



2 2008
ročník VIII

Vysoká škola báňská -
Technická univerzita Ostrava

SBORNÍK
vědeckých prací Vysoké školy báňské -
Technické univerzity Ostrava
Řada stavební

TRANSACTIONS
of the VŠB - Technical University
of Ostrava
Civil Engineering Series



2 2008
ročník VIII

**Vysoká škola báňská -
Technická univerzita Ostrava**

SBORNÍK
vědeckých prací Vysoké školy báňské -
Technické univerzity Ostrava
Řada stavební

TRANSACTIONS
of the VŠB - Technical University
of Ostrava
Civil Engineering Series

ISBN 978-80-248-1873-3

ISSN 1213-1962

Josef BERNARD, Jiří ŠICH

HISTORICKÁ DŮLNÍ DÍLA A JEJICH STABILITA

HISTORICAL UNDERGROUND WORKINGS AND THEIR STABILITY 1

Vratislav BLECHA, Petr RAMBOUSEK

LOKALIZACE HISTORICKÉ DŮLNÍ ŠACHTY POMOCÍ MIKROGRAVIMETRIE

LOCATION OF HISTORICAL MINING SHAFT BY MICROGRAVITY SURVEY 13

Hana DOLEŽALOVÁ, Vlastimil KAJZAR, Kamil SOUČEK, Lubomír STAŠ

VYHODNOCENÍ VÝŠKOVÝCH ZMĚN V POKLESOVÉ KOTLINĚ U KARVINÉ

EVALUATION OF HEIGHT CHANGES IN SUBSIDENCE DEPRESSION NEAR KARVINÁ.....21

Adam FREJ

WYZNACZENIE PARAMETRÓW RELACJI TLUMIENIA Z UWZGLĘDNIENIEM

AMPLIFIKACJI DLA WYBRANYCH REJONÓW NIECKI BYTOMSKIEJ (GÓRNY ŚLĄSK)

THE ESTIMATION OF ATTENUATION RELATIONS WITH THE AMPLIFICATION OF VIBRATION FOR
CHOSEN REGIONS OF BYTOM SYNCLINE (UPPER SILESIA).....29

Vojtěch GAJDOŠ, Kamil ROZIMANT, Andrej DAO

GEOELEKTRICKÁ DOKUMENTÁCIA SYPAŇEJ HRÁDZE

GEOELECTRIC DOCUMENTATION OF GRITED DAM.....39

Pavel HOROVČÁK, Peter CIRBES, Patrik FLEGNER

VYUŽITIE SERVISNE ORIENTOVANEJ ARCHITEKTÚRY PRI VÝBERE VLASTNOSTÍ MINERÁLOV

SERVICE ORIENTED ARCHITECTURE APPLICATION ON MINERALS PROPERTIES

SELECTION.....45

Zdeněk KALÁB

POSOUZENÍ TVARŮ POMĚROVÝCH SPEKTER ZÁZNAMŮ SEIZMICKÉHO NEKLIDU Z KARVINSKÉ OBLASTI

EVALUATION OF SPECTRAL RATIOS SHAPES OF SEISMIC NOISE FROM KARVINÁ REGION 57

Jaromír KNEJZLÍK, Zdeněk RAMBOUSKÝ

ROZŠÍŘENÍ DISTRIBUOVANÉHO MĚŘÍČÍHO SYSTÉMU NA DOLE JERONÝM O MĚŘENÍ VÝŠKY STROPU
KOMORY K2 LASEROVÝM DÁLKOMĚREM

SUPPLEMENTATION OF DISTRIBUTED MEASURING SYSTEM IN JERONYM MINE

WITH CEILING HEIGHT MEASUREMENT OF CHAMBER K2 WITH LASER DISTANCE METER.....63

Marta KONDRACKA, Marzena KLECZKA

BADANIE OPORNOŚCI ELEKTRYCZNEJ ODPADÓW POGÓRNICZYCH RUD ZN – Pb

ELECTRICAL RESISTIVITY OF POSTMINING WASTES, OLKUSZ, SOUTHERN POLAND.....73

Pavel KONEČNÝ, Adam KANCIRUK, Alena KOŽUŠNÍKOVÁ, Andrzej NOWAKOWSKI	
COMPARISON OF THE MEASUREMENT OF CHANGES OF THE ULTRASONIC WAVE VELOCITY IN THE PROCESS OF DEFORMATION FOR DIFFERENT TYPES OF EQUIPMENT	
INFORMACE O MEZINÁRODNÍM PROJEKTU GEOMIND (GEOFYZIKÁLNÍ MNOHOJAZYČNÝ INTERNETOVÝ INFORMAČNÍ SERVIS).....	79
Karel KUBEČKA	
RIZIKOVÁ ANALÝZA JAKO ALTERNATIVNÍ ROZHODOVACÍ METODA	
RISK ANALYSIS AS ALTERNATIV DECISION METHOD	85
Markéta LEDNICKÁ	
ULTRAZVUKOVÉ PROZAŘOVÁNÍ VRTNÉHO JÁDRA Z LOKALITY HISTORICKÉHO DOLU JERONÝM	
ULTRASONIC MEASUREMENT OF DRILL CORE FROM JERONÝM MINE	97
Markéta LEDNICKÁ, Zdeněk KALÁB	
HODNOCENÍ GEOLOGICKÝCH PODMÍNEK ZÁJMOVÉ OBLASTI V MAPÁCH STŘETŮ ZÁJMŮ	
CLASSIFICATION OF GEOLOGICAL CONDITIONS OF INTERESTED AREA IN MAPS OF CLASH OF OPINIONS	107
Igor LEŠŠO, František KREPELKA, Patrik FLEGNER, Milan ŠUJANSKÝ	
VÝSKUM MOŽNOSTI APLIKÁCIE METÓDY VEKTOROVÉHO KVANTOVANIA PRI EFEKTÍVNOM RIADENÍ PROCESU ROZPOJOVANIA HORNÍN ROTAČNÝM VRTANÍM	
RESEARCH OF APLICATION POSSIBILITY OF VECTOR QUANTISATION METHOD FOR EFFECTIVE PROCESS CONTROL OF ROCKS DESINTEGRATION BY ROTARY DRILLING.....	115
Jiří LUKEŠ	
KAROTÁŽNÍ MĚŘENÍ VE VRTECH TESTOVACÍ LOKALITY MELECHOV	
WELL LOGGING MEASUREMENT ON TESTING LOCALITY MELECHOV	129
Rastislav MIHALÍK, Blažej PANDULA	
VPLYV NEŽIADÚCICH SEIZMICKÝCH ÚČINKOV TRHACÍCH PRÁČ PRI REALIZOVANÍ TUNELA BÔRIK	
THE INFLUENCES OF UNDESIRABLE SEISMIC EFFECT OF BLASTING BY DRIVING OF BORIK TUNNEL	135
Jarmila MÜLLEROVÁ, Karel MÜLLER, Arnošt GRMELA	
GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY VYBRANÝCH LOKALIT KARVINSKA	
GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL SITUATION IN SELECTED PARTS OF KARVINA REGION	151
Remigiusz MYDLIKOWSKI, Adam SZYNKIEWICZ	
BADANIA STANU WAŁÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH PRZY UŻYCIU RADARU GPR	
RESEARCH OF CONDITION OF FLOOD BANKS USING GROUND PENETRATING RADAR (GPR)	165
Remigiusz MYDLIKOWSKI, Adam SZYNKIEWICZ	
OCENA MODERNIZACJI WAŁU PRZECIWPOWODZIOWEGO PRZY UŻYCIU RADARU GPR	
ESTIMATION OF FLOOD BANK MODERNIZATION WITH USING GPR RADAR.....	173
Aleš NEVAŘIL	
ÚČINEK PŘETRŽENÍ LANA KOTVENÉHO STOŽÁRU	
THE EFFECT OF CABLE FAILURE ON THE GUYED MAST.....	179
Henryk R. PARZENTNY	
CONTENTS OF Pb AND Zn AND AFFINITY TO ORGANIC COAL FRACTION FROM FLYSH ASSOCIATION (VISEAN) IN THE UPPER SILESIA COAL BASIN (USCB)	195
Henryk R. PARZENTNY	
VARIABILITY OF LA, SC, TH AND U CONTENTS IN BITUMINOUS COALS OF LUBLIN FORMATION IN LUBLIN COAL BASIN (LCB)	203

Matěj PETRUŽÁLEK, Tomáš LOKAJÍČEK, Vladimír RUDAJEV, Jan VILHELM	
LOKALIZACE JEVŮ AKUSTICKÉ EMISE V ANIZOTROPNÍM PROSTŘEDÍ	
LOCALIZATION OF ACOUSTIC EMISSION IN ANISOTROPIC VELOCITY FIELD	213
Martin PROCHÁZKA	
KAROTÁŽ VRTŮ V RÁMCI ZAKÁZKY "REKONSTRUKCE CELOSTÁTNÍ SÍTĚ POZOROVACÍCH VRTŮ	
PODZEMNÍCH VOD ČR" - ČHMÚ	
GEOPHYSICAL WELL LOGGING IN FRAME OF PROJECT "RECONSTRUCTION OF NATIONAL NETWORK OF	
OBSERVATION WELLS OF UNDERGROUND WATERS IN CZECH REPUBLIC"	223
Kamil ROZIMANT, Vojtech GAJDOŠ	
GEOELEKTRICKÁ DOKUMENTÁCIA NENASÝTENÉJ ZÓNY	
GEOELECTRIC DOCUMENTATION OF NONSATURATED ZONE	227
Kamil ROZIMANT, Vojtech GAJDOŠ	
OPAKOVANÉ MERANIA METÓDOU ELEKTRICKEJ ODPOROVEJ TOMOGRAFIE	
REPEATED MEASUREMENTS WITH ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY	235
František RYŠAVÝ	
GENERAL THEORY OF MICROLOG	239
František RYŠAVÝ	
INFLUENCE OF CURVINESS OF THE ELECTRODE PAD SURFACE ON ELECTRIC WELL-LOGGING	
MICRO-SYSTEMS.....	257
Miloš BRÁTKA, Jiří KALA, Vlastislav SALAJKA	
STUDIE VLIVU MODELOVÁNÍ PODZÁKLADÍ NA PROVOZNÍ DYNAMIKU KOMPRESORU	
STUDY OF SUBSOIL MODELING INFLUENCE ON COMPRESSOR OPERATIONAL DYNAMICS	261
Martin STOLÁRIK	
MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ SEIZMICKÝCH ÚČINKŮ TRHACÍCH PRACÍ PROVÁDĚNÝCH BĚHEM	
VÝSTAVBY TUNELU KLIMKOVICE	
MATHEMATICAL MODELING OF SEISMIC EFFECTS OF BLASTS PERFORMED DURING CONSTRUCTION OF	
KLIMKOVICE TUNNEL	273
Karel ŠPAČEK	
PRŮBĚH PROJEKTU „PŘÍPRAVA KOMPLEXU GEOFYZIKÁLNÍCH METOD PRO DIAGNOSTIKU,	
MONITORING A ANALÝZU PORUCH ZÁKLADŮ STAVEB A POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ VZNIKLYCH V	
DŮSLEDKU POVODNÍ“	
THE PERFORMANCE OF PROJECT „THE PREPARATION OF A COMPLEX OF GEOPHYSICAL METHODS FOR	
DIAGNOSING, MONITORING AND ANALYZING DEFECTS OF STRUCTURES AND ROADS FOUNDATIONS	
THAT OCCURRED IN CONSEQUENCE OF THE FLOODS“	283
Petr ŠPAČEK, Pavel ZACHERLE, Zdena SÝKOROVÁ Jana PAZDÍRKOVÁ, Josef HAVÍŘ	
MICROSEISMIC ACTIVITY OF THE UPPER MORAVA BASIN AND SURROUNDINGS	287
Jozef URÍK, Stanislav MAREŠ, Miroslav KOBR, Svatopluk ŘEZANINA	
FOTOMETRICKÝ PRŮTOKOMĚR PRO MĚŘENÍ VELMI MALÝCH VERTIKÁLNÍCH PRŮTOKŮ VODY VE VRTU	
PHOTOMETRIC FLOWMETER FOR MEASURING SLOW VERTICAL WATER FLOW IN WELLS.....	297
Pavol VAVREK	
POSÚDENIE STABILITY VNÚTROBLOKOVÝCH PILIEROV PRI VÝSTUPKOVOM DOBYVANÍ	
INFLUENCE OF THE INTER-BLOCK PILLARS STABILITY ON THE MECHANIZED OVERHEAD STOPPING	
METHOD	305
Jozef VISKUP	
LOKÁLNE SPEKTRÁ SEIZMICKEJ ODOZVY PRE VYSOKÉ BUDOVY	
LOCAL SEISMIC RESPONSE SPECTRA OF HIGHT BUILDINGS.....	315

Jozef VISKUP, Blažej PANDULA

POSÚDENIE SEIZMICKÝCH ÚČINKOV LIKVIDÁCIE MUNÍCIE A VÝBUŠNÍN VÝBUCHOM

APPRECIATION OF SEISMIC EFFECTS OF LIQUIDATION OF AMMUNITION AND EXPOSIVES BY

DETONATION 325

Anna WYSOWSKA – ŚWIEBODZIŃSKA

OBRAZOWANIE ELEKTROOPOROWE W POMIARACH STRUKTUR GEOMORFOLOGICZNYCH NA

PRZYKŁADZIE POMORZA ZACHODNIEGO

ELECTRICAL RESISTIVITY IN POST-GLACIAL MEASUREMENTS ON WESTERN POMERANIA, POLAND

..... 335

Závěrečné slovo hostujícího editora 341

Josef BERNARD¹, Jiří ŠICH²

HISTORICKÁ DŮLNÍ DÍLA A JEJICH STABILITA
HISTORICAL UNDERGROUND WORKINGS AND THEIR STABILITY

Abstract

This paper briefly describes selected historical underground workings. Knowledge about these workings are often incomplete, therefore, using of research in different topic is necessary. Number of historical workings document activities closely connected with study of stability of these workings, especially in case when deformations or openings have arisen.

Key words: Historical underground workings, stability of workings, surface deformation

Úvod

Historie vývoje hornictví v průběhu staletí je zdokumentována na poměrně dobré úrovni. K dispozici jsou informace o významných hornických revírech, těžných užitkových nerostech a způsobech dobývání. Počínaje 16. stoletím jsou již k dispozici první souhrnné spisy o dobývacích metodách, technickém vybavení a technologiích, které zvyšovaly celkový výkon těžké ruční hornické práce (Georgius Agricola, Johannes Mathesius, Kašpar Šternberg a další). Dokumentace o závěrečné etapě dobývání, tedy o likvidaci dolů po ukončení těžby, zcela chybí, nebo se nedochovala. S postupem doby je tato dokumentace bohatší, ale základní povinnosti pro těžáře v tomto směru zavedl až c.k. rakouský Obecný horní zákon z roku 1854. V podstatě se však jednalo o evidenci důlních děl ústících na povrch, rozšířenou o základní parametry: umístění důlního díla a jeho typ – štol, jáma, či jiné hornické dílo, avšak způsob zajištění není většinou uveden. Chybí zcela údaje o stabilitě důlního díla, rozsahu vydobytých prostor, přiblížení dobývek k povrchu apod. V tomto směru je mnohdy nedostatečná i měřičská dokumentace a těžko se technicky u starých důlních děl (SOD) stanovuje míra poddolování podle současně platných předpisů a norem (ČSN 73 0039 – Navrhování objektů na poddolovaném území). Tuto skutečnost lze doložit i stavem dokumentace v historickém březohorském rudním revíru, kde mezi 1. patrem a 35. patrem (hloubka cca 90 - 1500 m) je veškerá dokumentace k dispozici, ovšem o historickém dobývání nad 1. patrem směrem k povrchu dokumentace až na výjimky zcela chybí.

Ruku v ruce s prudkým rozvojem průmyslu po druhé světové válce a stoupajícími požadavky na zajištění surovin, doznalo i hornictví adekvátního rozmachu. Jak v požadavcích na zvýšení těžby všech základních nerostných surovin (uhlí, rudy, uran, stavební suroviny), tak i v zavádění mechanizace a automatizace do procesu těžby a úpravy těžných komodit. Stejným tempem se rozvíjelo i horní právo a ostatní mechanismy státního dozoru, které prostřednictvím právních aktů a ostatních předpisů vyvíjelo na těžební podniky tlak na zefektivnění postupů dobývání, ale i na zkvalitnění

¹ Ing., DIAMO s.p., o.z. Správa uranových ložisek Příbram, ul. 28. října 184, 261 13 Příbram, bernard@diamo.cz

² Ing., DIAMO s.p., o.z. Správa uranových ložisek Příbram, ul. 28. října 184, 261 13 Příbram, sich@diamo.cz

důlního ovzduší, zlepšování bezpečnosti práce, průběžné vedení báňské dokumentace apod. Počínaje tímto obdobím, a to až do současnosti, je dokumentace o důlních dílech na slušné úrovni, postačující mnohdy pro posuzování území bývalých hornických revírů pro další využití (schvalování územních plánů, územní rozhodnutí atd.). Stále však chybí podrobnější údaje o opuštěných důlních dílech (ODD), jako např. technicky zdůvodněné údaje o únosnosti podpovrchových celků nad vydobytými důlními díly, únosnosti ochranných celků, chování horninového masivu po zatopení vydobytých prostor atd., které pak nejsou k dispozici v konkrétních případech posuzování staveb na poddolovaném území, nebo v jeho těsné blízkosti. Povinnost zajišťovat nastíněné informace není od těžebních organizací báňskými předpisy požadována. Po uzavření a zatopení dolů je použití řady geologických a geotechnických metod pro ověření únosnosti horninového masivu, narušeného důlním pracemi, znemožněno.

V současnosti se využívá celá škála geologických, geotechnických a matematických metod pod souhrnným názvem „geotechnický monitoring“ ke sledování horninového masivu již při realizaci velkoprostorových podzemních staveb – tunelů, podzemních kolektorů, podzemních zásobníků atd. Většina těchto podzemních staveb je budována v místech husté zástavby městských aglomerací a poškození, či destrukci chráněných objektů nelze připustit. Zde kontinuální zapojení geotechnického monitoringu je podmiňující podmínkou realizace stavby.

Po roce 1989 se podzemní hornická činnost, resp. činnost hornickým způsobem, redukovala více, či méně na těžbu uhlí a uranu, nebo údržbu a zpřístupňování důlních děl pro další využití. Některé metody geotechnického monitoringu se využívají při rozvinuté těžbě uhlí na sledování stability celků a ochranných pilířů, sledování napjatosti horninového masivu v rámci předcházení důlním otřesům, sledování kvality důlního ovzduší a výrony plynů v plynujících dolech apod. V ODD a SDD (stará důlní díla) je monitoring využíváno jen sporadicky v konkrétních případech, jako např. na Dole Jeroným v Čisté, kde je chráněna tímto způsobem nemovitá technická kulturní památka a zároveň silnice II/210.

Uplatnění státních vědecko – výzkumných úkolů při těžbě surovin v druhé polovině 20. století

Na přelomu 50. a 60. let minulého století lze již pozorovat snahu systematicky využívat výstupy státních vědecko – výzkumných pracovišť při zavádění nových technologií a metod bezpečnosti a ochrany zdraví v hornickém oboru. Jako příklad lze uvést případy realizované v rámci těžby polymetalických rud a uranu na Příbramsku a dobývání magnezitu na východním Slovensku.

Březohorský rudní revír

Březohorský rudní revír je po staletí známou lokalitou polymetalických rud (Ag, Pb, Zn) a rozkládá se na severozápadním okraji Příbrami. Je budován především spodním kambriem příbramské synklinály, tj. 1. drobovým pásmem, a svrchním proterozoikem 2. břidličného pásma. Přírozeným rozhraním mezi svrchním proterozoikem a spodním kambriem je tzv. „jílová rozsedlina“. Po druhé světové válce byla těžba vedena převážně na východ od jílovské rozsedliny v horninách spodního kambria, které je zde zastoupeno „sádeckým souvrstvím“ a „holšinsko – hoříckým souvrstvím“. V prvním případě se jedná o různé typy pískovců, drob, arkóz a křemitých pískovců, holšinsko – hořícké souvrství pak tvoří několik druhů slepenců z křemitých valounů a téhož tmelu, hořícké pískovce a pasecké břidlice. Jedná se o horniny „pevné“ až „zvláště pevné“ (dle klasifikace hornin dle Protodjakonova st.) a „kruché“, které

dlouhodobě kumulují značné množství pružné deformační energie a tříštivě ji uvolňují. S ohledem na skutečnost, že dobývání v šedesátých letech minulého století dosáhlo hloubky cca 1500 m (29. – 35. patro) a strmé žíly vydobyté k povrchu nebyly zcela vyplněny základkou, docházelo často k dosedání nadložních desek na základku a podloží vydobytých žil. Pohyb celých nadložních bloků o rozměrech stovek metrů, při překročení mezního napětí v horninovém masivu, vyvolával důlní otřesy. Ty byly zdrojem vážných a smrtelných pracovních úrazů a škod na majetku. Celkově bylo evidováno na 2000 důlních otřesů.

Vyřešením úkolu předcházet důlním otřesům a zvláště pak zajistit včasné odvolání posádek z otřesem ohrožených pracovišť byl pověřen Hornický ústav ČSAV Praha, jmenovitě Ing. Šimáně. Ten se svým kolektivem po několikaletém výzkumu stanovil opatření na základě napětíových stavů dobývaných bloků, respektive na základě kumulace napětí v podpatrových a meziblokových pilířích, zmenšujících se s postupem odrubání žilné výplně. S postupem těžby zvyšující se napětí ve zbytkových pilířích bylo přeneseno napětíovými čidly, vhodně rozmístěnými v rostlé hornině dobývaného bloku do koncového „čtecího“ zařízení, umístěného na bezpečném místě pod dobývkou, kde technický dozor před nástupem osádky na dílo povolil práci na dobývce, nebo práci zakázal a osádku převedl na jiné pracoviště. O možnosti pracovat na díle rozhodoval stanovený počet naměřených impulsů, které vyjadřovaly míru možného ohrožení osádky důlním otřesem. Tato praxe byla aplikována až do ukončení těžby na březohorském ložisku v roce 1978.

Uranové ložisko Příbram

Podobná situace v ohrožení důlními otřesy byla i na příbramském uranovém ložisku, rozkládajícím se podél západního okraje města Příbram až na hranici se středočeským žulovým plutonem. Uranové zrudnění bylo dobýváno na strmých žilách o sklonu 70 – 90°, uložených v horninovém masivu z algonkických břidlic různých typů o střední pevnosti. Na rozhraní se středočeským plutonem, až na výjimky, zrudnění žil končilo. Nejčastější uranové zrudnění tvořily minerály: uraninit (smolinec), antraxolit, uranové slídy a uranové černě. Průměrná mocnost žil se pohybovala nejčastěji v rozmezí 1 cm – 1 m, v oblasti Bytízu někdy až 8 - 15 m (žilné uzly).

Mechanismus vzniku otřesů je podobný jako v předchozím případě, včetně dosažené hloubky dobývání cca 1500 m. Dalšími příčinami vzniku otřesů bylo nakumulování velkého počtu dobývacích bloků na výšku zhruba tří pater (150 m) při postupu dobývání směrem do hloubky, v nadměrné velikosti vydobyté žilní plochy (přes 19,7 mil m²), v použitých dobývacích metodách (výstupkové dobývání s vlastní základkou v různých modifikacích) i použitého systému dobývání. Tyto závěry vyplynuly z dílčích prací řady vědecko – výzkumných pracovišť ČR, která se problematikou vzniku důlních otřesů a protiotřesové prevence zabývala. Metodiku protiotřesové prevence a vedení porubní fronty pro tehdejší Uranové doly, o.z. Příbram vypracoval kolektiv pod vedením Doc. Ing. Jaroslava Voropinova, CSc., bývalého obávaného vysokoškolského učitele VŠB Ostrava, kterého normalizace na počátku sedmdesátých let odvála do kolektivu pracovníků Uranových dolů Příbram.

Podstatou zmíněné metodiky bylo šípovité uspořádání dobývaných bloků nad sebou a zjišťování napětíových stavů horninového masivu jednotlivých dobývek Schmidtovým kladívkem. Tuto činnost zajišťoval technický dozor pod vedením odborníků geologické služby.

Sledování otřesové aktivity na celém uranovém ložisku Příbram v sedmdesátých a osmdesátých letech minulého století zajišťoval kolektiv pracovníků VVUÚ Ostrava – Radvanice pod vedením Ing. Zamarského, prostřednictvím sítě seismických stanic rozmístěných na povrchu.

Na příbramském uranovém ložisku bylo po dobu jeho exploatace evidováno cca 900 důlních otřesů, které byly příčinou těžkých i smrtelných úrazů. Dobývání bylo ukončeno v roce 1991.

Potřeby zajistit metodicky ochranu před účinky důlních otřesů vyplynuly ze zkušenosti destruktivních účinků důlních otřesů na pracovní osádky a důlní díla v podzemí. Přicházely náhle bez ohlášení a měly zničující účinky na stabilitu důlních děl a důlních zařízení.

Projekt exploatace ložiska magnezitu Miková na východním Slovensku

Těžba magnezitu má na Slovensku svoji tradici. Počínaje lokalitou Lovinobaňa poblíž Lučence směrem severovýchodním až do Košic se vine vápencová vrchovina, v níž metamorfózou a obohacením Mg a dalšími komponenty vznikla ložiska magnezitu. Bez sortimentu výrobků z této suroviny vyráběných se rozvinutá průmyslová výroba neobejde. Monopolním těžebním podnikem a komplexním zpracovatelem magnezitu v tehdejší Československu byly Slovenské magnezitové závody, n.p. Košice.

V obvodu působnosti Závodu Jelšava SMZ Košice bylo po průzkumu připraveno k těžbě ložisko magnezitu Miková, nacházející se SV od Jelšavy cca 15 km vzdušnou čarou. Jednalo se o kvalitní ložisko magnezitu v hornatém terénu o mocnosti několik desítek metrů a šířce cca 200 m, umístěné v Revúcké vrchovině v již zmíněném pruhu magnezitových ložisek. Zpracování projektu exploatace ložiska Miková bylo zadáno Ústavu pro výzkum rud Praha. Vedoucím projektu byl Ing. Václav Herel z Hornického oddělení ústavu.

Úložné poměry ložiska Miková a umístění v hornatém terénu předurčovaly způsob otvírky ložiska štolou, požadavky na objem těžby, mocnost ložiska, pevnost a soudržnost těžené substance, pak nabízely použít dobývací metodu s velkým dobývacím výkonem bez výztuže, tedy dobývání otevřenou komorou. Od dosavadních praktik se však změnila požadavky na otevřený objem všech důlních děl, neboť požadavky na průběžné objemy těžby byly vysoké a k jejich naplnění bylo nutné nasadit mechanizační prostředky s odpovídajícím výkonem na všechny základní operace dobývacího cyklu. Po zhodnocení výstupních údajů bylo rozhodnuto, že ložisko bude otevřeno velkoprostorovými štolami, tedy tunely, pro pojezd dopravních a mechanizačních prostředků (ÚBN – úplná báňská mechanizace) a řádné ovětrání důlních prostor.

Po rozhodnutí o použití dobývací metody otevřenou komorou bylo nutné mimo jiné, ověřit stabilitu velkoprostorových důlních děl bez výztuže a stanovit rozměry mezikomorových a stropních pilířů s ohledem na kvalitativní vlastnosti magnezitu. To byl limitující požadavek pro povolení projektu k realizaci. ÚVR přizval tehdy ke spolupráci Hornický ústav ČSAV Praha, který byl technicky vybaven pro laboratorní a poloprovozní odzkoušení těžené substance v zátěžových stavech. Pro odzkoušení laboratorních výsledků in situ bylo vybráno v té době netěžené malé ložisko magnezitu Amag poblíž Lubeníku. Zde byly nasimulovány budoucí mezikomorové a stropní pilíře, do vrtů byly umístěny snímače několika typů (vrcholem pokroku byly tenzometry), a průběžně po dobu několika měsíců byly zjišťovány kvalitativní změny horninového

masivu s rostoucí kumulací tlaků v pilířích při jednotlivých operacích (dobývání, trhacích pracích apod.).

Po získání všech výstupních kvalitativních parametrů ložiskové substance, zejména pevnost v tlaku a smyku, objemová hmotnost, DTA atd. (byly získány v laboratoři Hornického ústavu v Praze – Kyjích), bylo přistoupeno k ověření navrženého způsobu otvírky a dobývání ložiska modelem z ekvivalentních materiálů v laboratoři Hornického ústavu v Praze – Holešovicích. Průběh modelové zkoušky navrhl a vedl pracovník ústavu RNDr. Kohoutek, CSc. Po spuštění asi tři týdny trvajícího nepřetržitého modelu byl simulován postup prací dobývacího cyklu a přes průhlednou stěnu modelu byla pořizována fotodokumentace změn na horninovém masivu, stropních a mezikomorových pilířích. Po vyhodnocení modelové zkoušky a úpravě projektovaných parametrů byl projekt exploatace ložiska Miková v druhé polovině šedesátých let schválen k realizaci. Hornická činnost na lokalitě Miková nebyla dosud ukončena.

Příklady zahlazování následků hornické činnosti ve správě DIAMO s.p., o.z. SUL Příbram

Ještě před včleněním Rudných dolů s.p. Příbram do státního podniku DIAMO, o.z. Správa uranových ložisek Příbram, byly sanovány mimo jiné i dva propady povrchu v důsledku poddolování v prostoru dopravních komunikací I. třídy, a to propadu silnice I/5 poblíž Stříbra a silnice I/18 v Příbrami – Březových Horách. Omezení, resp. přerušování dopravy na obou komunikacích bylo ve své době závažným zásahem do dopravního systému obou regionů.

Propad pod silnicí I/5 (E 50) Stříbro

Dne 15. 8. 1996 oznámil OBÚ Plzeň tehdejšímu správci rudního revíru Stříbro Rudným dolům s.p. Příbram propad povrchu v těsné blízkosti tělesa silnice I/5 mezi obcemi Sytno a Stříbro, poblíž bývalého důlního Závodu Stříbro RD n.p. Příbram (117,500 km). Prohlídkou na místě bylo konstatováno, že k propadu došlo v místě křížení zmíněné silnice a Prokopské štol, tedy v místě, kde k několika poklesům terénu došlo již v minulosti. (Prokopská štola podchází předmětnou silnici v hloubce cca 100 m a odvádí důlní vody z ODD do řeky Mže). Z toho důvodu bylo křížení silnice s Prokopskou štolou při rozšiřování vozovky na tříproudovou překlenuto armovanou betonovou deskou a propad se projevil v levém odvodňovacím příkopu silnice (při pohledu směrem do Stříbra) propadlinou o délce 4 m a hloubce 1,5 m (Foto 1). Pohledem pod betonovou deskou byla zjištěna dutina o hloubce cca 4 m, která zasahovala svoji šířkou do 2/3 šířky krajního jízdního pruhu. Objem dutiny byl odhadnut na cca 150 m³. Neprodleně byla odstavena doprava v dotčeném krajním pruhu vozovky a snížena rychlost dopravy na 30 km/hod.

Postup sanace byl stanoven projektem Ing. Stanislava Herolda následovně:

- ☐ prolévat nakypřenou horninu v propadlině
- ☐ propadlinu vyplnit kamenivem frakce 08 – 16 mm přes plnicí otvory ve vozovce
- ☐ otvory budou zhotoveny pomocí vrtů o průměru 300 mm přes betonovou desku
- ☐ po rovnoměrném nasypání vrstvy cca 20 m³ bude vytvořena deska z betonu B 20 o síle cca 250 mm (směs tekutá s urychlovačem)
- ☐ po dosypání kameniva budou vytvořena zpevňovací žebra prolitím záspy betonem v místě plnicích otvorů

- ☐ pro vyplnění prostoru dutiny až pod betonovou desku budou zhotoveny injektážní vrty přes výplň dutiny a prostor dutiny tlakově injektován betonovým mlékem.

Zhotovení vrtů a injektáž provedla GIS – Geoindustria a.s. Stříbro, dle vlastního projektu. Před zahájením sanace propadu provedla firma INSET s.r.o. Plzeň, na popud OBÚ Plzeň, měření „deformometrická a geodetická, a polohopisné a výškové zaměření“. Sanace byla úspěšná a do dnešního dne nejsou patrné na vozovce žádné změny. Tomuto zjištění napomohlo i převedení těžké mezinárodní dopravy na dálnici D 5.

Sanace propadu silnice I/18 v Příbrami – Březových Horách

Dne 19. 5. 1996 v časných ranních hodinách došlo k propadnutí povrchu silnice č. I/18 v Husově ulici v blízkosti zdravotního střediska v Příbrami – Březových Horách. K propadu došlo na okraji zmíněné silnice před garážemi na pozemku p.č. 169, JZ od propadliny se nachází budova zdravotního střediska. Propadlina měla nepravidelný eliptický tvar o délce os 9,0 x 7,5 m a hloubku 2,75 m. Propadlý terén je tvořen navážkou (jde zřejmě o starý odval). Propadlinou procházel kanalizační řad Js 300 mm a odbočka potrubí městského vodovodu Js 50 mm. Oba řady byly propadem přerušeny (Foto 2 - 4).

Z dostupné mapové dokumentace tehdejších Rudných dolů s.p. Příbram bylo zjištěno, že místo propadu je poddolováno slednými chodbami 1. patra v hloubce cca 25 m, vedenými po Vojtěšské hlavní žíle a jejích odžilcích. Nelze ani vyloučit vliv dobývání na 1. patře Vojtěšské nadložní žíly. Z prohlídky místa propadu vyplynul technicky zdůvodněný názor, že iniciaci propadu rozvolněné horniny do historických důlních děl způsobil dlouhodobý výtok vody z porušeného potrubí dešťové kanalizace.

Havarijní komisi pod vedením OBÚ Příbram bylo doporučeno vyplnit propadlinu železobetonovou plombou, pozůstávající ze dvou částí:

- ☐ základové plomby, která primárně zajistí místo propadu, umožní další práce a vytvoří podklad pro definitivní zajištění
- ☐ železobetonové nosné desky, jejíž vrchní plocha bude rovinou pro obnovení inženýrských sítí, procházejících propadlinou.

Původní propadlina byla rozšířena o 2,5 m směrem do silnice a sanace realizována v navrženém rozsahu podle projektu Ing. Stanislava Herolda, včetně obnovení kanalizace. Zbývající prostor propadliny do úrovně povrchu byl vyplněn dusanou haldovinou. Na závěr byl obnoven živý povrch vozovky a prostranství před garážemi.

Vlastní sanace propadliny nebyla náročná, ale samotná událost nastolila pochyby, zda v okolí události nejsou další neznámá důlní díla, nebo dutiny, které mohou ohrozit dopravu na silnici I/18. Proto bylo rozhodnuto uskutečnit v okolí místa propadu vrtný průzkum do hloubky min. 25 m (pod 1. patro). Při vrtání jednoho vývrtu pokleslo nářadí cca o 2 m, což bylo interpretováno jako navrtání dutiny. Následovala realizace projektu 10 vrtů + tlaková injektáž cementovou kaší pod tlakem 0,6 – 2,0 MPa, přičemž se spotřebovalo cca 100 m³ injektážní hmoty. Současně byla firmou G IMPULS Praha realizována ve dvou vrtech seismokarotáž a ve třech vrtech seismická tomografie. Po vyhodnocení výsledků obou metod bylo doporučeno provést injektáž dutin z vrtů V – 10 a V – 6 a povolit na silnici I/18 pouze omezený provoz – provoz vozidel do 3,5 t a snížená rychlost na 30 km/hod.

Omezení dopravy na silnici I. třídy bylo trnem v očích republikovým orgánům státní správy hlavně Ředitelství silnic a dálnic Praha. To vyvíjelo tlak na Odbor dopravy bývalého OÚ Příbram, aby byla obnovena doprava bez omezení (stále oddalovalo zahájit stavbu obchvatu města). Proto byla oslovena Vysoká škola báňská – TU Ostrava k posouzení hornických zátěží v ploše silnice I/18 na Březových Horách, v širším okolí propadliny u zdravotního střediska. Ta ve spolupráci s firmou Geotest Brno a.s., pracoviště Ostrava vypracovala a realizovala projekt s názvem „Vyhledávání a posouzení hornických zátěží v souvislosti s historickým dobýváním v Březohorském rudním revíru“. Projekt vycházel z rešeršních posouzení dosud uskutečněných geofyzikálních prací v souvislosti s propadem u zdravotního střediska a navrhl realizovat soubor geofyzikálních sondovacích a profilovacích metod a opakovaných měření, doplněných gravimetrickým měřením. Na lokalitě Březové Hory bylo proměřeno 6 kompletních profilů, tři radarové profily a tři gravimetrické profily.

Po vyhodnocení všech měření bylo doporučeno rozšířit stávající opatření:

- ☐ ohraničit propadlinu soustavou svislých vrtů a z těchto vrtů provést obvodovou injektáž
- ☐ prostor vymezený obvodovými vrtů zaplnit ve II. Etapě zpěnovací směsí (vyplnění dutin)
- ☐ provést tlakovou dotěšňovací injektáž
- ☐ úspěšnost sanačních opatření ověřit geofyzikálními metodami.

Po částečné realizaci navržených opatření sílil tlak na zrušení dopravních omezení. Po několika jednáních bylo doporučeno rozšířit posouzení hornických zátěží na celý úsek silnice I/18, protínající poddolované území březohorského revíru v délce cca 550 m. To už je ale jiná kapitola, postačující na samostatnou přednášku.

Technická kulturní památka Důl Jeroným v Čisté

Nemovitá kulturní technická památka Důl Jeroným se nachází v k.ú. Čistá, asi 8 km západně od Horního Slavkova, v okrese Sokolov. Jedná se o komplex opuštěných a starých důlních děl: chodeb a dobývek různého směru a sklonu, vertikálních a šikmých důlních děl, jámy (šachtice) Jeroným a odvodňovací štolý Jeroným. Všechna tato důlní díla vznikla v souvislosti s dobýváním cínové rudy a jejich počátky lze datovat do 15. století.

Komplex důlních děl Dolu Jeroným je členěn na dvě samostatné části:

- ☐ Stará důlní díla (SDD) v severozápadní oblasti celého komplexu, tvořící samostatnou část důlních děl. Jde zřejmě o nejstarší dochovanou část památky, kterou objevil v roce 1982 p. František Baroch z Pramenů. Tato část památky je ve správě Mžp ČR.
- ☐ Opuštěná důlní díla (ODD) představují prostorově největší část památky. Zahrnují jámu (šachtici) Jeroným, komplex důlních prostor, převážně v podobě vytěžených komor a šifin a odvodňovací štolu Jeroným o délce 396 m. Tato část památky je ve správě státního podniku DIAMO Stráž pod Ralskem, o.z. Správa uranových ložisek Příbram.

Důl Jeroným byl prohlášen nemovitou kulturní památkou rozhodnutím Ministerstva kultury ČR pod č.j. 4291/89 – PPM ze dne 16. 2. 1990 a je zapsán v Ústředním seznamu kulturních památek pod rejstříkovým číslem 4 515.

Památkový ústav Plzeň podal dne 15. 4. 1996 návrh na vyhlášení Ochranného pásma pro nemovitou kulturní památku „Důl Jeroným“ k.ú. Čistá. Okresní úřad Sokolov, Referát regionálního rozvoje, jako orgán státní památkové péče, vydal rozhodnutí o ochranném pásmu pod č.j. RR/233/96 dne 27. 5. 1996 ve smyslu § 17 zákona č. 20/1987 Sb. o státní památkové péči.

Bezprostředně nad podzemními prostory Dolu Jeroným prochází státní silnice II/210 Podstrání – Krásno. Část této komunikace byla z prostředků MŽP ČR v minulosti sanována v poddolovaném úseku starých důlních děl (SDD). Jak samotná kulturní památka Důl Jeroným, tak i silnice II/210 požívají ochrany. Důlní prostory před nežádoucími účinky provozu těžkých vozidel na komunikaci, tak i silnice II/210 před účinky poddolování.

Z toho důvodu již více jak 10 let je kontinuálně monitorován stav horninového masivu a důlních děl v části ODD kulturní památky. Ke spolupráci byli přizváni pracovníci Vysoké školy báňské – TU Ostrava a Ústavu geoniky AV ČR Ostrava, kteří vypracovali odborný posudek o stavu důlních děl a navrhli soubor geofyzikálních a geologických metod ke sledování stavu porušenosti horninového masivu. Stabilita vozovky je sledována pravidelným nivelačním měřením. Tuto službu zajišťuje měřičská služba DIAMO – SUL s.p. Příbram. Výsledky všech měření jsou pravidelně pololetně vyhodnocovány.

Při zavedení geomechanického monitoringu bylo přístrojové vybavení podstatně skromnější. Vyjma seismografu a sondy ke sledování výšky hladiny v zatopeném komíně se jednalo více méně o pomůcky ke zjišťování pohybu zatíženého horninového masivu. V současné době se dá hovořit již o podzemní přírodní laboratoři s možností ověřování nových metod měření. Přenos změřených dat od jednotlivých přístrojů do centra je bezdrátový a kontinuální. Větší část vybavení byla pořízena z prostředků státem vyhlášeného grantu (GAČR 105/06/0068). Na toto téma by byla vhodná samostatná přednáška s úst odborníků (Foto č. 5 – 8).

Závěr

Toto zamyšlení není jistě vědeckou prací, ale bylo snahou upozornit na výhodnost a nutnost využívání poznatků vědecko – výzkumných pracovišť, zvláště pak při jejich aplikaci do praktického života. V hornictví a podzemním stavitelství, bez informací o horninovém prostředí a adekvátním nasazení ochranných systémů, chránících jak nově budované dílo, tak i okolí před nežádoucími účinky stavebního provozu, nelze povolit žádnou větší stavbu realizovanou v rámci „hornické činnosti“, resp. „činnosti hornickým způsobem“.



Foto 1 Propad pod silnicí I/5 (E 50) Stříbro



Foto 2 Sanace propadu silnice I/18 v Příbrami – Březových Horách



Foto 3 Sanace propadu silnice I./18 v Příbrami – Březových Horách



Foto 4 Sanace propadu silnice I./18 v Příbrami – Březových Horách



Foto 5 Technická kulturní památka Důl Jeroným v Čistě – zabezpečení fárací jámy Jeroným



Foto 6 Technická kulturní památka Důl Jeroným v Čistě – rekonstrukce dědičné štoly Jeroným



Foto 7 Technická kulturní památka Důl Jeroným v Čisté – rekonstruovaná dědičná štola Jeroným



Foto 8 Technická kulturní památka Důl Jeroným v Čisté – měření úrovně hladiny důlních vod

LOKALIZACE HISTORICKÉ DŮLNÍ ŠACHTY POMOCÍ MIKROGRAVIMETRIE
LOCATION OF HISTORICAL MINING SHAFT BY MICROGRAVITY SURVEY

Abstract

Microgravity survey for historical mining shaft Vilemína was carried out in the Eastern Bohemia at Lukavice village. Pyrite mining at locality was in progress from the beginning of 17th century until the end of 19th century.

