosti jiných typů výstroje jednotlivé dřevěné prvky (rozpěry, podpůrné stojky, výjimečně polygonové vyztužení). Jejich předností v havarijních podmínkách je rychlá instalace (díky snadné úpravě dřevěných prvků podle konkrétních podmínek), kvalitní aktivace (utažení) pomocí dřevěných klínů a varovné projevy dřeva při přetížení.

Základní výdřeva štoly sestává z nosných veřejí, které mají v podélném směru rozteč 0,8 až 1,5 m, v závislosti na velikosti působících horninových tlaků, a z pažin přiléhajících k líci výrubu. Klasickou lichoběžníkovou veřej tvoří podvoj podpíraný stojkami, mezi jednotlivými veřejemi jsou rozpěry (Obr. 6.4). Prostor mezi veřejemi je chráněn zatahovanými nebo zaháněnými pažinami, které chrání pracovní prostor štoly proti opadávající hornině ze stropu, případně i z boků výrubu. Pažiny se používají buď dřevěné, ocelové nebo železobetonové.

V případě, že je nutno základní výdřevu štoly dodatečně zesílit, používá se podélných podvlaků se samostatnými stojkami. Tato konstrukce umožňuje přenést zvětšené horninové tlaky svislé i vodorovné, projevující se např. v poruchových zónách.



Obr. 6.4 Vydřeva štoly s podvlaky

1 – podvoj, 2 – stojky podvoje, 3 – rozpěry veřejí, 4 – podvlaky, 5 – stojky podvlaků, 6 – rozpěry podvlaků

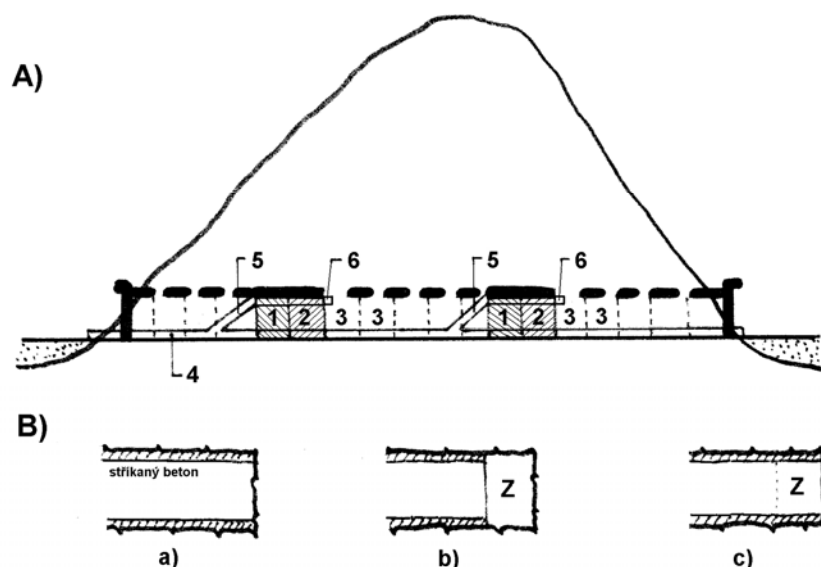
Lichoběžníková štola byla nedílnou součástí klasických tunelovacích soustav, které téměř výhradně používaly vydřevu jako provizorní výztuž celého výrubu.

### 6.2.2 Vydřeva tunelů

Pro klasické tunelovací soustavy s vydřevou je charakteristické otevírání plného výlomu v příčném řezu pomocí dílčích výrubů. Jednotlivé soustavy – rakouská, italská, německá (jádrová), belgická (podchycování), anglická - se od sebe odlišují tzv. schématem pobírání, tj. umístěním a pořadím otevírání dílčích výrubů. Pro rozvinutí prací v podélném směru (tzv. běh prací) byl u klasických tunelovacích soustav typický pilířový systém ražení (Obr. 6.1A). Při tomto systému výlomy i výstavba definitivního ostění tvořily uzavřený celek v jednom pilíři (pasu), dlouhém 6 až 8 m. Současně však výstavba probíhala na více pracovištích vytvořených ze směrové štoly, která byla celým horským masivem proražena jako první.

Je zajímavé, že rychlost ražení u klasických metod v běžných geologických podmínkách se nikterak výrazně nelišila od postupů dosahovaných při moderním konvenčním tunelování. Nasazení velkého počtu dělníků na řadě čelb, otevřených po délce tunelu, umožňovalo dosáhnout výkonů srovnatelných s výkony dosahovanými většinou na jedné nebo nejvýše dvou čelbách, otvíraných u současných metod. Značná četnost vážných úrazů a dnes zcela neakceptovatelné podmínky hygieny a bezpečnosti práce však byly daní za obdivuhodné výkony starých tunelářů.

## VÝZTUŽ ŠTOL A TUNELŮ

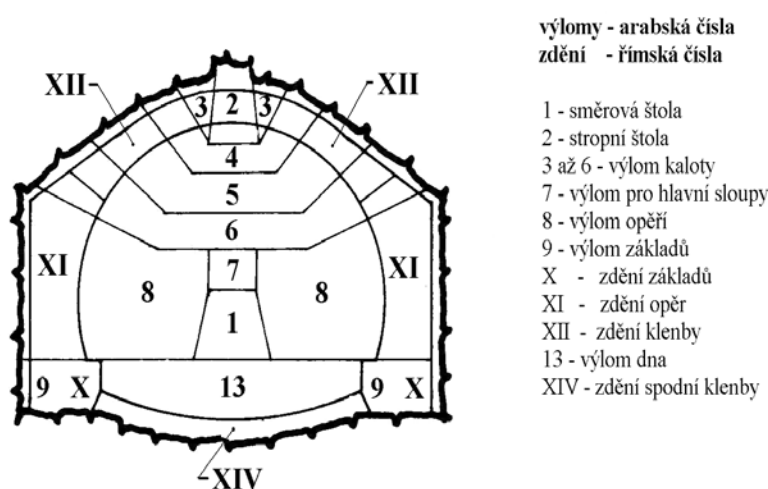


Obr. 6. 5 Schéma systémů ražení

- A) Klasický pilířový systém ražení; 1,2 – již vybudované tunelové pasy, 3 – pasy následné ražby, 4 – směrová štola, 5 – šikmé dostropní zálomy, 6 – postupně předrážená stropní štola
- B) Moderní prstencový systém ražení; a) první krok - výrub je vyztužen až k čelbě, b) druhý krok - provedení záběrového prstence bez výztuže, c) třetí krok - provede se vyztužení v záběrovém prstenci, z – záběrový prstenec

Nejnámější a z historického hlediska pravděpodobně i nejpoužívanější klasickou tunelovací soustavou byla *Rakouská soustava*. Ražba se prováděla podle přehledného schématu pobírání, tj. rozvinutí prací v příčném řezu (Obr. 6.6), soliterně v jednotlivých pilířích rozfáraných pomocí dostropních zálomů (Obr. 6.7, 6.8). Dílčími sestupy z postupně předrážené stropní štoly se došlo za neustálého předřevování dílčích výrubů až ke konečné výdřevě plného výlomu až na počvu tunelu (Obr. 6.9, 6.10). Tu bylo nutno zkombinovat se zednickou výdřevou, tj. skružemi a jejich podepřením, neboť v průběhu budování definitivní výztuže musela minérská výdřeva stále zajišťovat stabilitu výrubu (Obr. 6.11).

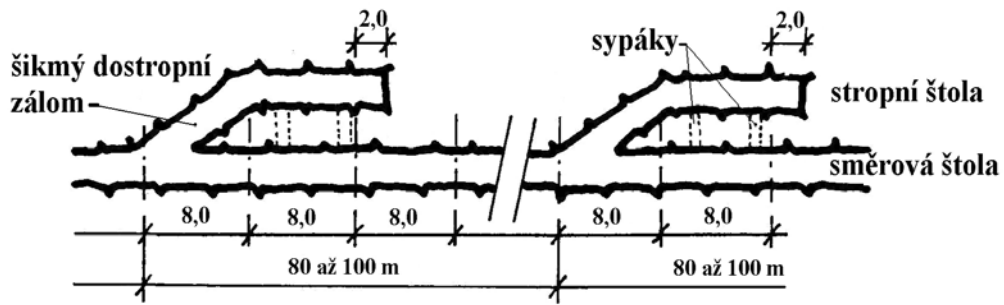
Definitivní vyztužení tunelu se provádělo obezdívkou, obvykle kamennou, případně kombinovanou – horní klenba z kamenných klenáků a opěry z prostého betonu. Teprve po dokončení definitivního ostění se cyklus opakoval v sousedním pilíři.



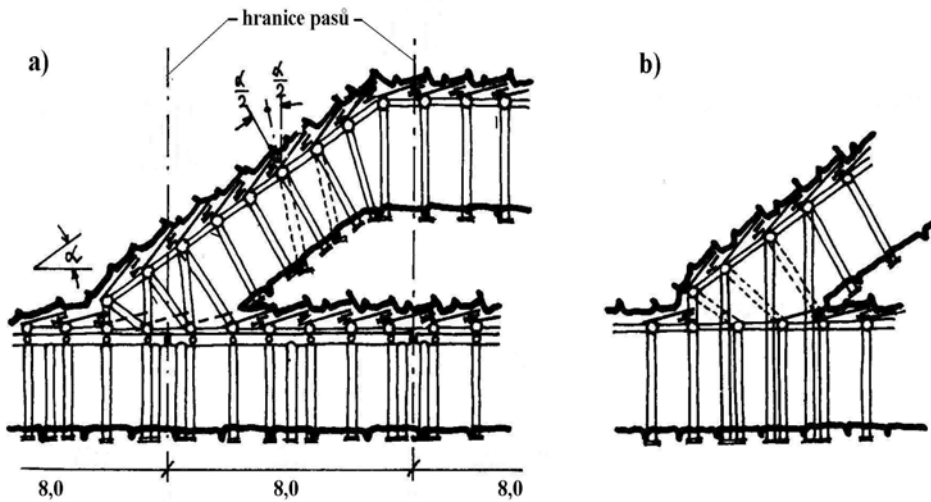
Obr. 6. 6 Schéma pobírání klasické Rakouské soustavy



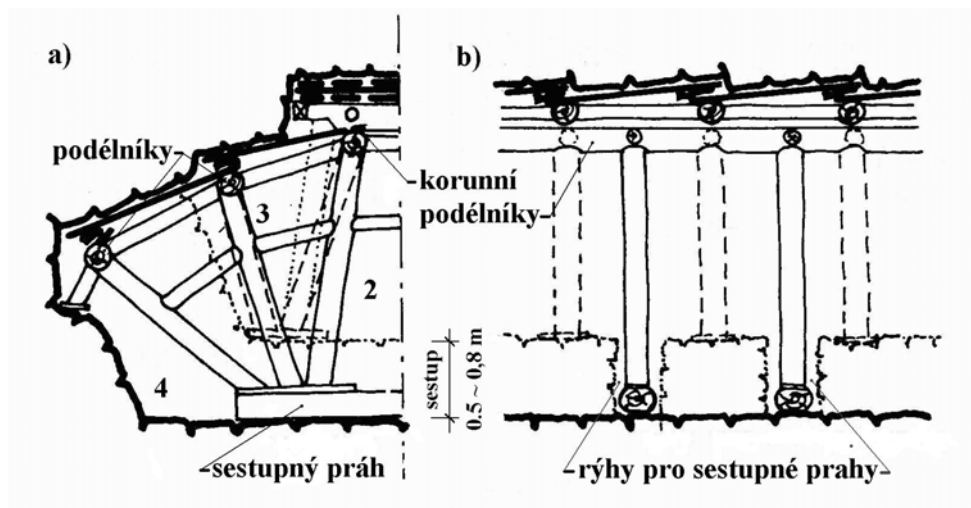
# VÝZTUŽ ŠTOL A TUNELŮ



Obr. 6. 7 Rakouská soustava - schéma dostropních zálomů



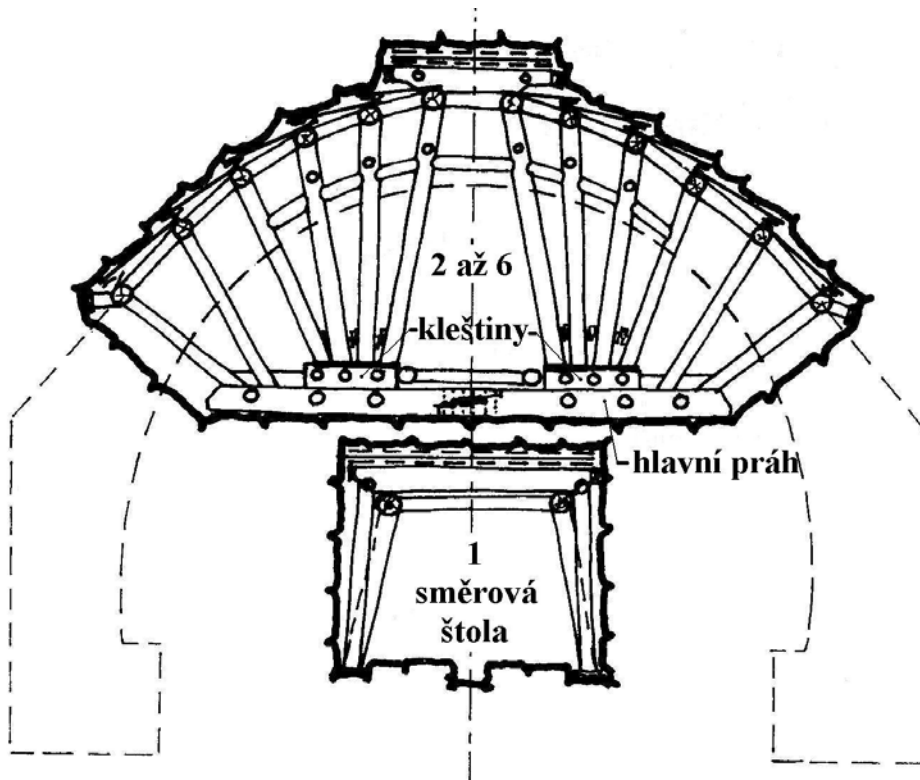
Obr. 6. 8 Alternativy výdřevy šikmého dostropního zálomu



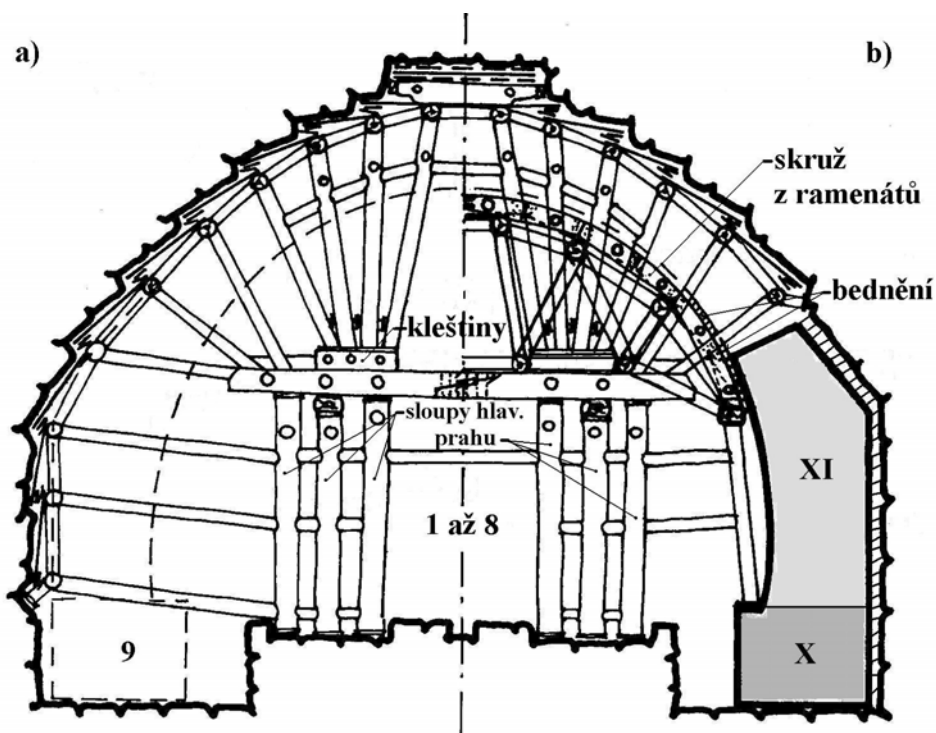
Obr. 6. 9 Rakouská soustava - schéma sestupů v kalotě

a) příčný řez; b) podélný řez

2 – stropní štola 3 – rozšíření stropní štoly 4 – první sestup a další rozšíření kaloty



Obr. 6. 10 Rakouská soustava - výdřeva kaloty



Obr. 6. 11 Rakouská soustava – plný výlom a výstavba definitivního ostění

a) minérská výdřeva plného výlomu; b) hotová opěra + zednická výdřeva pro horní klenbu



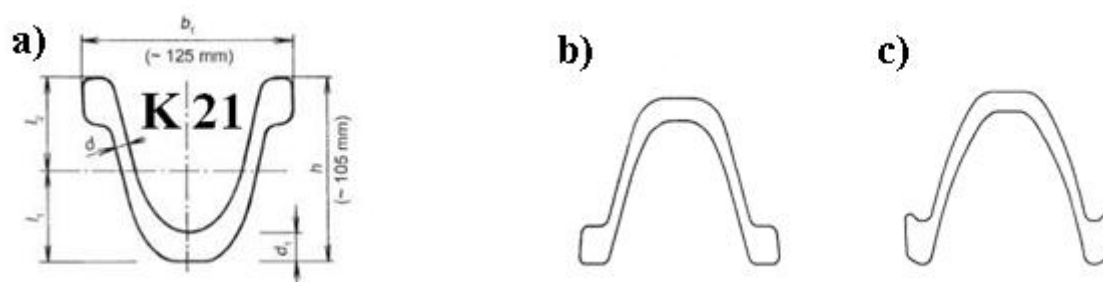
Obr. 6.12 Rakouská soustava – modelová výdřeva ve štole Josef  
a) výdřeva plného výlomu; b) detail výdřevy kaloty s pažením

## 6.2.3 Ocelová výztuž

*Ocelová výztuž* je v současnosti nejrozšířenějším typem provizorní žebrové výztuže. Protože jde o žebrové prvky, je plošné zajištění (zapažení) stropu provedeno buď pažinami, které jsou k líci výrubu aktivovány dřevěnými klíny, nebo častěji je výrub mezi žebry zajišťován stříkaným betonem. V kombinaci s ocelovými žebry se používají plechové pažiny, nejčastěji typu Union, případně pažiny železobetonové. Žebra mohou být provedena z ocelových prvků různého příčného průřezu. Používají se běžné válcované profily I, U nebo HEB, dále poddajné profily typu TH, hvězdicové profily a příhradová žebra.

*Válcované profily I a U* se používají pouze výjimečně pro některé atypické profily, např. pro štoly pravoúhlého tvaru; spojování jednotlivých částí se provádí pomocí styčnickových plechů a šroubů. Únosné profily HEB se občas používají pro velké tunely jako výztužná žebra, která jsou schopná přenášet okamžitě po zabudování značná zatížení.

*Poddajná ocelová výztuž typu K (korýtková výstroj) nebo typu TH (Touissant – Heitzmann)* se válcuje se v několika váhových typech (K 21, k 24, k 28 a TH 16,5, 21,29,34,36 – číslo znamená váhu 1 bm), které mají různě velké průřezové moduly  $W$  a mírně se liší i svou celkovou velikostí (Obr. 6.13). Tvarově jsou oba typy principiálně stejné, liší se jen nepodstatnými odchylkami příčného řezu.

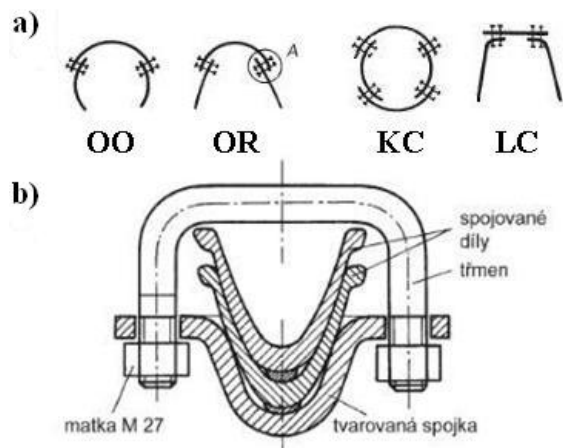


Obr. 6.13 Poddajná ocelová výztuž – průřezová velikost a tvar  
a) základní rozměry typu k 21; b) průřez K; c) průřez TH

Poddajná výztuž se vyrábí v rozsáhlé velikostní škále typizovaných profilů podkovovitých (s obloukovými – typ OO i rovnými konci – typ OR), kruhových – typ KC a lichoběžníkových – typ LC (Obr. 44). Výztuž tohoto typu je v příčném profilu dělená na

## VÝZTUŽ ŠTOL A TUNELŮ

několik částí, které se spojují na překryvnou délku min. 40 cm pomocí dvojice třmenů se šrouby.

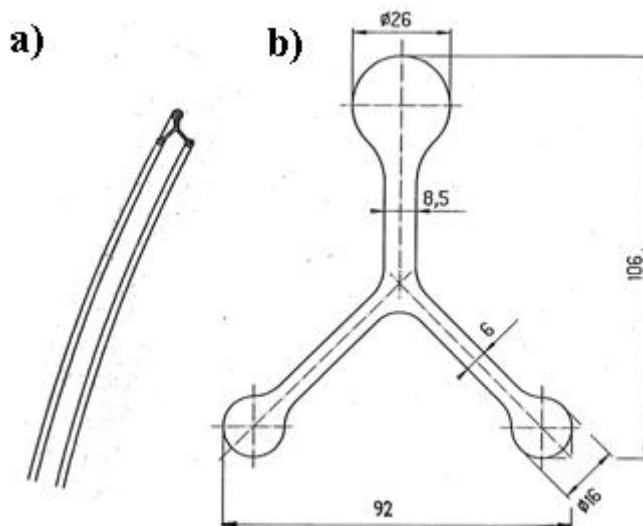


Obr. 6. 14 Poddajná ocelová výztuž – profily a spojování dílů

a) schéma profilů; b) detail spojování dílů výztuže

Tření, které vznikne mezi jednotlivými spojovanými díly při dotažení třmenových šroubů, umožňuje při nebezpečném přetížení výstroje proklouznutí dílů ve spoji, čímž dojde ke snížení tlaku na výstroj. Výstroj se neporuší a zůstává nadále funkční; celý proces se může i několikrát opakovat, čehož se využívá zejména u dlouhodobě provozovaných důlních chodeb (překopů), ovlivňovaných těžbou v různých partiích ložiska. u velkých tunelů musí být díly výztuže nahýbány podle konkrétních projektových požadavků. Pro kombinaci se stříkaným betonem je vhodné ohýbat díly výztuže korýtkem dovnitř tunelu (lepší zastříkání žebra), i když standardní způsob ohýbání je právě opačný.

*Hvězdicová ocelová výstroj* je moderní ocelová výstroj pro podzemní výruby stavebního typu (Obr. 6.15), která umožňuje dokonalé zastříkání betonem. Spojování jednotlivých dílů se provádí pomocí speciálních příložek se šrouby.

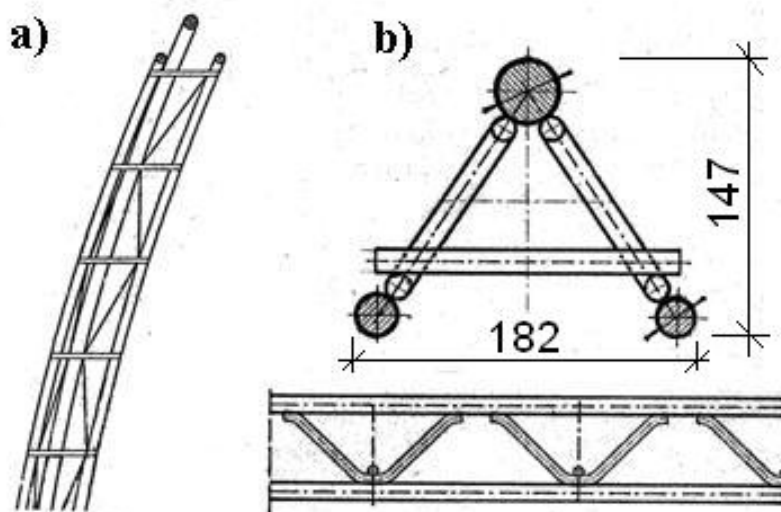


Obr. 6. 15 Hvězdicová ocelová výstroj

a) výztužné žebro; b) příčný profil

## VÝZTUŽ ŠTOL A TUNELŮ

*Příhradová výstroj* je nejméně frekventovanějším typem žebrové ocelové výstroje v případě, že je navrženo její zabudování do ostění ze stříkaného betonu. Je tvořena obvykle třemi (u velkých tunelů i čtyřmi) podélnými ocelovými profily, propojenými vložkami, které tvoří svařovanou příhradovinu ve všech postranních plochách (Obr. 6.16).



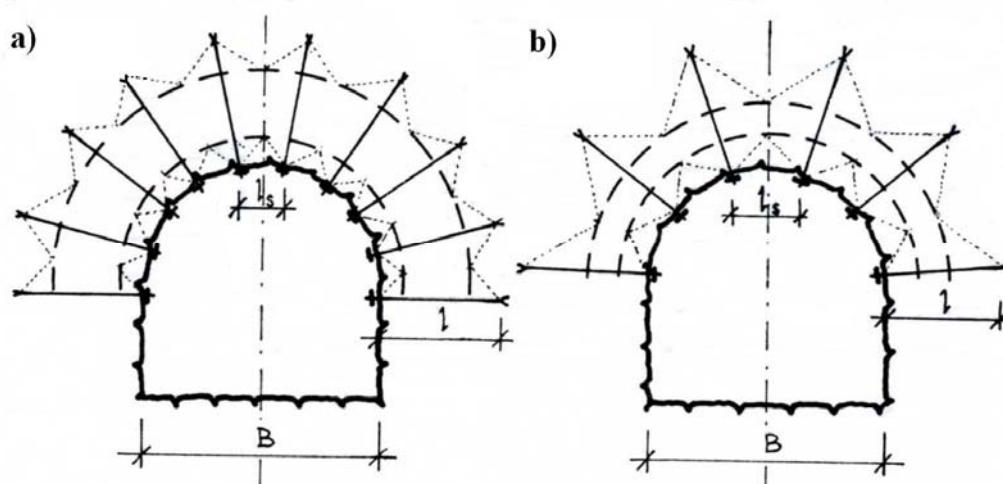
Obr. 6. 16 Příhradová výztuž

a) příhradové žebro; b) příčný a podélný profil

Při zastříkání příhradových žebor jednotlivé ocelové profily dokonale spolupůsobí s betonem, čímž se vytváří velmi únosné železobetonové dočasné ostění. Příhradová žebra se skládají z jednotlivých předem vyrobených dílů, které se spojují pomocí styčných plechů a šroubů. K příhradové výstroji se dobře připevňuje síťová armatura.

### 6.2.4 Svorníková výztuž

*Svorníková výztuž* není vestavěna klasickým způsobem dovnitř výrubu. Tažené tyčové ocelové či sklolaminátové prvky, které se vkládají do vrtů, přikotvují líc výrubu do vzdálenější oblasti horninového masivu. Jejich působení vyvolává radiální zatížení na líc výrubu, čímž se mění nevýhodný jednoosý stav napjatosti na lici výrubu, který nastává bezprostředně po provedení výrubu, na stav dvojosé (resp. tříosé) napjatosti. Ve víceosém stavu napjatosti je únosnost horninového masivu podstatně vyšší, k čemuž svorníková výztuž evidentně napomáhá. Svorníky se mohou po zabudování předeprnout, čímž dojde k okamžitému aktivnímu podepření líce výlomu a zpevnění oblasti kolem výrubu (Obr. 6.17), nebo se líc výrubu nechá v přijatelné míře deformovat, čímž dojde k jejich postupné aktivaci (napnutí) a tím k vytvoření rovnovážného stavu mezi horninovým masivem a svorníkovou výstrojí. Optimální délka svorníků se pohybuje okolo 1/3 šířky výrubu, vzdálenost mezi svorníky při systematickém kotvení má být maximálně polovina jejich délky.



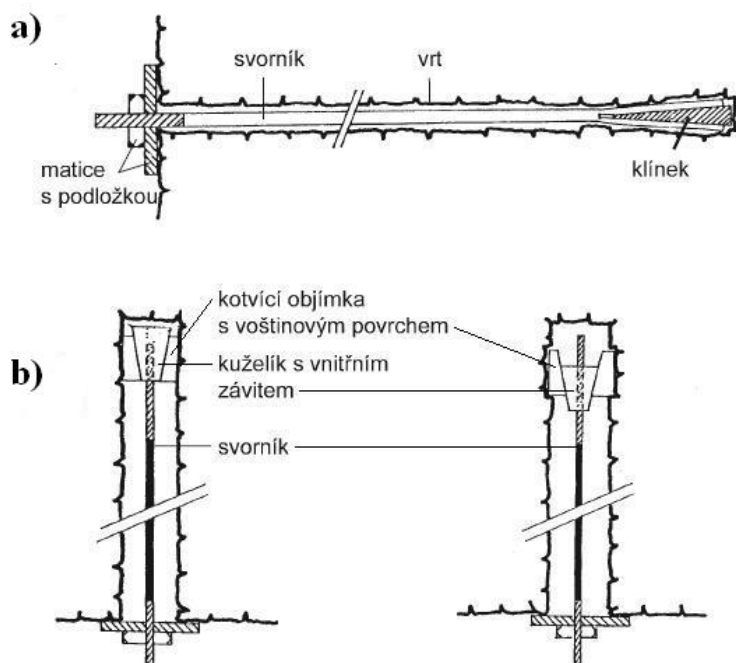
Obr. 6. 17 Zpevnění oblasti kolem výrubu svorníkovou výztuží

a) při poměru  $l_s/l = 3$ ; b) při poměru  $l_s/l = 2$

Svorník se skládá z hlavy, dříku a paty (kořene). Může být upnut v hornině pouze v patě nebo se upnutí do horniny realizuje po celé délce dříku. V obou případech lze upnutí realizovat mechanicky nebo pomocí tmelů (cementová malta, dvousložkové pryskyřice).

K nejjednodušším v patě mechanicky upínaným svorníkům patří *klínkový* svorník, který se aktivuje narážením ocelové tyče (dříku) na klínek, čímž se zatlačuje naříznutá patní část svorníku do stěn vrtu. *Šroubový* svorník se aktivuje otáčením celého svorníku; závit v patě svorníku vyvolá posun kuželu po dříku, čímž dochází k roztažení zazubených čelistí do stěny vrtu (Obr. 6.18).

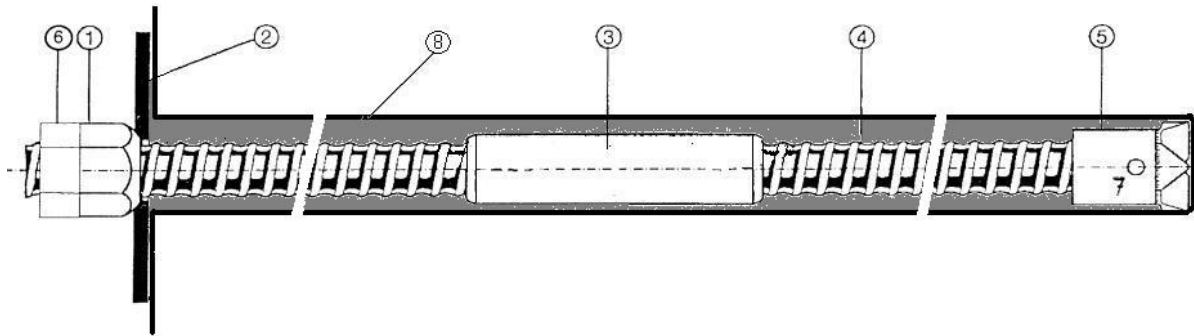
Mechanické upnutí po celé délce svorníku se nejčastěji realizuje u tzv. *hydraulických svorníků*, které se aktivují tlakem vody, přiváděné přes speciální hlavu do dutého svorníkového dříku z vysokotažného ocelového plechu. Zdeformovaný plech dříku se vysokým tlakem vyrovná a přitlačí ke stěně vrtu. Přenos sil pak zajišťuje výrazné tření mezi dříkem svorníku a horninou.



Obr. 6. 18 Typy svorníků mechanicky upínaných v patě

Svorníky upínané pomocí tmelu jsou v zásadě dvojího typu – buď se upnutí realizuje pomocí dvousložkové pryskyřice nebo pomocí cementové malty. Upnutí pryskyřicí využívají tzv. *lepené svorníky*. Do vrtu se vloží v požadované délce upnutí polyethylenové ampule obsahující odděleně jednotlivé složky tmelu (pryskyřici a tužidlo). Zasunutím svorníku do vrtu a jeho následným rotačním pohybem dojde k roztržení obalu a rozmíchání jednotlivých složek. K vytvrdnutí pryskyřice dojde v průběhu několika minut a svorník je připraven k přenosu sil. Lepené svorníky lze užít i do vlhkých a porušených hornin.

*Upnutí cementovou maltou* po celé délce svorníku se provádí v zásadě pomocí injektáže, která může být určitým způsobem modifikována (vsunutí svorníku do vrtu vyplněného cementovou maltou – tzv. SN svorníky, nízkotlaká injektáž od ústí nebo od paty vrtu- tzv. PG svorníky, injektáž vnitřním kanálkem samozávrtného svorníku s rozšiřovací korunkou - typ IBO či DSI (Obr. 6.19). Při provádění injektáže musí být vždy zajištěno odvědušení vrtu. Svorníkovou výstroj lze efektivně kombinovat s dalšími vystrojovacími prvky – armovacími sítěmi, ocelovou žebrovou výstrojí a stříkaným betonem. Spojením těchto prvků lze vytvořit kvalitní dočasnou výstroj podzemního díla, která je typická pro moderní tunelářské metody.



Obr. 6. 19 Samozávrtný svorník

1 – utahovací matice 2 – ocelová podložka 3 – spojník 4 – dřík svorníku 5 – vrtná korunka 6 – zajišťovací matice 7 – injektážní otvor 8 – vrt zaplněný cementovou maltou

### 6.2.5 Stříkaný beton

*Stříkaný beton* je bez bednění ukládaná (nástříkem nanášená) betonová směs se zrnitostí až 16 mm; nejčastěji se používá směs se zrny do 8 mm, s urychlovačem tuhnutí a přísadami, se spotřebou cementu 400 až 600 kg/m<sup>3</sup>. Nástrík se provádí dálkově ovládaným manipulátorem (ve stísněných prostorách ručně obsluhovanou stříkací pistolí) ve vrstvách tl. 5 až 15 cm, do nichž jsou postupně zastříkávány armovací sítě a výztužná ocelová žebra dle požadavků projektu (Obr. 6.20). Po zatuhnutí lze stříkat vrstvy další, při čemž spojení obou vrstev je velmi dokonalé.



