národní
úložiště
šedé
literatury

Metodika prací se systémem SGI1

Bárta, Jaroslav,

Dostupný z http://www.nusl.cz/ntk/nusl-262686

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 25.04.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní nusl.cz .

METODIKA PRACÍ SE SYSTÉMEM SGI 1 (SEISMIKA, GEOELEKTRIKA, INTERNET)

Výstup projektu TAČR TA 03020408 s názvem:

Monitoring chování puklinových systémů horninového masivu geofyzikálními metodami

Období 2013 až 2016
Řešitelé G IMPULS Praha spol. s r.o., Přírodovědecká fakulta UK, Technická univerzita v Liberci

Autoři :

(pořadí podle abecedy)

RNDr. Jaroslav Bárta, CSc.
RNDr. Dušan Dostál
Mgr. Jaroslav Jirků
Doc. RNDr. Jan Vilhelm, CSc.

Poznámka:

Pro plné využití certifikované Metodiky prací se systémem SGI 1 (seismika, geoelektrika, internet) odkazujeme také na Užitný vzor (viz přihláška pod značkou PUV2016-32687), který popisuje podrobně hardware a operační software systému SGI 1 (autoři Ing. Jaroslav Buchta, Prof. Ing. Václav Kopecký, CSc., Ing. Lubomír Slavík, Ph.D., Ing. Přemysl Svoboda).

OBSAH:

1. Úvod, představení metodiky, cíle a ekonomické přínosy 5
1.1 Představení metodiky 5
1.2 Cíle metodiky a její ekonomické přínosy 6
2. Problematika sledování rizik v geotechnice 6
3. Princip monitorovacího systému a jeho novost oproti běžným postupům 10
4. Popis hardware 11
4.1 Popis funkce měřícího sysdtému SGI 1 11
4.2 Jednotlivé komponenty systému. 13
5. Popis software 18
6. Rozsah použití, terminologie a Popis pracovních činností spojených s použitím SGI 1 . 19
6.1 Úkoly vhodné pro aplikaci systému SGI 1 19
6.2 Charakter hornin, pro které je metoda SGI 1 účelná 19
6.3 Terminologie stanovená pro klasifikaci horninového prostředí na základě jevů monitorovaných systémem SGI 1 19
6.4 Vybudování monitorovací základny 20
6.4.1 Výběr monitorovací základny 20
6.4.2 Výstavba monitorovací základny 20
7. Popis zpracování dat a jejich vyhodnocení 23
7.1 Zpracování naměřených odporových dat 23
7.2 Zpracování naměřených seismických dat 26
8. Sestavení Projektu monitorovacího měření, jeho personální zajištění a kontrola 28
8.1. Projekt 28
8.2. Kontrola realizace projektu 31
8.3. Personální zajištění 31
9. Interpretace naměřených dat a jejich vyhodnocení. 32
10. Nestandardní procesy a jejich řešení 33
11. Komunikace s řešitelským týmem 34
12. Shrnutí a závěr 34
13. Literatura 35

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr. 2.1: Typická deformační chování horninového masivu ... 8
Obr. 2.2: Porovnání typického chování stavebního materiálu a horniny ... 8
Obr. 2.3: Počet akustických emisí narůstá v čase spolu s růstem deformací horninového masivu (dle Rozsypal 2001) ... 9
Obr. 4.2: Sestava ARES II ... 14
Obr. 4.3: Celkový pohled na Pulser receiver Olympus 5077PR ... 14
Obr. 4.4: Seismické čidlo Olympus 1548 ... 15
Obr. 4.5: Zapojení pulser-receiveru Olympus 5077PR ... 15
Obr. 4.6: Specifikace průmyslového PC ... 16
Obr. 4.7: Pohled do rozvaděče Schneider Thalassa ... 16
Obr. 4.8: Příklad umístění geofyzikálního monitorovacího systému SGI 1 v terénu. Celkový pohled na pracoviště v tunelu Bedřichov ... 17
Obr. 4.9: Koncepce sběru dat ... 17
Obr. 6.1: a) Příprava vývrtů pro elektrody, b) fixovaný systém elektrod s kabeláží umístěný na stěně štoly ... 21
Obr. 6.2: Schéma zapojení elektrod při odporovém měření ... 22
Obr. 6.3: Zapojování elektrod v metodě odporové tomografie. S růstem rozestupu elektrod roste hloubkový dosah měření. Schéma je převzato z manuálu GEOTOMO SOFTWARE. ... 22
Obr. 6.4: Čidlo fixované ke skále ... 23
Obr. 7.1: Testování jednotky ARES II. Opakovaná měření (intervaly po jedné hodině) A, B, C, D. Vlevo primární data (zdánlivé měrné odpory). Vpravo skutečné měrné odpory získané pomocí software Res2Dinv (Locke). K zobrazení řezů použit program Surfer ... 25
Obr. 7.2: Časový průběh zdánlivých měrných odporů ve dvou bodech řezu ... 25
Obr. 7.3: Charakteristický výstup naměřeného seismického záznamu ... 27
Obr. 7.4: Stanovení rychlosti P-vln na seismogramu se zakreslením stop podle jejich vzdálenosti. Barevně vyznačena hodochrona P-vlny. ... 27
Obr. 7.5: Stanovení rychlosti S-vln na seismogramu se zakreslením stop podle jejich vzdálenosti. Barevně vyznačena hodochrona S-vlny. ... 28

1. ÚVOD, PŘEDSTAVENÍ METODIKY, CÍLE A EKONOMICKÉ PŘÍNOSY

Zde předkládaný návrh a popis certifikované metodiky vychází v souladu s Doporučením Rady pro výzkum, vývoj a inovace k certifikaci metodik vydaným 28. 2. 2014. Pojem "certifikovaná metodika" je zaveden Metodikou hodnocení výsledků výzkumu, vývoje a inovaci jako jeden z výsledků výzkumu, experimentálního vývoje a inovací. Od roku 2010 je stanoveno, že certifikace uděluje certifikační orgán na základě vypracování dvou nezávislých oponentních posudků.

„Certifikovaná metodika“ realizuje původní výsledky výzkumu a vývoje, které byly uskutečněny autorem nebo týmem, jehož byl autor členem. Jedná se o výsledek, kdy autor výsledku vypracuje metodiku (nutnou podmínkou je novost postupů), která byla příslušným orgánem státní správy nebo příslušným odborným certifikačním (akreditačním) orgánem schválena a doporučena pro využití v praxi. V rámci předchozího vymezení pojmů předkládáme k certifikaci níže popisovaný systém SGI 1 (Seismika_Geoelektrika_Internet _model 1).

1.1 Představení metodiky

Systém SGI 1 umožňuje dlouhodobé a nepřerušované monitorování stavu horninového masivu například v okolí podzemního výrubu, popřípadě v podzákladí velkých staveb, nebo při výzkumech přirozeného chování horninového prostředí. Tvůrci metodiky měli v úvaze také případy, kdy k stávající štole (překopu) se blíží aktivita z blízkých okolních ražebních polí (viz například postupné budování chodeb hlubinného úložiště radioaktivních odpadů). Systém je schopen detekovat jak dlouhodobé pozvolné změny (v časovém měřítku řádu roků), tak náhlé změny vyvolané neočekávanou přírodní katastrofou nebo reakcí na technologický zásah (například při postupu ražby). Monitorovací systém se opírá o mnohaleté zkušenosti členů řešitelského týmu, které byly nakonec zúročeny při vývoji a stavbě aparatury SGI 1 v rámci projektu Technologické agentury ČR číslo TA 03020408:

Monitoring chování puklinových systémů horninového masivu geofyzikálními metodami

Řešitelské období 2013 až 2016.

Hlavní řešitel a příjemce podpory:
G IMPULS Praha spol. s r.o., se sídlem Nerudova 232, 252 61 Jeneč
Vedoucí projektu RNDr. Jaroslav Bárta, CSc.

Spoluřešitelé projektu a další příjemci podpory jsou:

Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, (adresa fakulty Albertov 6,
128 43 Praha 2) se sídlem Ovocný trh 560/5, 116 63 Praha 1. IČ 00216208.
Vedoucí týmu spoluřešitele Doc. RNDr. Jan Vilhelm, CSc.

Technická univerzita v Liberci - Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace se sídlem Studentská 1402/2, 46117 Liberec. IČ 46747885.
Vedoucí týmu spoluřešitele Prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.

Výchozí myšlenky vedoucí k navržení zde předkládaného projektu vycházejí zejména z experimentů realizovaných v rámci dlouhodobého monitorování granitových hornin ve štole vodního přivaděče vedoucího z VD Josefův Důl do úpravny vody v Bedřichově (kraj Liberecký) pomocí geofyzikálních metod. Tyto práce zde probíhají již od roku 2003. Zkušenosti z prací nastínily vztahy mezi chováním horninového masivu a jejich fyzikálními projevy. Jako zásadní byly vytipovány dvě oblasti monitoringu, a to je sledování časových změn měrného odporu hornin a dále změn v šíření seismických vln o vysokých frekvencích (tisíce Hz). Právě tyto vlastnosti horninového prostředí sleduje systém SGI 1. Na rozdíl od monitorovacích metod založených na sledování deformace nebo posunu na preexistující puklině, pomocí systému SGI 1 je možné monitorovat i horninový masiv bez makroskopicky pozorovatelného porušení.

1.2 Cíle metodiky a její ekonomické přínosy

Cílem předložené metodiky je úspěšná instalace funkčního systému dlouhodobého monitorování horninového masivu nedestruktivními geofyzikálními metodami, který je použitelný zejména při realizaci velkých báňských staveb, jako například hlubinného úložiště radioaktivního odpadu, tunelářských staveb apod. Systém využívá geoelektrické a seismické vlastnosti horninového masivu. Zajišťuje dlouhodobé monitorování změn vlastností masivu v bezprostředním okolí podzemního díla. Monitorovací základnu lze umístit jak v podzemních štolách, tak i na povrchu terénu; v zásadě tam, kde očekáváme možnou reakci horninového prostředí na změnu napjatostního stavu.

Navrhovaná metodika je zacílena zejména na problematiku hlubinného úložiště radioaktivních odpadů; výsledky výzkumu jsou však použitelné i v jiných oblastech báňského stavitelství či při zakládání náročných staveb (sila, výškové budovy, zakládání v komplikovaných geologických podmínkách, těžba nerostných surovin).

Soustavný monitoring horninového masivu je schopen včas vyhodnotit změny geotechnických poměrů zkoumaného místa, např. signalizovat počínající vznik puklin, které jsou nežádoucím projevem při ražbě báňského díla. Použití zde předkládané metodiky tedy může zabránit velkým, či nenapravitelným škodám například při ražbě hlubinných úložišť nebezpečných odpadů nebo při ochraně majetku či lidských životů, které se nacházejí v blízkosti ražby nových důlních děl. S ohledem na to, že nechtěně vyvolané havárie při ražbě důlních děl způsobují škody v miliónech až stovkách milionů Kč, lze konstatovat, že ekonomickým cílem předkládané metodiky je právě zabránit těmto mnoha miliónovým ekonomickým ztrátám.

2. PROBLEMATIKA SLEDOVÁNÍ RIZIK V GEOTECHNICE

Při budování a dlouhodobém provozu podzemních inženýrských konstrukcí bývá jedním z vážných nebezpečí narušení stability horninového masivu vedoucí ke vzniku náhlého porušení hornin, které může směřovat až k destrukci podzemního díla.

V horninovém masivu, ještě před budováním podzemní kaverny, existuje primární napjatost, která je důsledkem gravitačních účinků nadloží, tektonických pochodů v zemské kůře, teplotních pnutí, slapových účinků nebo změn zatížení zemského povrchu. Primární napjatost může být obecně velmi místně proměnlivá v důsledku heterogenity a primární porušenosti

horninového masivu, ale i členitosti terénu. Různé složky primární napjatosti jsou rovněž různým způsobem závislé na čase.

V okolí podzemního výrubu dochází ke změnám primární napjatosti. Reologické vlastnosti hornin způsobují, že změny napjatosti vyvolávají nejenom spojité deformační procesy, ale při překročení určitých mezí deformace může nastat mechanická nestabilita, například typu křehkého porušování. V horninovém masivu v okolí výrubu tak může vzniknout porušení mikrotrhlinami až trhlinami. Tak dojde i ke změně fyzikálních vlastností horninového masivu, mohou se změnit hodnoty efektivních elastických a deformačních modulů, může se změnit hustota hornin a její tepelné a elektrické vlastnosti. Porušením může vzniknout nová pórovitost a současně porušení může mít vliv i na obsah původních pórů. Může se změnit propustnost pro plyny i kapaliny.

V případě podzemních úložišť nebezpečného odpadu by mělo být hostitelské geologické prostředí pokud možno homogenní a neporušené, a tomu by odpovídalo i prostorově stabilnější napěťové pole. Naproti tomu důlní díla, realizovaná pro dobývání nerostných surovin, často bývají v oblastech s tektonickým porušením, a tam lze očekávat výrazně složitější prostorově proměnné napěťové pole. V blízkosti poruch pak bývají místa zvýšené koncentrace napjatosti a právě tato místa pak podmiňují vznik náhlého porušení.