The shaft Vilemína established between years 1760 – 1770 had original depth of 24 m, later was extended to 66 m. From the year 1808 shaft served as drainage well for Lukavice pyrite mines. The mine waters were conducted by narrow 1.5 km long drainage tunnel to Chrudimka river. The depth of tunnel in Lukavice was 23 m.

The approximate position of Vilemína shaft is known from historical maps, pictures and photographs. Nonetheless, exact present position of filled shaft was vague. The aim of gravity survey was to locate historical shaft, which supposed position is in the immediate vicinity of the road with heavy traffic.

Results of gravity measurements show oblong shaped local negative anomaly at the southern part of measured area. Gravity modeling across the anomaly indicates that the source of the anomaly could be historical shaft with the pit for water wheel next to shaft.

Key words: Microgravity survey, gravity modeling, historical shaft Vilemína

Úvod

Těžba pyritu v Lukavici u Chrudimi probíhala od začátku 17. do konce 19. století. Hloubka šachet činila až 200 m. Roku 1892 byly doly opuštěny. Příčinou zániku dolů byla velká zahraniční konkurence levnějšího pyritu a značné vyčerpání svrchních partií ložiska. Pokus o obnovení těžby pyritu v Lukavici na začátku 50. let 20. století byl neúspěšný.

Přesná lokalizace nejstarších hornických děl v Lukavici je velmi obtížná, protože jde o terén, který byl po několik století intenzivně využíván a na velké ploše zavalen haldovým materiálem. V posledních letech probíhaly v centru obce Lukavice poměrně rozsáhlá geofyzikální měření, jejichž hlavním úkolem bylo zjistit, zda stará historická díla neohrožují bezpečný provoz na místních komunikacích (Blecha a kol., 2007). Jedním z dílčích úkolů geofyzikálních prací bylo pokusit se přesně lokalizovat pozici bývalé vodní šachty Vilemína. Úkol jsme řešili pomocí detailní gravimetrie, neboť podle výsledků předběžného modelování se i zaplavená či částečně zavalená 66 m hluboká šachta při přesném gravimetrickém měření projeví.

Šachta Vilemína byla založena pravděpodobně v letech 1760 – 1770 a do roku 1784 byla středem samostatného menšího revíru. V 18. století byla hluboká jen asi 24 m, později byla prohloubena až na úroveň 3. patra do hloubky 66 m (Lukavické dolování, 2008). Od r. 1808 pozbyla Vilemína význam šachty těžní a sloužila již jen jako vodní čerpací šachta k odvodňování místních dolů. Pumpy pohánělo vodní kolo o průměru 8 m. Voda z dolů byla odváděna úzkou odvodňovací štolou dlouhou 1593 m. Počátek

¹ RNDr., CSc., Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, Praha 2, vblecha@natur.cuni.cz

² RNDr., Česká geologická služba, Klárov 3, Praha 1, petr.rambousek@geology.cz

štoly v Lukavici byl v hloubce 23 m. Trasa štoly je souběžná s Lukavickým potokem. Těžba skončila v roce 1892 a Vilemína nebyla, na rozdíl od blízké Bartolomějské šachty, od svého uzavření již nikdy otevřena.

Přibližná poloha šachty Vilemína je známa z historických map a fotografií, které pocházejí z konce 19. a začátku 20. století. Nicméně přesná poloha známa není a ani výkopové práce z 50. let minulého století, jež měly za úkol šachtu najít, úspěšné nebyly. Gravimetrické profily byly vytyčeny v místě předpokládané polohy šachty na úpatí odvalové haldy. Situace gravimetrických profilů je patrná z obr. 1.

Geologické poměry

Lukavice leží při severním okraji Železných hor. Severní část katastru obce patří k nasavrckému masivu, centrální část tvoří takzvaná lukavická série, v jižní části se vyskytují převážně pískovce, slepence, slínovce, hlíny a opuky křídového stáří.

Pyritové zrudnění v Lukavici se nachází v porfyroidech lukavické série, kterou vymezil Vodička (1950). Je to území mezi nasavrckým masivem na jihu a ordovickými sedimenty chrudimského staršího paleozoika na severu. Celou lukavickou sérii lze sledovat v délce asi 15 km. Nejširší je v údolí řeky Chrudimky u Svídnice, kde je téměř 3 km široká a v její blízkosti se noří pod křídové sedimenty (Lukavice, 2008).

Lukavická série je komplex značně složitý, jsou zde zastoupeny různé typy porfyrických hornin, převážně světlých barev. Jedná se o kyselé až intermediární dynamometamorfované paleovulkanity a jejich tuфы charakteru ryolitů až ryodacitů, stáří pravděpodobně ordovického. Mladší variskou intruzí železnohorského plutonu došlo jednak k výraznému stlačení tohoto komplexu a k následné polyfázové metasomatóze, spojené s mobilizací roztoků sulfidů, především pyritu. V okolí mladších variských kyselých a bazických žil došlo v porfyroidech k prostorově omezeným prokřemeněním. Celý komplex je ukloněn k SV, zlomové struktury jsou zvýrazněny žilnými intruzemi. Původní krystalinický povrch byl intenzivně předkřídově denudován a morfologicky rozčleněn. V prostoru s výraznou pyritizací napomohl rozklad pyritu k intenzivnější aerické alteraci.

Na bázi následné křídové cenomanská transgrese jsou pískovce, slepence, lumachelové vápence a drobné slojky uhelných jílovců až uhlí. V prostoru lukavického ložiska dosahují křídové sedimenty mocnosti 2 - 20 m. Vrstevní sled uzavírají nepřilís mocné kvartérní sedimenty s terasovými šterkopisky a svahovinami.

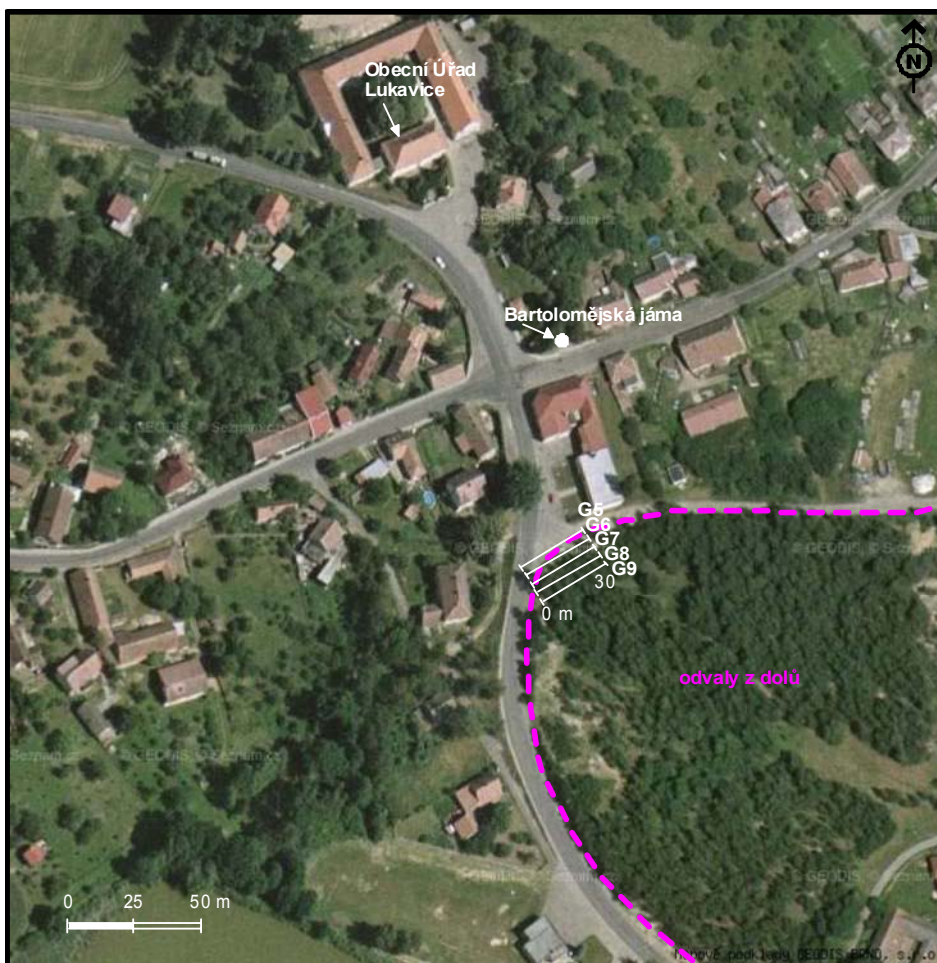
Terénní práce a zpracování naměřených dat

V místě předpokládaného výskytu vodní šachty Vilemína bylo vytyčeno 5 paralelních gravimetrických profilů G5 až G9 – viz obr. 1. Profily jsou 30 m dlouhé, vzdálenost mezi profily je 4 m, vzdálenost gravimetrických bodů na profilech je 2 m.

Měření bylo provedeno mikrogalovým gravimetrem Scintrex CG-3M (Blecha, 2006). Celkem 7 % gravimetrických bodů bylo měřeno opakovaně v různých časech pro určení optimálního způsobu vyloučení reziduálního chodu. Nejmenší střední kvadratická chyba tíhových měření ($\pm 4 \pm \text{Gal}$) byla spočtena při proložení kubického polynomu hodnotami registrovanými na opěrném bodě. Všechny gravimetrické body byly zaměřeny geometrickou nivelací ze středu na lať.

Naměřená data byla zpracována do formy relativních Bouguerových anomálií pro redukční hustotu 2610 kg/m³. Tato hustota odpovídá alterovaným porfyroidům, které na lokalitě tvoří krystalinické podloží. Reliéf plochy měření je rovinný, výsypka jv. Od měřených profilů tvoří mírnou elevaci. Klasické terénní korekce počítány nebyly a

tíhový vliv výsypky byl odstraněn spolu s regionálním polem při separaci Bouguerových anomálií na regionální a reziduální část. Z mapy reziduálních anomálií byl vybrán profil, který byl interpretován kvantitativně pomocí modelovacího programu GM-SYS.

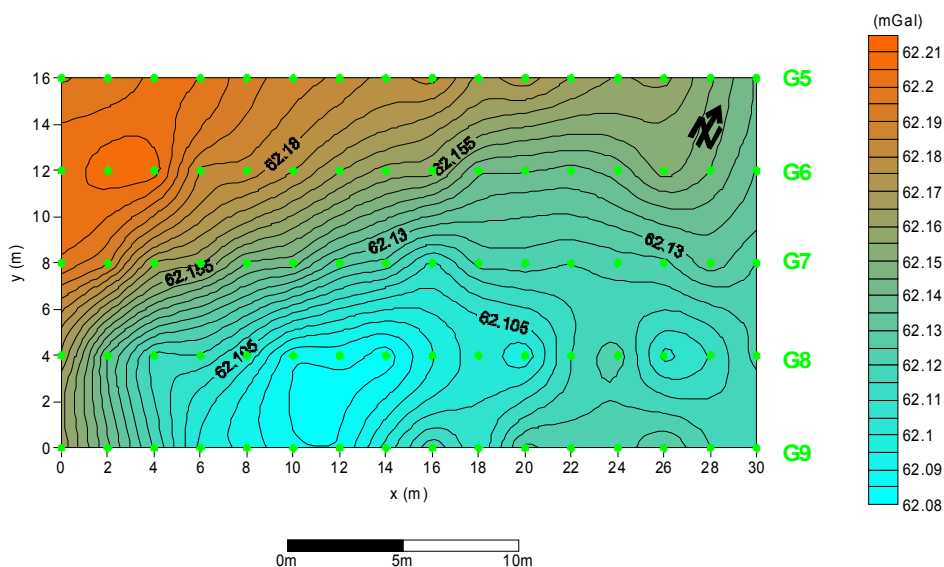


Obr. 1 Situace gravimetrických profilů. Profily G5 až G9 jsou vytyčeny v místě předpokládané polohy vodní šachty Vilemína.

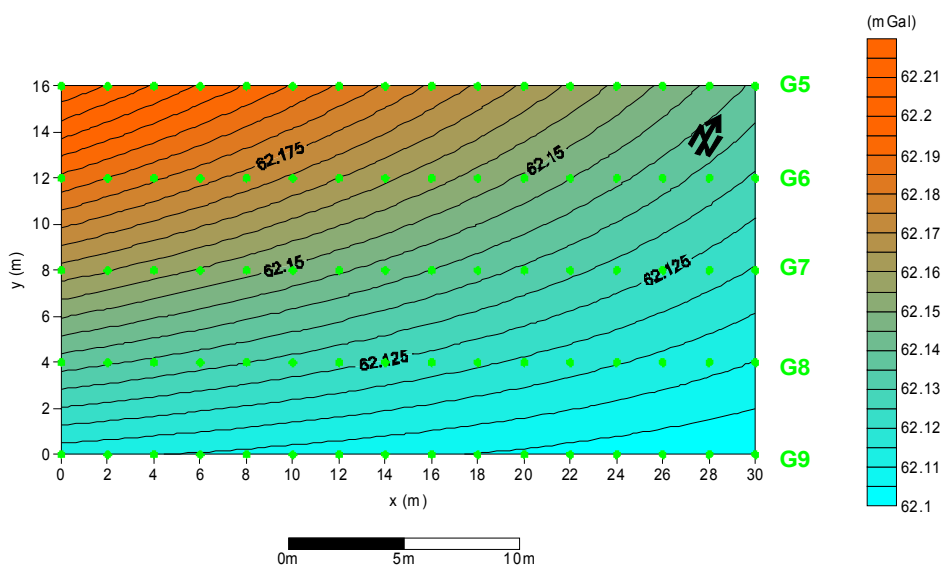
Výsledky měření

Mapa Bouguerových anomálií je na obr. 2. Hodnoty Bouguerových anomálií zřetelně klesají od západu k východu, avšak i v tomto regionálním trendu je patrná lokální záporná anomálie, která dosahuje nejvyšší intenzity na profilu G8.

Bouguerovými anomáliemi na obr. 2 byla proložena plocha nízkého stupně, kterou považujeme za regionální trend. Tento trend zahrnuje nejen účinek hlubší geologické stavby, ale částečně také účinek topografických hmot. Mapa regionálních anomálií je na obr. 3.



Obr. 2 Mapa Bouguerových anomálií.



Obr. 3 Mapa regionálních anomálií.

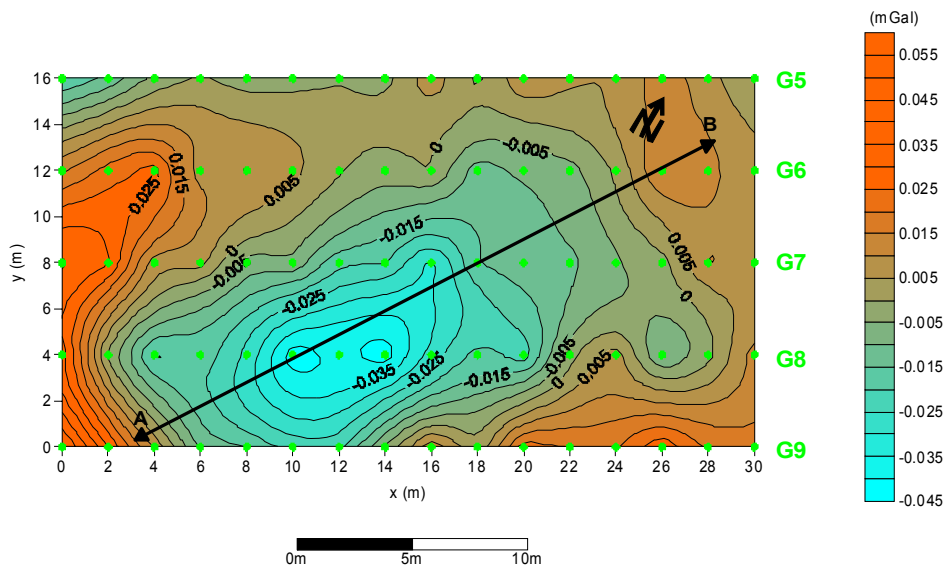
Po odečtení regionálních anomálií od anomálií Bouguerových dostáváme mapu anomálií reziduálních, která je na obr. 4. Zřetelně zde vystupuje lokální záporná anomálie, protažená ve směru JZ – SV, která dosahuje největší intenzity -0.040 mGal na metrážích 10 – 14 m profilu G8 ($y = 4$ m).

Jelikož gravimetrický průzkum byl proveden v místě, kde se má vodní šachta Vilemína nacházet podle dobových map a fotografií, domníváme se, že pomocí

gravimetrického průzkumu jsme přesnou pozici šachty našli. Podle výsledků gravimetrie je šachta mezi metrážemi $x = 10 - 14$ m a $y = 2 - 5$ m (obr. 4). Protažený tvar anomálie je pravděpodobně způsoben tím, že vedle šachty bylo částečně zapuštěné vodní kolo o průměru 8 m.

Přes lokální zápornou anomálii ve směru jejího protažení byl veden interpretační profil, na kterém bylo provedeno 2.75-D modelování. Pozice profilu je na obr. 4, model na obr. 5. Na profilu jsme modelovali typický vrstevní sled pro tuto lokalitu (Blecha a kol. 2007): při povrchu pokryv s proměnnou hustotou $1900 - 2150$ kg/m³, pod ním křídové sedimenty, převážně pískovce s hustotou 2374 kg/m³ a dále krystalinické podloží tvořené alterovanými porfyroidy s hustotou 2610 kg/m³. Hustoty křídových hornin a porfyroidů pro modelování byly určeny na základě dat uváděných v práci Chlupáčová a Kašparec, (1990).

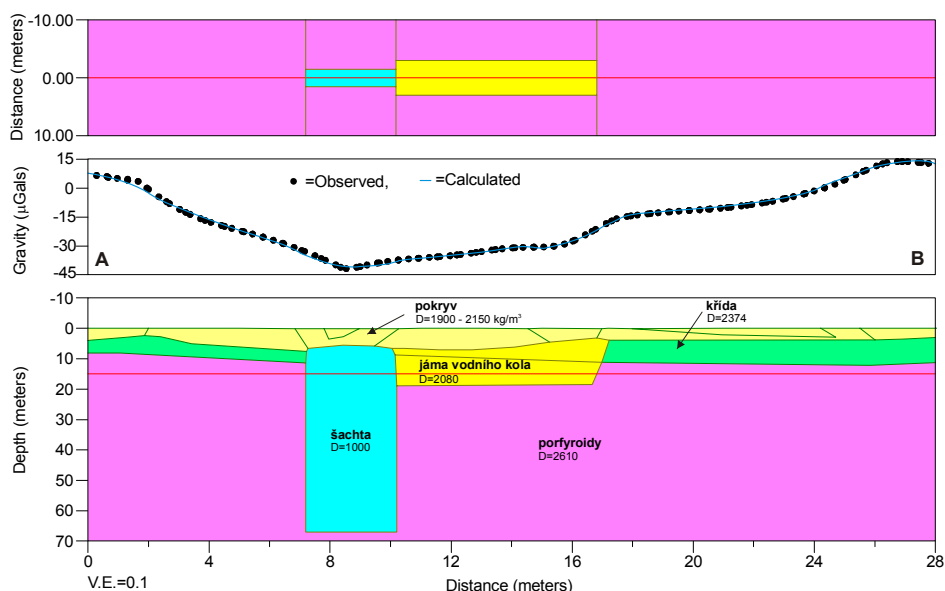
I když se údaje o způsobu sanace šachty nedochovaly, předpokládali jsme, že šachta byla uzavřena standardně, tj. že blízko při povrchu byla zaklenuta a klenba zasypána. Většina šachty tak zůstala pravděpodobně nezasypaná, zaplavená vodou (hustota 1000 kg/m³). Na sv. okraji šachty předpokládáme zahloubenou jámu pro vodní kolo, které pohánělo pumpy čerpající vodu z dolů.



Obr. 4 Mapa reziduálních anomálií. Linie A-B označuje polohu profilu, na kterém byla provedena kvantitativní interpretace - model na obr. 5.

Na obr. 5 je na spodním panelu vertikální hustotní řez, na prostředním panelu jsou měřené a vypočtené hodnoty tíže, na vrchním panelu je horizontální řez v hloubce 15 m pod povrchem. Aby bylo možné geologickou situaci přehledně zobrazit, nejsou vertikální a horizontální měřítka na vrchním a spodním panelu stejná. Převýšení vertikálního měřítka na spodním panelu je 0,1, na horním panelu 0,2. Ve skutečnosti je šachta v horizontálním řezu čtvercová s průřezem 3×3 m a hloubku má 66 m. Při modelování bylo dosaženo vysoké shody pozorovaných a vypočtených hodnot (chyba 1 μ Gal), avšak vzhledem k přirozené mnohoznačnosti řešení obrácených úloh v potenciálových polích je uváděné řešení jen jedno z mnoha možných. Nicméně

vzhledem k tomu, že při interpretaci jsme se opírali o historické podklady, o znalost místní geologie a hustot hornin, domníváme se, že předkládané řešení je reálné.



Obr. 5 Model šachty Vilemína. Pozice interpretačního profilu je vyznačena na obr. 4. Hustoty D jsou uvedeny v $[\text{kg/m}^3]$. Horní panel je horizontální řez modelem v hloubce 15 m pod povrchem, prostřední panel jsou měřené a modelované hodnoty tíže, spodní panel je vertikální hustotní řez. Převýšení vertikálního měřítka na spodním panelu je 0.1, na horním panelu 0.2. V horizontálním řezu má šachta ve skutečnosti čtvercový průřez 3 x 3 m.

Závěr

V obci Lukavice ve východních Čechách bylo provedeno detailní gravimetrické měření, jehož úkolem bylo lokalizovat bývalou vodní šachtu Vilemína. Měření proběhlo v síti profilů vytyčených v místě, kde se poloha šachty předpokládá podle historických map a fotografií. Z výsledků měření vyplývá, že poloha šachty byla zachycena na jižním okraji měřené plochy, na úpatí haldy s odvalem z pyritových dolů. Šachta se projevuje ostře omezenou zápornou lokální anomálií a její obdélníkový tvar naznačuje, že vedle šachty byla gravimetrií zachycena i jáma, do které bylo zapuštěno vodní kolo, které pohánělo pumpu čerpající vodu z dolů.

Přes anomálii byl veden profil, na kterém byla provedena kvantitativní interpretace naměřených dat pomocí programu pro 2.75-D modelování. Při vytváření modelu byla použita všechna dostupná historická fakta o šachtě, dále znalosti o místní geologii a o hustotách hornin na lokalitě. Výsledky kvantitativní interpretace ukazují, že gravitační účinek modelu se velmi dobře shoduje s naměřenými daty. Domníváme se proto, že pozice bývalé vodní šachty Vilemína byla pomocí gravimetrických měření nalezena.

Poděkování

Příspěvek vznikl za finanční podpory Grantové agentury České republiky (grant č. 205/07/0574) a výzkumného záměru MSM 0021620855. Technické práce byly financovány Odborem geologie MŽP ČR v rámci projektu „Mapování kritických zátěží po těžbě pyritu v Lukavici u Chrudimi“, vedeného Českou geologickou službou.

Literatura

- [1] Blecha, V. (2006): Metodika měření mikrogalovým gravimetrem Scintrex. – Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, ročník VI, č. 2, str. 17-21.
- [2] Blecha, V., Vilhelm, J., Rambousek, P., Dohnal, J. a Jáně, Z. (2007): Geofyzikální průzkum pozůstatků staré důlní těžby v Lukavici u Chrudimi. - Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební, ročník VII, č. 2, str. 31-38.
- [3] Chlupáčová, M. a Kašparec, I. (1990): Petrofyzikální charakteristika Lukavické série. – Výzkumná zpráva, Geofyzika s.p. Brno, závod Praha, 49 str.
- [4] Lukavice (2008): <http://www.lukavice.com>
- [5] Lukavické dolování (2008): <http://www.mining.cz/TEXTY/Lukavice/Lukavice.htm>
- [6] Vodička, J. (1950): Petrografické poměry v okolí Lukavice a Žumberka v Železných horách. – Sbor. Stát. Geol. úst., Odd. Geol., 17., Praha.

Hana DOLEŽALOVÁ¹, Vlastimil KAJZAR², Kamil SOUČEK³, Lubomír STAŠ⁴

**VYHODNOCENÍ VÝŠKOVÝCH ZMĚN V POKLESOVÉ KOTLINĚ U KARVINÉ
EVALUATION OF HEIGHT CHANGES IN SUBSIDENCE DEPRESSION NEAR
KARVINÁ**

Abstract

There was an observation station built to find out the surface displays of underground mining in the area of a difficult tectonic situation. The supposed displays of surface subsidence do not correspond to facts that were repeatedly surveyed by GPS. The actual subsidence is sizable in some parts of the subsidence depression while it is smaller in other parts.

Key words: GPS, subsidence depression, undermining

Úvod

V roce 2006 se začal na Ústavu geoniky AV ČR, v.v.i. rozvíjet projekt zabývající se vybudováním a opakovaným geodetickým zaměřováním pozorovací stanice pro sledování vlivů poddolování v blízkosti Karviné. Primárním účelem bylo sledovat vývoj poklesové kotliny v netriviálních geomechanických podmínkách, k čemuž byla vybrána oblast s několika výraznými tektonickými poruchami. V této oblasti se tedy na podzim roku 2006 začala budovat pozorovací stanice pro určování prostorové polohy bodů metodou GPS. Tato pozorovací stanice byla postupně rozšiřována a zahušťována vzhledem ke změně těžební situace a s ohledem na měnící se terén, kde již probíhaly rekultivační práce.

Zájmovým územím je lokalita v hornoslezské uhelné pánvi v severní oblasti důlního pole Dolu ČSM-sever na demarkaci s Dolem Darkov, východně ohraničená polskou státní hranicí. V této oblasti byla plánována ve 36. sloji v letech 2006 a 2007 exploatace porubu 361 000 s délkou porubní fronty cca 180 m a směrnou délkou porubu zhruba 500 m. Dobývaná uhelná sloj se nachází v hloubce 950 m pod povrchem a v zájmové oblasti vykazuje proměnlivou mocnost 1,4 – 2 m. Severně od porubu 361 000 měl být dobýván další porub. Od jeho dobývání však bylo upuštěno a místo toho bylo rozhodnuto o vydobytí jiného porubu v předmětné lokalitě, jižně od porubu 361 000, a to od května roku 2007. Porub 293 102 se nachází v 29. sloji, má délku porubní fronty cca 185 m a směrnou délku porubu až 808 m. Dobývaná uhelná sloj se nachází v hloubce 990 m pod povrchem, průměrná dobývaná mocnost je 3,2 m. Dobývací metodou je stěnování na řízený zával. Horninový masív je v dané lokalitě tvořen typickými horninami pro stavbu karbonského pohorí v hornoslezské pánvi s tafrogenní stavbou. Kostru tafrogenní stavby tvoří základní poklesy s amplitudou většinou desítek až stovek metrů, kombinované horizontálními posuny [1].

¹ Ing., Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, 708 00 Ostrava, dolezalova@ugn.cas.cz

² Ing., Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, 708 00 Ostrava, kajzar@ugn.cas.cz

³ Ing., Ph.D., Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, 708 00 Ostrava, soucek@ugn.cas.cz

⁴ RNDr., CSc., Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, 708 00 Ostrava, stas@ugn.cas.cz

Pozorovací stanice

Jižně ve vzdálenosti cca do 50 m subparalelně s porubním blokem 361 000 ve směru V-Z (tj. ve směru postupu porubní fronty od východu na západ) prochází výrazná tektonická porucha X poklesového charakteru. Jde o poruchu s mocností poruchového pásma cca 25 – 50 m, s amplitudou poklesu 350 m, o úklonu cca 60°. Směr úklonu této poruchy je orientován tak, že prochází vyšším nadloží pŕdorysně nad předmětnými poruby. Jižněji, rovněž subparalelně poruše X, prochází výrazná poklesová tektonická porucha A, s amplitudou poklesu cca 350 m a s úklonem 60°, jehož orientace je opačná a porucha se tak odklání od předmětné oblasti. Ze severní strany je méně výrazná porucha 6 [1]. Tektonická situace a poloha dobývaných porubů v zájmovém území je vykreslena na obrázku 1.

Z map předpokládaných vlivů dobývání na povrch byl znám pravděpodobný rozsah dotčeného povrchu. Ve snaze sledovat vlivy poddolování v co největším rozsahu poklesové kotliny, bylo plánováno vybudovat síť stabilizovaných bodů tak, aby měření vhodně vypovídala o povrchových změnách. Po detailní rekognoskaci terénu, kde už v etapě plánování probíhaly intenzivní rekultivační práce, bylo rozhodnuto stabilizovat body v liniích, případně lomených přímkách, jdoucích pokud možno přes celou poklesovou kotlinu až za její okraje, a dále stabilizovat roztroušené body tam, kde bude třeba pozorovací stanice zahustit. Pozorovací stanice byla nejprve budována podle mapy předpokládaných vlivů pro dobývání porubu 361 000. Vzhledem ke změně dobývacího plánu probíhá rozšiřování pozorovací stanice tak, aby lépe odpovídala rozsáhlejším vlivům poddolování.



Obr. 1 Poruby 361 000 a 293 102, tektonické poruchy a body pozorovací stanice

Při budování pozorovací stanice byla využita místní vozovka, v níž byly body stabilizovány formou hřebů v krajnici (zelené body na obr. 1). Tyto body tak tvoří profil, který prochází od východu jihozápadně poklesovou kotlinou. Dále bylo využito vodovodní potrubí, které prochází téměř ve směru východ-západ napříč poklesovou kotlinou nad dobývaným porubem 361 000. GPS anténa je při měření připevňována k rámu nosné konstrukce potrubí (modré body na obr. 1). Vzhledem k tomu, že žádné jiné vhodné objekty se v dané oblasti nevyskytovaly, bylo nutné rozmístit další body pozorovací stanice v okolním terénu. Tyto body byly stabilizovány pomocí metrových ocelových tyčí, které byly zatlučeny do země tak, aby končily v nezámrazné hloubce. Byly tak vytvořeny tři příčné profily a jeden podélný profil (oranžové body na obr. 1). Vedle těchto profilů bylo tímto způsobem stabilizováno i několik roztroušených bodů. Do pozorovací stanice byly také zahrnuty triangulační a nivelační body státního polohového a výškového bodového pole (růžové body na obr. 1).

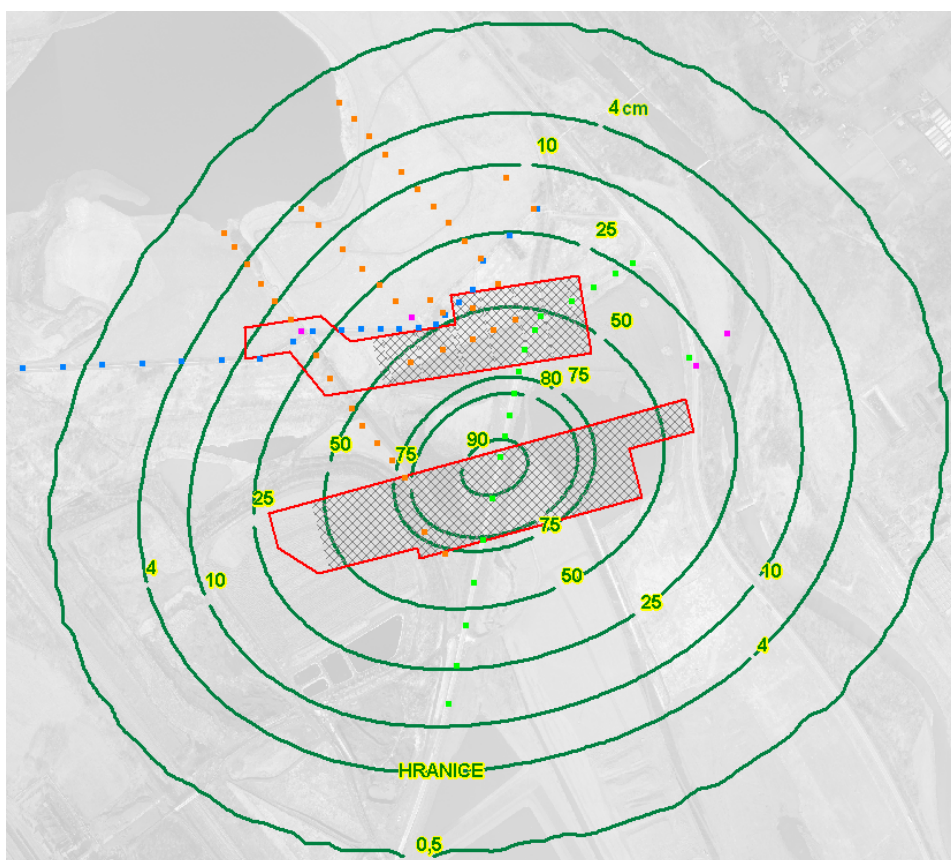
GPS měření

Měření probíhají na pozorovací stanici od listopadu 2006, a to pomocí dvou GPS souprav firmy Leica, GPS System 1200. Referenční stanice je během měření umístěna na trigonometrickém bodě č. 4 (TL 3721) Základního polohového bodového pole se souřadnicemi určenými v S-JTSK a v ETRS-89. Tento bod se nachází v Karviné-Ráji, a to mimo předpokládané vlivy dobývání, ve vzdálenosti několika kilometrů od pozorovací stanice. Jednotlivé body pozorovací stanice jsou zaměřovány pomocí rychlé statické metody s dobou observace alespoň 10 minut na každém na bodě. Pro zachycení postupného vývoje vlivů poddolování v plynulém procesu byl zvolen interval opakování GPS měření cca 5 týdnů. Výsledkem měření a následného zpracování GPS měření jsou prostorové souřadnice jednotlivých bodů pozorovací stanice v systémech WGS-84 a S-JTSK (díky transformačnímu klíči na základě blízkých trigonometrických bodů se souřadnicemi v obou systémech).

Pokles bodů

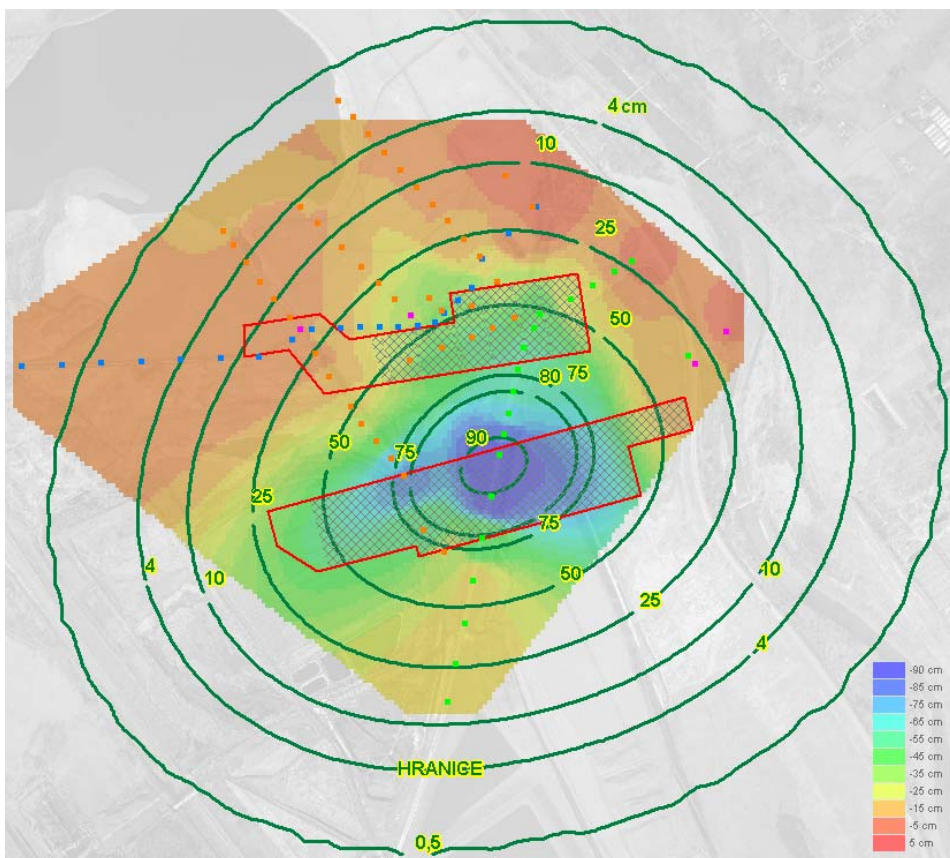
Vzhledem ke stabilizaci bodů pozorovací stanice ve formě linií a roztroušených bodů je možné vyjádřit pokles bodů jednak v profilech a dále plošným modelem. Z opakovaně zaměřené prostorové polohy bodů navíc lze vypočítat nejen poklesy, ale i posuny jednotlivých bodů, případně deformace jednotlivých úseků (vodorovné poměrné přetvoření, naklonění a zakřivení). Poklesy bodů jsou však zřejmě nejnázornějším ukazatelem vlivů hlubinného dobývání na povrch.

Jak již bylo řečeno, těžební plány se v zájmové oblasti měnily. Nejen, že se upustilo od dobývání severního porubu a místo něj se dobýval jiný porub, ale oba dobývané poruby nakonec nebyly vydobyty zcela, ale jen částečně, vzhledem ke geologické a geomechanické situaci v jejich okolí. Tím se změnilo také rozložení a velikost povrchových projevů poddolování. Na obrázku 2 jsou zobrazeny oba dobývané poruby (červeně plánovaný rozsah dobývání, šrafování skutečný rozsah vydobytí) a dále předpokládané vlivy dobývání určené z rozsahu skutečně vydobytých prostor, vyhotovené důlní společností podle metody Budryk-Knothe (izolinie předpokládaných poklesů).



Obr. 2 Poruby 361 000 a 293 102 a izolinie předpokládaných poklesů

Plošné vykreslení poklesů zjištěných z GPS měření je na obrázku 3. Barevný plošný model poklesové kotliny zhotovený z naměřených hodnot popisuje velikost poklesů v zájmové oblasti v období od začátku měření do dubna 2008. Při tvorbě popsaného modelu byla použita metoda inverzních vzdáleností, která při výpočtu využívá váženého lineárního průměru. Váhou je reciproká hodnota vzdáleností od lokálního odhadu s mocninou p . Zvyšující se velikost mocniny ovlivňuje průběh výsledného pole a zvyšuje vliv nejbližších hodnot. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při $p=6$. Výsledné vypočtené hodnoty jsou v rozmezí hodnot naměřených. To může zapříčinit určité zkreslení výsledku. V primární podobě se jedná o exaktní interpolační metodu. Výpočet modelu probíhal pouze na základě naměřených hodnot v jednotlivých měřických kampaních bez využití dalších faktorů (geologická stavba nadloží, tektonické poruchy aj.).

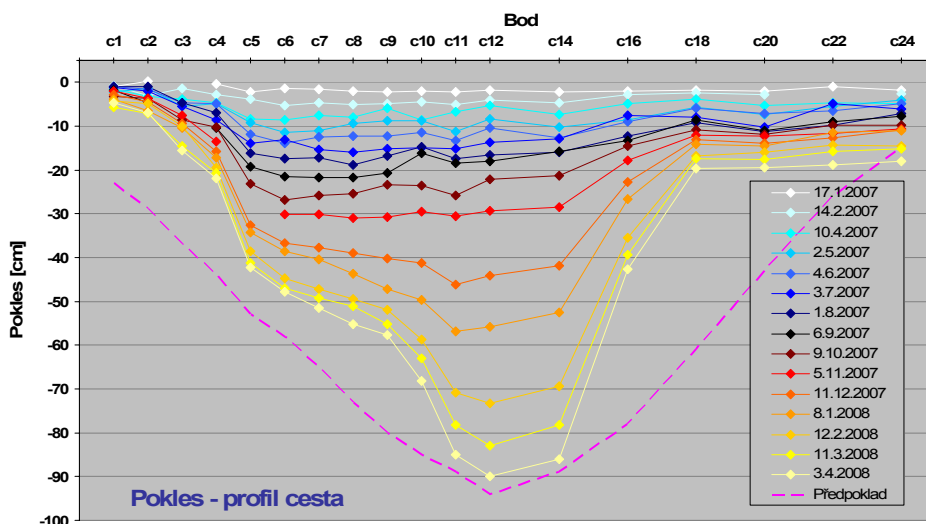


Obr. 3 Poruby 361 000 a 293 102, izolinie předpokládaných poklesů a plošné zobrazení naměřených poklesů

Izolinie poklesů za obrázku 3 znázorňují předpokládané vlivy poddolování vypočtené ze skutečně vydobytých prostor (vyšrafované části porubů), s ohledem na hloubku jejich uložení a mezní úhly vlivů v jejich nadloží. Z porovnání těchto předpokládaných poklesů s poklesy naměřenými na povrchu pomocí GPS do dubna 2008 je zřejmé, že mezi nimi nedochází k úplné shodě. Rozložení velikosti naměřených poklesů neprobíhá v souladu s oválnými izoliniemi předpokládaných poklesů. V blízkosti středu poklesové kotliny skutečné poklesy některých bodů již nyní dosahují předpokládaných hodnot. V severozápadní části poklesové kotliny však jsou i za hranicí vlivů poddolování (stanovena normou na 4 cm) naměřeny poklesy větší (až 11 cm) než stanovuje předpoklad. Naopak v severovýchodní části poklesové kotliny jsou skutečné poklesy výrazně menší oproti předpokladům, jež v této oblasti počítaly s poklesy téměř 25 cm. To, že se tyto nesrovnalosti netýkají pouze ojedinělých bodů, ale vždy skupin bodů v určité části území, svědčí o tom, že se nejedná o náhodný jev, ale pravděpodobně o projev složité geomechanické situace, kdy se jednotlivé části horninového masívu pohybují podél tektonických poruch.

Konkrétní hodnoty naměřených poklesů na profilu cesta (zelené body na obr. 1 až 3) jsou spolu s křivkou předpokládaného poklesu zobrazeny v grafu 1. Je z něj vidět, že krajní body profilu, body c1 a c2, jsou poklesem postiženy jen nevýrazně, přestože

leží v blízkosti izolinie předpokládaného poklesu 25 cm. Stejně tak body c18 až c22 nedosahují předpokládaných hodnot poklesů. Bod c18 má podle předpokladu poklesnout o cca 60 cm, ale poklesl zatím jen o 20 cm. Body c18 až c24 navíc vykazují téměř shodný a pravidelný pokles na zhruba 20 cm. Na úseku mezi body c14 a a18 dochází k výraznému rozdílu mezi poklesy jednotlivých bodů. Rozdíl v poklesu bodu c14 a bodu c18, jejichž vzdálenost je cca 200 metrů, je téměř 70 cm. Tento úsek drastické změny poklesů blízkých bodů, a na něj navazující úsek poklesu téměř pravidelného, rovněž svědčí o podstatném vlivu složité geomechanické situace, neboť právě body c18 až c24 leží za tektonickou poruchou X (viz obr. 1) [2].