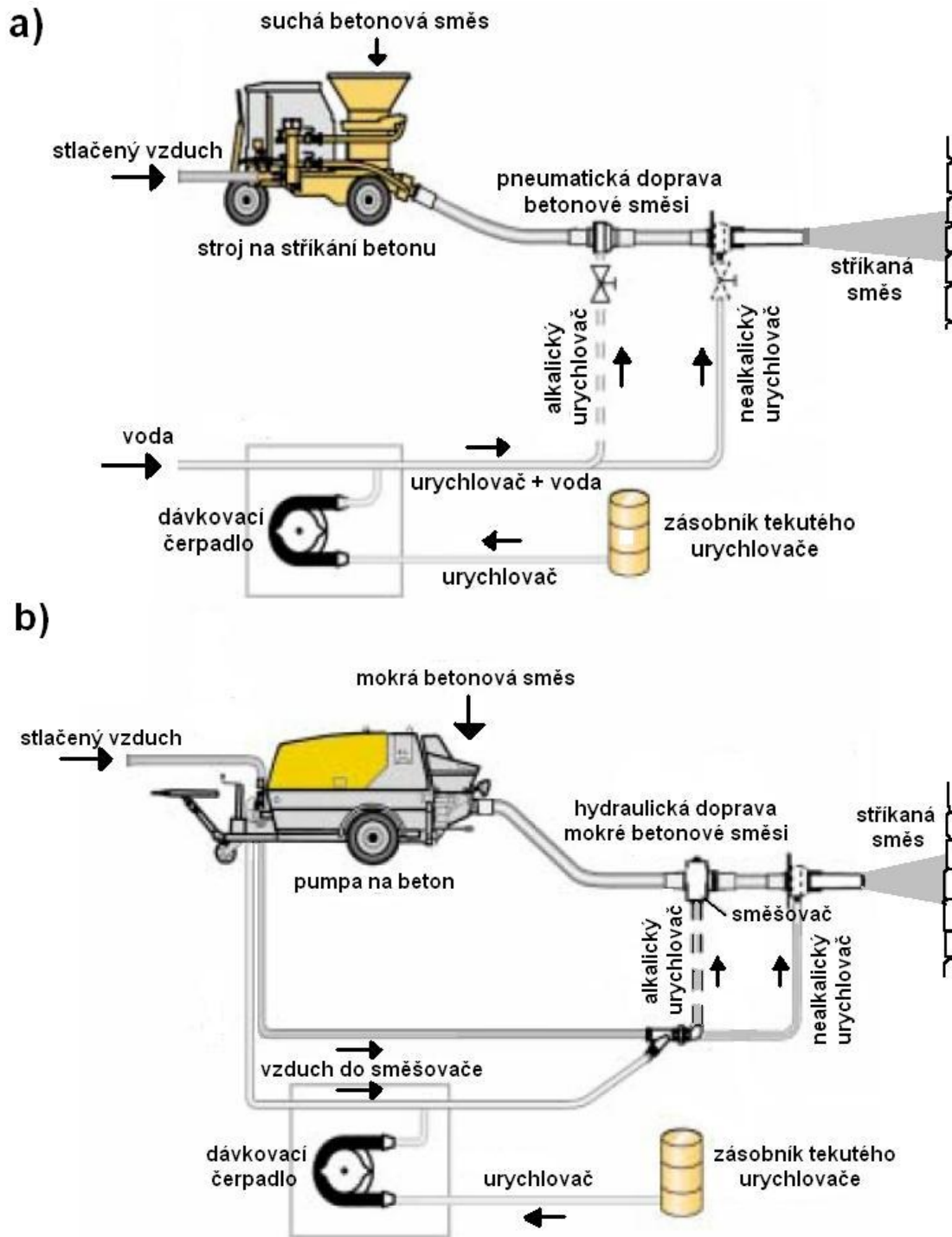
Obr. 6. 20 Výztužné síť a příhradová žebra před zastříkáním betonem

Výroba stříkaného betonu se provádí suchou nebo mokrou cestou, které se liší jednak technologií přípravy stříkané směsi (Obr. 6.21), jednak velikostí odpadu při stříkání. Suchý stříkaný beton má výrazně vyšší odpad (při stříkání na strop až 30 % směsi, která se nesmí znovu používat), lze jej však lépe aplikovat i na mokré povrch výrubu. Množství odpadu u mokrého stříkaného betonu se pohybuje do 10 %. Díky urychlovači tuhnutí mají stříkané betony rychlý nárůst pevnosti (v průběhu 8 hodin se může pevnost nastříkaného betonu pohybovat okolo 3 až 5 MPa), takže jsou schopné přenést nárůst horninových tlaků, který probíhá pomaleji.

Speciálním typem stříkaného betonu je stříkaný drátkobeton. Jedná se o stříkaný beton s rozptýlenou výztuží z ocelových drátků, která dává stříkanému betonu nové kvality - zejména houževnatost a značně zvýšenou tahovou pevnost. Při množství cca 80 kg drátků v 1 m<sup>3</sup> směsi není problémem docílit pevnosti stříkaného betonu 4 až 5 MPa. Použití drátkobetonu odstraňuje z pracovního cyklu pracnou a časově náročnou operaci upevňování armovacích sítí před nastříkáním betonu.



# VÝZTUŽ ŠTOL A TUNELŮ



Obr. 6.21 Schematické znázornění přípravy stříkaného betonu

a) suchý SB; b) mokrý SB

## 7. VYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN

Úkolem klasifikace hornin je podat správný a výstižný obraz o rozhodujících vlastnostech horninového prostředí. Vývoj geotechnických klasifikací hornin a horninových masivů je spjat s rozvojem poznání mechaniky hornin a s vývojem tunelovacích metod. Je možné konstatovat, že největší vývoj klasifikací probíhal v nedávné době (70. a 80. léta 20. století). Klasifikace hornin se dělí obecně do tří skupin:

- popisné klasifikace,
- číselné klasifikace,
- indexové klasifikace.

Popisné klasifikace rozdělují horniny obvykle podle toho, jak se horniny projevují ve výrubu, aniž by blíže určovaly jejich fyzikální a mechanické vlastnosti.

Číselné klasifikace se snaží vystihnout chování hornin při tunelování jediným ukazatelem, obvykle spojeným s jednou nebo s více vlastnostmi horniny či horninového masivu.

Indexové klasifikace horninových masivů patří mezi moderní klasifikace, které hodnotí masiv podle více parametrů rozhodujících z hlediska tunelování (pevnost horniny, oslabení masivu diskontinuitami, vliv vody apod.).

### 7.1 Klasifikace podle ražnosti (ON 737508)

Klasifikace podle ražnosti (ON 737508) je zástupcem popisných klasifikací a je uvedena v tabulce 7.1.

Stupeň ražnosti	Bližší popis horniny	Vystrojení výrubu
lité skála	Horniny celistvé, blokovité, stabilní, velmi tvrdé a neztvářené. Netlačivé; není třeba pažit. Rozpojování horniny je velmi nesnadné, vyznačující se velkým počtem krátkých vrtů a velkou spotřebou travin	Výstroj není třeba. Pokud se trvalá výstroj-provádí, má charakter jen obkladní
I. stupeň ražnosti	Horniny soudržné, ale rozpukané nebo vrstevnaté, mírně tlačivé. Přítomnost vody může způsobit přeřazení do II. stupně ražnosti	Dočasná výstroj nutná Definitivní výstroj nosná
II. stupeň ražnosti	Horniny málo soudržné nebo zeminy silně tlačivé, vyžadující speciální postupy ražení. Potřeba travin malá. Přítomnost vody vyvolává silné tlaky a hornina nabývá charakteru III. stupně ražnosti	Dočasná výstroj je silně dimenzována. Definitivní výstroj mohutná, zpravidla se spodní klenbou
III. stupeň ražnosti	Horniny nebo zeminy nesoudržné, plastické nebo sypké. Přítomnost vody způsobuje bobtnání, rozbahnění, vytékání. Ražení vyžaduje mimořádně silné výstroje, zpravidla hnané s těsněním spar. Těžení se omezuje na odebrání horniny	Výstroj je mimořádně mohutně dimenzována a provádění vyžaduje zvláštních technologických postupů

Tab. 7.1 Klasifikace podle ražnosti

### 7.2 Klasifikace podle Protodjakonova

M. M. Protodjakonov (1908) přiřadil horninám součinitel pevnosti  $f_p$  na základě petrografického popisu horniny. Praktické určení součinitele pevnosti  $f_p$  je možné buď přímo

## VYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN

podle petrografického popisu z tab. 7.2 nebo podle pevnosti horniny v prostém tlaku (na opracovaném vzorku - krychlích), přičemž jednotka pevnosti v prostém tlaku je rovna 10 MPa, platí tedy:

pro horniny:

$$f_p = \frac{R_h}{10}$$

kde:  $R_h$  krychelná pevnost horniny v tlaku v [MPa]

pro zeminy nesoudržné:

$$f_p = \operatorname{tg} \varphi$$

kde:  $\varphi$  úhel vnitřního tření zeminy

pro zeminy soudržné:

$$f_p = \frac{\sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c}{\sigma}$$

kde:  $\varphi$  úhel vnitřního tření zeminy

$c$  soudržnost zeminy

Klasifikace podle Protodjakonova platí pro klasické tunelování za předpokladu vytvoření horninové klenby. Klasifikace nebere v úvahu porušení horninového masivu plochami nespojitosti. V tomto případě se pevnost horniny  $f_p$  redukuje pomocí redukčního koeficientu "a" nebo pomocí indexu RQD.

Redukce součinitele  $f_p$  pomocí koeficientu a

Při ražení tunelu v rozpukaném horninovém masivu se doporučuje opravit hodnotu koeficientu pevnosti Protodjakonova  $f_p$  redukčním koeficientem "a" (tab. 7.2):

$$f_{p,red} = f_p \cdot a$$

Intenzita rozpukání	Stupeň	Redukční koeficient a
slabé až velmi slabé	0 - 1	1
střední	2	0,80 – 1
silné	3	0,50 -0,80
velmi silné	4 -	0,20 - 0,50
mimořádně silné	-	-

Tab. 7.2 Oprava koeficientu pevnosti  $f_p$  redukčním koeficientem a

Redukce pomocí indexu RQD

Koeficienty pevnosti  $f_p$  je možné redukovat i pomocí indexu RQD užitím následujícího vztahu:

$$f_{p,red} = \frac{f_p \cdot R Q D}{100}$$

kde: RQD index RQD podle Deera

## VYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN

<i>Třída</i>	<i>Stupeň pevnosti hornin</i>	<i>Horniny</i>	<i>Součinitel pevnosti fp</i>	<i>Úhel tření horniny <math>\varphi</math> Protodjakonov</i>	<i>Objemová tíha horniny <math>\gamma</math> [kN/m<sup>3</sup>]</i>
I.	Nejtvrdší horniny	nejtvrdší, celistvé, pevné a hutné, křemence a čediče, jiné, mimořádně tvrdé horniny	20	87°	28,00 - 30,00
II.	Velmi tvrdé horniny	velmi tvrdé žulové horniny, křemitý porfyr, velmi tvrdá žula, křemitá břidlice, méně tvrdé křemence, nejtvrdší pískovce a vápence	15	85°	26,00 - 27,00
III.	Tvrdé	žula hutná a celistvá, velmi tvrdé pískovce a vápence, křemité rudné žíly, tvrdý slepenec, velmi tvrdé železné rudy	10	82°30′	25,00 - 26,00
III. a		tvrdé vápence, méně tvrdé žuly, pevné pískovce, mramory, dolomity, kyzy	8	80°	25
IV.	Dosti tvrdé horniny	obvyčejný pískovec, železné rudy středně tvrdé	6	75°	24
IV. a		písčité břidlice, břidličné pískovce	5		
V.	Středně tvrdé horniny	tvrdé hlinité břidlice, méně tvrdý pískovec a vápenec, měkký slepenec	4	75°	24
V. a		různorodé nepřilíš tvrdé břidlice, hutný slín	3	72°30′	23
VI.	Dosti měkké horniny	měkkébřidlice, měkký vápenec, křída, kamenná sůl, zmrzlá země, antracit, obvyčejný slín, rozrušený pískovec, měkké slepence a hlína promísená skaliny	2	65°	22,00 – 26,00
VI. a		hlína se štěrkem, rozrušená břidlice, oblázky se štěrkem, tvrdá hlína, tvrdé černé uhlí	2	65°	22,0 - 26,00
VII.	Měkké horniny	hutný jí, pevné hlíny, střední černé uhlí	1	45°	20,00 - 22,00
VII. a		lehká písčitá hlína, štěrk, spraš, měkké uhlí	0,8	40°	18,00 - 20,00
VIII.	Soudržné zeminy	ornice, rašelina, lehká písčitá hlína, vlhký písek	0,6	30°	16,00 - 18,00
IX.	Sypké zeminy	písek, spraš, drobný štěrk, náplavy, nasypané uhlí	0,5	27°	14,00 - 16,00
X.	Rozbředlé horniny	bahnité horniny, náplavy, vodou nasycené a rozbředlé horniny	0,3	9°	-

Tab. 7.3 Součinitele pevnosti podle Protodjakonova

### 7.3 Klasifikace indexem RQD

Klasifikace podle indexu RQD (Rock Quality Designation) byla odvozena Deerem v roce 1967. 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 7.4 udává základní klasifikaci kvality horniny podle indexu RQD s doplněním údajů o velikosti  $f_p$ . Pokud nejsou k dispozici vrtná jádra, ale jsou známy směry ploch nespojitosti (jsou viditelné na odhalené ploše např. čelbě či v průzkumné štole), může být podle Palmströma (1982) index RQD určen pro horniny s diskontinuitami neobsahujícími jííl vztahem:

$$RQD = 115 - 3,3J_v$$

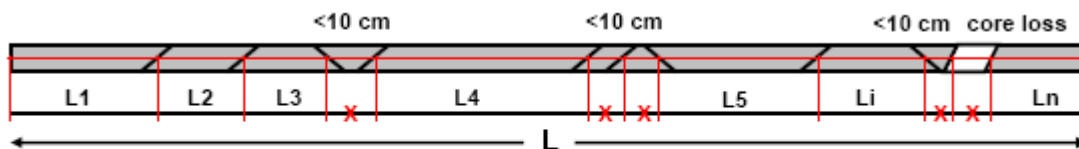
kde:  $J_v$  tzv. Volumetrický počet spar tj. součet počtu spar na jednotku délky všech systémů ploch nespojitosti.

Kvalita horniny	RQD	$f_p$
výborná	100 - 90	2,0 - 2,3
dobrá	90 - 75	2,3 - 1,2
střední	75 - 50	1,2 - 0,7
nízká	50 - 25	0,7 - 0,5
velmi nízká	25 - 0	0,5 - 0,4

Tab. 7.4 Klasifikace podle indexu RQD

#### 7.3.1 Praktický postup určení indexu RQD

Na Obr. 7.1 je schematicky naznačen určení indexu RQD na vrtném jádře, kde červenými křížky jsou označeny délky, které se neuvažují do délky  $L_{10}$  (kratší než 10 cm či chybějící).



$$RQD = (L1 + L2 + \dots + Ln) / L \times 100\%$$

Obr. 7. 1 Postup výpočtu indexu RQD

## RYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN



Obr. 7. 2 Ukázka vyhodnocení indexu RQD na vrtném jádře

### 7.4 Klasifikace Bieniawského (RMR)

Klasifikaci podle indexu RMR odvodil v roce 1976 Bieniawski (na základě vyhodnocení stovek ražených tunelů v celém světě v roce 1989 Bieniawskim upravena). Pro klasifikaci horninového masivu indexem RMR se používá následujících šest parametrů:

- A - pevnost v tahu při bodovém zatížení nebo pevnost v prostém tlaku,
- B - index RQD,
- C - vzdálenost ploch nespojitosti,
- D - charakter ploch nespojitosti,
- E - přítomnost a tlak podzemní vody,
- F - orientace puklin vzhledem ke směru ražby.

Kvalita horninového masivu je hodnocena součtem, případně odečtem bodů, kterými jsou ohodnoceny jednotlivé vlastnosti horninového masivu i horniny (tab. 3.5):

$$RMR = \sum (A + B + C + D + E - F)$$

Podle počtu bodů RMR je horninový masiv klasifikován do 5 tříd, ke kterým je přiřazen způsob ražení, doba stability výrubu a různé typy vystrojení tunelu. Rozsah RMR je 10 až 100, při  $RMR < 20$  je kvalita horninového masivu velmi špatná, při  $RMR > 80$  velmi dobrá. Při použití tohoto klasifikačního systému je horninový masiv rozdělen na řadu strukturních oblastí a každá oblast je ohodnocena samostatně. Hranice strukturních oblastí jsou obvykle určeny hlavními strukturními prvky jako např. zlomy či změna typu horniny. V některých případech vedou významné změny průměrné vzdálenosti ploch nespojitosti či charakteristik v jednom typu horniny k rozdělení horninového masivu na značný počet malých strukturních oblastí. Na základě zkušeností odvodil Bieniawski vztah mezi indexem RMR a indexem Q:

$$RMR = 9 \cdot \ln Q + 44$$

kde: Q index Q podle klasifikace BLLL (Bartona)

# VYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN

A. Ohodnocení klasifikačních parametrů									
1	Pevnost neporušené horniny	Pevnost v tahu při bodovém zatížení	> 10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	Pro tyto rozsahy- preference pevnost v prostém tlaku		
		Pevnost v prostém tlaku	> 250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
2	Ohodnocení		15	12	7	4	2	1	0
	Kvalita jádrového vrtu RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
3	Vzdálenost ploch nespojitosti		> 2m	0,6 - 2m	200 - 600mm	60 - 200mm	< 60mm		
	Ohodnocení		20	15	10	8	5		
4	Charakter ploch nespojitosti (viz E)		Velmi drsný povrch, nesouvislý neodlučný nevětrálý	Nepatrně drsný povrch, odlučnost<1mm nepatrně zvětřalé	Nepatrně drsný povrch, odlučnost<1mm velmi zvětřalé	Ohlazený povrch, odlučnost<5mm lemy pod 5mm souvislé	Měkké lemy nad 5mm tloušťky nebo odlučnost nad 5mm souvislé		
	Ohodnocení		30	25	20	10	0		
5	Podzemní voda	Přítok na 10m délky tunelu [l/m]	žádný	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		Tlak vody v puklině/ Hlavní napětí $\sigma$	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
		Obecné podmínky	Suché	Navlhlé	Mokrě	Odkapávání	Přítok		
	Ohodnocení		15	10	7	4	0		
B. Úprava hodnocení podle vlivu orientace puklin (viz F)									
Směr a sklon vrstvy			Velmi příznivý	Příznivý	Špatný	Nepříznivý	Velmi nepříznivý		
Hodnocení	Tunely a doly		0	-2	-5	-10	-12		
	Základy		0	-2	-7	-15	-25		
	Svahy		0	-5	-25	-50			
C. Třída horninového masivu určená z celkového hodnocení									
Hodnocení			100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21		
Třída			I	II	III	IV	V		
Kvalita horniny			Výborná	Dobrá	Střední	Nízká	Velmi nízká		
D. Význam horninových tříd									
Třída			I	II	III	IV	V		
Doba stability zajištěného výrubu			20 let pro 15m rozpětí	1 rok pro 10m rozpětí	1 týden pro 5m rozpětí	10hod. Pro 2,5m rozpětí	30min pro 1m rozpětí		
Soudržnost horniny [kPa]			> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100		
Úhel tření horniny [°]			> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15		
E. Charakter ploch nespojitosti									
Stálost diskontinuity (délka)			< 1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
Ohodnocení			6	4	2	1	0		
Odlučnost (štěrbinatost)			žádná	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
Ohodnocení			6	5	4	1	0		
Drsnost			velmi hrubé	hrubé	málo hrubé	hladké	uhlazené		
Ohodnocení			6	5	3	1	0		
Výplň (žlábkování)			žádná	tvrdá < 5 mm	tvrdá > 5mm	měkká > 5 mm	měkká > 5 mm		
Ohodnocení			6	4	2	2	0		
Zvětrání			nezvětrálé	nepatrné	průměrné	velké	rozložená hornina		
Ohodnocení			6	5	3	1	0		
F. Vliv orientace puklin vzhledem k tunelové ose (směru ražby)									
Kolmé na osou tunelu						Rovnoběžné s osou tunelu			
Ražba ve směru sklonu vrstev Sklon 45 - 90°			Ražba ve směru sklonu vrstev Sklon 20 - 45°			Sklon 45 - 90°		Sklon 20 - 45°	
velmipříznivé			příznivé			velmi nepříznivé		špatný	
Ražba proti směru , sklon 45 - 90°			Ražba proti směru , sklon 20 - 45°			Sklon 20 - 45° bez ohledu na orientaci			
špatný			nepříznivé			špatný			

Tab. 7.5 Parametry hodnocení RMR (podle Bieniawského 1989) - některé vlastnosti se navzájem vylučují

## VYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN

### 7.4.1 Praktický postup určení indexu RMR

Tunel je ražen v průměrně zvětralých granitech s hlavní soustavou ploch nespojitosti ukloněnou pod úhlem 60° proti směru ražby. Na základě vyhodnocení jádrových vrtů byla určena střední hodnota indexu RQD 70 a pevnost v tahu při bodovém zatížení 8 MPa. Nepatrně zvětralé a nepatrně drsné plochy nespojitosti se štěrbinatostí < 1 mm mají rozteč 300 mm. Očekávají se mokré podmínky pro ražbu. Určení indexu RMR výše popsaného masivu je uvedeno v tab. 7.6.

Tabulka	Položka	Hodnota	Ohodnocení
7.5 A1	Pevnost v tahu při bodovém zatížení	8 MPa	12
7.5 A2	RQD	70	13
7.5.A3	Vzdálenost ploch nespojitosti	300 mm	10
7.5. E	Charakter ploch nespojitosti	pozn. 1	22
7.5 A5	Podzemní voda	Mokré	7
7.5 B	Směr a sklon vrstvy	pozn. 2	-5
		Celkem	59

Poznámka 1 - pro nepatrně zvětralé a nepatrně drsné plochy nespojitosti se štěrbinatostí < 1 mm udává tab. 7.5 A4 ohodnocení 25. Pokud je k dispozici více údajů, může se pro přesnější ohodnocení horninového masivu použít tab. 7.5 E. Ohodnocení v tomto případě je součet: 4 (1 - 3 m stálost diskontinuity) +4 (štěrbinatost 0,1 - 1,0) + 3 (málo hrubé) + 6 (bez výplně) + 5 (nepatrně zvětralé) = 22

Poznámka 2 - Tabulka 7.5 F pro předpokládané podmínky směru ražby proti diskontinuitám ukloněných pod úhlem 60° dává špatné podmínky ražby, pomocí tohoto ohodnocení je v tab. 7.5 B dáno ohodnocení -5.

Tab. 7.6 Určení RMR - příklad

## 7.5 Index GSI

Index GSI není v praxi podzemního stavitelství v České republice zaveden. Z ojedinělých použití indexu GSI byla publikována aplikace indexu u poruchových pásem tunelu Mrázovka Radovanem Chmelařem. Index GSI jako alternativní metodu určení pevnosti a tvárnosti horninového masivu odvodil v roce 1995 Everet Hoek. Určení indexu Q je na základě vizuálního popisu horninového masivu – určení blokovitosti (puklinatosti) a kvalitativního stavu na plochách diskontinuity - viz Obr. 7.3. Indexu GSI je možné také využít pro stanovení geomechanických vlastností horninového masivu, kdy se využívá podobnosti Mohrových obálek mezní smykové pevnosti horninového materiálu (intaktní horniny) a horninového masivu. V případě menší praktické zkušenosti může být určení indexu GSI na základě vizuálního popisu horninového masivu podle Hoeka obtížné a vést ke zkráceným hodnotám. Z tohoto důvodu bylo odvozeno několik alternativních řešení postavených na využití „objektivně“ získaných parametrů. Cai odvodil pro určení indexu GSI následující vztah:

$$GSI = \frac{26,5 + 8,79 \ln J_c + 0,9 \ln V_b}{1 + 0,015 \ln J_c - 0,253 \ln V_b}$$

kde:  $J_c$  faktor stavu plochy nespojitosti  
 $V_b$  objem bloku horniny

Pro případ, že se v horninovém masivu nacházejí tři a více soustavy ploch nespojitosti, je objem bloku horniny  $V_b$  vyjádřen vztahem:


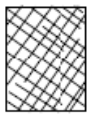




$$V_b = \frac{s_1 \cdot s_2 \cdot s_3}{\sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 \cdot \sin \gamma_3}$$

kde:  $s_i$  vzdálenost (rozteč) ploch nespojitosti

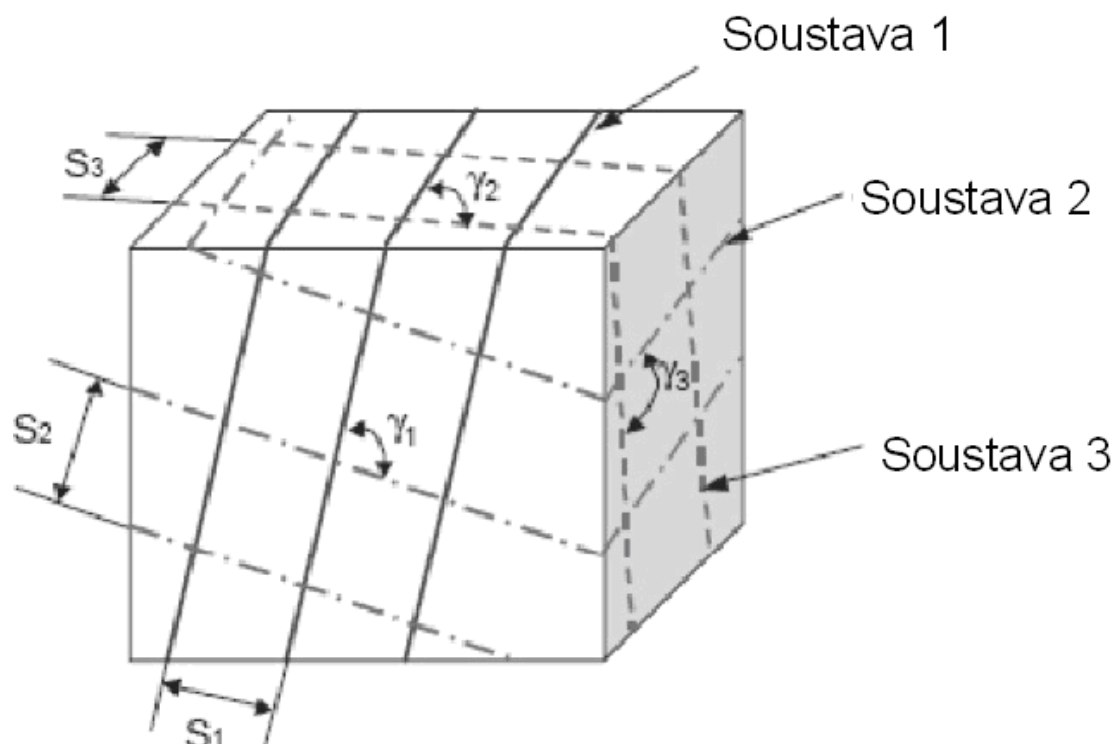


# VYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN

$\gamma_i$  úhel mezi soustavami ploch nespojitosti

GSI pro puklinové horninové masívy		Podmínky na povrchu diskontinuit				
Stavba		Pokles kvality povrchu diskontinuit				
		Velmi dobré velmi drsné, nezvětralé	Dobré drsné, místy navětralé	Středně příznivé hladké, středně zvětralé	Špatné velmi hladké s kompaktními povlaky či výplní úlomky	Velmi špatné velmi hladké či zvětralé s výplní měkkým jílem
	Intaktní i masivní Intaktní horninové vzorky, masivní horninový masiv in-situ s několika diskontinuitami	90	80	N/A	N/A	N/A
	Blokovitá velmi dobrý vzájemně zaklíněný neporušený masiv	80	70	60	N/A	N/A
	Velmi blokovitá vzájemně zaklíněný částečně porušený horninový masiv s bloky utvořenými min. 4 systémy diskont.	70	60	50	N/A	N/A
	Blokovitá /porušená/ s proplásky Zvrásněný horninový masiv s úlomky a mnoha soustavami diskontinuit, plochy vrstevnatosti jsou průběžné	60	50	40	30	N/A
	Dezintegrovaná Vzájemně rozlámané bloky horninového masivu s úlomky kulatými a ostrohrannými	50	40	30	20	N/A
	Laminovaná/smykem porušená nedostatečná blokovitost kvůli malé rozteči smykových ploch	40	30	20	10	N/A
		Pokles zatřídění horninových bloků				

Obr. 7. 3 Určení indexu GSI podle Hoeka



Obr. 7. 4 Parametry pro určení objemu bloku horniny

Vzhledem k tomu, že vzdálenost ploch nespojitosti v horninovém masivu má většinou negativní exponenciální rozdělení, můžeme bez většího vlivu na přesnost výše uvedený vztah zjednodušit:

$$V_b = s_1 \cdot s_2 \cdot s_3$$

kde:  $s_i$  vzdálenost (rozteč) ploch nespojitosti

Faktor stavu plochy nespojitosti  $J_c$  je definován vztahem:

$$J_c = \frac{J_w \cdot J_s}{J_a}$$

kde:  $J_w$  zvlnění diskontinuity při středním měřítku (velikost zkoumané oblasti řádově 1 až 10 m) – Obr. 7.4, Tab.7.7

$J_s$  drsnost v malém měřítku (velikost zkoumané oblasti řádově 1 až 20 cm) – Tab. 7.8

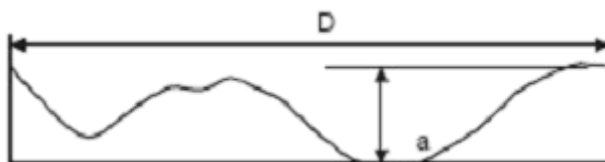
$J_a$  faktor alterace plochy nespojitosti – Tab. 7.9

Popis	Zvlnění	
	$J_w$	
Vzájemné spojení, vyklínění vrstev		3
Schodovité		2,5
Velké zvlnění	> 3%	2
Málo až středně zvlněné	0,3 – 3 %	1,5
Rovinné	< 0,3%	1

Zvlnění =  $a/D$ ,  $D$  vzdálenost mezi max. amplitudami

Tab. 7.7 Zvlnění diskontinuity  $J_w$  při středním měřítku

# VYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN



Obr. 7. 5 Zvlnění diskontinuity

Drsnost	Popis $J_s$	
Velmi hrubé	U rýh a svislých stěn schodovitých puklin, u vyklínění vrstev	3
Hrubé	Drsnosti jsou jasně zřetelné, povrch diskontinuity je na dotyk je drsný (drsnější než	2
Nepatrně hrubé	Hrúbosti na ploše discontinuity jsou rozeznatelné a mohou být poznány hmatem	1,5
Hladké	Povrch vypadá hladký a to I na dotek (hladší než smirkový papír 300)	1
Uhlazené	Existují evidentní lesklé plochy – např. Povlaky chloritu	0,75
Tektonicky ohlazené	Ohlazený, vyleštěný či příčně pruhovaný povrch díky posunu po povrchu diskontinuity	0,6-1,5

Tab. 7.8 drsnost  $J_s$  v malém měřítku

	Zvětrání ploch nespojitosti nebo výplň $J_a$	
kontakt stěn horniny, čisté plochy nespojitosti	Sevřeně zacelené, tvrdé, nezměkčující, nepropustná výplň	0,75
	Nezměněné puklinové systémy,	1
	Změněné puklinové systémy, mírně zvětralé plochy nespojitosti,	2
	Změněné puklinové systémy, velmi zvětralé plochy nespojitosti,	4
Plochy nespojitosti mají stěny potažení či obsahují tenkou výplň	Potah mastkem, sádrovcem, grafitem apod. Potažení ploch nespojitosti max. 1 až 2 mm.	3
	Potah jílovými minerály změkčujícími či s nízkým třením (např. kaolín, slída) popř.	4
	Vyplněné pukliny s částečným či žádným kontaktem stěn plochy	Písčité částičky, nejsou přítomny jíly, rozdrobená hornina apod.
	Silně překonsolidovaná, výplň nezměkčujícími jílovými minerály	6
	Středně či málo překonsolidované, výplň změkčujícími jílovými minerály	8
	Souvislá výplň bobtnavými jíly	8

Tab. 7.9 Faktor alterace plochy nespojitosti  $J_a$

## 7.6 Klasifikace indexem Q

V roce 1974 byl v Norském geotechnickém institutu odvozen klasifikační systém BLLL (Barton, Liem, Lunde, Loset), který oceňuje kvalitu horninového masivu pomocí indexu Q (Tab. 7.10), určeného na základě empirického systému s pěti parametry a zatřídění horniny indexem RQD. Všechny parametry jsou vyjádřeny počtem klasifikačních bodů (viz Tab. 7.11), jejich dosazením do následující rovnice dostáváme hodnotu indexu Q:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

kde: RQD index RQD  
 $J_n$  počet puklinových systémů  
 $J_r$  drsnost puklin (Obr. 7.5)  
 $J_a$  zvětrání ploch diskontinuity či výplní  
 $J_w$  vodní tlak  
 SRF podmínky tlakového projevu horninového masivu

S indexem Q jsou svázány další významné veličiny ovlivňující návrh a realizaci podzemního díla, např. způsob vystrojení (Obr. 7.6) či tlak na výstroj (Obr. 7.7).