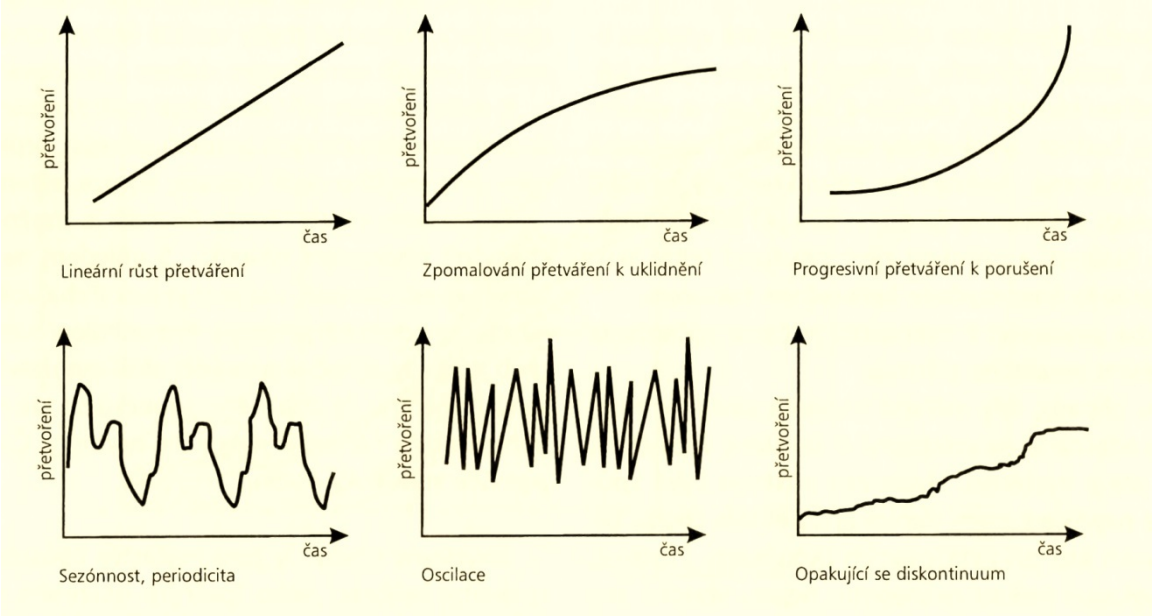
Pro přímé posouzení stability hornin je rozšířené zejména využití Mohrova kritéria, které však vyžaduje měření napětí in situ. Proto se někdy ke sledování stability používá monitoringu akustické emise, která vypovídá o charakteru probíhajícího porušování. Výhodou akustické metody je poměrně jednoduchá realizace monitoringu. Tento přístup je oprávněný v prostředí, které je postiženo primárním mikroporušením a horniny vykazují reologické chování s křehkým porušováním. V takovém případě je zvyšování napjatosti doprovázeno porušováním na nově vznikajících nebo preexistujících trhlinách, a proto může být monitorováno prostřednictvím akustické emise.

Průběžná detekce geotechnického stavu podzákladí budov, svahů náchylných k sesutí apod. je dlouhodobě známa a používána. S rozvojem nových technologii se převážně přechází z ručních měření na postupy, které zaručují automatické snímání měřených veličin, jejich ukládání na paměťové systémy a nejvyspělejší postupy umožňují přenášení dat pomocí internetu na příslušná odborná pracoviště. Soubory získaných dat se pak logicky od sebe liší podle způsobu měření, jeho rozsahem a možnými metodami vyhodnocení. Z pohledu kompatibility s odbornými standardy a terminologií, která je respektována v geotechnické literatuře, lze odkázat zejména na literaturu (Rozsypal 2001, 2008), popřípadě na Technické podmínky TP-237 (Ministerstvo dopravy ČR).

Časové změny měřených veličin lze hodnotit různými způsoby. Podle Gevrea (1991) lze pro horninový masiv definovat čtyři základní přetvárné stavy (v přesném překladu autorova textu parametry), a to:
Tendenci
Sezónní efekt
Nepravidelnost
Perturbaci.
Tendence vystihuje dlouhodobé chování horninového masivu. Sezónnost charakterizuje deformační procesy závisející na ročních obdobích. Nepravidelnost je v pojetí Gevrea změnou v deformačním chování relativně malého významu, která nemá vliv na celkovou tendenci v přetváření horninového masivu. Perturbace jsou výrazné náhlé změny v chování

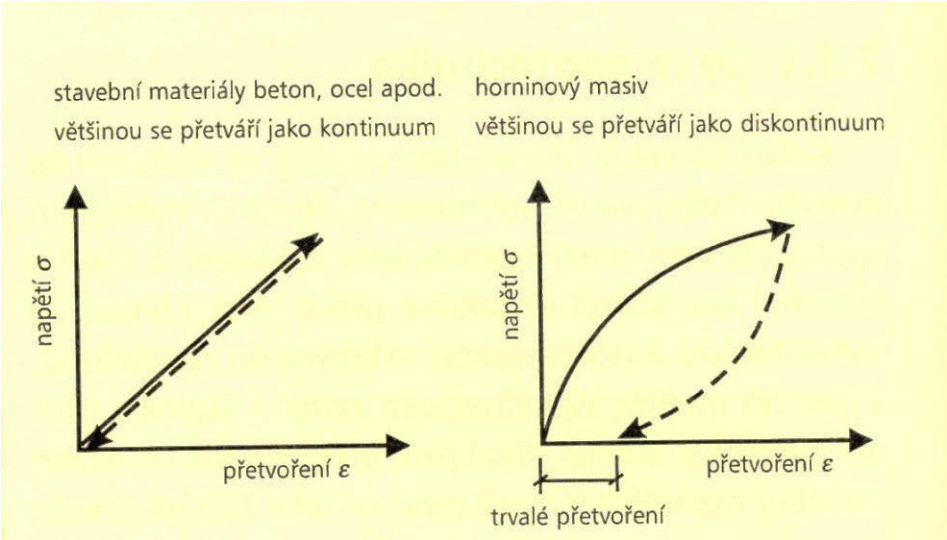
horninového masivu, které souvisí s náhlou změnou některého z významných činitelů, který přetváření horninového masivu ovlivňuje.

Z jiného pohledu lze klasifikovat časové změny deformací horninového masivu podle typických deformačních chování (Rozsypal, 2001) - viz obr. 2.1.



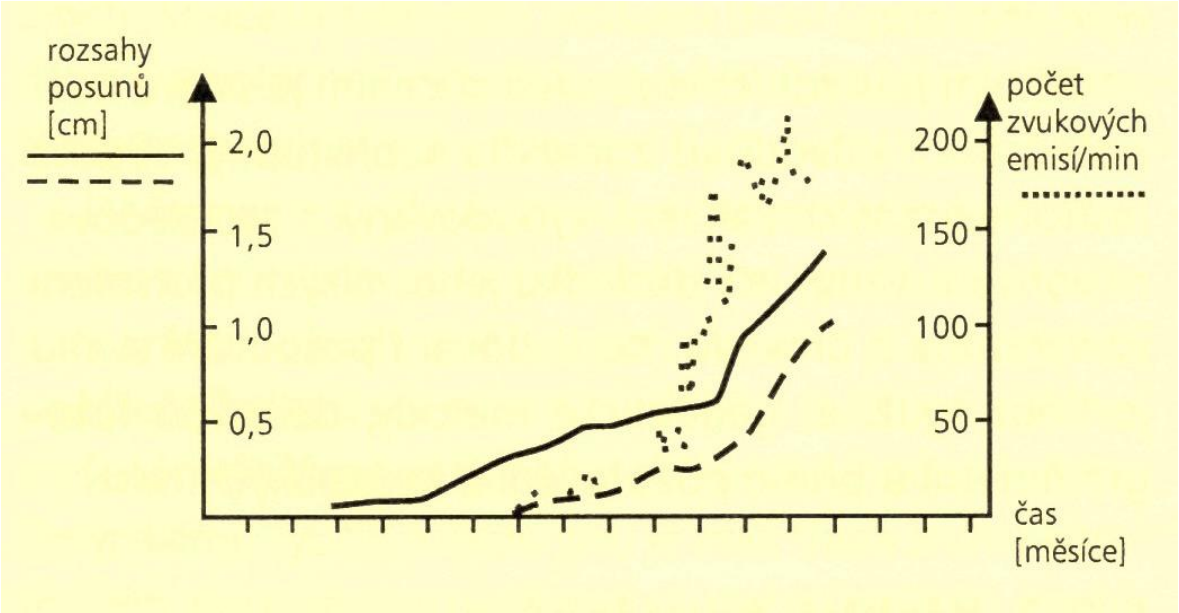
Obr. 2.1: Typická deformační chování horninového masivu

Rozsypal (2001) ukazuje, že přítomnost puklin v horninách vede k tomu, že lze často pozorovat rozdíl mezi přetvárným chováním stavebních materiálů a hornin- viz obr. 2.2.



Obr. 2.2: Porovnání typického chování stavebního materiálu a horniny

Z pohledu geofyzika je užitečné si uvědomit ještě jiný vztah mezi geotechnikou a geofyzikou. S rostoucí deformací narůstá počet křehkých porušení horninového masivu, která mohou být registrována jako počet akustických emisí, viz obr. 2.3.



Obr. 2.3: Počet akustických emisí narůstá v čase spolu s růstem deformací horninového masivu (dle Rozsypal 2001)

V zásadě každý monitoring chování horninového masivu je veden s cílem včas pochopit chování masivu a predikovat jeho chování v budoucnu. To pak umožňuje i definovat geotechnické riziko spojené s budováním nějakého díla, které zasahuje do geologického prostředí nebo jej přímo ovlivňuje. Podle Rozsypala (2001) je geotechnické riziko souběhem dvou parametrů. Prvním parametrem je pravděpodobnost, že při spolupůsobení horninového prostředí s lidskou činností nastane nežádoucí jev, druhým je důsledek, který vznikem nežádoucího jevu nastane. Pro názornost je používána rovnice:

$$R = P.D,$$

kde R je geotechnické riziko, P je pravděpodobnost nežádoucího jevu a D jsou důsledky nežádoucího jevu (vyjádřené finančně).

Uvažujme rozsah pravděpodobnosti P ve škále 0 až 1 (1 je největší možná hodnota). Obdobně důsledky nežádoucího jevu D mají škálu 0 až 1.

Pro přiblížení lze například popsat situaci spojenou s budováním hlubinného úložiště jedovatých (např. radioaktivních) odpadů. Pravděpodobnost vzniku jevu (drobné rozpukání horninového masivu v důsledku ražby) je značná, přestože jakýkoliv vznik nových puklin je nežádoucí. Tedy P je 1. Obdobně cena sanace takto vniklého jevu bude ve finančním vyjádření značná. Opět tedy volíme hodnotu 1. Takto vzniklé geotechnické riziko R bude velké, a protože jej nelze snížit na straně důsledků D (financí) zbývá riziko R snížit pouze nastavením prahu citlivosti vůči pravděpodobnosti P.

R = 1*1 = 1 pro případ bez geotechnických opatření v zájmu snížení rizika.
R = 0,2*1 = 0,2 pro případ velmi včasného ohlášení, možnost vzniku nežádoucího jevu.

Z výše uvedeného plyne, mimo jiné, potřeba nových a technologicky vyspělých monitorovacích postupů, které mohou citlivě zachytit první projevy nežádoucích změn v horninovém prostředí.

3. PRINCIP MONITOROVACÍHO SYSTÉMU A JEHO NOVOST OPROTI BĚŽNÝM POSTUPŮM

Monitorování stavu horninového masivu a jeho změn v okolí podzemních výrubů se doposud orientovalo na pozorování probíhajících měřitelných deformací a projevů vzniku těchto deformací. K takovým deformacím dochází zejména na geologických poruchách. Je možné přímo měřit velikost relativního posunutí dvou bloků hornin na obou stranách poruchy, nebo seismoakustickou emisi, která může vznikat v průběhu vzniku křehkého porušení hornin. Velikost a orientaci deformací lze měřit například s velkou přesností pomocí přístrojů TM-71 ing. Košťáka (Ústav struktury a mechaniky hornin AVČR). Pro měření seismoakustické emise se používají jednak měřiče četnosti impulzů, nebo systémy schopné lokalizovat místa vzniku porušování. Stav napětí v horninovém masivu lze stanovit například pomocí kuželovité sondy v čele nově odvrtaného vrtu metodikou ing. Staše (Ústav geoniky AVČR). Obdobné postupy jsou známy i ze zahraniční literatury.

Pro dlouhodobé monitorování stavu horninového masivu v okolí podzemního výrubu v podmínkách, kdy nepředpokládáme takové napěťové změny, které by vyvolávaly porušování hornin, lze použít aktivní prozařování seismickými vlnami. V takovém případě lze dlouhodobě monitorovat přenosové vlastnosti horninového masivu, konkrétně zjišťováním časových změn rychlosti a amplitud seismických vln. Jako nezávislou kontrolní metodu, která s vysokou citlivostí dovede reagovat na změny v masivu vyvolané změnami zejména v nasycení podzemní vodou, lze použít opakované monitorování metodou elektrické odporové tomografie.
Vycházíme z předpokladu podzemního výrubu v hloubce stovek metrů pod zemí, kdy je předpoklad, že existuje mikroporušení hornin, které je ještě částečně otevřené (mělčí partie masivu) , nebo již uzavřené (hlubší partie masivu neporušené ražbou) . Toto mikroporušení je v krystalických horninách přítomné vždy a nepředstavuje snížení pevnosti a nepropustnosti horniny jako celku. Přesto i relativně malé změny napjatosti mohou vyvolat otevírání a zavírání mikrotrhlin, které lze monitorovat prostřednictvím měření rychlosti průchodu seismických vln. Při sevření trhlin dochází k nárůstu rychlosti seismických vln, při zmenšení sevření rychlost klesá. Současně se stejným způsobem mění i amplituda procházející seismické vlny.

Vedle toho mohou být mikrotrhliny suché nebo nasycené podzemní vodou, případně může docházet ke změnám vlhkosti vlivem přítomného výrubu, například v důsledku vysušování při zvýšené ventilaci. I tyto změny mají vliv na rychlosti a amplitudy seismických vln, i když takové změny nelze považovat za projev porušování horninového masivu. Pro možnost detekce změn nasycení horninového masivu vodou lze využít současné měření elektrického odporu.

Praktické zkušenosti s realizací zde předkládané metodiky monitorování vycházejí zejména z experimentů se sledováním geofyzikálních projevů granitových hornin ve štole vodního přivaděče vedoucího z vodního díla Josefův Důl do úpravny vody v Bedřichově (kraj Liberec). Tyto práce zde pod vedením některých členů grantového týmu probíhají již od roku 2003.

Monitorování mechanických a elektrických odporových vlastností prostřednictvím opakovaného prozařování seismickými ultrazvukovými vlnami a opakovaným měřením

zdánlivého měrného odporu vypovídají o počínajících změnách horninového masivu, daných změnami mechanického napětí nebo vývoje mikroporušení.