Graf 1 Naměřené poklesy bodů na profilu cesty (ve směru SV-J) a křivka celkového předpokládaného poklesu

Pokles se na povrchu poddolovaného území projevuje vznikem trhlin a terénních vln. Na pozorovací stanici u Karviné se pokles zřetelně projevuje zejména na vozovce, kde zvláště v místech velkých rozdílů v poklesu blízkých bodů (úsek c14 až c18 na profilu cesty) vznikají několikacentimetrové trhliny (viz obr. 4).

Závěr

Porovnáním modelovaných předpokládaných a skutečně naměřených poklesů v místech se složitou tektonickou situací se ukázalo, že se tyto povrchové projevy důlní činnosti ve svých hodnotách značně rozcházejí. Netýká se to však pouze ojedinělých bodů, ale vždy skupin bodů v určité oblasti. Nejedná se tedy o náhodný jev, ale pravděpodobně o projev složité geomechanické situace, kdy se jednotlivé části horninového masívu pohybují podél tektonických poruch. Po získání uceleného souboru hodnot skutečných poklesů budou naměřená data konfrontována s geologickým modelem horninového masívu v zájmové oblasti.



Obr. 4 Projev vlivů poddolování na vozovce v jižní části poklesové kotliny (profil cesta)

Schematický přístup k problematice určování povrchových vlivů hlubinného dobývání není vždy postačující a může se značně rozcházet se skutečnými projevy poddolování. Je tudíž potřeba provádět na poddolaném území systematická geodetická měření, aby byly známy skutečné změny na povrchu.

Poděkování

Tento příspěvek byl podpořen grantovými projekty GAČR č. 105/07/1586 a č. 105/07/0878.

Literatura

- [1] Doležalová, H., Kajzar, V., Souček, K., Staš, L., Šimkovičová, J. (2007): Creating of observation station for monitoring surface influences of underground mining under nontrivial geo-mechanical conditions. In Proceedings of XIII. International Congress of International Society for Mine Surveying. Budapest, ISM, 2007. ISBN 978-963-9038-18-9.
- [2] Doležalová, H., Kajzar, V., Staš, L., Souček, K. (2008): Observation of Subsidence Depression by Modern Geodetic Methods. In Proceedings of SGEM 2008, Volume II. Albena, Bulgaria. s. 485-492. ISBN 954-918-181-2.

Adam FREJ¹

**WYZNACZENIE PARAMETRÓW RELACJI TŁUMIENIA Z UWZGLĘDNIENIEM
AMPLIFIKACJI DLA WYBRANYCH REJONÓW NIECKI BYTOMSKIEJ (GÓRNY
ŚLĄSK)**

**THE ESTIMATION OF ATTENUATION RELATIONS WITH THE
AMPLIFICATION OF VIBRATION FOR CHOSEN REGIONS OF BYTOM
SYNCLINE (UPPER SILESIA)**

Abstract

This article shows results of estimation the amplification factors. In this study was used data from six acceleration stations installed in areas under investigation. The amplification was calculated from attenuation relation, which implicates amplification factor. The size of amplification was related with the site of amplification factor calculated from HVSR method. All results show that in different regions of Bytom Syncline (Upper Silesia) occur different values of vibration amplification. So we connect the results with the geology at the site of measurement.

Key words: attenuation relation, amplification facto, resonance frequency, local effects

Wstęp

Obszar Niecki Bytomskiej objęty jest podziemną eksploatacją górnictw. W związku, z czym obserwuje się w tym rejonie wstrząsy indukowane. Z występującymi tu zjawiskami sejsmiki indukowanej nierozzerwalnie związany jest efekt amplifikacji drgań gruntu. Ponieważ geologia rejonu Niecki Bytomskiej jest dość zróżnicowana amplifikacji drgań w różnych miejscach przyjmuje różne wielkości. Problem ten jest dość istotny w związku z planowaniem przestrzennej zabudowy celem uniknięcia negatywnego wpływu wstrząsów na infrastrukturę budowlaną.

Dane pomiarowe

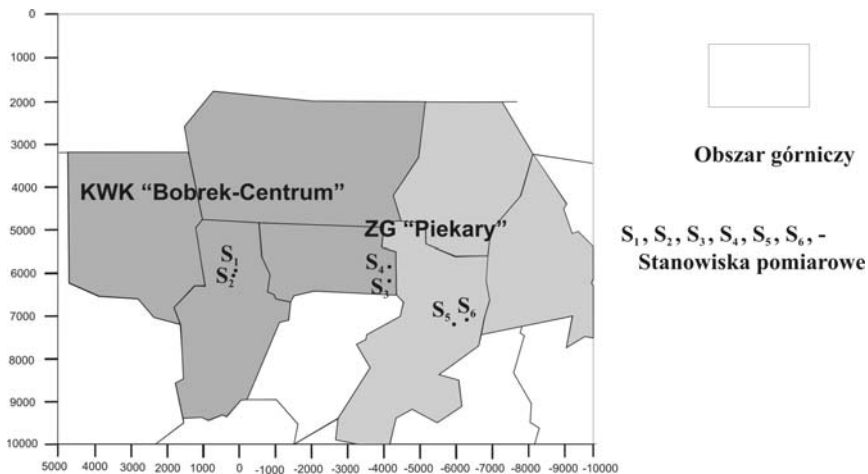
Estymacje parametrów relacji tłumienia oraz wielkości współczynnika amplifikacji dokonano w oparciu o zapisy pochodzące z stanowisk akcelerometrycznych. Wykorzystane dane zawierają 10-sekundowy odcinek zapisu drgań gruntu powyżej wartości przyspieszenia równej około 20 mm/s² (Markowski et al., 2002). Wszystkie analizowane zapisy pochodzą z sześciu stanowisk pomiarowych (Tab. 1) zlokalizowanych na terenie Niecki Bytomskiej (Rys. 1).

¹ Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Katedra Geologii Stosowanej, adamfrej@interia.pl, Sosnowiec

Tab. 1 Dane wykorzystane w analizie.

Tab. 1 Basic data concerning site of observations.

LP	Nazwa stacji akcelerometrycznej	Liczba rejestracji	Współrzędne stanowisk pomiarowych		
			X	Y	Z
1	S ₁	228	5960	4	270
2	S ₂	328	6020	88	270
3	S ₃	121	6225	-4064	283
4	S ₄	147	5835	-3712	-
5	S ₅	348	7242	-5982	298
6	S ₆	46	7160	-6316	-
Całkowita liczba rejestracji		1218			



Rys. 1. Rozmieszczenie stacji rejestrujących.

Fig. 1 Position of the recording stations.

Wyniki

Główną metodą badawczą wykorzystaną w analizie zebranych danych była rozbudowana relacja tłumienia. Zależność relacji tłumienia jest powszechnie znanym mechanizmem wiążącym energię wstrząsu sejsmicznego z amplitudą rejestrowanych drgań oraz odległości epicentralną. W analizie wykorzystano relację tłumienia uwzględniającą dodatkowo wpływ warunków lokalnych na rejestrowaną amplitudę drgań:

$$\log a_i = \alpha_1 + \alpha_2 \log E + \alpha_3 \log R + \delta_i \quad (1)$$

gdzie:

ai – wartość szczytowa poziomej bądź pionowej składowej przyspieszeń drgań gruntu [mm/s²] dla poszczególnych stacji pomiarowych,

E – energia wstrząsu [J],

R – odległość epicentralna wstrząsu [m],

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – współczynniki relacji tłumienia,

δ_i – logarytmiczny współczynnik amplifikacji dla i – tej stacji ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$).

Prezentowana relacja tłumienia wykorzystana została w badaniach obszaru Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (Olszewska i Lasocki, 2006). W trakcie analizy przyjęto założenie, iż nie obserwuje się amplifikacji drgań gruntu w rejonie stanowiska S1, co odpowiada poziomowi równemu 1.0. W efekcie wyznaczono parametry relacji tłumienia a następnie poziom amplifikacji dla pozostałych stanowisk. Wyznaczony poziom amplifikacji dla wszystkich stanowisk jest oczywiście odniesiony do amplifikacji dla stanowiska S1. Efektem przeprowadzania analizy w oparciu o wzór (1) określono następujące parametry relacji tłumienia:

$$\log a_i = 1.857 + 0.174 \log E - 0.221 \log R + \delta_i \quad (2)$$

Estymowana wielkość parametru δ_i w związku z charakterem zależności a_i prezentowanej w formie logarytmicznej również odpowiada wielkości logarytmowanej. Celem uzyskania wielkości amplifikacji należy czynnik ten przedstawić w formie 10^{δ_i} . Taka forma wyników umożliwi odniesienie ich do rezultatów analizy z wykorzystaniem metody HVSR.

Tab. 2 Względna amplifikacja na stanowiskach pomiarowych.

Tab. 2 The relative amplification factor at place of registration.

Lp.	Stanowisko pomiarowe	Logarytmiczne współczynniki amplifikacji δ_i	Względne współczynniki amplifikacji 10^{δ}
1.	S ₁	0.00	1.000
2.	S ₂	0.044	1.107
3.	S ₃	-0.049	0.893
4.	S ₄	0.250	1.777
5.	S ₅	-0,278	0.527
6.	S ₆	-0,004	0.991

Celem weryfikacji przeprowadzonej analizy z użyciem relacji tłumienia otrzymane wyniki poziomu amplifikacji drgań skorelowano z wynikami uzyskanymi w oparciu o metodę HVSR (Nakamura, 2000). Wielkość amplifikacji drgań w metodzie HVSR określa się ze stosunku składowej poziomej (H) względem składowej pionowej (V) drgań gruntu:

$$\frac{H}{V} = \frac{G_h}{G_v} \frac{\left[A_H + \frac{R_H}{G_H} \right]}{\left[A_V + \frac{R_V}{G_V} \right]} = A_H \quad (3)$$

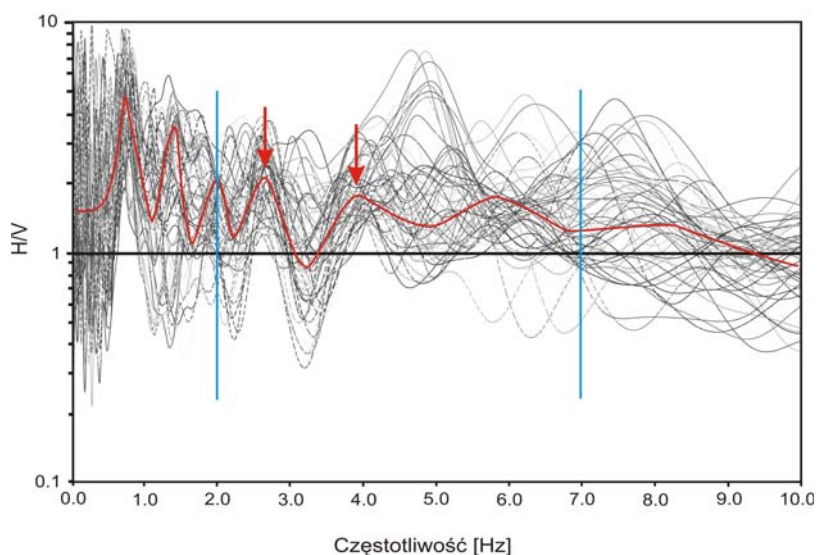
gdzie:

AH, AV – współczynniki amplifikacji składowej poziomej i pionowej pionowo padającej fali wgłębnej,

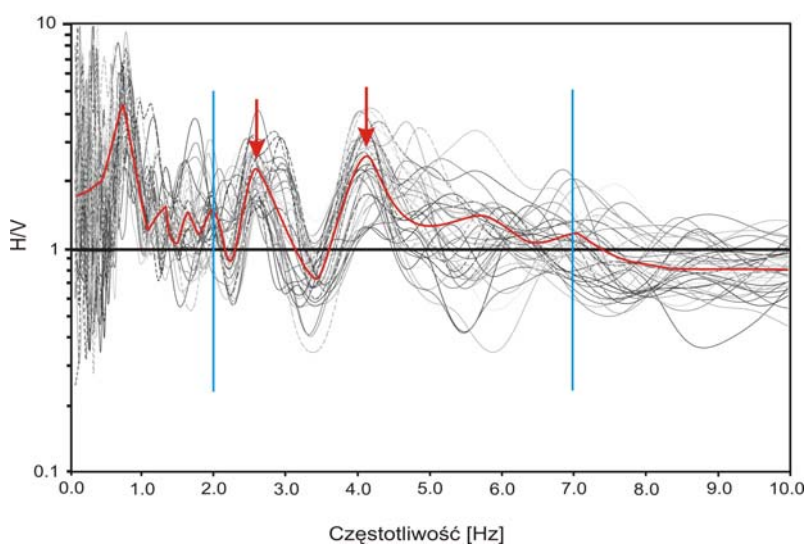
GH, GV – widma składowej poziomej i pionowej przyspieszenia drgań twardego podłoża,

RH, RV – widma składowej poziomej i pionowej fali powierzchniowej Rayleigha.

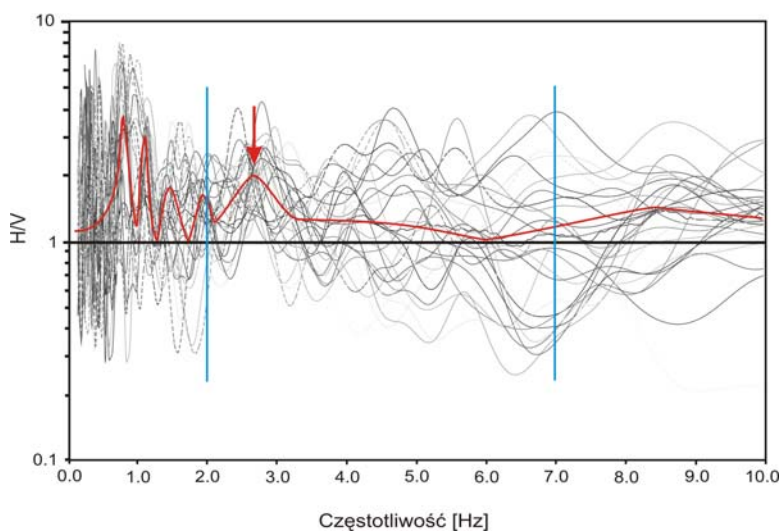
Wyznaczenie takiego stosunku przeprowadzono przy wykorzystaniu widma całego sygnału. Zalecane jest korzystanie z fazy S sygnału jednak w związku z małymi odległościami epicentralnymi nie jest możliwe wydzielenie z sygnału poszczególnych faz. Analiza z całego widma sygnału również daje poprawne wyniki jednak może to powodować w efekcie wzrost współczynnika amplifikacji dla większych częstotliwości (Olszewska i Lasocki, 2003). Wynikiem określania stosunku składowych są wykresy przedstawiające zależność H/V względem częstotliwości dla poszczególnych stanowisk (rysunki 2,3,4,5,6,7). Zakres poprawnej analizy ograniczony jest częstotliwościami 2 Hz oraz 7 Hz. Częstotliwości graniczne związane są z założeniami metody, gdzie w obszarach poniżej 2 Hz występują szumy zniekształcające prawdziwy obraz. Natomiast powyżej 7 Hz obserwuje się coraz większy wpływ fali Rayleigha, co również daje mylne wyniki (Tsuboi i in. 2001). Maksimum dominujących pików przedstawionych na wykresach zależności określają wartości współczynnika amplifikacji w miejscu analizy. Natomiast częstotliwość, dla której określono dominujący pik wskazuje na częstotliwość rezonansowa warstwy przypowierzchniowej. Rejon badań charakteryzuje się różnorodnymi warunkami geologicznymi i występowaniem w warstwie przypowierzchniowej głównie glin i piasków o zmiennej miąższości. Dokładne określenie ich miąższości w miejscach pomiarowych nie jest możliwe, wiadomo jednak, iż utworzy czwartorzędowe sięgają w rejonie badań do głębokości około 26 metrów.



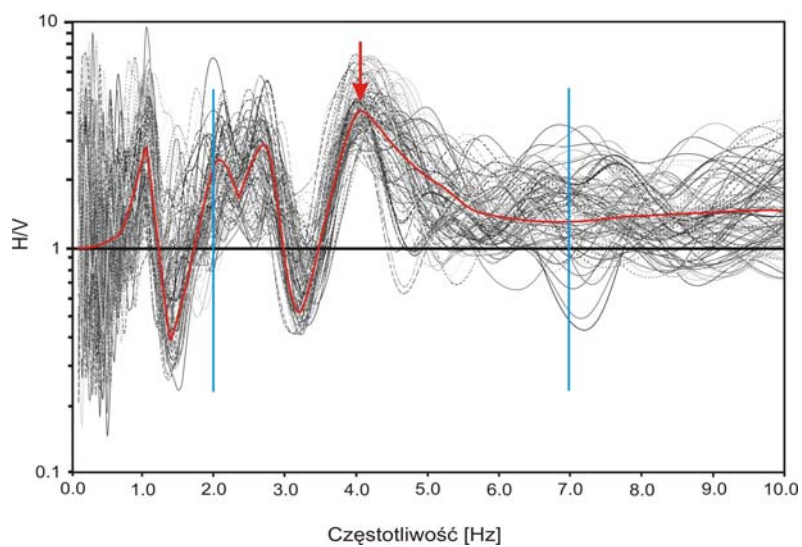
Rys. 2 Stosunki widm rejestracji akcelerometrycznych dla stanowiska S1.
Fig. 2 Spectral ratios of strong ground motions for S1 station.



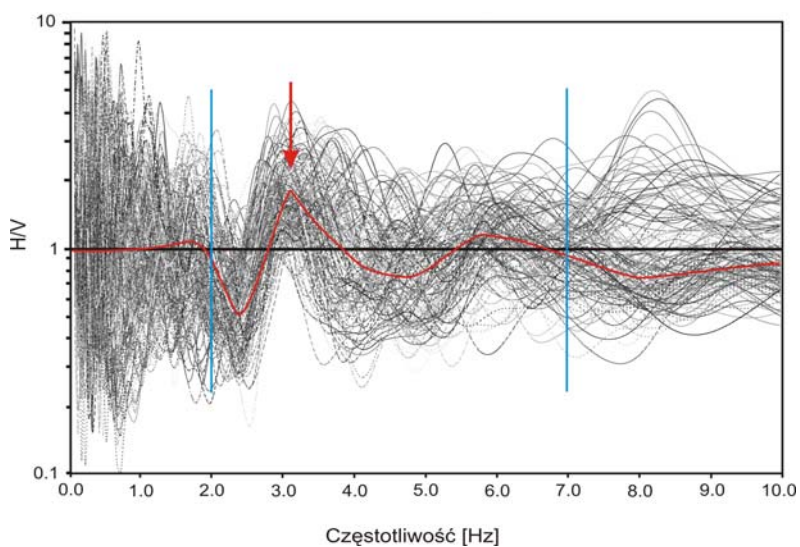
Rys. 3 Stosunki widm rejestracji akcelerometrycznych dla stanowiska S2.
Fig. 3 Spectral ratios of strong ground motions for S2 station.



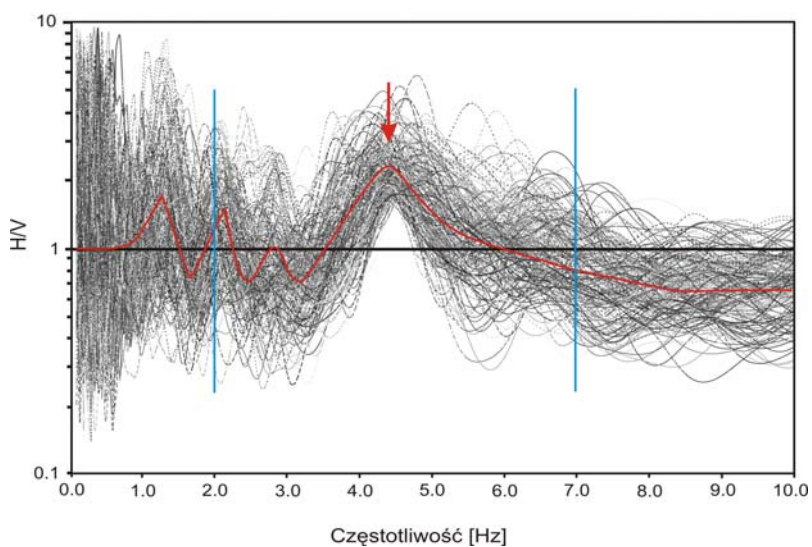
Rys. 4 Stosunki widm rejestracji akcelerometrycznych dla stanowiska S3.
Fig. 4 Spectral ratios of strong ground motions for S3 station.



Rys. 5 Stosunki widm rejestracji akcelerometrycznych dla stanowiska S4.
Fig. 5 Spectral ratios of strong ground motions for S4 station.



Rys. 6 Stosunki widm rejestracji akcelerometrycznych dla stanowiska S5.
Fig. 6 Spectral ratios of strong ground motions for S5 station.



Rys. 7 Stosunki widm rejestracji akcelerometrycznych dla stanowiska S6.
Fig. 7 Spectral ratios of strong ground motions for S6 station.

Analizując poszczególne zależności wielkości amplifikacji względem częstotliwości określono, iż dla stanowiska:

- ❑ S1 obserwuje się więcej niż jeden główny pik, co może wskazywać na złożoną budowę geologiczną. Wielkość amplifikacji dla tego stanowiska określono na poziomie 2.1 w oparciu o pik zlokalizowany w okolicach częstotliwości 2.6 Hz. Drugi mniejszy pik obserwuje się przy częstotliwości 3.9 Hz, jego wielkość równa jest 1.8.
- ❑ S2 również obserwuje się dwa piki. Poziom amplifikacji dla tego miejsca pomiarowego wynosi około 2.6 a częstotliwość rezonansowa 4.2 Hz. Maksimum drugiego piku wynosi 2.1 i znajduje się w okolicach częstotliwości 2.6 Hz.
- ❑ S3 maksimum dominującego pik znajduje się przy częstotliwości 2.65 Hz. Wielkość amplifikacji drgań określono w tym przypadku na poziomie 2.0.
- ❑ S4 obserwuje się czterokrotną amplifikację, co odpowiada maksimum piku zlokalizowanego przy częstotliwości 4.0 Hz.
- ❑ S5 określono wielkość amplifikacji drgań na poziomie 1.9 natomiast częstotliwość rezonansową warstwy przypowierzchniowej na około 3.1 Hz.
- ❑ S6 wielkość dominującego piku amplifikacji wskazują na wzmocnienia drgań na poziomie 2.2 oraz na częstotliwość rezonansową równą 4.4 Hz.

Otrzymane wyniki analizy metodą relacji tłumienia oraz metodą HVSR porównano ze sobą celem korelacji otrzymanych wielkości amplifikacji drgań. Wyniki korelacji przedstawia tabela 3.

Tab. 3 Porównanie względnych współczynników amplifikacji.

Tab. 3 Comparison the relative amplification factor based on different methods.

Lp.	Stanowisko pomiarowe	Względne współczynniki amplifikacji drgań określone za pomocą:	
		Metoda HVSR	Relacji tłumienia
1.	S ₁	1.000	1.000
2.	S ₂	1.238	1.107
3.	S ₃	0.952	0.893
4.	S ₄	1.905	1.777
5.	S ₅	0.905	0.981
6.	S ₆	1.048	0.991

Wyniki korelacji pokazują zgodność, co do przeprowadzonej analizy. Ponadto można przyjąć, iż wyniki uzyskane za pomocą relacji tłumienia są bardziej wiarygodne. Założenie takie można przyjąć za prawdziwe gdyż w wypadku stanowisk S1 oraz S2 na wykresach zależności H/V obserwuje się dwa główne piki, co wskazuje na skomplikowaną budowę geologiczną. W takim wypadku niejednokrotnie metoda HVSR daje niepełny rzeczywisty obraz amplifikacji drgań. W związku z tym wyniki analizy z wykorzystaniem relacji tłumienia wskazują na lepsze dopasowanie rzeczywistego przebiegu zjawiska.

Wnioski

- 1) Estymacja wielkości amplifikacji drgań z wykorzystaniem relacji tłumienia dała wiarygodne rezultaty.
- 2) Korelacja wyników analizy amplifikacji drgań uzyskanych z relacji tłumienia oraz z metody HVSR wskazuje na lepsze dopasowanie względem rzeczywistości relacji tłumienia. Wyniki metody HVSR w przypadku skomplikowanej budowy geologicznej są niedoszacowane.
- 3) Zmienność współczynników amplifikacji drgań wskazuje na dużą różnorodność budowy geologicznej w rejonie Niecki Bytomskiej.

Literatura

- [1] Markowski, E., Kornowski, J. a Zuberek, W.M. (2002): Podsumowanie i analiza wyników powierzchniowych obserwacji przyspieszeń pochodzących od wstrząsów górniczych z zakładów górniczych zrzeszonych w Bytomskiej Spółce Węglowej S.A. za okres 1998-2000. Sosnowiec.
- [2] Nakamura, Y. (2000): Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. Proceedings 12WCEE.
- [3] Olszewska, D., Lasocki S. (2003): Zastosowanie metody HVSR do oceny lokalnego współczynnika wzmocnienia drgań wzbudzonych wstrząsami górniczymi. Warsztaty Górnicze "Zagrożenia naturalne w górnictwie". Kraków, 255-267.
- [4] Olszewska, D., Lasocki, S. (2006): Relacja tłumienia wartości szczytowej przyspieszenia drgań gruntu z uwzględnieniem amplifikacji dla wybranych rejonów obszaru LGOM. Warsztaty Górnicze 2006 z cyklu „Zagrożenia naturalne w górnictwie”, 12-14 czerwca 2006, 293-307.
- [5] Tsuboi, S., Saito, M., Ishihara, Y. (2001): Verification of horizontal-to-vertical spectral-ratio technique for estimation of site response using borehole seismographs. Bull. Seismol. Soc. Am. 91, 499–510.

Vojtech GAJDOŠ¹, Kamil ROZIMANT², Andrej DAO³

GEOELEKTRICKÁ DOKUMENTÁCIA SYPANEJ HRÁDZE
GEOELECTRIC DOCUMENTATION OF GRITED DAM

Abstract

In paper is discussed of possibilities and limitation of geoelectric documentation of grited dam. Those is presented on characterisation one of dam and time changes of resistivity at other dam.

Key words: grited dam, resistivity measurement

Úvod

Sypané hrádze sú jedným z častých stavebných prvkov hydrotechnických, ale aj dopravných stavieb. Svojou prítomnosťou sú súčasne krajinotvorným prvkom a tým sa stávajú aj súčasťou prírodných a antropogénnych nebezpečí ohrozujúcich prírodu a život ľudí v dosahu ich pôsobenia. Je preto aktuálnou úlohou hľadať a rozvíjať metódy a spôsoby hodnotenia miery nebezpečia, ktoré sypané hrádze predstavujú a posudzovania rizika realizácie ich poškodenia a havárie. Jedným z významných prostriedkov poznania stavu a vývoja telesa hrádze ako umelého sedimentu sú geofyzikálne metódy a informácie ktoré poskytujú.

Využívanie geofyzikálnych informácií v problematike sypaných hrádzi je dlhodobá záležitosť. Sú to hlavne geoelektrické metódy, seizmika a karotáž, ktoré sa najviac pre tieto účely využívajú. Pomocou nich je možné určiť vnútornú štruktúru telesa hrádze a lokalizovať anomálne miesta z hľadiska jej stability, vyšetriť stav naviazania hrádze na intaktné horninové prostredie a stav kontaktu telesa hrádze s konštrukciou výpustného objektu, stanoviť priebeh hladiny podzemnej vody v telese hrádze a sledovať jej pohyb v čase, sledovať zmeny uvedených charakteristík hrádze v priestore a čase. V ostatnom čase inovácie v spomínaných metódach a tým aj nárast informačnej hodnoty geofyzikálnych informácií si vyžadujú adaptovať a systematicky rozvíjať stav a metodické prostriedky geofyzikálnej charakterizácie telesa hrádze a procesov ktoré v nej prebiehajú. Navyše hrádze boli budované podľa starej ČSN, v zmysle ktorej sa seizmická sila chápala ako statická sila avšak dnes pri nových prísnejších kritériách je seizmická sila považovaná za dynamickú silu.

Zostavenie geofyzikálnych charakteristík telesa sypanej hrádze je potrebné aj na pochopenie jeho prejavu v jednotlivých druhoch geofyzikálnych polí a na pochopenie procesov, ktoré tieto polia produkujú. Najviac informácií je možné získať z aplikácie geoelektrických metód. Z nich sú to hlavne odporové metódy a metódy využívajúce zmeny elektrickej vodivosti (napr. georadar), pretože hodnota rezistivity veľmi citlivo reaguje na materiálové zloženie telesa hrádze, na mieru a geometriu pórovitosti a na obsah vody a vlhkosti v telese hrádze. Ďalšou významnou geoelektrickou metódou je

¹ Doc., RNDr., CSc., Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, Slovensko, gajdos@fns.uniba.sk

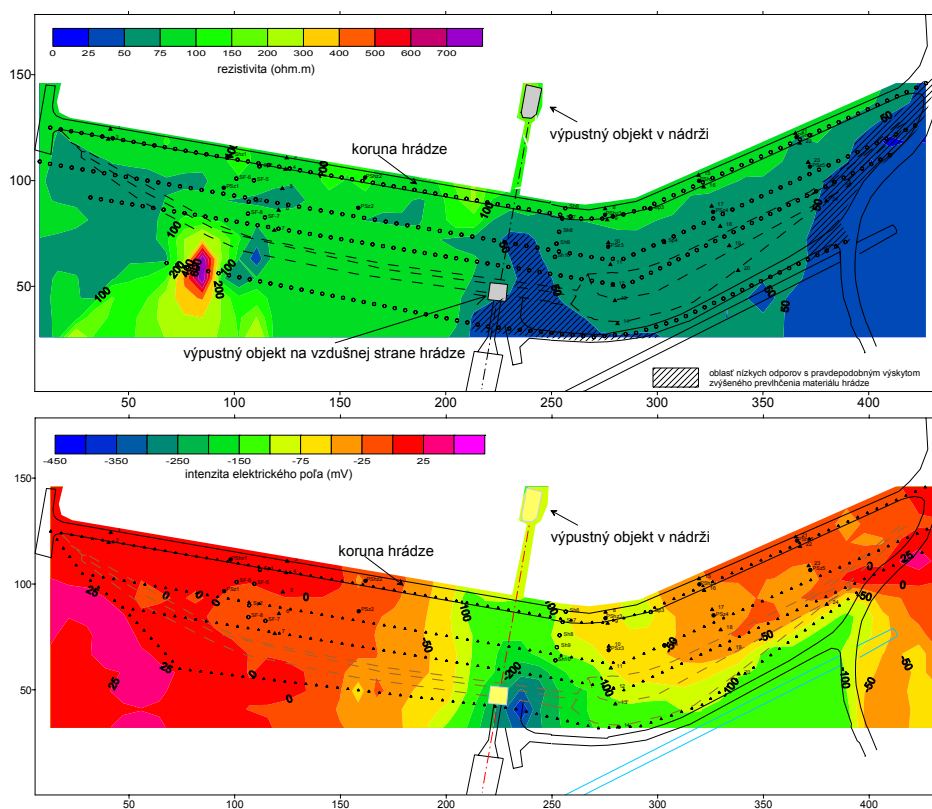
² RNDr., CSc., Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, Slovensko, rozimant@fns.uniba.sk

³ Mgr., Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, Slovensko, dao@fns.uniba.sk

metóda spontánnej polarizácie ktorá umožňuje získať prehľad o pohybe podzemnej vody v telese hrádze. Aktuálnou požiadavkou hodnotenia sypanej hrádze rozpracovanie metodiky posúdenia jej seizmickej stability pre prípad seizmickej udalosti, aplikácia mikrogravimetrického vyšetrenia telesa hrádze pre posúdenie jeho homogenity a zhodnotenia anomálnych miest zistených pri geoelektrickom posúdení, ako aj rádiometrické meranie pre stanovenie vodo a plyno priepustnosti telesa v porovnaní s intaktným horninovým prostredím a tiež na zostavenie doplnkovej informácie k predošlým geofyzikálnym meraniam hodnotiacim stav tektonickej poruchy v prípade, že je táto prítomná na dne údolia v ktorom je hrádza postavená. To sa týka aj bočných hrádzi v miestach, kde prechádzajú naprieč tektonickými poruchami a kde je potrebné zhodnotiť nebezpečie neotektonickej aktivity na stabilitu hrádze a posúdiť seizmickú stabilitu hrádzi.

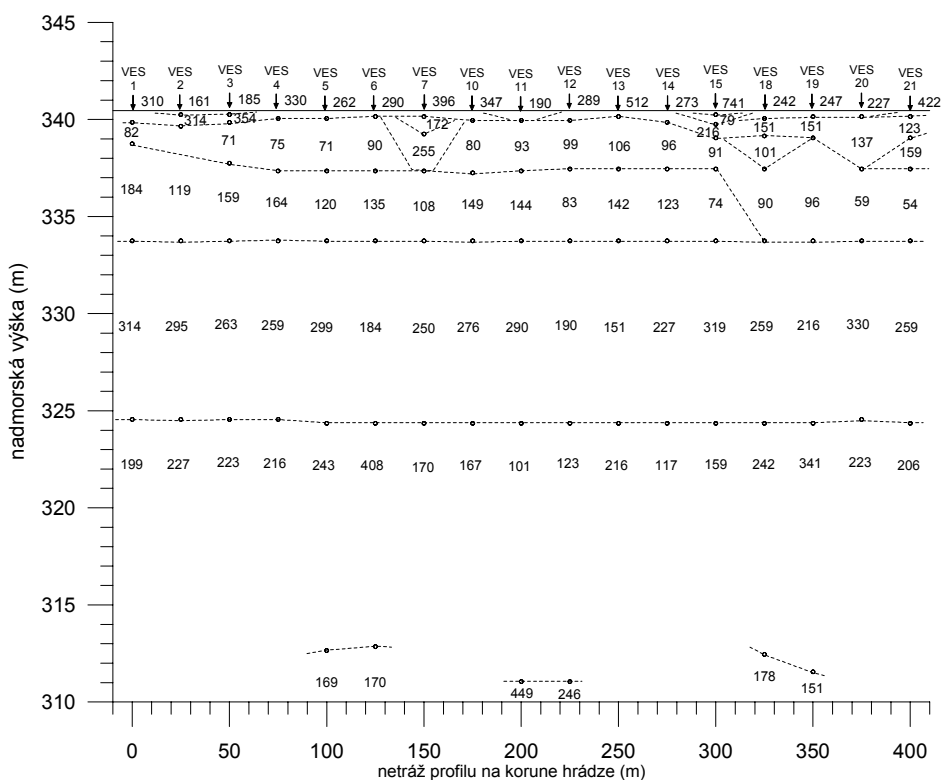
Geoelektrické charakteristiky sypanej hrádze

Pri vyšetrovaní telesa hrádze je potrebné zhodnotiť homogenitu uloženého materiálu (zmeny jeho zloženia, zmeny v jeho zhutnení) a preferované cesty pohybu podzemnej vody cez teleso hrádze. Pre uvedené potreby sa bežne používajú odporové metódy a metóda spontánnej polarizácie.



Obr.1 Mapa rezistivity (zostavená na základe výsledkov merania metódou DEMP) a mapa prírodného stacionárneho elektrického poľa (zostavená na základe výsledkov merania metódou SP)

Na obr.1 sú zobrazené výsledky merania metódami DEMP (dipólové elektromagnetické profilovanie) a SP (spontánna polarizácia) na vzdušnej strane vodnej nádrže, ktorá vznikla prehradením údolia sypanou hrádzou. Z mapy plošných zmien rezistivity je zrejmé, že materiál hrádze naľavo od výpustného objektu má v priemere vyššie hodnoty rezistivity ako časť hrádze napravo od výpustného objektu. Príčinou tohto stavu môže byť vyšší podiel ílovej zložky v materiáli napravo od výpustného objektu, alebo menší stupeň zhutnenia pravostrannej polovice hrádze. Druhá príčina je málo pravdepodobná, pretože hrádza sa zrejme zhutňovala pojazdom po celej jej dĺžke. Druhý záver, ktorý z analýzy mapy zmien rezistivity vyplýva sú jej nízke hodnoty v okolí výpustného objektu a v mieste pravého naviazania hrádze na intaktné horninové prostredie. To by mohlo svedčiť o zvýšenom obsahu podzemnej vody v tomto priestore. Uvedené otázky vyplývajúce z interpretácie výsledkov merania metódou DEMP do určitej miery pomáha vysvetliť analýza mapy elektrického poľa zostavená z výsledkov meraní metódou SP. Z analýzy mapy vyplýva, že v celej ploche vzdušnej strany hrádze sa neprejavuje prítomnosť preferovaných ciest prúdenia podzemnej vody s výnimkou výpustného objektu, kde toto prúdenie dosahuje výrazné hodnoty. Časť hodnôt tejto anomálnej zóny je tvorená riadeným prúdením, časť však môže byť spôsobená anomálnym prúdením cez materiál hrádze a toto by malo byť monitorované v piezometroch vybudovaných napravo od výpustného objektu. V miestach pravého naviazania hrádze na intaktné horninové prostredie zvýšenie prúdenia podzemnej vody v mape elektrického poľa nebolo pozorované.



Obr.2 Vertikálny rez zostavený z výsledkov interpretácie meraní metódou VES.

Okrem uvedených dvoch metód boli na korune hrádze vykonané aj merania metódou VES. Na obr.2 sú uvedené výsledky kvantitatívnej interpretácie výsledkov týchto meraní vo forme vertikálneho rezu. Z rezu je zrejmé, že štruktúra hrádze odpovedá bežnému konštrukčnému prevedeniu s horizontálnymi vrstvami zapracovávaného materiálu. Vrstva medzi rozhraniami vo výške 324,5 a 334 m má zväčša vyššie hodnoty rezistivity ako pod ňou ležiaca vrstva a zrejme predstavuje zhutnenú bázu hrádze. Vrstva nad rozhraním vo výške 334 m obsahuje väčší podiel ílovej zložky, pričom tento podiel na pravej strane hrádze stúpa (čo je v zhode s výsledkami merania metódou DEMP). Hodnoty rezistivity v rámci jednotlivých vrstiev kolíšu, čo je možné interpretovať ako premenlivú zrnitosnú skladbu materiálu, ktorý sa do hrádze ukladal.

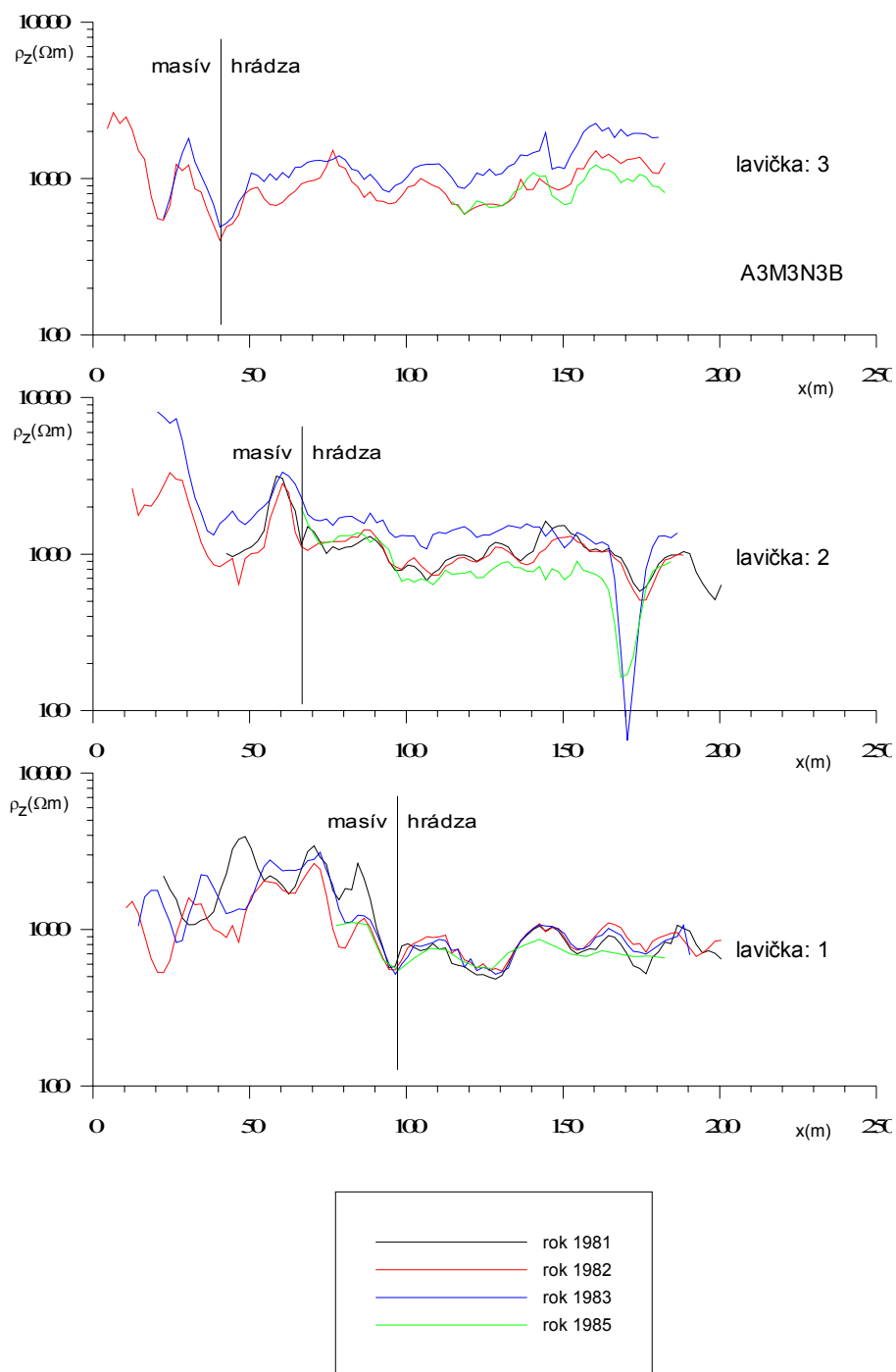
Na obr.3 sú uvedené výsledky opakovaných meraní metódou odporového profilovania na ďalšej sypanej hrádzi. Merania vzhľadom na rozsiahlosť hrádze boli robené na jednej jej časti v blízkosti naviazania na skalný masív (vápence). Z analýzy opakovaných meraní (robených s ročným odstupom) vyplýva, že charakter líniových zmien hodnôt rezistivity sa zachováva, zmeny nastávajú hlavne v posúvaní úrovne nameraných priebehov hodnôt rezistivity medzi jednotlivými rokmi. Tieto zmeny sú spôsobené obsahom zrážkovej vody v materiály hrádze a pri konkrétnom meraní odrážajú intenzitu zrážok v období bezprostredne predchádzajúcom realizáciu merania.