Výstroj tunelu je zavedena pomocí ekvivalentního rozměru L

$$L = \frac{\text{rozpětí nebo výška (m)}}{ESR}$$

kde: ESR excavation support ratio viz tab. 7.12

Délka svorníků je dána vztahem

$$L = \frac{2 + 0,15B}{ESR}$$

kde: L délka svorníků  
 B šířka výrubu  
 ESR excavation support ratio

Maximální nevystrojené rozpětí se určí rovnicí:

$$B_{\max} = 2 \cdot ESR \cdot Q^{0,4}$$

kde: Q index Q  
 $B_{\max}$  maximální nevystrojené rozpětí  
 ESR excavation support ratio

Tlak na trvalou výstroj je určen následující rovnicí

$$P_{\text{roof}} = \frac{2,0}{J_r} Q^{-1/3}$$

kde: Q index Q  
 $J_r$  drsnost puklin

Pokud je počet puklinových systémů menší než 3, pak se užívá vztah:

$$P_{\text{roof}} = \frac{2}{3} J_n^{1/2} \cdot J_r^{-1} \cdot Q^{-1/3}$$

## VYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN

kde: Q index Q  
J<sub>n</sub> počet puklinových systémů  
J<sub>r</sub> drsnost puklin

Kvalita horninového systému	Index Q
Zcela extrémně špatná	0,001 - 0,01
Extrémně špatná	0,01 - 0,1
Velmi špatná	0,1 - 1,0
Špatná	1,0 - 4,0
Dostatečná	4,0 - 10,0
Dobrá	10,0 - 40,0
Velmi dobrá	40,0 - 100,0
Výborná	100,0 - 400,0
Extrémně výborná	400,0 - 1000,0

Tab. 7.10 Parametry indexu Q (podle Bartona a kol. 1974)

# VYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN

Popis	Hodnota	Poznámka
<b>1. Třída dle klasifikace RQD</b> velmi nízká nízká střední dobrá výborná	<b>RQD</b> 0 – 25 25 – 50 50 – 75 75 – 90 90 – 100	1. Pokud je hodnota RQD zjištěna měřením či popisem menší nebo rovna 10 (včetně 0), pak se pro určení indexu Q použije nominální hodnota 10  2. Dostatečná přesnost určení RQD je v intervalu 5, např. 100,95,90 atd.
<b>2. Počet puklinových systémů</b> A. neporušený masiv, popř. několik puklin B. jeden puklinový systém C. jeden puklinový systém a náhodné pukliny D. dva puklinové systémy E. dva puklinové systémy a náhodné pukliny F. tři puklinové systémy G. tři puklinové systémy a náhodné pukliny H. čtyři a více puklinových systémů, středně I. hustě rozpukaná, rozdrčená hornina	<b>Jn</b> 0,5 – 1 2 3 4 6 9 12 15 20	1. Při protínání se použije ( 3,0*Jn)  2. U portálů se použije (2,0 * Jn)
<b>3. Nerovnost puklin</b> a) <i>Kontakt stěn horniny</i> b) <i>Kontakt stěn horniny před 10cm smykem</i> A. Nespojitě pukliny B. Drsné a nepravidelné, zvlněné C. Hladce zvlněné D. Uhlazené zvlněné stěny E. Drsné a nepravidelné, rovinné F. Hladké, rovinné G. Uhlazená rovina c) <i>Při smyku není kontakt stěn horniny</i> H. Zóny obsahují jílové minerály dostatečné mocnosti pro zabránění kontaktu stěn horniny J. Zóny obsahují písek, štěrkopísek či rozdrčené úlomky dostatečné mocnosti pro zabránění kontaktu stěn horniny	<b>Jr</b> 4 3 2 1,5 1,5 1 0,5 1,0 (nominální hodnota) 1,0 (nominální hodnota)	1. Pokud střední hodnota vzdálenosti relevantních puklinových systémů je větší než 3m, je nutné přičíst 1,0  2. Při rovinných hladkých plochách nespojitosti mající lineaci vyvozující minimální pevnost se použije vztah $Jr=0,5$
<b>4. Zvětrání ploch nespojitosti nebo výplň</b> a) <i>kontakt stěn horniny</i> A. Sevřeně zacelené, tvrdé, nezměkčující, nepropustná výplň B. Nezměněné puklinové systémy, povrch pouze potřísněn C. Mírně zvětralé plochy nespojitosti, pokryté nezměkčujícími minerály, písčité částičky, rozpadající se hornina bez jílu D. Potah plochy jílem prachovitým či písčitým, malé jílové frakce (nezměkčující) E. Potah jílovými minerály změkčujícími či s nízkým třením (např. kaolín, slída) popř. chloritem, mastkem, sádrovcem, grafitem apod. a malými částičkami bobtnavých jílu . Potažení ploch nespojitosti max. 1 až 2 mm. b) <i>Kontakt stěn horniny před 10 cm smykem</i> F. Písčité částičky, nejsou přítomny jíly, rozdrobená hornina apod. G. Silně překonsolidovaná, výplň nezměkčujícími jílovými minerály (souvislá, tloušťka pod 5mm)	<b>Ja</b> 0,75 1 2 3 4 4 6	$j_r$ ve stupních (přibližná hodnota) 1.Hodnoty residuálního úhlu tření $j_r$ jsou myšleny jako přibližný podklad k mineralogickým vlastnostem zvětraných hornin 25 – 35 25 – 30 20 – 25 8 – 16 25 – 30 16 – 24

## VYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN

H. Středně či málo překonsolidované, výplň změkčujícími jílovými minerály (souvislá, tloušťka pod 5mm)	8	12 – 16
J. Souvislá výplň bobtnavými jíly (např. montmorilonit), tloušťka pod 5 mm. Hodnota Ja závisí na procentuálním zastoupení velikostí částic bobtnavého jílu a přístupu vody c) <i>Při smyku není kontakt stěn horniny</i>	8,0 – 12,0	6 – 12
K. Zóny či pásy rozvolněné či rozdrčené horniny, vlastnosti jílových částic dle bodu G	6	
L. Zóny či pásy rozvolněné či rozdrčené horniny, vlastnosti jílových částic dle bodu H	8	
M. Zóny či pásy rozvolněné či rozdrčené horniny, vlastnosti jílových částic dle bodu J	8,0 – 12,0	
N. Zóny či pásy prachovitých či písčitých jílu, malé zlomky nezměkčujících jílu	5	
O. Silné pásy či zóny jílu vlastnosti jílových částic dle bodu G	10,0 – 13,0	
P. Silné pásy či zóny jílu vlastnosti jílových částic dle bodu H	6,0 – 24,0	25 – 30
R. Silné pásy či zóny jílu vlastnosti jílových částic dle bodu J	6,0 – 24,0	
<b>5. Vodní tlak</b>	<b>Jw</b>	<b>přibližný tlak vody (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
A. Suchý výrub či podřadný místní přítok pod 5 l/m	1	< 1,0
B. Střední přítok či tlak vody, příležitostně vyplavení výplně ploch nespojitosti	0,66	1,0 – 2,5
C. Velký přítok či vysoký tlak v reologicky pevné hornině s nenaplněnými plochami nespojitosti	0,5	2,5 – 10,0 1. Faktory C a F jsou hrubě odhadnuty, Jw roste pokud je instalováno odvodnění
D. Velký přítok či vysoký tlak	0,33	2,56 – 10,0
E. Výjimečný přítok či tlak při odstřelech, časem slábnoucí	0,2 – 0,1	> 10 Speciální případy vyvolané ledovými formacemi nejsou zahrnuty
F. Výjimečný přítok či tlak	0,1 – 0,05	> 10
<b>6. Tlakové projevy horniny</b>	<b>SRF</b>	
a) <i>Oslabené zóny protínající výrub, jež mohou vést k rozvolnění horninového masívu při ražbě</i>		
A. Vícenásobný výskyt oslabených zón obsahující jíly popř. chemicky rozložená hornina, velmi rozvolněná hornina v okolí výrubu při jakékoli hloubce	10	1. Redukce hodnot SRF o 25 – 50 % je možná pokud vliv relevantní smykové zóny se neprotíná s výrubem
B. Samostatné oslabené zóny obsahující jíly či chemicky rozložená hornina (výška nadloží pod 50 m)	5	
C. Samostatné oslabené zóny obsahující jíly či chemicky rozložená hornina (výška nadloží nad 50 m)	2,5	
D. Četné smykové oblasti v reologicky pevné hornině (bez jílu), rozvolněná hornina v okolí výrubu při jakékoli hloubce	7,5	
E. Samostatná smyková oblast v reologicky pevné hornině (bez jílu), výška nadloží pod 50 m	5	
F. Samostatná smyková oblast v reologicky pevné hornině (bez jílu), výška nadloží nad 50m	2,5	
G. Volné otevřené pukliny, hustě rozpukané či blokovité, jakákoli výška nadloží	5	
b) <i>Reologicky pevná hornina, úlohy napětí horninového masívu</i>	SRF $s_c/s_1$ $s_t/s_1$	2. Pro jasně anisotropní primární napjatost (pokud je změřeno) platí: a) pro $5\sigma_1/\sigma_3 > 10$ se redukuje $s_c$ na $0,8\sigma_c$ a $\sigma_t$ na $0,8\sigma_t$
H. Malá napětí, blízko povrchu terénu	2,5 $>200$ $>13$	

## VYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN

<p>J. Střední napětí</p> <p>K. Vysoká napětí, velmi sevřená konstrukce (obvykle vhodné pro stabilitu, může být nevhodné pro stabilitu stěn)</p> <p>L. Lehké odprsky horniny (celistvá hornina)</p> <p>M. Značné odprsky horniny (celistvá hornina)</p> <p>c) Tlačivé horniny, plastické tečení měkké přetvořené horniny pod vlivem vysokého napětí v hornině</p> <p>N. Horniny tlačivé</p> <p>O. Horniny silně tlačivé</p> <p>d) Tlačivé horniny, bobtnání horniny v závislosti na přítomnosti vody</p> <p>P. Tlačivé horniny</p> <p>R. Horniny silně tlačivé</p>	<p>1,0    200-10    13-0,66</p> <p>0,5 – 2    10 – 5    0,66–0,33</p> <p>5 – 10    5 – 2,5    0,33-0,16</p> <p>10 – 20    &lt;2,5    &lt; 0,16</p> <p>5 – 10</p> <p>10 – 20</p> <p>5 – 10</p> <p>10 – 15</p>	<p>b) pro <math>\sigma_1/\sigma_3 &gt; 10</math> se redukuje <math>\sigma_c</math> na <math>0,6\sigma_c</math> a <math>\sigma_t</math> na <math>0,6\sigma_t</math></p> <p>kde: - <math>\sigma_c</math> je pevnost v prostém tlaku          - <math>\sigma_t</math> je pevnost v tahu                      - <math>\sigma_1</math> je větší hlavní napětí          - <math>\sigma_3</math> je menší hlavní napětí</p> <p>3. Podle dostupných záznamů při nadloží menším než šířka výrubu se dá předpokládat, že SRF se zvětší o 2,5 až 5,0 (viz H)</p>
<p><i>Poznámky k použití tabulky</i></p> <p>· Pokud není k dispozici jádrový vrt, může být RQD určeno z počtu puklin na jednotku objemu a z počtu puklina metr určených pro každý puklinový systém pro horniny neobsahující jíl vztahem podle Palmströma(1982):  <math>RQD = 115 - 3,3J_v</math>          kde: <math>J_v</math> je tzv. volumetrický počet spar tj. součet počtu spar na jednotku délky všech systémů ploch nespojitosti          (<math>0 &lt; RQD &lt; 100</math> pro <math>35 &gt; J_v &gt; 4,5</math>)</p> <p>· Parametr <math>J_n</math> určený počtem puklinových systémů může být často ovlivněn foliací, břidličnatostí, příčnou břidličnatostí či vrstevnatostí apod. Pokud jsou tyto paralelní „pukliny“ jasně rozvinuté, mohou být uvažovány jako jeden kompletní puklinový systém. Nicméně pokud jsou viditelné občasné diskontinuity v jádru způsobené výše zmíněnými vlivy je vhodnější uvažovat systém náhodných puklin.</p> <p>· Parametry <math>J_r</math> (nerovnost puklin) a <math>J_a</math> (zvětření ploch diskontinuity zastupující smykovou pevnost) mohou být relevantní k méně významnému puklinovému systému či jílové výplni plochy nespojitosti v dané oblasti. Nicméně pokud puklinový systém či plocha nespojitosti s minimální hodnotou <math>J_r/J_a</math> má příznivou orientaci pro stabilitu, pak může být významnější puklinový systém či plocha nespojitosti orientovaná méně příznivě a pro určení indexu Q se musí použít její větší hodnota <math>J_r/J_a</math>. Hodnota <math>J_r/J_a</math> vztahen ve skutečnosti k povrchu spíše vyvolá porušení.</p> <p>· Pokud horninový masiv obsahuje jíl, měl by být určen faktor SRF vyjadřující tlakové projevy horniny. V takovýchto případech je pevnost neporušené horniny méně významná, pokud je diskontinuita minimální a absolutně neobsahuje jíl může se pevnost neporušené horniny stát oslabujícím článkem a stabilita pak bude záviset na poměru přetvoření horniny/pevnost horniny. Jasná anisotropní primární napjatost je nepříznivá pro stabilitu (viz pozn. 2 v tabulce pro určení SRF).</p> <p>· Tlaková a tahová pevnost (<math>s_c</math> a <math>s_t</math>) neporušené horniny mohou být určeny pro plně nasycený stav, pokud je to vhodné pro stávající a budoucí podmínky „in-situ“. Velice opatrné odhady pevnosti musí být provedeny pro ty horniny, které zhoršují své vlastnosti ve vlhkém či plně nasyceném prostředí.</p>		

Tab. 7.11 Hodnocení parametrů indexu Q (podle Bartona a kol. 1974)



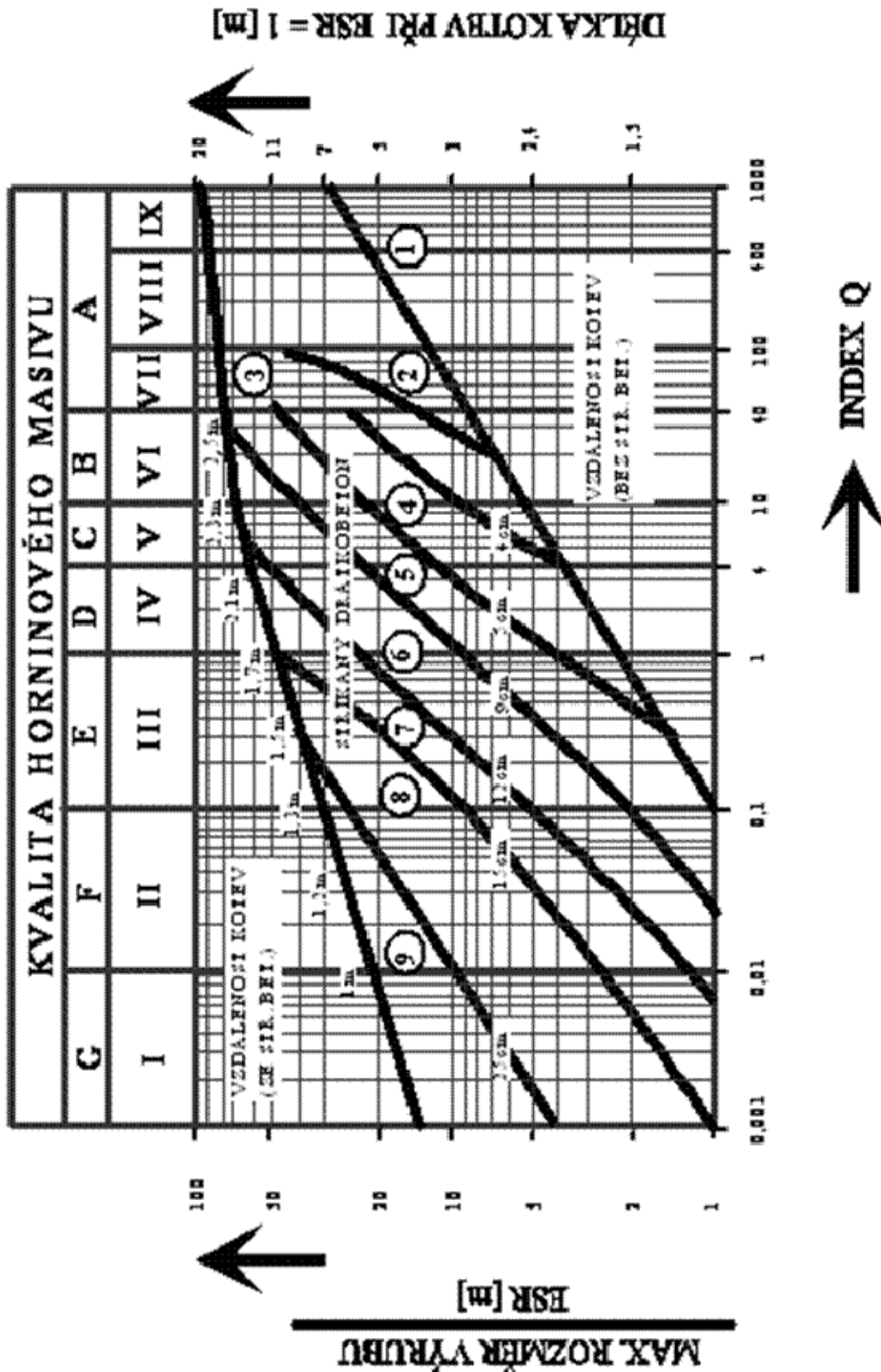
## VYBRANÉ KLASIFIKACE HORNIN

Druh podzemního díla	ESR	Počet zkoumaných případů
A. Dočasná důlní díla	3,0 - 5,0	2
B.1 Svislé kruhové šachty	2,5	0
B.2. Svislé šachty pravoúhlé	2	0
C. Trvalá důlní díla, Tlakové vodní štoly, Průzkumné štoly, Pilot tunely	1,6	83
D. Podzemní zásobníky, Čistírny odpadních vod, Menší silniční tunely, Přístupové tunely	1,3	25
E. Hydrocentrály, Portály, Křížení tunelů, Velké silniční tunely, Díla civilní ochrany	1	73
F Atomové elektrárny, Stanice metra, Továrny	0,8	2

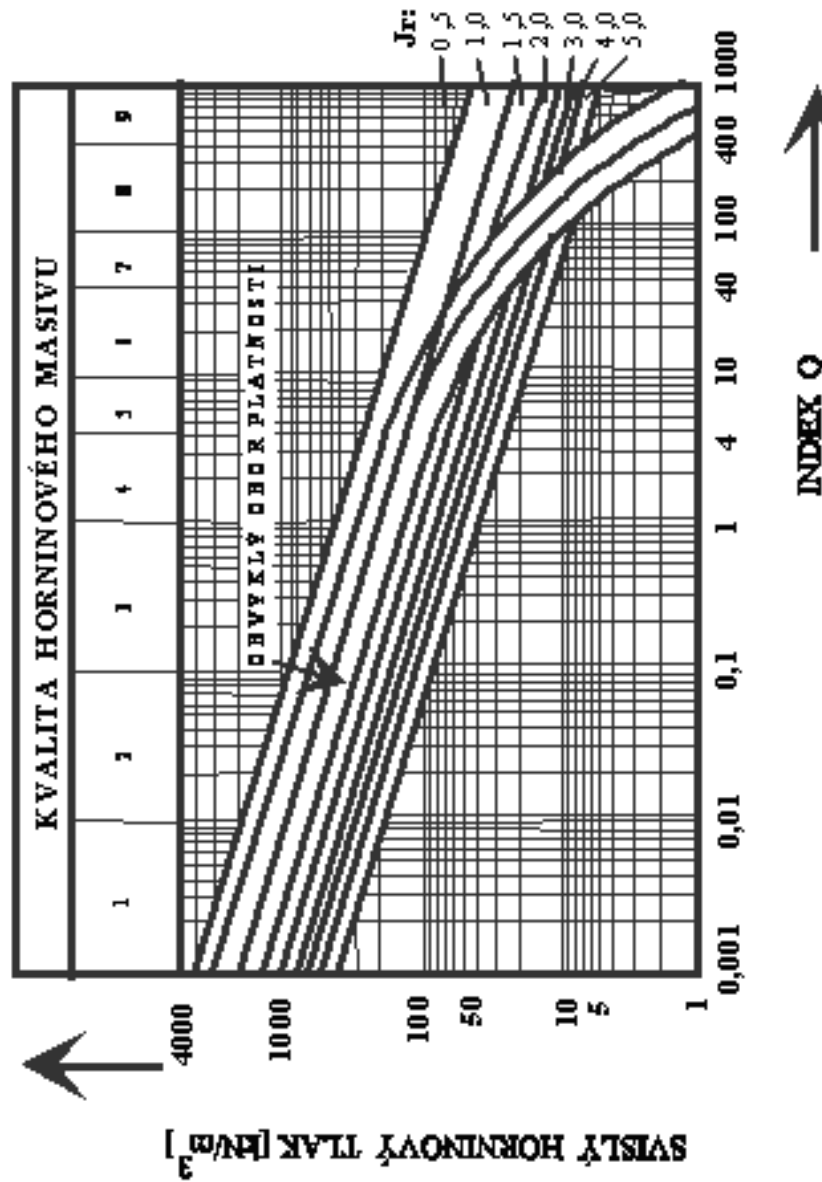
Tab. 7.12 Určení ESR

Popis	Profil	Jr	JRC 200mm	JRC 1 m
Drsné		4	20	11
Vyhlazené		3	14	9
Rýhované		2	11	8
Stupňovité				
Drsné		3	14	9
Vyhlazené		2	11	8
Rýhované		1,5	7	6
Vlnité				
Drsné		1,5	2,5	2,3
Vyhlazené		1,0	1,5	0,9
Rovné		0,5	0,5	0,5
Rovinné				

Obr. 7.6 Určení Jr



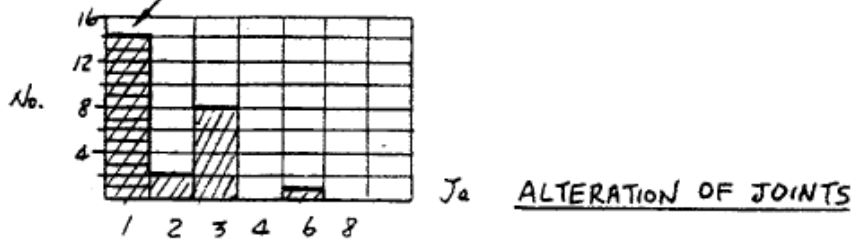
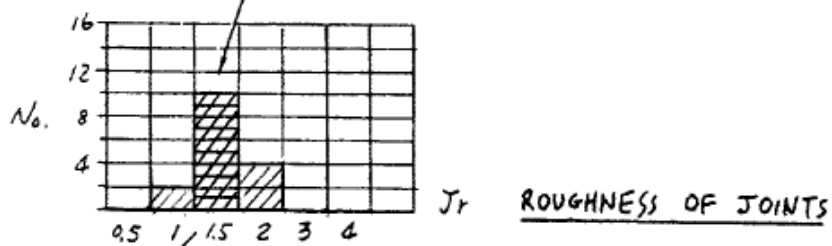
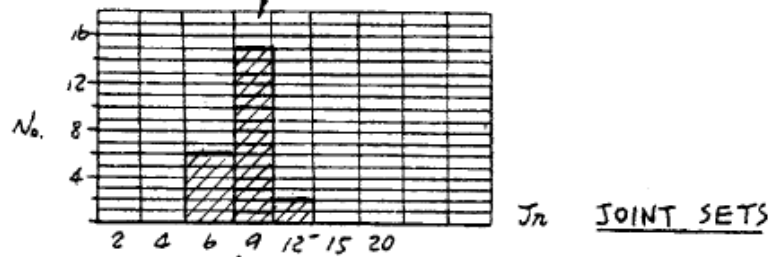
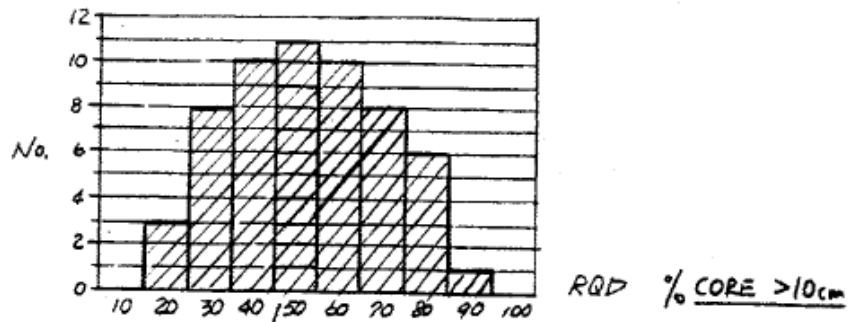
Obr. 7.7 Určení způsobu vystrojení tunelu podle indexu Q



Obr. 7.8 Tlak na výstroj podle indexu Q

- 1 – zcela extrémně špatná
- 2 – extrémně špatná
- 3 – velmi špatná
- 4 – špatná
- 5 – dostatečná
- 6 – dobrá
- 7 – velmi dobrá
- 8 – výborná
- 9 – extrémně výborná

JOINTED SANDSTONE



$J_w = 1.0$  ,  $SRF = 1.0$

Typical  $\bar{Q} = \frac{50}{9} \times \frac{1.5}{1} \times \frac{1}{1} = \boxed{8.3}$

Approx. Range  $\frac{30-80}{6-9} \times \frac{1.5}{1-3} \times \frac{1}{1} = \boxed{1.7 \sim 20}$

Obr. 7.9 Určení indexu Q - rukopis N.Bartona

### 7.7 Praktický postup určení indexu Q

Obrázek 7.9 zobrazuje postup klasifikace horninového masivu indexem Q.

### 7.8 Použití klasifikací pro určení deformačních charakteristik hornin

V literatuře je publikováno mnoho vztahů pro určení deformačních charakteristik, zatížená výrubu apod. na základě zatřídění horninového masivu podle indexové klasifikace. V tabulce 7.13 je přehled vztahů pro nepřímé určení modulu deformace  $E_{def}$ . Je si nutní uvědomit, že publikované vztahy jsou empirické a mohou mít regionální platnost.

Vztah pro $E_{def}$ [GPa]	Autor	Poznámka
2(RMR-50)	Cording a kol.	
1,7 (RQD-60)		
25 ln Q nebo 10 ln Q	Fujita	
0,7 (RMR/100)2E	Barton	laboratorní hodnoty
$RMR/10+(RMR^3/10^5)$	Hoek, Brown	
$10^{(RMR-10)/40}$	Serafim, Pareira	pro RMR < 50
$0,5(RQD/100)^2E_i$	Bieniawski	laboratorní hodnoty
$10\exp(RMR-10)/40$	Grimstad, Barton	
$0,07RQD+0,05\sigma_c+55E_i$	Hönisch	
$1000(\sigma_c/1000)^{0,5}10^{(GSI-10)/40}$	Hoek, Brown	$\sigma_c < 100$ MPa
2RMR-100	Bieniawski	pro RMR > 50
25 log 10	Grimstad, Barton	Q > 1

Tab. 7.13 Nepřímé určení modulu deformace  $E_{def}$

## 8. DISKONTINUITY

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. 8.1), proto je důležité znát jejich geometrické, mechanické a hydrologické vlastnosti.



Obr. 8.1 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 a tektonické poruchy. U jílových sedimentů bývá hlavní systém puklin rovnoběžný se směrem vrstevních ploch, podružné systémy jsou tvořeny krátkými a hustými puklinami kolmými k vrstevním plochám.

## DISKONTINUITY

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

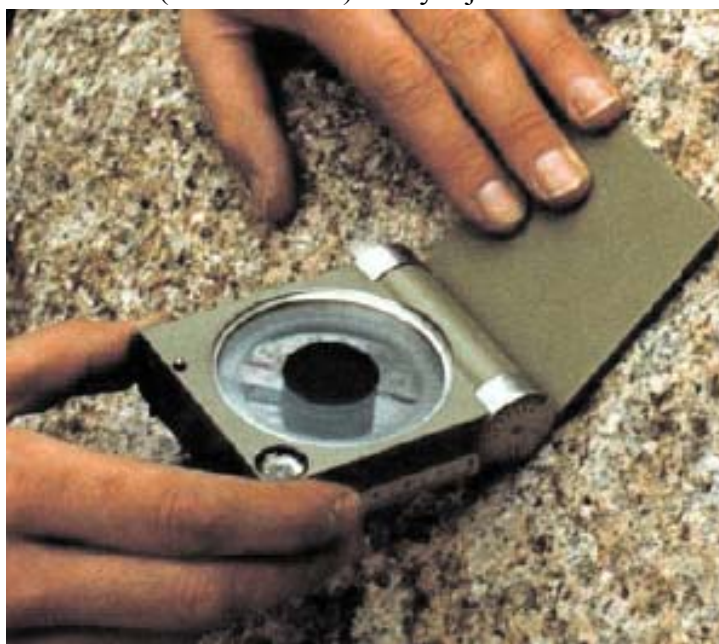
Diskontinuity I. řádu do této skupiny zařazujeme svislé zlomy oddělující kontinentální kry (tzv. kontinentální zlomy) a diskontinuity oddělující jednotlivé hloubkové vrstvy zeměkoule (Mohorovičičova diskontinuita, Gutenbergova diskontinuita apod.). Diskontinuity prvního řádu většinou neovlivňují stabilitu 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 mikrosezimickém porušení zůstává masiv pevnou intaktní hmotou.

### 8.1 Zaměření ploch nespojitosti

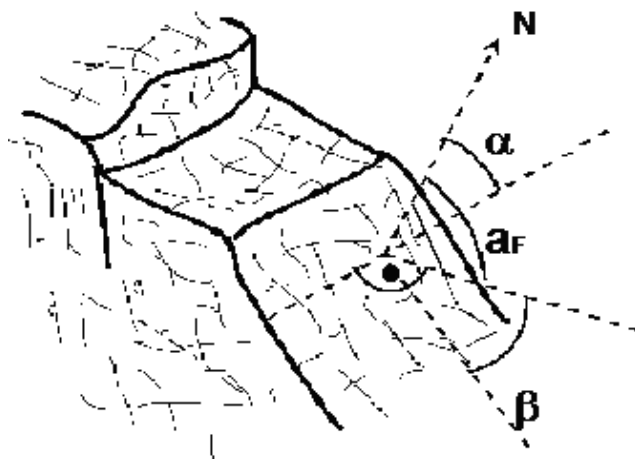
Při průzkumu ploch nespojitosti se používá pro jejich zaměřování geologický kompas (Obr. 8.2), kterým měříme:

- směr roviny - úhel  $\alpha$ , který svírá hlavní přímka dané roviny (průsečnice s vodorovnou rovinou) se směrem magnetického severu. Pohybuje se v rozmezí 0 - 360° (Obr. 8.3).
- směr sklonu roviny - úhel  $\alpha_f$ , který svírá ve směru klesání orientovaný půdorysný průmět spádové přímky dané roviny se směrem magnetického severu. Pohybuje se v rozmezí 0 - 360°. (Obr. 8.3)
- sklon roviny úhel  $\beta$ , který svírá spádová přímka dané rovin s rovinou horizontální, se zjišťuje inklinometrem (sklonoměrem). Pohybuje se v rozmezí 0 - 90° (Obr. 8.3).



Obr. 8.2 Geologický kompas

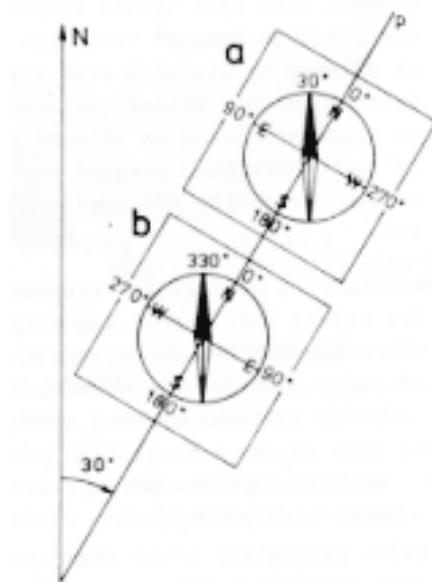
## DISKONTINUITY



Obr. 8.3 Měřené veličiny určující směr discontinuity  $\alpha$  směr roviny  $\alpha_F$  směr sklonu  $\beta$  sklon roviny

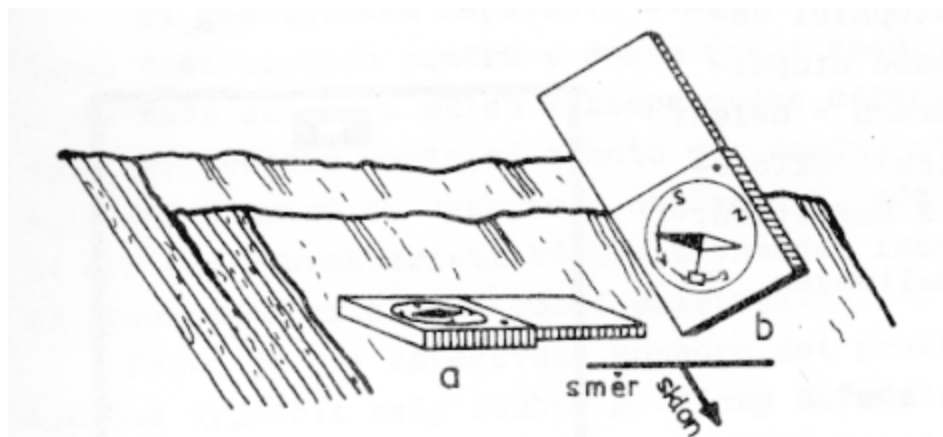
### 8.1.1 Popis postupu zaměření

Geologický kompas (Obr. 8.2) 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., že je přehozen východ a západ. Tato změna umožňuje přímé odečítání směrových úhlů, s nimiž se pracuje v geologii. Směr přímky  $p$  na Obr. 8.4 je  $30^\circ$ . Na stupnici normálního kompasu bychom odečetli  $330^\circ$  (Obr. 8.4 b), na stupnici geologického kompasu čteme přímo hledanou hodnotu  $30^\circ$  (Obr. 8.4 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. 8.5 b).



Obr. 8.4 a) geologický kompas b) normální kompas





Obr. 8.5 Měření geologickým kompasem

a) směru roviny b) sklonu roviny

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

- při měření úhlu pomocí magnetky musí být kompasové pouzdro ve vodorovné poloze,
- kompas přikládáme hranou k měřené ploše,
- při zaměřování geologických prvků musí být spojnice sever-jih rovnoběžná s vodorovnou (hlavní přímkou roviny),
- při zaměřování sklonu geologických prvků musí být spojnice sever-jih ve směru spádové přímkou,
- směr severu je zásadně orientován ve směru klesání spádové přímkou.

## 8.2 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:

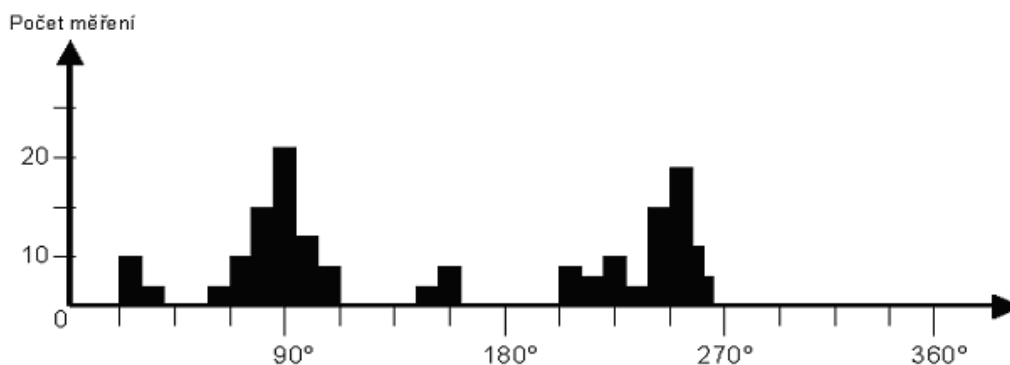
- sloupcové diagramy
- růžicové diagramy
- průsečnicové diagramy
- bodové diagramy
- konturové diagramy.

### 8.2.1 Sloupcové

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. 8.6). Tento způsob zobrazení je pro svoji jednoduchost velice

## DISKONTINUITY

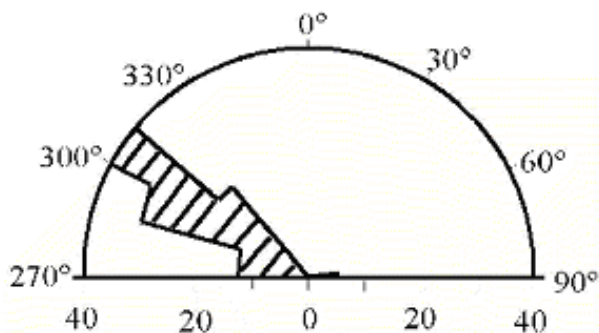
používán, jeho nevýhodou je však to, že zobrazuje jen jeden znak.



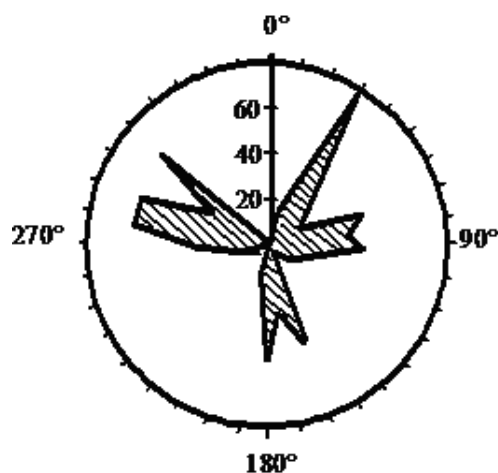
Obr. 8.6 Sloupcový diagram

### 8.2.2 Růžicové

Růžicové diagramy zobrazují statistické vyhodnocení směrového rozložení četnosti výskytu geologického prvku v polárních souřadnicích. Růžicové diagramy se zpracovávají buď ve formě úhlových histogramů (Obr. 8.7) či ve formě úhlových polygonů (Obr. 8.8). Princip tohoto zobrazení je stejný jako u sloupcových diagramů až na souřadnicový systém zobrazení.



Obr. 8.7 Úhlový histogram

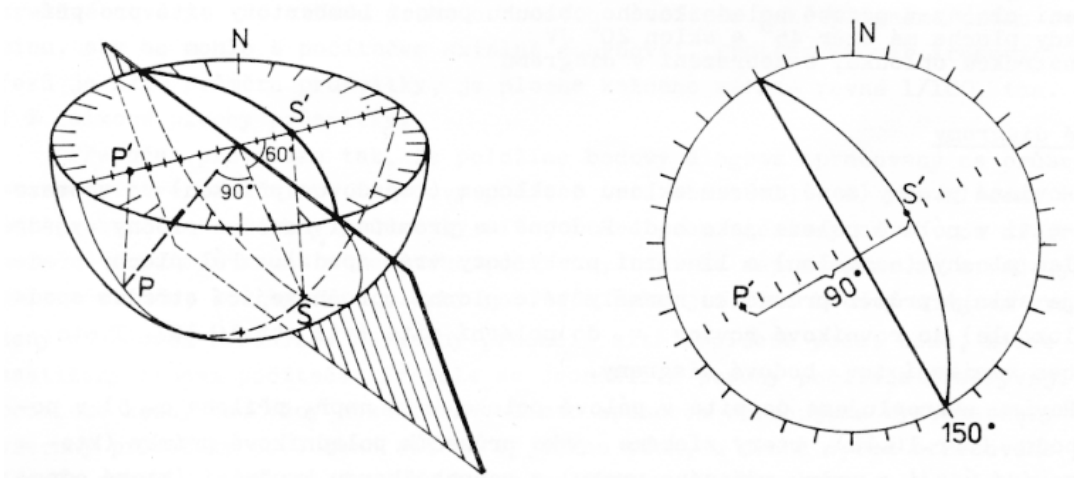


Obr. 8.8 Úhlový polygon

## DISKONTINUITY

### 8.2.3 Průsečnicové

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. 8.9). Čím blíže je rovina v poloze vertikální, tím plošším obloukem se v tektonogramu zobrazuje. Vznikají tak tzv. průsečnicové diagramy.