Závislost charakteru šíření seismických vln na napjatosti horninového masivu či jeho rozpukání je již známa řadu let. Obdobně je v literatuře popisována závislost měrného elektrického odporu horniny na stavu jejího porušení a nasycení podzemní vodou. **Společná interpretace obou metod za účelem sledování stavu a predikce dlouhodobého chování horninového masivu se však doposud nepoužívala. Při aplikaci odporových měření je dále novým příspěvkem poznání, že monitoring odporových poměrů je možno spolehlivě realizovat i v podmínkách skalního masivu, tj. v podmínkách s extrémně vysokými měrnými odpory (až desítky tisíc ohmm). Za těchto podmínek je jediným zásadním nositelem vodivostních změn obsah vody a její mineralizace v puklinovém systému. Nový přístup je rovněž k realizaci seismického prozařování, kde je používána originální metodika buzení a registrace seismických vln. Použitá metodika byla publikována v pracích členů řešitelského týmu, např.: Bárta, Jirků (2011), Bárta a kol. (2010), Petružálek a kol. (2013), Vilhelm a kol. (2008, 2010, 2012, 2013), Živor a kol. (2011) a také na posterech v rámci pravidelných konferencí European Asociation of Geoscientists and Engineers (Madrid 2015, Amsterodam 2014).**

Výsledkem dlouholetého výzkumu, zejména v již zmiňované štole v Bedřichově, dále bylo, že i za standardních stabilních podmínek ve štole probíhají drobné geomechanické i hydrogeologické změny, které jsou sledovatelné v naměřených datech. I když se jedná převážně o projevy v těsném okolí štoly, které souvisejí i s měnícími se podmínkami ventilace ve štole, jsou tyto projevy důležité pro poznání chování masivu. **Tyto změny mají charakter časových variací, které je nutné zachytit soustavným monitoringem. Tento požadavek byl splněn jednak konstrukcí originálního geofyzikálního měřícího systému a dále zajištěním přenosu naměřených parametrů internetovou sítí k dalšímu výzkumu, či k zajištění včasného varování příslušných útvarů (vedení stavby, bezpečnostní služba apod.).**

Výsledek výzkumného úkolu TA 03020408 trvajícího čtyři roky umožnil vyladit monitorovací systém a metodiku zpracování dat tak, aby získané výsledky byly vždy průkazné a opakovatelné, což je jedním z požadavků Doporučení Rady pro výzkum, vývoj a inovace k certifikaci metodik z 28. 2. 2014. Z tohoto důvodu metodika klade důraz na přesné dodržení skladby hardwaru a softwaru, který je v metodice jasně definován.

4. POPIS HARDWARE

4.1 Popis funkce měřícího sysdtému SGI 1

Měřicí aparatura je sestavena ze tří základních bloků:

1) řídicí počítač (dále jen PC)
2) sestava pro elektrickou odporovou tomografii (anglicky Electrical Resistivity Tomography, dále jen ERT)
3) sestava pro seizmické měření (dále jen SM)

Hlavním řídicím prvkem celé sestavy je průmyslový počítač PC (1).

Počítač pomocí speciálního software řídí časování celého systému, tedy jednak měření metodou odporové tomografie, jednak seizmických měření. Dále pak sbírá data z těchto systémů, ukládá je na místní disk a posílá pomocí sítě ethernet na vzdálený server ftp.

Systém pro odporovou tomografii (7) změří pomocí elektrod (8) zdánlivé odpory proměřovaného horninového prostředí. Elektrod může být až 72. Systém ERT předává data nadřazenému počítači pomocí sériové sběrnice (USB / RS232).

Seismická aparatura sestává z řídicí elektroniky (2), pulzních generátorů (3) a systému seizmických čidel (5, 6). Pro vysílání i příjem podélných vln byla použita čidla určená pro příčné S-vlny. Na pokyn PC pulzní generátor vyšle budicí pulz (amplituda řádově ve stovkách volt, šířka pulzu v jednotkách μs) do vysílacího elektromechanického čidla Tx (5), které generuje mechanické vlnění (zdroj příčných i podélných vln). Po průchodu horninovým prostředím je pomocí přijímacích čidel Rx (6) toto vlnění registrováno. Digitalizované vlnové obrazy jsou ukládány v řídícím PC.

Vysílací i přijímací čidla jsou umístěna v jedné linii, ve stejných pravidelných vzdálenostech. Počet budicích čidel (5) i počet přijímacích čidel (6) není omezen, ale vzhledem k výraznému úbytku signálu se vzdáleností je doporučena maximální vzdálenost mezi budicím a přijímacím čidlem cca. 4 m. V sestavě musí být minimálně jedno budicí čidlo, ale jsou doporučena čidla dvě, z důvodu prozáření z obou směrů.

V době seismických měření musí být aparatura ERT (7) vypnuta, neboť její chod ovlivňuje parazitním elektromagnetickým rušením signál z přijímacích elektrod. Proto je v systému zapojena spínací jednotka (4), která zapojí systém ERT jenom po nezbytnou dobu měření pomocí odporové tomografie a v této době se neprovádí seizmické měření.

Seismická aparatura umožňuje volit minimální časový interval mezi měřeními řádově v sekundách, ale doporučuje se interval mezi měřeními volit několik hodin, což postačí pro zachycení změn v horninovém masivu o periodě 1 den a delší.

Doba potřebná k měření impedanční tomografie je závislá na počtu zapojených elektrod a jedno měření trvá 3-4 hodiny. Praktické zkušenosti vedou k počtu opakování 1× denně.

Data jsou pak k dispozici na serveru ftp a zároveň jsou zálohována na průmyslovém PC.

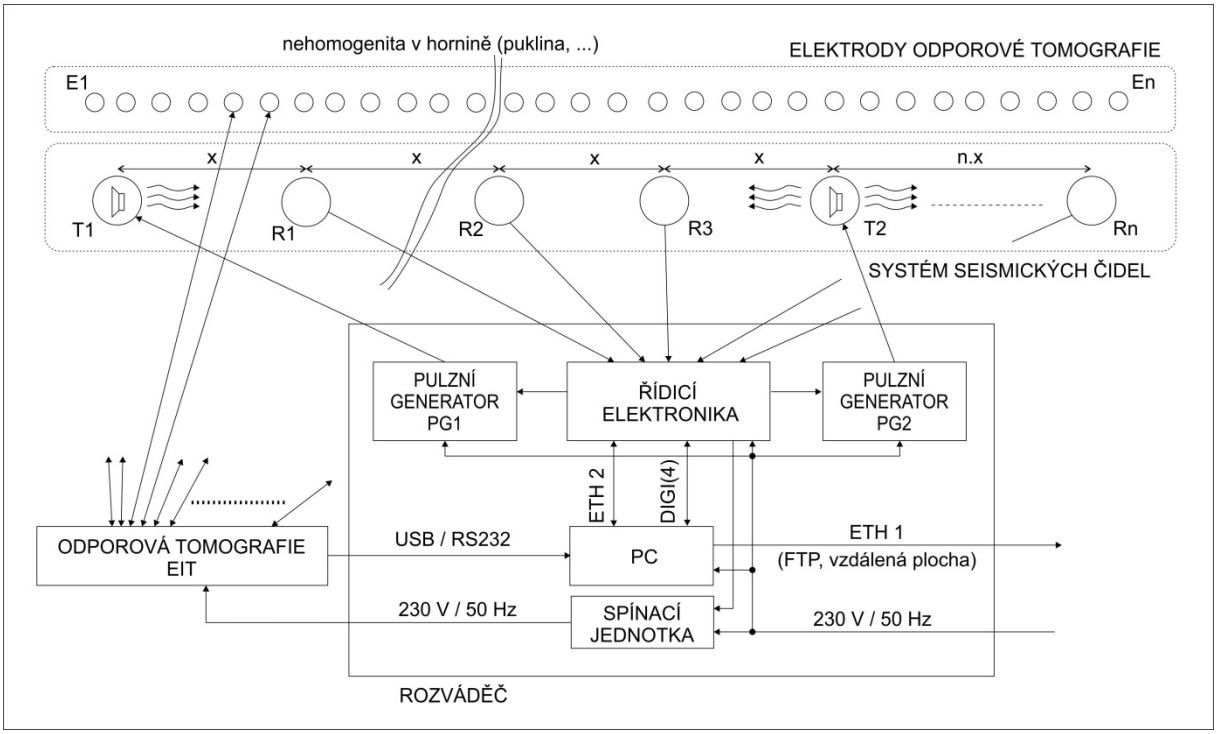
Prvky (1), (2), (3) a (4) jsou umístěny v rozváděči (9).

Celý systém je napájen napětím 230 V / 50 Hz.

Potenciální schopností systému SGI 1 je možnost sledovat efekty vyzvané polarizace (IP) v časové doméně. Další potenciální schopností systému je sledování nikoliv pouze aktivně buzených seismických vln, ale i pasivní sledování seismicity o vysokých frekvencích v době, kdy není buzen aktivní signál. Tyto schopnosti systému a jejich možnosti při posuzování geotechnických poměrů horninového masivu budou studovány v rámci dalších výzkumných projektů a následně budou uváděny do praxe.

Systém SGI 1 je přihlášen jako Užitný průmyslový vzor a jeho užití je tedy chráněno příslušnými zákony České republiky.

Celkové blokové schéma je uvedeno na obr. 4.1.



Obr. 4.1: Celková sestava měřicí aparatury SGI 1: PC(1), řídicí elektronika (2), pulzní generátory (3), spínací jednotka (4), budicí čidla seismického systému (5), přijímací čidla seismického systému (6), systém elektrické odporové tomografie (7), elektrody ERT (8), rozváděč (9).

Celá řídicí elektronika je umístěna do rozvaděče Schneider Thalassa PLM s průhlednými dveřmi. Mozkem celého systému je průmyslový PC Advantech ARK 1503, řízený procesorem Intel Atom. V rozvaděči jsou dále umístěny následující komponenty:

- zdroje napájení
- jištění
- elektronika seismické aparatury
- pulser-receiver Olympus 5077PR
- rozvodné kanály pro kabeláž

4.2 Jednotlivé komponenty systému.

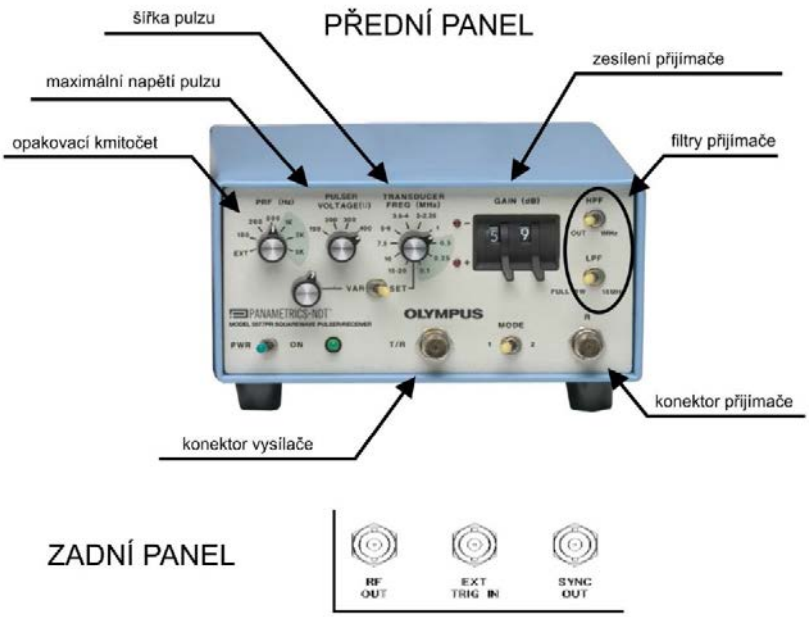
Aparatura ARES II

ARES II je měřicí aparatura pro odporovou tomografii a vyzvanou polarizaci, výrobek české firmy GF Instruments s.r.o. Firmware zařízení ARES II (obr. 4.2) byl pro účely monitoringu výrobcem doplněn utilitou, která zajišťuje kontinuální posílání dat po sběrnici RS232 do nadřazeného PC. Tento krok umožňuje trvalé ukládání dat na externím PC a posléze zasílání dat na vzdálený ftp server.

Obr. 4.1: Sestava ARES II

Napájení přístroje ARES II je z 12 V baterie pomocí kabelu z příslušenství. Výkon vysílače je 850 W (max.), přesnost určení velikosti proudu v proudovém okruhu vysílače je 0,1%. Vstupní impedance přijímače (měření napětí na potenčních elektrodách) je 20MΩ, přesnost přijímače je 0,1% měřené hodnoty napětí.
Filtrace 50 /60 Hz zabezpečuje odolnost proti rušení střídavým napětím v rozvodné síti.

Pulser receiver Olympus 5077PR
Prozařování vysokofrekvenčním seismickým vlněním využívá jako zdroj elastického vlnění piezokeramický měnič, který je buzen elektrickým impulzem obdélníkového tvaru ze zařízení Olympus 5077PR (obr. 4.3). Budící napětí je může být až 400 V. Délka pulzu je volena tak, aby odpovídala vlastní frekvenci budícího senzoru. Pulser je spouštěn řídící elektronikou seismické části SGI 1.

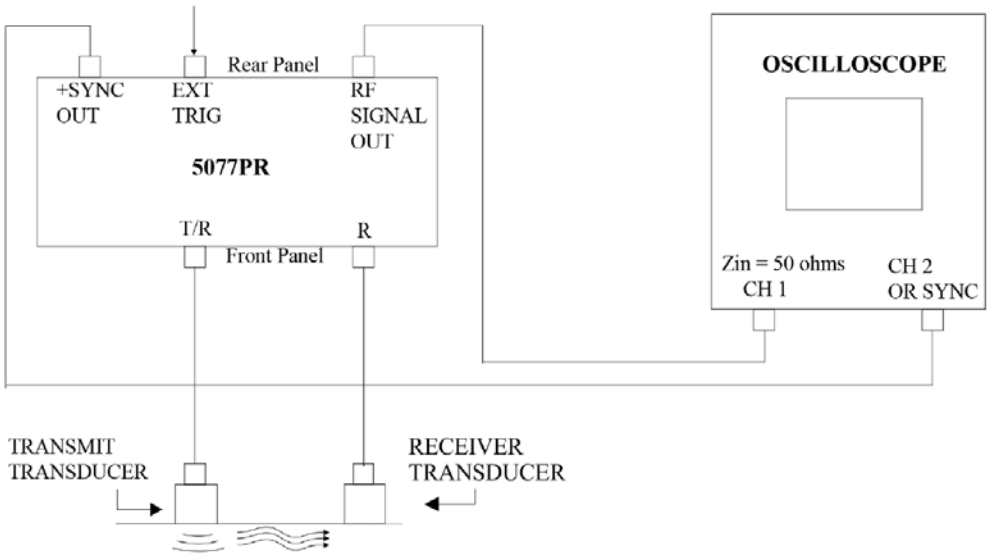


Obr. 4.2: Celkový pohled na Pulser receiver Olympus 5077PR

Seismické čidlo Olympus 1548
Jako budící i přijímací měniče jsou používány senzory Olympus 1548 (obr. 4.4). Jedná se o čidla pro buzení a registraci příčných seismických vln, vlastní frekvence je 100 kHz.