Z grafov na obr.3 tiež vyplýva, že materiálová skladba (charakter zrnitosti) je stabilná (k vyplavovaniu jemnozrnných zložiek nedochádza. Keďže na lavičkách 2 a 3 je hladina podzemnej vody hlbšie, namerané krivky charakterizujú nenasýtenú zónu a preto posun kriviek je výraznejší. Lavička 1 je v dolnej časti hrádze, kde je hladina podzemnej vody blízko povrchu, takže ani zmeny obsahu vody v pórovom priestore tu kolíšu len v malom rozsahu čo sa prejavuje aj na zmenách úrovne hodnôt rezistivity v jednotlivých rokoch.

Záver

Z prezentovaných príkladov je možné vyvodiť, že výsledky odporových meraní pomerne presne charakterizujú materiál sypanej hrádze a jeho zmeny v telese hrádze. Tento materiálový charakter sa v čase pomerne dobre zachováva (s výnimkou miest s vyplavovaním jemnozrnných zložiek) a tak pozorované zmeny pri opakovaných meraniach sú spôsobené prakticky výlučne zmenou obsahu vlhkosti v nenasýtenej zóne nad hladinou podzemnej vody a výsledok konkrétneho pozorovania závisí na zrážkovej aktivite bezprostredne pred realizáciou merania. Z opakovaných meraní je možné posúdiť rozptyl hodnôt rezistivity a tak posúdiť stanovištné pomery z hľadiska retenčných vlastností nenasýtenej zóny. Žiadaným doplnkom rezistivitných meraní sú merania metódou spontánnej polarizácie, ktoré dovoľujú vysvetliť povahu niektorých anomálií hodnôt rezistivity a zhodnotiť preferované cesty prúdenia podzemnej vody v telese hrádze a po opakovaných meraniach posúdiť vývoj zmien intenzity prúdenia v týchto miestach, či lokalizovať nové.

Príspevok vznikol s podporou grantovej agentúry VEGA prostredníctvom projektov č. 1/4041/07 a 1/3073/06 a tiež projektu č. APVV-0158-06, podporovaného agentúrou APVV.



Obr.3 Výsledky opakovaného merania metódou odporového profilovania.

Pavel HOROVČÁK¹, Peter CIRBES², Patrik FLEGNER³

**VYUŽITIE SERVISNE ORIENTOANEJ ARCHITEKTÚRY PRI VÝBERE
VLASTNOSTÍ MINERÁLOV**

**SERVICE ORIENTED ARCHITECTURE APPLICATION ON MINERALS
PROPERTIES SELECTION**

Abstract

Continually amplification of internet technologies development and implementation brings possibility of productive, efficient, rich useful and interactive web applications creation. Within the latest approaches lies a SOA (Service Oriented Architecture), WS (Web Service) and AJAX (Asynchronous JavaScript And XML). The paper illustrates advantages of AJAX and WS integration on application example for interactive selection of one or more minerals according to actual chosen selection criteria. The application makes use of two web services on the server side and one web service plus Ajax technology on the client's side.

Key words: SOA, Web Services, Ajax, minerals, integration, PHP

Úvod

SOA je v súčasnosti veľmi frekventovaný pojem podporovaný asi všetkými významnými vývojovými firmami a vysvetľovaný na obrovskom množstve stránok, článkov, kníh, príspevkov a definícií. Jednou z možností realizácie služby v architektúre SOA je webová služba – WS (Samtani, 2002). WS umožňuje interoperabilitu medzi aplikáciami, ktoré pracujú na rôznych platformách. Sú špecifikované pomocou WSDL (Web Services Description Language) a výmena správ medzi klientom a serverom služby sa uskutočňuje s využitím SOAP (Simple Object Access Protocol). Ajax predstavuje kompozíciu štandardných technológií JavaScript, XML, CSS (Cascading Style Sheets), DOM (Document Object Model) a XSLT (Extensible Stylesheet Language Transformation). Integrácia týchto technológií znásobuje ich prednosti. V príspevku je tento prístup ilustrovaný na príklade výberu vlastností minerálov v aplikácii zostavenej v zmysle zásad architektúry orientovanej na služby. Aplikácia využíva prepojenie technológie Ajaxu a webových služieb.

SOA

Služby ako opakovane použiteľné elementy sú pokladané za softvérové stavebnicové prvky, ktoré vykonávajú špecifické funkcie. Podľa (Exforsys, 2008) neexistuje univerzálne odsúhlasená definícia SOA okrem toho, že je to architektúra, ktorá je doslova založená na orientácii na služby ako na jej hlavnom konštrukčnom. SOA v mnohých ohľadoch predstavuje evolúciu architektúry klient – server, pričom dochádza vlastne k distribúcii aplikačnej logiky na služby (na rozdiel od monolitického

¹ Doc. Ing. CSc., Technická univerzita v Košiciach, FBERG, Ústav riadenia a informatizácie výrobných procesov, B. Němcovej 3, 040 00 Košice, Slovenská republika, tel. (421 55) 602 5176, e-mail: Pavel.Horovcak@tuke.sk

² Ing., TU, FBERG, ÚRaIVP, 040 00 Košice, Slovenská republika, (421 55) 602 5174, Peter.Cirbes@tuke.sk

³ Ing. PhD., TU, FBERG, ÚRaIVP, 040 00 Košice, Slovenská republika, (421 55) 602 5174, Patrik.Flegner@tuke.sk

aplikačného servera v klient-server architektúre). Systém založený na SOA môže jasne a jednoducho inkorporovať služby bežiacie na viacerých rôznych softvérových platformách. SOA berie do úvahy požiadavky poskytovateľov ako aj používateľov služby. Poskytovateľ služby ponúka jej funkcionality vo forme interfejsu k vybaveniu danej služby. Používateľ služby potom využíva toto vybavenie. Používateľom môže byť aplikácia alebo dokonca poskytovateľ inej služby. Základná vlastnosť kvalitných služieb je možnosť ich zdieľania, čo šetrí zdroje pri ich vývoji a zjednodušuje údržbu.

Popri nesporných pozitívach SOA sú známe aj oblasti a situácie, ktoré nie sú vhodné pre aplikácie SOA. Nasadenie servisne orientovanej architektúry sa neodporúča (Labanc, 2008) napríklad v týchto prípadoch: a) keď samostatné nedistribúované aplikácie nevyžadujú integráciu s inými aplikáciami či komponentami, b) keď homogénne aplikačné prostredie je postavené na jednotnej architektúre (napríklad J2EE), kde nie je potrebné zavádzať komunikáciu pomocou XML cez http, lebo existujúci protokol Java RMI je vhodnejší a preto postačujúci, c) keď ide o krátkodobo používané prototypy, demá alebo utility bez potreby rozšírenia alebo opätovného použitia v budúcnosti, d) keď aplikácie s grafickým používateľským rozhraním vyžadujú rýchlu reakciu v krátkych intervaloch.

Medzi najčastejšie opakované chyby pri zavádzaní SOA podľa spoločnosti Gartner (Pezzini, 2007) patrí napríklad a) nasadenie SOA pred dokončením výkonných celkov, čo vedie k veľkému množstvu služieb (servisov) nekorešpondujúcich s obchodným modelom a vynucujúcich si časté zmeny špecifikácie, b) opomenutie dátovej vrstvy môže mať za následok nekonzistentnosť a problémy s integritou modelu, c) prenechanie konceptu SOA len technickým pracovníkom môže viesť ku sice technologicky kvalitnému, ale obchodné požiadavky nespĺňajúcemu produktu, d) pri používaní komponentov sa stretávame s nedôverou k cudzím (mimo vývojový tím vyvinutým) celkom, dôsledkom čoho je často duplicitná práca a plytvanie zdrojmi, e) prechod na SOA bez predchádzajúceho plánovania a prípravy býva často osudný, f) SOA je rôzne chápaná rôznymi profesiami (programátori, architekti, technickí a výkonní vedúci), z čoho plynú často vážne komunikačné problémy, g) vo firme využívajúcej SOA by malo existovať koordinačné centrum pre spoluprácu jednotlivých služieb, h) centralizácia využitia SOA v celej spoločnosti je často horším riešením ako jeho rozdelenie do oddelení, pobočiek alebo do oblastí využitia, i) je nebezpečné a organizačne nevhodné navrhovať prechod na SOA skôr ako je na to firma pripravená.

Pri aplikácii SOA v praxi je preto vyžadovaný komplexný pohľad na celý systém so všetkými jeho atribútmi – informačnými tokmi, štruktúrou údajov, technickou architektúrou ale predovšetkým podnikovými procesmi.

Webová služba

Webová služba je jednou z možností realizácie služby v architektúre SOA. WS poskytuje štandardný popis svojho rozhrania vo forme WSDL (Web Services Description Language), ktoré umožňuje klientovi službu využívať. Zásadne je tento popis umiestnený na inom serveri ako samotná služba a predstavuje tak akúsi spojnicu (väzbu) medzi poskytovateľom (server) a konzumentom (klient) služby. SOA sa však nerovná iba WS, lebo sice každá WS vyhovuje SOA, ale nie každá služba v rámci SOA musí byť nutne WS. V súčasnosti k základným štandardom WS (XML, SOAP, WSDL, HTTP) pribudli ďalšie rozširujúce normy (napr. WS-ReliableMessaging, WS-Addressing, WS-Notification, WS-Security, WS-Policy, WS-Choreography), ktoré dopĺňujú využitie WS a ďalej rozširujú syntax WSDL.

AJAX

AJAX je webová vývojová technológia (presnejšie povedané skupina technológií – XHTML, CSS, DOM, XML, XSLT, XMLHttpRequest a JavaScript) určená na vytváranie interaktívnych webových aplikácií. Predstavuje ďalší logický krok vo vývoji SOA – architektúry orientovanej na služby. Pomocou Ajaxu môžu používateľské rozhrania cez prehliadač využívať webové služby ako svoj dátový zdroj na ukladanie a obnovovanie informácií (Darie et al, 2006). Dôležitá zložka Ajaxu – objekt XMLHttpRequest (XHR) – je časťou Internet Explorera 5 (od r. 1999) ako ovládací prvok ActiveX. Implementáciou XHR v ďalších prehliadačoch (Mozilla, Safari), jeho zaradením v DOM Level 3 a najmä masívnym využívaním v populárnych aplikáciách (Google Maps, Google Suggest, Gmail atď.) sa stáva XHR prakticky štandardom. Ako prvý použil termín Ajax Jesse James Garrett (z Adaptive Paths) vo februári 2005 v práci Ajax: A new Approach to Web Application (Garret, 2005). Ajax dnes zastrešuje všetky technológie podporujúce asynchrónnu komunikáciu prehliadača so serverom bez nutnosti obnovy aktuálnej stránky.

Aplikácia výberu vlastností minerálov s využitím SOA

Minerál je pre potreby ilustrácie SOA reprezentovaný výberom štyroch jeho charakteristických vlastností –tvrdosť, trieda, kryštalografická sústava a chemický vzorec. Dátový model aplikácie je tvorený jednou tabuľkou s piatimi stĺpcami (pribúda ešte názov) a troma číselníkmi s názvami minerálov, tried a kryštalografických sústav. Funkcie výberu sú definované ako jednoparametrové (názov, tvrdosť, trieda, kryštalografická sústava), dvojpametrové (tvrdosť a trieda, tvrdosť a sústava, trieda a sústava) prípadne trojpametrové (tvrdosť, trieda a sústava). Vybraný minerál alebo skupina minerálov je prezentovaná všetkými vyššie uvedenými vlastnosťami vo zvolenej jazykovej mutácii.

Popis webových služieb využitých v aplikácii

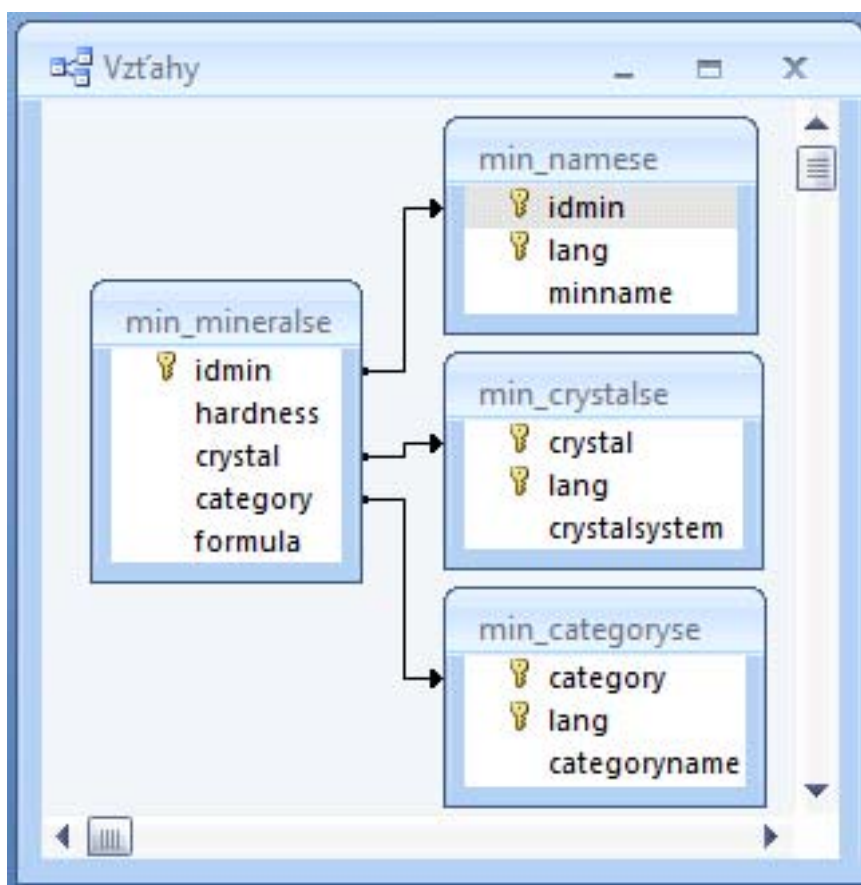
Aplikácia je zostavená s priamym alebo nepriamym využitím troch webových služieb WS1, WS2 a WS3 (podľa Obr. 3), ktoré poskytujú čiastkové funkcie.

Webová služba WS1 (SluzbaTable) je služba určená na realizáciu výberu zadaných položiek databázovej tabuľky. Účel služby je vytvorenie výberového zoznamu vo vstupnom formulári webovej aplikácie aj s možnosťou zadania parametrov pre bližšiu špecifikáciu elementu <select>. Primárne je určená pre výber z tabuliek, primárny kľúč ktorých je tvorený dvoma stĺpcami. Umožňuje ale aj výber z tabuľky s jedným primárnym kľúčom. Služba poskytuje dve funkcie v tvare:

```
array(2) {  
  [0]=> string(72)  
  "string getTable(string $Table, string $Col1, string $Col2, string $Col3)" [1]=>  
  string(120)  
  "string getSelectTable(string $Table, string $Col1, string $Col2, string $Col3,  
  string $Par1, string $Par2, string $Par3)"  
}
```

Funkcia `getTable()` má štyri parametre s významom Table – názov databázovej tabuľky, Col1 (primárny kľúč) a Col2 sú názvy stĺpcov tabuľky, hodnoty ktorých budú vrátené ako dvojice kľúč – hodnota (a použijú sa pri konštrukcii elementu `<select>` pre položky `<option>` v tvare `<option value="kľúč">hodnota</option>`). Stĺpec Col3 udáva druhý z dvojice primárnych kľúčov. V aplikácii je druhý primárny kľúč využitý na určenie jazykovej verzie obsahu tabuľky. V prípade, že tabuľka má len jeden primárny kľúč, zadáva sa hodnota Col3 = 0. Ak je potrebné z tabuľky vybrať iba jeden stĺpec, zadáva sa jeho hodnota pre Col1 aj Col2, pričom je Col3=0.

Funkcia `getSelectTable()` má sedem parametrov. Klientovi vracia kompletne zostavený element `<select>` naplnený hodnotami kľúč – hodnota zo zadanej tabuľky. Význam prvých štyroch je rovnaký ako vo funkcii `getTable()`. Význam ďalších je nasledovný: Par1 – identifikácia elementu id, Par2 – názov funkcie (v JavaScripte) volanej pri výbere (zmene) položky, Par3 – text prvej položky elementu `<select>` bez hodnoty. Výsledok je v tvare `<select id="Par1" onchange="Par2"><option value="">Par3</option><option value="key">value</option>...</select>`.



Obr. 1 Dátový model webovej služby SluzbaMineral

Webová služba WS2 (SluzbaMineral) je služba určená na výber jedného alebo skupiny minerálov podľa zadaných kritérií zo skupiny štyroch databázových tabuliek podľa Obr. 1. Hlavná tabuľka (min_minerale) má pre účely aplikácie iba päť stĺpcov (minerál, tvrdosť, sústava, trieda a vzorec). Dopĺňa ju skupina troch viacjazyčných číselníkov (aktuálne dva jazyky SK a EN) pre názov minerálu, sústavy a triedy. Služba má jednu funkciu getMineral() v tvare:

```
array(1) {
  [0]=> string(99)
  "string getMineral(string $Regime, string $Param1, string $Param2, string
  $Param3, string $Language)"
}
```

Funkcia getMineral() má päť parametrov s významom Regime – režim výberu, Param1, Param2 a Param3 sú parametre výberu, Language – udáva jazykovú verziu výberu. Jednotlivé režimy výberu ilustruje Obr. 2. Služba poskytuje tri jednoparametrové výbery (pre zadanú Tvrdosť, Sústavu a Triedu), tri dvojparametrové výbery (Tvrdosť + Sústava, Tvrdosť + Trieda, Trieda + Sústava) a jeden trojparametrový výber (Tvrdosť + Sústava + Trieda). Pri výbere minerálu (režim 1) na hodnote ostatných troch parametrov nezáleží (nezohľadňujú sa). Pri nulovej hodnote všetkých štyroch parametrov funkcia vracia kompletný výber všetkých položiek tabuľky. Funkcia vracia všetkých päť stĺpcov hlavnej tabuľky pre jeden minerál či viac minerálov vyhovujúcich podmienkam výberu alebo všetky riadky tabuľky (v prípade režimu 0). Ak je výsledkom podmienok výberu prázdna množina, táto skutočnosť je indikovaná v každom stĺpci návratovej štruktúry textom Prázdny výber! (Empty set!). Funkcia využíva ako klient ďalšiu webovú službu (SluzbaChemForm) na správnu interpretáciu chemického vzorca minerálu.

Webová služba WS3 (SluzbaChemForm) je služba určená na zobrazenie chemických vzorcov. Služba realizuje prevod chemického vzorca zo štandardného ASCII tvaru do HTML formátu, ktorý zobrazuje počet atómov alebo mocenstvo iónov vo forme dolných alebo horných indexov (elementami <sup> a <sub>). Algoritmické riešenie prevodu štandardného zápisu vzorca určuje typ príslušného indexu. Služba poskytuje dve funkcie v tvare:

```
array(2) {
  [0]=> string(35)
  "string getChemForm(string $Formula)"
  [1]=> string(38)
  "string getChemFormStr(string $Formula)"
}
```

Funkcia getChemForm() má jeden parameter – chemický vzorec. Po uskutočnení prevodu funkcia vracia výsledok klientovi v štandardnom XML tvare. Pre zaradenie výsledku do HTML kódu na strane klienta je vhodné v prostredí PHP využiť štandardnú funkciu html_entity_decode.

Funkcia `getChemFormStr()` má rovnako jeden parameter – chemický vzorec. Od predchádzajúcej funkcie sa líši tým, že výsledok vracia klientovi nie v tvare XML, ale vo forme reťazca. V niektorých prípadoch sa tým môže zjednodušiť spracovanie na strane klienta.

Štruktúra aplikácie

Aplikácia je zostavená s využitím princípov servisne orientovanej architektúry. Štruktúra aplikácie je tvorená klientskou a serverovou stranou. Obsahom serverovej strany je skupina webových služieb, volanie ktorých uskutočňuje klientska strana prostredníctvom ich interfejsových súborov – súborov WSDL. Klientska strana aplikácie (na Obr. 3 označená symbolom HTML) pozostáva z dvoch častí – statickej a dynamickej. Statická časť je tvorená štyrmi výberovými zoznamami, pomocou ktorých používateľ formuluje požadované kritériá pre výber jedného alebo skupiny minerálov. Tieto zoznamy (elementy `<select>`) sú vytvorené webovou službou WS1 so zohľadnením nastaveného jazyka. Vytvorenie výberových zoznamov je realizované na základe odoslania zvoleného jazyka (tlačidlo Jazyk/Language). Zdrojový kód ilustruje Obr. 4. Dynamická časť je realizovaná vzájomnou spoluprácou HTML (výberové kritérium), JavaScriptu a spojovacieho skriptu (Proxy). Spojovací skript (cez interfejsový súbor WSDL2) pripája webovú službu WS2. Služba WS2 dodáva na základe výberových kritérií požadované údaje o mineráloch. Celá táto funkcionálna je na strane HTML prezentovaná pomocou elementu `<div id="myDivElement">`.

Funkcie aplikácie

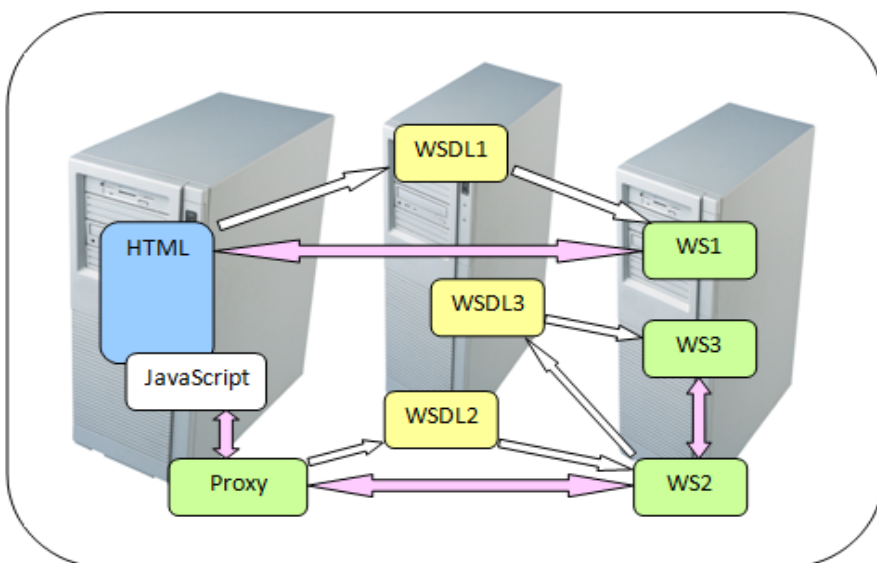
Aplikácia ponúka používateľovi jeden výberový zoznam na voľbu jazyka (teraz dva jazyky – slovenčina a angličtina). Po výbere jazyka sú k dispozícii štyri výberové zoznamy pre názov a ďalšie tri parametre minerálov (tvrdosť, kryštalografická sústava, trieda). Po výbere názvu minerálu sa zobrazia zodpovedajúce vlastnosti daného minerálu (bez ohľadu na hodnoty ostatných troch parametrov). Po výbere jedného, dvoch alebo troch parametrov minerálov sa zobrazia vlastnosti zvolenej množiny minerálov. V prípade, ak je táto množina prázdna, zobrazí sa text “Prázdny výber!”. Vzhľad obrazovky aplikácie pre konkrétny výber parametrov ilustruje Obr. 5.

Aplikácia umožňuje jednoduché rozširovanie možnosti voľby jazyka. Pridanie ďalšieho jazyka (jazykovej mutácie) do aplikácie vyžaduje niekoľko krokov. Na serverovej strane je to doplnenie troch jazykovo závislých databázových tabuliek (`min_name`, `min_crystal`, `min_category`) a doplnenie textu o prázdnom výbere vo webovej službe WS2 (premenná `$emp`). Na klientskej strane je to doplnenie názvu jazyka vo výberovom zozname v HTML (ďalšia vetva `<option>`) a odpovedajúcich textov v premenných `$head3`, `$pros` a `$h` (pozri Obr. 4) a doplnenie súboru JavaScript o hlavičku výstupnej tabuľky (premenná `var html` pre príslušný jazyk).

Konštrukcia aplikácie ilustruje súbežné využitie Ajaxu a webových služieb. Získavame tak možnosť interaktívnej práce s rôznymi zdrojmi údajov, získavaných prostredníctvom webových služieb. Tento prístup tak ilustruje možnosť praktického využívania servisne orientovanej architektúry SOA.

Služba	Režim	Par1	Par2	
Všetky hodnoty tabuľky	0	0	0	0
Minerál	1	x	y	z
Tvrdosť	2	x	0	0
Sústava	3	x	0	0
Trieda	4	x	0	0
Tvrdosť + Sústava	5	x	y	0
Tvrdosť + Trieda	6	x	y	0
Trieda + Sústava	7	x	y	0
Tvrdosť + Sústava + Trieda	8	x	y	z

Obr. 1 Funkcie služby SluzbaMineral



Obr. 2 Štruktúra servisne orientovanej aplikácie

[illegible]

```

    html_entity_decode($Service-
>getSelectTable("min_categoryse","category",
"categoryname",$lang,"param3","process();",$pros))."</td></tr><
/table>");
    }
    ?>
    <div id="myDivElement">    </div>
</body>

```

Obr. 3 Zdrojový kód klientskej časti aplikácie

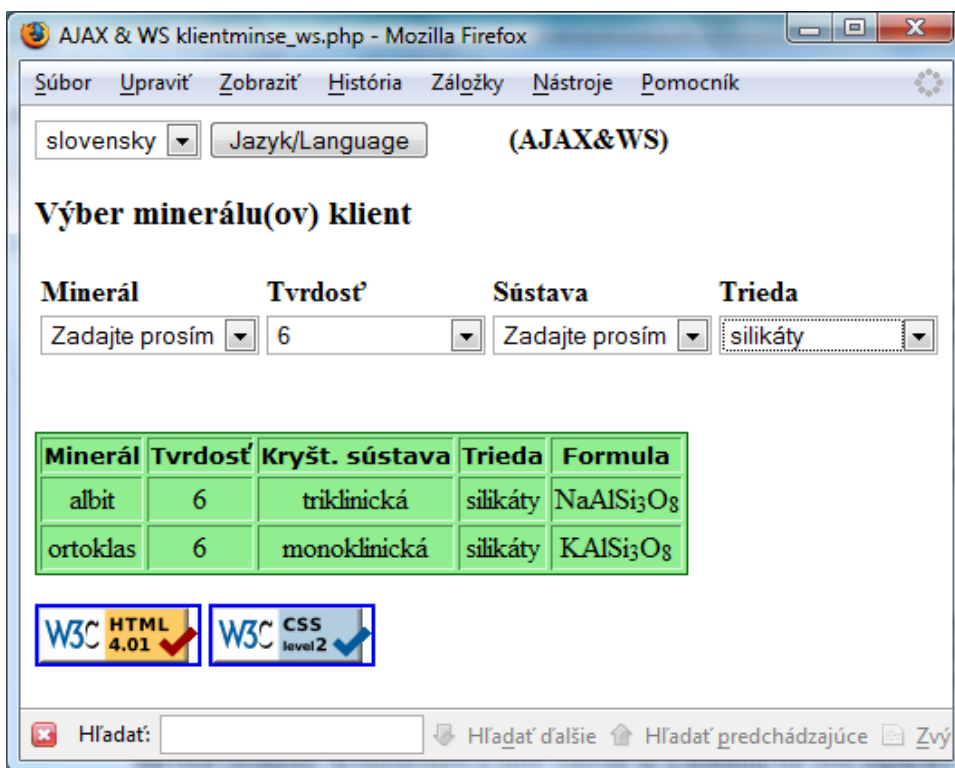
Záver

Uplatňovanie prístupov a postupov SOA prináša celý rad benefitov a výhod tak pre firmu ako aj pre zostavovateľa aplikácie. Tieto výhody sa uplatňujú v jednej z nasledujúcich kategórií: štandardizované interfejsy a dátové modely, opakované používanie a spätelnosť.

Servisne orientovaná architektúra formou konsolidácie a opakovaným používaním aplikačných služieb umožňuje prebudovanie podnikovej infraštruktúry, odstránenie redundancií a zrýchlenie jednotlivých projektov. Umožňuje tiež jednoduchšie a rýchlejšie prispôbovanie sa zmene potrieb podniku a tiež rýchlejšiu a efektívnejšiu realizáciu nových projektov.

Spojenie asynchrónnej komunikácie medzi klientom a serverom s využívaním webových služieb prináša viaceré nové možnosti na jednej strane do výstavby aplikácie, predovšetkým rôznych vstupných obrazoviek formulárového typu, na druhej strane vedie k dekompozícii často zložitých serverových aplikácií na niekoľko jednoduchších, relatívne samostatných funkcií – služieb. Nezanedbateľnú úlohu má celý rad ďalších, na prvý pohľad neviditeľných aspektov takéhoto prístupu, medzi ktoré patrí významná redukcia množstva údajov prenášaných po sieti, z toho vyplývajúce možné zrýchlenie činnosti aplikácie (podľa niektorých výsledkov (Ahmet Fatih et al, 2007) až asi o 33%), relatívna samostatnosť “interfejsových” súborov WSDL a aj určitá zmena štandardných webových postupov návrhu a tvorby aplikácie. V mnohých prípadoch je možné dopĺňať komponenty WS, Ajaxu alebo ich kombinácie do už existujúcich aplikácií alebo projektov (inkrementálny prístup). Podstatnou výhodou je tiež možnosť prístupu k webovým službám z rôznych jazykov, vývojových prostredí aj operačných systémov.

Príspevok bol riešený v rámci riešenia projektov VEGA 1/4194 /07 (L), VEGA 1/0194/08 (S) a VEGA 1/0365/08 (T).



Obr. 4 Ukážka výstupnej obrazovky aplikácie

Literatúra

- [1] Ahmed Fatih, M. and Geoffrey, F. (2007): AJAX Integration Approach for Collaborative Calendar-Server Web Services [online] 30. 4. 2007 [cited 26.3.2008] available from <http://grids.ucsf.edu/ptliupages/publications/AJAXCCS_cameraready.pdf>
- [2] Darie, C., Brinzarea, B., Cherecheș-Toșa, F. a Bucica, M. (2006): AJAX a PHP tvoříme interaktivní webové aplikace profesionálně. Zoner software s.r.o Brno 2006, 320 str.
- [3] Dugáček, D. a Horovčák, P. (2008): Webová služba pre zobrazenie chemických vzorcov. In Ikaros Elektronický časopis o informační společnosti. [online]. 2008, roč. 12, č. 5 [cit. 2008-05-05]. dostupné z: <<http://www.ikaros.cz/node/4710>>. URN-NBN:cz-ik4710.
- [4] Exforsys (2008): SOA Service Oriented Architecture [online] © 2008 Exforsys.com [cited 26.3.2008] dostupné z <<http://www.exforsys.com/tutorials/soa.html>>
- [5] Garret, J.J. (2005): Ajax: A New Approach to Web Applications, [online] february 18, 2005 [cited 7.04.2008] dostupné z <<http://adaptivepath.com/ideas/essays/archives/000385.php>>

- [6] Champion, M., Ferris, Ch., Newcomer, E., Orchard, D. (2002): Web Services Architecture. W3C Working Draft 14, [online] November 2002 [cited 7.4.2008] dostupné z <<http://www.w3.org/TR/2002/WD-ws-arch-20021114/>>
- [7] Labanc, M. (2008): Tienisté stránky SOA. In: Infoware č. 3 2008, str. 14. Digital Visions s.r.o., Bratislava.
- [8] Pezzini, M. (2007): SOA's deadly dozen. In Computing, 22 Nov 2007 [online] [cited 26.3.2008] dostupné z <<http://www.computing.co.uk/computing/analysis/2203880/soa-deadly-dozen-3648889>>
- [9] Samtani, G. (2002): Top five Web service myths. Builder – Architect - WServices [online] Aug. 2002 [cited 7.4.2008] dostupné z <<http://builder.com.com/article.jhtml;jsessionid=4VPOR43OSAE21TQQACQSFFA?id=u00320020820GXS01.htm&page=2>>
- [10] Smutný, P. (2006): The Implementation Of Advanced Technologies In Intranet And Internet Web Portals. In: Proceedings of 7th International Carpathian Control Conference. Czech Republic: Rožnov p. Radhoštěm. May 29-31, 529-532.
- [11] Štumpf, J. (2007): Proč a jak zavádět architekturu SOA. In: IT Systems, CCB s.r.o Brno, ročník 9, č.10, 30 – 32; č. 9, 12 – 15; č. 9, 46 – 48.
- [12] Mustacoglu, A. F. and Fox, G. (2007): AJAX Integration Approach for Collaborative Calendar-Server Web Services [online] 30. 4. 2007 [cited 26.3.2008] available from <http://grids.ucs.indiana.edu/ptliupages/publications/AJAXCCS_cameraready.pdf>
- [13] Darie, Cristian – BRINZAREA, Bogdan – CHERECHEȘ-TOȘA, Filip – BUCICA, Mihai 2006. AJAX a PHP tvoříme interaktivní webové aplikace profesionálně. Zoner software s.r.o Brno 2006, ISBN 80-86815-47-1, 320 str.
- [14] Dugáček, Dušan - HOROVČÁK, Pavel 2008. Webová služba pre zobrazenie chemických vzorcov. In Ikaros Elektronický časopis o informační společnosti. [online]. 2008, roč. 12, č. 5 [cit. 2008-05-05]. dostupné z: <<http://www.ikaros.cz/node/4710>>. URN-NBN:cz-ik4710. ISSN 1212-5075.
- [15] EXFORSYS 2008. SOA Service Oriented Architecture [online] © 2008 Exforsys.com [cited 26.3.2008] dostupné z <<http://www.exforsys.com/tutorials/soa.html>>
- [16] Garret, Jesse James. 2005. Ajax: A New Approach to Web Applications, [online] february 18, 2005 [cited 7.04.2008] dostupné z <<http://adaptivepath.com/ideas/essays/archives/000385.php>>
- [17] CHampion, Michael, - FERRIS, Chris - NEWCOMER, Eric - ORCHARD, David 2002. Web Services Architecture. W3C Working Draft 14, [online] November 2002 [cited 7.4.2008] dostupné z <<http://www.w3.org/TR/2002/WD-ws-arch-20021114/>>
- [18] Labanc, Martin (2008): Tienisté stránky SOA. In Infoware č. 3 2008, str. 14. Digital Visions s.r.o., Bratislava, ISSN 1335-4787
- [19] Pezzini, Massimo (2007): SOA's deadly dozen. In Computing, 22 Nov 2007 [online] [cited 26.3.2008] dostupné z <<http://www.computing.co.uk/computing/analysis/2203880/soa-deadly-dozen-3648889>>
- [20] Samtani, Gunjan (2002): Top five Web service myths. Builder – Architect - WServices [online] Aug. 2002 [cited 7.4.2008] dostupné z

- <<http://builder.com.com/article.jhtml;jsessionid=4VPOR43OSAE21TQQACQSF>
FA?id=u00320020820GXS01.htm&page=2>
- [21] Smutný, Pavel (2006): The Implementation Of Advanced Technologies In Intranet And Internet Web Portals. In Proceedings of 7th International Carpathian Control Conference. Czech Republic: Rožnov p. Radhoštěm. May 29-31, 2006, pp. 529-532. ISBN 80-248-1066-2
- [22] Štumpf, Jindřich (2007): Proč a jak zavádět architekturu SOA, In IT Systems, CCB s.r.o Brno, ročník 9, 2007, ISSN 1212-4567, č.10, str. 30 – 32, č. 9, str. 12 - 15, č. 9, str. 46 - 48

**POSOUZENÍ TVARŮ POMĚROVÝCH SPEKTER ZÁZNAMŮ SEIZMICKÉHO
NEKLIDU Z KARVINSKÉ OBLASTI**

**EVALUATION OF SPECTRAL RATIOS SHAPES OF SEISMIC NOISE FROM
KARVINÁ REGION**

Abstract

This paper deals with presentation of different shapes of spectral ratios. Experimental measurement was realized in Karviná region that is affected by mining induced seismicity and that is very industrialized region. Results were documented for both sets of mining induced seismic events and sets of ambient noise.

Key words: site effect, urban area, mining induced seismicity

Úvod

Při posuzování seizmického zatížení dané oblasti patří k nejdůležitějším informacím poznatek o zesilování či zeslabování vibrací na povrchu v důsledku geologických poměrů v místě měření, tzv. site effect. Podrobnější rozbor vlivu sedimentárních vrstev na seizmické vlnění byl proveden např. Kalábem a Knejzlikem (2007). V rámci projektu Grantové agentury České republiky číslo 105/07/0878 je tento jev studován v karvinské oblasti. Studium vychází ze záznamů důlně indukovaných seizmických jevů na povrchových permanentních stanicích provozovaných ÚGN. V současné době je těchto stanic pět a z pohledu jejich lokální geologie je můžeme rozdělit následovně:

- ☐ Stanice Orlová – stanoviště v oblasti bez významnější mocnosti sedimentů (cca 1-2 m kvartérních sedimentů)
- ☐ Ostatní stanice – Karviná, Darkov, Stonava 1, Stonava 2 – stanoviště v oblastech s mocností terciérních a kvartérních sedimentů 300 – 550 m

Ke studiu byl vyvinut seizmologický software MISS - Mining Induced Seismic eventS. Popis základních funkcí tohoto programového vybavení byl proveden v článku Kalába a Knejzlika (2006). Z pohledu stanovení vlivu lokální geologie na velikost seizmických projevů v daném místě je používán výpočet poměru spekter H/V (např. Nakamura, 1989, Abbott et al., 2001, Ansal, 2004). Program MISS umožňuje pro danou stanici vypočítat z měřených složek NS a EW složku horizontální a tu použít pro výpočet spektra (FFT) a následně stanovit spektrální poměr (výsledná křivka je vyhlazena splinem). Program umožňuje pro vybranou množinu jevů postupně vypočítávat poměry H/V a výsledek použít (či odmítnout) pro stanovení zprůměrované hodnoty poměru H/V pro dané místo. Příklady výpočtů lze nalézt v Kaláb et al., 2008. V tomto článku jsou výsledky seizmologické analýzy podloženy i výsledky matematického modelování pomocí dynamického modulu programu Plaxis 2D.

Kromě záznamů důlně indukovaných seizmických jevů byl testován seizmický neklid, který byl zaznamenán při experimentálních měřeních v karvinské oblasti (Kaláb a Lyubushin, 2008). V následujících částech příspěvku jsou shrnuty poznatky

¹ Doc., RNDr., CSc., Ústav geoniky AV ČR, Studentská 1768, Ostrava,
kalab@ugn.cas.cz, též VŠB Technická univerzita Ostrava, fakulta stavební,
L. Podešť 1875, Ostrava

z dosavadních zpracování seizmických dat metodou spektrálních poměrů H/V pro karvinskou oblast. Měření seizmických projevů v povrchových objektech a následná hodnocení přispívají k zpřesnění rutinního hodnocení seizmických účinků důlně indukovaných seizmických jevů na povrchu, které pro karvinskou oblast zpracovává OKD, DPB, a.s. Paskov. Výsledkem těchto zpracování na DPB jsou mapy izolinií maximální rychlosti kmitání hmotného bodu na povrchu. Složité tvary izolinií rychlosti kmitání převažují u většiny hodnocených seizmických jevů a potvrzují předpoklady, že vlnové pole na povrchu je ovlivněno jak mechanismem ohniska seizmického jevu, tak lokálními nehomogenitami geologické stavby (Holečko et al., 2007). Význam lokální geologie je zatím předmětem výzkumu a není do výpočtu izolinií zahrnut. Jedním z cílů námi prováděných studií dat ve spektrální oblasti je zpřesnění vlnových polí na povrchu.

Poznatky ze zpracování důlně indukovaných seizmických jevů

Využití záznamů důlně indukovaných seizmických jevů pro studium vlivu lokální geologie na velikost seizmických projevů na povrchu pomocí metody spektrálních poměrů ukázali Olszewska a Lasocki (2004). Kaláb a Knejzlík (2006) představili první výsledky tohoto zpracování na seizmických datech z karvinské oblasti. Data byla naměřena semi-permanentními stanicemi, jejichž snímače byly umístěny na základech velkých povrchových objektů. Závěry z těchto experimentálních interpretací lze shrnout následovně:

- ❑ Spektrální poměry důlně indukovaných seizmických jevů v daném místě mají svůj typický charakter (tvar), který se ustaluje po zpracování 15 – 20 jevů (v průměru jednotlivých spekter). Velikosti maxim poměrů pro různé skupiny jevů mohou však být rozdílné.
- ❑ Dvě a více maxim na spektrálních křivkách ukazují na složité geologické prostředí (lokální geologie či porušení horninového masívu sedáním v důsledku poddolování)

První těžce interpretovatelné výsledky byly získány při zpracování dvou množin důlně indukovaných seizmických jevů: jedna množina je tvořena jevy silnými (nejméně na jedné složce maximální amplituda rychlosti kmitání překročila hodnotu 1 mm.s⁻¹), druhá množina je tvořena jevy slabými (maximální složkové amplitudy rychlosti kmitání byly v rozmezí 0,5 až 1 mm.s⁻¹). Tyto množiny byly sestaveny z registrací na stanicích Stonava 1, Karviná 1 a Darkov 1. Výsledek lze stručně popsat následovně (Kaláb a Knejzlík, 2008):

- ❑ Stanice Stonava 1 – průměrné spektrální poměry vypočtené z obou množin jsou si velmi podobné, a to tvarem i velikostí píků
- ❑ Stanice Karviná 1 – i pro tuto stanicí jsou průměrné spektrální poměry velmi podobné, v průměrném spektrálním poměru z množiny silných jevů je významný pík na hodnotě 5,5, který v průměru ze slabých jevů chybí (nebylo prokázáno, zda je to projev lokální geologie či snad rezonanční frekvence budovy, v níž měření probíhalo)
- ❑ Stanice Darkov 1 - průměrné spektrální poměry vypočtené z obou množin jsou zcela odlišné, a to tvarem i velikostí píků; průměrný spektrální poměr z množiny silných jevů má jedno široké maximum o hodnotě 8 na frekvenci 2 Hz, průměrný spektrální poměr z množiny slabých jevů má dvě maxima s velikostí 10 na frekvenci 1,7 Hz a velikostí 6 na frekvenci 3,7 Hz

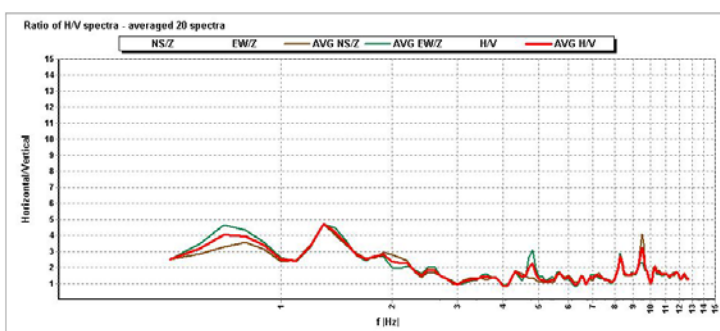
Hrubešová a Kaláb (2005), Hrubešová et al. (2006) a Kaláb et al. (2008) realizovali výpočty dynamických projevů na povrchu pro modelové situace z Karvinska. S využitím programu Plaxis (Holandsko, www.plaxis.nl) bylo získáno několik výsledků, které dokladují změnu velikosti seizmických účinků v důsledku změny mocnosti sedimentárního pokryvu pod studovaným objektem. Dosavadní výpočty však nezobrazují zcela reálnou situaci, neboť se jedná pouze o rovinný model (2D) a horizontálně zvrstvené prostředí.