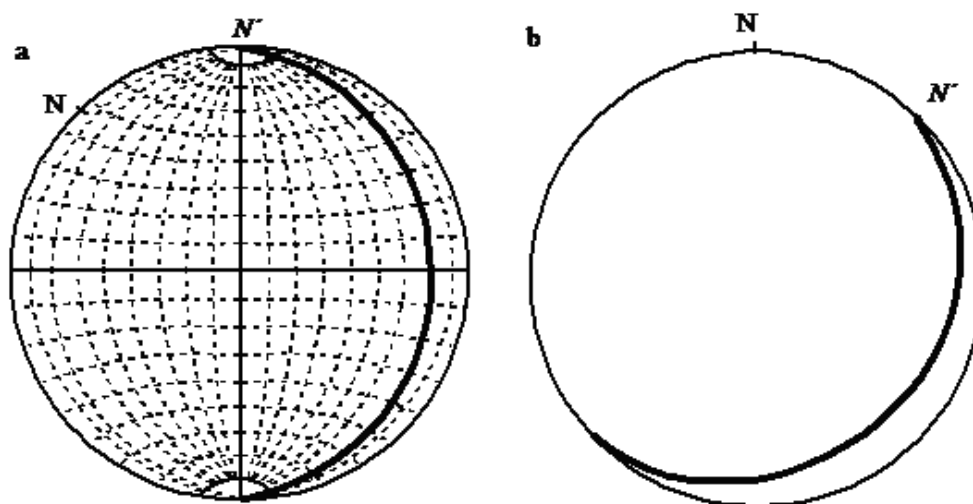
Obr. 8.9 Poloha plochy, její spádnice a pólu ve spodní polokouli a v diagramu

- 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 sestrojení průsečnicového diagramu je následující (Obr. 8.10):

- na síť s vyznačenými hemisférami 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.

## DISKONTINUITY

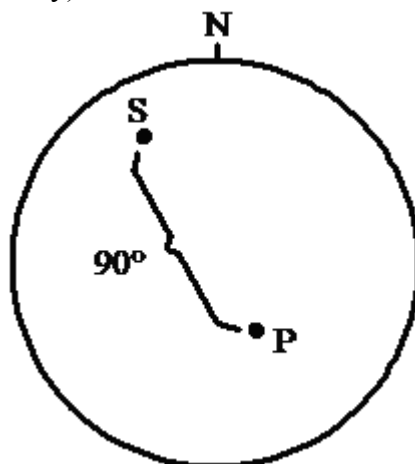


Obr. 8.10 Zobrazení plochy pomocí Lambertovy sítě (plocha má sklon  $20^\circ$  JV a směrem  $45^\circ$ )

a) konstrukce oblouku b) průsečnicový diagram

### 8.2.4 Bodové

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. 8.11 Bodový diagram plochy se směrem  $60^\circ$  k SV a se sklonem  $30^\circ$  k SZ

Popis vytvoření bodového diagramu:

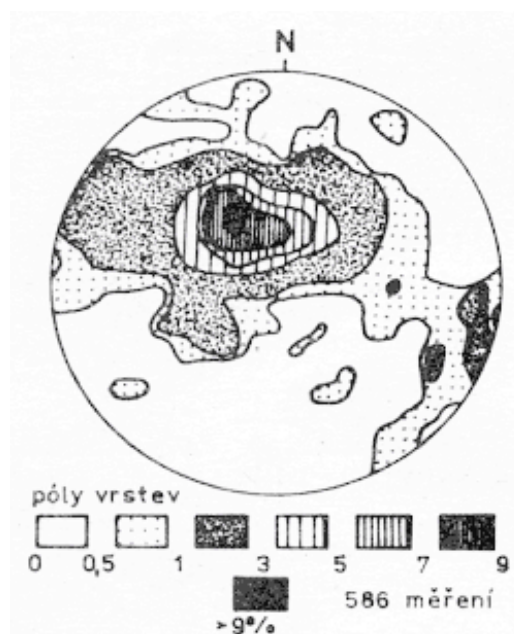
Rovinu zakreslujeme do sítě v pólové poloze v podobě bodu (Obr. 8.11), který získáme jako průsečík poledníkové přímky (která odpovídá údaji o směru měřeného prvku) s rovnoběžkovou kružnicí (která odpovídá údaji o sklonu). Rovnoběžkové kružnice většinou bývají vyznačeny v intervalech po  $10^\circ$ , přičemž obvodová kružnice představuje velikost sklonu  $0^\circ$  a střed sítě  $90^\circ$ . 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.

## DISKONTINUITY

### 8.2.5 Konturové diagramy

Konturové diagramy (Obr. 8.12) 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. 8.12 Konturový diagram

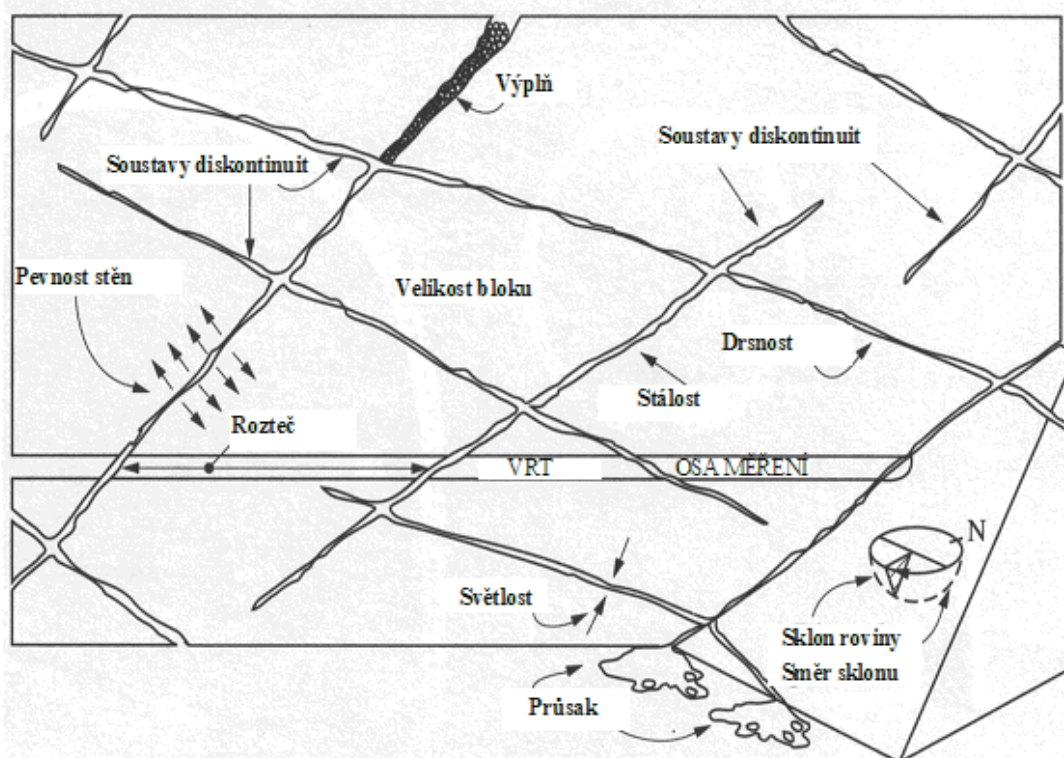
### 8.3 Popis diskontinuitního horninového masivu

Diskontinuity (např. smýkaný zlom) mají často velký vliv na geometrické a mechanické vlastnosti horninového masivu. Schematické zobrazení základních vlastností diskontinuit je na Obr. 8.13. Z inženýrského hlediska plochy nespojitosti značně zhoršují mechanické vlastnosti hornin jako např. propustnost, pevnost, přetvárnost apod. Stálost diskontinuit ovlivňuje stabilitu podzemních děl či skalních stěn. Je tedy patrné, že existuje snaha kvalitně popsat horninový masiv oslabený plochami nespojitosti. Jelikož je skoro nemožné vzhledem ke složitosti a množství různých parametrů provést komplexní popis diskontinuitního masivu, používá se popis podle význačné vlastnosti, jako např.:

- rozteče puklin,
- rozteče ploch vrstevnatosti,
- soustav ploch nespojitosti,
- stálosti ploch nespojitosti,
- velikosti horninových bloků,

## DISKONTINUITY

- otevřenosti plochy nespojitosti,
- drsnosti plochy nespojitosti,
- průsaku.



Obr. 8.13 Schematické zobrazení základních vlastností diskontinuit (podle J. Hudsona)

### 8.3.1 Praktické určení některých vlastností diskontinuit

#### Popis pomocí rozteče puklin a ploch vrstevnatosti

Rozteč diskontinuit se získává zkoumáním vrtného jádra či odkryté plochy. Tabulka 8.1 udává limity rozteče pro popis doporučený IRSM vztažený k vrstevnatosti.

Vrstevnatost	Rozteč puklin	Limit rozteče
velmi silně zvrstvená	extrémně široká	přes 2 m
silně zvrstvená	velmi široká	0,6 - 2 m
středně zvrstvená	široká	0,2 - 0,6 m
slabě zvrstvená	poměrně široká	60 mm - 0,2 m
velmi slabě zvrstvená	poměrně malá	20 - 60 mm
tence vrstevnatá	malá	6 - 20 mm
velmi tence vrstevnatá	nepatrná	pod 6 mm

Tab. 8.1 Popis pomocí rozteče puklin

#### Popis pomocí soustav ploch nespojitosti

Mechanické vlastnosti horninového masivu jsou nejvíce ovlivněny počtem protínajících se soustav ploch nespojitosti. Tyto soustavy přímo určují míru deformací horninového masivu. Podle Bartona mohou být soustavy ploch nespojitosti v libovolně blíže určené oblasti popsány následujícím způsobem:

## DISKONTINUITY

- pevný, masivní horninový masiv s náhodně se vyskytujícími spárami
- jedna soustava ploch nespojitosti
- jedna soustava ploch nespojitosti a náhodně se vyskytující plochy nespojitosti
- dvě soustavy ploch nespojitosti
- dvě soustavy ploch nespojitosti a náhodně se vyskytující plochy nespojitosti
- tři soustavy ploch nespojitosti
- tři soustavy ploch nespojitosti a náhodně se vyskytující plochy nespojitosti
- čtyři a více soustav ploch nespojitosti
- rozdrčená hornina, měkké až zemité horniny.

### Popis pomocí stálosti diskontinuity

Stálost plochy nespojitosti nám udává její průběžnost (kontinuitu, nepřetržitost). Tato vlastnost patří mezi jednu z nejobtížněji určitelných z toho důvodu, že odkryté pukliny často zapadají do horninového masivu, a tudíž je nemožné odhadnout jejich stálost. Nicméně se předpokládá, že je možné délky formálních stop (tras) změřených pro každou soustavu ploch nespojitosti zatřídit podle tabulky 8.2.

Stálost diskontinuity	Limit formální délky stopy diskontinuity
velmi malá stálost	menší než 1 m
malá stálost	1 - 3 m
střední stálost	3 - 10 m
velká stálost	10 - 20 m
velmi velká stálost	nad 20 m

Tab. 8.2 Popis pomocí stálosti diskontinuity

### Popis pomocí velikosti horninových bloků

Pomocí velikosti horninového bloku můžeme popsat, jak se bude asi horninový masiv chovat za určitého stavu napjatosti, neboť velikost bloku a smyková pevnost na rozhraní bloků určují jeho mechanické vlastnosti. Následující popis navrhl Barton (1978) na základě zhodnocení vlivu tvaru a velikosti horninového bloku na chování horninového masivu:

- pevná (celistvá) hornina - v masivu jsou jen ojedinělé pukliny či rozteč ploch nespojitosti je extrémně široká
- blokovitá hornina – bloky přibližně stejných rozměrů
- deskovité (vrstevnaté) horniny – deskovitá puklinatost, jeden rozměr bloků je výrazně menší než zbývající dva
- sloupcovité horniny – sloupcovité rozpukání, jeden rozměr bloků výrazně převažuje
- nepravidelně rozpukané horniny – hornina je rozrušena na bloky různých tvarů a rozměrů
- rozdrčené horniny – silně rozpukané horniny.

Pro popis velikostí horninových bloků je možné též použít dělení podle Anona uvedené v tabulce 8.3.

## DISKONTINUITY

Označení blokovitosti	Velikost bloků	Ekvivalentní rozteč diskontinuit	Volumetrický počet spar $J_v$ (početspar/m <sup>3</sup> )
velmi velká	přes 8 m <sup>3</sup>	extrémně široká	menší než 1
velká	0,2 – 8 m <sup>3</sup>	velmi široká	1 – 3
střední	0,008 – 0,2 m <sup>3</sup>	široká	3 – 10
malá	0,0002 – 0,008 m <sup>3</sup>	mírně široká	10 – 30
velmi malá	menší než 0,0002m <sup>3</sup>	menší než mírně široká	přes 30

Tab. 8.3 Popis velikostí horninových bloků

### Popis podle otevřenosti plochy nespojitosti

Míra otevření diskontinuity (zvláště pukliny) je důležitá vzhledem k celkové pevnosti a propustnosti horninového masivu. Některé pukliny mohou být částečně či zcela vyplněny materiálem, jenž ovlivňuje nejen pevnost horninového masivu, ale i jeho propustnost. Pokud je puklina otevřená natolik, že je výplň dostatečně mocná, nejsou stěny pukliny v přímém kontaktu. V tomto případě závisí pevnost plochy nespojitosti přímo na vlastnostech výplňového materiálu. Popis podle otevřenosti plochy nespojitosti zavedl Anon (1977) a Barton – viz Tab. 8.4. a 8.5.

Označení	Šířka otevření
Těsné	0
extrémně úzké (vlásečnicové)	pod 2 mm
velmi úzké	2 – 6 mm
Úzké	6 – 20 mm
mírné	20 – 60 mm
mírně široké	60 – 200 mm
široké	přes 200 mm

Tab. 8.4 Popis podle otevřenosti plochy nespojitosti podle Anona

Označení	Popis	Šířka otevření
uzavřené	velmi těsné	pod 0,1 mm
	těsné	0,1 – 0,25 mm
	zčásti otevřené	0,25 – 0,5 mm
Rozevřené	otevřené	0,5 – 2,5 mm
	mírně široké	2,5 – 10 mm
	široké	přes 10 mm
Otevřené	velmi široké	10 – 100 mm
	extrémně široké	100 – 1000 mm
	dutinaté (kavernózní)	přes 1000 mm

Tab. 8.5 Popis podle otevřenosti plochy nespojitosti podle Bartona

### Popis podle drsnosti plochy nespojitosti

Popis vlastností povrchu plochy nespojitosti se vztahuje k drsnosti plochy, jejímu zvlnění a stavu samotné stěny pukliny. Drsnost a zvlnění plochy nespojitosti jsou úzce svázány s velikostí zkoumané oblasti (měřítkem) a vlivem na smykovou pevnost plochy nespojitosti. Zvětšení drsnosti má za následek nárůst úhlu vnitřního tření podél povrchu pukliny. Tento vliv drsnosti se ztrácí či zmenšuje v případě, že plocha nespojitosti obsahuje výplňový



## DISKONTINUITY

materiál. Pokud budeme popisovat drsnost plochy nespojitosti při středním měřítku (velikost zkoumané oblasti řádově v metrech), dělí se plochy nespojitosti na (Obr. 8.14):

- schodovité,
- zvlňené,
- rovinné.

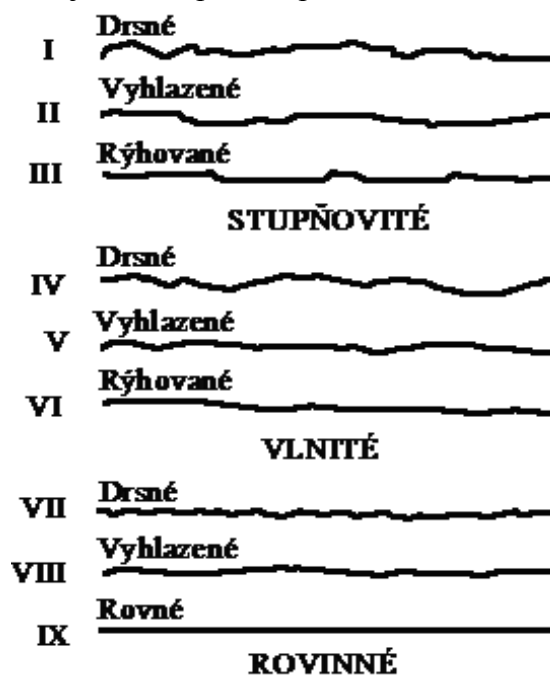
Při malém měřítku (velikost zkoumané oblasti řádově v centimetrech) se každá z výše uvedených skupin dělí dále na (Obr. 8.14):

- hrubé (drsne),
- hladké,
- ohlazené.

další popis drsnosti ploch nespojitosti je svázán s klasifikací horninového masivu indexem Q (viz. Kap. 7).

### Popis podle průsaku

Průsak podzemní vody v horninách je většinou zapříčiněn pohybem podzemní vody puklinami a v menší míře póry (zvláště u sedimentů). Velikost průsaku se předpovídá na základě vyhodnocení úrovně hladiny podzemní vody, režimu podzemních vod, směru proudění, pórových napětí a tlaku podzemní vody. Posouzení přítoku podzemní vody z pukliny do podzemního díla je možné provést podle Bartona – viz Tab. 8.6.



Obr. 8.14 Drsnost ploch nespojitosti

## DISKONTINUITY

Ohodnocení průsaku	Otevřené diskontinuity (bez výplňového materiálu)	Diskontinuity s výplňovým materiálem
1	Diskontinuita je velice těsná a suchá, neumožňuje proudění podzemní vody	Výplňový materiál je suchý a plně konsolidován, význam proudění je pro nízkou propustnost nepravděpodobné
2	Suchá diskontinuita, nejsou pozorovány příznaky proudění podzemní vody	Výplňové materiály jsou vlhké, bez přítomnosti volné vody
3	Suchá diskontinuita vykazující příznaky proudění podzemní vody (např. rezavé zabarvení)	Výplňové materiály jsou mokré, občas z nich odkapává voda
4	Diskontinuita je vlhká, proudění podzemní vody nenastává	Výplňový materiál vykazuje souvislé proudění vody (přítok v l/min), voda z něj vytéká
5	Diskontinuitou nepatrně sákně voda, příležitostně z diskontinuity odkapává voda	Výplňový materiál je místně vyplavován, místa vyplavování vykazují značné proudění vody
6	Diskontinuitou proudí voda, je nutné určit přítok v l/min a popsat tlakové poměry	Výplňový materiál je zcela vyplaven, je zjištěn velký tlak vody (hlavně při odkrytí materiálu), určuje se přítok v l/min a tlakové poměry

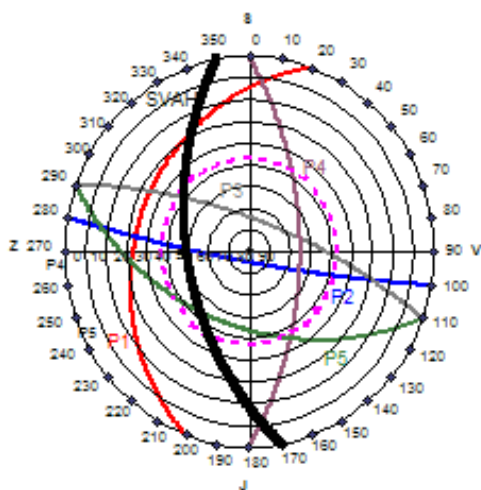
Tab. 8.6 Popis podle průsaku (Barton)

### 8.4 Ukázka popisu horninového masivu

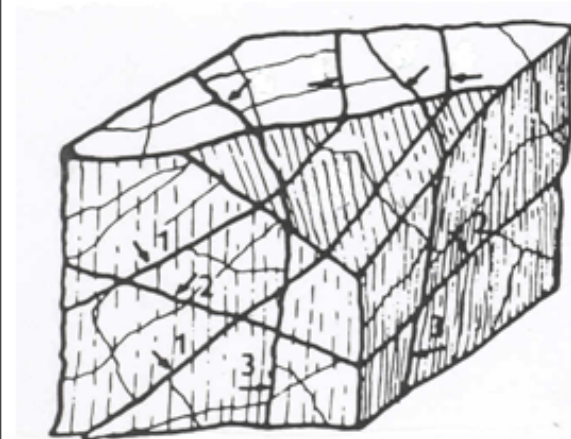
Na Obr. 8.15 je znázorněn výřez z praktické dokumentace skalních svahů (výchozů, stěn) provedené firmou Geotec GS.

# DISKONTINUITY

Puklinový diagram (promítáno na spodní polokouli)



Typ puklin (bloků)



Vysvětlivky : průběžnost puklin P..... průběžné, CP..... částečně průběžné, N..... neprůběžné

hornina : Rula dvojsložná, narůžovělá, drobně zrnito-šupinatá až zrnitopěstevná, zdravá, na puklinách ilmonitizovaná. Svah je porušený trhacími pracemi v minulosti a vlivy povětrnosti.

zvodnění: Závisí na zvodnění. V době dokumentace na řadě míst okapávala voda z puklin.

orientace svahu - spádnicí roviny svahu..... směr / sklon (o) :	260 / 60				
výška svahu (m) :	6 (výška svahu je od 3 do 6 m)				
počet puklinových systémů Pn	3 + 2				
puklinový systém Pi	P1	P2	P3	P4	P5
směr / sklon spádnicí pukliny (o)	290 / 35	190 / 85	20 / 75	90 / 65	200 / 55
interval puklin (mm)	200 - 60 (300)				
průběžnost puklin	průběžné				
rozvětvení puklin (mm)	0 - 10				
koefficient drsnosti JRC	14 - 16	8 - 10	6 - 8	16 - 18	14 - 16
velkoměřítkové nerovnosti	zvl. drsné				
amplituda nerovnosti "a" (mm)	200	90	80	250	500
délka nerovnosti La při dané amplitudě "a" (m)	2,00	2,00	2,00	2,00	5,00
počet puklin na 1 m <sup>2</sup> .....Jv	10,1				
charakteristický interval puklin (mm)	150				
charakter dominujících ploch nespojitosti genereliné	zviněné, drsné				
pevnost stěny pukliny $\sigma_c$ (MPa) *	55	85	115	85	70
kategorie pevnosti (ČSN 72 1001) R1	R2				
základní úhel tření na puklině $\Phi_0$ (o) **	33	33	33	33	33
velkoměřítková hodnota JRCn (-)	6	5	5	6	5
velkoměřítková hodnota JCSn (MPa) ..... $\sigma_c$	13,1	34,6	56,0	16,9	10,7

Obr. 8.15 Popis horninového masivu - výřez

## 9. PRIMÁRNÍ NAPJATOST

Na vznik horninového masivu působily různé procesy a síly, které působily v zemské kůře a byly proměnné jak v čase, tak i v prostoru (gravitace, síly geofyzikální a geomechanické, změny teploty, vlivy sil v zemském jádru apod.). Horninový masiv tvoří horniny různého stupně porušení a plochy nespojitosti (diskontinuity) a je tedy prostředím nehomogenním a anizotropním. Horninový masiv nenarušený podzemní stavbou se nachází v primárním stavu napjatosti (též v geostatické napjatosti) daném polem napětí, ve kterém má každý bod určitý tenzor napětí. Napjatost horninového masivu jako celku lze určit jen přímým měřením „in situ“. Primární stav napětí je možné dělit podle genetického hlediska na:

1. gravitační (vyvolána objemovou tíhou hornin)
2. tektonická:
  - recentní (vyvolaná horotvornými silami v masivu)
  - reziduální (vyvolaná objemovou tíhou hornin nadloží, jež bylo v geologické minulosti sneseno denudací)
  - bobtnáním hornin.

### 9.1 Gravitační napjatost horninového masivu

Předpokládáme, že horninový masiv má tvar nekonečného poloprostoru zatíženého jen vlastní objemovou tíhou a horniny se chovají jako pružná Hookova látka. V určité hloubce  $h$  pod povrchem terénu bude napjatost vyjádřena napětím ve směru svislém  $\sigma_z$  a vodorovném  $\sigma_x$ :

$$\sigma_z = \gamma \cdot h$$

kde:  $\gamma$  objemová tíha horniny  
 $h$  výška nadloží

$$\sigma_x = K_0 \sigma_z$$

kde:  $K_0$  součinitel bočního tlaku v klidu  
 $\sigma_z$  svislé napětí

Pokud se jedná o pevné (skalní) horniny, je součinitel bočního tlaku v klidu dán vztahem:

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

kde:  $\nu$  Poissonovo číslo

V případě, že se hornina nachází v klastickém stavu, je součinitel bočního tlaku v klidu dán rovnicí:

$$K_p = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

kde:  $\varphi$  úhel vnitřního tření

a pro směs hornin klasticky porušených a přirozeně plastických platí vztah:

$$K_h = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} - 2c \frac{1 - \sin \varphi}{\cos \varphi}$$

kde:  $\varphi$  úhel vnitřního tření  
 $c$  soudržnost

## PRIMÁRNÍ NAPJATOST

V případě, že se v horninovém masivu nacházejí v nadloží různé vrstvy, je nutné vztah pro  $\sigma_z$  psát ve tvaru:

$$\sigma_z = \sum_1^h \gamma_i \cdot h_i \text{ respektive } \sigma_z = \int_{\gamma_1}^{\gamma_2} \int_0^h d\gamma dh$$

kde: i označuje číslo vrstvy  
 $\gamma_i$  objemová tíha horniny v i-té vrstvě  
 $h_i$  mocnost i-té vrstvy

### 9.2 Kritická hloubka

Bylo zjištěno, že hornina se v určité hloubce  $h_k$  pod povrchem vlivem tlaků od vlastní tíhy nadloží dostává do stavu „skryté plasticity“. Termínem „skrytá plasticita“ označujeme tedy horninu, ve které bylo dosaženo podmínek plasticity a která se přetváří jen plasticky, aniž by měnila svůj objem (protože tomu brání okolní hornina). Tlak v klidu přitom dosahuje hodnot tlaku hydrostatického, kdy Poissonovo číslo  $\nu = 0,5$ ,  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z$ . Hloubka, ve které dojde ke splnění výše uvedených podmínek plasticity (čili vzniku „hydrostatického pole“), se označuje jako kritická hloubka  $h_k$ . V oblasti Ostravsko-karvinského revíru se kritické hloubky  $h_k$  pohybují v rozmezí 600 – 1000 m. Pro stanovení kritické hloubky byly odvozeny různé teoreticko-empirické vztahy, např.:

- podle pružně přetvárné energie hornin

$$h_k = \frac{\sqrt{\theta_{kr} \cdot G}}{\gamma_{ou}}$$

kde:  $\theta_{kr}$  kritická hodnota pružně přetvárné energie hornin  
G modul přetvárnosti ve smyku  
 $\gamma_{ou}$  objemová tíha úložních hornin

- podle metodiky VVUÚ v Ostravě

$$h_k = \frac{b + \sqrt{b^2 + 4c}}{4\gamma_{ou}}$$

kde:  $\gamma_{ou}$  objemová tíha úložních hornin  
b parametr daný vztahem  $b = (\sigma_{pd} - \sigma_{pt})$   
c parametr daný vztahem  $c = 4/3 \sigma_{pd} \cdot \sigma_{pt}$   
 $\sigma_{pd}$  dlouhodobá pevnost horniny v tlaku  
 $\sigma_{pt}$  dlouhodobá pevnost horniny v tahu

Stanovení kritické hloubky je důležité vzhledem k tomu, že s narůstající hloubkou se zhoršují podmínky ražby a vyztužování podzemních děl a vzniká řada problémů se stabilitou díla:

- narůstá rychlost posunu stropu díla,
- zvyšuje se konvergence boků díla,
- intenzivně se zvedá počva díla,
- narůstá tlak na výztuž.

### 9.3 Stanovení původní napjatosti horninového masivu měřením pomocí tlakové podušky

Při posuzování skalních masivů a jejich vlivu na stabilitu podzemních konstrukcí je nutné určit napětí lišící se od teoretického průběhu primárního napětí (týká se to hlavně napětí vodorovných). Rozdíl mezi skutečností a teorií je dán geologickou minulostí hornin tvořících zemskou kůru. Pro existenci residuálních napětí v horninovém masivu, které neodpovídají tíže nadložních hornin, jsou četné důkazy. Měření původní napjatosti horninového masivu se provádí přímými a nepřímými metodami, které se podle různých kritérií dělí na:

a) Mechanické metody

- sleduje se vzájemné přemísťování bodů (svírání vrtů a rýh),
- sledují se probíhající změny uvnitř horninového masivu (pokusné vrty, odlehčovací štoly)

b) Geofyzikální metody

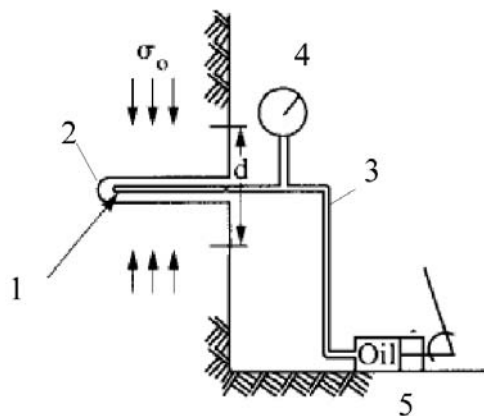
- měření rychlosti šíření vln přímo prostředím či odrazem

c) Metody výpočtu napjatosti

- zpětné vyvození napětí pro potlačení probíhající deformace (kompenzační metoda)

*Měření pomocí tlakové podušky*

Jedná se o kompenzační metodu, jež využívá plochých lisů (tlakové podušky) umístěných v rýze. Měření pomocí tlakové podušky je vhodné do poloskalních hornin, soudržných a jemnozrnných nesoudržných zemin. Při této zkoušce se v první fázi sledují změny polohy dvojic bodů osazených kolem rýhy vyvolané odvrtním horniny. V druhé fázi se v tlakové podušce vyvine takový tlak, jenž zaručí vrácení měřených dvojic bodů do původní polohy a změří se vyvozené deformace (podušky jsou vyráběny pro tlak 20, 35 a 75 MPa). V další fázi pokračuje zkouška jako zatěžovací zkouška prováděná v rýze. Naměřené hodnoty dovolují stanovit původní napjatost, pevnost horniny a její přetvárné vlastnosti (modul deformace apod.). Schéma zkoušky je na Obr. 9.1, fotografie podušky je na Obr. 9.2.



Obr. 9. 1 Schéma měření pomocí tlakové podušky

1. měřicí buňka (poduška)
2. vrt
3. koaxiální spojkovací hadice
4. měřicí přístroj
5. pumy vyvozující tlak

## PRIMÁRNÍ NAPJATOST



Obr. 9. 2 Tlakové podušky (BPC 3200)

### *Měření napjatosti horniny odlehčením vrtného jádra*

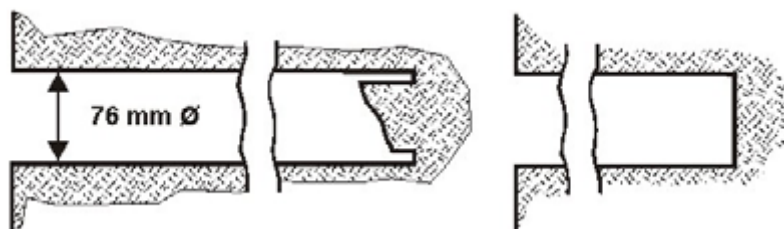
Metody odlehčení jádra využívají pružné charakteristiky prostředí v dvousém či trojosém stavu napjatosti a jsou založené na obvrtávání jádra se snímači deformace. Podle provádění zkoušky se dělí metody do dvou skupin:

- 2D měření - metoda Doorstopper (upravena v Hornickém ústavu ČSAV),
- 3D měření - metoda podle N. Hasta.

Bez ohledu na metodu trvá jedno měření přibližně 1 hodinu, kompletní měření napjatosti masivu zabere 2 dny.

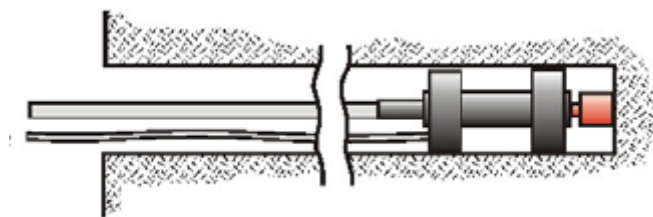
### *Metoda Doorstopper*

Při této metodě se nejdříve provede jádrový vrt diamantovou vrtnou korunkou průměru 76 mm do požadované hloubkové úrovně (max. 20 m) pod úhlem 0 až 90° od vodorovné (pro zajištění suchého vrtu). Dále se z vrtu odstraní jádro a čelo vrtu se zabrousí do roviny - Obr. 9.3. Pomocí speciálního upevňovacího přípravku se do vrtu zasune snímač deformací se strunovými měřidly - doorstopper (Obr. 9.7) a přilepí se na čelo vrtu - Obr. 9.4. Provede se nulté měření a odstraní se upevňovací přípravek pro instalaci snímače deformací. V dalším kroku se celý snímač deformací obvrtá diamantovou korunkou průměru 76 mm - Obr. 9.5. Obvrtáním snímače deformací dojde ke zmenšení napětí na dně vrtu, přičemž snímač deformací zaznamená odpovídající přetvoření na konci vrtného jádra. Po obvrtání je vrtné jádro průměru 61 mm zachyceno a z vrtu vyndáno speciálním přípravkem. Třetí měření je provedeno okamžitě po vyndání vrtného jádra z vrtu - Obr. 9.6. Na základě znalostí deformačních charakteristik určených v laboratoři na vzorcích z vrtného jádra a změřených deformací je možné dopočítat napětí v rovině kolmé na vrt. Po třetím měření je možné provést další měření ve vrtu.

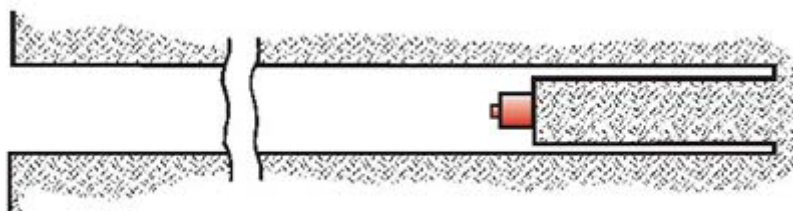


Obr. 9. 3 metoda Doorstopper - 1- fáze

## PRIMÁRNÍ NAPJATOST



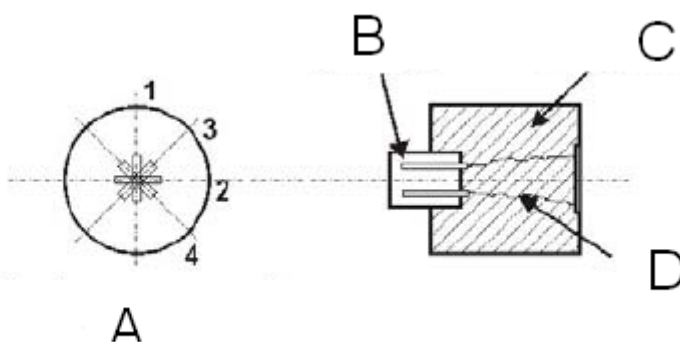
Obr. 9. 4 metoda Doorstopper - 2. fáze



Obr. 9. 5 metoda Doorstopper – 3- fáze



Obr. 9. 6 metoda Doorstopper- 4. fáze



Obr. 9. 7 snímač deformací (doorstopper) - podélný a příčný řez

- A růžice tensometrů
- B kontakty
- C tělo měřice z plastu
- D kabely

### *Metoda podle N. Hasta*

V první fázi této zkoušky se navrtá vnější vrt průměru 76 mm do určité hloubkové úrovně (max. 20 m) a jeho čelo se zabrousí do roviny. Dále se v ose prvního vrtu vyvrtá do hloubky 30 cm vrt o průměru 36 mm (Obr. 9.8), do něhož se pomocí speciálního upevňovacího přípravku osadí snímač deformace (Obr. 9.13). Na konci upevňovacího přípravku je tlaková buňka, která natlakováním stlačeným vzduchem roztáhne vrt okolo snímače deformací a tím umožní jeho zalepení po celém obvodu - Obr. 9.9. Při osazování snímače deformace je také nutné dodržet jeho orientaci. Po osazení snímače deformací se odstraní upevňovací přípravek

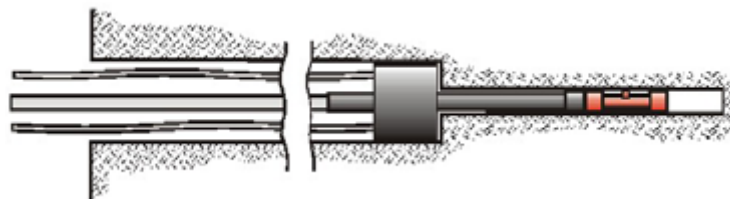


## PRIMÁRNÍ NAPJATOST

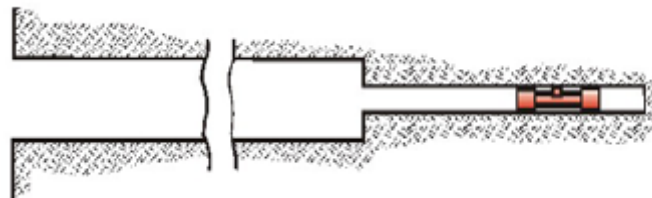
a provede se nulté měření - Obr. 9.10. Tím je snímač deformací připraven k obvrtání a dalšímu měření. V předposlední fázi se snímač deformace obvrtá na plný profil vrtu 76 mm - Obr. 9.11 a provede se druhé měření deformací. Třetí měření je provedeno okamžitě po vyndání vrtného jádra z vrtu - Obr. 9.12. Původní napjatost horninového masivu se určí na základě znalostí deformačních charakteristik určených v laboratoři na vzorcích z vrtného jádra a změřených deformací. Po třetím měření je možné provést další měření ve vrtu. Na Obr. 9.14 je ukázka výsledků měření - znázornění směrů hlavních napětí pomocí stereoprojekce a rozsahy hlavních napětí.