Obr. 4.3: Seismické čidlo Olympus 1548

Zapojení seismického měření a sledování průběhů šíření seismických vln pomocí aparatury Olympus 5077PR a osciloskopu je na obr. 4.5.



Obr. 4.4: Zapojení pulser-receiveru Olympus 5077PR

Průmyslový počítač Advantech ARK 1503
Jako řídící počítač byl vybrán průmyslový počítač, jehož specifikace je na obr. 4.6.

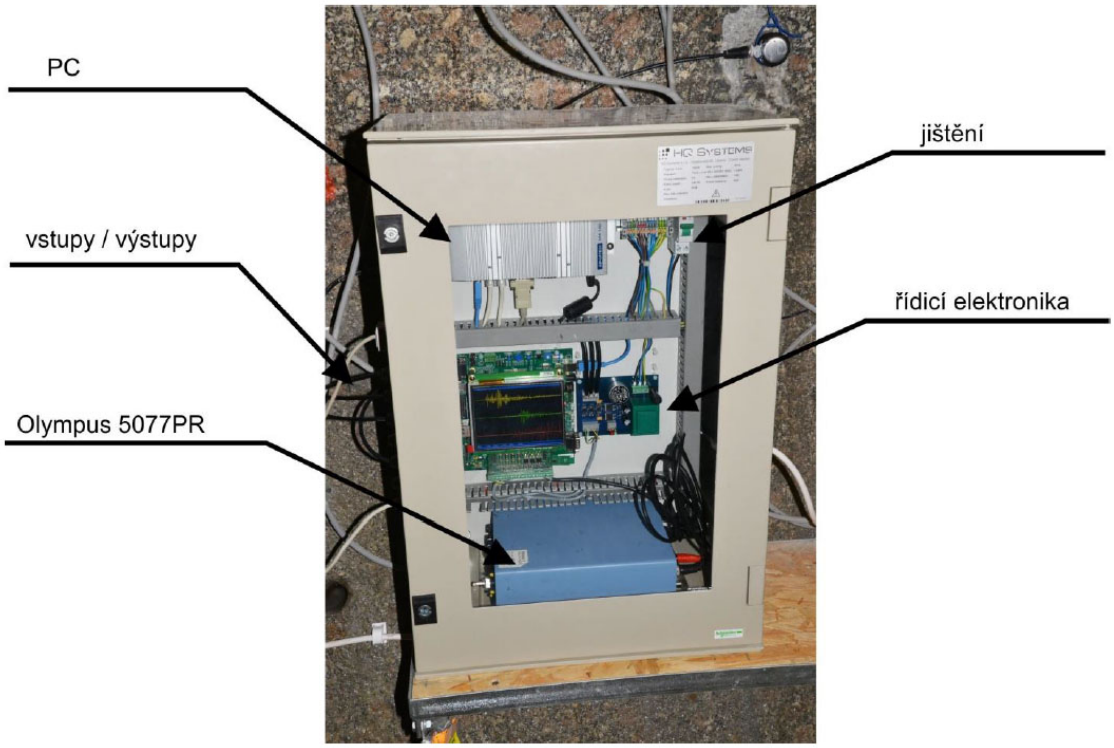
Features

- Extremely compact, sealed construction with fanless operation, supports Intel® Atom® D525/D425 up to 1.8 GHz
- Supports integrated LVDS interface, with LVDS/2*USB/Rx/Tx signal (compliant with ITM-5115)
- Supports 2 x Giga LAN and 4 USB 2.0 ports
- Supports 1 x RS-232, 1 x RS-232/422/485 with Auto-flow control
- Built-in 1 x Mini PCIe expansion slot for communication module, like WLAN
- Supports external CF socket, 2.5" SATA HDD
- DC 12V power input
- Supports SUSIAccess and Embedded Software APIs
- Easy to maintain
- IP40
- Paměť 4GB
- SSD disk 120 GB

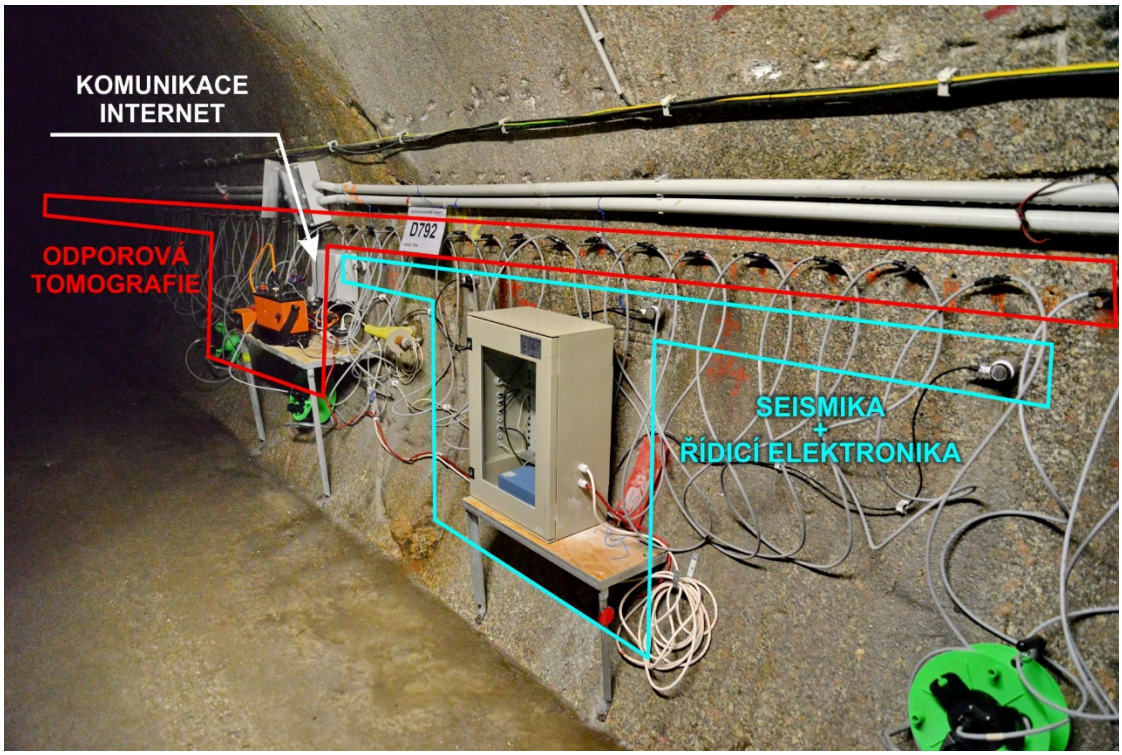
Obr. 4.5: Specifikace průmyslového PC

Rozvaděč pro řídicí elektroniku a PC

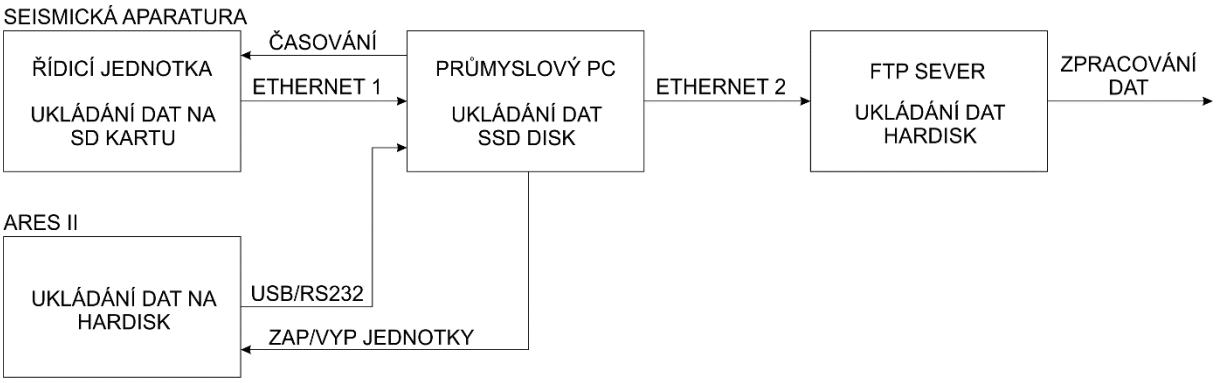
Vlastní elektronika systému SGI 1 je umístěna ve vodotěsném rozvaděči (obr. 4.7) a představu o rozmístění v podzemním výrubu ve štole Bedřichov ukazuje obr. 4.8. Celkové schéma koncepce sběru dat je na obr. 4.9.



Obr. 4.6: Pohled do rozvaděče Schneider Thalassa



Obr. 4.7: Příklad umístění geofyzikálního monitorovacího systému SGI 1 v terénu. Celkový pohled na pracoviště v tunelu Bedřichov



Obr. 4.8: Koncepce sběru dat

U seismické části SGI 1 jsou data ve formátu csv (Excel) jednak ukládána na SD kartu, jednak jsou přenášena pomocí vnitřní sběrnice ethernet do průmyslového PC a odtud do internetové sítě.

Signál z piezokeramických snímačů je principiálně slabý, a proto je prakticky vždy nutné jej vhodně zesilovat a výsledný záznam integrovat z více opakovaných pulsů. Měření aparaturou SGI 1 předpokládá, že je většinou měřeno v místech, kde je možné sledovat jak průchod seismických vln horninou bez makroskopického porušení, tak v místě, kde je makroskopicky pozorovatelné porušení – viditelná puklina. Přítomnost pukliny vede ke značnému snížení

amplitud procházejícího elastického vlnění. Pro zesílení signálů byly navrženy speciální předzesilovače.

Zesilovač pro zesílení signálu ze seismických čidel je řešen jako kaskáda dvou zesilovacích stupňů. První stupeň má nastaveno fixní zesílení 100 a druhý stupeň má pomocí rezistorů nastavitelné zesílení od 0,7 do 600. Oba zesilovací stupně jsou stejnosměrně odděleny kapacitní vazbou. Důvodem je zamezení přebuzení druhého stupně vlivem stejnosměrného napěťového offsetu obou stupňů. V zesilovacím řetězci je zařazen filtr typu dolní propust, který omezí frekvenční pásmo a zamezí vniku vysokofrekvenčního signálu do signálu užitečného.

Hlavním zesilovacím prvkem je operační zesilovač THS4032 od firmy Texas Instruments, který má frekvenční pásmo 100 MHz, napěťový offset 0,5 mV a proudový offset 30 nA. Tyto vlastnosti plně vyhoví pro dané použití. Při zesílení 600 se frekvenční rozsah sníží na 300 kHz, což je stále dostačující pásmo pro signál ze seismických čidel, jehož maximální frekvence se pohybuje okolo 50 kHz.

Počet konečných seismických záznamů, které jsou během dne akceptovány do monitorovací databáze a jsou předmětem dalšího zpracování, se liší podle zadání řešeného úkolu. Doporučena je frekvence ukládání mezi deseti minutami až deseti hodinami. Opakování po desítkách minut je určeno pro detekci jevů spojených například s přibližováním razicího stroje do blízkosti monitorovací základny. Opakování po desítkách hodin je určeno do relativně klidného prostředí, kde jsou sledovány hlavně přírodní procesy a změny.

5. POPIS SOFTWARE

Měřící systém SGI 1 je řízen programovým vybavením (firmware), které lze rozdělit do tří částí:

Operační programy aparatury ARES II (GF Instruments s.r.o.) a aparatury Olympus 5077PR (Olympus a.s.). Tento firmware je duševním vlastnictvím výrobců příslušných aparatur a povolení k jejich využití plyne z nákupu dotyčných přístrojů.

Třetí část tvoří řídící programy vytvořené v rámci projektu TA 03020408, které zajišťují funkčnost celého sytému SGI 1 a následný přenos dat na vzdálená pracoviště (pomocí sítě Internet). Tyto programy byly vytvořeny řešitelským týmem a žádné jejich části nejsou převzaty z cizích zdrojů.

Z pohledu uživatele monitorovacího systému SGI 1 a jeho práce podle zde předkládané metodiky je nutno použít následující zpracovatelský software:

Tabulkový procesor Excel (Microsoft)
Grafický program – doporučen Surfer a Grapher (Golden Software)
Zpracovatelský a vyhodnocovací program pro odporová měření - doporučen Res2Dinv (Geotomo Software, Locke)

Tento software je běžně dostupný na trhu a lze zakoupit jeho licence.

6. ROZSAH POUŽITÍ, TERMINOLOGIE A POPIS PRACOVNÍCH ČINNOSTÍ SPOJENÝCH S POUŽITÍM SGI 1

6.1 Úkoly vhodné pro aplikaci systému SGI 1

Monitoring horninového masivu geofyzikálními metodami pomocí SGI 1 je účelný pro sledování stability horninového masivu v okolí podzemního výrubu, například pro následující zadání:

1. Horninové prostředí je zcela prosté porušení a případný vznik puklin lze přičítat vnějším nepříznivým vlivům. Jedná se například o vliv postupu baňské ražby, vliv blízkých trhacích prací nebo o odezvu na dynamické namáhání podloží staveb.
2. Horninové prostředí je již rozpukáno. Puklinový systém je však nepříznivě namáhán a stav puklinového systému se může v čase měnit.
3. Horninové prostředí je sledováno v přirozeném prostředí bez technických vlivů. V rámci výzkumných prací je však potřebné zhodnotit, nakolik je metabolizmus (chování) horninového prostředí ovlivněn vlivem dlouhodobých variací v napjatosti horninového masivu, hydrogeologickými poměry, teplotními změnami či postupem zvětrávacích procesů.

6.2 Charakter hornin, pro které je metoda SGI 1 účelná

Horninové prostředí vhodné pro studium pomocí systému SGI 1 je tvořeno skalními horninami, nejlépe zařazenými do třídy R1 až R4 ve smyslu ČSN 73 1001 (Základová půda pod plošnými základy). Petrografický typ horniny není zásadní. Možnost aplikace sytému SGI 1 pro jiná geotechnická prostředí zatím nebyla zkoušena (nabízí se možnost aplikace pro tuhé jíly). Systém SG1 se nejsnáze instaluje na stěnu výrubu budovaného strojní ražbou.

6.3 Terminologie stanovená pro klasifikaci horninového prostředí na základě jevů monitorovaných systémem SGI 1

Třída 1
Horninové prostředí nejeví žádné známky změn. Po dobu monitoringu nejsou pozorovány žádné časové změny monitorovaných veličin. Horninový masiv je ve stabilním, neměnném stavu.