Poznatky ze zpracování seizmického neklidu z Karvinska

Bonnefoy-Claudet et al. (2006) zpracovali studii o použití metody spektrálních poměrů na záznamech seizmického neklidu. K nesporným výhodám tohoto zdroje dat patří snadná, levná a rychlá registrace většího množství dat bez nutnosti dlouhodobé registrace („čekání na jev“). Spektrální poměry neklidu jsou však významně ovlivněny zdrojem neklidu, vzdáleností a hloubkou zdroje (H/V je citlivější na velikost amplitudy, méně na frekvenci zdrojové funkce). Velikost amplitudy píků křivek H/V z neklidu nelze použít pro stanovení zesilovacího faktoru (spektrální poměry jsou ovlivněny lokálními povrchovými zdroji, případně povrchovými vlnami).

Měření seizmického neklidu pro diskutovaný účel bylo provedeno dvěma experimenty. První spočíval v registraci seizmického neklidu podél 450 m dlouhého profilu, při druhém experimentu se pořizovala data na jednom registračním bodě.

Kaláb a Lyubushin (2008) detailně interpretovali výsledky prvního experimentu. Profil pro experimentální měření byl víceméně přímkový, vzájemná vzdálenost měřících bodů byla 50 m. Mocnost sedimentárního pokryvu (nerozlišené horniny terciérní a kvartérní) se pozvolna měnila z cca 450 na 550 m (odečteno z geologické mapy). Na každém bodě bylo provedeno celkem 10 záznamů s minimální délkou 25 s. Souhrnně lze konstatovat, že jednotlivé křivky spektrálních poměrů (sumární křivky) nejsou tvarově výrazně odlišné. Převládající frekvence v grafech spektrálních poměrů je mezi 1 - 2 Hz, s výjimkou dvou bodů, nelze však přesně stanovit tuto hodnotu (široká zvlněná nevýznamná maxima). Většina spekter vykazuje pík na hodnotě cca 5 Hz, který pravděpodobně odpovídá zdroji neklidu (příklad spektrálního poměru na obr. 1).



Obr. 1 Příklad spektrálního poměru z experimentálního měření (viz text)

V místě měření seizmického neklidu při druhém experimentu se nachází cca 300 m nerozlišeného sedimentárního neklidu, přičemž na povrchu je ulehla cca 15 m mocná vrstva sypané hlušiny. Při druhém experimentu byly pořízeny tři sady po dvaceti záznamech seizmického neklidu. Jednotlivé sady byly pořízeny s cca jednohodinovým

odstupem ve večerních až nočních hodinách. Ze sad byly vyloučeny záznamy, při nichž projíždělo po nedaleké komunikaci (cca 250 m) nákladní auto. Z jednotlivých sad byly vypočteny výše popsanou metodikou průměrné poměry H/V spekter (obr. 2). Protože pro měření byl použit senzor s vlastní frekvencí 2 Hz, nelze při interpretaci brát do úvahy část křivky pod tuto vlastní frekvenci (v důsledku útlumu malé měřené hodnoty a zcela nereálné poměry).

Pro toto experimentální měření byly použity aparatury typu PCM3-EPC (např. Knejzlík a Kaláb, 2002) se snímačem rychlosti kmitání typu Le3D s vlastní frekvencí 2 Hz. S ohledem na frekvenční rozsah aparatury a vzorkovací kmitočet byl analyzován interval 2 – 15 Hz. Jednotlivé průměrné křivky poměrů H/V spekter lze charakterizovat následovně:

- ❑ První časové období (horní část na obr. 2) – převládající hodnota poměru je 2, v hodnotách nad 8 Hz je vyšší, tj. až 4. V poměru je výrazný pík na 4,1 Hz o hodnotě cca 5,5, další méně významný pík je na 9,2 Hz o hodnotě cca 5.
- ❑ Druhé časové období (střední část na obr. 2) - převládající hodnota poměru je 1. Na poměrové křivce je pouze jeden méně výrazný pík na 5 Hz o hodnotě 2.
- ❑ Třetí časové období (dolní část na obr. 2) - převládající hodnota poměru je 1. Na poměrové křivce je pouze jeden méně výrazný pík na 5 Hz o hodnotě 3,5.

Analýza tohoto experimentu prokázala, že křivky poměrů H/V spekter seizmického neklidu nemají stejný tvar. O důvodu lze pouze spekulovat, neboť v současné době není k dispozici dostatečný soubor dat pro interpretaci. Podle literatury lze předpokládat, že může jít o vliv nedalekého zdroje seizmického neklidu. V karvinské oblasti lze uvažovat o řadě intenzivních zdrojů neklidu spojené s technologií těžby uhlí nebo průmyslovými aktivitami.

Závěr

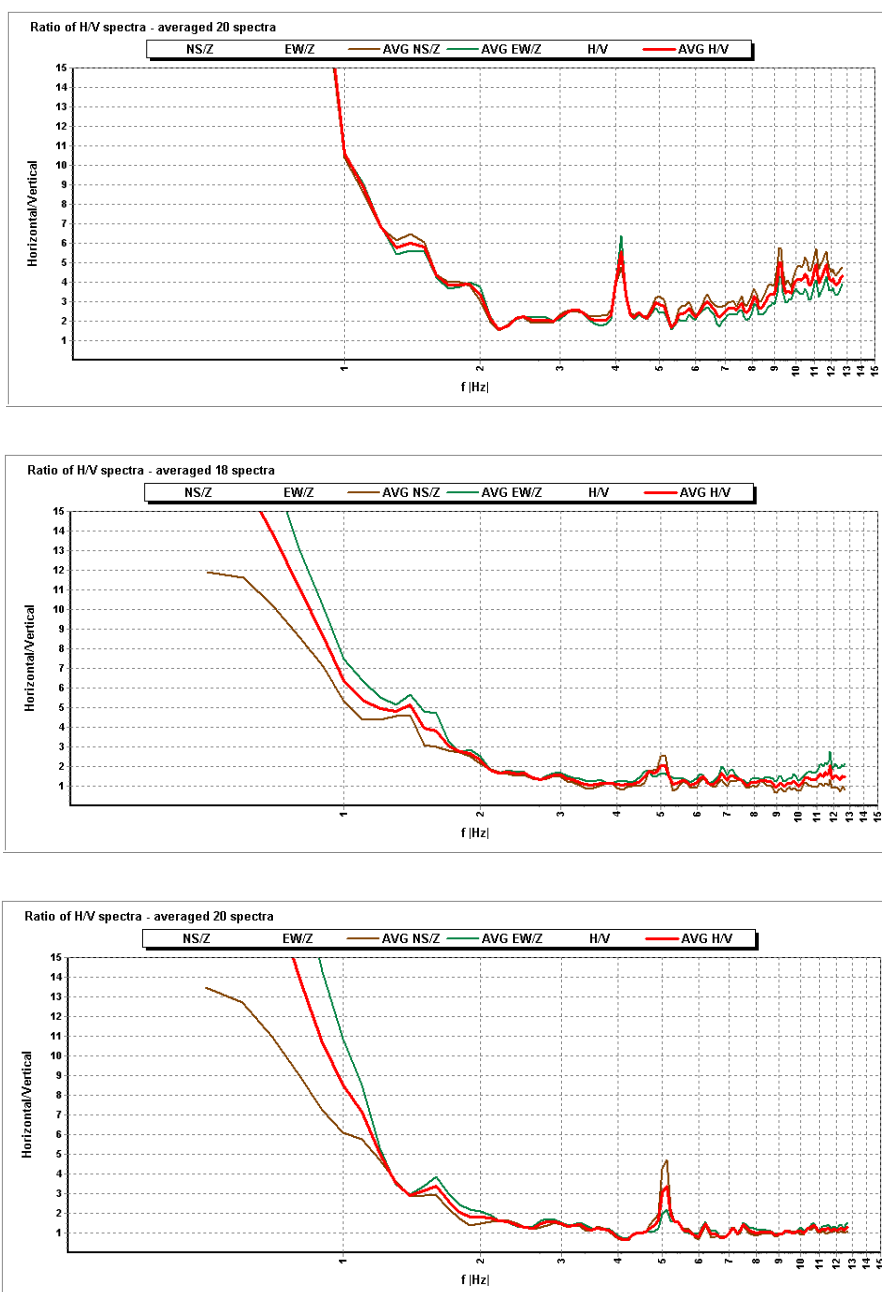
Metoda spektrálních poměrů H/V je velmi populární pro stanovení míst na povrchu se zesilujícími účinky. Je využívána také pro následné interpretace, především jde o určení některých parametrů sedimentárního profilu. Lokální geologická stavba hraje v hodnocení seizmického zatížení velmi významnou roli (např. Janotka et al., 2006). Využívány jsou záznamy přirozených zemětřesení, důlně indukované seizmicity a v poslední době i seizmického neklidu. Pro oblast Karvinska jsou využívány především záznamy důlně indukovaných seizmických jevů. V této studii jsou shrnuty výsledky předchozích studií a nově provedené analýzy vycházející ze záznamů seizmického neklidu.

V rámci projektu GAČR bylo realizováno několik cílených experimentálních měření, jejichž cílem bylo získat základní informace o využití metody spektrálních poměrů v karvinské oblasti. Ta je z geologického hlediska specifická jednak velmi složitou geologickou stavbou (s významnou zlomovou tektonikou), jednak velmi rozdílnou mocností pokryvných útvarů karbonského pohoří (od 0 do 600 m). Z geodetického hlediska je nutno připomenout významné, často velmi rychlé, poklesy povrchu v důsledku těžby. Také hydrogeologická situace je v důsledku těžby, poklesů povrchu a rekultivací povrchu (navážky) velmi komplikovaná.

Dosavadní výsledky ukazují na možnost stanovení spektrálních poměrů z dat důlně indukovaných seizmických jevů. Zatím však nebyly získané poměry spolehlivě interpretovány. Využití seizmického neklidu v prvních studiích neprokázalo srovnatelné výsledky se zpracováním seizmických jevů.

Poděkování

Tento příspěvek byl zpracován za podpory projektu GAČR 105/07/0878 Studium seizmických účinků v okolí seizmické stanice v závislosti na místních geologických podmínkách.



Obr. 2 Průměrné hodnoty H/V spekter pro tři sady záznamů seizmického neklidu (viz text)

Literatura

- [1] Abbott, R. et al. (2001): Analysis of Shallow Site Response to LARSE-2 Blasts at Precarious Rock Sites Near the San Andreas Fault. Final Report, <http://quake.seismo.unr.edu/ftp>.
- [2] Ansal, A. – ed. (2004): Recent Advance in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht/Boston/London.
- [3] Bonnefoy-Claudet, S., Citron, F and Bard P-Y. (2006): The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies. A literature review. www.sciencedirect.com.
- [4] Holečko, J., Mořkovská, E. a Suchánek, E. (2007): Indukovaná seismicitá v OKR. Sborník geomechanického a geofyzikálního kolokvia, Ostravice, OKD, DPB, a.s. Paskov, 98-107.
- [5] Hruběšová, E. a Kaláb, Z. (2005): Užití programu Plaxis pro modelování účinků důlně indukované seismicity na povrchové objekty. Transactions, řada stavební, roč. V, č.2/2005, 53-59.
- [6] Hruběšová, E., Kaláb, Z. a Vojtasík, K. (2006): Modelování vlivu podzemní vody na velikost seizmických projevů na povrchu. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VI, č.1/2006, 103-108.
- [7] Janotka, V., Viskup, J., Pandula, B. and Leššo, I. (2006): Soil Profiles and Seismic Loading. Metalurgija 45, 127-130.
- [8] Kaláb, Z. a Knejzlík, J. (2006): Analýza projevů důlně indukovaných jevů z karvinské oblasti ve frekvenční oblasti. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VI, č.2/2006, 147-154.
- [9] Kaláb, Z. a Knejzlík, J. (2007): Možnosti posouzení efektu zesílení seizmických vln v zastavěných oblastech. Transactions, řada stavební, roč. VII, č.2/2007, 99-108.
- [10] Kaláb, Z. and Knejzlík, J. (2008): Spectral Ratio Evaluation of Mining Induced Seismic Events from Karviná Region (Czech Republic). Proceedings of ESC2008, 31st General Assembly, CD - Short Papers elect. volume, 175-181.
- [11] Kaláb, Z. and Lyubushin, A.A. (2008): Study of Site Effect using Mining Induced Seismic Events and Ambient Noise from Karviná Region. Acta Geodynamica et Geomaterialia, Vol. 5, No. 2(150), 105-113.
- [12] Kaláb, Z., Knejzlík, J. a Hruběšová, E. (2008): Vliv lokální geologie na rychlost kmitání na povrchu v karvinské oblasti. Uhlí-Rudy-Geologický průzkum, č.1/2008, 26-31.
- [13] Knejzlík, J. and Kaláb, Z. (2002): Seismic Recording Apparatus PCM3-EPC. Publs. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M-24(340), 187-194.
- [14] Nakamura, Y. (1989): A Metod for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. QR Railway Technical Research Institute, 30, 1.
- [15] Olszewska, D. and Lasocki, S. (2004): Application of the Horizontal to Vertical Ratio Technique for Estimating the Site Characteristics of Ground Motion caused by Mining Induced Seismic Events. Acta Geophysica Polonica. Vol. 52, No. 3, 302-318.

ROZŠÍŘENÍ DISTRIBUOVANÉHO MĚŘICÍHO SYSTÉMU NA DOLE JERONÝM
O MĚŘENÍ VÝŠKY STROPU KOMORY K2 LASEROVÝM DÁLKOMĚREM
SUPPLEMENTATION OF DISTRIBUTED MEASURING SYSTEM IN JERONÝM
MINE WITH CEILING HEIGHT MEASUREMENT OF CHAMBER K2 WITH
LASER DISTANCE METER

Abstract

This contribution presents implementation of the laser distance meter Leica DistoTM4 to the distributed measuring system with continual data recording which is build-up in the medieval ore mine Jeroným. Principle of operation of Leica DISTO™ distance meter, block diagram of communication interface and mechanical design are briefly described. Laser distance meter is used for measurement of deformation of high inaccessible roof of chamber K2. First results of measurement are presented.

Key words: Jeroným Mine, geomechanical monitoring, laser distance meter.

Úvod

Pro posuzování stability důlního díla je nutno mimo jiné monitorovat dlouhodobě změny jeho rozměrů. V přístupných místech se v Dole Jeroným v části opuštěných důlních děl toto provádí opakovaným manuálním měřením vzdáleností fixovaných bodů nebo instalací konvergenčních měřidel napojených na monitorovací systém [1]. Takto se od roku 2002 4x ročně měří vzdálenosti mezi fixovanými body na vybraných stanovištích mechanickým měřidlem nebo na větší vzdálenosti laserovým dálkoměrem Leica DISTO™ [2]. V roce 2007 bylo „na kříži“ zahájeno kontinuální měření pomocí konvergenční stojky KK1 [3].

Vysoké stropy komor (několik metrů) jsou v Dole Jeroným zpravidla natolik nepřístupné a počva komor natolik nerovná, že bezpečná instalace klasických mechanických měřidel je prakticky nemožná. Opakované manuální měření přenosným laserovým dálkoměrem Leica DISTO™ nelze realizovat, neboť nelze opakovaně zaměřit na stropě komory přesně stejný bod. Laserový dálkoměr (LDM) lze pro měření změn výšky stropu komory použít je-li instalován na pevném stativu a zaměřen stále do stejného bodu. Je výhodné takto instalovaný LDM začlenit do distribuovaného řídicího a měřicího systému (DMS) a získat tak soubor „kontinuálně“ zaznamenávaných dat. K tomuto účelu lze použít některý z průmyslově vyráběných senzorů, jako např. např. ASTECH LDM41/42 nebo AccuRange 4000 Laser Rangefinder firmy Acuity Company (www.acuitylaser.com). Tento typ by pro implementaci do DMS na Dole Jeroným svými parametry optimálně vyhovoval, nevýhodou je však jeho vysoká cena. Na základě dobrých zkušeností s LDM Leica DISTO™ bylo rozhodnuto začlenit do DMS tento typ LDM. K tomu účelu bylo nutno vyvinout interface pro připojení k DMS, skříň a stativ pro montáž v dole a příslušný software. Jako místo k instalaci LDM byla zvolena komora K2, ve které je plánováno vyústění nově vyražené propojovací chodby se „Starými důlními díly“ 41] a z tohoto důvodu je její stabilita detailně posuzována. Instalace LDM byla provedena v květnu 2008.

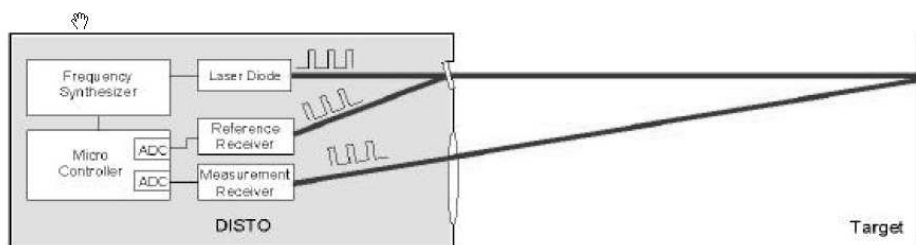
¹ Ing., CSc., Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, Ostrava, knejzlik@ugn.cas.cz

² Ing., Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Studentská 1768, Ostrava, rambousky@ugn.cas.cz

Princip měření vzdálenosti laserovým interferenčním dálkoměrem Leica DISTO™

Měření vzdálenosti LDM Leica DISTO™ je založeno na měření fáze (www.leica-geosystems.com/cpd/en/support/lgs_4939.htm). Blokové schéma LDM je na Obr.1. Laserová dioda (Laser Diode) emituje světelné impulzy s definovanou opakovací frekvencí a délkou. Emitovaný paprsek se rozděluje na měřicí (Measuring Receiver) a referenční (Reference Receiver) trasu. Signály z přijímacích senzorů se elektronicky zpracovávají mikroprocesorem (Micro Controller) po digitalizaci v analogově-číslicových převodnících (ADC). Opakovací frekvenci impulzů určuje frekvenční syntezátor (Frequency Synthesier).

Měřicí paprsek je zpožděn vlivem konečné rychlosti šíření světla. Fázové zpoždění měřicího paprsku je úměrné vzdálenosti mezi přístrojem a bodem odrazu na měřené ploše (Target). Vestavěný mikroprocesor vypočítává fázové zpoždění měřicího paprsku v rozsahu 0 - 360° a z něj měřenou vzdálenost. Aby se vyloučilo chybné stanovení vzdálenosti při fázovém posuvu větším než 360°, používá se při měření proměnné opakovací frekvence impulzů. Nejprve se při nízké opakovací frekvenci přibližně stanoví měřená vzdálenost a tato se poté zpřesňuje. Princip interferometrického měření je podrobněji popsán v článcích [4] a [5].



Obr. 1 Blokové schéma LDM Leica DISTO™.

Převzato z www.leica-geosystems.com/cpd/en/support/lgs_4939.htm

Výsledná přesnost měření vzdálenosti závisí na přesnosti a teplotní stabilitě krystalového oscilátoru, fázovém neklidu frekvenčního syntezátoru (jitter), přeslechu mezi referenční a měřicí trasou, poměru signálu k šumu v měřené trase a délce vzorkovacího intervalu, ve kterém mikroprocesor vypočítává z opakovaných měření průměrnou hodnotu měřené délky. Změna rychlosti šíření světla vlivem parametrů prostředí je oproti výše zmíněným vlivům zanedbatelná. Výslednou přesnost měření, která je u známých typů LDM přibližně stejná a činí cca ± 1.5 mm, ovlivňuje také kvalita odrazné plochy (drsnot a orientace plochy vůči světelnému paprsku). Pro nejpresnější měření se používají speciální odražeče (rovinné, koutové). Proto ji nelze plně vyjádřit jedinou hodnotou. Rozlišovací schopnost naměřené hodnoty vzdálenosti je určena programem v mikroprocesoru LDM.

Měření konvergence stropů vysokých komor pomocí LDM Leica Disto™

Při měření konvergence se vyhodnocuje změna vzdálenosti, proto chyba měření konvergence bude závislá především na dlouhodobé stabilitě a rozlišovací schopnosti údaje, nikoliv na základní přesnosti měření. Předpokládáme, že při konstantní teplotě

v Dole Jeroným bude dlouhodobá stabilita údaje dostatečná pro dosažení plánované přesnosti měření konvergence (změny vzdálenosti) cca 1 mm.

Pro LDM typu Leica DistoTM jsme se rozhodli mimo výše uvedené ekonomické důvody také proto, že model Leica DistoTM je současně v Dole Jeroným úspěšně používán pro manuální měření vzdálenosti v rámci čtvrtletních kampaní. Pro implementaci do DMS jsou vhodné modely Leica DistoTM A4 a Leica DistoTM A6, vybavené sériovými komunikačními rozhraními.

Leica DistoTM A4 je starší typ laserového dálkoměru, vybavený sériovým komunikačním rozhraním standardu RS232. Je napájen bapětim $U_d = 6\text{ V}$ ze 4 ks baterií rozměru R3 (AAA). Lze jej ovládat buď manuálně z klávesnice a naměřené hodnoty odečítat přímo z LCD displeje nebo použít sériové komunikační rozhraní a řízení funkce i odečet naměřených hodnot provádět pomocí PC. Komunikační protokol je podrobně popsán v [5]. K dispozici je také komerčně dostupná knihovna Disto Online Automatization Interface (www.elcovision.com). DistoTM A4 lze přes sériové rozhraní zapnout i vypnout. Leica DistoTM A4 má dva pracovní režimy:

- ☐ *Standardní* - Přesnost 3 mm, rozlišovací schopnost měření 1 mm. Ovládání přes klávesnici a sériové rozhraní. Výsledky měření jsou zobrazovány na LCD displeji.
- ☐ *Online* - Přesnost 3 mm, rozlišovací schopnost měření 0,1 mm. Ovládání jen přes sériové rozhraní, klávesnice. Na LCD jen indikace režimu „online“.

Leica DistoTM A6 je nejnovější typ laserového dálkoměru s komunikačním rozhraním Bluetooth. Komunikační protokol je prakticky stejný jako u Leica DistoTM A4, chybí však režim online a přístroj nelze pochopitelně přes Bluetooth zapnout. Tuto nevýhodu je možno při použití s externím napájením eliminovat tak, že se mechanicky zajistí trvalý stisk tlačítka „ON“. LDM Leica DistoTM A6 je napájen napětím $U_d = 3\text{ V}$ ze 2 ks baterií rozměru R3 (AA).

Začlenění LDM typu Leica DistoTM do DMS na Dole Jeroným

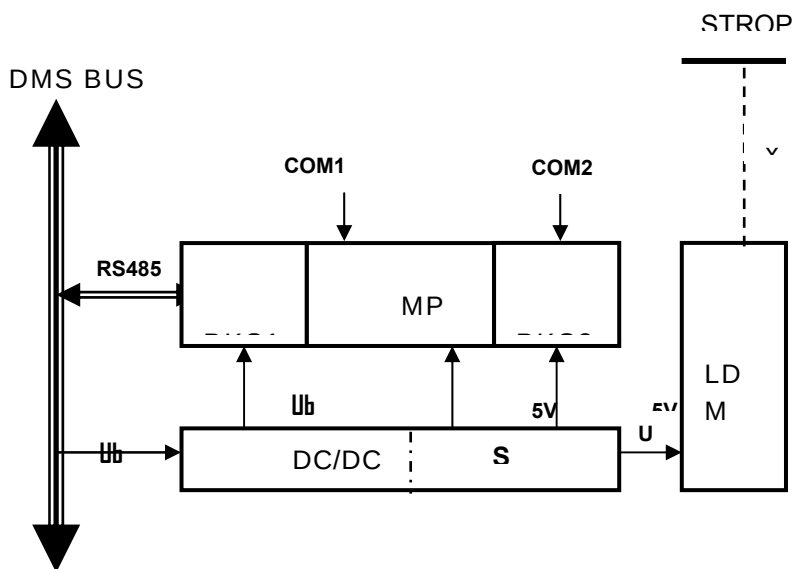
Princip DMS na Dole Jeroným je popsán např. v publikaci [3]. Pro začlenění LDM Leica DistoTM je použit interface podle Obr. 2, který zajišťuje tyto funkce:

- ☐ Překlad vybraných instrukcí a naměřených dat mezi protokoly Leica DistoTM a protokolem AiBus2,
- ☐ Napájení dálkoměru ze sběrnice DMS_BUS.

Jako překladač vybraných instrukcí a naměřených dat mezi protokoly Leica DistoTM a protokolem AiBus2 pracuje mikroprocesor MP. Je použit typ se 2 sériovými porty COM1 a COM2. Mezi sběrnicí DMS_BUS a COM1 je zařazen převodník komunikačních standardů RS485/RS232 s automatickým přepínáním směru komunikace. Mezi COM2 a LDM je zapojen převodník komunikačních standardů, který je různý pro LDM Leica DistoTM A4 (TTL/RS232) a LDM Leica DistoTM A6 (TTL/Bluetooth).

Napájení všech obvodů zajišťuje konvertor DC/DC. Převodník komunikačních standardů PKS1 je napájen přímo napájecím napětím sběrnice DMS_BUS U_b . Mikroprocesor MP a převodník komunikačních standardů PKS2 jsou napájeny stabilizovaným napětím 5V. Pro LDM je vytvořen stabilizátor napětí U_d podle použitého typu (viz výše) s proudovým omezením. Do LDM jsou vloženy místo baterií NiMh

akumulátory příslušné velikosti. Ke krajním svorkám takto vytvořené baterie jsou připojeny přírodní vodiče od zdroje U_d v interface.



Obr. 2 Interface DMS_BUS / Leica DistoTM

Definice protokolu AiBus-2 je podrobně popsána publikací [4]. Do byte ADR je standardně vložena buď univerzální adresa $ADR = 255$ (identifikace modulu nebo nastavování parametrů), nebo pracovní adresa modulu na sběrnici DMS (ADR_x , pro funkci v rámci DMS). Povel pro interface a DistoTM jsou zakódovány do bytů FN a PER (číslo periferie, měřený kanál). Byte příkaz/status C/S je ignorován, v poli dat D0 - D4 jsou v případě potřeby předávána data. Kontrolní součet je klasicky přenášen v bytech CRC0 a CRC1. Program pro mikroprocesor je napsán a v jazyku C v prostředí CVAVR a poté přeložen do assembleru. Do mikroprocesoru je naprogramován přes SPI.

Dálkoměry DistoTM se ovládají přes sériové rozhraní pomocí textových znaků (char), následovaných znakem CR (Carriage Return), případně CR LF. Komunikační protokol je podrobně popsán v příručce [5]. Povel pro režim online jsou v závorkách. Pro online komunikaci s DistoTM je k dispozici řada komerčně dostupných programů, např. objektově orientovaná knihovna Disto Automatization – viz www.elcovision.com a programy DISTO Transfer - viz www.leica/geosystems.com.

Po zapnutí mikroprocesoru se nejprve zapne LDM a poté se spustí základní programová smyčka, která čeká (20 ms) na zprávu protokolu AiBus2, která se přijme v přerušení. Souhlasí-li přijatá adresa ADR s přednastavenou adresou modulu ADR_x nebo je-li $ADR_x = 255$, zkontroluje se kontrolní součet CRC a je-li správný, provede se

příslušná instrukce. Pro ovládání přes DMS bus v režimu měření jsou v překladači implementovány jen vybrané povely:

<u>Z AiBus-2:</u>	<u>Do Disto</u>	<u>Funkce:</u>
ADRx, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, CRC0, CRC1 Disto	a<CR> (A<CR>)	Zapni
ADRx, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, CRC0, CRC1	g<CR> (G<CR>)	Zmer x
ADRx, 0, 6, 0, 0, 0, 0, 0, CRC0, CRC1	v<CR>	Zmer Ub
ADRx, 0, 7, 0, 0, 0, 0, 0, CRC0, CRC1	o<CR>	Zapni laser
ADRx, 0, 8, 0, 0, 0, 0, 0, CRC0, CRC1	p<CR>	Vypni laser
ADRx, 0, 9, 0, 0, 0, 0, 0, CRC0, CRC1	b<CR>	Vypni Disto

V režimu měření přes DMS se do dálkoměru vysílají jen povely pro kanál 0 a 1 (Zapni DistoTM a změř vzdálenost x). Aby se zrychlila odezva LDM v DMS, ukládá se v paměti RAM mikroprocesoru poslední naměřená hodnota a ta se vysílá okamžitě po přijetí povelu k měření x jako aktuální hodnota. Poté provede LDM nové měření. Vyslaná hodnota je tedy „stará“ 1 vzorkovací interval.

Překlad zpráv, vysílaných z DistoTM do protokolu AiBus-2, je omezen jen na naměřené hodnoty a příznaky chyby - viz [5]. DistoTM vysílá zprávy o správně naměřených hodnotách a některých dalších konstantách jako textové řetězce o konstantní délce 15 znaků, zakončené <CR><LF>. Zprávy o chybách jsou zakódovány jako textové řetězce začínající znakem @ a následovaným číslem chyby.

Velikost naměřené hodnoty je ve verzi VI. programu omezena na rozsah unsigned integer, t.j. na 65535. To znamená, že v standardním režimu je rozsah měření 65,535 m, ale v režimu online jen 6,5535 m.

Formát odpovědi je: ADRx, 0, 1, 0, D0, D1, 0, 0, CRC0, CRC1,

kde D0 je nižší byte a D1 vyšší byte naměřené hodnoty (v rozsahu $0 \leq x \leq 65535$). D2=0 neboť znaménko mantisy nemá smysl, naměřená vzdálenost je vždy kladná. Takto omezený rozsah měření je pro použití v komoře K2 dostatečný. V případě potřeby lze naprogramovat plný rozsah měření s využitím bytů D2 a D3.

Chybová hlášení jsou zakódována do AiBus-2 jako hodnoty mantisy se záporným znaménkem (D2=1):

ADRx, 0, 1, 0, D0, D1, 1, 0, CRC0, CRC1,

kde D0 je nižší byte a D1 vyšší byte čísla chyby (v rozsahu $0 \leq x \leq 65535$). Znaménko chyby je vždy záporné.

Elektronické obvody interface jsou umístěny na desce plošných spojů. Jako PKS1 je použit konvertor UC485 (www.papouch.com). PKS2 je realizován integrovaným obvodem MAX232. Mikroprocesor je typu ATmega 162. Je vybaven rozhraním SPI (Serial Programming Interface) a pomocným obvodem, který pracuje jako monitor napájecího napětí mikroprocesoru.

Na desce plošných spojů jsou umístěny mikrosvínače, které umožňují při instalaci LDM manuální zadání povelů:

- SW1: „LASER“ - zapne laser
 SW2: „DISTO OFF“ - vypne napájení dálkoměru
 SW3: „RESET“ - resetuje mikroprocesor

Mechanické provedení interface Interface DMS_BUS / Leica DistoTM 4

Pro testování v DMS na Dole Jeroným jsme použili LDM Leica DistoTM 4, neboť jeho ovládání přes rozhraní RS232 je jednodušší než přes Bluetooth u typu Leica DistoTM 6. Interface však byl vyvinut jako univerzální pro oba typy LDM. Pro Leica DistoTM 6 se nastavuje napájecí napětí $U_d = 3V$ a navíc se jako PKS2 instaluje komunikační převodník OEMSPA310i firmy ConnectBlue (www.connectblue.com). Leica DistoTM 6 nemá režim online, měří proto s rozlišovací schopností 1 mm.



Obr. 3 Interface pro DistoTM A4 s přenosem dat přes rozhraní RS232.

Mechanicky je laserový dálkoměr vestavěn do vodotěsné (IP55) skříně, opatřené vstupním konektorem, skleněným průzorem a tubusem pro ochranu proti kapající vodě. Sběrnice DMS je připojena přes 6-ti pólovou zásuvku BUCANEER – viz Obr. 3.

Instalace LDM na lokalitě

Krabice s interface a LDM DistoTM A4 je instalována na stativ, který je vyroben z upraveného držáku satelitní antény (provedení pro ploché střechy) – viz Obr. 4. Dálkoměr je instalován v krabici na základní desku, která je pevně mechanicky spojena s upraveným nastavitelným držákem původního parabolického zrcadla antény. Původní

držák paraboly je doplněn o 2 stavěcí šrouby, které slouží k jemnému zaměření dálkoměru při instalaci.



Obr. 4 Instalace LDM v komoře K2

Průzor pro laserové paprsky je zhotoven vybroušením z tabulového skla tloušťky 1 mm. Do skříně je vlepen zalévací hmotou Wepuran. Nad průzor je instalován tubus, který jej chrání před kapáním vody ze stropu. Konvergence proto měřit nelze ve vlhkém prostředí přesně svisle. S použitím jiných montážních prvků pro satelitní antény lze LDM zaměřit do libovolného směru. Zápis výrobního čísla a adresy DMS_BUS do interface se provádí programem Disto_Setup.

Při instalaci se používá pomocný program Disto_Test, který je umožňuje tyto operace:

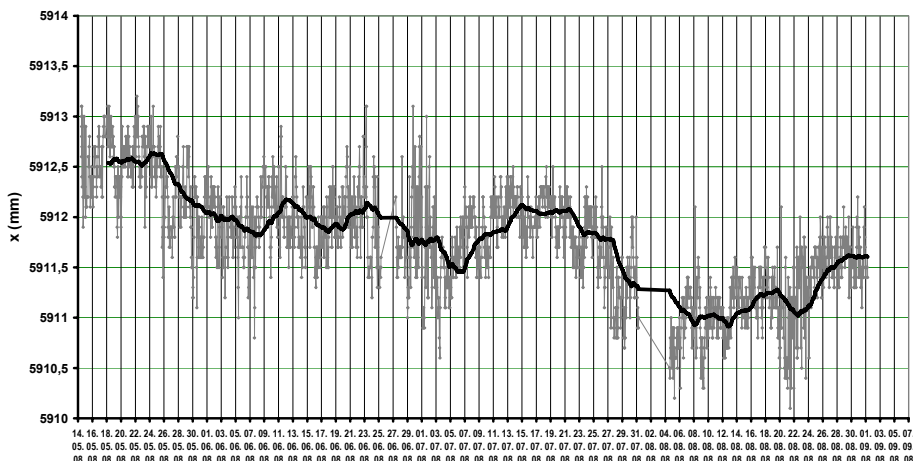
- ☐ Identifikaci interface, tj. přečtení výr. čísla a DMS_BUS z interface
- ☐ Zapnutí a vypnutí Disto
- ☐ Zapnutí a vypnutí laseru (pro zaměřování)
- ☐ Kontrolní měření vzdálenosti s výpisem hodnoty na displeji.

V konfiguraci DMS k 5.5.2008 je pro LDM nastavena adresa $ADR_x = 5$. LDM pracuje v režimu online, t.j. s rozlišovací schopností naměřené vzdálenosti 0.1 mm. Vzorkovací interval je 1 hodina.

Poznatky získané v experimentálním provozu

LDM byl experimentálně nainstalován v komoře K2 a uveden do provozu dne 5.5.2008. Na počvě bylo vybráno místo pro instalaci stativu s co nejméně porušenou horninou – viz Obr. 4. Pro upevnění horizontálních „noh“ stativu byly do horniny vysekány vodorovné drážky. Poté byly osazeny a zabetonovány do vyvrtaných děr upevňovací svorníky. Byl použit rychle tuhnoucí cement. Po 24 hodinách tuhnutí betonu kolem svorníků byl stativ přišroubován a horizontální „nohy“ přibetonovány klasickým betonem. Na stropě byla vybrána co nejrovnější ploška přibližně kolmá k směru dopadu měřicího paprsku. Laserový paprsek je odchýlen od svislice o cca 10°. Jeho přesné zaměření bude provedeno dodatečně. Vzhledem k výšce a nepřístupnosti stropu a nerovnosti počvy v komoře K2 jsme nebyli schopni do měřeného místa nainstalovat odražeč.

Na Obr. 5. jsou graficky znázorněny naměřené hodnoty výšky stropu z období 14.5.2008 – 1.9.2008. Šedě jsou vyznačeny okamžité hodnoty (Každý den ze 24 měření.) a černou silnou čarou klouzavý průměr z 96 hodnot (Průměr za 4 dny). V období 25.6.-27.6. a 31.7.-4.8.2008 byl DMS mimo provoz.



Obr. 5 Graf naměřených hodnot výšky stropu v komoře K2.

Rozptyl okamžitých hodnot v intervalu cca 1,5 mm je očekávaný, neboť LDM používá v režimu online krátký měřicí interval, a proto se uplatňuje jitter frekvenčního syntezátoru. Leží v intervalu zaručované přesnosti dálkoměru DistoTM A4. Rozptyl naměřených hodnot zvětšuje také drsnost a nerovnost povrchu v místě dopadu laserového paprsku. Fakt, že měřený povrch není v místě odrazu kolmý k laserovému paprsku zvyšuje vliv nestability jeho zaměření a vliv chvění stativu. Z Obr. 5 je patrné, že v datech se vyskytují úseky s vyšším (např. 29.6.-3.7.2008) a nižším (např. 6.7.-21.7.2008) rozptylem okamžitých hodnot. Klouzavý průměr vykazuje klesající tendenci (o 1,5 mm) se superponovaným šumem. Z krátké datové řady, kterou máme nyní k dispozici, nejsme dosud schopni stanovit zda jde pouze o chybový drift měřené hodnoty nebo lze pozorované fluktuace vysvětlit (např. slapovými účinky) nebo korelovat se změnou dalších parametrů, naměřených v rámci DMS (např. teplotou, změnou tenzoru napjatosti horninového masivu, hladinou důlních vod a pod.).

Očekáváme, že fluktuace hodnot a chyba měření se budoucně sníží nainstalováním speciálního odražeče v místě odrazu laserového paprsku od stropu.

Závěr

Instalace laserového měřiče výšky stropu v komoře K2 v Dole Jeroným a první výsledky zkušebního provozu v rámci distribuovaného měřicího systému prokázaly funkčnost navrženého technického řešení. Vznikla tak možnost kontinuálně monitorovat v dalších nepřístupných a nebezpečných místech důlního díla změny geometrických rozměrů (Např. v komoře K7).

Další výzkum bude zaměřen na analýzu získaných dat a na způsoby snížení chyb měření.

Poděkování

Tento výzkum je finančně podporován projektem No. 105/06/0068 Grantové agentury České republiky.

Literatura

- [1] Kaláb, Z., Knejzlík, J., Kořínek, R., Kukutsch, R., Lednická, M. and Žůrek, P. (2008): Contribution to Experimental Geomechanical and Seismological Measurements in the Jeroným Mine. Acta Geodynamica et Geomaterialia, Vol. 5, No. 2(150), 213-223.
- [2] Žůrek, P., Kořínek, R., Michalčík, P., Štěpánková, H., Daněk, T., Kukutsch, R., Kaláb, Z., Knejzlík, J. a Lednická, M. (2005): Komplexní sledování geotechnických problémů lokality Čistá -- Důl Jeroným, období 2004-2005. Uhlí, Rudy, Geologický průzkum, ISSN 1210-7697, 9/2005, 31-34
- [3] Knejzlík, J. and Rambouský, Z. (2008): Recent Solution of the Distributed Control and Measurement System in the Jeroným Mine – Modular System. Acta Geodynamica et Geomaterialia, Vol. 5, No. 2(150), 205-212.
- [4] AiBus2 - specifikace komunikačního protokolu. www.tedia.cz/download/files/aibus2.pdf.
- [5] Leica DISTO™ pro /pro4a interface manual. www.leica-geosystems.com.

Marta KONDRACKA¹, Marzena KLECZKA²

BADANIE OPORNOŚCI ELEKTRYCZNEJ

ODPADÓW POGÓRNICZYCH RUD ZN – PB

ELECTRICAL RESISTIVITY OF POSTMINING WASTES, OLKUSZ, SOUTHERN
POLAND

Abstract

Preliminary tests were performed to evaluate the electrical resistivity of post-mining wastes. The electrical resistivity of postflotation and post-launders wastes was examined with field and laboratory geoelectrical measurements. Depending on wastes type different electrical resistivity (ρ) was observed. The post-launders wastes were characterized by much higher electrical resistivity ($\rho \in 82-2415 \Omega m$) than post-flotation wastes ($\rho \in 4-14 \Omega m$) examined with laboratory measurements. The values examined with field measurements were different than laboratory measurement. The electrical resistivity of post-launders wastes were $\rho \in 15-9000 \Omega m$ and for post-flotation wastes were ($\rho \in 5-15 \Omega m$). The difference between electrical resistivity of postlaunders and postflotation wastes is caused mainly by different mineralogical composition of the wastes.

Key words: electrical resistivity, geoelectrical measurements, post-mining wastes, post-launders wastes, post-flotation wastes

Wstęp

Elektryczna oporność elektryczna zależy od wielu własności badanego podłoża. Zależy ona od składu mineralnego, zróżnicowania wielkości cząstek stałych, oporności elektrycznej cieczy i gazów wypełniających pory skały, stopnia nasycenia porów, struktury i tekstury, a w szczególności sposobu wzajemnego rozłożenia porów w skale, stosunków hydrogeologicznych i geochemicznych. (np. McNeill 1990, Samouëliana A i in., 2005)

Celem badań było określenie zróżnicowania oporności elektrycznej odpadów pogórnich zdeponowanych na składowisku w Pomorzanach - dzielnicy miasta Olkusz. Obszar badań odpadów płuczki leży na terenach objętych dawną działalnością górnictwem obecnie zurbanizowanych.

Zwał odpadów powstał w wyniku przeróbki i działalności wydobywczej prowadzonej przez kopalnię galmanu „Józef” w miejscowości Stary Olkusz w latach 1896-1931. (Cabała, 2007) Zwałowisko odpadów pogórnich zajmuje powierzchnię ok. 5,71 ha. W obszarze składowiska zalegają pryzmy odpadów popłuczkowych oraz popłuczacyjnych. Z tego też powodu mamy do czynienia ze zróżnicowaniem odpadów pod względem składu chemicznego. Odpady popłuczkowe o charakterystycznej czerwonej barwie, zawierają tlenki i wodorotlenki Fe (goethyt), węglany i siarczki cynku, kaolinit, illit i dolomit, charakteryzuje się wysoką zawartością

¹ Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200, Sosnowiec, martakondracka @o2.pl

² Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41 – 200, Sosnowiec, marzena.kleczka@poczta.fm,

kadmu, który związany jest z siarczками żelaza. Odpady poflotacyjne o charakterystycznej szarej barwie, zawierają znaczne ilości ołowiu do 25%, galenę, żelazo związane jest w siarczках (pirycie i markasyście), gips, minerały ilaste i SiO₂, małą zawartość węglanów oraz wysoką zawartością talu. (Cabała, 2007)

Metodyka badań

Pomiary polowe

Dziesięć płytkich sondowań elektrooporowych wykonano miernikiem Terrameter SAS 300C (ABEM, 2006) w układzie Schlumbergera bezpośrednio na odpadach pogórnich. Elektrody potencjałowe umieszczono w odległości 0,1 m od środka rozstawu, a elektrody prądowe rozmieszczano wzdłuż linii prostej na odległość do 20 m.