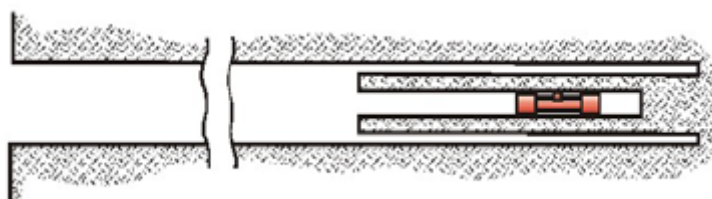
Obr. 9. 8 Metoda Hasta - 1. fáze



Obr. 9. 9 Metoda Hasta - 2. fáze



Obr. 9. 10 Metoda Hasta - 3. fáze

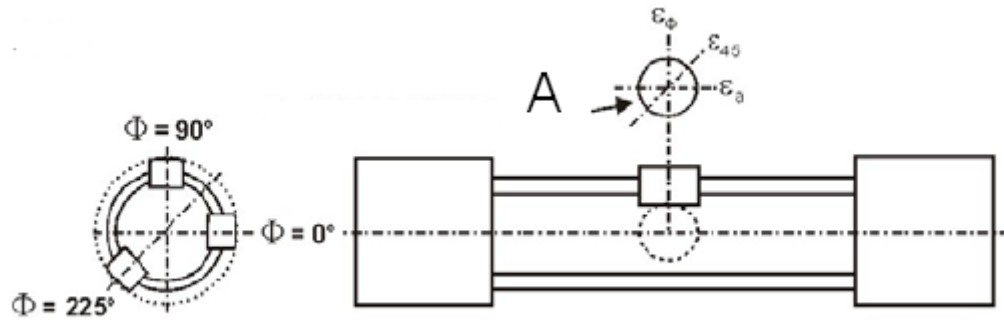


Obr. 9. 11 Metoda Hasta - 4. fáze



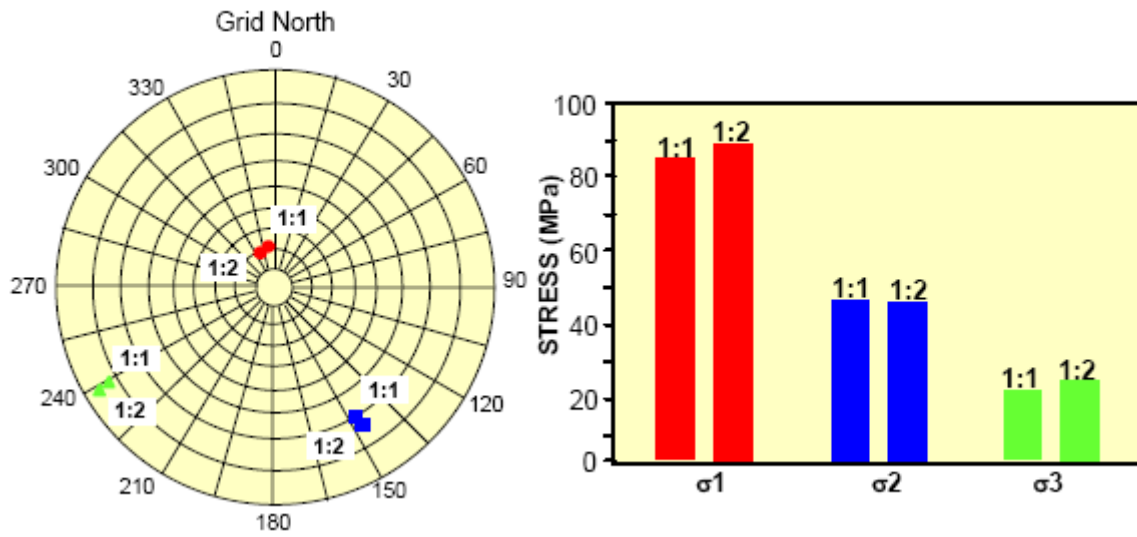
Obr. 9. 12 Metoda Hasta - 5. fáze

# PRIMÁRNÍ NAPJATOST



Obr. 9. 13 snímač deformace dle Hasta

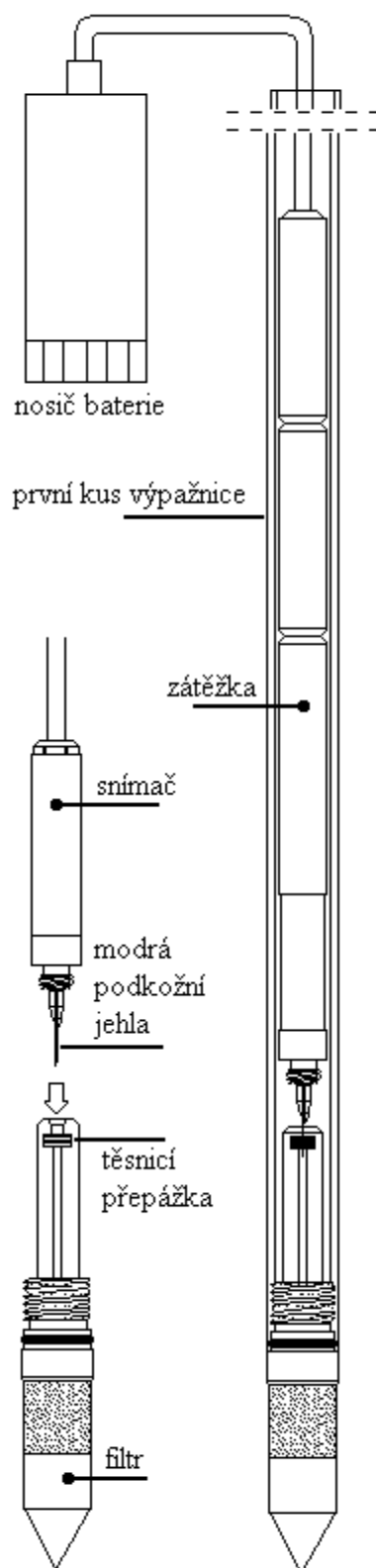
## Růžice tensometrů



Obr. 9. 14 Grafické vynesení výsledků měření primární napjatosti obvtáním jádra

## 10. MĚŘENÍ PÓROVÝCH NAPĚTÍ PIEZOMETREM BAT - ŠVÉDSKO

### 10.1 Popis zařízení



Obr. 10.1 Popis zařízení

## 10.2 Hlavní komponenty piezometru BAT

Hlavní komponenty piezometru BAT tvoří těleso filtru s propustnou pórovitou částí, snímač absolutní velikosti tlaku a polní čtecí jednotka. V případě dlouhodobých měření je snímač opatřen baterií. Čtecí jednotka může být nahrazena přenosným počítačem, za použití speciálního převodníkového adaptéru umístěného na snímači. Pokud není ke zjištění velikosti atmosférického tlaku použit senzor čtecí jednotky, je nutné při automatickém záznamu vestavět samostatný senzor atmosférického tlaku. Tento typ piezometru dovoluje kdykoliv odpojení snímače od filtru na konci výpažnice a jeho údržbu či překalibrování. Vlastní snímač může být použit pro více typů filtrů. Přídavné měřicí jednotky, sloužící např. k testování složení podzemní vody nebo ke zkoušce propustnosti, mohou být spouštěny rovněž výpažnicovou trubicí.

## 10.3 Princip měření

Filtr je trvale umístěn v zemině na konci výpažnicové trubky. Zevnitř je zadržován gumovým diskem. Hydraulické spojení se snímačem je umožněno pomocí podkožní jehly, umístěné na přední části snímače. Po jeho spuštění výpažnicovou trubicí penetruje jehla tíhou přitěžujících závaží těsnění filtru. Samotěsnicí spoj mezi jehlou a gumovou zátkou vylučuje nepřesnosti v naměřených údajích.

Po provedení měření může být snímač opět vytažen. Proces měření lze dlouhodobě opakovat bez ztráty těsnicí schopnosti tělesa filtru. Počet možných průniků jehly těsněním se pohybuje okolo několika set.

## 10.4 Filtry pro snímání pórových napětí

Tělesa BAT filtrů jsou vyrobená z polyacetálu, vlastní propustná část potom z pórovitého polyetylenu. Zařízení neobsahuje žádné mechanické ani elektrické součásti.

Instalace filtru BAT se obecně provádí jeho zaražením do zeminy. Filtr je spojen s prvním kovovým kusem výpažnicové trubky, ostatní díly výpažnice jsou obvykle z plastu. Použitá metoda zavedení výpažnice s filtrem do podloží je závislá na vlastnostech profilu, ve kterém probíhá měření. Pro snadné provedení vylučující zároveň případné poškození filtru, lze výpažnici vložit do předem připraveného vrtu, zhotoveného ve svrchních vrstvách zeminy. Konec výpažnice je doberaněn. V hrubozrnných zeminách se doporučuje použít filtr z nerezové oceli.

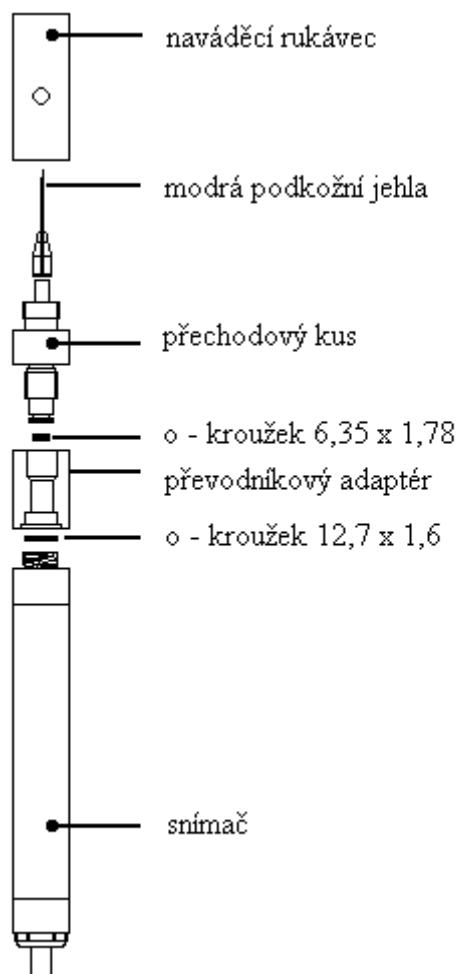


Obr. 10.2 Filtr typu Mk III, Filtr z nerezové oceli

Před vlastní instalací je třeba zajistit odvzdušnění filtru. Také během následného procesu zarážení filtru do zeminy, by se mělo zabránit jeho opětovnému zavzdušnění. Předvrtaná část profilu v místě aplikace piezometru by měla být vyplněna vodou. Spojení výpažnicových trubek musí být dobře utěsněny, aby nedocházelo k pozdějšímu zanášení vnitřku výpažnice. Správné čtení lze provést i tehdy, pokud je výpažnicová trubka naplněna vodou.

### 10.5 Snímač pórového tlaku

Snímač BAT může pracovat ve dvou základních módech. Lze jej použít buď pro přímý odečet hodnot aktuálního absolutního tlaku podzemní vody nebo pro záznam průběhu tlaku v určitém časovém úseku. Snímač je rovněž vybaven čidlem pro měření teploty.



Obr. 10.3 Snímač pórového tlaku

Pro dlouhodobá měření se snímač piezometru opatří baterií. Speciální baterie potom umožňuje i bezdrátový přenos zaznamenaných dat na kterýkoliv počítač či mobilní telefon. K jedné takovéto baterii lze připojit až 5 snímačů. Snímané hodnoty tlaku mohou být čteny buď pomocí polní čtecí jednotky (IS Field Unit) nebo pomocí speciálního převodníkového adaptéru (IS RS 232), který umožní přenos dat přímo do počítače, vybaveného příslušným softwarem.

Před použitím snímače musí být odvzdušněna především část převodníkového adaptéru. K vyplnění prostoru uvnitř adaptéru by měla být použita nenamrzavá kapalina. Výrobce doporučuje např. kapalinu ostřikovačů, s min. 25 % alkoholu. Jednotlivé části snímače je nutné utáhnout a překontrolovat před použitím.

## 10.6 Polní čtecí jednotka – Field Unit



Obr. 10.4 Polní čtecí jednotka

Speciální čtecí jednotka pro kontrolu a práci s daty ze záznamu snímače přímo v terénu a jejich následné nahrání do počítače je alternativou použití přenosných počítačů v polních podmínkách. Jednotka byla navržena pro práci se snímači BAT. Je vybavena senzorem atmosférického tlaku pro redukci absolutního tlaku měřeného snímačem.

Zvolením příslušné nabídky lze na displeji odečíst okamžitou absolutní velikost tlaku nebo uvést snímač do módu automatického záznamu, kdy je veličina sledována po určitou dobu po nastavených intervalech. Dále lze měřit okamžitou velikost atmosférického tlaku, ale sensor lze nastavit i tak, že zaznamenává jeho časově proměnný průběh. Nahrávat, mazat nebo uchovávat data z paměti snímače ve vlastní paměti čtecí jednotky pro jejich další zpracování v laboratorních podmínkách.

## 10.7 Možnosti měření

### - ruční čtení

Snímač je spuštěn výpažnicí, na jejímž konci je propojen s filtrem. Poté, co se čtení ustálí, lze hodnotu odečíst. Čas potřebný pro ustálení hodnoty měřeného tlaku je závislý na propustnosti vrstev zeminy, do kterých je filtr zaražen. Ve vysoce vodivých zeminách se čas do ustálení měřené veličiny pohybuje okolo jedné minuty, zatímco v případě nepropustných jílu vzrůstá na 5 až 10 minut.

### - automatický záznam

Tato možnost měření vyžaduje, aby byl snímač pórových tlaků opatřen baterií. Měřené hodnoty jsou automaticky zaznamenávány dle nastaveného časového intervalu. Data lze nahrát pomocí přídatného převodníku přímo do přenosného počítače v terénu nebo prostřednictvím čtecí jednotky dále do počítače v laboratoři.

### - měření v lince

Tzv. IS System zpřístupní všechna data na jediném místě. Snímače jsou propojeny kabelem tak, že vytvářejí digitální síť. Není nutné provádět čtení na každém místě zvlášť.

### - přenos dat prostřednictvím GSM

## 10.8 Zpracování a interpretace dat

Snímač může uchovat maximální množství 3500 naměřených hodnot. Tj. 3500 čtení absolutního tlaku nebo 3500 hodnot naměřené teploty, či 1750 měření absolutního tlaku + 1750 hodnot atmosférického tlaku. Polní jednotka je schopna nahrát informace z plné paměti až 32 snímačů.

## MĚŘENÍ PÓROVÝCH NAPĚTÍ PIEZOMETREM BAT - ŠVÉDSKO

Program instalovaný pod operačním systémem Windows automaticky třídí soubory nahrávané z polní jednotky do počítače. Jméno každého souboru se skládá z identifikačního čísla snímače a přesného času nahrání dat z jeho paměti.

Pro importování dat do pracovní stránky aplikace Microsoft Excel je vhodné zvolit formát ASCII (přípona .csv) při ukládání souborů. Po jejich otevření z Excelu se objeví průvodce, který slouží jako nápověda při procesu importování dat.

Po importování jsou nahraná data zobrazena v Pascalech (Pa). Jestliže nebylo možné získat sadu dat časově proměnného atmosférického tlaku, může se pro redukci absolutního tlaku použít jeho průměrná globální hodnota. Pro orientaci, v úrovni moře je to 101,3 kPa.

Skutečná velikost pórového tlaku je určena na základě vzorce:

$$u = P_a - P_1 + 2^{(*)} \text{ [kPa]}$$

Kde	u	vypočtený pórový tlak
	$P_a$	naměřená hodnota absolutního tlaku
	$P_1$	velikost atmosférického tlaku

\* z důvodů rozdílu tlakové výšky mezi membránou snímače a středem filtru, je nutné výslednou hodnotu zvětšit o 2 kPa

### 10.9 Hlavní přednosti piezometrů BAT

Systém BAT měří absolutní hodnoty tlaku, což zaručuje stabilní výsledky, zvláště při dlouhodobých měřeních. Pro přesná měření je nutné použít zvláštní senzor atmosférického tlaku. Pokud je pro čtení hodnot zaznamenaných snímačem použita polní čtecí jednotka, může sloužit pro měření atmosférického tlaku senzor, kterým je opatřena.

- Snímač lze kdykoliv vyjmout z vrtu a překontrolovat jeho správnou činnost
- Poškození kabelu či prázdná baterie nezpůsobí ztrátu zaznamenaných dat
- Snímač může být použit opakovaně po ukončení jednotlivých projektů
- S daty lze jednoduše pracovat pod operačním systémem Windows
- Je možné kdykoliv určit přesnou hloubku filtru za předpokladu konsolidace podloží

### 10.10 Podrobný návod na obsluhu polní čtecí jednotky je v příloženém textu:

„Polní čtecí jednotka BAT“, který má vzhledem k diagramům vlastní formátování.

## 11. POLNÍ ČTECÍ JEDNOTKA / IS FIELD UNIT

### 11.1 Popis zařízení



Obr. 11.1 Polní čtecí jednotka

Polní čtecí jednotka (IS Field Unit) slouží k obsluze piezometrických snímačů BAT. Její použití je výhodné zejména tehdy, kdy není možná práce s přenosnými počítači, např. při nepříznivém počasí v terénu.

Jednotka umožňuje naprogramování snímače pro dlouhodobé měření (automatický záznam), nahrání, prohlížení a mazání dat z jednoho i více snímačů, dále také kontrolovat volnou paměť a kapacitu baterie snímače. Možný je i přímý odečet hodnot (ruční čtení), což je praktické zejména v průběhu instalace piezometru.

Čtecí jednotka je vybavena zabudovaným senzorem atmosférického tlaku s vlastní pamětí. Senzor lze využít jak pro dlouhodobá měření, tak pro ruční čtení, díky čemuž lze okamžitě získat hodnotu působícího pórového tlaku a není potřeba samostatného zařízení pro měření atmosférického tlaku.

V laboratoři se zaznamenaná data jednoduše importují do počítače, k němuž je jednotka připojena pomocí konektoru RS232 a příslušný software slouží k další práci s nahranými hodnotami.

### 11.2 Instalace softwaru

Na instalačním disku *IFCO* se nachází program *Data Logger*, kterým je obsluhována čtecí jednotka po jejím připojení k počítači. Průvodce slouží k rychlému instalování softwaru. Windows automaticky uloží daný program na adrese: C:\Program Files\IFCO\Data Logger.

### 11.3 Propojení čtecí jednotky s počítačem a se snímačem

K propojení jak mezi čtecí jednotkou a počítačem, tak mezi jednotkou a snímačem je použit stejný typ kabelu D9 o délce 2 m. Na obvodu čtecí jednotky se pro tyto účely nachází dva jednoduše rozlišitelné konektory RS232, z nichž jeden by měl být vždy chráněn plastovým krytem. Pro propojení s počítačem se druhý konec kabelu umístí do stejného typu portu RS232.



pozn.: pokud je namísto čtecí jednotky v terénu zvolena práce s přenosným počítačem, je potřeba speciálního převodníkového adaptéru IS-RS232 pro propojení mezi snímačem piezometru a laptopem

### 11.4 Importování dat do počítače

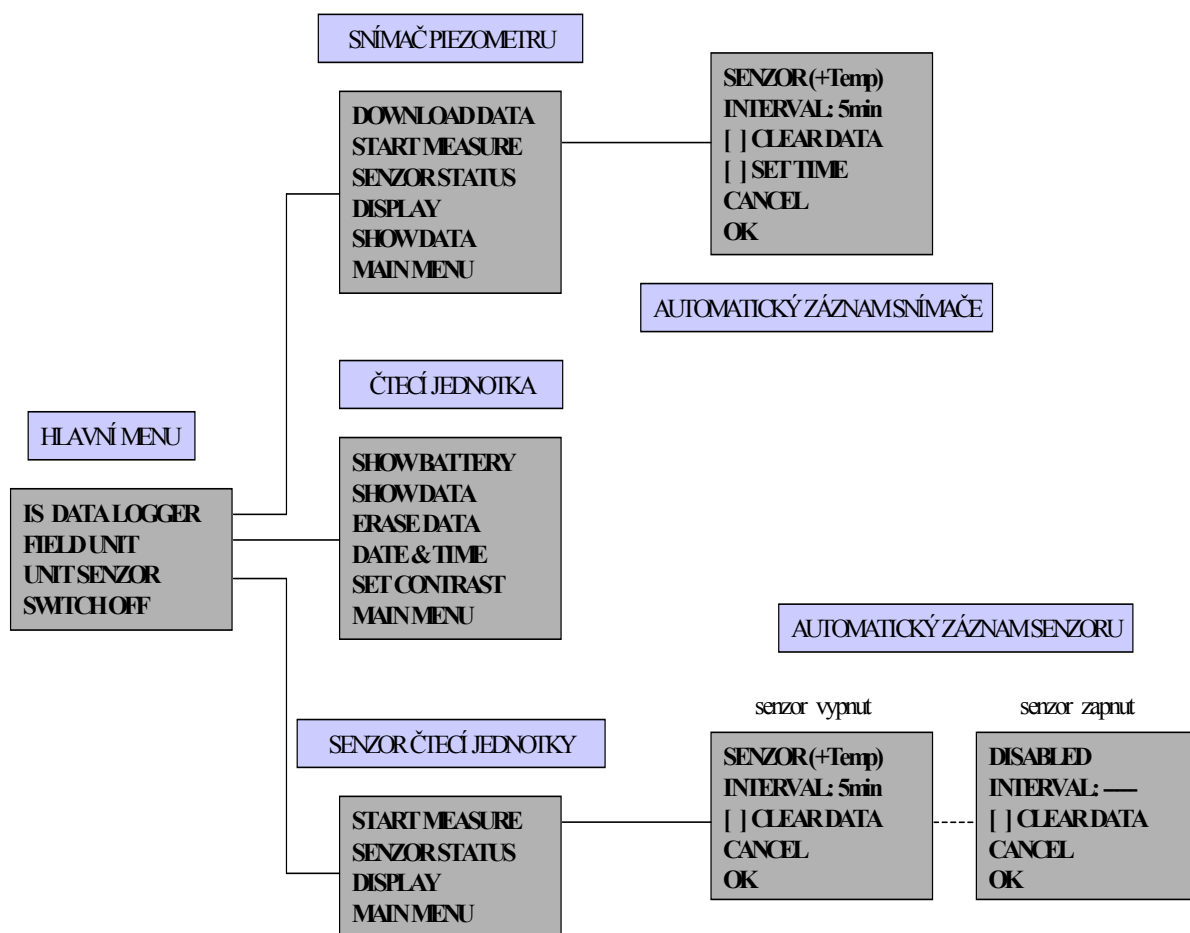
#### - záznam snímače piezometru (z hlavní paměti čtecí jednotky)

Čtecí jednotka může být vypnutá, zapne se automaticky, jakmile dojde k propojení s počítačem. Po spuštění programu *Data Logger* se importování zahájí příkazem *Download Data* v nabídce *Field Unit*.

#### - záznam senzoru jednotky (z vlastní paměti senzoru)

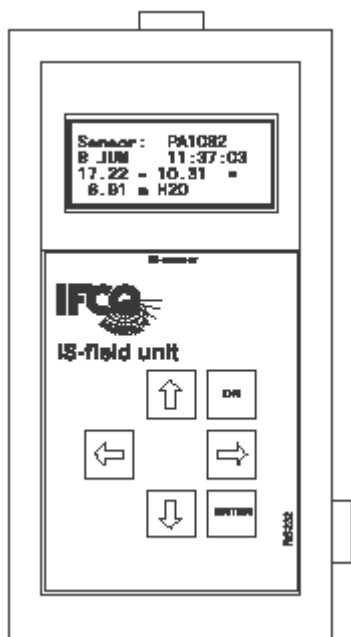
Čtecí jednotka může být vypnutá, zapne se automaticky, jakmile dojde k propojení s počítačem. Po spuštění programu *Data Logger* se importování zahájí příkazem *Load Data* v nabídce *Logger*.

## Struktura nabídek polní čtecí jednotky



Obr. 11.2 Struktura nabídek polní čtecí jednotky

### 11.5 Práce se čtecí jednotkou obecné informace



- stiskem tlačítka <ON> se přístroj zapne a po několika vteřinách se objeví hlavní menu
- pohyb v prostředí:
  - pohyb mezi řádky nabídek: ↑ ↓
  - potvrzení volby: <ENTER>
  - návrat o úroveň výše (do hlavního menu): pomocí příkazu *Main Menu* v dílčích nabídkách nebo zpětné šipky ←
  - zadávání hodnot:
    - režim ANO/NE, změna jednotek, vodorovný pohyb kurzoru... ← →
    - změna hodnoty digitu, při nastavení jasu displeje... ↑ ↓
- vypnutí přístroje: výběrem a potvrzením volby *Switch off* v hlavní nabídce

pozn.: pokud po dobu 5 min není stisknuto žádné tlačítko, přístroj se automaticky vypne

## 11.5.1 Stručný popis příkazů a jednotlivých nabídek čtecí jednotky

### 11.5.1.1 HLAVNÍ MENU

Objeví se za několik vteřin po zapnutí přístroje. Vstup do jednotlivých dílčích nabídek je nutno potvrdit stiskem tlačítka <ENTER>. Vertikální šipky umožňují pohyb mezi jednotlivými příkazy nabídky.

### 11.5.1.2 IS DATA LOGGER

Obsluha snímače piezometru, nahrávání dat snímače do čtecí jednotky, prohlížení nahraných dat

### 11.5.1.3 FIELD UNIT

obsluha čtecí jednotky, prohlížení nahraných dat a jejich mazání z hlavní paměti čtecí jednotky

### 11.5.1.4 UNIT SENZOR

práce s interním senzorem atmosférického tlaku zabudovaným ve čtecí jednotce a s jeho vlastní pamětí

### 11.5.1.5 SWITCH OFF

vypnutí přístroje

## 11.5.2 Nabídka IS Data Logger

### 11.5.2.1 DOWNLOAD DATA

nahrávání dat z paměti snímače piezometru do paměti čtecí jednotky

Jakmile čtecí jednotka nalezne snímač, data se nahrávají; na displeji se zobrazí procentuální průběh procesu společně s identifikačním číslem snímače. Stisknutím <ENTER> lze nahrávání ukončit. Nahrávání neovlivní probíhající měření.

### 11.5.2.2 START MEASURE

nastavení parametrů automatického záznamu, mazání dat z paměti snímače, zahájení dlouhodobého měření

- Senzor & Temperature

Horizontálními šipkami se nastaví měřené veličiny. Snímač piezometru může zaznamenávat buď pouze hodnoty absolutní velikosti tlaku nebo zároveň i teplotu.

- Interval

Interval může být nastaven v rozsahu jedné minuty až jednoho dne. Při volbě kroku záznamu je třeba uvážit celkovou požadovanou dobu měření s ohledem na kapacitu paměti a baterie snímače piezometru.

- Clear Data

Pokud je povel označen [x], data jsou smazána po zahájení nového měření.

- Set time

Čas snímače se nastaví podle času čtecí jednotky označením povelu [x]. Pokud je čas takto nastaven pro každý snímač zvlášť, dají se výsledky z jednotlivých míst snadno porovnávat. Jestliže je navíc zvolen i stejný interval záznamu různých snímačů, příkaz *Set time* synchronizuje čas zápisu nezávisle na tom, kdy byla měření zahájena.

Pokud dojde během automatického záznamu ke ztrátě kontaktu mezi baterií a snímačem nebo je baterie vybita, záznam je zastaven. Je-li měření obnoveno, časové údaje dalších záznamů jsou již chybné. Snímač po připojení čtecí jednotky ohlásí: „*The sensor clock is more than 1 hour off*“. Stejně tak je událost přerušování kontinuity měření uvedena i ve čtení snímače (*Time lost*). Po importování dat do počítače je příslušný software schopen přepočítat čas záznamů z doby po obnovení měření podle času nastaveného ve čtecí jednotce (*Time recovered*). Jestliže ale dojde k přerušování měření z důvodů ztráty energie více než jednou, čas již nelze přepočítat.

Namísto obnovení záznamu s chybně nastaveným časem snímače je výhodnější zahájit nové měření a nastavit znovu aktuální čas podle čtecí jednotky.

- Cancel

odchod bez zahájení měření / ukončení měření

- OK

odchod z menu; zahájení měření potvrzeno

### 11.5.2.3 SENZOR STATUS

kontrola propojení snímače a čtecí jednotky, informace o kapacitě paměti a baterie snímače  
Je-li baterie prázdná, snímač se vypne, naměřená data zůstávají v jeho paměti. Po výměně baterie měření pokračuje, čas snímače je však chybný. V zaznamenané datové řadě se v místě časové prodlevy objeví hlášení „*Time lost*“.

Paměť snímače piezometru dovoluje uložit přibližně až 3500 záznamů. Tj. 3500 čtení tlaku nebo 3500 hodnot naměřené teploty, či 1750 měření tlaku + 1750 hodnot teploty.

Před zahájením nového měření se doporučuje zkontrolovat stav paměti i baterie snímače.

### 11.5.2.4 DISPLAY

ruční čtení: zobrazení hodnoty okamžitého čtení absolutního tlaku

Na displeji je zobrazeno také ID snímače, čas a datum ručního čtení. Vodorovnými šipkami lze měnit jednotky naměřeného tlaku (kPa, Bar, H<sub>2</sub>O).

### 11.5.2.5 SHOW DATA

přehled snímačů, jejichž měření byla nahrána do paměti čtecí jednotky, vstupem do souboru se zobrazí vlastní naměřené hodnoty

Zkontrolovat lze také, kolik paměti čtecí jednotky bylo využito nahranými daty ze snímače.

### 11.5.2.6 MAIN MENU

návrat do hlavní nabídky

## 11.5.3 Nabídka Field Unit

### 11.5.3.1 SHOW BATTERY

informace o stavu baterie čtecí jednotky

Pokud je baterie prázdná, zobrazí se varování.

### 11.5.3.2 SHOW DATA

stejná funkce jako příkaz *Show data* v nabídce *IS Data Logger* viz výše

### 11.5.3.3 ERASE DATA

mazání paměti čtecí jednotky (po opakovaném potvrzení)

Paměť je schopna obsáhnout až 32 plných pamětí snímačů (= 32 x 3500 hodnot, přibližně 512 kB). Před smazáním lze data prohlédnout pomocí příkazu *Show data* v nabídce *IS Data Logger* nebo v nabídce *Field Unit*. Příkaz je třeba ještě potvrdit povellem YES / NO na displeji.

### 11.5.3.4 DATE & TIME

nastavení času a data čtecí jednotky (alternativně i z počítače)

#### ruční nastavení

Vodorovnými šipkami se volí datum a čas, svislými šipkami se mění číselné hodnoty.

#### nastavení z počítače

Čas polní čtecí jednotky lze nastavit ještě v laboratoři po spuštění programu *IS Data Logger* a to příkazem *Measure* v nabídce *Logger*. Povel *Set time* umožní pohodlné nastavení všech údajů.

### 11.5.3.5 SET CONTRAST

nastavení jasu displeje

### 11.5.3.6 MAIN MENU

návrat do hlavní nabídky

## 11.5.4 Nabídka Unit Senzor

### 11.5.4.1 START MEASURE

nastavení parametrů automatického záznamu senzoru atmosférického tlaku čtecí jednotky, mazání dat z vlastní paměti senzoru, spuštění dlouhodobého měření; senzor lze vypnout.

- Senzor & Temperature

Nastavit senzor lze tak, aby snímal buď jen hodnoty tlaku nebo teploty nebo obě veličiny najednou.

- Interval

Interval může být nastaven v rozsahu jedné minuty až jednoho dne. Při volbě kroku záznamu je třeba uvážit celkovou dobu měření s ohledem na kapacitu paměti a baterie senzoru. Doporučuje se ukládat data průběžně do počítače.

- Clear Data

Pokud je povel označen [x], data jsou smazána po zahájení nového měření. V režimu automatického měření jsou hodnoty zaznamenávány i v případě, že se jednotka samočinně vypnula nebo byla vypnuta.

- Cancel

odchod bez zahájení měření / ukončení měření

- OK

odchod z menu; zahájení měření potvrzeno

- Disabled

Namísto nastavení měřených veličin může být senzor atmosférického tlaku vypnut povel *Disabled*. Senzor lze opět uvést do provozu potvrzením příkazu *OK*.

### 11.5.4.2 SENZOR STATUS

informace o vlastní paměti senzoru a kapacitě baterie čtecí jednotky

Podobně jako paměť snímače piezometru může uložit paměť senzoru ve čtecí jednotce přibližně až 3500 záznamů. Tj. 3500 čtení tlaku nebo 3500 hodnot naměřené teploty, či 1750 měření tlaku + 1750 hodnot teploty.

Je-li baterie prázdná, jednotka se vypne. Po vložení nových baterií se činnost automatického záznamu obnoví. Pokud jsou baterie vyměněny do 10 minut, původní nastavení času je uchováno.

### 11.5.4.3 DISPLAY

ruční čtení: zobrazení hodnoty okamžitého čtení senzoru (atmosférického tlaku a teploty)

### 11.5.4.4 MAIN MENU

návrat do hlavní nabídky

## 11.6 Údržba polní čtecí jednotky

Polní čtecí jednotka nevyžaduje žádnou zvláštní údržbu během celé doby své životnosti. Pravidelnější pozornost by měla být věnována pouze bateriím a jejich výměně.

Zdrojem čtecí jednotky jsou dvě 1,5 voltové alkalické baterie velikosti AA. Není doporučeno používat zvláště dobíjené baterie, kdy čtecí jednotka není schopna informovat o jejich skutečné kapacitě. Udávaná životnost těchto baterií je přibližně 10 hodin při trvalém provozu v režimu nahrávání dat.

Zásobník baterií pod zašroubovaným krytem na zadní straně čtecí jednotky obsahuje dvě náhradní baterie. Záložní baterie by měly být vždy k dispozici pro zajištění plynulosti měření v terénu v případě nutnosti výměny starších baterií. Dojde-li k jejich výměně v rozpětí 10 minut od hlášení čtecí jednotky, nastavení času jednotky zůstává uchováno v paměti.

Během výměny by měla být čtecí jednotka vypnuta! Stav baterií je možné překontrolovat v nabídce *Field Unit* příkazem *Show Battery*.

## 11.7 Možné problémy při měření

Nejčastější problémy při měření se mohou týkat několika okruhů, z nichž na prvním místě stojí kapacita a stav baterií piezometrického snímače. Pokud jsou baterie slabé nebo do nosiče baterií na konci kabelu snímače piezometru vnikla vlhkost, může dojít k přerušení dlouhodobého měření, na které čtecí jednotka upozorní ohlášením stavu, tzv. „*Time lost*“. Popsaný stav baterií snímače může dále také způsobit situaci, kdy čtecí jednotka se snímačem nekomunikuje. Nosič baterií snímače piezometru obsahuje dvě alkalické nebo lithiové 1,5 voltové baterie velikosti D.

## POLNÍ ČTECÍ JEDNOTKA / IS FIELD UNIT

Naproti tomu slabé baterie čtecí jednotky neznamení ještě ukončení práce snímače i přesto, kdy jsou rovněž příčinou špatného kontaktu s piezometrem. Pokud nelze čtecí jednotku zapnout, jejich kapacita je potom téměř nulová.

K nekompletnosti očekávané zaznamenané řady měření snímače nemusí vést pouze jeho slabé baterie, ale také jeho plná paměť. Vyplatí se proto začínat nové měření s prázdnou pamětí snímače piezometru a plnou kapacitou baterií. Při kontrolách dlouhodobého měření potom paměť průběžně mazat a baterie dobíjet.