Třída 2
Horninové prostředí jeví variace změn, které jsou na úrovni přirozeného chování prostředí. Homogenní bloky nevykazují žádné známky změn, v místech porušení může docházet k sezónním změnám nasycení vodou. Podobně v blízkosti podzemního výrubu je možné pozorovat změny, které souvisí se změnami vlhkosti vlivem změn teploty a odvětrávání vyrubaných prostor. Horninový masiv je ve stabilním stavu odpovídajícím přirozenému chování.

Třída 3
V horninovém prostředí se objevují změny, které souvisí s nárůstem nebo redistribucí napětí. Pokud jsou v hornině pukliny, mění se jejich sevřenost. Nedochází ke vzniku nových puklin ani k prodlužování existujících puklin. Horninový masiv je ve stabilním stavu.

Třída 4
Kvantitativní změny přecházejí do obecné změny kvality jevů. Lokálně dochází k překročení pevnosti, existující pukliny se prodlužují, dochází ke vzniku nových puklin. Hornina se nachází v nestabilním stavu, dochází k jejímu porušování. Z dlouhodobého hlediska neodpovídá požadavkům na ni kladeným. Je dosažena nepřekročitelná bezpečnostní hranice přikazující zastavit pracovní činnosti, které k nepříznivým jevům vedou.

Třída 5
Horninové prostředí přechází do fáze nevratných změn. V prostředí vzniklo takové množství poruch, že redistribuce napětí způsobuje překročení lokální pevnosti hornin v mnoha místech. I v případě, že nebude docházet k dalšímu zvyšování napětí, porušování bude pokračovat.

6.4 Vybudování monitorovací základny

6.4.1 Výběr monitorovací základny

Základnu je třeba vybrat tak, aby byla situována v reprezentativním místě. Takové místo by mělo charakterizovat danou lokalitu, ale současně z hlediska bezpečnosti je vhodné umístit monitorovací systém do míst, kde jsou pozorovány příznaky porušení – jednotlivé pukliny nebo puklinové zóny. Výběru místa předchází geologická rešerše starších dostupných geologických podkladů. Na základě rešerše je pak vybráno několik zájmových míst, ve kterých je provedeno testovací geofyzikální měření. Jako testovací komplex je doporučeno použití komplexu metod, a to:

1. Seismické profilové měření, například na stěně výrubu. Krok geofonů je volen vesměs 0,2 až 2 m (krok geofonů by neměl překročit šířku struktury, která má být sledována).
2. Odporová tomografie (krok elektrod obdobně jako v bodu 1).
3. Detekce přítomnosti bludných (parazitních) proudů.
4. Volitelné: radarové měření nebo dipólové elektrické profilování (pokud to charakter terénu umožňuje).

Na základě testovacích prací je vybráno optimální místo. Monitorovací systém má být umístěn tak, aby sledovaná struktura (puklina, puklinová zóna či v některých případech naopak zcela neporušená poloha) byla situována v centru monitorovacího systému a okraje systému naopak přecházely do standardních geotechnických poměrů.

Pro výběr definitivního umístění monitorovacího systému je třeba zvážit i bezpečnost místa či jeho způsob ochrany, aby činnost systému nebyla rušena provozem v podzemním díle, a aby nebyla ohrožena například vandalizmem apod.

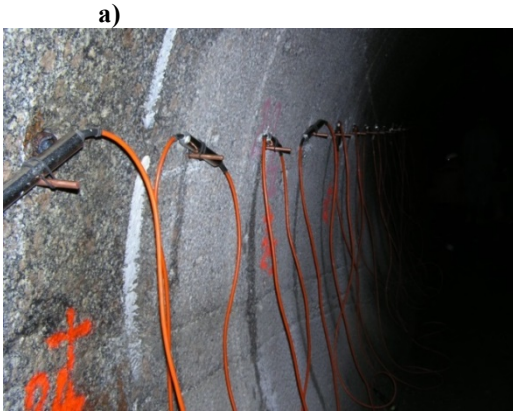
6.4.2 Výstavba monitorovací základny

Metodika předpokládá, že vesměs bude prováděno monitorování chování úzkých puklinových systémů a že měření budou probíhat na odkrytém skalním masivu, bez větších nerovností a bez porušení hornin při budování výrubu.

Geoelektrická část
V oblasti základny je vybudován geoelektrický profil, optimálně sestávající ze 48 či více kovových elektrod rozmístěných s pravidelnou vzdáleností mezi sebou. Vzdálenost elektrod

od sebe se bude vesměs pohybovat řádově v decimetrech a elektrody budou tvořeny tyčkami z nerezové oceli (nebo mědi), které budou zapouštěny do vývrtů provedených v hornině. Viz instrukční vyobrazení na obr. 6.1a, b.

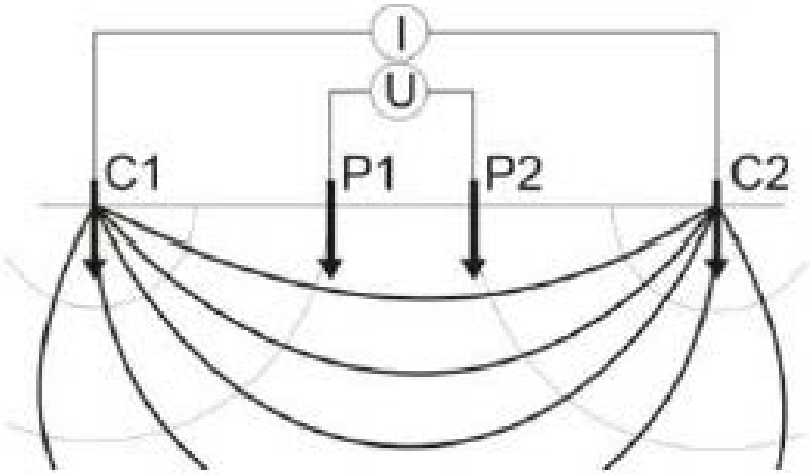
a)



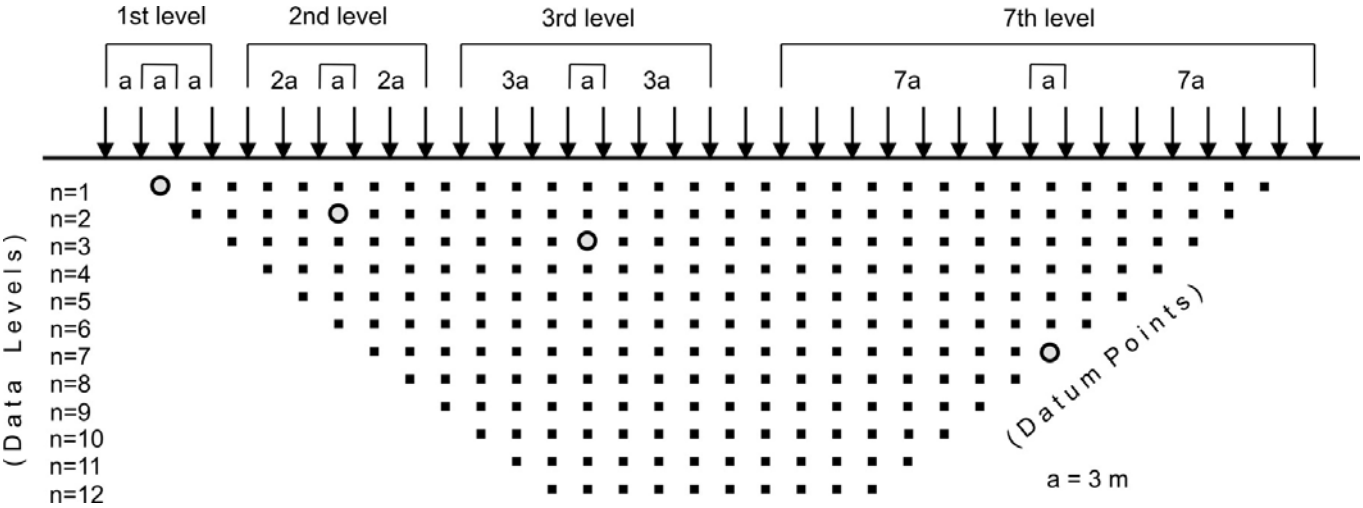
b)

Obr. 6.1: a) Příprava vývrtů pro elektrody, b) fixovaný systém elektrod s kabeláží umístěný na stěně štoly

Pro podrobnější popis realizace metody odporové tomografie doporučujeme jako pomůcku manuál společnosti GEOTOMO SOFTWARE (viz lit., oddíl Manuály). Metoda je založena na měření zdánlivého měrného elektrického odporu, při kterém jsou dvě elektrody zapojené jako proudové (elektrody C1, C2) a dvě jako potenční (P1, P2), viz obr. 6.2. V případě systému SGI 1 jsou jednotlivé varianty uspořádání elektrod zapojovány jako systém uspořádání Wenner a Schlumberger. Viz obr. 6.3.
Použití geoelektrické metody je vyloučeno, pokud by podzemní dílo bylo vybaveno vodivou (kovovou) výztuhou – například torkret.



Obr. 6.2: Schéma zapojení elektrod při odporovém měření



Obr. 6.3: Zapojování elektrod v metodě odporové tomografie. S růstem rozestupu elektrod roste hloubkový dosah měření. Schéma je převzato z manuálu GEOTOMO SOFTWARE.

Seismická část

Terénní seismické měření je realizováno prozařováním seismickým vysokofrekvenčním signálem na dráze cca 1 až 3 m. Přijímací i budící měniče jsou uchyceny na povrchu skalního masivu pomocí přitlačení držákem, který se opírá o pevnou kotvu (obr. 6.4.). Povrch horniny pod snímačem je vybroušený do roviny. Navíc je mezi snímač a vyhlazený povrch horniny aplikováno malé množství vodě odolného tmelu, který zajistí celoplošný kontakt mezi snímačem a horninou.

Použity jsou měniče založené na piezoelektrickém efektu. S ohledem na velikost měřící báze a rozlišovací schopnost jsou používány měniče s vlastní frekvencí 100 kHz. Při zvolené geometrii měření, kdy jsou vysílací i přijímací měniče na stěně masivu, je vhodné pro měření pomocí P-vln použít měniče, které kolmo k povrchu generují S-vlnu. S-měniče jsou v dané geometrii citlivější pro buzení a registraci P-vln, než P-měniče. Jako budící signál je pro vysílací měnič použit pravoúhlý impuls 100 kHz. Vyslaný seismický signál je po průchodu masivem zaznamenáván v několika místech, ležících na profilu se zdrojem.

Registrované seismické vlnění po průchodu horninovým masivem vykazuje převládající frekvenci okolo 20-40 kHz. Seismický neklid v tomto frekvenčním pásmu lze za obvyklých podmínek považovat prakticky za nahodilý, nekoherentní šum. Proto je filtrace signálu, založená na průměrování zaznamenaných vlnových obrazů, velmi účinná ke zlepšení poměru signál/šum. V praxi lze doporučit průměrovat cca. 50 realizací prozařování.
Seismická část monitorovacího systému SGI 1 předpokládá, že v místě monitorovací základny jsou umístěny nejméně tři seismické snímače (geofon, pulsreceiver) a jeden seismický piezoelektrický zdroj (pulser). Geofony jsou zpravidla od sebe vzdáleny maximálně na distanci 1 m. V případě měřící základny v místě se sledovanou puklinovou strukturou je nejméně jeden geofon umístěn za sledovanou puklinou. Příklad umístění geofonů je patrný ze snímku na obr. 4.8

Obr. 6.4: Čidlo fixované ke skále

Pokud realizátor monitorovacích prací vyžaduje sledování naměřených dat ze vzdálených pracovišť (je důrazně doporučováno), je systém SGI 1 schopen tuto činnost zajistit. Pokud není v místě měření k dispozici dostatečný signál zajišťující spolehlivý přenos (např. GSM nebo WIFI), je použit pro transport dat optický kabel spojující místo měření se základnou schopnou předat data přes router ke kabelové lince zajišťující další rutinní internetové spojení. Rychlost přenosu dat není vzhledem k meritu věci zásadní, rozhodující je spolehlivost přenosu. To znamená, že je možné použít běžně dostupné rychlosti pro telefonní linku (upload 64 kB za sec a lepší).

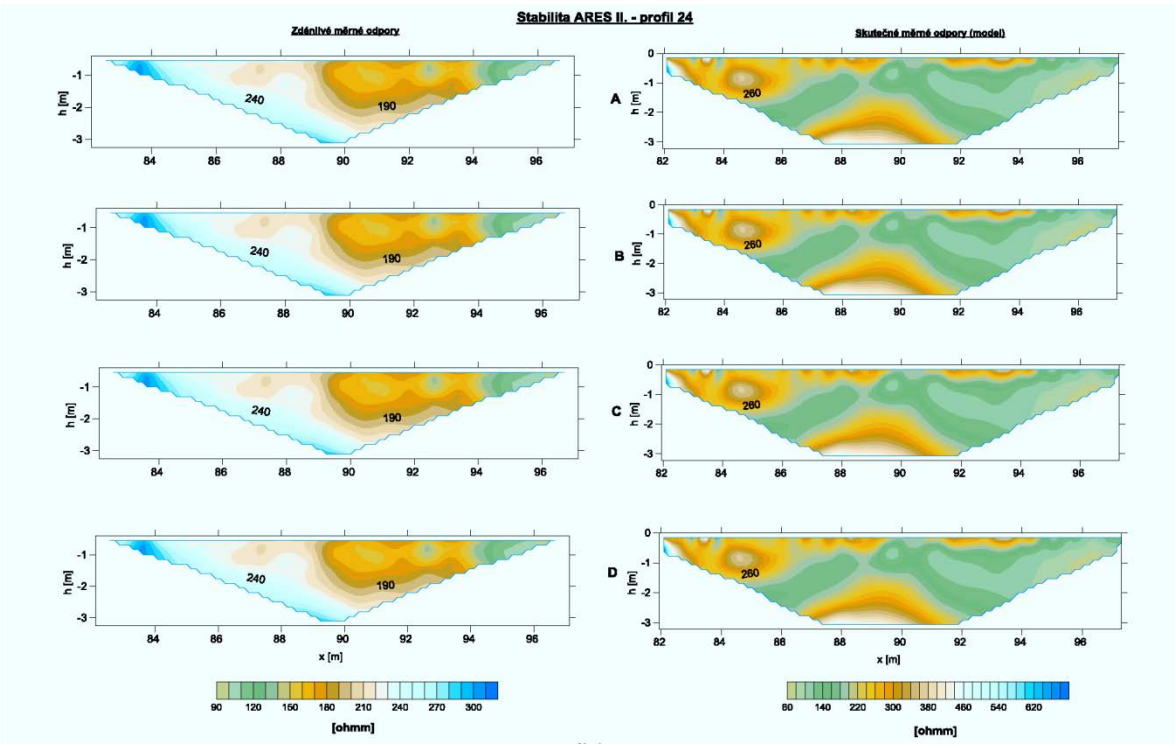
7. POPIS ZPRACOVÁNÍ DAT A JEJICH VYHODNOCENÍ