Pomiary laboratoryjne

Punkty poboru próbek odpowiadają miejscom wykonywania sondowań elektrooporowych. Pomiaru oporności dokonywano w komorze pomiarowej (rys. 1) za pomocą miernika Terrameter SAS 300 C. (ABEM, 2006) W komorze pomiarowej zamontowane są elektrody prądowe pomiędzy którymi przepuszczany jest prąd oraz elektrody pomiarowe MN, pomiędzy którymi jest mierzona różnica potencjałów. Za pomocą Terrametru SAS 300 C uzyskano wartość oporu elektrycznego próbki odpadu (R), który jest proporcjonalny do oporności elektrycznej próbki odpadu. Oporność elektryczna obliczana jest za pomocą wzoru (1) wg zalecania normy ASTM G57:

$$\rho = R \cdot \left(\frac{S}{a} \right) \quad [\Omega \text{m}] \quad (1)$$

gdzie:

a – odległość między elektrodami pomiarowymi MN, a = 0,13 m,

S – przekrój poprzeczny komory pomiarowej, S = πr^2 , [m²]

R – opór elektryczny, [Ω].

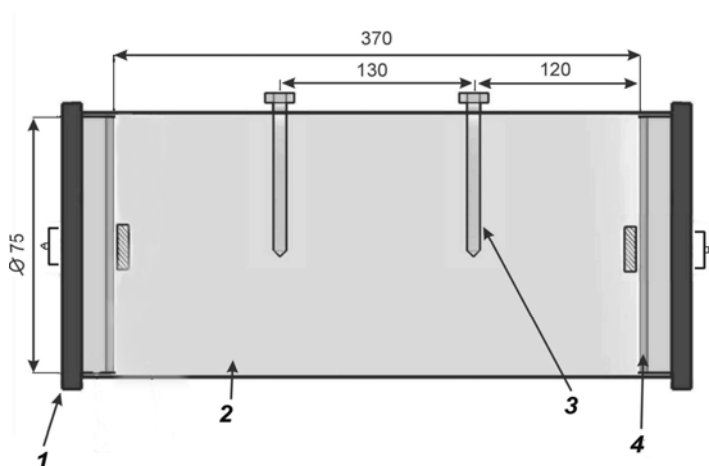
Analiza i dyskusja

Pomiary polowe

W wyniku wykonania 10 sondowań elektrooporowych wykonano 3 przekroje geoelektryczne (rys. 2-4).

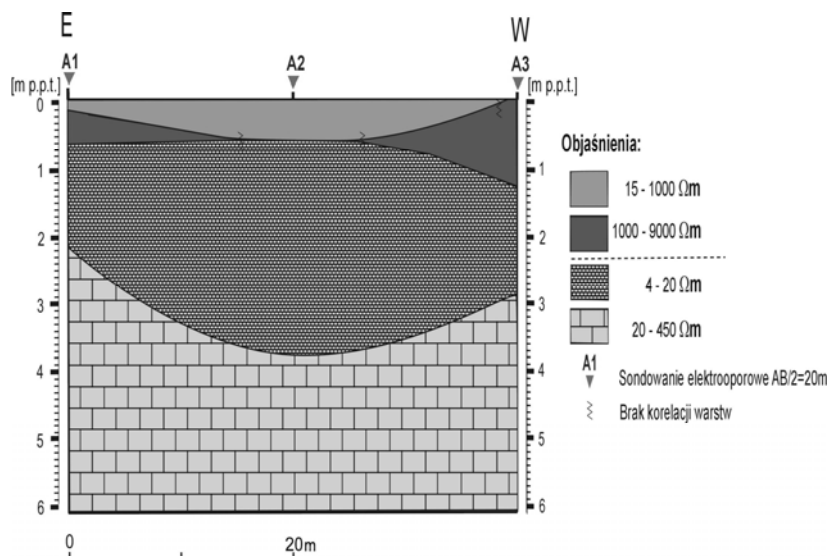
W odpadach zalegających na tym terenie badań występują znaczne ilości minerałów zawierających w swojej strukturze metale. (Adamczyk i Haładus, 1979; Cabała i Sutkowska, 2006) Ilość jonów siarczanowych pochodząca z utleniania siarczków może mieć duży wpływ na rozkład oporu właściwego tej warstwy.

Przekrój geoelektryczny B (rys. 3) sporządzono na podstawie ilościowej interpretacji krzywych z sondowań B1, B2, B3, B4, przedstawia również model czterowarstwowy. Miększość pierwszej warstwy odpadów jest zmienna i wynosi od 0.22 m do 1.61 m. Druga warstwa, będąca warstwą wysokooporową zalega do głębokości 1.75 m w części wschodniej przekroju geoelektrycznego, natomiast w części zachodniej do głębokości 0.75 m. Trzecia warstwa natomiast reprezentowana jest najprawdopodobniej przez ility kajpru, rozpoznaną także na przekroju geoelektrycznym A (rys. 1).



Rys. 1 Komora pomiarowa, 1 – zatyczka, 2 – badana próbka, 3 – elektrody pomiarowe (M i N),
4 – elektrody prądowe (A i B)

Fig. 1 Experimental chamber for measurement of soils electrical conductivity (1–cap of the chamber,
2–sample of soil or waste, 3 – potential electrodes (M and N), 4 - current electrodes (A and B))

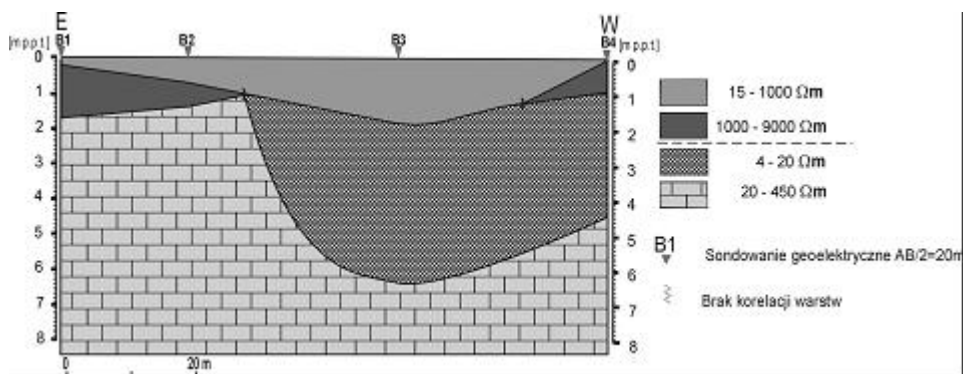


Rys. 2 Przekrój geoelektryczny A przez odpady pogórnice składowane w Pomorzanych

Fig. 2 Geoelectrical cross section – A on post-mining landfill in Pomorzany (Southern Poland)

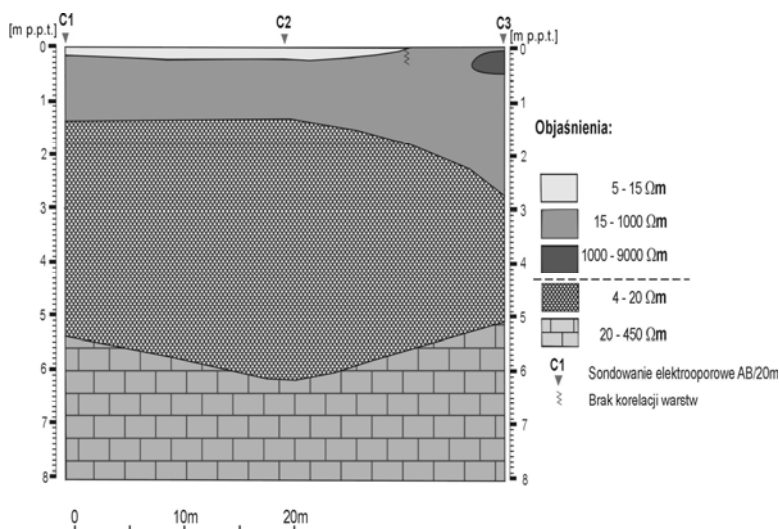
Warstwa ta nie podściela w całej rozciągłości wysokooporowej warstwy odpadów pogórnich. Spąg warstwy trzeciej zalega do głębokości 6.25 m, oporność elektryczna tej warstwy zawiera się w przedziale od $4 \Omega\text{m}$ do $20 \Omega\text{m}$. W części środkowej profilu B istnieje bezpośredni kontakt między warstwą odpadów popłuczkowych o średnich oporach właściwych, a warstwą skał praktycznie nieprzepuszczalnych.

Przekrój geoelektryczny C (rys. 4) sporządzono na podstawie ilościowej interpretacji krzywych elektrooporowych z sondowań C1, C2, C3 przedstawia model czterowarstwowy. Pierwsza warstwa została wyznaczona na podstawie interpretacji z sondowań geoelektrycznych C1 i C2. Warstwa ta ma znacząco obniżone wartości oporu rzeczywistego w stosunku do warstwy odpadów niżej leżących. Wartość oporu właściwego wynosi od $5 \Omega\text{m}$ do $15 \Omega\text{m}$, a miąższość ok. 0.23 m. Jest to warstwa odpadów poflotacyjnych zbudowana w dużej części z gipsów, minerałów ilastych i małej ilości węglanów (Cabała, 2007). Poniżej zalega druga warstwa, która posiada maksymalną miąższość i największe opory właściwe w części zachodniej profilu. Głębokość zalegania spągu warstwy wynosi 2.80 m. Następną warstwę w postaci wkładki o miąższości około 0.8 m i bardzo wysokiej oporności elektrycznej $7251 \Omega\text{m}$ stwierdzono na podstawie sondowania C3 w części zachodniej. Anomalia ta reprezentuje trzecią warstwę odpadów popłuczkowych. Kolejna warstwa to utwory triasu górnego podścielające odpady popłuczkowe. Warstwa ta zalega do głębokości około 5,5 m, stwierdzono ją również na przekrojach elektrycznych A i B. Poniżej zalega ostatnia warstwa reprezentująca również utwory triasu górnego. Uzyskane podczas interpretacji oporności elektrycznej wskazują na występowanie łowców, margli, utworów piaszczysto – ilastych z wkładkami wapieni.



Rys. 3 Przekrój geoelektryczny B przez odpady pogórnice składowane w Pomorzanych

Fig. 3 Geoelectrical cross section – B on post-mining landfill in Pomorzany (Southern Poland)



Rys. 4 Przekrój geoelektryczny C przez odpady pogórnice składowane w Pomorzanach

Fig. 4 Geoelectrical cross section – C on post-mining landfill in Pomorzany (Southern Poland)

Pomiary laboratoryjne

W tabeli 1 przedstawiono wyniki oporności elektrycznej próbek odpadów popłuczkowych i poflotacyjnych.

Tabela 1. Oporność elektryczna próbek odpadów pogórnich zdeponowanych na składowisku w Pomorzanach

Table 1. Electrical resistivity of post-mining wastes

Typ odpadu	Nr próbki	w [%]	oporność elektryczna [Ωm]
odpady poflotacyjne	P1	6,6	4
	P2	11,3	14
odpady popłuczkowe	P4	6,8	412
	P5	11,7	82
	P6	32,5	2415
	P7	11,4	595
	P8	13,0	132

Odpady poflotacyjne charakteryzują się znacznie niższą opornością elektryczną ($\rho \in 4-14 \Omega m$) niż odpady popłuczkowe ($\rho \in 82-2415 \Omega m$). Może być to skutkiem wysokiej zawartości minerałów nietrwałych, które pod wpływem wody łatwo ulegają przekształceniu uwalniając część jonów do roztworu. Zdolność dużej ługowalności odpadów szarych powoduje przy stosunkowo niskiej wilgotności ($w \in 6,6 - 11,3\%$) powstanie bardzo silnego elektrolitu (Cabała 2007), który ułatwia przepływ prądu przez próbkę.

Podsumowanie

Odpady pogórnice zdeponowane na składowisku w Pomorzanach charakteryzują się zróżnicowanymi wartościami oporności elektrycznej. Związane to jest przede wszystkim tym, iż badane odpady popłuczkowe i poflotacyjne różnią się składem chemicznym.

Wyznaczona metodą laboratoryjną oporność elektryczna wykazała, iż odpady popłuczkowe charakteryzują się wyższą opornością elektryczną ($\rho \in 82-2415 \Omega m$) niż odpady poflotacyjne ($\rho \in 4-14 \Omega m$). Podobne zróżnicowanie wartości oporności elektrycznej otrzymano w wyniku połowych pomiarów elektrooporowych. Według nich także odpady poflotacyjne charakteryzują się niższą opornością elektryczną ($\rho \in 5-15 \Omega m$) niż odpady popłuczkowe ($\rho \in 15-9000 \Omega m$). Związane to jest zapewne z różnym składem chemicznym tych odpadów.

Zróżnicowanie głębokościowe oporności elektrycznej odpadów pogórnich wynika z zachodzących przemian mineralogicznych w odpadach, które są spowodowane infiltracją wód opadowych w głąb składowiska.

Literatura

- [1] ABEM, (2006): Instruments AB. Instruction Manual.
- [2] Adamczyk, A. and Haładus, A. (1996): Opinia hydrologiczna dotycząca wpływu odpadów popłuczkowych (płuczka „Józef”) na jakość wód podziemnych, Kraków.
- [3] ASTM, (2001): Standard test method for field measurement of soil resistivity using the Wenner, four-electrode method, G 57 – 95a. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- [4] Cabała, J. and Sutkowska, K. (2006): Wpływ dawnej eksploatacji i przeróbki rud Zn-Pb na skład mineralny gleb industrialnych, rejon Olkusz i Jaworzna, Prace Nauk. Inst. Górn. Politechniki Wrocławskiej 117, Studia i Materiały 32, 13-22.
- [5] Cabała, J. (2007): Metale ciężkie w glebach ryzosferowych olkuskiego rejonu eksploatacji rud Zn-Pb, Prace UŚ.
- [6] McNeill, J. (1990): Electrical conductivity of soils and rocks. Geonics Limited, Technical Note TN-5.
- [7] Samouëliana, A., Cousina, I., Tabbaghc, A., Bruandd, A. and Richard, G. (2005): Electrical resistivity survey in soil science. Soil and Tillage Research 83, 173–193.

**Pavel KONEČNÝ¹, Adam KANCIRUK², Alena KOŽUŠNÍKOVÁ³,
Andrzej NOWAKOWSKI⁴**

**COMPARISON OF THE MEASUREMENT OF CHANGES OF THE ULTRASONIC
WAVE VELOCITY IN THE PROCESS OF DEFORMATION FOR DIFFERENT
TYPES OF EQUIPMENT**

Abstrakt

The comparison of measurement of ultrasonic P - wave and S - wave velocities changes in the process of deformation has been presented in this paper. The experiments were performed in Institute of Geonics AS CR in Ostrava and Strata Mechanics Research Institute PAS in Cracow and the results was compared. It was confirmed that configuration of measurement system, which was disposable in both laboratories, did not influence the measurement results and the results of measurement were very similar.

Key words: Ultrasonic wave velocity, physical rock properties

Introduction

Cracks, failures and other inhomogenities are the mediums strongly influence the ultrasonic wave propagation. The ultrasonic wave velocity measurement is usually used before laboratory geomechanical tests to avoid the testing of anomalous samples. However, the measurement of the ultrasonic wave velocity in the process of deformation is one of the method enables the monitoring of the degree of failure in the rock samples, too. Moreover, it is possible to observe the changes of dynamic Young's modulus and Poisson ratio in the process of deformation.

Method of measurement

The measurement was performed in two institutions with different equipment and with the same methodology to compare the influence of the system of measurement on results.

The rock testing system Instron 8500 (max. load 5000 kN) with a special cell for measurement of longitudinal and transversal wave velocity in the process of deformation (fig. 1) was used in Strata Mechanics Research Institute of the Polish Academy of Sciences in Cracow (hereafter IMG PAN). The measurement of axial and lateral deformations were performed by strain gages (Kanciruk, 1995).

The apparatus used for measuring ultrasonic wave delay contains of a digital oscilloscope, an ultrasonic testing device and two identical anvils. The oscilloscope of Tektronix 2230 type is a typical instrument used for observation of periodical and non-periodical electric signals. It makes it possible to measure time periods of non-repetitive signals with resolution of 50ns. In case of repetitive signals the resolution is up to 0,5 ns.

¹ Dr., Ing., Institute of Geonics of Academy of Sciences of the Czech Republic in Ostrava, konecpa@ugn.cas.cz

² Dr., Ing., Strata Mechanics Research Institute of the Polish Academy of Sciences in Cracow, kanciruk@img-pan.krakow.pl

³ Ing., CSc., Institute of Geonics of Academy of Sciences of the Czech Republic in Ostrava, kozusnik@ugn.cas.cz

⁴ Dr., Ing., Strata Mechanics Research Institute of the Polish Academy of Sciences in Cracow, nowakow@img-pan.krakow.pl

The ultrasonic testing instrument DI-23P was produced by Inco (Warsaw – Poland) several years ago. It was destined for industrial testing of metal goods. For the above-mentioned measurements the device plays a role of generator of exciting pulses only. The anvils are of Unipress – Warsaw production. Each of them contains two piezoelectric ultrasonic transducers: one for transmitting (or receiving) P-wave, the other for S-wave. The transducer resonant frequency is 1 MHz. The tested cylindrical specimen is placed between the anvils. Their solid construction makes it possible to use them during uniaxial tests with load up to 400 kN. In spite of this, that the apparatus is rather of temporary character, it makes it possible to perform measurements of P- and S-waves delay during crossing rock specimens.

The instrument DI-23P can produce electric pulses repeating every 20 ms. Their amplitude can vary from 500 to 1500V, duration time is about 2 μ s. The pulses are attached across a 2-pole switch to one of the anvils transducers, playing the role of waves transmitters. The receiving transducers are attached to two oscilloscope channels switched simultaneously. Thus, all of transducers operate in the alternating mode. The received signals are observed on the oscilloscope display. Additionally the output of the instrument DI-23P is connected to the oscilloscope synchronizing input “EXT”. The delay between the exciting pulse and the first positive peak of the received signal can be easily measured. For typical rock specimens the measuring resolution of 20 ns or even 10 ns is quite sufficient.

Not only the tested specimen produces ultrasonic waves delay. The anvils have their own delay, too. Therefore, before the experiment the anvils delay for P- and S-waves must be measured. For P-waves delay measurement the faces of the anvils are covered with a thin layer of couplant (for example glycerin), and tightly contacted together. For S-waves delay measurement the anvils must be loaded by force about 10 kN. The values are then subtracted from the results obtained during the specimen test.

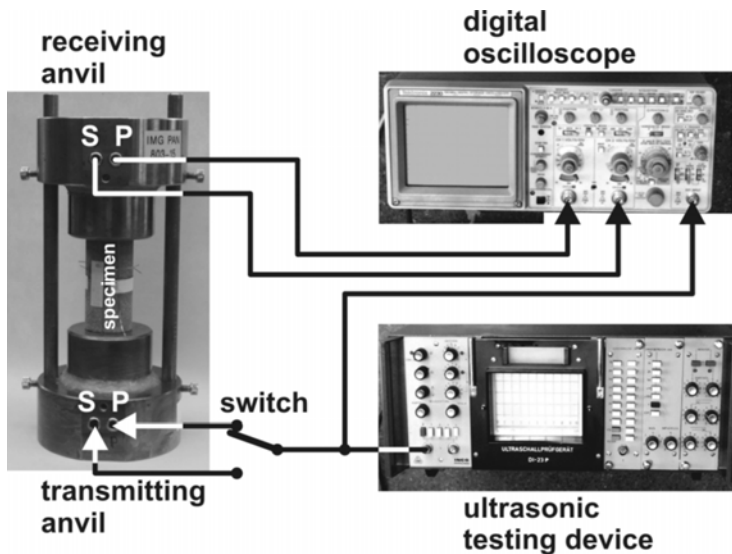


Fig. 1 The apparatus to test propagation of ultrasonic waves in rock specimens in IMG PAN Cracow

The axial force is work on by mechanical press ZWICK 1494 (max. load 600 kN) in Institute of Geonics of Academy of Sciences of the Czech Republic in Ostrava (hereafter ÚGN AV ČR). The measurement of axial deformation is registered from the press Zwick crossbar, the lateral deformations are measured with special strain gage sensors for measurement of lateral deformation of tested specimen (Konečný & Dombková, 2006).

The ultrasonic wave velocity measurement is provided by ultrasonic PC ISA card UMT-12 produced by Ultramet (Radom – Poland). The card is connected to PC 386. This UMT-12 card functions both as a transmitter and receiver of ultrasonic signal. The anvils are of Unipress – Warsaw production, analogous to anvils used in Cracow (fig. 2). The parameters are similar for both types of anvils; however, this type is constructed for triaxial measurement, too.

Original Basic Software of the UMT-12 displays the registered signal on PC monitor. The reading of values is realised manually by operator.

Although the both systems are very similar, the comparison measurement was performed to obtain the data measured by the same methodology.

The marble from Lipová locality was selected as a reference material. This monomineral rock (calcite compose nearly 100%) is known from the previous research as a material with good reproducibility of the results. Tested specimens of cylindrical shape with diameter of 48 mm, approximately, were drilled from rock blocks perpendicularly to metamorphic foliation. The ends of samples were sawed by diamond saw and polished. The slenderness ratio of specimens was 2:1 (high: diameter), finally.

Before placing between the anvils specimen's faces have also been covered with a couplant. After many years' experiments (at the beginning such couplants like glycerin, gel used for medical USG tests or greases were used) it has been found out that the best couplant, particularly for porous specimens, is the edible bee honey. The anvils and the specimen are put to uniaxial testing instruments like the above-mentioned Zwick or Instron and loaded up to the specimen failure.

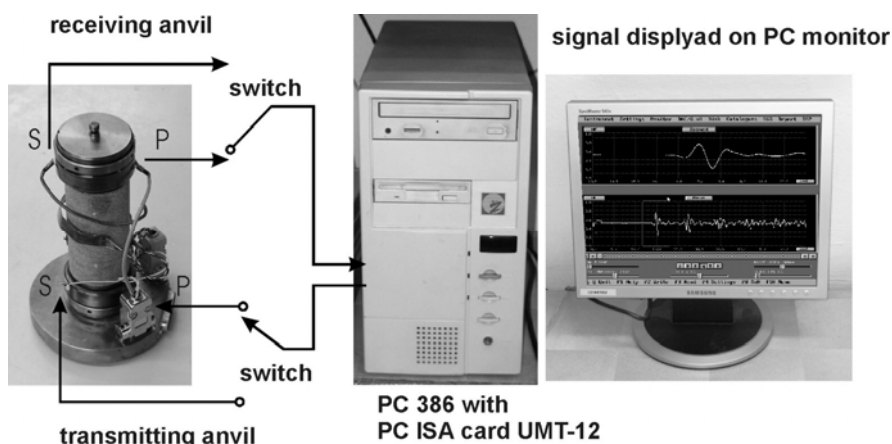


Fig. 2 The apparatus to test propagation of ultrasonic waves in rock specimens in ÚGN AVČR Ostrava

The research results

The following results were obtained with the use both the system Instron equipped with a precise load-cell of the measuring range equal to 325 kN and mechanical press Zwick. The advance velocity of the actuator piston had been set at 0,25 $\mu\text{m/s}$. The both systems can work in automatic mode. Therefore after their proper programming and starting their work they function without any further operation throughout the whole experiment. The measurement of ultrasonic waves delay time to pass through a specimen under examination is manually performed. It does not ensure a great frequency of measurements, yet with an adequately slow increase in load, alternating measurements taken every 30 seconds give up to 100 or even more results. A typical experiment takes about one hour.

Comparison of data from experiments on granite and marble confirms a good agreement of results from both system of measurement.

The example of results of measurement of marble (No. 10558) which has been tested by Instron 8500 in Cracow is visible in figure 3.

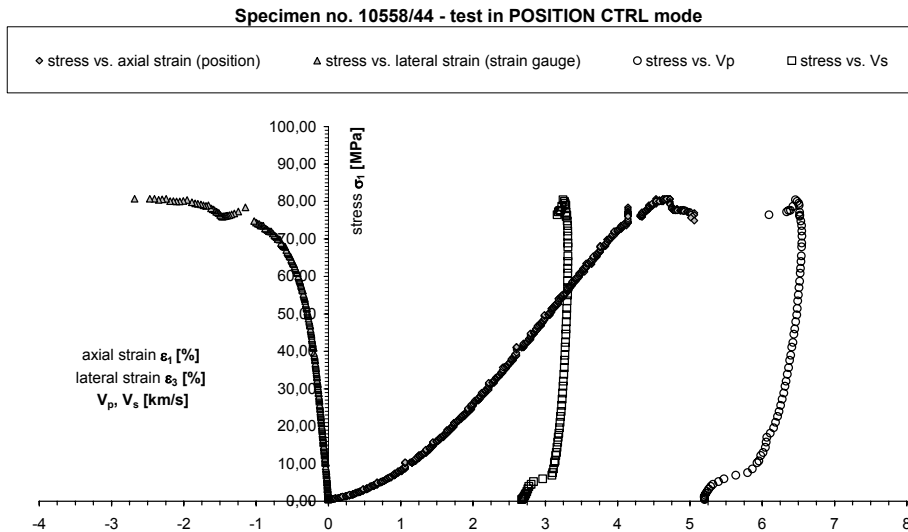


Fig. 3 Graphs of uniaxial measurement of the marble No. 10558/44

The example of results of measurement of the same type of marble (No. 10558) measured by Zwick 1494 in Ostrava is visible in figure 4.

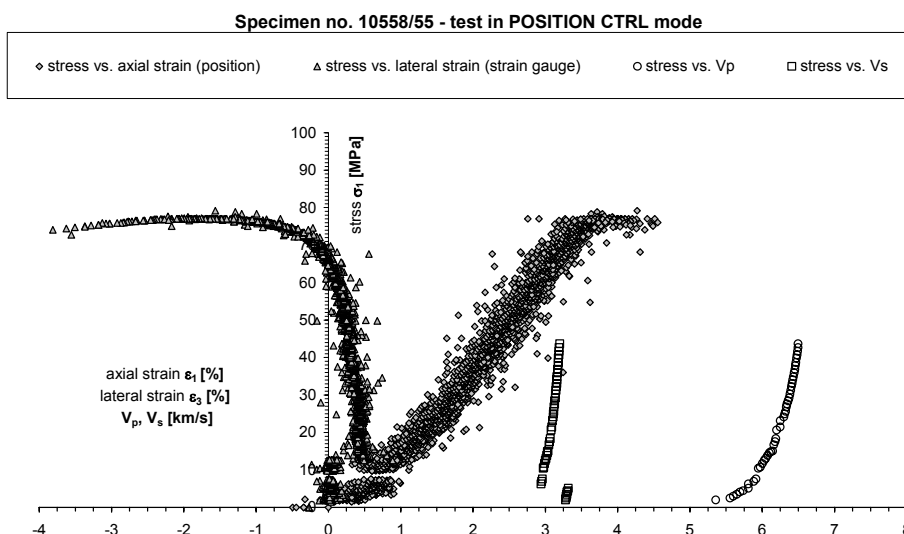


Fig. 4 Graphs of uniaxial measurement of the marble No. 10558/ 55

It is visible from the graphs, that the results of measurement are very similar regardless of system of measurement. Although, some defect occurs during measurement of specimen No. 10558/55 in Ostrava. This defect takes effect during the loading in value 8 MPa. However, there is no affecting in next process of loading.

The measurement with oscilloscope and ultrasonic testing device from Cracow with anvils from Ostrava and measurement with ultrasonic PC ISA card UMT-12 from Ostrava with anvils from Cracow was performed too, to insure about the compatibility of the measurement system.

Conclusions

The comparison of the ultrasonic wave velocity changes in the process of deformation was performed in two laboratories – namely in Strata Mechanics Research Institute of the Polish Academy of Sciences in Cracow and Institute of Geonics of Academy of Sciences of the Czech Republic in Ostrava. It was confirmed that configuration of measurement system, which is disposable in both laboratories, do not influence the measurement results.

This method of measuring of ultrasonic P- and S-waves velocities in rocks specimens during uniaxial tests, in spite of using mostly non-specialist instruments, still produces good results for rocks. It is one of the ways to monitor the degree of specimen destruction. However, the measuring results are used to determine dynamic material constants, as it has already been described (Nowakowski 2005, Konečný 2008).

The above mentioned methodology will be applied for judgement of physical properties of granitic rock massif in Jeroným historical mine and for Liberec granite.

Acknowledgements

This research work was supported by the Institute of Geonics AS CR, v.v.i., as a part of the Czech Science Foundation, project No. 105/06/0068, and by International project of the Academy of Sciences of the Czech Republic and Polish Academy of Sciences: "Application of advanced research methods to description of rocks and their discontinuities".

References

- [1] Kanciruk, A. (1995): Miernik tensometryczny SGM-1C. „XVII Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej”. Politechnika Wrocławska, Szklarska Poręba 13-18 marca 1995, pp. 171-178
- [2] Konečný, P. a Dombková, A. (2006): Změny přetvárných vlastností hornin v průběhu zatěžování za jednoosého a trojosého stavu napjatosti. Acta Mechanica Slovaca 2006, 1, pp. 245-248
- [3] Nowakowski, A. (2005): The static and dynamic elasticity constants of sandstone and shales from the hard coal mine „Jasmos” determined in the laboratory conditions. „Eurock 2005 - Impact of human activity on the geological environment”. A. A. Balkema Publishers, Brno 18-20 May 2005, pp. 419-422
- [4] Konečný, P. (2008): Změny statických a dynamických modulů pískovců v průběhu zatěžování. Uhlí, rudy, geologický průzkum. 7/2008, Praha.

RIZIKOVÁ ANALÝZA JAKO ALTERNATIVNÍ ROZHODOVACÍ METODA
RISK ANALYSIS AS ALTERNATIV DECISION METHOD

Abstract

The paper is oriented on practically usage of method UMRA (Universal Matrix of Risk Analysis) at decision making at process for maintenance residential housing locality Nová Osada, city Ostrava. The paper coming - out from practically example, which had been analysis for Office in Ostrava. The aimed was select acceptable housing for redevelopment and prepare their mark of this buildings, because redevelopment is not acceptably from reason economically and this qualification will be provide to house demolishing.

Key words: risk analysis, residential house

Úvod

Rozhodnout kvalifikovaně o stavebně technickém a statickém stavu objektu lze různě z pohledu určitého stupně znalostí věci, tedy informací o předmětné stavbě. Zatímco přesného výsledku lze docílit po zhotovení projektové dokumentace a návazně pak po vyhotovení položkového rozpočtu, orientační stanovisko může být výsledkem například vizuální prohlídky na místě samém. Platí přitom zásada, že přesné stanovisko je z ekonomického pohledu velmi náročné. Provedení projektu a následně rozpočtu pro případnou sanaci objektu reprezentuje mimo jiné stavebně technický a statický průzkum doprovázený provedením sond a laboratorních zkoušek vlastností a pevností stavebního materiálu. Naproti tomu „velmi levně“ vyjde posouzení na základě prohlídky, kdy je uplatněno zejména zkušeností toho, kdo prohlídku (a následně vyhodnocení) provádí a pozorovatelných průvodních znaků poruch stávajícího objektu.

Jednou z univerzálních metod používaných pro rozhodování je riziková analýza [1]. Jedná se o metodu, kterou podvědomě užíváme v běžném každodenním životě všichni – podle svého zaměření v různých podobách a různém rozsahu. Stavebnictví není výjimkou, přičemž pro vyhodnocení je pak volena vhodná metoda [1]. V popisovaném případě se v zásadě jedná o metody SAFMEA (Statistická vícekritériální analýza způsobů a následků poruch) nebo UMRA pracující pomocí univerzální matice rizikové analýzy. Za zmínku snad ještě stojí skutečnost, že oblast rizikové analýzy, jako součást rizikového inženýrství, je nejvíce propracována v bankovníctví.

Požadavek na rozhodnutí o vhodnosti sanace

Zadavatelem posudku, byl stanoven úkol poskytnout technický podklad pro rozhodnutí o vhodnosti sanace skupiny objektů a současně vytipovat objekty, u kterých sanace není ekonomicky odůvodnitelná. Technický podklad je zde zvýrazněn proto, že otázka „vhodnosti“ sanace se stává nejen částečně filozofickou otázkou, ale především je zatížena subjektivním hlediskem s výjimkou technicky přesně definovatelných parametrů a těmi mohou být například laboratorní zkoušky mechanicko fyzikálních vlastností materiálů a následný statický výpočet s návazným ekonomickým vyčíslením nákladů. Zde končí technické rozhodování a nastupuje subjektivní pohled na věc.

¹ Ing. Ph.D., VŠB Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, L. Poděšť 1875,
708 33 Ostrava-Poruba, tel: +420 596 991 343, (+420 602 778 967), karel.kubecka@vsb.cz

Víme, že technicky možná sanace je v dnešní době pojem opravdu filozofický, neboť technicky je dnes možné sanovat prakticky úplně všechno, jakoukoli konstrukci, v jakýchkoli podmínkách a jakémkoli stavu. Vhodnost sanace je pak otázkou jakési „ceny“ stavby nebo konstrukce a to například ceny historické. Pak ovšem uvádíme, že cena historického díla je nevyčíslitelná a ani v tomto ohledu nemáme k dispozici žádné vodítko. U běžných staveb (ale i u staveb památkově chráněných mající nevyčíslitelnou hodnotu) jsme schopni sanaci (vlastní technicky popsatelný proces sanace) vyjádřit ekonomicky a to ve finančním objemu potřebném k provedení sanace. Toto známe jako pojem „ekonomicky přijatelné náklady“, nebo „ekonomicky odůvodnitelné náklady“. Ovšem i zde se jedná o pojem do značné míry relativní, neboť „ekonomicky přijatelný“ náklad je opět subjektivní pojem. Pro fandu (architekta – památkáře) je tato hladina zcela a mnohdy řádově jiná, než pro majitele staré rozpadající se usedlosti, který na místě staré stavby hodlá vybudovat zcela něco jiného a moderního.

V tomto případě můžeme použít metodu, kterou všichni vlastně důvěrně známe a v každodenním rozhodování používáme v té nejjednodušší formě. V tomto se jedná o 100% subjektivní pohled. Například při přecházení rušné městské komunikace zvažujeme, zda automobily v obou směrech jedou tak rychle, že stihneme přeběhnout na protější chodník, zda uprostřed nezakopneme a nespádneme pod blížící se automobil, zda podpacek obuvi neuvízne v mezeře mezi kostkami dlažby, zda nám nespádnou brýle, pro které se budeme muset vrátit, zda... a mnoho dalších vlivů které více či méně mohou připadnout do úvahy v případě rozhodování se, zda přeběhnout na protější stranu.

Metoda „Univerzální matice rizikové analýzy“

Metoda Univerzální matice rizikové analýzy je založena na principu srovnávací logicko-numerické analýzy hodnocení stupně (závažnosti) nebezpečí pro předmětný řešený problém (projekt nebo jeho dílčí část) týmem expertů. Tým expertů hodnotí identifikovanou část problému (projektu), který je vytýčen určitým nebezpečím – rizikem. Počet částí problému hodnocených týmem expertů je libovolná, přičemž různé (nebo i totožné) části mohou být nezávisle řešeny různými expertními týmy s různým počtem expertů.

Cílem této expertní rizikové metody je s co největší přesností poskytnout informaci o zdroji nebezpečí v návaznosti na důsledky jeho vzniku a předpokládané míře jeho výskytu, což přímo souvisí s ekonomickými ukazateli – v případě stavby s investičními náklady nebo finančními náklady na rekonstrukci (sanaci) objektu. Názorně je situaci možno zobrazit jako schéma (viz Obr.1).

Základem je tedy „tým expertů“ vedený rizikovým analytikem, případně několik týmů expertů na různé nebo shodné oblasti dané problematiky.

Tým expertů má několik členů, jejich počet je libovolný dle závažnosti posuzované problematiky. Nejjednodušší varianta je, kdy tým expertů je složen z jediné osoby, která je současně rizikovým analytikem (jak je popsáno výše v případě, kdy se osoba rozhoduje zda přejít komunikaci...).



Obr 1 Týmy expertů

Práce je rozdělena do dvou navazujících etap (Obr 2). Tyto jsou nazvány jako UMRA.1 a UMRA.2. V první fázi (UMRA.1) se rizikový analytik seznámí s projektem, který má řídit a pro který má být provedena analýza rizika na základě definovaného aspektu (kvalitativně definovaného a vymezeného pohledu na projekt). Tímto aspektem může být například „statická způsobilost posuzovaných objektů“.

Dále rizikový analytik seznámí experty expertního týmu s podstatou metody a úkolem metody v rizikové analýze, neboť experti jsou odborníci ve své profesi (v daném aspektu) neznají podrobnosti hodnocení rizik. Osobou znalou je v tomto případě rizikový analytik. Experty je tedy nutno seznámit s minimem informací, což je význam segmentů projektu zvoleného aspektu včetně zásad členění, význam zdrojů nebezpečí včetně zásad členění nebezpečí a zejména pak se způsobem vyplňování formuláře. Můžeme jej zjednodušeně přirovnat k odbornému dotazníku. Otázky vyhodnocování jsou výhradně věci rizikového analytiky, úkolem experta je vyplnění formuláře.

Segmenty projektu (a_i , $i=1, \dots, n_a$) mohou být na sobě existenčně nebo sekvenčně závislé, nemohou být závislé fyzikálně. Nesmí obsahovat další segmenty a nečlení se na další dílčí segmenty [1].

Naopak zdroje (b_j , $j=1, \dots, n_b$) mohou být vzájemně na sobě závislé pouze existenčně a podobně jako segmenty se nečlení na dílčí zdroje a nesmí obsahovat jiné zdroje [1].

Příklad formuláře sestaveného rizikovým analytikem je uveden - Tab 1.

Rizikový analytik nechá tým expertů připomínkovat formulář UMRA (doplnění o další segmenty nebo zdroje, případně zjednodušení vypuštěním některých segmentů nebo zdrojů) a vyhotoví finální verzi formuláře UMRA. Připomínkové řízení může výjimečně mít i několik opakování. Tímto krokem je ukončena první fáze (UMRA.1) analýzy rizika, kterou nazýváme „identifikace ohrožených segmentů a identifikace zdrojů nebezpečí“ [1].

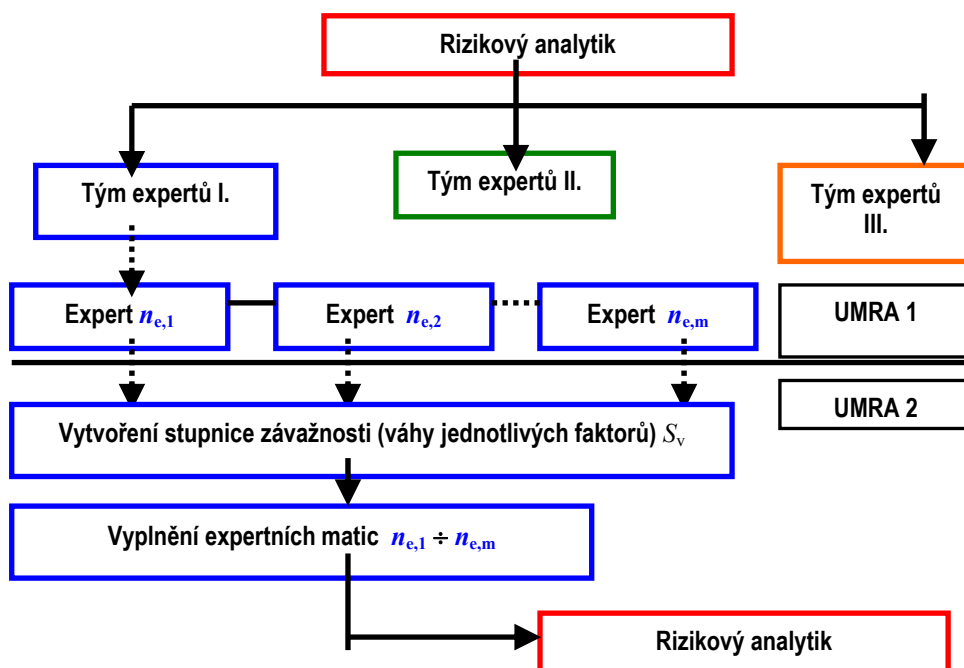
Máme tedy definované segmenty (části hodnocené konstrukce nebo části hodnoceného projektu) i aspekty (to je jednotlivé fáze stavebního procesu ve kterých by mohlo dojít ke zvýšenému výskytu rizika, poruchy a následně kolapsu či ekonomicky neúměrné ztrátě).

Riziková analýza pokračuje druhou fází (UMRA.2). Prvním krokem druhé fáze je úprava stupnice závažnosti nebezpečí Tab 2. Způsob vyplnění expertního formuláře (Tab 1) pak pokračuje jednotlivými experty expertního týmu podle těchto pravidel s tím, že buňka zůstane prázdná a nebo bude vyplněna:

- expert nedokáže nebezpečí korektně hodnotit $\Rightarrow$ prázdná buňka $c_{i,j}$

- ❑ současný souběh segmentu $\times$ zdroje není logicky možný $\Rightarrow$ prázdná buňka $c_{i,j}$
- ❑ současný souběh segmentu $\times$ zdroje je možný $\Rightarrow$ buňka $c_{i,j}$ obsahuje hodnotu S_v viz Tab 2

Toto hodnocení je třístupňové. Expert prvořadě posoudí, zda je vůbec schopen zaujmout k buňce $c_{i,j}$ (Tab 1) nějaké stanovisko. Ve druhé fázi expert kvalifikovaně rozhodne, zda je výskyt nebezpečí možný, to znamená, zda v buňce $c_{i,j}$ je reálný souběh segmentu a zdroje. Třetí fáze je kvantitativní odhad závažnosti nebezpečí S_v , to znamená, že buňka $c_{i,j}$ obsahuje hodnotu S_v . Vyplněný formulář (Tab 1) tvoří expertní matici hodnot S_vE .