Pečlivou pozornost je vždy potřeba věnovat také kabelům a všem spojům. V případech, kdy čtecí jednotku nelze zapnout nebo se na displeji objeví hlášení o krátkém zkratu (*short circuit*) nebo nelze-li navázat spojení mezi čtecí jednotkou a snímačem, mohou být závady v kabelových rozvodech a jejich spojích jednou z příčin. Je proto lépe se ještě před vlastním měřením přesvědčit o jejich správném zapojení.

### 11.8 Vybrané základní technické údaje

Technické parametry polní čtecí jednotky	
provozní teplota	-20°C – +40°C
kapacita hlavní paměti	plná paměť 32 snímačů (512 kB)
baterie	2 x AA 1,5V alkalické
životnost baterií čtecí jednotky	10 hodin (v režimu nahrávání dat)
rychlost přenosu dat	38 400 bps
kabelové příslušenství	1x 2m kabelu D9 pro propojení mezi čtecí jednotkou a portem RS232 počítače a mezi čtecí jednotkou a piezometrickým snímačem
podpora počítačových aplikací	Windows 95 a vyšší
materiál	ABS
hmotnost	444 g
rozměry	195 x 108 x 44 mm
Zabudovaný senzor atmosferického tlaku	
rozpětí měřeného tlaku	0,8 – 1,2 bar (absolutní hodnoty)
chyba	0,15%, max. 0,35%
paměť	přibližně 3500 měření
životnost baterií čtecí jednotky (pouze v režimu automatického záznamu)	1 rok (s krokem záznamu 4 hodiny)
Softwarové příslušenství	
IS – data logger software	
IS – processing software	

## 12. GEODÉZIE V PODZEMNÍCH PROSTORÁCH

### 12.1 Úvod

Pod pojem geodézie v podzemních prostorách se zahrnují měřické činnosti pro:

- doly,
- tunely, metro, kanalizace, kolektory apod.,
- ostatní prostory – jeskyně, sklepy apod.

Základem je důlní měřictví, které má v našich zemích silnou tradici a je významnou teoretickou, praktickou, ale i historickou součástí vědního oboru geodézie. Zejména v povrchových dolech však často nachází uplatnění inženýrská geodézie. V posledních letech obě zaměření silně konvergují, i nadále však přetrvávají některé odlišnosti, respektující důlní realitu.

Těžiště prací v oblasti důlního měřictví spočívá ve:

- vyhotovování a doplňování mapové a měřické dokumentace pro účely průzkumné, plánovací, projektové a provozní,
- provádění vytyčovacích prací pro povrchové a podzemní objekty,
- zjišťování zásob v ložisku, podklady pro plánování, otvírku, přípravu a dobývání, sledování posunů a přetvoření,
- sledování projevů ukončené důlní činnosti na povrchu,
- rekultivaci pohornické krajiny.

Další text vychází z příslušných kapitol skript a ustanovení s přihlédnutím k potřebám výuky v UEF Josef (viz. literatura).

### 12.2 Druhy činností a právní podklady

Zákon o hornictví rozlišuje a vymezuje hornickou činnost a činnost prováděnou hornickým způsobem. Základní znalost je významná též pro práce v jiných oblastech inženýrské geodézie.

*Hornická činnost* (§2 zákona) zahrnuje:

- vyhledávání a průzkum ložisek vyhrazených nerostů (tzv. Výhradní ložiska),
- přípravu, otvírku a dobývání výhradních ložisek,
- zřizování, zajišťování a likvidaci důlních děl a lomů,
- úpravu a zušlechťování nerostů v souvislosti s jejich dobýváním,
- zřizování a provozování odvalů, výsypek a odkališť při předchozích činnostech,
- zvláštní zásahy do zemské kůry (§34 zákona, znění na internetu),
- zajištění a likvidaci starých důlních děl.

*Činností prováděnou hornickým způsobem* se rozumí:

- vyhledávání, průzkum a dobývání ložisek nevyhrazených nerostů, včetně úpravy a zušlechťování,
- inženýrsko-geologický a hydrogeologický průzkum, kromě geologických prací, pro doplnění údajů dokumentace staveb,
- těžba písků a štěrkopísků v korytech vodních toků plovoucími stroji včetně úpravárenství, kromě odstraňování nánosů při údržbě toku,
- podzemní práce, zejména hloubení jam a šachtic, ražení štol a tunelů, jakož i jiných prostor o objemu nad 500 m<sup>3</sup>,
- práce pro zajištění stability podzemních prostorů,
- práce na zpřístupňování jeskyní a pro jejich udržování v bezpečném stavu,

## GEODÉZIE V PODZEMNÍCH PROSTORÁCH

- zemní práce prováděné za pomoci strojů a výbušnin, pokud se na jedné lokalitě přemísťuje více než 100 000 m<sup>3</sup> horniny,
- strojní vrtání studní s délkou nad 30 m, resp. provádění vrtů pro jiné účely,
- jímání přírodních léčivých a stolních vod v důlních dílech.

### 12.3 Důlní dokumentace a mapy

Důlní mapy a dokumentace se vyhotovují v souřadnicovém systému S-JTSK (systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální) a ve výškovém systému BPV (Balt po vyrovnání). Jejich obsah, způsoby pořízení a archivace předepisuje vyhláška. Mohou být vedeny v klasické analogové (papírové) formě nebo digitálně na pamětech počítačů.

*Číselná dokumentace*, tj. hlavní kniha důlního měření, obsahuje potřebné údaje pro základní důlní mapu, připojovací a usměrňovací měření. Zápisníky, výpočty a seznamy souřadnic bodů základních důlních bodových polí jsou součástí databázového systému.

*Grafická dokumentace* obsahuje:

- základní důlní mapy,
- mapy povrchu (obdobu základní mapy závodu),
- účelové důlní a povrchové mapy.

*Základní důlní mapa (ZDM)* se vyhotovuje pro jednotlivé horizonty (patra) v měřítku 1:1000 popř. 1:500, 1:2000. Obsahuje všechny základní důlní, geologické, technické a správní objekty a údaje potřebné pro vedení báňských prací. K nim patří čtvercová síť, státní a katastrální hranice, hranice ložiskových území, ochranných pásem, vrtů a tzv. celíků, bodová pole, průzkumné vrty, štoly a šachtice, základní geologické údaje, důlní a podzemní díla, zařízení sloužící k ochraně zdraví a bezpečnosti provozu, objekty a místa zvláštní důležitosti, správní, technologické a sociální objekty, pokud zůstanou alespoň tři roky, dále dutiny přírodního charakteru, údaje o dřívější činnosti v podzemí, odkaliště, odvaly, výsypky a rekultivované plochy. Za členění údajů do jednotlivých vrstev a za změny a dokladování původního stavu odpovídá hlavní důlní měřič (HDM).

*Mapa povrchu* je součástí ZDM na transparentním materiálu nebo v samostatné vrstvě digitálního zpracování. Splňuje požadavky platné pro mapy. Měřítko je shodné se ZDM.

Předepsané *účelové důlní mapy* jsou: provozní důlní mapa, mapa větrání, mapa zdolávání havárií, základní mapa závodu.

### 12.4 Důlní bodová pole

Důlní bodová pole se dělí na polohová a výšková, dále na základní a podrobná, měřená v podzemí a na povrchu.

*Povrchová bodová pole* odpovídají běžným zvyklostem. Upozorňujeme, že od roku 2004 je tzv. DATAZ (Databáze trigonometrických a zhušťovacích bodů) přístupná na webové adrese <http://dataz.cuzk.cz>. Obdobně Databáze ČSNS je přístupná na adrese <http://nivelace.cuzk.cz>.

Základní důlní *polohové bodové pole v podzemí* tvoří body základních orientačních přímek (ZOP) určených při připojovacím a usměrňovacím měření a body dalších orientačních přímek. Podrobné důlní polohové bodové pole v podzemí tvoří stabilizované body určené polygonovým pořadem a navazující na základní polohové bodové pole.

Základní důlní *výškové bodové pole v podzemí* tvoří tři výškové body na nárazech v jednotlivých patrech (horizontech), jejichž výšky jsou určeny přesným výškovým měřením. Podrobné důlní výškové bodové pole v podzemí je určováno technickým měřením.



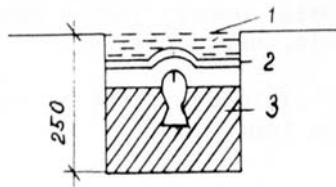
## GEODÉZIE V PODZEMNÍCH PROSTORÁCH

*Stabilizace bodů* se dělí na:

- *trvalou*, spolehlivé body se určují ve spolupráci s geologem. Působením tlaků nadloží může dojít k posunům. Při připojování na stávající body je nutné použít alespoň tři body. Ze změny úhlů a délek lze usuzovat na případný posun. Proto je nutné znát přesnost a způsob měření jak původního, tak připojovacího.
- *dočasnou*, kde se nepředpokládá stálost bodů. Jedná se zejména o stabilizaci ve výdřevě, která se často bortí, nebo o použití troj-podstavcové soupravy.

*Stabilizace v počvě:*

Poloha se v počvě (dnu štol, podlaže) stabilizuje válečkem z ušlechtilého kovu s vyvrtanou dírkou a výška hřebovou značkou. Někdy se používá společné stabilizace, tj. hřebová značka s vyvrtaným jemným otvorem (Obr. 12.1 kde: 1 - zásyp, 2 - poklop, 3 - beton).



Obr. 12.1 Stabilizace v počvě

*Stabilizace ve stropě:*

Tento způsob se používá běžně v dolech, pokud není výška stropu příliš velká. Předností je snadná dostupnost, body se méně znečišťují a poškozují, lépe se vyhledávají a signalizují. Při této stabilizaci se závěs olovnice provleče otvorem stabilizační značky, jejíž správné osazení zaručuje jednoznačnost provlečení závěsu. Centruje se na bod, vyznačený na dalekohledu přístroje. Po urovnání dalekohledu do vodorovné polohy leží vyznačený bod na svislé točné ose teodolitu. Ve cvičeních se používají speciální důlní olovnice se stavitelnou délkou závěsu, kterou lze měnit po povolení horního bubínku. Pro přesné dostředění teodolitu pod olovnici je vybavena ostrým hrotem, který je jinak chráněn odnímatelným krytem (na závit). Troj-podstavcové soupravy (příp. na konzolách) je možno použít pro nucenou centraci.

Při použití totálních stanic mohou být body stabilizovány způsobem, umožňujícím jednoznačné umístění odrazného hranolu nebo terče.

### 12.5 Měřické práce v hlubinných dolech

Práce v hlubinných dolech se provádí podle vyhlášky a zahrnují:

- *polohové měření*, tj. vybudování měřické sítě na povrchu a v podzemí a podrobné měření,
- *výškové měření*, tj. vybudování výškové sítě a určení podrobných výškových bodů,
- *připojovací a usměrňovací měření*, což znamená, že se určuje vzájemná poloha a orientace měřické sítě na povrchu a v podzemí,
- *vytyčovací a kontrolní měření*, které se uskuteční při otvírání důlních děl a ověřování správnosti ražby.

Základní metodou polohového měření v podzemí zůstávají polygonové pořady, pro výšková měření geometrická nebo trigonometrická nivelace.

Podle *přesnosti měření* se dělí na:

- velmi přesné (VP) – pro určení základních údajů důlních děl a pro vědecké účely,
- přesné (P) – pro hlavní polygonové a výškové pořady; platí v celém rozsahu důlního díla,
- technické (T) – měření, na které nebude navazovat další měření,
- speciální (S) – měření, jehož přesnost je stanovena projektantem.

Navazují-li na sebe měření různé přesnosti, nemůže mít prováděné měření deklarovanu vyšší přesnost než měření, ze kterého vychází.

Při měření v podzemí volným (tzv. otevřeným) polygonovým pořadem se musí druhé, *nezávislé měření* uskutečnit:

- před vytyčením směru jiného díla,
- nejpozději, přiblíží-li se důlní díla vzájemně na 30 m, nebo když se na tuto vzdálenost dílo přiblíží k ochrannému pilíři, celíku, stařinám, uzavřenému požářišti, hranici dobývacího prostoru, výrazné tektonické změně atd.,
- nejpozději, když se dílo přiblíží na 100 m ke skladu výbušnin,
- tehdy, když vedení přímého (zakřiveného) důlního díla postoupí od konce poslední dvakrát nezávisle měřené strany na 1000 m (500 m).

### 12.5.1 Měření polygonového pořadu

Polygonové pořady v podzemí jsou zpravidla volné (v terminologii důlního měřictví otevřené). Pro kontrolu se měří vždy dvakrát nezávisle a to buď po stejných, nebo po různých bodech.

#### 12.5.1.1 Měření délek

Délky se stále ještě často měří pásmem mezi závěsy olovnice. Pásmo je vypínáno siloměrem. Měří-li se šikmá délka, je třeba měřit i zenitové úhly při nezměněném sklonu dalekohledu. Pokud je délka strany delší než klad pásma, vkládá se pomocný bod do přímky. V těchto případech je ovšem výhodnější použití elektronického dálkoměru.

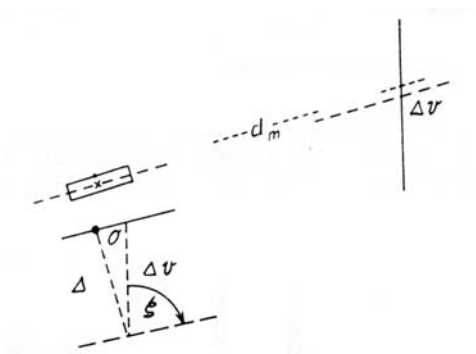
Na závěsu olovnice se určí průsečík s vodorovnou záměrou (označí se špendlíkem nebo hranou kousku izolepy) a odsadí se o hodnotu vzdálenosti značky na kolimátoru dalekohledu od středu objektivu (např. 38 mm u Zeiss Theo 010A/B). Pásmo se napíná siloměrem se současným čtením obou konců pásma na mm. Čtení se opakuje několikrát (VP a P měření 3x, T měření 2x) se změnou počátečního čtení, rozptyl je testován kritériem podle Tab. 12.1. Zavádí se opravy z kalibrace, teploty, průhybu a protažení pásma. Podrobnosti např. Viz [1].

Šikmá vzdálenost (tj. při nevodorovném dalekohledu) se opravuje se o náklon vyznačeného bodu. Oprava se vypočte za pomoci Obr. 12.2 z následujícího vzorce:

$$d_s = d_m - o, \quad (0.1)$$

kde  $d_m$  měřená vzdálenost  
 $o$  je dáno rovnicí:

$$o = \Delta \cdot \cotg \zeta. \quad (0.2)$$



Obr. 12.2 Určení šikmé vzdálenosti

V Obr. 12.2 je:

$\Delta$  – vzdálenost mezi točnou osou dalekohledu a bodem vyznačeným na dalekohledu (bod točné osy alhidády při vodorovné záměře),

$\Delta v$  – odsazení na závěsu olovnice od záměrné přímky; vypočte se ze vzorce:

$$\Delta v = \Delta / \sin \zeta . \quad (0.3)$$

V rovnicích (0.2) a (0.3) je  $\zeta$  zenitový úhel.

U delších stran je výhodné použít *elektronických dálkoměrů*, zpravidla tvořících součást tzv. totálních stanic. Při měření se zavádí obvyklé matematické a fyzikální opravy.

Vodorovné délky stran pořadu je pro mapovací účely nutno opravit o zkreslení použitého zobrazení:

$$O_z = s \cdot z , \quad (0.4)$$

kde:  $s$  délka strany

$z$  průměrná hodnota zkreslení.

Dále se pro tyto účely zavádí oprava délek z nadmořské výšky:

$$v_h = -(s/r) \cdot h , \quad (0.5)$$

kde  $r$  poloměr Země ( $r = 6380$  km)

$h$  nadmořská výška (v hlubinných dolech může mít záporné znaménko).

Požadované přesnosti měření délek, charakterizované mezními odchylkami, jsou uvedeny ve vyhlášce [3] viz Tab. 12.1.

Měření	Pásmem	Dálkoměrem
VP – Velmi přesné	$\delta_{VP} = 0,4 \sqrt{s} \cdot 10^{-3}$	1:18 000
P – Přesné	$\delta_P = 0,5 \sqrt{s} \cdot 10^{-3}$	1:14 000
T – Technické	$\delta_T = 1,0 \sqrt{s} \cdot 10^{-3}$	1:10 000

Tab. 12.1 Požadované přesnosti měření délek

V Tab. 12.1 je pro pásmo s měřená délka,  $\delta$  je rozdíl krajních měření (pro VP a P – 3 měření, pro T – 2 měření). Při použití elektronického dálkoměru jsou kritériem relativní mezní rozdíly dvojice měření. (Poznámka: v důlním měřictví je zaveden termín *povolená odchylka* a symbol  $D$ .) Je třeba uvážit, že chyba vodorovné délky, vypočtené redukcí délky šikmé, výrazně roste se sklonem. Pro práce související s mapováním je nutno zavádět opravu z nadmořské výšky (často hloubky), ze zakřivení Země a ze zobrazení.

12.5.1.2 Měření úhlů

Postup měření úhlů je stejný jako na povrchu. Vlivem rozdílných teplot může vzniknout *refrakce*. Je proto vhodné omezit nebo zastavit větrání. Pro orientaci čtenáře jsou uvedena pouze nejdůležitější kritéria z [3], kde se používá šedesátinné míry. Text těchto skript uvádí všechny hodnoty v setinné míře.

*Levostranné vrcholové úhly* se měří obvyklým způsobem, v podzemí alespoň v jedné skupině s uzávěrem. Na závěs je třeba cílit co nejvýše (nejmenší rozkmit). Závěs se osvětluje svítilnou zezadu přes list papíru, matné sklo v rámečku atd. Tím je zaručeno stejnoměrné osvětlení obrysu závěsu beze stínů. *Mezní (povolená) odchylka v uzávěru skupiny* je pro měření viz Tab. 12.2.

Měření	Mezní odchylka [mgon]
VP – Velmi přesné	$\delta_{VP} = 1.5$
P – Přesné	$\delta_P = 3.0$
T – Technické	$\delta_T = 9.0$

Tab. 12.2 Požadované přesnosti měření úhlů

*Excentricita* stanoviska a cíle má při krátkých záměrech značný vliv. Při maximálním vlivu znamená excentricita cíle 1 mm na vzdálenost 10 m chybu 6,4 mgon, excentricita stanoviska 12,7 mgon.

*Vrcholové úhly* téhož pořadu musí být měřeny bez přerušení. V opačném případě lze v měření pokračovat jen tehdy, jestliže rozdíl měření na témže bodě před přerušením a po přerušení nepřekročí mezní hodnoty, které jsou trojnásobkem hodnot v Tab. 12.2. Vrcholové úhly se pro kontrolu často měří s uzávěrem.

12.5.1.3 Hodnocení polygonového pořadu

*Mezní odchylka ve směru poslední strany* dvakrát měřeného volného (tzv. otevřeného) polygonového pořadu je pro měření viz Tab12.3.

Měření	Mezní odchylka [mgon]
VP – Velmi přesné	$\delta_{VP} = 3 \sqrt{n}$
P – Přesné	$\delta_P = 6 \sqrt{n}$
T – Technické	$\delta_T = 12 \sqrt{n}$

Tab12.3 Mezní odchylka ve směru poslední strany

Kde *n* je *upravený počet měřených vrcholových úhlů* (velikost závisí na sklonu záměry a na délce strany). Vrcholový úhel je (podle zpřesněného konzultovaného výkladu znění vyhlášky [3] ve smyslu [1]) oceněn součtem hodnot, kterých dosáhne alespoň jedno jeho rameno.

*Při sklonu:*

- obou záměr do 22 gon se úhel uvažuje hodnotou 1,
- alespoň jedné ze záměr v rozmezí (22; 56) gon se úhel uvažuje hodnotou 2,
- alespoň jedné ze záměr 56 gon a větším se úhel uvažuje hodnotou 3.

*Při délce:*

- obou záměr > 10 m se úhel uvažuje hodnotou 1,
- alespoň jedné ze záměr ≤ 10 m se úhel uvažuje hodnotou 1,5.

Hodnoty obou hledisek se sčítají (max. hodnota jednoho úhlu je 4,5).

*Mezní odchylka v poloze posledního bodu* volného polygonového pořadu je:

$$\delta_{xy} = (\delta_I^2 + \delta_{II}^2)^{1/2}, \quad (0.6)$$

kde  $\delta_I$  a  $\delta_{II}$  jsou mezní odchylky prvního a druhého polygonového pořadu, resp. měření.

Mezní odchylky, zpravidla udávané v metrech, jsou sestaveny tak, že odpovídají teorii hromadění chyb u volného polygonového pořadu. Pro každý z obou pořadů (měření) platí:

$$\delta_i = 10^{-3} \sqrt{k_1 L_i + k_2 [r_i r_i]}, \quad (0.7)$$

kde  $L_i$  je součet délek stran pořadu,  $[r_i r_i]$  je součet druhých mocnin přímých vzdáleností koncového bodu od jednotlivých bodů pořadu (tzv. průvodičů) a  $k$  je koeficienty závislé na přesnosti měření viz Tab. 12.4.

Měření	$k_1$	$k_2$
VP – Velmi přesné	1	0,003
P – Přesné	2	0,008
T – Technické	3	0,040

Tab. 12.4 Hodnoty koeficientů  $k$

Pro uzavřený pořad platí stejné odchylky.

Vyrovnání odchylek  $o_x$ ,  $o_y$  pravoúhlých souřadnic koncového bodu se většinou provádí úměrně délkám stran a souřadnicovým rozdílům:

$$v_{xi,i+1} = \frac{o_x}{\sum s + \sum \Delta x} (s_{i,i+1} + \Delta x_{i,i+1}),$$

$$v_{yi,i+1} = \frac{o_y}{\sum s + \sum \Delta y} (s_{i,i+1} + \Delta y_{i,i+1}), \quad (0.8)$$

kde  $v$  jsou opravy souřadnicových rozdílů,  $s$  je délka příslušné strany a  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  jsou souřadnicové rozdíly příslušné strany.

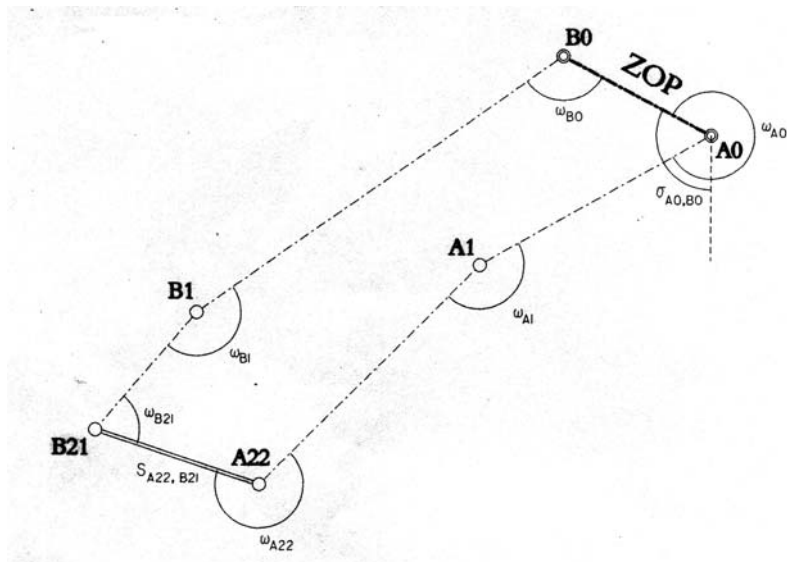
### 12.5.2 Přesný prorážkový polygonový pořad ve štole Josef

Tato úloha je vyučována v rámci předmětu Geodézie v podzemních prostorách 10 (154GP10).

Náležitosti měření polygonových pořadů v hlubinných dolech podrobně popisuje předchozí kapitola a v této kapitole jsou pouze přesně specifikovány požadavky kladené na provedení a zpracování úlohy.

#### 12.5.2.1 Zadání

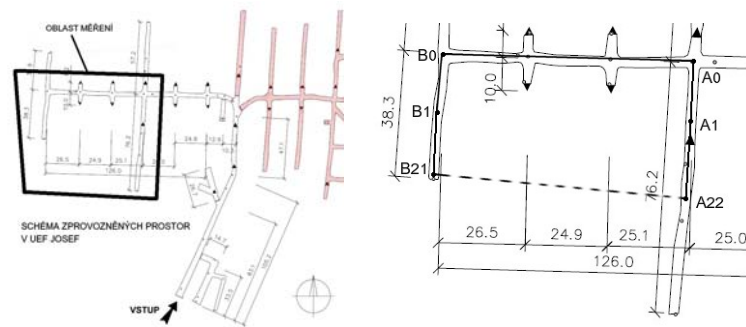
Cílem cvičení je zaměřit prorážkový pořad, tvořený dvěma větvemi volných přesných pořadů, a vypočítat prorážkové úhly  $\omega_{A22}$ ,  $\omega_{B21}$  a délku prorážky  $s_{A22,B21}$ . Obě větve jsou připojeny na bod  $A_0$  s orientací na bod  $B_0$ . Grafickou přílohou úlohy je zobrazení pořadu ve vhodném měřítku s tabulkou průvodičů  $r$ . Schéma pořadu viz Obr. 12. 3.



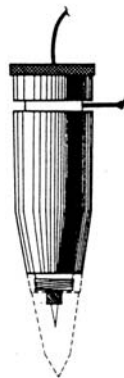
Obr. 12.3 Prorážkový polygonový pořad

### 12.5.2.2 Měření

Výchozí strana  $A_0 - B_0$  je základní orientační přímkou (ZOP), která je určena postupem připojovacích a usměrňovacích měření. Místo stabilizace polygonových bodů obou zadaných větví viz Obr. 12.4.



Obr. 12.4 Umístění prorážkového polygonového pořadu v UEF Josef



Obr. 12.5 Olovnice ÚVR

Polygonové body jsou tvořeny vývrty a zářezy v kovových konstrukcích ve stropu štol. Tyto body se signalizují závěsem olovnice. Ve cvičeních se používají speciální důlní olovnice (Obr. 12.5, konstrukce Ing. J. Vlčka z Ústavu pro výzkum rud).

Olovnice ÚVR má stavitelnou délku závěsu, kterou lze měnit po povolení horního bubínku. Pro přesné dostředění teodolitu pod olovnici je vybavena ostrým hrotem, který je jinak chráněn odnímatelným krytem (na závit). Hrot musí směřovat na červenou tečku na kolimátoru dalekohledu Zeiss Theo 010A(B). Přístroj musí být už téměř urovnán a dostředěn, čtení na svislém kruhu  $300 \text{ gon} \pm i$  ( $i$  – indexová chyba). Potom tečka leží na svislé točné ose teodolitu. Po jemném dostředění se správnost ověří otáčením alhidády. Tečka se nemá pohybovat po kružnici. V opačném případě je zapotřebí přístroj přecentrovat na pomyslný střed této kružnice.

Levostranné vrcholové úhly se měří v jedné skupině s uzávěrem. Teodolity Zeiss Theo 010 A(B) jsou vybaveny zrcátkem pro osvětlení nitkového kříže. Zrcátko, které je ovládáno malým plochým rýhovaným točítkem, umístěným pod kolimátorem II. polohy, má se záměrnou přímkou svírat úhel asi 50 gon. Jeho poloha je patrná při pohledu do objektivu. Doporučujeme šikmo přisvětlovat do objektivu ze vzdálenosti zhruba 0,3 m kapesní svítilnou tak, aby byl ryskový kříž dobře patrný i na tmavém pozadí.

Měření délek se provádí pásmem třikrát a testuje se mezní rozdíl viz kapitola 12.5.1.1.

### 12.5.2.3 Výpočty

Úpravy měřených délek viz kapitola 12.5.1.1.

Každá z obou větví prorážkového pořadu je měřena dvakrát nezávisle. Počítají se známým způsobem jako volné polygonové pořady. Dvojí výpočet téže větve musí vyhovovat mezním kritériím viz následující odstavec. Souřadnicové rozdíly  $o_y, o_x$  koncového bodu větve se potom vyrovnají úměrně délkám stran nebo souřadnicovým rozdílům.

Ze souřadnic bodů větví prorážkového přesného pořadu se vypočtou z rozdílů směrniců prorážkové úhly  $\omega_{Ai}, \omega_{Bj}$  a délka prorážky  $s_{Ai,Bj}$ .

Výškové zajištění prorážky není v této úloze řešeno, i když zejména u vodorovných prorážek je velmi důležité a měřicky náročné.

### 12.5.2.4 Rozbory přesnosti

Rozbory přesnosti před měřením v kategorii přesných měření jsou nahrazeny zněním závazného předpisu [3]:

Měření	Počet opakování
Měření vrcholových úhlů	$n_\omega = 1$
Měření zenitových úhlů	$n_\zeta = 1$
Měření délek	$n_s = 3$

Tab. 12.5 – Počty opakování pro kategorii přesných měření

#### Rozbory přesnosti při měření

Mezní rozdíl  $\delta_{ps}$  při měření délek pásmem ve třídě přesných pořadů je  $\delta_{ps} = 0,5\sqrt{s}$  [mm; m]. Mezní odchylka  $\delta_{pu}$  v uzávěru úhlových měření ve skupině nesmí přesáhnout hodnotu  $\delta_{pu} = 3 \text{ mgon}$ .

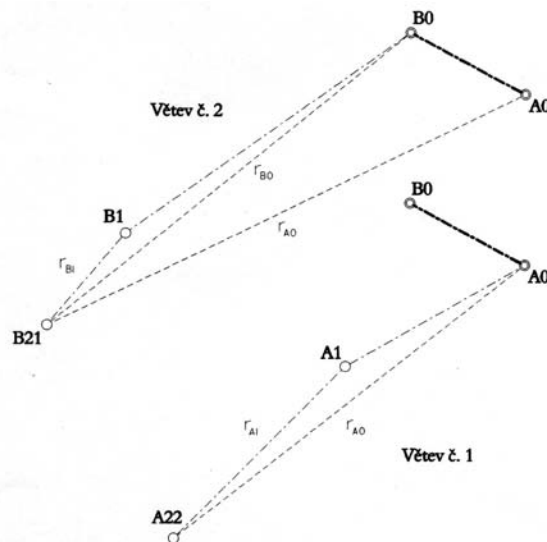
#### Rozbory přesnosti po měření

Mezní odchylka ve směru poslední strany dvakrát měřeného přesného pořadu je  $\delta_{p\sigma} = 6\sqrt{n}$  mgon, kde  $n$  je tzv. upravený počet měřených vrcholových úhlů (závisí na sklonu a délce záměr viz kapitola 12.5.1.3).

Pořad bude měřen dvakrát po stejných bodech. Potom je vzorec mezního rozdílu v poloze posledního bodu psán ve tvaru:

$$\delta_{pxyi} = \sqrt{4L + 0,016\sum r_i^2} \text{ [mm; m]}, \quad (0.9)$$

kde  $L$  je délka pořadu a  $r_i$  jsou tzv. průvodiče, tj. vzdálenosti jednotlivých bodů polygonového pořadu od bodu posledního viz Obr. 12.6.



Obr. 12.6 Průvodiče

## 12.6 Dokumentace skutečného stavu liniových podzemních děl

K dokumentaci skutečného stavu byla používána řada technologií a postupů, z nichž některé jsou jmenovány a krátce popsány:

- Metoda světelných řezů (využívá snímání světelné roviny kamerou) viz [1],
- prostorová polární metoda s totální stanicí v módu měření na hranol,
- prostorová polární metoda s totální stanicí v módu měření bez hranolu,
- jednoúčelové skenovací přístroje založené na prostorové polární metodě (Profiler 4000) viz např. [4],
- jednoúčelové skenovací přístroje založené na fotogrammetrických metodách (Dibit) viz např. [4],
- motorizované totální stanice s funkcí skenování (frekvence skenování v počátcích vývoje přibližně 1 Hz v současnosti až 50 Hz),
- laserové skenovací systémy (frekvence skenování tisíce až statisíce Hz).

V současné době jsou z důvodu rychlosti nejčastěji používány laserové skenovací systémy nebo z důvodu univerzality motorizované totální stanice s funkcí skenování.

### 12.6.1 Možná využití

Existuje řada technických a ekonomických důvodů k přesné dokumentaci staveb v různých fázích jejich budování.

Při ražbě je možné dokumentovat výrub na čelbě pro potřeby polního řízení ražby a pro potřeby přesného měření nadvýlomu. V případě druhého zaměření po umístění primárního ostění (např. stříkaného betonu) je možné použít získaná data pro přesný plošný výpočet síly ostění (kontrola statiky) a objemu použitého materiálu (ekonomické ukazatele).



## GEODÉZIE V PODZEMNÍCH PROSTORÁCH

Fází výstavby, kdy je nutná dokumentace skutečného stavu nejčastěji, je kontrola průřezného profilu tzv. průřezu před budováním sekundárního ostění. Minimální projektovaný průřez je nutnou podmínkou pro průjezd "šalovacího" vozu. Metoda laserového skenování umožňuje rychle a přesně určit oblasti k vytyčení, kde je nutné primární ostění upravit.

Poslední fází je dokumentace skutečného provedení po ukončení všech prací. Možné je využití pro kontrolu realizace stavby srovnáním jejího přesného zaměření s projektem. V případě laserové skenování obsahuje taková dokumentace většinu detailů, které by mohly být v budoucnu předmětem nejasností a sporů mezi dodavatelem a investorem.

Mimo uvedené typické aplikace při výstavbě tunelů existují potřeby dokumentace i v méně častých případech. Jedná se například o získávání podkladů pro tvorbu rozličné technické dokumentace (mapa elektrických rozvodů, mapa odvětrání,...). V případě důlních štol se jedná o tvorbu přesných mapových podkladů nebo o výpočet kubatur vytěžené horniny.

### 12.7 Zaměření skutečného stavu části stoly Josef a jeho srovnání s projektem

Tato úloha je cvičena v rámci předmětu Základy automatizace v Inženýrské geodézii (154YZAG) a tato kapitola je jejím hlavním studijním podkladem.

#### 12.7.1 Zadání

Zaměřte skutečný stav ostění v zadané části UEF Josef a proveďte jeho srovnání s projektem.

Srovnání prezentujte formou rozvinuté plochy tunelu (digitální model odchylek od projektu) v hypsometrickém zobrazení a formou příčných profilů s vyznačením projektového profilu, skutečného profilu a okótovaných a barevně odlišených odchylek.

Určete objemy nad a podvýrubu vůči projektu. Objemy určete oběma možnými metodami (z rozdílových ploch u příčných profilů a z rozvinuté tunelové plochy).

V hypsometrickém plánu vyznačte polygony oblasti, které zasahují do projektového profilu o více než 20 cm a zjistěte jejich souřadnice pro potřeby jejich vytyčení v terénu.

#### 12.7.2 Postup měření

Proveďte zaměření zadané části štoly Josef laserovým skenovacím systémem Leica HDS3000. Jednotlivá stanoviska připojte na vlíčovací body, které jsou ve štole trvale stabilizovány a pro měření jsou signalizovány speciálními terči viz Obr. 12.7.



Obr. 12.7 – Stabilizace a signalizace identických bodů

Další podrobnosti k rozmístění stanovisek (typicky po 15 metrech), výběru vlíčovacích bodů (tři a více) a nastavení parametrů skenování (typicky 5x5 centimetrů pro vzdálenost 10 metrů) budou upřesněny odborným asistentem na místě.

### 12.7.3 Podrobný postup zpracování

#### 12.7.3.1 Poznámka k souřadnicovým soustavám

V aplikaci Tunel softwaru Atlas je nutné pracovat s levotočivou X (geodetickou) souřadnicovou soustavou. Projekt a vřícovací body jsou tedy definovány v levotočivé soustavě.

V softwaru Cyclone a Geomagic je možné pracovat pouze s pravotočivou 'x' (matematickou) souřadnicovou soustavou. Pro potřeby registrace (transformace) v softwaru Cyclone je nutné převést vřícovací body do pravotočivé soustavy jednoduchým převodem  $x = -Y$ ,  $y = -X$  a  $z = z$  (například v softwaru Microsoft Excel).

Po registraci je nutné vyexportované body převést od levotočivé soustavy  $Y = -x$ ,  $X = -y$  a  $z = z$ .