7.1 Zpracování naměřených odporových dat

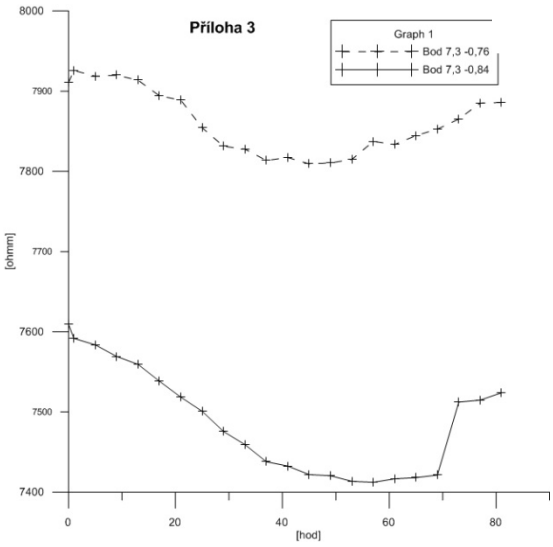
Primárně se naměřená data shromažďují v databázi ve formě tabulky naměřených zdánlivých měrných odporů, přičemž každá z těchto hodnot má přiděleny souřadnice x, y udávající pozici odporové hodnoty v rovině měřeného profilu (viz bodové schéma na obr. 6.3). Naměřená data jsou zpracovávána třemi různými způsoby:

1. Nejjednodušší způsob zpracování spočívá v porovnávání dvojic odporových řezů zdánlivých odporů, které byly naměřeny s určitým časovým odstupem. Porovnávány jsou jednotlivé hodnoty zdánlivých odporů, které odpovídají stejné poloze na řezu zdánlivých odporů. Porovnání je realizováno výpočtem poměru obou měřených odporů. Pokud se odpory nemění, jsou hodnoty poměrů blízké jedné. Pokud odpor narůstá, poměr klesá. Naopak při poklesu odporů pozorujeme vzrůst poměru. Tyto poměry je možné zobrazovat ve formě řezu analogické hloubkovým řezům. Dlouhodobou tendenci je možné sledovat výpočtem série těchto poměrových řezů, kdy je všechny vztahujeme k jednomu počátečnímu řezu, který odpovídá počátečnímu datu analyzovaného období.

2. Pro větší objem dat se výše uvedené porovnávání poměrových řezů stává nepraktickým. Jako výhodnější se ukázalo provádět analýzu rozptylu měřených zdánlivých odporů. Pro každý bod řezu zdánlivých odporů je vyhledána jemu odpovídající řada hodnot zdánlivých odporů, jak se měnily v průběhu zvoleného časového úseku. K této řadě zdánlivých odporů je stanovena její směrodatná odchylka. Hodnoty všech směrodatných odchylek je pak možné vynést do řezu, analogickému jako je původní řez zdánlivých odporů. To je realizováno pomocí MATLABovského kódu. Na základě plošného rozmístění hodnot směrodatných odchylek lze určit místa, kde se zdánlivé odpory mění málo a kde se mění více. Místa s anomálními projevy časových změn zdánlivých odporů jsou pak místy, kde v horninovém masivu došlo k největším změnám. To jsou pravděpodobně pukliny a puklinové zóny, v nichž dochází ke změně saturace podzemní vodou.
3. Nevýhodou prvních dvou typů výstupů je to, že řezy zdánlivých odporů (a případně z nich spočtených poměrů nebo směrodatných odchylek), jejichž hodnoty jsou formálně zobrazovány v pravidelně rozmístěných bodech podle schématu na obr. 6.3, nepředstavují skutečný odporový řez horninovým prostředím. Proto jsou řezy tohoto typu většinou označovány jako pseudořezy. Abychom z naměřených zdánlivých odporů dostali skutečné rozložení měrných odporů v prostředí, je třeba řešit tzv. obrácenou úlohu, jejímž výsledkem je získání odporových tomografických řezů. Tuto úlohu je možné řešit pomocí programu Res2Dinv (viz GeoTomo Software, autor Locke). Výsledkem je získání rozložení skutečných odporů v řezu profilem. Pro grafické zobrazení odporového řezu lze využít výše zmíněný program Res2Dinv, nicméně lepší možnosti grafického zobrazení lze dosáhnout pomocí programu Surfer (firma GoldenSoftware, USA). Na obr. 7.1 je uveden příklad srovnání řezu zdánlivých odporů (odporový pseudořez) a invertovaného skutečného rozložení měrných odporů v horninovém prostředí. V daném případě jde o výsledky testu stability naměřených dat aparaturou ARES II a jejich zpracování (intervaly mezi měřením činí pouze hodinu, během testu se neměnily vlhkostní poměry)



Obr. 7.1: Testování jednotky ARES II. Opakovaná měření (intervaly po jedné hodině) A, B, C, D. Vlevo primární data (zdánlivé měrné odpory). Vpravo skutečné měrné odpory získané pomocí software Res2Dinv (Locke). K zobrazení řezů použit program Surfer.



Obr. 7.2: Časový průběh zdánlivých měrných odporů ve dvou bodech řezu

Na obr. 7.2 je ilustrace dějů (změn odporů) na příkladu měření dvou vybraných záměr (bodů). Bylo prokázáno, že v podmínkách vlhkého prostředí rozpukaného skalního prostředí (štola) probíhají variace změn jako denní, týdenní, měsíční i roční.

Počet odporových tomografických souborů, které jsou během dne akceptovány do monitorovací databáze a jsou předmětem dalšího zpracování, se liší podle zadání řešeného úkolu. Doporučena je frekvence ukládání mezi šesti hodinami až dvaceti čtyřmi hodinami.

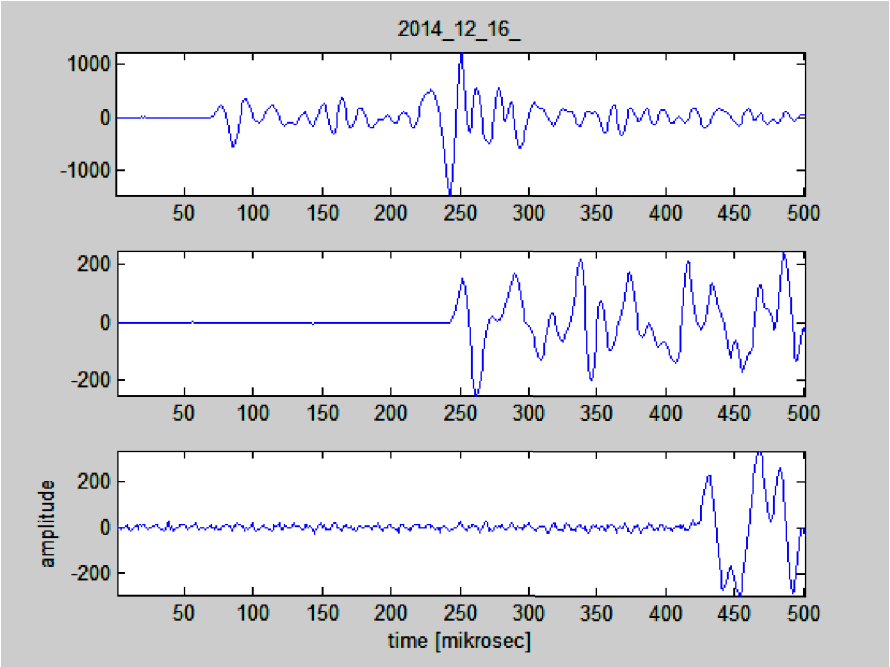
Opakování v krátkých intervalech (šest hodin) je určena pro detekci jevů spojených například s přibližováním razicího stroje do blízkosti monitorovací základny. Opakování ve frekvenci řádově 1 krát za 24 hodin je určeno do relativně klidného prostředí, kde jsou sledovány hlavně přírodní procesy a změny.

7.2 Zpracování naměřených seismických dat

Naměřená seismická data jsou záznamy vlnových obrazů prozařování elastickým vlněním na vzdálenosti 1, 2 a 3 m. Zpracování je zaměřeno na vzájemné porovnání záznamů pořízených v různém čase na stejné dráze. Záznamy prozařování, provedené v různých časech, by měly být identické, pokud nedošlo k žádným změnám v horninovém masivu.
Vzájemné porovnání záznamů spočívá ve zjišťování časového posunu mezi dvojicemi signálů s využitím výpočtu funkce vzájemné korelace. Protože jsou záznamy digitalizovány s krokem vzorkování δt = 1 μs, přesnost určení vzájemného posunu je dána touto mezí. Ze známé vzdálenosti mezi zdrojem a přijímačem a z velikosti rychlosti šíření seismických vln pak lze stanovit přesnost stanovení rychlosti. Za předpokladu, že krok vzorkování je zanedbatelný vůči času průchodu signálu na dráze s mezi zdrojem a vysílačem, lze změnu rychlosti δv v důsledku změny času o jeden krok vzorkování δt vyjádřit pomocí rychlosti šíření seismických vln v podle vztahu $\delta v = v\frac{\delta t}{s}100$ [%].

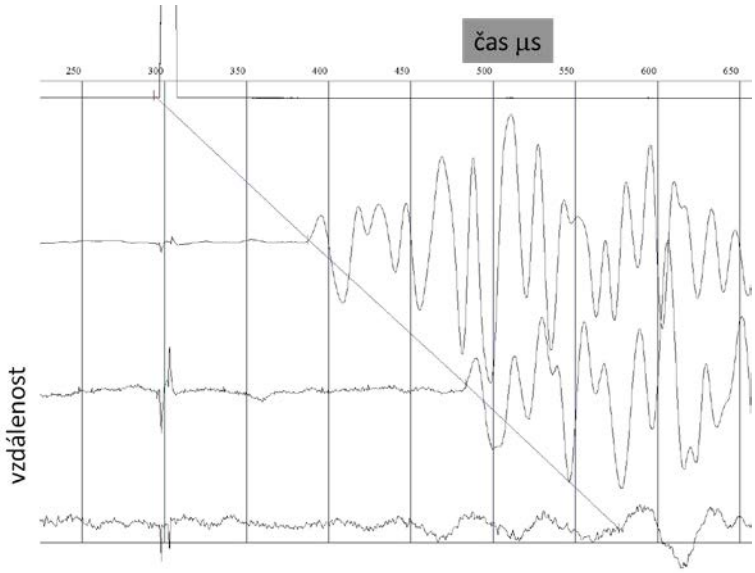
Odvození: *Uvažujeme měření času* $\boldsymbol{t}$ *na dráze* $\boldsymbol{s}$ *a spočítáme rychlosti* $\boldsymbol{v_1} = \frac{\boldsymbol{s}}{\boldsymbol{t}}$ *a* $\boldsymbol{v_2} = \frac{\boldsymbol{s}}{\boldsymbol{t+\delta t}}$, *které jsou odlišné vlivem změny času o „chybu“* $\boldsymbol{\delta t}$, *danou jedním krokem vzorkování. Pro rozdíl rychlostí lze psát* $\boldsymbol{v_1} - \boldsymbol{v_2} = \frac{\boldsymbol{s}}{\boldsymbol{t}} - \frac{\boldsymbol{s}}{\boldsymbol{t+\delta t}} = \frac{\boldsymbol{s(t+\delta t)-st}}{\boldsymbol{t(t+\delta t)}} = \frac{\boldsymbol{s\delta t}}{\boldsymbol{t^2+t\delta t}} \approx \frac{\boldsymbol{s\delta t}}{\boldsymbol{t^2}} = \frac{\boldsymbol{v\delta t}}{\boldsymbol{t}} = \frac{\boldsymbol{v^2\delta t}}{\boldsymbol{s}}$. *Tento rozdíl rychlostí* $\boldsymbol{v_1} - \boldsymbol{v_2}$ *lze vyjádřit relativně, tj. v poměru k rychlosti* $\boldsymbol{v}$ *a to v procentech:* $\frac{\boldsymbol{v\delta t}}{\boldsymbol{s}}$ 100 [%] .

Jako příklad lze uvést, že na zkušební lokalitě ve štole Bedřichov je pro vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem 3 m tato přesnost stanovené rychlosti P-vln lepší než 0.2 %.
Na obr. 7.3 je uveden charakteristický výstup naměřeného seismického záznamu. Zobrazena je pouze počáteční část signálů. Odshora dolů: záznam ve vzdálenosti 1 m, 2 m a 3 m (poslední záznam odpovídá průchodu signálu přes puklinu).



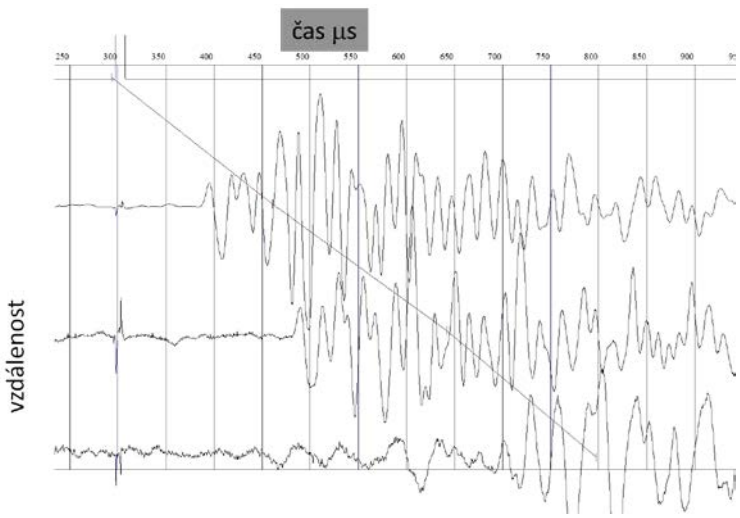
Obr. 7.3: Charakteristický výstup naměřeného seismického záznamu

Obr. 7.4 ukazuje záznamy vlnění zakreslené v závislosti na jejich vzdálenosti od zdroje seismických vln a s vyznačením hodochrony P-vlny. Přijímače byly ve vzdálenostech 50, 100 a 149.5 cm od zdroje. Sklon hodochrony na obr. 7.4 ukazuje se, že rychlost P vlny (je v prvním vstupu) je 5300 m/s.