Vyhodnocení [1]

Obr 2 Práce týmu expertů při rizikové analýze

Tab 1 Návrh formuláře UMRA

Projekt Aspekt	Obytné domy – Nová Osada, Ostrava								
	Statická způsobilost spodní stavby objektu								
	Zdroje nebezpečí								
	Segmenty projektu	Stav- tech. průzkum	Statický výpočet	PD sanace	Náhradní bydlení	Dodavatelé stav. prací	Technický dozor	Realizace izolací	Realizace nosných kcí
Deska stropu nad 1.PP mezi trámy	$c_{1,1}$	$c_{1,2}$	$c_{1,3}$	$c_{1,4}$					$c_{1,9}$
Deska stropu nad 1.PP ve vetknutí	$c_{2,1}$	$c_{2,2}$							$c_{2,9}$
Trámy stropu nad 1.PP									
Věnc a vetknutí desky									
Betonové stěny suterénu									
Komínová tělesa v suterénu									
Omitky stěn v suterénu									
Podlaha 1.PP (mazanina)	$c_{8,1}$	$c_{8,2}$							
Okenní otvory (sklepní okna)									
Izolace suterénu (vodor. a svislé)									
Expert:	<i>Bonifác Expert</i>			Datum:			<i>32. února 1237</i>		

Expert k (k=1, ...ne) vyplnil tedy expertní matici do buněk cijk, které tvoří stohy Cij hodnot SvEijk. Některé hodnoty mohou být, jak je výše uvedeno, nespecifikované (prázdná buňka).

Příklad vyplněného formuláře je dále uveden - Tab 3.

Tab 2 Stupnice závažnosti nebezpečí UMRA [1]

Nebezpečí	Realizace nebezpečí	Stupeň závažnosti Sv
nepatrné	Nevyžaduje prakticky žádná opatření, nemá vliv na ceny, lhůty, lze ji zanedbat, přehlédnout	0
malé	Nepodstatný vliv na cenu nebo lhůtu, nevyžaduje více než běžnou opravu (objektu, nebo procesu)	1
střední	Vyžaduje zvýšené náklady na odstranění následků (vícenáklady a nebo z rozpočtové rezervy projektu), nemá vliv na lhůtu, zpravidla bez sankčních opatření (smluvních pokut a podobně)	2
velké	Vyžaduje zásadní změnu projektu, vysoké náklady na sanaci nebo změnu technologických postupů nebo lhůty projektu. Směřuje k uplatnění smluvních pokut a náhrady škody. Může mít za následek „ztrátu důvěry v organizaci“.	3

Tab 3 Návrh formuláře UMRA

Projekt Aspekt	Obytné domy – Nová Osada, Ostrava								
	Statická způsobilost spodní stavby objektu								
	Zdroje nebezpečí								
	Stav-tech. Průzkum	Statický výpočet	PD sanace	Náhradní bydlení	Dodavatelé stav. prací	Technický dozor	Realizace izolací	Realizace nosných kčí	Dokonč. práce
Deska stropu nad 1.PP mezi trámy	0	0	1	2	2	1	<null>	2	1
Deska stropu nad 1.PP ve vetknutí	1	0	1	2	2	1	<null>	2	1
Trámy stropu nad 1.PP	1	0	1	2	2	1	<null>	2	1
Věnec a vetknutí desky	2	1	1	1	3	1	<null>	2	2

Betonové stěny suterénu	2	1	2	3	3	2	3	3	2
Komínová tělesa v suterénu	3	<null>	2	2	2	1	<null>	2	2
Omítky stěn v suterénu	0	<null>	0	0	0	0	<null>	<null>	1
Podlaha 1.PP (mazanina)	1	<null>	1	1	1	1	2	<null>	2
Okenní otvory (sklepní okna)	1	0	1	1	2	1	<null>	<null>	3
Izolace suterénu (vodor. a svislé)	3	<null>	2	0	3	2	3	<null>	3
Expert:	<i>Bonifác Expert</i>			Datum:			32. února 1237		

Pro každého experta lze stanovit (vypočítat) „individuální součinitel vnímání nebezpečí“

$$Pc_k = \frac{\sum_{ij} Sv_{ijk}^E}{Sv_{\max} \cdot n_{act,k}^E} \quad (1)$$

$Sv_{\max}$ maximální hodnota závažnosti nebezpečí (Tab 2 - $Sv_{\max} = 3$)

$\sum$

symbol označuje skutečnost, že se neuplatní prázdné buňky expertní matice.

Pro experta $k=1$ (Tab 3) pak vychází z expertní matice (s deseti řádky a devíti sloupci, to je s 90-ti hodnotami) součet závažností:

$$\sum_{ij} c_{ijk} = \sum_{10,9} c_{10,9,1} = 112$$

Patnáct buněk z devadesáti zůstalo nevyplněno (<null>), 75 buněk má reálnou číselnou hodnotu Sv v rozmezí jak uvádí Tab 2:

$$n_{act,k}^E = n_{act,1}^E = 75$$

Pro experta číslo 1 je individuální součinitel vnímání nebezpečí:

$$Pc_k = \frac{\sum_{ij} Sv_{ijk}^E}{Sv_{\max} \cdot n_{act,k}^E} = \frac{112}{3 \cdot (90-15)} = 0,498$$

Pokud expert provede analýzu pro několik srovnatelných projektů (například několik shodných objektů), je možno pro daného experta sestavit pořadí projektů (objektů) a stanovit tak v případě hodnocení stávajících objektů pořadí podle zachovalosti, náročnosti opravy, nebo statického či tavebně technického stavu.

Tab. 4 součinitele vnímání nebezpečí

veličina	tým	expert			
		1	2	3	4
Součet Sv^E	485	112	111	134	128
Počet aktivních buněk	298	75	71	77	75
Maximální možné hodnocení	894	225	213	231	225
Pc_t	0,543				
Pc_k		0,498	0,521	0,58	0,569
Pc_t / Pc_k		1,09	1,042	0,936	0,954

Optimální je vyhodnocení týmu expertů pro hodnocené projekty (objekty), čímž dostaneme podstatně objektivnější hodnocení a tedy i pořadí dle zvolených segmentů a aspektů. Větší tým expertů eliminuje subjektivní náhled jednotlivých členů expertního týmu, který hodnocení provádí.

Vyhodnocení v případě, že expertní tým se skládá z více jak jednoho experta ($k > 1$) může vypadat (pro $k = 4$) například následovně:

Vnímání nebezpečí bylo nejnižší u experta $k = 1$ a nejvyšší u experta $k = 3$.

Analogicky jako individuální součinitel vnímání nebezpečí lze stanovit „týmový součinitel vnímání nebezpečí“ pro stanovení součinitele expertního týmu.

$$Pc_t = \frac{\sum_{ijk} Sv_{ijk}^E}{Sv_{\max} \cdot N_{act}^E} \quad (2)$$

$$N_{act} = \sum_k n_{act,k}^E \quad (3)$$

Přičemž:

Podle jednotlivých uvedených výsledků Pc_k Tab. 4 se sestaví například pořadí sanovaných objektů, ze kterého vyplývá který z objektů je nejvhodnější pro sanaci a který z nich je určen k demolici. Pokud uvedené výsledky nepostačují, lze provést další

analýzu [1] získaných výsledků a nebo provést srovnání některou z dalších metod, například SAFMEA (Statistická vícekritériální analýza způsobů a následků poruch) [1]

Praktický postup

V praktickém případě bylo provedeno hodnocení stávajících objektů s tím, že byly vybrány převážně kritéria se shodným stupně závažnosti Sv, tedy se stejnou váhou různých kritérií.

Objekty byly podrobeny vizuálnímu posouzení. Jednalo se o objekty uvedené v tabulce a na obrázku 4. Hodnocení je provedeno bodově.

Vizuálně je posuzován každý z 21 obytných domů. Posuzovány jsou zejména znaky související se statickou způsobilostí domu se zvláštním zřetelem na nosné stěny 1.PP. Celkové hodnocení bez respektování váhy jednotlivých faktorů je uvedeno na obr. 5.



Obr 3 Celkový pohled na bytový dům Stromovka 21/1438

Pořadí jednotlivých bytových domů co do zachovalosti konstrukce je znázorněno v tabulce na obr. 5, číslování domů je zřejmé z obr. 4. Na základě tohoto pořadí je provedena „korekce“ představující respektování vizuálního stavu konstrukcí stěn 1.PP. Je třeba zdůraznit, že vizuální hodnocení nemusí být v souladu s dodatečně provedeným měřením pevnosti, a tedy se statickým stavem konstrukce.

Je jen ekonomickým ukazatelem náročnosti případné opravy bez respektování skutečného statického stavu. Tento je spolehlivě zjištěitelný pouze a jen destruktivně.

Pořadové číslo objektu	Pořadí	ulice	Č. pop.	Č. or.	hodnocení									
					sokl	Vněj. omítka	chodba	Příseň 1.NP	Schodišťový prostor	1.PP. podlahy	1.PP stěny	Strop nad 1.PP	Příseň 1.PP	CELKEM
1	-	Nová Osada	1468	2	2	1	Nepřístupný							
2	10	Nová Osada	1466	4	3	1	2	2	2	2	3	2	3	2,22
3	4-5	Nová Osada	1463	6	2	1	2	1	2	3	2	2	2	1,89
4	4-5	Nová Osada	1461	8	2	1	2	1	1	2	3	3	2	1,89
5	13-15	Nová Osada	1459	10	2	2	3	3	2	2	3	2	3	2,44
6	16-17	Nová Osada	1440	7	3	2	3	3	2	2	3	2	3	2,56
7	18	Nová Osada	1441	5	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2,89
8	13-15	Heřmanická	1444	30	2	2	3	3	2	3	3	2	2	2,44
9	7-9	Heřmanická	1443	28	1	2	2	2	2	2	3	2	3	2,11
10	1	Heřmanická	1442	26	1	1	1	2	1	2	2	2	3	1,67
11	6	Kepkova	1465	3	2	2	3	3	2	1	2	2	1	2,00
12	11-12	Kasární	1458	7	2	1	2	2	3	3	3	2	3	2,33
13	11-12	Kasární	1474	5	1	2	3	3	3	2	2	2	3	2,33
14	13-15	Kasární	1476	3	3	3	2	2	2	2	3	2	3	2,44
15	16-17	Kasární	1478	1	3	3	2	2	3	3	3	2	2	2,56
16	-	Kasární	1477	2	3	1	Nepřístupný							
17	2-3	Kasární	1473	6	3	1	2	2	3	2	1	1	1	1,78
18	7-9	Nová Osada	1470	5	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2,11
19	7-9	Nová Osada	1471	3	3	3	2	1	2	2	3	2	1	2,11
20	-	Nová Osada	1472	1	3	3	2	2	1	Nepřístupný				
21	2-3	Stromovka	1467	11	3	2	1	1	1	2	2	3	1	1,78

Obr. 5 Celkový pohled na bytový dům Stromovka 21/1438

Literatura

- [1] Tichý, M. (2006): Ovládání rizika, analýza a management. Praha 2006, vydavatelství C.H.Beck, ISBN: 80-7179-415-5
- [2] Kubečka, K., Krejsa, M. a Jonov, D. (2006): Rizika modelování nosných konstrukcí střech. Mezinárodní konference Modelování v mechanice, VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra stavební mechaniky 1.-2. února 2006, ISBN 80-248-1035-2, strana 41.
- [3] Kubečka, K. (2006): Rizika staveb, Sympozjum Trwałość Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, ROCZNIKI INŻYNIERII BUDOWLANEJ – ZESZYT 6/2006, Komisja Inżynierii Budowlanej Oddział Polskiej Akademii Nauk w Katowicach. Kamień Śląski 20-22.06.2006 (bez ISBN)
- [4] Kubečka, K. (2006): Risks of Residential Buildings, Mezinárodní konference ENHR, Ljubljana, Slovinsko, VII/2006.
- [5] Kubečka, K. (2007): Znalecký posudek ZP-285/2007 Posouzení bytových domů Stromovka 21/1438 a 23/1437, parc. č. 2542, k. ú. Slezská Ostrava, provedení destruktivních zkoušek pevnosti betonů a zpracování posouzení stávajícího stavu okolních bytových domů vč. návrhu týkající se možnosti rekonstrukce a její ekonomické výhodnosti.

- [6] Kubečka, K., (2008): Riziková analýza jako alternativní rozhodovací metoda ve znalecké praxi. XVII. Mezinárodní vědecká konference soudního inženýrství Brno, 25.–26.1.2008. Sborník příspěvků XVII. Konference a CD. ISBN, 978-80-7204-491-7.

**ULTRAZVUKOVÉ PROZAŘOVÁNÍ VRTNÉHO JÁDRA Z LOKALITY
HISTORICKÉHO DOLU JERONÝM
ULTRASONIC MEASUREMENT OF DRILL CORE FROM JERONÝM MINE**

Abstract

This contribution describes ultrasonic measurement of the granite specimen from Jeroným mine in laboratory conditions. Instrumentation TICO was used for this experimental measurement on the rock. Changes in spreading velocities detect existence of fissures and anisotropy in the granite specimen.

Key words: ultrasonic measurement, spreading velocity

Úvod

Ke zkoušení vzorků za účelem stanovení vybraných vlastností zkoušeného materiálu se využívají různé metody. Mnohé z těchto metod patří k tzv. nedestruktivním metodám. To znamená, že při nich zkoušené těleso nebo konstrukci nepoškodíme. Nedestruktivní metoda zkoušení byla vybrána také pro první zhodnocení horninového materiálu získaného při vrtání dvou třímetrových vrtů v prostorách historického Dolu Jeroným. Jednalo se o měření průběhových rychlostí ultrazvukových vln pomocí přenosné ultrazvukové aparatury TICO.

Motivace experimentů v historických důlních dílech

Znalost fyzikálních parametrů hornin je nutná pro řešení řady problémů nejen v historických důlních dílech - pro detailní geologické mapování, pro zhodnocení stabilitních poměrů, pro realizaci věrohodných matematických modelů, atd. Stanovení fyzikálních parametrů lze provést na základě:

- ☐ laboratorních zkoušek na „náhodně odebraných vzorcích“ (bez zásahu do masivu)
- ☐ laboratorních zkoušek na systematicky odebraných vzorcích (zásah do masivu, znalost umístění vzorku a jeho orientace)
- ☐ experimentálních měření přímo v důlních prostorách (bez zásahu do masivu, pomocí nedestruktivních metod)

Při provádění experimentálních měření, průzkumných pracích, monitoringu a veškerých rekonstrukčních pracích v historickém důlním díle bychom měli k těmto aktivitám přistupovat takovým způsobem, aby byly zásahy do historických unikátních částí co možno minimální. Řešením je realizace krátkodobých měření bez poškození historických částí (geofyzikální metody, nedestruktivní metody), případně „šetrná instalace“ trvalého měřicího zařízení. Nejstarší části důlních děl mohou patřit ze stabilitního hlediska k nejkritičtějším místům v důsledku dlouhodobé degradace horninového materiálu a je třeba je podrobit důkladnému posouzení, přičemž posouzení naměřených dat je třeba řešit individuálně.

Důl Jeroným, který byl v roce 1990 prohlášen Ministerstvem kultury ČR nemovitou kulturní památkou a v roce 2008 „národní kulturní památkou“, prochází postupnou rekonstrukcí a v budoucnu se uvažuje o jeho zpřístupnění veřejnosti (Žůrek a

¹ Ing., FAST VŠB – Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00 Ostrava – Poruba, (též Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Ostrava), marketa.lednicka@vsb.cz

Kořínek, 2003). V rámci stabilitního posouzení tohoto důlního díla (Kaláb et al., 2008) se v současné době zkouší také využití nedestruktivní metody „ultrazvukového prozařování“ - jedná se o využití přenosné měřicí aparatury pro měření rychlosti průchodu ultrazvukových vln.

Provedená laboratorní měření

V roce 2007 byla provedena modelová analýza stabilitní a napěťo-deformační situace vybrané komory Dolu Jeroným (komora K2 na štolovém patře; Hrubešová et al., 2007). Pro vytvoření věrohodného matematického modelu bylo třeba nejprve laboratorně stanovit vybrané materiálové charakteristiky. Laboratorní měření zajistilo oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů Ústavu geoniky AV ČR. Jednalo se o zkoušení náhodně odebraných vzorků z modelované komory K2 na zařízení MARUTO (Konečný et al., 2006). Vybrané výsledky tohoto laboratorního měření jsou uvedeny v tab. 1. Na základě těchto výsledků si můžeme udělat prvotní představu o rychlostech průchodu podélných ultrazvukových vln daným materiálem.

V listopadu roku 2007 byly v jedné z nejstarších a nejrozsáhlejších komor (komora K1) vyvrtány dva cca 3 metry dlouhé vodorovné vrty za účelem instalace kuželových sond pro kontinuální měření změn napjatosti masivu (sondy jsou součástí distribuovaného měřicího systému v Dole Jeroným, např. Knejzlík a Rambouský, 2008). Jeden vrt byl vyvrtán u ústí řázcí jámy v komoře K1 (vrt 1), druhý byl vyvrtán v komoře K1 u ústí chodby spojující horní a štolové patro (vrt 2).

Jádrové vrtní umožnilo získat zkušební materiál pro provedení experimentálních měření a stanovení materiálových charakteristik. Dvě vrtná jádra byla nejprve podrobena nedestruktivnímu zkoušení pomocí přenosných ultrazvukových aparatur a následně bude na jádře provedeno další zkoušení na přesných laboratorních přístrojích (oddělení laboratorního výzkumu geomateriálů, Ústav geoniky AV ČR). Jak můžeme vidět na obr. 1, vrtná jádra granitoidní horniny jsou místy značně narušená systémem puklin (vyhojených i nevyhojených), proto nelze provést měření po celé délce jádra.

Tab. 1 Výsledky laboratorního měření na vzorcích odebraných z komory K2 Dolu Jeroným - objemová hmotnost a rychlost průchodu podélných ultrazvukových vln (Konečný et al., 2006).

číslo zkušebního tělesa	objemová hmotnost (kg.m^{-3})	rychlost ultrazv. vln (m.s^{-1})
1	2570	3900
2	2575	3800
3	2575	4200
4	2573	4100
5	2562	3400
6	2573	3700
7	2590	4400
8	2593	4100
9	2580	4200
10	2593	4400



Obr. 1 Vrtná jádra a pohled do vrtu – vlevo vrt 1, vpravo vrt 2

Nedestruktivní zkoušení pomocí přenosné ultrazvukové aparatury

Jak bylo uvedeno v předešlé části, vrtná jádra byla nejprve podrobena nedestruktivnímu zkoušení pomocí ultrazvukového prozařování přenosnou aparaturou. Princip měření vychází z tzv. „ultrazvukové impulsové metody“ (využívá se především k nedestruktivnímu zkoušení betonu – ČSN 73 1371). Obecný postup této metody spočívá v opakovaném vysílání ultrazvukových impulsů do zkoušeného materiálu a jejich následná registrace, přičemž se měří čas šíření těchto impulsů a ze znalosti vzdálenosti vysílací a přijímací sondy se dopočítá impulsová rychlost. Možné varianty měření v závislosti na vzájemné poloze sond jsou popsány např. v Kaláb a Lednická (2007).

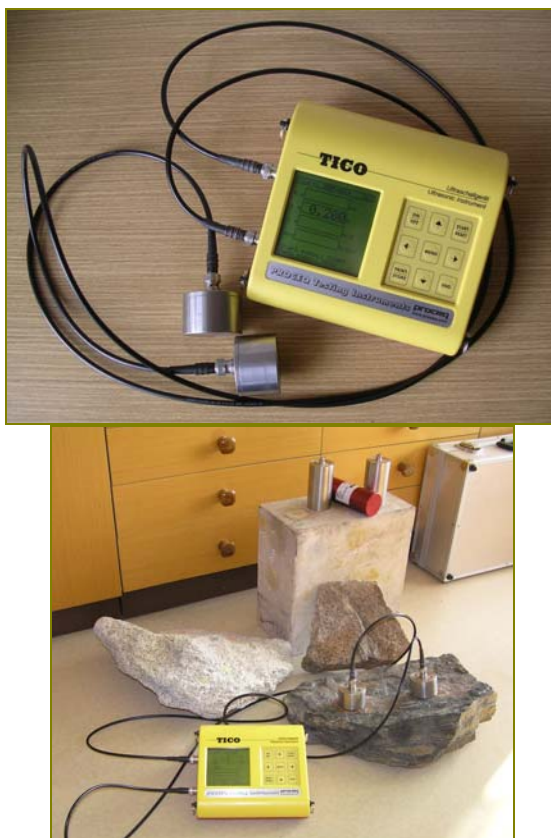
Měřicí aparatura

Pro provedení ultrazvukových měření byla využita přenosná měřicí aparatura TICO firmy Proceq (Švýcarsko), která je určena ke zkoušení betonu (detekce dutin, trhlin, zjišťování pevnosti betonu, modulu pružnosti, stejnoměrnosti zhuštění, apod.). Aparatura se skládá z vlastního indikačního přístroje a páru zvukových sond, tj. vysílače

a přijímače ultrazvukových impulsů (obr. 2). Indikační přístroj je snadno ovladatelný, data jsou zobrazována na digitálním displeji, k uložení naměřených dat slouží paměť přístroje (až 250 hodnot), které lze následně přenést na PC. Pro kalibraci přístroje je k dispozici kalibrační tyč (kovový váleček dané délky s přesně definovaným časem průchodu ultrazvukových vln). Napájení přístroje zajišťují tužkové baterie.

Technické parametry aparatury TICO:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| ☐ rozsah měření | 15 až 6550 μ s |
| ☐ rozlišení | 0,1 μ s |
| ☐ velikost napětíového impulsu | 1 kV (při třech impulsech za sekundu) |
| ☐ teplotní rozsah pro měření | -10°C až + 60°C |
| ☐ frekvence zvukových sond | 54 kHz nebo 24 kHz |



Obr. 2 Přenosná ultrazvuková aparatura TICO firmy Proceq (Švýcarsko)

Laboratorní měření na vrtném jádře z vrtu 1

Pro první měření bylo vybráno vrtné jádro z vrtu 1 (obr. 3). Průměr vrtného jádra je 70 mm, délka přibližně 2,6 m. Jak je možné vidět na obr. 3, v první části jádra je hornina celistvá, místy prostoupená vyhojenými puklinami, v druhé části vrtu je jádro rozpuštěné.

Obr. 3 Seskládané vrtné jádro (vrt 1) - začátek jádra je vlevo

Cílem měření bylo stanovení rychlostí průchodu UZ vln podél celistvé části vrtného jádra (značně narušené a rozpukané části nelze proměřit), detekce oslabených zón, anizotropie, změn rychlosti s hloubkou vrtu, apod.

Měření se provádělo při protilehlé poloze sond – přímé měření, za použití indulony jako akustického vazebného prostředku. Pro zmenšení dotykové plochy sond byly použity kovové kuželové nástavce (obr. 4), přičemž naměřený čas t' bylo třeba opravit o čas průchodu UZ vlny nástavci.

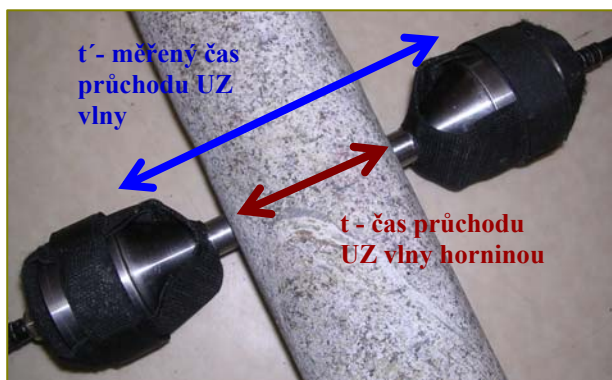
$$t = t' - t_n$$

t opravený čas průchodu UZ vlny horninovým materiálem

t' naměřený čas průchodu UZ vlny

t_n čas průchodu UZ vlny nástavci ($t_n = 15 \mu s$)

Z opraveného času t byla následně dopočítána rychlost průchodu UZ vlny materiálem.

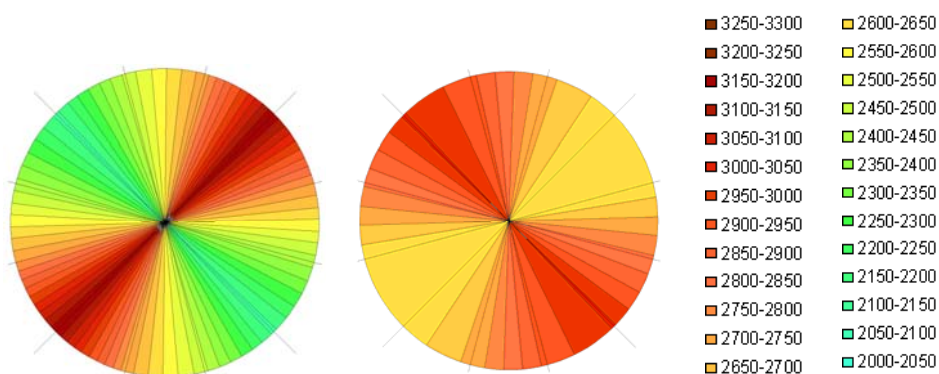


Obr. 4 Schéma měření na vrtném jádře pomocí nástavců

Při prvních měřeních na vrtném jádře se ukázalo, že hornina vykazuje určitou anizotropii v ploše kolmé na osu vrtu. Maximální a minimální rychlosti průchodu UZ vln se projevovaly nejčastěji ve směrech navzájem kolmých.

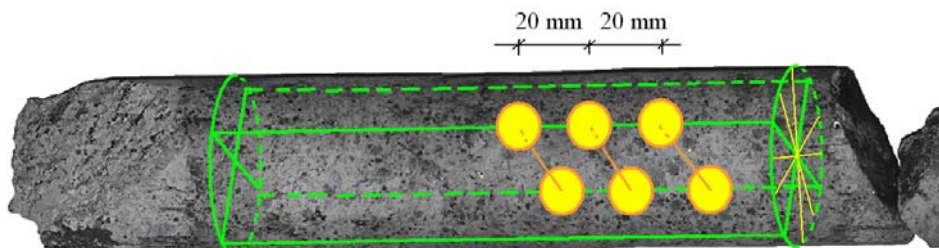
Postup měření

Na každém kuse jádra, který bylo možno proměřit, byly nejprve zjištěny směry maximálních a minimálních rychlostí (6 měřicích míst po obvodu jádra, příklad na obr. 5), a poté bylo jádro proměřeno po celé délce ve dvou na sebe kolmých směrech odpovídajících zjištěným maximálním a minimálním rychlostem (schéma na obr. 6).



Obr. 5 Hodnoty průběhových rychlostí ultrazvukových vln naměřené po obvodu jádra (barevná škála zobrazuje rozsahy průběhových rychlostí ultrazvukových vln v m/s).

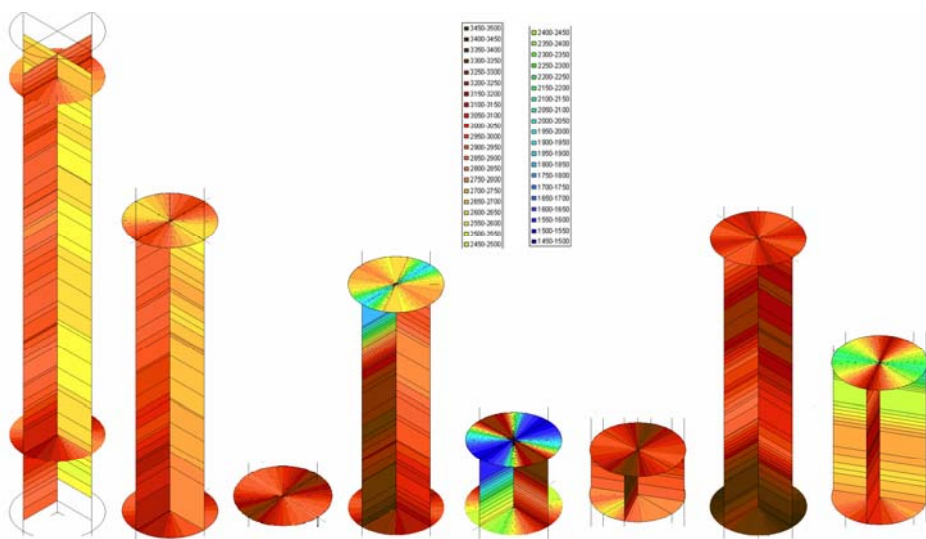
Celkem bylo proměřeno 8 částí vrtného jádra, zbylých 5 částí bylo značně porušených. Vzdálenost měřicích míst při prozařování podél jádra byla 20 mm (schéma na obr. 6), celkový počet měřicích míst byl 223. Na každém měřicím místě bylo provedeno 5 měření (vyloučení chyb v důsledku špatného kontaktu sondy s horninou).



Obr. 6 Schéma rozmístění měřicích míst podél vrtného jádra

Vyhodnocení měření

Ze souboru pěti hodnot naměřených na jednom prozařovaném místě byla pro konečné vyhodnocení vybrána vždy maximální hodnota průběhové rychlosti. Hodnoty průběhových rychlostí byly zpracovány do prostorového modelu pro názornější zobrazení výsledků měření (obr. 7).

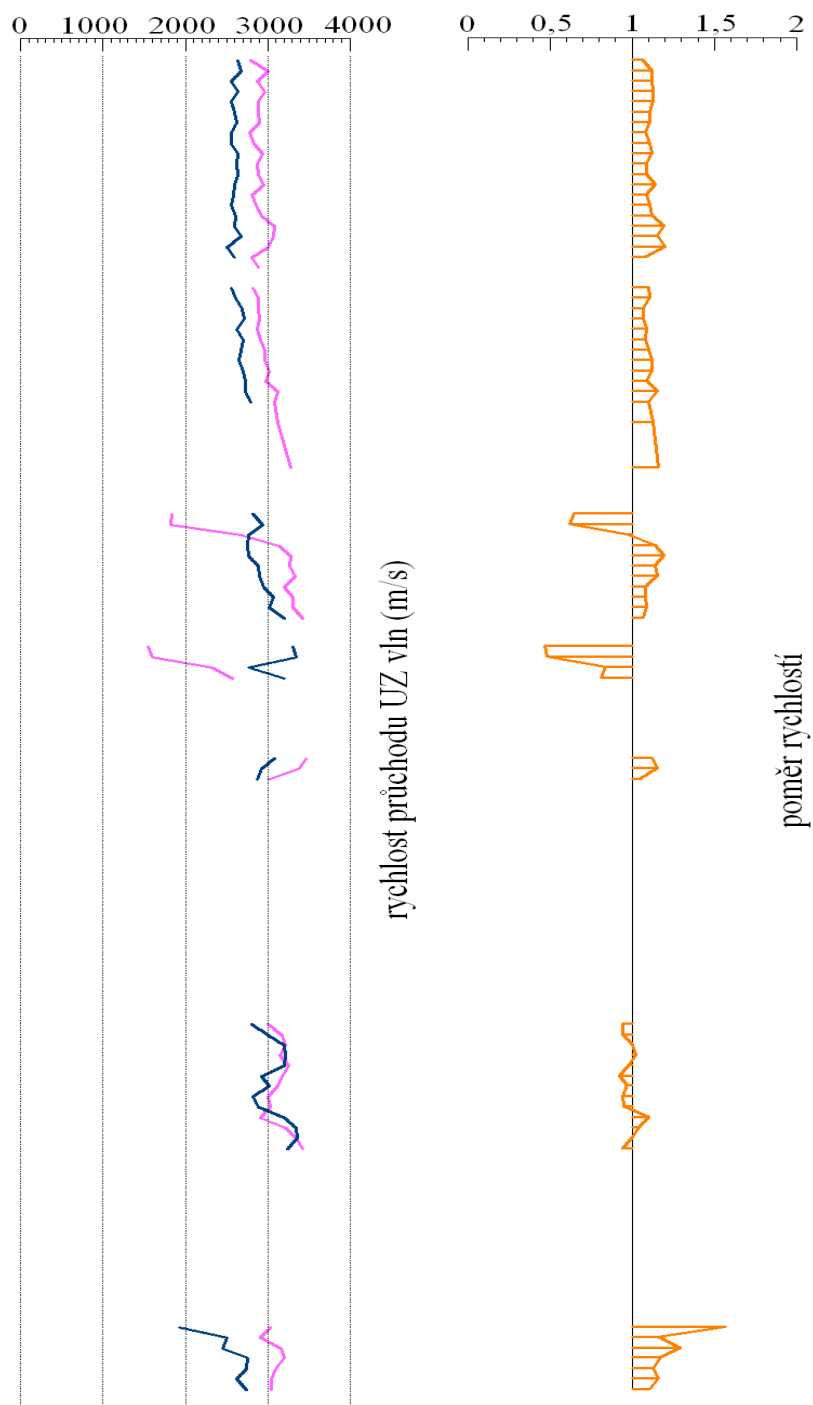


Obr. 7 Prostorový model prozářených částí vrtného jádra (vrt 1) – barevná škála zobrazuje rozsahy průběhových rychlostí ultrazvukových vln v m/s.

Hodnoty naměřených rychlostí průchodu UZ vln jsou v rozmezí 1500–3500 m/s, přičemž nižší hodnoty rychlostí odpovídají místům blízkým porušeným zónám. Hodnoty průběhových rychlostí směrem s hloubkou vrtu nepatrně narůstají (pomineme-li oslabené zóny). Směr maximálních a minimálních průběhových rychlostí (měřených ve směru kolmém na osu jádra) podél jádra se víceméně nemění, až na oslabené zóny (obr. 8). Poměr maximálních a minimálních rychlostí u neporušených částí jádra je v rozmezí 1,1 – 1,2 (obr. 9).



Obr. 8 Grafické znázornění průběhových rychlostí ultrazvukových vln podél vrtného jádra (vrt 1). Barevná škála zobrazuje rozsahy průběhových rychlostí ultrazvukových vln v m/s – viz. obr. 6.



Obr. 9 Hodnoty maximálních a minimálních průběhových rychlostí ultrazvukových vln (v m/s) podél vrtného jádra a jejich poměr.

Závěr

Pomocí nedestruktivní ultrazvukové impulsové metody byly laboratorně stanoveny hodnoty rychlostí průchodu UZ vln ve značné části vrtného jádra vrtu 1 pocházejícího z komory K1 Dolu Jeroným. Cílem bylo ověření použitelnosti této metody měření pro získání rychlé informace o rychlostech průchodu UZ vln horninovým materiálem. Na základě naměřených hodnot těchto rychlostí a jejich změn je možné detekovat oslabená místa v blízkosti rozpukaných částí jádra a anizotropii v rovině kolmé k ose vrtu. Rychlost průchodu UZ vln v neporušených částech jádra směrem s hloubkou vrtu nepatrně narůstá.

Dalším cílem bude proměření vrtného jádra vrtu 2 z Dolu Jeroným a porovnání výsledků stanovených přenosnými ultrazvukovými aparaturami s hodnotami rychlostí naměřenými na laboratorních zařízeních.

Poděkování

Tento výzkum je finančně podporován projektem No. 105/06/0068 Grantové agentury České republiky.

Literatura

- [1] ČSN 73 1371 Ultrazvuková impulsová metoda zkoušení betonu.
- [2] Hrubešová, E., Kaláb, Z., Kořínek, R. a Žůrek, P. (2007): Dílčí výsledky modelové analýzy stabilitní a napětí-o-deformační situace komory Dolu Jeroným. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VII, č.2/2007, 91-98.
- [3] Konečný, P., Lukšová, J., Pivodová, K., Střilka, J. a Kraus, M. (2006): Fyzikální vlastnosti granitoidní horniny z lokality Krásno. Zpráva z laboratorního měření, Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava, nepublikováno, 3 s.
- [4] Žůrek, P. a Kořínek, R. (2003): Zpřístupnění středověkého Dolu Jeroným v České republice. Acta Montanistica Slovaca, roč. 8, č.2-3, 96-100.
- [5] Kaláb, Z. a Lednická, M. (2007): Ověření použitelnosti aparatury TICO pro ultrazvukové měření v historickém důlním díle. Sborník Hornická Příbram ve vědě a technice 2007, CD, příspěvek T 04.
- [6] Kaláb, Z., Knejzlík, J., Kořínek, R., Kukutsch, R., Lednická, M. and Žůrek, P. (2008): Contribution to Experimental Geomechanical and Seismological Measurements in the Jeroným Mine. Acta Geodyn. Geomater., Vol. 5, No. 2(150), 213-223.
- [7] Knejzlík, J. and Rambouský, Z. (2008): Recent Solution of the Distributed Control and Measurement System in the Jeroným Mine – Modular System. Acta Geodynamica et Geomaterialia, Vol. 5, No. 2(150).

**HODNOCENÍ GEOLOGICKÝCH PODMÍNEK ZÁJMOVÉ OBLASTI V MAPÁCH
STŘETŮ ZÁJMŮ**

**CLASSIFICATION OF GEOLOGICAL CONDITIONS OF INTERESTED AREA IN
MAPS OF CLASH OF OPINIONS**

Abstract

New methodology for evaluation of input theme area of interest for maps of clash of opinions is presented in this contribution. The main idea is to prepare new layer called “seismic characteristic of foundation conditions”. This new layer, which is represented by values of specified significance, enables to confront parameters of different thematic layers.

Key words: maps of clash of opinions, geological conditions, undermined area

Úvod

Hodnocení seizmického zatížení stavebních objektů na základě tzv. “map střetů zájmů” poskytuje rychlou informaci pro první zhodnocení tohoto zatížení ve vybrané oblasti. Základní metodika tvorby map již byla publikována např. v Lednická et al., 2006. Princip tvorby těchto map spočívá v konfrontaci třech vstupních témat – “zájmová oblast”, “stavební objekty” a “seizmické zatížení”. Podrobnější hodnocení vstupních témat “stavební objekty” a “seizmické zatížení (pouze důlně indukovaná seizmicita)” již bylo publikováno, např. Lednická 2006; Kaláb 2007 a Lednická 2007. Detailnější hodnocení třetího ze vstupních témat – “zájmové oblasti” bude rozebráno v tomto příspěvku.

Vstupní téma zájmová oblast

Parametry zájmové oblasti mají vliv na obě další vstupní témata – seizmické zatížení (např. zesílení seizmických účinků vlivem lokální geologie) a stavební objekty (základové poměry, úroveň hladiny podzemní vody, únosnost základové půdy, svahové sesuvy). Na základě obecné metodologie tvorby map střetů byly vybrány následující tématické vrstvy zájmové oblasti (Lednická et al., 2006):

- ☐ lokální geologie a tektonická stavba oblasti
- ☐ úroveň hladiny podzemních vod
- ☐ akumulace povrchových vod
- ☐ mocnost nezpevněných sedimentů
- ☐ deformace terénu způsobené hlubinnou těžbou
- ☐ poddolovaná území
- ☐ sesuvy a dynamické jevy
- ☐ vybrané vlastnosti horninového prostředí

Mapy střetů zájmů je možné obecně zpracovávat v různých úrovních měřítka. Pro naše účely budou mapy střetů zpracovány pro regionální úroveň měřítka , přičemž

¹ Ing., FAST VŠB- Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15, 708 00 Ostrava – Poruba, (též Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Ostrava), marketa.lednicka@vsb.cz

² Doc., RNDr., CSc., Ústav geoniky AV ČR, Studentská 1768, Ostrava, kalab@ugn.cas.cz, též VŠB Technická univerzita Ostrava, fakulta stavební, L. Podešť 1875, Ostrava

vybraný region reprezentuje oblast bývalého okresu Karviná (oblast výskytu důlně indukované seismicity). Pro tuto konkrétní oblast je možné upravit složení tématických vrstev vybraných na základě obecné metodiky. Např. tématická vrstva “akumulace povrchových vod” (tím jsou myšleny velké přehrady) nepřichází v oblasti Karvinska v úvahu, naproti tomu např. vrstva “deformace terénu způsobené hlubinnou těžbou” nabývá v této zvolené oblasti na významu.

Při hledání střetů zájmů můžeme postupovat dvěma různými způsoby:

- ☐ Každá tématická vrstva zájmové oblasti může vstupovat do mapy střetů samostatně. Výsledným střetem zájmů bude konfrontace mezi seizmickým zatížením, stavebními objekty a parametrem vybrané tématické vrstvy zájmové oblasti (bez ohledu na parametry ostatních vrstev zájmové oblasti). Zajímá-li nás například možnost zesílení seizmických účinků vlivem lokální geologie v dané oblasti, potom bude do konfrontace se seizmickým zatížením a stavebními objekty vstupovat např. vrstva “mocnost nezpěvněných sedimentů”.
- ☐ Pro celkové zhodnocení seizmického zatížení vybrané oblasti je třeba brát v úvahu všechny parametry vrstev zájmové oblasti, které mohou mít vliv jak na seizmické zatížení tak na stavební objekty. Zde však nastává problém, protože všechny tyto parametry jsou mezi sebou navzájem těžko srovnatelné. Proto byl pro tento způsob vyhodnocení střetu zájmů stanoven nový pojem (kterým bude nazvána nová tématická vrstva) – „seizmická charakteristika základových poměrů“. Stejně jako tomu bylo u tématických vrstev seizmického zatížení, i vrstva “seizmická charakteristika základových poměrů” bude zpracována pro určité časové období, neboť některé parametry tématických vrstev zájmové oblasti jsou v čase proměnné (např. aktivita svahových sesuvů, úroveň hladiny podzemní vody, deformace terénu, atp.).

Tématická vrstva „Seizmická charakteristika základových poměrů“

Následná část příspěvku, týkající se metodiky určení „seizmické charakteristiky základových poměrů“, je zpracována pouze pro vybranou oblast Karvinska. To umožňuje ukázat nejen metodický přístup, ale konkrétní realizaci. Nová tématická vrstva “seizmická charakteristika základových poměrů” bude vytvářena na základě parametrů vybraných tématických vrstev zájmové oblasti a bude sloužit pouze pro účely vyhodnocení map střetů zájmů. Charakterizována bude čtyřmi třídami základových poměrů:

- ☐ optimální
- ☐ příznivé
- ☐ nepříznivé
- ☐ velmi nepříznivé

Zatřídění do třídy základových poměrů bude provedeno na základě součtu vah bodového ohodnocení jednotlivých parametrů konfrontovaných tématických vrstev zájmové oblasti. Bodové ohodnocení těchto parametrů vypovídá o míře ovlivnění účinků seizmického zatížení jednotlivými parametry (čím vyšší je bodové ohodnocení parametru, tím nepříznivější má tento parametr vliv).

Součet vah bodového ohodnocení pro jednotlivé třídy základových poměrů (platí pouze pro zpracovávanou oblast Karvinska) je uveden v tab. 1. Pro jiné zájmové oblasti je třeba změnit bodové ohodnocení parametrů konfrontovaných tématických vrstev v závislosti na místních podmínkách.