#### 12.7.3.2 Práce v softwaru Cyclone

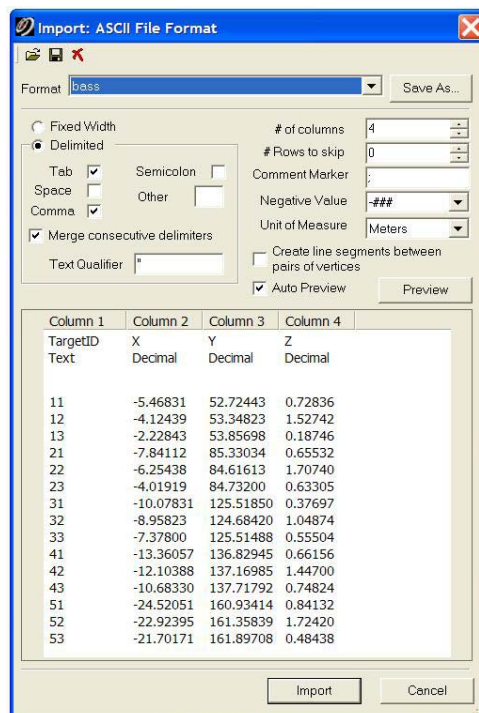
V oblasti laserového skenování se termínem registrace nazývá proces transformace dat z jednotlivých stanovisek (ScanWorldů) do jediného souřadnicového systému.

Registrace a export se provádí v softwaru Cyclone – Registr a Cyclone – Model.

#### *Vytvoření ScanWorldu s vřícovacími body*

Před registrací je nutné vytvořit ScanWorld s vřícovacími body (v některých případech je již vytvořen a je možné následující postup přeskočit):

1. Spustíte program Cyclon (umístněn na ploše). Spustí se tzv. Cyclone – Navigátor.
2. Vyberte použitý projekt (Cyclone – Navigator → Servers → HDS3000\_P838 (unshared) → "použitá databáze" → "použitý projekt").
3. V místní nabídce na našem projektu vyberte: Create → ScanWorld. Zvolte název ScanWorldu například "vřícovací body".
4. Rozbalte ScanWorld "vřícovací body", zvolte ControlSpace a v místní nabídce vyberte Import...
5. Vyberte soubor s vřícovacími body (standardně "vřícovací\_body\_pravotociva.txt").
6. Nastavte reálné parametry v dialogu pro import a potvrďte tlačítkem Import.



Obr. 12.8 Dialog pro import bodů





### Registrace

1. Vyberte použitý projekt: Cyclone – Navigator → Servers → HDS3000\_P838 (unshared) → "použitá databáze" → "použitý projekt".
2. Vyberte registraci: v místní nabídce na našem projektu zvolte Create → Registration.
3. Otevřete Registration (místní nabídka nebo dvoj-klik).
4. Vyberte ScanWorldy, které chcete registrovat (ScanWorld → Add ScanWorld) a potvrďte výběr. Jedná se o ScanWorldy z měření a ScanWorld s vlíčovacími body.
5. Nastavte jako Home ScanWorld ten, který obsahuje vlíčovací body. Volba Home ScanWorldu se provádí na kartě "ScanWorlds Constraints" jeho výběrem a volbou: ScanWorld → Set Home ScanWorld.
6. *Poznámka:* Home ScanWorld je stanovisko, do jehož souřadnicové soustavy se budou ostatní ScanWorldy transformovat. Implicitně se jako Home ScanWorld nastaví ten, který je uveden ve stromové struktuře projektu jako první.
7. Vyberte Constraints (podmínky): Constraint → Auto-Add Constraints (vybrané constraints jsou vidět na kartě "Constraint List")
8. Proveďte registraci: Registrace → Register.
9. Kontrola hrubých chyb: Na kartě "Constraint List" zkontrolují odchylky na jednotlivých bodech. Pokud jsou některé odchylky výrazně větší než 2 cm, je to pravděpodobně způsobeno hrubou chybou například v označení identických bodů při měření. Oprava chybně označených bodů je složitější operací a proto je nutná asistence vyučujícího.
10. Nová registrace v případě vyloučení hrubých chyb: Registrace → Register.
11. Zhodnocení průměrné absolutní odchylky: Registration → Show Diagnostics....
12. Kontrola odlehlých bodů: Pokud odchylky na bodech nepřekračují hodnotu 2 cm, ale některý bod(y) (v jedné nebo více podmínkách) má výrazně větší odchylku než ostatní, je možné, při dostatečném množství identických bodů, jeho vyloučení: Místní nabídka na zvoleném bodě a volba Disable.
13. Nová registrace v případě vyloučení odlehlých bodů: Registrace → Register.

## GEODÉZIE V PODZEMNÍCH PROSTORÁCH

14. Zhodnocení průměrné absolutní odchylky a uložení protokolu o registraci: Registration → Show Diagnostics... → Save.
15. Tvorbu sloučeného mračna: Registration → Create ScanWorld/Freeze Registration.
16. Aby bylo možné s registrovanými daty pracovat, je nutné vytvořit nový ModelSpace volbou: Registration → Create ModelSpace.
17. Zavřete modul Registration.

### Očištění mračna

18. Zobrazení registrovaných mračen: v příslušném registrovaném ScanWorldu vybereme ModelSpace: "název registrovaného ScanWorldu" → ModelSpaces → ModelSpace. V místní nabídce volíme "Create and Open ModelSpace View".
19. Práce v ModelSpace: Tři základní režimy:  pick mode,  view mode a  a seek mode (klávesové zkratky 'p', 'v' a 's'). Pick mode slouží k výběru (bodu, mračna, vertexu – vřícovacího bodu), seek mode slouží k určení bodu, kolem kterého se provádí otáčení pohledu, a view mode slouží k základnímu pohybu v 3D prostředí. Ve view modu slouží levé tlačítko myši k otáčení mračna, střední s posunem myši dopředu a dozadu k zvětšování a zmenšování obrazu a pravé k posunu.
20. Vyberte zájmovou oblast a zkopírujte ji do nového ModelSpace: Pomocí funkce ohrady  (fence) se vyberte zájmovou část mračna a v místní nabídce zvolte "Copy Fenced to New ModelSpace".
21. Manuální očištění mračna: v dalším okně (ModelSpace View) se proveďte manuální očištění mračna bodů od předmětů, které nejsou součástí vyhodnocení (obsluha skeneru, důlní vozík, instalace, příslušenství systému, ...). Manuální čištění spočívá ve výběru nevhodných bodů ohradou a jejich vymazání funkcí v místní nabídce "Fence → Delete Inside".
22. Očištění mračna je vhodné provádět po částech (například po pěti až deseti metrech štoly). Jedna z možností jak toho dosáhnout je omezení zobrazovaného prostoru pomocí funkce View → Limit Box.

### Export výsledného mračna

23. Výběr mračen pro export: v pracovním ModelSpace vyberte mračna pro export (nejlépe všechny volbou Selection → Select All, protože zobrazená jsou již jen očištěná zájmová mračna).
24. Export bodů: Vyberte: File → Export.... Jako typ souboru vyberte TXT formát, pojmenujte soubor, v dialogu "Export Options" vyberte volby tak, aby vybraná mračna byla zahrnuta a potvrďte. V dalším dialogu nadefinujte výstupní formát (nejlépe souřadnice XYZ oddělené mezerami na čtyři desetinná místa).
25. Takto vytvořený soubor je možné přímo načíst v softwaru Geomagic, ve kterém bude probíhat další zpracování.
26. Zavřete všechna okna softwaru Cyclone.

### 12.7.3.3 Geomagic

V softwaru Geomagic proveďte redukci počtu bodů úpravou na pravidelnou síť bodů rozměru například 15x15 centimetrů.

27. Nejprve otevřete textový soubor s mračnem bodů. Při otvírání zvolte "Keep Full Data on Sampling".
28. Dále volíme funkci: Points → Grid Sample .... V dialogu této funkce volíme Spacing na požadovaný rozměr 15x15 cm a spustíme funkci.

29. Redukované mračno vyexportujte volbou: File → Save As .... Jako typ souboru volte "Vertex File".

### 12.7.3.4 Aplikace Tunel softwaru Atlas DMT

Aplikace Tunel nebyla dosud převedena do současné verze softwaru Atlas DMT (verze 4.3) a proto je nutná práce v starší verzi 3.8, která nesplňuje některé současné nároky na uživatelský komfort.

Všechny dialogy aplikace Tunel, které nebudou v tomto návodu zmíněny, potvrďte.

#### Vstupní data

Kromě měřených dat jsou vstupní soubory definující projekt dodány vyučujícím.

Nejprve je nutné v souladu s kapitolou 12.7.3.1 změnit souřadnicovou soustavu mračna bodů na geodetickou (v softwaru Atlas nazývanou JTSK) a odstranit hlavičku seznamu vloženou Geomagicem. To je možné provést například v Excelu. Měřená vstupní data do aplikace Tunel musí mít pořadí souřadnic **Y X Z** ( $Y = -x$ ,  $X = -y$ ,  $z = z$ ).

Prvním souborem definujícím projekt je tzv. "osový polygon". Tento soubor obsahuje staničení a souřadnice lomových bodů na projektové ose (kružnice a přechodnice se nahrazují lomenou čarou).

Dalším souborem je seznam příčných projektových profilů. Tento soubor obsahuje seznam a informaci o rozsahu platnosti příčných projektových profilů. V tomto souboru je nutné zeditovat cestu k uložení příčných projektových profilů. Obsah souboru může být velmi stručný:

```
[main]
path=c:\_dokum~1\~_skol~1\~_vyuk~1\yzag\proj_g2
[profiles]
150=p150.pfl
171.749=p175.pfl B
```

Položka "path" je nutné přepsat podle dále uvedeného postupu. Tento soubor se standardně jmenuje "seznam.prx".

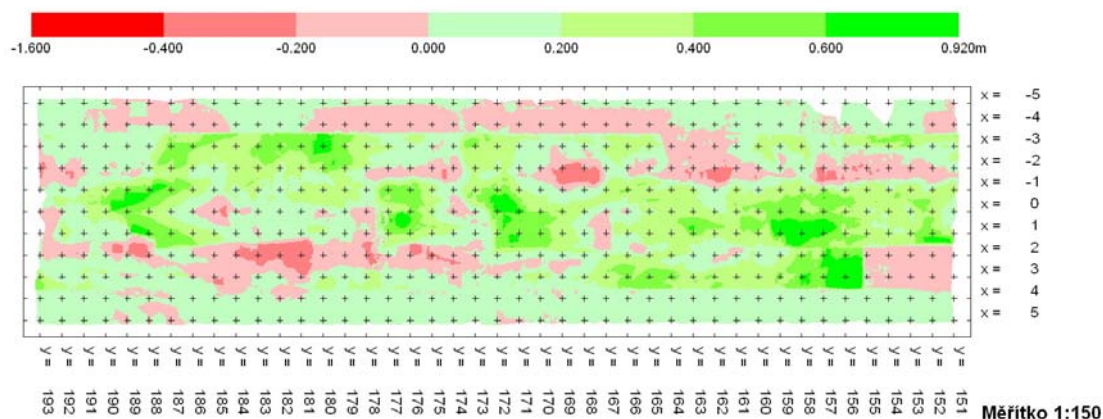
Poslední projektové soubory obsahují definici příčných profilů odkazovaných v seznamu profilů. Jsou dodány soubory "p150.pfl" a "p175.pfl".

Všechny soubory je vhodné umístit do jednoho pracovního adresáře.

Bližší informace o struktuře uvedených souborů viz nápověda aplikace Tunel.

#### Rozvinutá plocha tunelu

30. Založte nový dokument na vzoru "TUNELYS0.AAT".
31. Potvrďte nastavení listu.
32. Spusťte funkci Tunely → Generace rozvinuté plochy ... .
33. Vyberte všechny vstupní soubory pomocí tlačítka ">>".
34. Zkopírujte zobrazenou cestu u souboru "Projektový profil:". Tlačítkem "E" u projektového profilu vyvolejte jeho editaci a nahraďte položku "path" zkopírovanou cestou. Nezapomeňte umazat název souboru a poslední lomítko "\".
35. Spusťte konverzi bodového pole tlačítkem "Konverze".
36. Spusťte vytvoření digitálního modelu rozvinuté plochy tlačítkem "Model odchylek".
37. Vložte model do půdorysu volbou: Tunely → Zobrazení rozvinuté plochy → Vložit model do půdorysu.
38. Potvrďte otevření dialogu "Nastavení půdorysu". V dialogu volte "Max. Výřez" a vhodné měřítko (např. 1:150).
39. Nastavte si vhodné zobrazení digitálního modelu, například podle Obr. 12.9.



Obr. 12.9 Vhodné zobrazení rozvinuté plochy tunelu

### Poznámky:

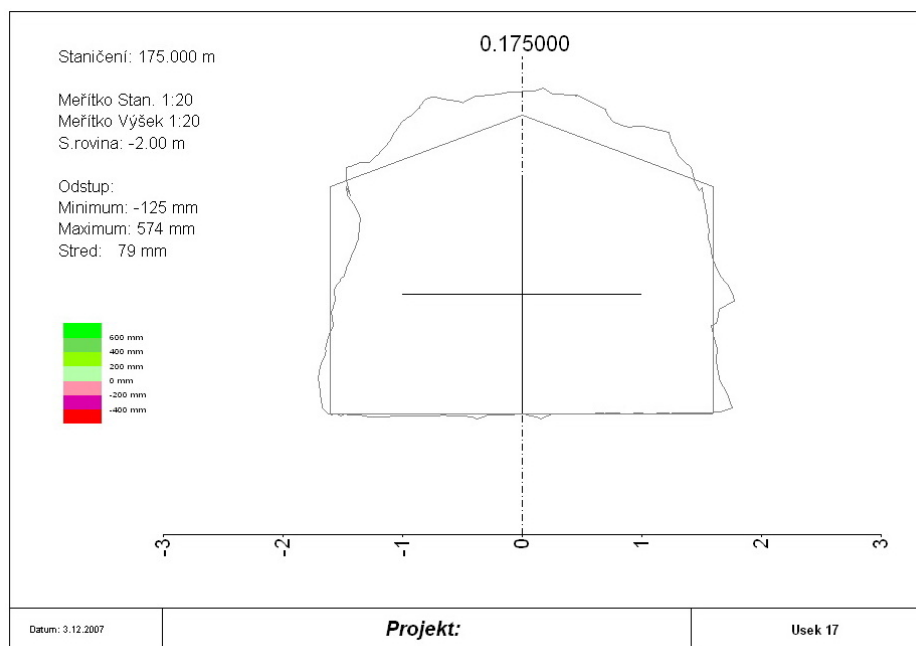
- Nastavování parametrů není v Atlasu příliš intuitivní. Je potřeba nastavit parametry dvou objektů: modelu a půdorysu.
- Jednotlivé objekty je možné vybírat s využitím stromu objektů. Ve stromové struktuře se najde požadovaný objekt a volbou Menu → Vlastnosti, se vyvolá dialog jeho vlastností.
- Posun vybraného objektu se provádí po jeho vybrání, stisknutím levého tlačítka myši na objektu (v případě půdorysu na obvodové čáře půdorysu) a posunem. Úchopové body slouží pouze ke změně tvaru objektu.
- Nastavení modelu:
  - V zadání je uvedeno vyznačení oblastí, které zasahují do projektového profilu o více než 20 cm (odchylka je menší než  $-0.2$  m), a proto je nutné nastavit jednu hranici intervalu na tuto hodnotu.
  - Protože dále uvedené okótování příčných profilů má jiný způsob volby intervalů s pevně nastaveným maximálním počtem na 7, je vhodné, z důvodu souladu rozvinuté tunelové plochy a příčných profilů, volit stejný počet intervalů.
  - Počet, rozsahy a barvy intervalů se volí ve vlastnostech modelu po stisknutí tlačítka "Výšk. intervaly". Je možné nahrát vzorové nastavení ze souboru "inter\_i2.ini".
- Nastavení půdorysu:
  - Po vyvolání dialogu vlastností půdorysu je možné tlačítkem "Čtverc. síť" volit zobrazení čtvercové sítě a jejího popisu.

### Příčné profily

Vytvořte příčné profily v intervalu pěti metrů. Profily budou obsahovat projektový příčný profil, měřený příčný profil, okótované a barevně odlišené odchylky.

40. Otevřete přednastavené okno s profily: Okno → Nové. Vyberte existující list "List – profily".
41. Změňte počet stránek na tomto listu tak, aby odpovídal počtu příčných profilů: Soubor → Nastavení listu ... . Dále zvolte počet stran vodorovně a svisle.
42. Spustěte generování příčných profilů: Tunely → Profily z rozvinuté plochy ... . V dialogu nastavte první použitelné staničení dělitelné 5-ti beze zbytku, krok staničení 5 metrů a počet profilů po poslední použitelné staničení dělitelné 5-ti beze zbytku. Zaškrtněte volbu automaticky rozmístit.
43. Byly vygenerovány požadované profily. Je vhodná úprava jejich měřítka a polohy například následovně:

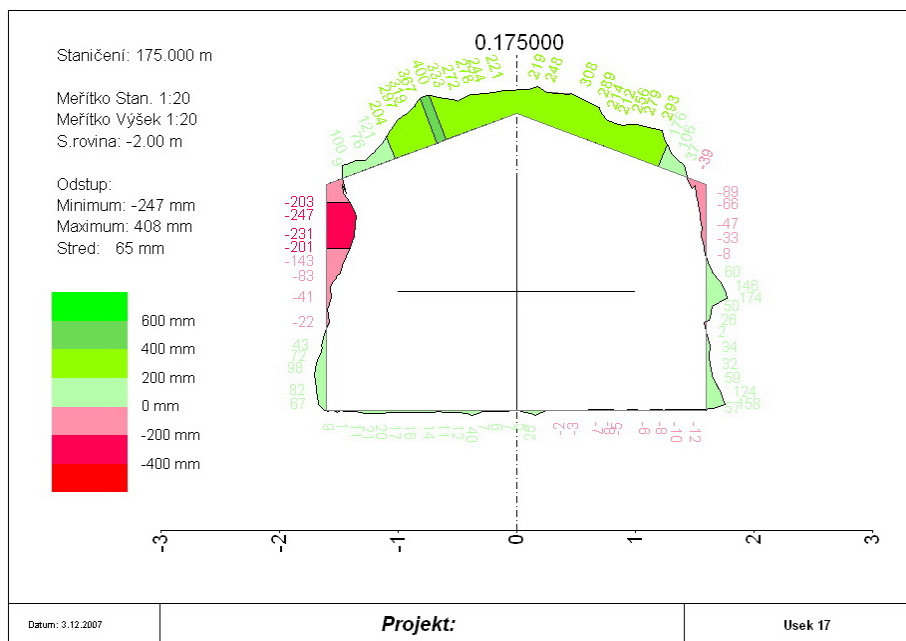
## GEODÉZIE V PODZEMNÍCH PROSTORÁCH



Obr. 12.10 Příčný profil na staničení 175 m

### Poznámky:

- Některé změny je možné provádět hromadně
  - Změnu šířky od osy je nutné provádět pro každou sestavu zvlášť.
  - Ostatní nastavení (měřítko, výška srovnávací roviny a další) je možné provádět hromadně s využitím nástroje: Tunely → Výběr prvků sestav... a následné vyvolání vlastností (Objekty → Vlastnosti...).
44. Okótuje odchylky: Vyberte všechny sestavy. Zvolte: Tunely → Okótování odchylek ... . V dialogu nastavte intervaly hladin v souladu s intervaly u rozvinuté plochy tunelu. Zaškrtněte: Uzavírat měřené polygony, Tvořit výstupní soubor, Stručný, Barevné výplně, Výpočet důkladný. V části "Výstup do souboru:" vyberte nový soubor (například "kubatury.txt", viz níže).
45. Upravte barevné podání jednotlivých hladin v souladu s barvami v rozvinuté ploše tunelu: Objekty → Hladiny ... . Pro hladiny "Odchylky\_A" až "Odchylky\_G" zvolte barvy odpovídající příslušným intervalům v rozvinuté ploše (není možné volit přesně stejné barvy, protože systém pro rozvinutou plochu je rozdílný od systému pro profily, proto barvy volte pouze přibližně stejné). Vzniklé příčné profily by měli vypadat následovně:



Obr. 12.11 Okótovaný příčný profil na staničení 175 m

## Výpočet objemů nad a podvýrubu

Výpočet je možné provádět dvěma způsoby.

Prvním způsobem je přibližný výpočet z kladných a záporných rozdílových ploch příčných profilů. Tento výpočet proběhl v okamžiku okótování odchylek a je uložen ve Vámi vybraném souboru ("kubatury.txt"). Výpočet je proveden třemi způsoby, z nichž nejpřesnější by měl být poslední způsob označený v protokolu písmenem "C" (bližší informace viz nápověda aplikace Tunel). Příklad posledního řádku z výstupního souboru:

"Volume A+,A-,B+,B-,C+,C-; 48.2121; -4.7325; 49.3805; -4.1177; 49.5839; -4.2183".

Druhý způsob je přesnější a je založen na standardním modulu systému Atlas pro výpočet objemů z digitálních modelů terénu, který se aplikuje na rozvinutou plochu tunelu (v podstatě rozdílový digitální model terénu). Výpočet se vyvolá: Tunely → Objemy z rozvinuté plochy ... . Dále je nutné zvolit rozsah staničení odpovídající prvnímu a poslednímu příčnému profilu (pokud tedy chceme provést srovnání obou metod). Výsledné hodnoty v uvedeném příkladu:

"Plus=53.387 Minus=-5.895".

Jednotky jsou v obou případech m<sup>3</sup>.

V tomto příkladu si výsledky z obou metod přibližně odpovídají. V případě profilové metody by mohly být výsledky zpřesněny, pokud by byl zvolen kratší rozstup mezi příčnými profily.

## Export polygonů

Jedním z hlavních důvodů provádění srovnání skutečného stavu s projektem je kontrola, jestli ostění nezasahuje do projektovaných průjezdných profilů tzv. průřezů (například před instalací sekundárního ostění). Pokud k tomu dojde, je nutné vytyčení těchto oblastí v terénu a její následné odstranění (zbroušení, výrub,...).

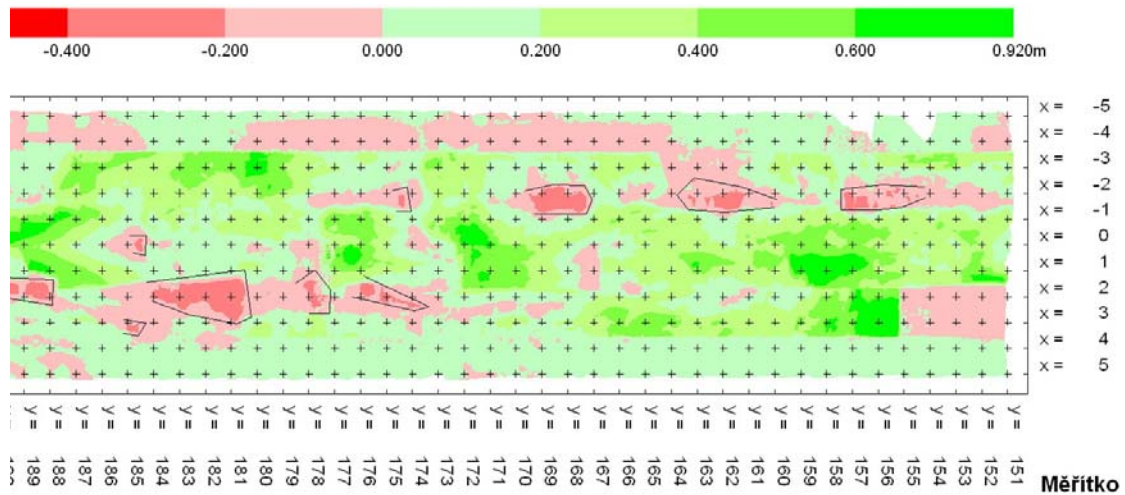
Bylo zadáno zjištění souřadnic polygonů ohraničujících oblasti zasahující do projektu o více než 20 cm.

K tomuto účelu je v aplikaci Tunel speciální funkce "Export polygonů". Vyznačení oblastí se provádí v rozvinuté ploše tunelu.

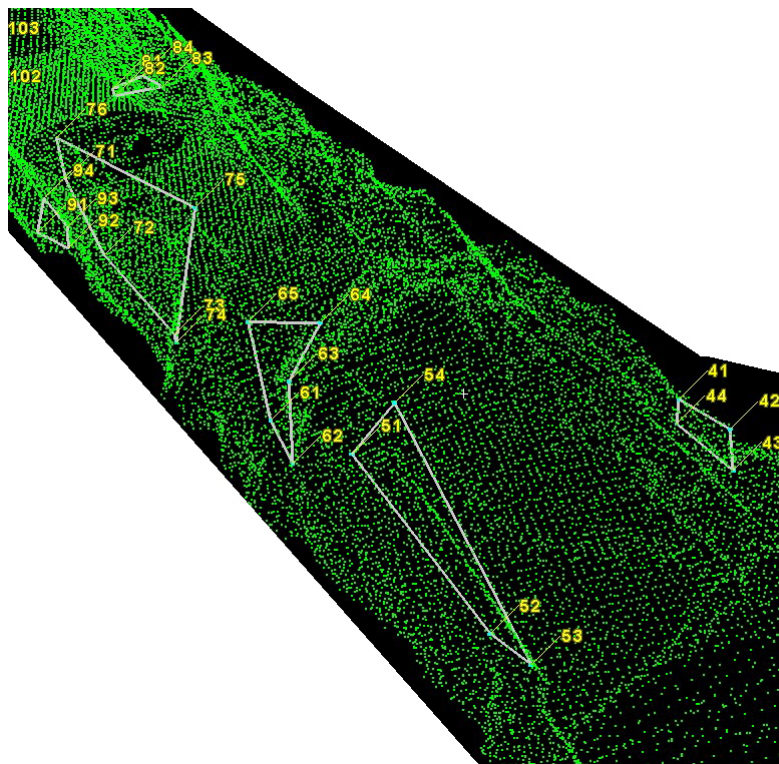
46. Vyberte půdorys obsahující rozvinutou plochu tunelu.



47. Zakreslete polygony ohraničující hledané oblasti: Objekty → Vlož nový objekt → Polygon. V dialogu zvolte souřadnicovou soustavu "Modelová".



Obr. 12.12 Polygony vyznačující oblasti určené k úpravě



Obr. 12.13 3D zobrazení vybraných oblastí

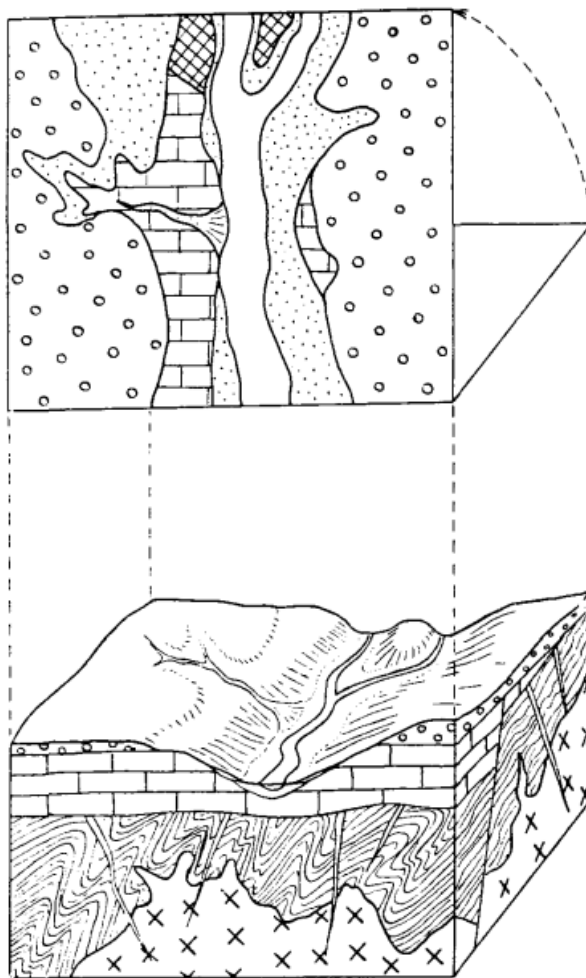
48. Jednotlivé polygony je vhodné pojmenovat z důvodu jejich identifikace: Výběr polygonu, místní nabídka → Jméno.
49. Vyberte všechny polygony a zvolte: Tunely → Export polygonů ... . Při dotazu na výpočet na měřené ploše tunelu zvolte "Ano". Opačná volba by znamenala výpočet na projektovaném ostění a tedy nemožnost přesného vytyčení.

### 13. GEOLOGICKÉ MAPY

V dalším textu budete ve stručnosti provedeni po tématu tvorba geologických map, jejich druhů a historii mapování. Porozumět více obsahu map vyžaduje praktické cvičení a seznámení s jejich obsahem a prací s mapou. Text je připraven spíše pro negeology.

Definice:

Geologická mapa je ve skutečnosti zmenšeným a generalizovaným obrazem geologické situace znázorněné ve vhodném topografickém podkladu.



2—2. Obraz geologie zemského povrchu ve sklopeném průmětu, jehož zmenšení a přenesení na vhodný topografický podklad dostaneme geologickou mapu.

Obr. 13. 1 Geologická mapa

Mapa se vytváří v terénu, geolog prochází terén podle strukturního plánu geologické stavby. Zakresluje poznané horniny, měří tektonické prvky, dokumentuje přirozené a umělé odkryvy. Mapuje i z horninových úlomků tam, kde horniny nejsou v přirozených odkryvech. Mapování se učí (mapovací kurzy). Jednotlivé mapovací túry zakresluje do topografických podkladů. Skládá je v mapový obraz, vytváří písemný záznam, vede dokumentační deník, popisuje makroskopicky horniny a odebírá vzorky hornin pro další upřesnění mapy. Většinou v kanceláři potom studuje horniny a přesně je klasifikuje petrografickým mikroskopem.

## GEOLOGICKÉ MAPY

Při geologickém mapování jde v podstatě o to zakreslit tytéž horniny a geologické jevy vždy stejnými barvami a značkami na správné místo v mapě (Andrusov).

Mapující geolog je pro terénní práce vybaven relativně chudě a jednoduše. Dobré boty, brašna – batoh, mapovací destičky, mapa, zápisník, tužka, guma, pastelky, měřítko, úhloměr, geologický kompas, geologické kladivo, dláto, lupa, pytlíky na vzorky, zředěná HCl, fotoaparát, GPS, pásmo, metr. Za sebou má však obrovské zázemí laboratoře ( analytické chemické, rtg, mikroskopie apod. ). Navíc kartografické servery, geofyzikální práce, sondování (vrty a pod.)

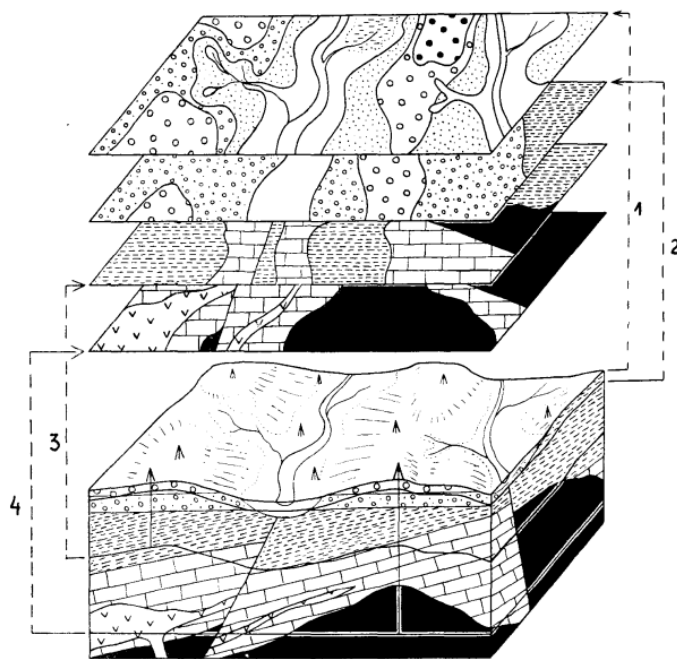
Ve skutečnosti to je však ještě složitější. Mapování vyžaduje přípravu, praxi, zkušenost a roli hraje i mnoho dalších parametrů.

Vedle základní znalosti geologie, jsou to znalosti z mineralogie, petrografie, strukturní geologie, stratigrafie, morfologie, paleontologie, nauce o nerostných surovinách, inženýrské geologie a dalších disciplin.

Mapa se tvoří, její tvorba má svůj vývoj. Vzniká nejprve orientační představa, seznámení s terénem. Základem je seznámení s archívními, historickými pracemi v mapovaném terénu.

Mapovací práce jsou podpořeny řadou technických (vrtných, sondovacích, geofyzikálních) prací, odběrů vzorků a analytických laboratorních prací.

Jednou z významných podmínek dobré geologické mapy je kvalitní a přesný topografický podklad a bezchybná orientace mapujícího geologa.



2–5. Serie geologických obrazů různých výchozích ploch, z nichž se sestavují geologické mapy; 1 — povrchová geologická mapa, 2 — geologická mapa ověřená mělkou sondáží, 3 — geologická mapa ověřená hlubokou sondáží, 4 — hloubková geologická mapa určité zvolené roviny, která byla zaštižena hlubinnými vrty.

Obr. 13. 2 Geologické obrazy pro sestavování geologických map

Obsah geologické stavby v mapě je většinou znázorněn barevně. Ve vysvětlivkách jsou jednotlivým geologickým celkům nebo horninám přiřazena barva nebo barevný odstín (často navíc číselný nebo písmenný symbol). V mapě mimo barevné plochy jsou vyznačeny čárově (hranice) a značkami další detaily a podrobnosti, např. tektonické značky (směr a sklon vrstev, pukliny, dislokace).

## GEOLOGICKÉ MAPY

Geologická mapa vzniká zpravidla pro nějaký účel. Lze říci, že se vytvářejí mapy systematické, které pokrývají plošně území oblasti, státu, stavby a mapy účelové (sloužící speciálnímu zájmu).

Podrobnost a zároveň i přesnost mapy je dána měřítkem mapy (užitého mapového podkladu).

Z hlediska zobrazování existují dva základní druhy map:

- povrchové – zobrazují geologický obraz povrchu
- důlní (podpovrchové) – zobrazují geologii v hlubších úrovních

Mapy mají další „příslušenství“ jako jsou vysvětlivky (legenda) vysvětlující použité barvy, značky, šrafy apod. v mapě použité. Dále jsou to řezy (geologické profily) a další doplňující přílohy (i textové).

Podle účelu rozdělujeme mapy na:

- komplexní
- tektonické
- hydrogeologické
- ložiskové
- inženýrskogeologické
- kvartérní
- stratigrafické
- pedologické atd.

Zvláštní mapou je mapa odkrytá, která znázorňuje geologickou stavbu pod horninovými mladšími celky (formacemi). Např. mapa, kde jsou vidět pouze starší jednotky – předkvartérní. Nebo mapy, kde jsou „odstraněny“ kvartérní jednotky mocné méně než např. 10 m.

Z hlediska podrobnosti rozlišujeme mapy: přehledné (malá měřítko) - 1:100 000 a výše, základní - 1:20 000 – 1:50 000 a podrobné (velká měřítko) - 1:10 000 a větší.

*Historická posloupnost vývoje mapování.*

Historicky prvními mapami byly mapy ložiskové, mapy sloužící pro vyhledávání a těžbu surovin, drahých kovů a kamenů – materiálů na výrobu šperků a pracovních nástrojů, zbraní, dále stavební kameny, výrobní materiály, průmyslové nerosty např. – měď, železo, sklo, barvy a další.

Nejstarší „mapy“ pocházejí ze starého Egypta asi z roku 1300 př.n.l. Jde o hornické mapy znázorňující situaci báňských prací na povrchu a pod zemí z ložiska zlata v Nubii.

Obdivuhodné jsou i středověké mapy z našich rudních ložisek těžených již ve středověku (znázorněny rudní žíly a důlní chodby, kterými byla ložiska otevřena), mapy mineralogické a petrografické, které rozlišují druhy rud či zachycují rudonosné horniny. Důlní mapy se začínají vytvářet na počátku středověku, když se dobývání surovin stěhuje do podzemí. Do té doby byla těžba spíše povrchová, nebo mělce podpovrchová ložiska.

Topografické mapy s geologickým obsahem (výskyt minerálů) vznikají především ve Francii (Coulon - 1644; Marsigliho mapování povodí Dunaje - 1668 – 1730). Mezi první obdobné mapy u nás patří např. Komenského mapa Moravy z roku 1627. Geologickou situaci území částečně zachycují i topografické mapy vznikající později v Rusku – Altaj (1789-1794).

Asi první skutečně geologickou mapou byla mapa Anglie, Walesu a části Skotska z roku 1815. Další geologické mapy vznikaly v USA a ve Francii (geologická mapa okolí Paříže). Údajně nejstarší geologickou mapou, která pochází z území České republiky je mapa X. Riepela z roku 1820.