Obr. 7.4: Stanovení rychlosti P-vln na seismogramu se zakreslením stop podle jejich vzdálenosti. Barevně vyznačena hodochrona P-vlny.

Dále na obr. 7.5 uvádíme příklad stanovení rychlosti příčné vlny.



Obr. 7.5: Stanovení rychlosti S-vln na seismogramu se zakreslením stop podle jejich vzdálenosti. Barevně vyznačena hodochrona S-vlny.

Naměřené seismické záznamy jsou ukládány do databáze, která umožňuje jejich opětovné přehrání, zpracování a vzájemné porovnání. Jako zásadní je studium následujících parametrů, a to:
stanovení rychlosti šíření podélné seismické vlny,
stanovení rychlosti šíření příčné seismické vlny,
stanovení velikosti amplitudy signálu před a za puklinou,
stanovení frekvence signálu před a za puklinou,
sledování změn výše uvedených parametrů v čase.

8. SESTAVENÍ PROJEKTU MONITOROVACÍHO MĚŘENÍ, JEHO PERSONÁLNÍ ZAJIŠTĚNÍ A KONTROLA

8.1. Projekt

Projekt prací musí obsahovat následující náležitosti.

1. **Název projektu**
2. **Acronym projektu**
3. **Řešitel projektu**
4. **Objednatel projektu**
5. **Cíl projektu**
6. **Lokalizace místa monitorovacích měření a způsob jak bylo toto místo určeno.** Součástí tohoto bodu je příloha: Zpráva o vyhledávacím geofyzikálním měření.
7. **Technický popis vybudovaného monitorovacího stanoviště.** Počet měřících elektrod a jejich rozestup. Počet měřících seismických snímačů a jejich vzdálenosti od zdroje seismických rozruchů. Frekvence sběru dat. Popis dálkového přenosu dat. Určení míst kam budou data zasílána ke zpracování. Délka předpokládaného monitorovacího období.
8. **Způsob zpracování dat. Výběr zpracovatelských programů.** Předpokládá se: Res 2DInv, Excel, Surfer, Grapher, Matlab.

9. **Výběr hlavních sledovaných parametrů.** Předpokládá se: rychlost šíření podélné a příčné seismické vlny, velikost amplitudy sledovaných seismických záznamů, velikost zdánlivých měrných odporů, změny v obrazech odporových tomografických řezů.
10. **Výběr vedlejších sledovaných parametrů.** Tento výčet je přizpůsoben místním podmínkám projektu a není povinný. Doporučuje se zejména: Parametr zdánlivé vyzvané polarizace, pasivní sledování seismicity z blízkého okolí měřící základny. Parametr vyzvané polarizace lze měřit aparaturou ARES II zapojenou do systému SGI 1 a pasivní sledování seismicity lze sledovat seismickou částí SGI 1 v meziobdobí mezi buzením seismických vln.
11. **Hlavní kritéria pro hodnocení monitorovací situace.** Hodnotící kritéria jsou dána zadáním úkolu a konkrétní situací na monitorovací základně. Pro hodnocení slouží zatřídění do Třídy 1 (situace výborná) až Třídy 5 (nejhorší).

Příklad 1:

Lokalita je tvořena granitovým masivem. Monitorovací základna je vybudována v blízkosti velkoobjemových báňských prací pro vybudování hlubinného úložiště radioaktivních odpadů. Horninový masiv není makroskopicky narušen puklinami. Tento fakt je potvrzen tím, že hornina je suchá, bez výtoku vody a vyznačuje se rychlostí podélné seismické vlny kolem 5500 m/s.

Třída 1
Horninové prostředí nejeví žádné známky změn.
Rychlost šíření seismické vlny podélné i příčné se nemění nebo se mění v rozsahu přesnosti měření. Amplitudy seismických záznamů se nemění nebo ke změně došlo prokazatelně v důsledku změny na kontaktu mezi seismickým čidlem a horninou. Měrné odpory (zdánlivé i skutečné) jsou konstantní. Rychlost podélné seismické vlny se pohybuje kolem 5400 až 5600 m/s. Měrné odpory dosahují hodnost vyšších tisíců až prvních desítek tisíců ohmm.

Třída 2
Horninové prostředí jeví změny, které jsou na úrovni sezónního chování prostředí.
Rychlost šíření seismické vlny podélné i příčné se mění v rozsahu do 5 %. Tyto změny lze vysvětlit změnami teploty horniny, sezonní změnou její přirozené vlhkosti. Měrné odpory horniny se mění v přípovrchové vrstvě, která bývá ovlivněna například změnou teploty ve štole, změnou větracího režimu ve štole apod. U měrných odporů lze očekávat hlavně v připovrchové vrstvě změny ve stovkách ohmm. Nárůst odporů svědčí např. o vysychání puklinového systému v důsledku větrání ve štole. Pokles odporů bývá naopak projevem provlhčení puklin (trhlin).

Třída 3
Změny v horninové prostředí narůstají. Kvantita i kvalita jevů roste.
Změny uvedené pro třídu 2 se stávají častými a nelze je již vysvětlit pouze klimatickými (sezónními) jevy.

Třída 4
Kvantitativní změny přecházejí do obecné změny kvality jevů. Hornina se nachází v mezním stavu, kdy již neodpovídá požadavkům na ni kladeným. Je dosažena

nepřekročitelná bezpečnostní hranice přikazující zastavit pracovní činnosti, které k nepříznivým jevům vedou.
Ve sledované hornině se vytvářejí první vlasové pukliny, jejichž rozsah překračuje očekávání projektu. Seismická měření začínají vykazovat pokles rychlosti šíření seismické vlny podélné a příčné. Poměr rychlostí podélné a příčné vlny narůstá, což je indicií nárůstu Poissonova čísla. V případě měření odporů zvažujeme dvě situace. V případě báňské ražby, která nemá na prostředí žádné hydrogeologické dopady, se vznik puklin projevuje postupným (trvalým) mírným nárůstem měrných odporů. V případě, že báňská ražba způsobuje zvodnění horninového prostředí, dochází k poklesu měrných odporů, které jsou charakteristické pro místa s puklinovým systémem.

Třída 5
Horninové prostředí přechází do fáze nevratných změn.
Hodnotu této třídy by nemělo monitorovací měření dosáhnout, nebo pouze v rámci pokusných prací. Charakteristické pro tyto situace je, že měrné odpory dosahují hodnot pod 3000 ohmm (za předpokladu zvodnění puklinových systémů). Hodnota vypočteného Poissonova čísla je větší jak 0,27. Rychlost šíření podélné seismické vlny klesá pod 4 500 m/s.

Příklad 2:

Lokalita je tvořena granitovým masivem. Monitorovací základna je vybudována v blízkosti velkoobjemových báňských prací určených pro velkou tunelovou stavbu. Horninový masiv je narušen puklinou (dále základní puklina). Šířka poškození (podrcení) cca 5 cm.

Třída 1
Horninové prostředí nejeví žádné známky změn v čase.
Rychlost šíření seismické vlny podélné i příčné se nemění nebo se mění v rozsahu přesnosti měření. Amplitudy seismických záznamů se nemění nebo ke změně došlo prokazatelně v důsledku změny na kontaktu mezi seismickým čidlem a horninou. Měrné odpory (zdánlivé i skutečné) jsou konstantní. Rychlost podélné seismické vlny se pohybuje kolem 5400 až 5600 m/s. Měrné odpory dosahují hodnost vyšších tisíců až prvních desítek tisíců ohmm. V oblasti sledované pukliny existuje anomální situace. V tomto místě dochází ke zvýšenému útlumu seismických vln. Měrné odpory jsou vůči okolí zvýšené (vyschlá část pukliny) či snížené (zavodněná část pukliny).

Třída 2
Horninové prostředí jeví změny, které jsou na úrovni sezónního chování prostředí.
Rychlost šíření seismické vlny podélné i příčné se mění v rozsahu do 5 %. Tyto změny lze vysvětlit změnami teploty horniny, její sezonní změnou přirozené vlhkosti. Měrné odpory horniny se mění v přípovrchové vrstvě, která bývá ovlivněna například změnou teploty ve štole, změnou větracího režimu ve štole apod. Očekávané rychlosti šíření seismické podélné vlny se pohybují kolem 5 500 m/s, Poissonovo číslo kolem 0,2 až 0,25 a měrné odpory hornin se pohybují ve vyšších jednotkách tisíců až prvních desítek tisíců ohmm. V oblasti pukliny jsou lokální anomálie charakteristické pro změny vlhkosti v puklině (pokles odporů-zvýšená vlhkost, vzrůst odporů-pokles vlhkosti v puklině). Seismické vlny mají zvýšený útlum v oblasti pukliny.

Třída 3
Změny v horninové prostředí narůstají. Kvantita i kvalita jevů roste.
Změny uvedené pro třídu 2 se stávají častými a nelze je již vysvětlit pouze klimatickými (sezónními) jevy.

Třída 4
Kvantitativní změny přecházejí do obecné změny kvality jevů. Hornina se nachází v mezním stavu, kdy již neodpovídá požadavkům na ni kladeným. Je dosažena nepřekročitelná bezpečnostní hranice přikazující zastavit pracovní činnosti, které k nepříznivým jevům vedou.
Ve sledované hornině se vytvářejí kolem základní pukliny i první doprovodné vlasové pukliny, způsobené nevhodně volenou technologií báňské ražby. Seismická měření začínají vykazovat pokles šíření seismické vlny podélné a příčné. Poměr rychlostí příčné a podélné vlny narůstá, což je indicií nárůstu Poissonova čísla nad hodnotu 0,27. V případě měření odporů zvažujeme dvě situace. V případě báňské ražby, která nemá na prostředí žádné hydrogeologické dopady, se vznik drobných puklin a otevírání základní pukliny projevuje postupným (trvalým) mírným nárůstem měrných odporů. V případě, že báňská ražba způsobuje zvodnění horninového prostředí, dochází k poklesu měrných odporů, který je charakteristický pro místa s puklinovým systémem. Rozsah oblastí, kde se pukliny projevují poklesem měrných odporů, roste.

Třída 5
Horninové prostředí přechází do fáze nevratných změn.
Hodnotu této třídy by nemělo monitorovací měření dosáhnout, nebo pouze v rámci pokusných prací. Charakteristické pro tyto situace je, že měrné odpory dosahují hodnot pod 3000 ohmm (za předpokladu zvodnění puklinových systémů). Hodnota vypočteného Poissonova čísla je větší jak 0,27. Rychlost šíření podélné seismické vlny klesá pod 4 500 m/s. Zde popsané změny se již nesoustřeďují pouze do oblasti vlastní základní pukliny, ale rozšiřují se i do dalších oblastí.

8.2. Kontrola realizace projektu

Projekt, který je vesměs postaven na víceleté sledovací periodě, vyžaduje soustavnou kontrolu. Kromě kontrol daných příslušnými zákony, je požadována průběžná zpráva vždy za půl roku (proceeding in stages), hodnocená supervizorem projektu. Součástí zprávy je zatřídění situace dle kap. 8.1. a návrh na příslušná technická (nápravná) opatření.

8.3. Personální zajištění

Optimální personální zajištění řešitelského týmu je následující:

Supervizor
10 let praxe v oboru geofyziky skalních hornin. 4 publikace v recenzovaných či impaktových časopisech popisujících vlastnosti skalních hornin. 3 závěrečné geofyzikální zprávy popisující vlastnosti skalních hornin.

Geofyzik - obor seismika
5 let praxe v oboru seismiky pro skalní horniny. 3 publikace nebo závěrečné geofyzikální zprávy popisující vlastnosti skalních hornin.

Geofyzik - obor geoelektrika
5 let praxe v oboru geoelektriky pro skalní horniny. 3 publikace nebo závěrečné geofyzikální zprávy popisující vlastnosti skalních hornin.

Specialista inženýr elektrotechnik zajišťující provoz systému SGI 1
5 let praxe v oboru elektroniky a elektrotechniky (VŠ). Znalost hardware digitální i analogové techniky, znalost komunikace po sběrnicích RS232, USB a ethernet

Technik středoškolák pro údržbu kabelové sítě
5 let zkušeností jako operátor geofyzikálních měření.

Jeden z členů řešitelského týmu vlastní Osvědčení odborné způsobilosti projektovat, provádět a vyhodnocovat geologické práce v oboru geofyzika podle vyhlášky MŽP č. 206/2001 Sb.

9. INTERPRETACE NAMĚŘENÝCH DAT A JEJICH VYHODNOCENÍ.

Pro hodnocení změny napětí, případně vznikajícího porušení, jsou porovnávány naměřené časy průchodu seismických vln horninovým masivem. Změny rychlosti jsou kritériem pro posouzení stabilního stavu masivu, nebo probíhajících změn napjatosti, které mohou vést až ke vzniku porušení. Jako pomocné kritérium lze použít porovnání amplitud seismických vln. K rozlišení vlivu měnící se saturace puklinového prostoru vodou a změn napjatosti nebo porušení lze využít doplňkové odporové měření.
Časy průchodu seismických vln horninovým prostředím jsou přepočteny na rychlost šíření seismické vlny. Stabilní stav masivu je takový, při kterém se rychlost šíření seismických vln nemění, nebo se mění nejvýše v rámci dosažené přesnosti měření.
Posouzení velikosti změny rychlosti šíření seismických vln s ohledem na změny napěťového stavu, stupně nasycení vodou nebo rostoucího porušení je potřebné provádět ve vztahu ke konkrétní hornině v okolí výrubu. Na vzorcích horniny je možné zjistit závislost rychlosti na napětí pro suchou a saturovanou horninu.
Interpretace dat a jejich vyhodnocení z pohledu následných postupů řešitele se vždy poněkud mění podle zadání celého projektu monitorovacích prací. V rámci projektu je vždy nutné stanovit parametry typických situací, tj. kdy lze chování masivu zařadit do Třídy 1 až Třídy 5. Následně je pak nutno tyto zvolené parametry důsledně respektovat. Níže jsou uvedeny charakteristické fyzikální hodnoty horninových prostředí, které charakterizují různé situace, ve kterých se hornina nachází. Níže uvedené informace jsou výsledkem jednak výzkumného úkolu TA 03020408, ale čerpají i ze studia rozsáhlé odborné literatury, z toho zejména viz lit. (Barton 2006, Bárta 2010, Butler 2005, archiv geofyzikálních zpráv G IMPULS Praha 1962 až 2015, soubor prací prováděných firmou G IMPULS na objednávku SÚRAO a realizovaných ve štole Bedřichov mezi roky 2003 až 2015).

<u>Charakteristika vlastností krystalických hornin (jmenovitě granitů):</u>

Charakteristické rychlosti šíření podélné seismické vlny:

Charakteristika prostředí	Rychlost [m/s]
Nezatížená, neporušená hornina	5 000 – 5 700
Zvýšené napětí v neporušené hornině	více jak 5 700
Lehce rozpukaná, narušená hornina	3000 – 5000
Silně rozpukaná hornina nebo porušená větráním	méně jak 3000

Charakteristické hodnoty Poissonova čísla stanovené seismickou metodou:

Charakteristika prostředí	Hodnota Poissonova čísla
Nezatížená, neporušená hornina	0,10 až 0,25
Zvýšené napětí v neporušené hornině	méně jak 0,15
Lehce rozpukaná, narušená hornina	0,2 až 0,27
Silně rozpukaná hornina nebo porušená větráním	více jak 0,27

Poznámka: hodnoty Poissonova čísla dále závisejí i na stupni nasycení a mohou být ovlivněny anizotropií, která vzniká například v důsledku porušení.

Charakteristické hodnoty skutečného měrného odporu:

Charakteristika prostředí	Měrný odpor [ohmm]
Nezatížená, neporušená hornina	desítky tisíc
Zvýšené napětí v neporušené hornině	desítky tisíc
Lehce rozpukaná, narušená hornina, suchá	desítky tisíc, tendence k nárůstu vůči nerozpukané hornině
Lehce rozpukaná, narušená hornina, zvodnělá	vyšší jednotky tisíců, první desetitisíce
Silně rozpukaná hornina, suchá	desítky tisíc, výrazná tendence k nárůstu odporu vůči nerozpukané hornině
Silně rozpukaná hornina porušená větráním, kapilární vlhkost	první jednotky tisíců
Silně rozpukaná hornina nebo porušená větráním, zvodnělá	stovky až 3 000

Útlum seismického signálu:

Znatelný útlum nastává v závislosti na porušení horniny, snížením nasycení poruchové zóny a na nárůstu frekvence seismické vlny.

10. NESTANDARDNÍ PROCESY A JEJICH ŘEŠENÍ

V průběhu měření mohou nastat nestandardní situace, které nezapadají do očekávaného vývoje studovaného prostředí. Tyto tendence mohou být způsobeny buď neočekávanými přírodními fenomény, ale také mohou být projevem technických závad. Mimořádné projevy doporučujeme bezodkladně konzultovat se supervizorem projektu, nebo s autory systému SGI 1 (řešitelský tým, kap. 11).

11. KOMUNIKACE S ŘEŠITELSKÝM TÝMEM

Případné dotazy týkající se systému SGI 1 lze směřovat na následující kontaktní adresy:

Vedoucí projektu:

RNDr. Jaroslav Bárta, CSc., G IMPULS Praha spol. s r.o., mobil + 420 724066550, barta@gimpuls.cz

Problematika hardware a software:

Ing. Lubomír Slavík, Ph.D., Technická univerzita v Liberci, mobil + 420 725 970 458, lubomir.slavik@tul.cz

Problematika zpracování a interpretace dat:

Doc. RNDr. Jan Vilhelm, CSc., mobil + 420 607 252 585, jan.vilhelm@natur.cuni.cz

Práce s databázemi:

Mgr. Jaroslav Jirků, mobil + 420 723 026 620, jirku@gimpuls.cz

Link na pomocnou **webovou stránku projektu** (umístěna na stránkách G IMPULS Praha spol. s r.o.):
http://www.gimpuls.cz/

12. SHRNUTÍ A ZÁVĚR

Zde předložený dokument popisuje metodiku monitorovacích geofyzikálních měření nazvanou:

METODIKA PRACÍ SE SYSTÉMEM SGI 1 (SEISMIKA, GEOELEKTRIKA, INTERNET)

Metodika je jedním z realizačních výstupů projektu Technologické agentury České republiky TA 03020408 s názvem:

Monitoring chování puklinových systémů horninového masivu geofyzikálními metodami.

Úkol byl řešen v období 2013 až 2016. Na řešení projektu se podíleli G IMPULS Praha spol. s r.o., Přírodovědecká fakulta UK a Technická universita v Liberci.

Systém SGI 1 umožňuje dlouhodobé a nepřerušované monitorování stavu horninového masivu například v okolí podzemního výrubu, popřípadě v podzákladí velkých staveb, nebo při výzkumech přirozeného chování horninového prostředí. Systém je schopen detekovat jak dlouhodobé pozvolné změny (v časovém měřítku řádu roků), tak náhlé změny vyvolané

neočekávanou přírodní katastrofou nebo technologickým selháním (například při postupu ražby).

Metodika prací, zde předkládaná, popisuje celkovou konstrukci systému SGI 1, jeho hardware a software. Dále je věnována pozornost rozsahu použití systému a popisu pracovních činností spojených s použitím SGI 1. V textu je podrobně popsána adjustace systému v terénních podmínkách, popis sběru dat, zpracování dat a jejich vyhodnocení. Dále jsou uvedeny nároky na personální složení týmu (kvalifikační předpoklady, počet pracovníků), který bude SGI 1 obsluhovat.

Předkládaná METODIKA PRACÍ SE SYSTÉMEM SGI 1 (SEISMIKA, GEOELEKTRIKA, INTERNET) přináší nové možnosti pro monitoring horninového masivu. Důsledně kombinuje seismická a geoelektrická měření a hustota měření je schopna zachytit i případné denní i ještě kratší variace změn ve vlastnostech horninového prostředí. Naměřená data jsou předávána internetem i na vzdálená pracoviště. Hardware měřícího systému byl vyvinut tak, aby byl odolný při práci v těžkých terénních (báňských) podmínkách. Několikaletý sběr dat z testovací báze Bedřichov umožnil získat zkušenosti, které dovolují vyhodnocovat i složité geofyzikální trendy a včas odlišit nebezpečné jevy od jevů podružných.

13.LITERATURA

Citované odborné publikace a články nebo doplňující danou problematiku:

BARTON, N. (2006): Rock quality, seismic velocity, attenuation and anisotropy. Taylor and Francis Group, London.

BÁRTA, J., JIRKŮ, J., DOSTÁL, D., KNĚZ, J., SLAVÍK, L., VILHELM, J. (2014): Monitoring chování puklinových systémů horninového masivu geofyzikálními metodami - Informace o probíhajícím úkolu TA 03020408. Hydrogeologická a Inženýrskogeologická konference, Liberec.

BÁRTA, J., JIRKŮ, J. (2013): Hlubinné úložiště radioaktivních odpadů – výzva pro české geofyziky. EGRSE, No. 1, ISSN 1803-1447.

BÁRTA, J. in PAČES, T., MIKŠOVÁ, J., editoři (2013): Far Field of the Geological Repository in the Bohemian Massif, Czech Geological Survey and Radioactive Waste Repository Authority

BÁRTA, J., JIRKŮ, J. (2011): Resistivity tomography in studying the granite massif in the Bedřichov gallery (the Jizerské hory Mountains). Findings and conclusions gained so far from the measured data. EGRSE, No. 2, CD-ROM, ISSN 1803-1447.

BÁRTA, J. (2010): The comparison of certain classical geotechnical terms for underground structures with terminology for deep radioactive waste repositories. A geophysicist´s view. Mezinárodní konference Podzemní stavby, Praha.

BÁRTA, J., KNĚZ, J., BUDINSKÝ, V., JIRKŮ, J. (2010): Seven years of experience in experimental testing of granite rocks in the gallery serving as water conduit from the Josefův Důl hydraulic structure to treatment plant in Bedřichov (Northern Bohemia). EGRSE, No 2, ISSN 1803-1447.

BUTLER, D.K. (2005): Near-Surface Geophysics. Society of Exploration Geophysicists.

COSMA, C. (2004): Two decades of evolution of hardrock seismic imaging methods applied to nuclear waste disposal in Finland. EAGE 66th Conference & Exhibition — Paris, France, 7 - 10 June 2004.

GEVREAU, E, (1991): Etude de l´evolution des versants naturels en mouvements. Prévoir, alerter, Thése LCPC, Paris

JIRKŮ, J., BÁRTA J, KNĚZ J., VILHELM J. (2014): Monitoring of joint systems time-lapse behaviour via ERT. Výroční konference SEG, Denver

JIRKŮ, J., BÁRTA, J. (2014): Monitoring of joint systems time-lapse behavior via ERT. Environmental and Engineering Geophysical Society, SAGEEP 2014, Boston, Session E1-Electrical –RES, IP, Self Potential, accepted for oral presentation and proceedings.

JIRKŮ, J. (2011): Geoelectric investigations for the assessment of the geotechnical and hydrogeological conditions of the rock massif in the neighbourhood of excavation. Studentská konference EAGE a Geofyzika Krakov, Krakov.

PETRUŽÁLEK, M., VILHELM, J., RUDAJEV, V., LOKAJÍČEK, T., SVITEK, T., (2013): Determination of the anisotropy of elastic waves monitored by a sparse sensor network, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 60, 208-216.

SPILLMANN, T., BLÜMING, P., MANUKYAN, E., MARELLI, S., MAURER, H. R., GREEN, A. G. (2010): Geophysics applied to nuclear waste disposal investigations in Switzerland. First Break, Vol. 28, Issue 8, August 2010, 39-50, ISSN 0263-5046.

VILHELM, J., SLAVÍK, L. (2015) : High frequency measurement of P- and S-wave velocities on crystalline rock massif surface - methodology of measurement. European Geosciences Union, General Assably 2014, Vienna.

VILHELM, J., RUDAJEV, V., LOKAJÍČEK, T., ŽIVOR, R., (2013): Velocity dispersion in fractured rocks in a wide frequency range, Journal of Applied Geophysics, 90, 138-146.

VILHELM, J., RUDAJEV, V., ŽIVOR, R., LOKAJÍČEK, (2012): Seismic Measurement on a rock massif surface at short distances, Acta Geodynamica et Geomaterialia, 9 (2), 143-153.

VILHELM, J., RUDAJEV, V., ŽIVOR, R., (2011): Assessment of fracture properties from P-wave velocity distribution, In: Idziak, A. F., Dubiel, R.: Geophysics in Mining and Environmental Protection, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 109-116.

VILHELM, J., RUDAJEV, V., ŽIVOR, R., LOKAJÍČEK, T., PROS, Z., (2010): Influence of crack distribution of rocks on P-wave velocity anisotropy - a laboratory and field scale study, Geophysical Prospecting, 58 (6), 1099-1110.

VILHELM, J., RUDAJEV, V., ŽIVOR, R., LOKAJÍČEK, T., PROS, Z., (2008): Comparison of field and laboratory seismic velocity anisotropy measurement (scaling factor). Acta Geodynamica et Geomaterialia, V. 5, No. 2(150), 161-169.

ŽIVOR, R., VILHELM, J., RUDAJEV, V., LOKAJÍČEK, T., (2011): Measurement of P- and S-wave velocities in a rock massif and its use in estimating elastic moduli, Acta Geodynamica et Geomaterialia, 8 (2), 157-167.

Citované výzkumné a průzkumné zprávy nebo související s danou problematikou:

BÁRTA J., JIRKŮ, J., DOSTÁL, D., SLAVÍK, L., VILHELM, J. (2014): Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2014. Příloha k průběžné zprávě za rok 2014. Číslo projektu: TA03020408, Název projektu: Monitoring chování puklinových systémů horninového masivu geofyzikálními metodami.

BÁRTA, J. (2014): Geofyzikální část zprávy Tunel 2011. Kapitola komplexní zprávy Tunel 2011 vypracované TUL pro SÚRAO.

BÁRTA J., JIRKŮ, J., DOSTÁL, D., Kněz, J., Konečná, A., Kopecký, V., SLAVÍK, L., VILHELM, J. (2013): Odborná zpráva o postupu prací a dosažených výsledcích za rok 2013. Příloha k průběžné zprávě za rok 2013. Číslo projektu: TA03020408, Název projektu: Monitoring chování puklinových systémů horninového masivu geofyzikálními metodami.

BÁRTA, J. (2010): Hypotetická lokalita hlubinného úložiště, část geofyzika, zóna blízkých interakcí. Studie pro komplexní zprávu „Hypotetická lokalita“ vypracovanou ČGS pro SÚRAO.

BÁRTA, J., KOPECKÝ, P., BUDINSKÝ, V., BENEŠ, V., ŠPAČEK, K. (2008): Model chování vyrubané komory na základě studia fyzikálních poměrů v okolí jámových lomů. G IMPULS Praha s.r.o.

BÁRTA, J. a kol. (2007): Bedřichovský tunel. 3. etapa geofyzikálních prací. Zpráva G IMPULS s.r.o. Praha pro ČGS.

JIRKŮ, J. (2011): Geoelektrický a seismický výzkum pro posouzení horninového masivu v blízkém okolí ražené štoly. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze / Přírodovědecká fakulta.

KLOMÍNSKÝ, J., BÁRTA, J., DRÁBEK, M., HAVÍŘ, J. (2009): Situační zpráva o plnění projektu. Studium dynamiky puklinové sítě granitoidů ve vodárenském tunelu Bedřichov v Jizerských horách - etapa duben 2006 - červen 2008. Česká geologická služba.

ROZSYPAL, A. (2001): Kontrolní sledování a rizika v geotechnice. Jaga group v.s.o. Bratislava.

ROZSYPAL, A. (2008): Inženýrské stavby – Řízení rizik. Jaga group v.s.o. Bratislava.

Doporučené normy a standardy:

ČSN 73 1001: Základová půda pod plošnými základy (neplatná norma, dosud však používaná zejména pro zatřídění hornin)

EUROPEAN STANDARD (2015): Draft prEN 16907-2 ISCS 13.080.99;93.020, English Version Earthworks – Part 2: Classification of materials

TECHNICKÉ PODMÍNKY TP-237 (2011): Geotechnický monitoring tunelů pozemních komunikací. Ministerstvo dopravy, Odbor pozemních komunikací a územního plánu.

Manuály použitých přístrojů a software:

Geotomo Software: Rapid 2-D Resistivity and IP inversion using the least – squares method

GF Instruments s.r.o.: Manuál pro použití aparatury ARES II.