## GEOLOGICKÉ MAPY

Významným mezníkem pro geologické mapování v Českých zemích je založení vídeňského Říšského geologického ústavu. Ústavem byly Čechy mapovány od roku 1853 - 1862 (Lipold, Zepharovich).

1. geologické mapování (1763-1768) používalo ještě sáhová měřítka, později při 2. a 3. vojenském mapování (1810 -1866 a 1869 -1884) byly mapy zhotovovány již v metrické soustavě. V tomto období vzniklo mnoho mapových listů v měřítku 1:25 000, 1:75 000, 1:200 000 (28 000,144 000). Tyto listy představovaly základ moderních map vzniklých na našem území. Z těchto map se pak rozvíjely moderní edice, ke kterým patří i mapy dnešní - např. mapování Českého středohoří Hibschem před válkou a po válce a revize starších map (Zahálka, Purkyně).

Z tištěných moderních geologických map jsou v současnosti k dispozici:

1. Přehledná geologická mapa v měřítku 1:1 000 000, vydáno 2007
2. Podobně byla vytištěna verze doučebnic 1:500 000,
3. Mapy tzv. generálky v měřítku 1:200 000
4. Soubor účelových map v měřítku 1:50 000
5. Rozpracovaná edice map v měřítku 1:25 000
6. Další účelové mapy – tisky: např. Inženýrskogeologická mapa Praha, některé ložiskové nebo průmyslové regiony

Mnoho dalších manuskriptů je uloženo v ČGS-Geofond a u zhotovitelů a objednatelů. Mimořádně zajímavé jsou mapy uložené v historickém archívu ČGS-Geofond

### 13.1 Geologické důlní mapy

Na rozdíl od povrchového geologického mapování se jedná ve většině případů o mapování účelové. Důlní mapy slouží pro potřeby důlního, ložiskového geologa. Slouží hlavně k poznání geologické stavby v okolí ložiska nerostných surovin, pro jeho průzkum (sledování ložiska), ocenění surovin a nakonec pro výpočet zásob nerostné suroviny a v neposlední řadě pro jeho těžbu, popř. technologii těžby.

Je možné, že důlní mapování dokonce v mnohém předstihlo tvorbu map ostatních. Dokumentují to mapy na historicky dobývaných ložiskách.

Mapy jsou přísně specializované. Vytvářejí se v ložiskovém prostoru tam, kde se ložisko již otevírá průzkumnými pracemi.

Podle stadia prozkoumanosti se opět dělí mapy na ty, které slouží průzkumu ložisek. To jsou mapy komplexní (geologie, petrografie, mineralogie atd.). Podle nich lze řešit otázky geneze ložiska, prostorové rozšíření (pokračování do šířky a hloubky), odhadovat kvalitu a kvantitu nerostné suroviny.

Pro přípravu ložiska k těžbě a pro vlastní těžbu jsou významnější speciální mapy.

Důlní mapy dělíme podle měřítka na mapy základní (1:1000 a 1:2000), přehledné (1:5 000, oblastní mapy 1:10 000, revírní 1:20 000 a detailní 1:100 až 1:2 000. Použití měřítka se liší podle složitosti a velikosti ložiska. Důlní mapy jsou doplněny řezy, které se konstruují jednak z vlastních map a z výsledků vrtných prací povrchových a podzemních).

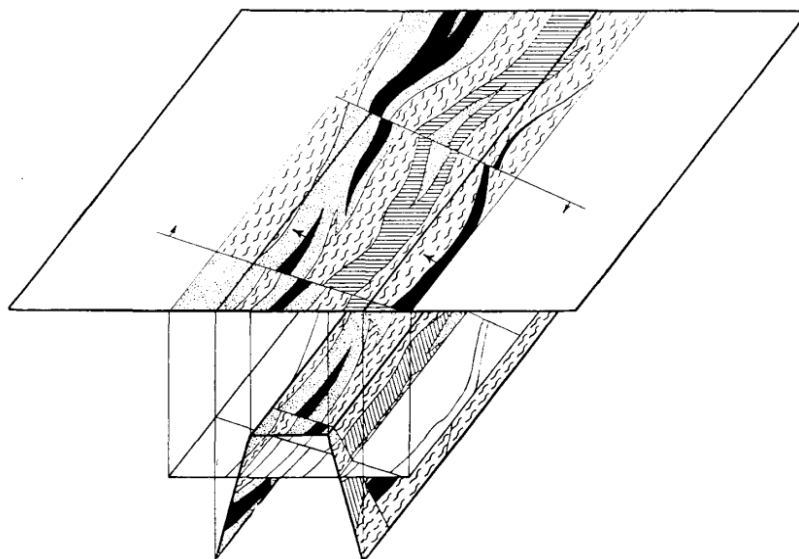
#### 13.1.1 Komplexní důlní geologické mapy

Tyto mapy se v mnohém podobají mapám povrchovým. Do topografického podkladu, topografické důlní mapy se zakresluje geologická stavba (barevně), tektonické prvky se vyjadřují smluvenými značkami. Důlní mapy zachycují ložisko v určitém horizontu – patře. Pokud mají ložiska více pater, mapuje se každé patro. Vytváří se prostorový obraz geologické stavby a tvaru ložiska.

## GEOLOGICKÉ MAPY

V praxi se používají při důlním geologickém mapování tři základní metody:

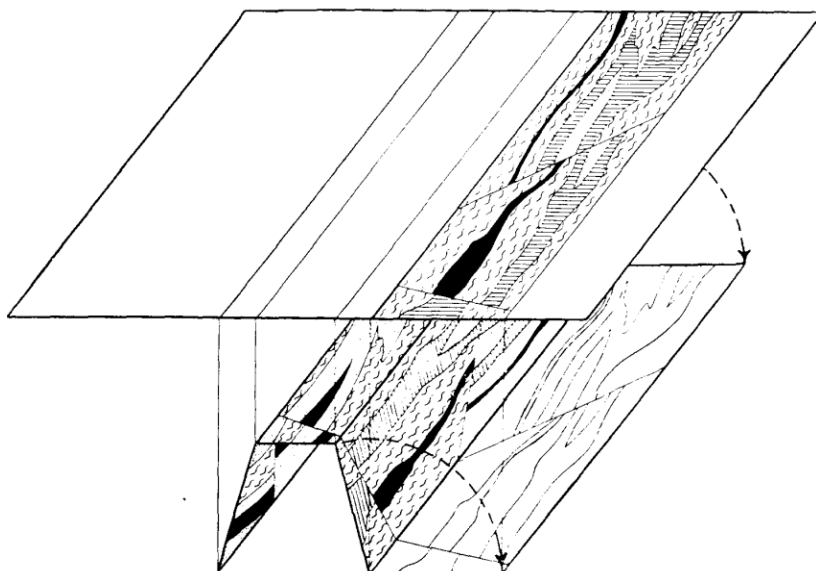
1. metoda horizontálního průřezu (zde se mapuje strop chodeb, nebo jeho průmět do roviny položené asi 1.5 m nad počvou chodby) viz. Obr. 13.3



15—1. Geologické důlní mapování metodou horizontálního průřezu. Rovina řezu leží asi 1,5 m nad úrovní počvy a geologická situace se z roviny tohoto řezu kolmo promítá do důlní mapy.

Obr. 13. 3 Metoda horizontálního průřezu

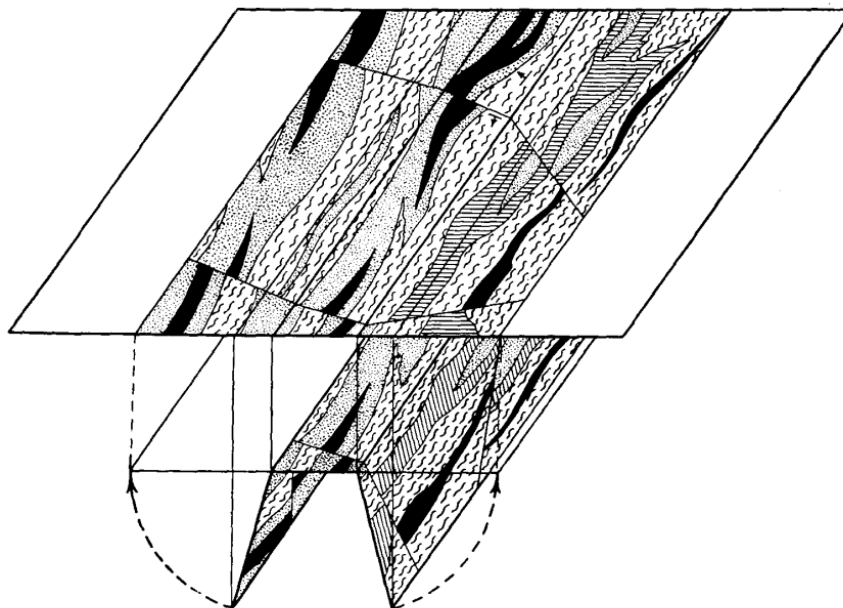
2. Metoda vertikálního průřezu se sklápěním (tzv. důlní defilé – mapování jednoho nebo obou boků chodby) viz. Obr. 13.4



15—5. Geologické důlní mapování metodou vertikálního průřezu se sklápěním. Jedna stěna chodby se sklápí do vodorovné roviny. (Tak zv. defilé.)

Obr. 13. 4 Metoda vertikálního průřezu

3. Metoda kombinovaná (tzv. razvjortka). Zde se mapuje strop a oba boky chodby. Při této metodě získáváme 3D představu viz. Obr. 13.5



15—8. Geologické důlní mapování kombinovanou metodou (razvjortka). Stěny chodby se vyklolí do úrovně stropu.

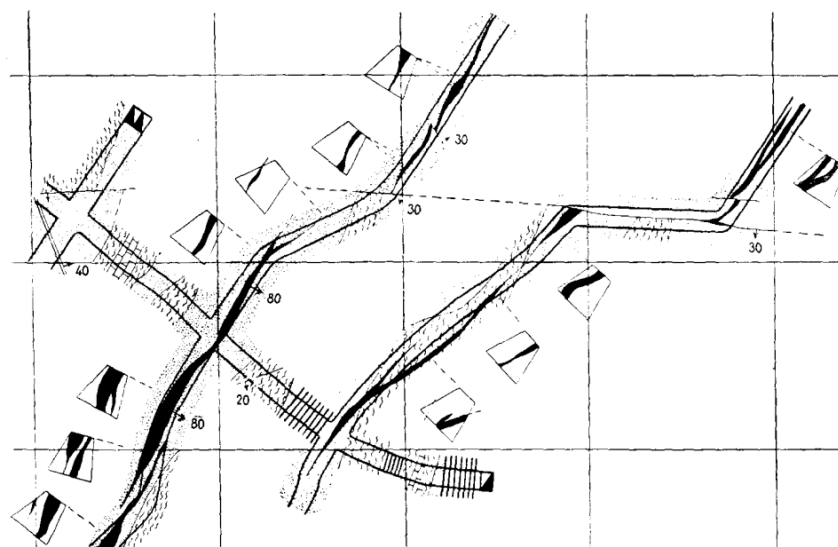
Obr. 13. 5 Metoda kombinovaná

Při mapování samozřejmě generalizujeme a zmenšujeme. Mapování v úklonných dílech přináší délkové zkreslení.

Technika mapování je podstatně složitější než při povrchovém mapování. Je na geologovi, aby provedl rozměření (ve starých důlních dílech, kde není k dispozici topografický podklad je nutné ho vytvářet). Podmínky jsou horší. Vlhko, mokro, málo světla, provoz. Je potřebné speciální vybavení. Geologické kompasy ovlivňuje jednak přítomnost kovových předmětů (koleje, nářadí, výstroj, lutny, kabely, nebo někdy magnetické minerály). Při práci se vždy musí brát mimořádný ohled na bezpečnost.

Při mapování se používá jako doplněk map zobrazování detailu (čelba, detailní kresba boku apod.) Zde je na geologovi, jeho praxi a zkušenosti, jak charakter schematické kresby vyjádří. Pro tuto činnost již neplatí taková přísná pravidla. Kresba čelby se doplňuje fotografií a může být popsána písemnými poznámkami a doplněna drobně tektonickými měřeními, popř. tektonogramy.

Pro výpočet zásob nerostných surovin se z map připravují řezy, které slouží spolu s hodnotami kvality a kvantity jako základní materiál.

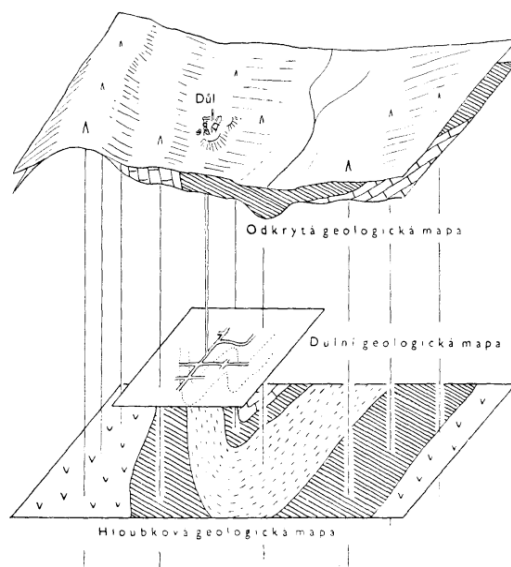


15.—4. Příklad důlní geologické mapy, zhotovené metodou horizontálního průmětu a doplněné kresbami čeleb.

Obr. 13. 6 Příklad důlní geologické mapy

Mapy, které využíváme pro podzemní stavby, se důlním mapám blíží. Používáme podobné metodiky a větší část obsahu je obdobná (např. při mapování v průzkumné – pilotní štolě pro stavbu tunelu, průzkumných štolách pro hydrotechnická díla apod.). Samozřejmě účel je odlišný, a proto místo ložiskových údajů zaznamenáváme údaje geotechnické (technické parametry hornin, hydrogeologické podmínky atd.).

Zvláštním druhem map jsou mapy hloubkové. Jsou to mapy, které zobrazují geologickou stavbu v určitých hloubkách. Podkladem jsou důlní díla, vrty, geofyzikální měření. Výsledkem jsou mapy, které mají něco z charakteru důlních a povrchových map.



2—7. Výchozí plochy odkryté geologické mapy, důlní geologické mapy a hloubkové (vrtné) geologické mapy.

Obr. 13. 7 Hlubinná mapa důlní



#### 14. GEOLOGICKÁ STAVBA ÚZEMÍ ŠTOLY JOSEF (LOŽISKA ČELINA, MOKRSKO)

Nejprve krátce o zlatu v Českém masívu. Ložisko zlata je ekonomicky významná akumulace tohoto minerálu (prvku). Její hodnotu při otevřeném trhu oceňuje trh. Zlato i ostatní suroviny se obchodují na burze. Tento drahý kov byl ceněn již historicky. Úloha zlata se mění. Nejprve šperk, uložená hodnota – zlaté poklady, státní rezervy. Kov pro moderní technologie. Jeho potřeba je proměnlivá. Cena stoupá, stagnuje a pohybuje se podle potřeb.

Existuje hodnota, které říkáme klark. Je to průměrný obsah prvku v nějakém prostoru, geologickém prostředí - např. v litosféře, v zemské kůře. Nakonec se takto dá hodnotit i obsah prvku (v našem případě zlata) tak, že profesionálně odhadujeme např. jaký je jeho obsah na 1 km<sup>2</sup> území.

V průměrném obsahu je prvek (minerál) netěžitelný. Je potřebné jeho nabohacení. Zvýšení „klarkové“ koncentrace na úroveň, kdy se vyplácí těžit. V ceně jsou samozřejmě náklady na vyhledávání, průzkum, těžbu, úpravu, dopravu apod.

Ve světě jsou ložiska nerostných surovin v různém stádiu „vývoje“. Část se vyhledává, na části probíhá průzkum, některá se těží. Reagují většinou na burzovní ceny.

Ještě k nabohacení. Je to velmi složitý geologický proces, který často není zcela poznán. Náзор se vyvíjí většinou s úrovní poznání.

Snadno se vysvětlí pro laika exogenní nabohacení u kvartérních sekundárních ložisek zlata. Zlato, které bylo obsaženo v hornině – např. křemenné žilovině vlivem exogenních sil (zvětrávání, desintegrace hornin, transportu a usazování) se dostává do nově tvořeného sedimentu (většinou říční a jezerní náplavy). Vzhledem k vysoké měrné hmotnosti zlata se zlato (zlaté plíšky – zlatinky) soustřeďují v jakýchsi kapsách dna (morfologie). Oddělují se od lehčích minerálů, které jsou ve většině transportovány dále. Zde se potom zlato poměrně jednoduše těží v rozsypech rýžováním (známé je např. rýžování na Otavě).

Důležité jsou však zejména endogenní procesy transportu zlata při orogenetických pochodech, vulkanizmu, hydrotermálními cestami, podmíněné tektonickou stavbou, s vazbou na jisté typy hornin v různých časových obdobích.

V Českém masívu je endogenní mineralizace zlata vázána na předplatformní jednotky. Jsou to 2 typy jednotek: (1) vulkanicko sedimentární jednotky svrchnoproterozoického případně paleozoického stáří, slabě metamorfované a místy pronikáné kontaminovanými granitoidy a (2) hluboce metamorfované krystalinické jednotky moldanubika, pronikáné anatektickými granitoidy.

Místo ložisek Čelina – Mokrsko leží v první jednotce. Ze skupiny ložisek této jednotky se vydělují ložiska v ostrovní oblasti středočeského plutonu (záp. část středočeského plutonu, oblast matamorfovaných ostrovů, jílovského a kozohorského pásma a přilehlé vulkanickosedimentární oblasti svrchního proterozoika). Na západě je tato oblast omezená klatovským zlomem, na východě benešovským. Jedná se o pruh ložisek: Jílové, Štěchovice, Nový Knín, Libčice, Smolotely, Bělčice, Krásná Hora n.Vlt., Čelina, Mokrsko, Petráčkova hora atd.

Endogenní mineralizace ve vztahu ke geologické stavbě: K litostratigrafii: hostitelské prostředí představují vulkanity a jimi prorážející granitoidy. Vztah k magmatitům: plutonity jako primární zdroj, plutonity jako energetický zdroj redistribuce. Vulkanity jako zdroj a jako transportér do vyšších pater zemské kůry. Vztah k sedimentům: zvýšené obsahy zlata jsou např. v silicitech a černých břidlicích. Vztah k metamorfóze: metamorfóza se podílí na formování horninového hostitelského prostředí. Je prokázán vztah k strukturní stavbě (vrásovým a zlomovým deformacím). Nalezneme i zákonitosti a vztahy ke geofyzikálním

polím. Např. střeđočeká oblast Jílové vykazuje vysoký tíhový gradient a magnetometrické anomálie.

Morfologicky má zrudnění na Čelině –Mokrsku charakter žily, žilníků a impregnací vázaných na tahové, tlakové a střižné deformace.

### 14.1 Geologická stavba širšího okolí

Nejširší okolí tvoří horniny svrchního proterozoika. Jedná se o pruhy protažené ve směru severovýchod - jihozápad. Převážnou část sledu zaujímá kralupsko-zbraslavská skupina (tvořená mocným blovíckým souvrstvím v podloží a mladším davelským souvrstvím v nadloží. Reprezentují je vulkanické horniny, bazalty, andezity a ryolity a jejich tufy, tufity, vulkanické brekcie, silicity (buližníky, lydity), minoritně vápence a klastická sedimentace drob, jílových černých břidlic (vyskytují se i slepence)

Nejjížnějším pruhem, který lze rovněž řadit k davelskému souvrství, je jílovské pásmo s bazalty, andezity a ryolity silně ovlivněné a částečně i proniknuté mladšími intruzivními a žilnými horninami, z nichž část souvisí s variským magmatizmem střeđočekého plutonu. Jílovské pásmo probíhá z okolí Jílového jz. směrem do pláště střeđočekého plutonu tj. do zóny metamorfovaných „ostrovů“.

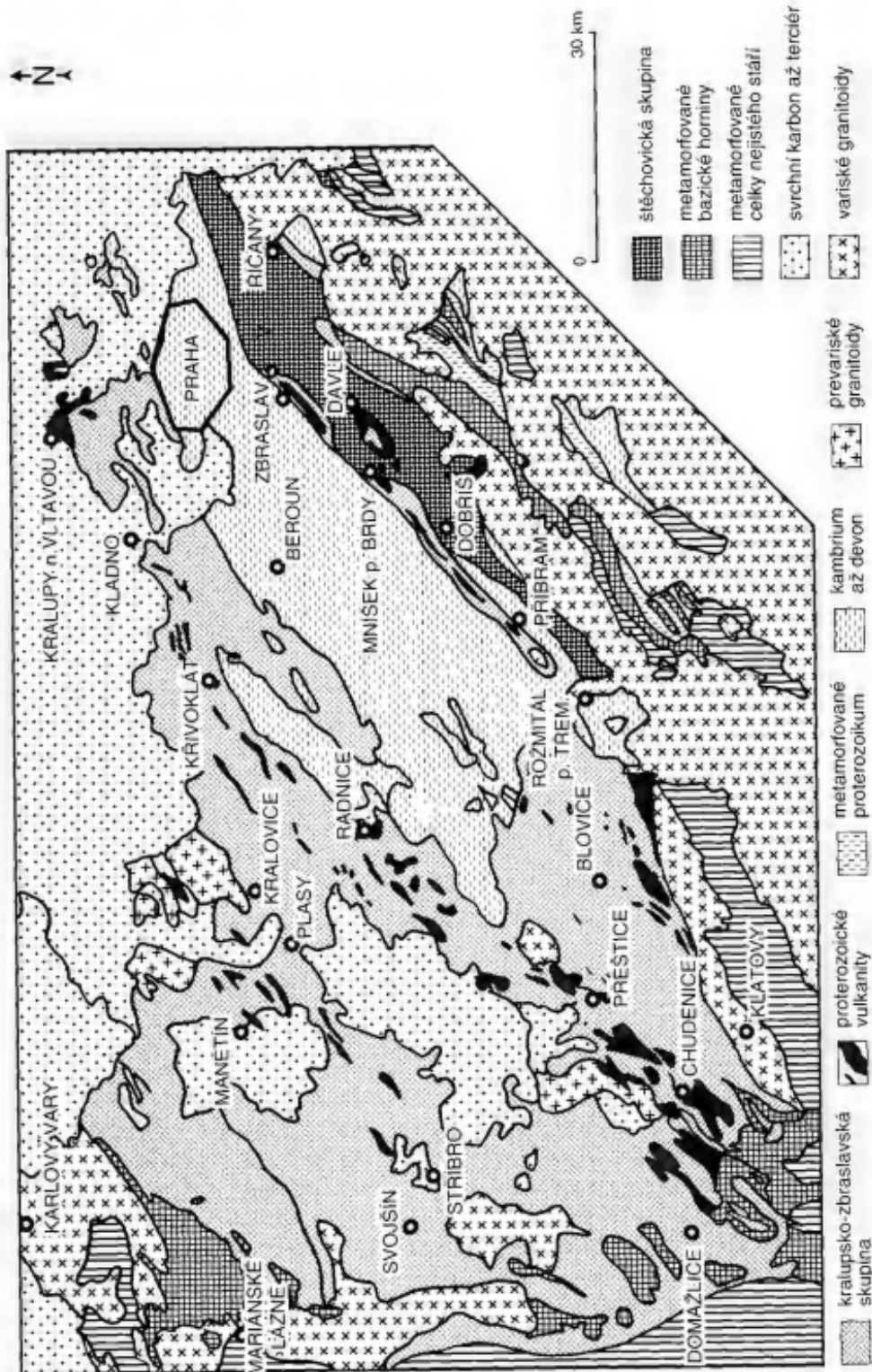
Nejmladší jednotkou proterozoika Barrandienu je štěchovická skupina (odpovídá pospilitovému stupni Kettnera 1917). Má charakter flyšových sedimentů, kde se střídají jílové břidlice, prachovce a droby (slepence s materiálem podložních buližníků, materiálem proterozoických granitoidů (scházejí horniny moldanubika). Horniny jako celek jsou zvrásněné a i jinak tektonizované.

Od střeđního devonu až do spodního permu dochází v Evropě k horotvorným procesům, které označujeme jako variské nebo hercynské (podle teorie deskové tektoniky kolize jižního kontinenty Gondwany a Laurussie na severu. Variské horstvo bylo po hlavních procesech vrásnění postiženo zlomovou tektonikou, které přerušilo jeho souvislost.

Podél významné diskontinuity střeđočekého švu pronikly plutonické komplexy. Jedním z nich je střeđočeký pluton. Je to vnitřně složitě těleso. Je reprezentované granodiority sázavského typu, vápenatoalkalickými granitoidy (kozárovický, baltenský, červenský, klatovský), durbachitového typu (Čertovo břemeno, tábořský syenit) a kyselejší granity (např. říčanský typ). Většinu granitoidů doprovází žilné deriváty (aplity a lamprofyry). K pozdním fázím patří pegmatitové žily.

Na střeđočekém plutonu leží řada hluboce zvrásněných nebo zlomy omezených reliktních pláště metamorfovaných ostrovů (sedlčansko-krásnohorský, mirovický, kasejovický apod.). Jílovské pásmo je volně k nim přiřazeno.

# GEOLOGICKÁ STAVBA ÚZEMÍ ŠTOLY JOSEF (LOŽISKA ČELINA, MOKRSKO)

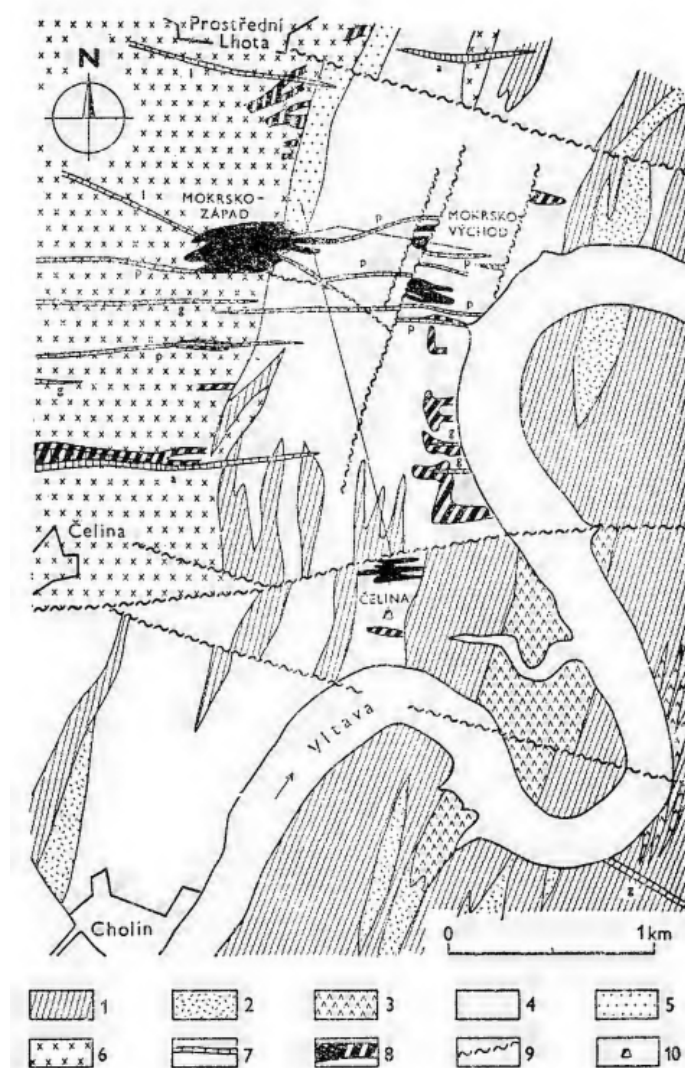


Obr. 14. 1 Mapa okolí

Obr. 11. Rozšíření proterozoika v Barrandienu a v přilehlých krystalinických terénech (podle geologické mapy 1:500 000, upraveno).

## 14.2 Revír Psí hory (horniny)

V ložiskovém prostoru jsou nejrozšířenějšími horninami horniny vulkanickosedimentárního souvrství v nadloží vulkanitů jílovského pásma. Dále to jsou bazické až intermediální vulkanity jílovského pásma. Amfibolicko-biotitický granodiorit slapského výběžku střeodočeského plutonu. Horninami v okolí jsou plagiogranity jílovského pásma a svrchnoproterozoické břidlice a droby. V celém regionu je možné nalézt průniky žilných systémů (aplity, porfyryty, lamprofyry, žilné žuly).



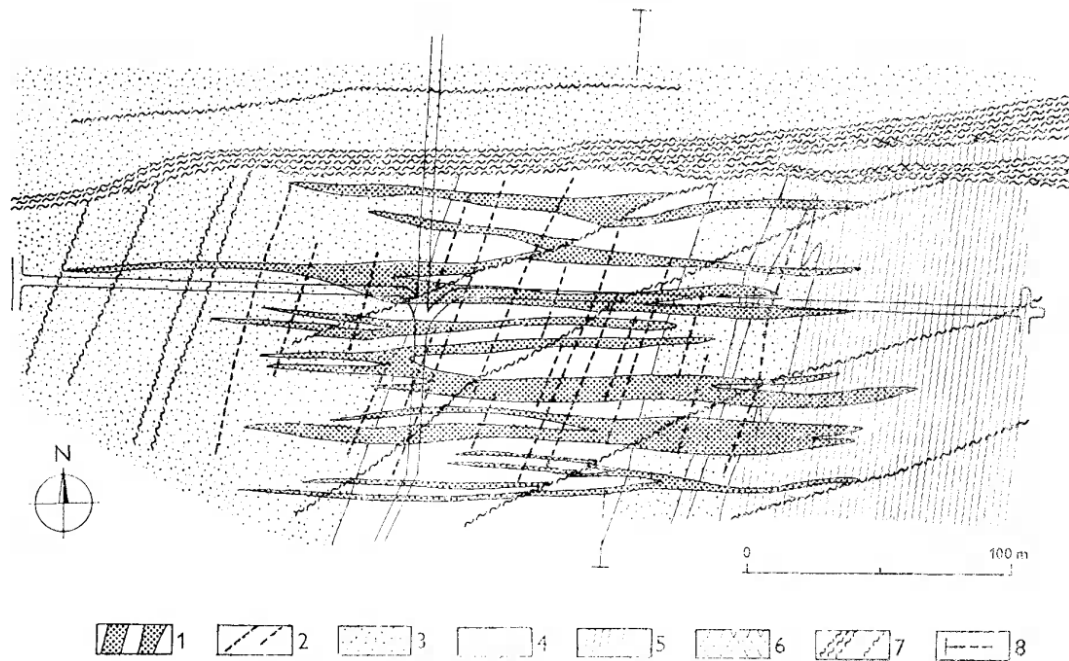
34. Ložisková geologická mapa revíru Psí hory (podle Morávka et al. 1990)

1 – bazické až intermediální vulkanity jílovského pásma; 2 – kyselé vulkanity jílovského pásma; 3 – plagiogranity jílovského pásma; 4 – vulkanosedimentární souvrství v nadloží vulkanitů jílovského pásma; 5 – svrchnoproterozoické břidlice a droby; 6 – amfibolicko-biotitický granodiorit slapského výběžku střeodočeského plutonu; 7 – žilné horniny (a – aplity, p – porfyryty, l – lamprofyry, g – žilná žula); 8 – zóny zlatonosného zrudnění (plně – detailně ověřené průzkumnými pracemi, šrafovane – ověřené pouze orientačně nebo podle starých prací); 9 – poruchy; 10 – průzkumná štola

Obr. 14. 2 Geologická mapa – Psí hory

## 14.3 Ložisko Čelina

Je vyvinuto v jižní části revíru v kontaktně metamorfovaném tufitickém souvrství s polohami kyselých až bazických láv. V hlubší části vystupuje skryté těleso plagiogranitů.



Obr. 14. 3 Geologická mapa – ložisko Čelina

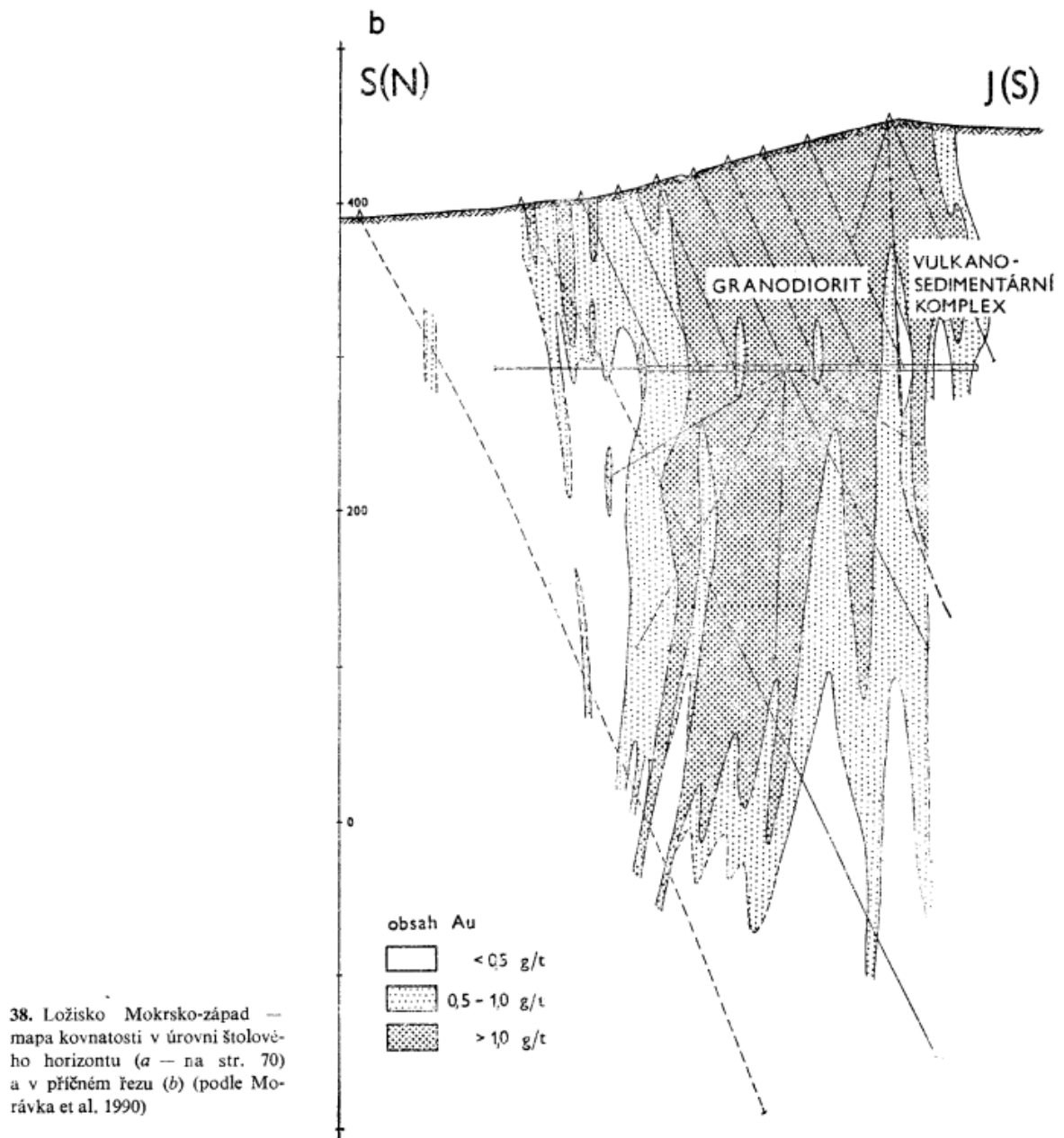
#### 14.4 Ložisko Mokrsko

Ložisko probíhá v západní části granodioritem sázavského typu slapského výběžku střeodočeského plutonu (svrchní devon). Ve východní části tufitickými a vulkanickými horninami jílovského pásma (svrchní proterozoikum). Významným strukturním prvkem je mocná průběžná žíla leukokrátního žulového porfyru.

V západní části leží ložisko Mokrsko – západ uložené z převážné části v granodioritu, z malé části v kontaktně metamorfovaných horninách vulkanickosedimentárního souvrství. Ve východní části je ložisko Mokrsko – východ v tufech a vulkanických horninách jílovského pásma.

#### 14.5 Ložisko Prostřední Lhota

Leží severně od ložiska Mokrsko západ a je v okrajové části granodioritu.



Obr. 14. 4 Mapa kovnatosti – ložisko Mokrsko západ

## POUŽITÁ LITERATURA

### 15. 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 a UEF Josef