Tab.1 Součet vah bodového ohodnocení pro jednotlivé třídy základových poměrů (platí pouze pro zpracovávanou oblast Karvinska)

základové poměry	součet vah bodového ohodnocení
optimální	0-2
příznivé	3-4
nepříznivé	5-6
velmi nepříznivé	nad 6

Do vahovaného bodového hodnocení vstupují takové tématické vrstvy zájmové oblasti, u jejichž parametrů se dá předpokládat možnost vzájemné konfrontace. Pro oblast Karvinska byly v této etapě zpracování vybrány tyto tématické vrstvy zájmové oblasti:

- ☐ přípovrchová geologie
- ☐ úroveň hladiny podzemní vody
- ☐ deformace terénu způsobené hlubinnou těžbou - poklesy
- ☐ sesuvy

Dále je uvedeno hodnocení vybraných tématických vrstev zájmové oblasti a hodnoty příslušného vahovaného bodování vybraných parametrů těchto tématických vrstev

Přípovrchová geologie

Hodnoceným parametrem tématické vrstvy „přípovrchová geologie“ je třída zeminy nebo horniny (třídy zemin a hornin značeny dle ČSN 73 1001). Jak je uvedeno v tab. 2, z hlediska bodového ohodnocení jsou třídy hornin a zemin rozděleny do tří skupin. Pomocným kritériem pro zařazení zeminy nebo horniny do příslušné skupiny je hodnocení druhu základové půdy pro účely normy ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva. V této normě je základová půda členěna do tří kategorií (a,b,c), přičemž jedním z parametrů pro určení kategorie je výpočtová únosnost základové půdy R_{dt} (pro nejméně únosné zeminy platí $R_{dt} \leq 0,15$ MPa, pro nejvíce únosné skalní horniny platí podmínka $R_{dt} > 0,6$ MPa). Tento parametr byl použit také pro naše rozdělení tříd zemin a hornin pro ohodnocení této tématické vrstvy. Jednotlivé třídy zemin a skalních hornin přiřazených do příslušné bodové skupiny jsou uvedeny v tab.2.

Úroveň hladiny podzemní vody

Hloubka hladiny podzemní vody pod povrchem je hodnoceným parametrem této další tématické vrstvy. Pomocným kritériem pro bodové ohodnocení tohoto parametru je opět rozdělení základové půdy pro účely normy ČSN 73 0040. V normě jsou uvedeny dvě hraniční hodnoty hloubky hladiny podzemní vody pod úrovní základové spáry (1 a 3

m) v závislosti na tabulkové výpočtové únosnosti R_{dt} . Tato tabulková výpočtová únosnost je uváděna pro hloubku založení 0,8 až 1,5 m (ČSN 73 1001, tab. 15). Na základě těchto okrajových podmínek je možné provést převedení hraničních hodnot hloubky hladiny pozemní vody od úrovně základové spáry (1 a 3 m) k úrovni povrchu terénu (hraniční hodnoty 2,5 a 4,5 m). Rozdělení hloubky hladiny podzemní vody pod povrchem a přiřazení do příslušné bodové skupiny je uvedeno v tab.3.

Tab. 2 Váňované bodové ohodnocení tématické vrstvy „připovrchová geologie“ na základě třídy zemin a hornin

výpočtová únosnost základové půdy (pro vybrané okrajové podmínky)	$R_{dt} \geq 0,15 \text{ MPa}$	$0,15 \text{ MPa} < R_{dt} \leq 0,6 \text{ MPa}$	$R_{dt} > 0,6 \text{ MPa}$
	<i>jemnozrnné zeminý měkké konzistence:</i> CH CV CE CL CI CS CG MH MV ME MI ML MS MG	ostatní jemnozrnné zeminý tuhé, pevné a tvrdé konzistence	
	<i>jemnozrnné zeminý tuhé konzistence:</i> CH CV CE CL CI CS MH MV ME MI ML		
	<i>píscité zeminý:</i> středně ulehlý S-F SC tuhé až pevné konzistence (šířka základu $b=0,5 \text{ m}$)	ostatní píscité zeminý	
	<i>šterkovité zeminý:</i> GC tuhé až pevné konzistence (šířka základu $b=0,5 \text{ m}$)	ostatní šterkovité zeminý	
	<i>skalní horniny:</i> třída R6 - s velmi velkou až extrémně velkou hustotou diskontinuit	<i>skalní horniny:</i> třída R3 R4 R5 - s velmi velkou až extrémně velkou hustotou diskontinuit třída R4 R5 R6 - se střední až velkou hustotou diskontinuit třída R5 R6 - s velmi malou až malou hustotou diskontinuit	ostatní skalní horniny
bodové ohodnocení	2	1	0

Tab. 3 Váňované bodové ohodnocení tématické vrstvy „úroveň hladiny podzemní vody“

hloubka hladiny podzemní vody pod povrchem	< 2,5 m	2,5 až 4,5 m	> 4,5 m
bodové ohodnocení	5	3	0

Deformace terénu způsobené hlubinnou těžbou - poklesy

Hodnoceným parametrem této tématické vrstvy je informace o aktivitě poklesů povrchu vzniklých podpovrchovým dobýváním. Pro hodnocené období (např. pro daný rok) se hodnotí zda byl pokles aktivní nebo neaktivní, případně zda se na daném území předpokládá vznik poklesu v budoucnu. Rozdělení aktivity poklesů a příslušné bodové skupiny jsou uvedeny v tab. 4.

Dynamické jevy – sesuvy

Aktivita sesuvných území je dalším z významných parametrů hodnocených při stanovení seizmické charakteristiky základových poměrů pro Karvinskou oblast. V tab. 5 jsou uvedeny jednotlivé skupiny sesuvných území a jejich zařazení do bodové skupiny.

Tab. 4 Váhané bodové ohodnocení tématické vrstvy „poklesy“ na základě jejich aktivity

deformace terénu způsobené hlubinnou těžbou - poklesy	aktivní pro hodnocené období	neaktivní pro hodnocené období (dočasně uklidněné)	bez poklesu
		předpoklad poklesu v budoucnu	bez předpokladu poklesu v budoucnu
bodové ohodnocení	5	2	0

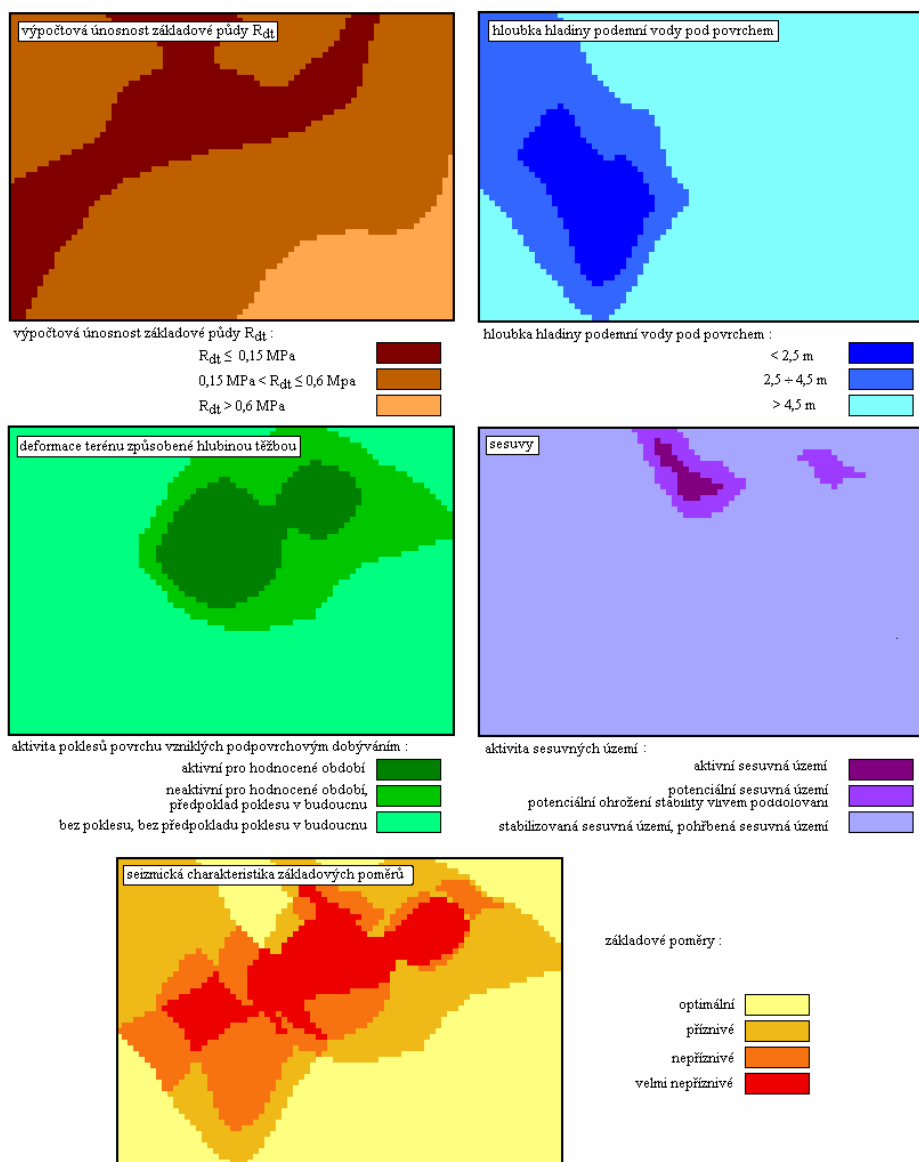
Tab. 5 Váhané bodové ohodnocení tématické vrstvy „dynamické jevy – sesuvy“

dynamické jevy - sesuvy	aktivní sesuvná území	potenciální sesuvná území	stabilizovaná sesuvná území
		území s potenciálním ohrožením stability v důsledku poddolování	pohřbená sesuvná území
bodové ohodnocení	5	2	0

Závěr

V příspěvku je zpracováno podrobnější hodnocení třetího vstupního tématu map střetů zájmů - zájmové oblasti. Velký počet různých vstupních parametrů vrstev zájmové oblasti je možno celkově zhodnotit pomocí stanovení tzv. „seizmické charakteristiky základových poměrů“. Jde o novou tématickou vrstvu a jejím výsledným parametrem jsou čtyři třídy základových poměrů. Pojem „seizmická charakteristika základových poměrů“ slouží pouze pro účely map střetů zájmů. Vyhodnocené oblasti se základovými poměry „nepříznivými“ a „velmi nepříznivými“ bude třeba posoudit individuálně podle platných norem.

Bodové ohodnocení parametrů vybraných vrstev zájmové oblasti a tabulka součtu vah bodového hodnocení jsou zpracovány pro oblast Karvinska. Pro další oblasti bude nutno bodové ohodnocení přepřacovat podle lokálních podmínek.



Obr. 1 Příklad sestavení tématické vrstvy seismická charakteristika základových poměrů na základě čtyř tématických vrstev zájmové oblasti.

Na obr. 1 je uveden příklad grafického vyhodnocení „seismické charakteristiky základových poměrů“ na základě čtyř tématických vrstev (nejedná se o reálná data, pouze o data fiktivní pro možnost znázornění principu tvorby výsledné tématické vrstvy

„seizmická charakteristika základových poměrů“). Zpracování reálných dat z Karvinské oblasti bude další náplní prací v rámci projektu CIDEAS. Příklad je vytvořen v programu CAD, výsledné signální mapy budou vytvářeny jako GISová aplikace (např. Lednická a Javůrková, 2006).

Poděkování

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt IM0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Literatura

- [1] ČSN 73 0040 Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva
- [2] ČSN 73 1001 Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy.
- [3] Kaláb, Z. (2007): Evaluation of load on structures cause by mining seismicity for maps of clash of opinions – methodology. *Zeszyty naukowe Politechniki Śląskiej* Nr kol. 1751, Seria: Górnictwo z. 276, 33-42.
- [4] Lednická, M. (2006): Classification of Buildings and Structures for Elaboration of Maps of Clash of Opinions. *Proceedings, PhD. Workshop, Institute of Geonics of ASCR, Ostrava*, 31-34.
- [5] Lednická, M. (2007): Evaluation of Load on Structures Caused by Mining Seismicity for Maps of Clash of Opinions – First Results. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Ser. Górnictwo z.276, Nr. 1751, Gliwice*, 101-110.
- [6] Lednická, M. a Javůrková, M. (2006): Využití technologie GIS pro stanovení seizmického zatížení stavebních objektů. *Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava), Řada stavební, roč. VI, č.2/2006*, 205-212.
- [7] Lednická, M., Luňáčková, B., Kaláb, Z., Hruběšová, E. and Kořínek, R. (2006): Contribution to evaluation of technical seismicity effect on buildings - case study, *Earth Sci. Res. J. Vol. 10, No. 1, Colombia*, 7-14 .

**Igor LEŠŠO¹, František KREPELKA², Patrik FLEGNER³,
Milan ŠUJANSKÝ⁴**

**VÝSKUM MOŽNOSTI APLIKÁCIE METÓDY VEKTOROVÉHO KVANTOVANIA
PRI EFEKTÍVNOM RIADENÍ PROCESU ROZPOJOVANIA HORNÍN ROTAČNÝM
VŔTANÍM**

**RESEARCH OF APPLICATION POSSIBILITY OF VECTOR QUANTISATION
METHOD FOR EFFECTIVE PROCESS CONTROL OF ROCKS DESINTEGRATION
BY ROTARY DRILLING**

Abstract

The subject of the paper is investigation of the properties of concurrent vibroacoustic signal in the process of rock massif separation with the method of rotary drilling. The aim is to investigate the possibilities of using this signal as an integrating information source for the purposes of identification of the process of separation from the viewpoint of efficiency of the set mode (pressure, revolutions, indenter) under current geotechnical conditions. Investigated is the possibility of the process status recognition by method of vector quantisation.

Key words: rock desintegration, vibro-acoustic signal, method of vector quantisation

Úvod

Rotačné vŕtanie patrí medzi kľúčové spôsoby rozpojovania horniny, a to nie len pri banskej činnosti, ale aj v širších oblastiach geotechnológií [1, 2, 3]. Najefektívnejšie rozpojovanie horniny je v tzv. objemovej oblasti, ktorú je možné dosiahnuť správnou voľbou pracovného nástroja a pracovného režimu, s prihliadnutím na geomechanické vlastnosti rozpojovanej horniny. Teoretický výskum rozpojovania hornín rotačným vŕtaním a následné experimenty na vŕtnom stande Ústavu geotechniky Slovenskej akadémie vied ukázali, že existuje optimálny - efektívny režim vŕtania z hľadiska mernej spotreby energie w (J/m³), z hľadiska opotrebovania rozpojovacieho nástroja, ale aj z hľadiska rýchlosti vŕtania v (m/s) [4, 5]. Tieto tri kritéria optimálneho režimu sú splnené približne v jednom (efektívnom) pracovnom režime (optimálne otáčky - n_{opt} , optimálny prítlak - F_{opt}). Tieto skutočnosti viedli k myšlienke efektívneho riadenia procesu vŕtania. Ďalší výskum ukázal, že v blízkosti efektívneho režimu procesu vŕtania má sprievodný vibro-akustický signál špecifické identifikovateľné vlastnosti [6, 7].

V príspevku sú uvedené prvé čiastkové výsledky v oblasti návrhu systému riadenia procesu vŕtania hornín, založeného na rozpoznávaní geomechanickej triedy horniny metódou vektorového kvantovania. Pritom potrebné informácie o charaktere procesu sú získavané zo signálu sprievodných vibro-akustických emisií.

¹ prof., Ing., CSc., TU v Košiciach, FBERG, Katedra informatizácie a riadenia procesov, ul. B. Němcovej 3, 040 01 Košice, Slovenská republika, igor.lesso@tuke.sk

² host. doc., Ing., CSc., ÚGT SAV, ul. Watsonova 45, 043 45 Košice, Slovenská republika, krepelka@saske.sk

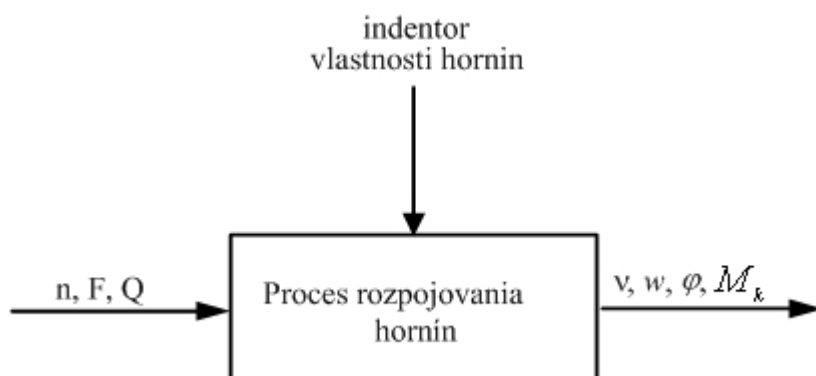
³ Ing., PhD., TU v Košiciach, FBERG, Katedra informatizácie a riadenia procesov, ul. B. Němcovej 3, 040 01 Košice, Slovenská republika, patrik.flegner@tuke.sk

⁴ Ing., Procesná automatizácia, A. s. Košice, milan.sujansky@zoznam.sk

Definovanie problému

Problém riadenia procesu rozpojovania horniny má svoje špecifiká. Hlavným problémom je skutočnosť, že tento proces je vnútorne komplikovaný a jeho stavové veličiny sú štandardnými metódami v reálnych podmienkach nemerateľné [18, 19]. Kľúčovou otázkou je dostatok informácií o vplyve režimu vŕtania na samotný priebeh rozpojovania konkrétnej horniny. Pod pojmom „režim rozpojovania“ rozumieme synergický efekt hlavných technologických zložiek procesu vŕtania, ktorými sú tieto akčné veličiny: prítlak vrtného nástroja na čelo vrtu F (N), otáčky vrtného nástroja n (ot.s-1), prietok výplachu za časovú jednotku Q (m³s-1) a kvalita výplachu, ktorá je daná jeho fyzikálno-chemickými parametrami. Všetky tieto zložky sú na sebe nezávislé, je možné ich v priebehu vŕtania samostatne ovládať. Znalosť režimov vŕtania je základom poznania procesu rozpojovania hornín rotačným vŕtaním.

Zo systémového hľadiska je proces vŕtania horniny možné zjednodušene chápať ako systém, charakterizovaný súborom veličín, z nich niektoré vieme ovplyvňovať, ale niektoré nie (obr. 1). Parametre w a φ sú stavové veličiny procesu, ktoré nie sú v reálnych podmienkach priamo merateľné. Na proces rozpojovania vplyvajú aj ďalšie stavové veličiny: vlastnosti indentora (vrtného nástroja) a geomechanické vlastnosti práve rozpojovaného horninového masívu.



Obr. 1 Proces rozpojovania horniny ako objekt riadenia, riadený systém
 n -otáčky vrtného nástroja (ot.min⁻¹), F - prítláčna sila (prítlak) F (N),
 Q - množstvo výplachu vrtu vodou (m³s⁻¹), v - rýchlosť odvrtu (mm.s⁻¹),
 M_k - krútiaci moment (N.m), w -špecifická práca rozpojovania (J.m⁻³),
 $\varphi = v/w$ -pracovná schopnosť nástroja (m.s⁻¹. J⁻¹. m³).

Úloha syntézy riadenia takto definovaného procesu vŕtania horninnového masívu pri požiadavke udržiavania efektívneho režimu s podmienkou maximalizácie účelovej funkcie $\varphi = v/w$ naráža na problém, že je nereálne vytvoriť adekvátny analytický matematický model procesu. Proces vŕtania je totiž z hľadiska fundamentálneho modelovania príliš komplikovaný a empiricky získané modely majú platnosť len v konkrétnych podmienkach. Sledovaný proces rozpojovania je však silne stochastický a nestacionárny vplyvom meniacich sa geomechanických podmienok, ale aj vplyvom

rôzneho stupňa opotrebovania indentora. K tomuto problému sa pridružujú aj problémy s merateľnosťou hodnoty účelovej funkcie v reálnych podmienkach.

Východiskom je vyhnúť sa klasickému systému riadenia využívajúceho model procesu a riešiť systém riadenia založený na niektorej z moderných metód riadenia zložitých procesov, kde zdrojom zložitosti môžu byť nelinearity, nestacionarita, ťažko popísateľné stochastičnosti, nemerateľnosť parametrov, mnohokriteriálnosť, a pod. Medzi takéto moderné metódy riadenia patria aj metódy založené na tzv. umelej inteligencii.

Vo výskume otázky efektívneho riadenia procesu rozpojovania horninového masívu rotačným vŕtaním sa vychádzalo z intuitívnej predstavy, že sprievodný vibroakustický signál obsahuje informácie o charaktere procesu rozpojovania z hľadiska geomechanických vlastností horniny a z hľadiska efektívnosti samotného procesu vŕtania. Táto predstava sa experimentálne potvrdila [6, 7]. V ďalšom sa uvažovalo s dvomi variantmi riešenia.

a) parametrické riadenie s klasifikáciou rozpojovaných hornín

Tento variant predpokladá, že rozpojované horniny sú rozdelené do tried na základe podobných geomechanických vlastností a im odpovedajúceho optimálnemu spôsobu vŕtania. Pre každú triedu hornín sú experimentálnym alebo expertným spôsobom určené parametre efektívneho režimu vŕtania (druh indentora, F , n , Q). Systém v procese vŕtania v reálnych podmienkach priebežne identifikuje triedu práve rozpojovanej horniny na základe špeciálnej analýzy sprievodného vibro-akustického signálu [8, 9, 10, 11]. Na základe takto rozpoznanej triedy horniny nastavuje jej priradený efektívny režim vŕtania. Samotná klasifikácia hornín je založená na využití neurónovej siete ako klasifikátora a na metóde vektorového kvantovania [12].

b) spätnoväzobné riadenie s nepriamym meraním kritéria efektívnosti procesu

Pri tomto variante riadenia procesu vŕtania sa vychádza z výsledkov doterajšieho výskumu, ktoré potvrdili, že efektívny režim vŕtania horniny sa prejavuje špecifickými príznakmi v sprievodnom vibro-akustickom signáli [6, 7, 8]. V procese vŕtania je priebežne vyhodnocovaný sprievodný vibro-akustický signál a súčasne je režim procesu (n , F) stabilizovaný tak, aby príznaky v signáli odpovedali efektívnemu režimu procesu s maximálnou hodnotou účelovej funkcie $\varphi = v/w$.

Tento príspevok sa v ďalšom zaoberá prvým variantom riadenia procesu rozpojovania hornín rotačným vŕtaním. Ide o parametrické riadenie, kde kľúčovú úlohu zohráva klasifikácia hornín a metóda vektorového kvantovania príznakového priestoru sprievodného vibro-akustického signálu.

Popis metódy

Metóda vektorového kvantovania patrí do kategórie metód umelej inteligencie, pracujúcich s neurónovými sieťami [15, 16]. V značnej miere sa využíva v oblasti číslcového spracovania signálu, napr. pri analýze hovorového signálu pre účely jeho rozpoznávania, prenosu a syntézy. V týchto aplikáciach plní úlohu klasifikátora. Táto metóda sa v literatúre označuje aj ako samoorganizujúce Kohonenové mapy [13]. Vo výskume metód parametrického riadenia procesu rozpojovania horninového masívu sa skúmajú možnosti využitia L –úrovňového n -dimenzionálneho vektorového kvantizátora pre účely klasifikácie rozpojovaných hornín, čo umožňuje následne v zmysle parametrického riadenia nastaviť odpovedajúci efektívny režim vŕtania.

Zásadným a rozhodujúcim krokom pri aplikácii vektorového kvantizátora ako klasifikátora je vhodné definovanie tzv. príznakov ako náhodných premenných so spojitou amplitúdou, ktorých hodnoty ako reálne čísla umožňujú dostatočne diferencovane rozlišovať jednotlivé triedy objektov, resp. stavov. Skupina n príznakov tvorí potom n –zložkový vektor príznakov $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ v spojitom (v mplitúde) n -rozmernom vektorovom priestore $V^n(R)$. Ďalej v tomto vektorovom priestore $V^n(R)$ sa definuje konečná množina tzv. kódových (reprodukčných) vektorov $A_L = \{\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_L\}$, kde tieto vektory $\mathbf{a}_l = [a_{l1}, a_{l2}, \dots, a_{ln}]^T$, $l=1,2,\dots,L$ odpovedajú jednotlivým rozlišovacím úrovniám objektov, resp. stavov, ktorým obecné hovoríme triedy. Množina reprodukčných vektorov A_L sa nazýva kódovou knihou. Tieto vektory potom v procese klasifikácie predstavujú vzory (príznačkov) jednotlivých tried.

L –úrovňový n –dimenzionálny kvantizátor je teda definovaný kódovou knihou A_L a delením spojitého vektorového priestoru $V^n(R)$ na L spojitých podpriestorov

$V_l^n(R)$, pričom väčšinou platí, že $\bigcup_{l=1}^L V_l^n(R) = V^n(R)$. Tento kvantizátor realizuje zobrazenie

$$q: V^n(R) \rightarrow A_L, \quad (1)$$

resp.

$$q: \left\{ \mathbf{x}_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}]^T \right\}_{i=1}^{\infty} \rightarrow \left\{ \mathbf{a}_l = [a_{l1}, a_{l2}, \dots, a_{ln}]^T \right\}_{l=1}^L, \quad (2)$$

čo vyjadruje aj zápis

$$\mathbf{a}_l = q(\mathbf{x}) \text{ pre } \mathbf{x} \in V_l^n(R). \quad (3)$$

Úlohou L –úrovňového n –dimenzionálneho vektorového kvantizátora je teda každému vstupnému vektoru príznakov $\mathbf{x}_j \in V_n(R)$, $j = 1, 2, \dots, \infty$ priradiť reprodukčný vektor (vzor) $\mathbf{a}_l \in A_L$, $l = 1, 2, \dots, L$. Reprodukčné vektory $\mathbf{a}_l$ sú väčšinou opäť n –zložkové, pričom tieto zložky majú ale diskkrétne amplitúdy. Týmto spôsobom teda vektorový kvantizátor prevádza súčasne klasifikáciu (zatriedňovanie) vstupných príznakových vektorov na základe daných vzorov pre jednotlivé rozlíšiteľné triedy.

Samostatným problémom pri metóde vektorového kvantizátora je definovanie špeciálnej funkcie $\rho(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$, ktorá by vhodne vyjadrovala „vzdialenosť“ $|\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2|$ medzi dvoma vektormi v priestore $V^n(R)$. Jej úlohou je citlivo vyjadriť mieru odlišnosti dvoch príznakových vektorov. Ide o zobrazenie $\rho: V^n(R) \times V^n(R) \rightarrow R$. Táto funkcia je súčasťou kvantizátora a slúži na výber „najbližšieho“ kódového

vektora $\mathbf{a}_l \in A_L$ k vstupnému príznakovému vektoru $\mathbf{x} \in V^n(R)$. Tiež je ju možné použiť pri optimálnom návrhu kódovej knihy [8, 11] a pri výpočte veľkosti tzv. kvantizačného šumu (miery skreslenia) [6, 11]. Pri návrhu funkcie $\rho(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ sa musí vychádzať z možností tzv. lineárnej vektorovej algebry.

Lineárna vektorová algebra definuje nad n –dimenzionálnym lineárnym vektorovým priestorom tieto aritmetické operácie [14]: rovnosť vektorov, súčet vektorov a súčin medzi vektorom a skalárom. Pre určité špeciálne výpočty v tomto vektorovom priestore je ďalej definovaná operácia skalárneho súčinu dvoch vektorov takto:

$$(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2) = \sum_{j=1}^n x_{1j} x_{2j}. \text{ Vzhľadom na to, že príznakový priestor } V^n(R) \text{ je definovaný}$$

nad telesom reálnych čísel, ide o euklidovský priestor, pre ktorý je možné s využitím uvedenej aritmetiky vyjadriť tzv. LP normu:

$$L_P = \left(\sum_{i=1}^n |x_i|^p \right)^{1/P} = (\mathbf{x}, \mathbf{x}, \dots, \mathbf{x})^{1/P}. \quad (4)$$

Pre $P=2$ ^{krát} dostávame vzťah pre dĺžku (absolútna hodnota, norma) vektora:

$$|\mathbf{x}| = \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^{1/2} = (\mathbf{x}, \mathbf{x})^{1/2}$$

Podobne je možné definovať vzdialenosť medzi dvoma vektormi v euklidovskom priestore:

$$|\mathbf{x}_1 - \mathbf{x}_2| = \left(\sum_{i=1}^n (x_{1i} - x_{2i})^2 \right)^{1/2}. \quad (5)$$

V praxi pri metóde vektorového kvantovania sa funkcia $\rho(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ definuje často na základe vzťahov (5) alebo (4). V týchto prípadoch funkcia $\rho(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ spĺňa v nekonečnej neprázdnej množine vektorov $V^n(R)$ všetky tri vlastnosti tzv. metriky:

1. $\rho(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) \geq 0$, pričom $\rho(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = 0 \Leftrightarrow \mathbf{x}_i = \mathbf{x}_j$; pozitívna definitnosť,
2. $\rho(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \rho(\mathbf{x}_j, \mathbf{x}_i)$; symetria,
3. $\rho(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_k) \leq \rho(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) + \rho(\mathbf{x}_j, \mathbf{x}_k)$; trojuholníková nerovnosť.

V tomto prípade vektorové kvantovanie pracuje v tzv. metrickom priestore, ktorý je definovaný nekonečnou množinou n –zložkových lineárnych aritmetických vektorov a metrikou: $(V^n(R), \rho)$. Funkciou $\rho(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ ako metrika tu skutočne vyjadruje vzdialenosť medzi vektormi. Príkladom metriky, ktorá spĺňa všetky tri vyššie uvedené vlastnosti, je napr. priamo tzv. euklidovská metrika (5).

V iných zložitejších prípadoch funkcia $\rho(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2)$ nespĺňa podmienky metriky a namiesto vzdialenosti vektorov sa uvádza pojem „miera skreslenia“ [11].

V prípade využitia vektorového kvantizátora ako klasifikátora stavov (objektov) je potom jeho úlohou priradiť každému vstupnému vektoru príznakov $\mathbf{x}_j \in V_n(R)$, $j = 1, 2, \dots, \infty$ najbližší reprodukčný vektor (vzor) $\mathbf{a}_l \in A_L$, $l = 1, 2, \dots, L$, čo vyjadruje podmienka

$$\min \left\{ \rho(\mathbf{x}_j, \mathbf{a}_l) \right\}_{l=1}^L \quad (6)$$

Kľúčom k úspešnosti klasifikácie touto metódou vektorového kvantovania je návrh kvalitnej kódovej knihy A_L . Táto kniha vzorov by mala zabezpečiť minimálnu chybu kvantovania $\Delta_l = |\mathbf{x} - \mathbf{a}_l|$, resp. minimálnu strednú kvadratickú chybu

aproximácie vektorov $\mathbf{x}$ vzormi $\mathbf{a}_l$: $\min \varepsilon = \min \sum_{i=1}^L \int_{C_i} \Delta_i^2 p(\mathbf{x}) d\mathbf{x}$, kde C_i

predstavuje oblasť (okolie) prislúchajúcu vzoru $\mathbf{a}_i$, pričom platí, že $\mathbf{x} \in C_i$. Zrejme teda platí $C_i = V_i^n(R)$, $i = 1, 2, \dots, L$.

Na vytvorenie takto koncipovanej kódovej knihy A_L sú dve možnosti. Ide o proces učenia neurónovej siete, a to učenie s učiteľom a o učenie bez učiteľa.

Prvou možnosťou (tzv. učenie s učiteľom) je empirické stanovenie vzorov $\mathbf{a}_i$, $i = 1, 2, \dots, L$ offline spôsobom s využitím tzv. trénovacích vstupných dát, čo sú príznakové vektory patriace do i -tej triedy. Podstatou tohto algoritmu je iteračný výpočet vzorového príznakového vektora $\mathbf{a}_{C_i}$ na základe postupnosti D príznakových vektorov danej triedy $\{\mathbf{x}_k \in C_i\}_{k=0}^{D-1}$. Tento algoritmus vyjadruje výpočtová schéma:

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_{C_i}(0) &= \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{a}_{C_i}(k+1) &= \mathbf{a}_{C_i}(k) + \mu_k [\mathbf{x}_{k+1} - \mathbf{a}_{C_i}(k)] = \\ &= \mathbf{a}_{C_i}(k) + \mu_k \Delta_{C_i}(k+1), \text{ pre } k = 0, 1, \dots, D-1, \end{aligned} \quad (7)$$

kde $\mathbf{a}_{C_i}(k)$ je kódový vektor (vzor), reprezentujúci i -tú triedu v k -tom iteračnom kroku, D je počet príznakových vektorov v trénovacej množine pre triedu C_i , $\Delta_{C_i}(k+1) = \rho(\mathbf{x}_{k+1} - \mathbf{a}_{C_i}(k))$ je vzdialenosť medzi novým príznakovým vektorom a poslednou polohou vzoru triedy, resp. tzv. miera skreslenia. Miera posunutia μ_k má na počiatku procesu učenia hodnotu 1, potom sa priebežne znižuje smerom k hodnote 0 podľa vzťahu

$$\mu(k) = \mu(k-1) - \Delta\mu, \quad (8)$$

kedy sa už vzor ďalej nespresňuje.

Druhou možnosťou je vytváranie kódovej knihy priebežne v procese tzv. samoučenia systému (zhluková metóda), kedy sa priebežne v procese reálnej klasifikácie a súčasného spracovávanía vstupných príznakových vektorov $\mathbf{x}_k, k = 1, 2, \dots$ spresňujú už definované vzory $\mathbf{a}_i$ tried $C_i, i = 1, 2, \dots, L$ tak, aby bola minimalizovaná priemerná kvantovacia chyba aproximácie všetkých vstupných vektorov, ktoré doposiaľ boli zatriedené do príslušnej triedy C_i :

$$\mathbf{a}_c : \min \frac{1}{n_{C_i}} \sum_{j=1}^{n_{C_i}} |\mathbf{x}_j - \mathbf{a}_{c_i}|. \quad (9)$$

V prípade, že klasifikátor rozpozná novú triedu (neexistuje dostatočne blízky vzor), zaradi ho do množiny vzorov A^L . Aj pri tomto spôsobe vytvárania kódovej knihy sa uplatňuje iteračná výpočtová schéma (7).

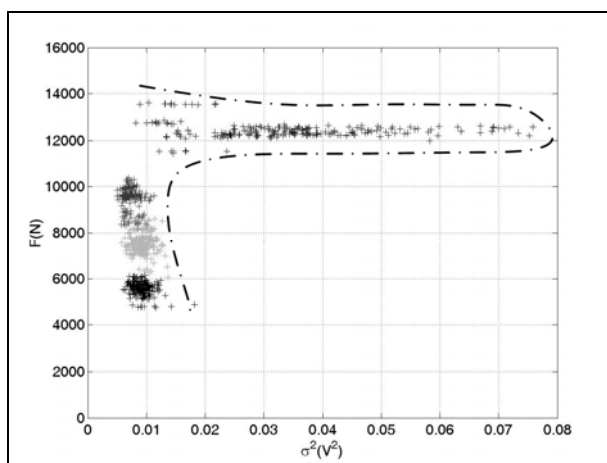
Dosiahnuté výsledky

Na experimentálnom vŕtnom stande Ústavu geotechniky SAV bola prevedená séria meraní smerujúcich k aplikácii popísanej metódy vektorového kvantovania pre účely parametrického riadenia procesu rozpojovania horniny rotačným vŕtaním. Vŕtané boli horniny andezit, vápenec, žula, kremeň a tehla ako umelá hornina.

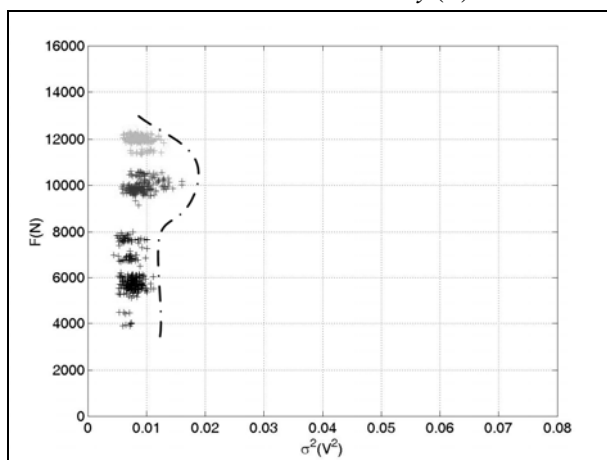
Ako možné zložky príznakového vektora boli skúmané:

- ☐ časový priebeh a rozptyl vibro-akustického signálu,
- ☐ Fourierove koeficienty výkonového spektra sprievodných akustických emisií na frekvenčnom rozsahu 0 až 22 kHz,
- ☐ koeficienty Wienerovho filtra ako parametrického modelu procesu vŕtania [17].

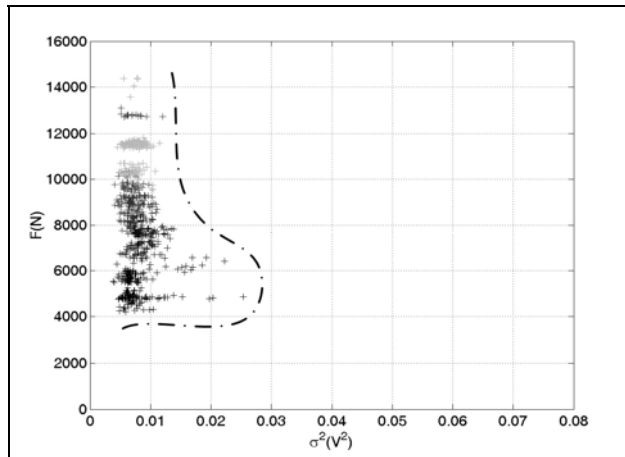
Na obrázkoch 2 až 4 sú znázornené rozptyly σ^2 postupnosti 200 realizácií sprievodného akustického signálu ($f_{vz} = 44$ kHz, dĺžka každej realizácie 1500 vzoriek), a to pri rôznych prítlakoch. Na základe vzniknutých zhlukov bodov je vidieť, že maximálny rozptyl signálu sa dosahuje pri určitom prítlaku, v závislosti na hornine, charakterizovanej jej geomechanickými vlastnosťami. Podľa [7] je to súčasne prítlak odpovedajúci efektívnemu režimu vŕtania. Na základe týchto poznatkov je možné uvažovať s parametrom σ^2 ako s jedným z príznakov pre klasifikáciu hornín. Na obr. 5 je znázornený priebeh parametra σ^2 po dobu 200 s vŕtania do andezitu pri rôznych prítlakoch. Priebehy sú v súlade s obrázkom 2.



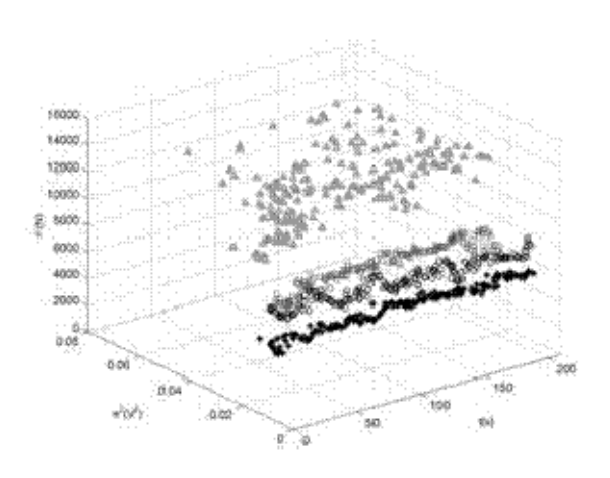
Obr. 2 Andezit - $\sigma^2 = f(F)$



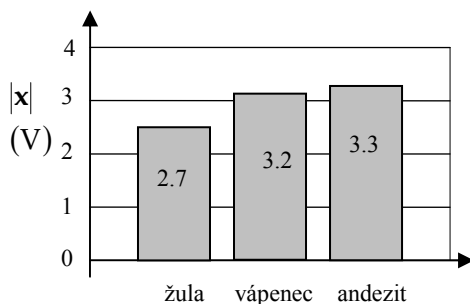
Obr. 3 Vápenec - $\sigma^2 = f(F)$



Obr. 4 Žula - $\sigma^2 = f(F)$



Obr.5 Andezit - $\sigma^2 = f(F, t)$



Obr. 6 L_2 norma signálov ako vektorov

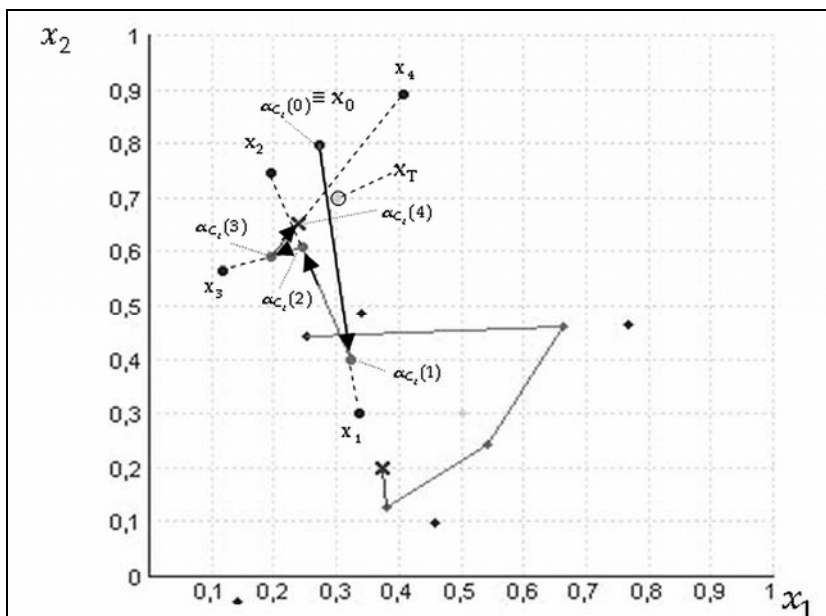
Na obr. 6 je znázornená hodnota dĺžky (L_2 norma) príznakového vektora x , počítaná podľa vzťahu (4). Zložkami vektora boli vzorky akustického signálu s počtom 1024. Andezit a vápenec majú hodnoty tejto miery vzájomne veľmi blízke, avšak dostatočne diferencovateľné od žuly. Tento poznatok zodpovedá zisteniam ohľadom prítlaku, vyvolávajúceho maximálny rozptyl signálu (obr. 2 až 4), čo indikuje efektívny režim vrtania (viď vyššie). Aj tu sa vápenec a andezit chovajú podobne ale rozdielne od žuly. Táto skutočnosť dáva predpoklady využitia normy časového priebehu vibrodiagnostického signálu ako vhodného príznaku pri klasifikácii hornín.

V rámci výskumu bol overovaný samotný algoritmus procesu učenia neurónovej siete, resp. procesu vytvárania kódovej knihy AL ako súboru vzorov jednotlivých tried hornín $\{C_i\}_{i=1}^L$. Jadrom tohto algoritmu je iteračná výpočtová schéma (7), ktorá zabezpečuje mechanizmus posúvania vzoru vždy smerom k novému tréningovému príznakovému vektoru, ale s postupne klesajúcou mierou posunutia μ . Cieľom učenia je, aby výsledná poloha vzoru triedy bola čo najbližšie k centroidu, resp. k ťažisku množiny príznakových vektorov tréningových dát. Z tohto hľadiska úspešnosť tohto algoritmu silne závisí na správnej voľbe počiatočnej hodnoty miery posunutia $\mu(0)$ a na voľbe parametra tlmenia $\Delta\mu$ vo vzťahu (8).

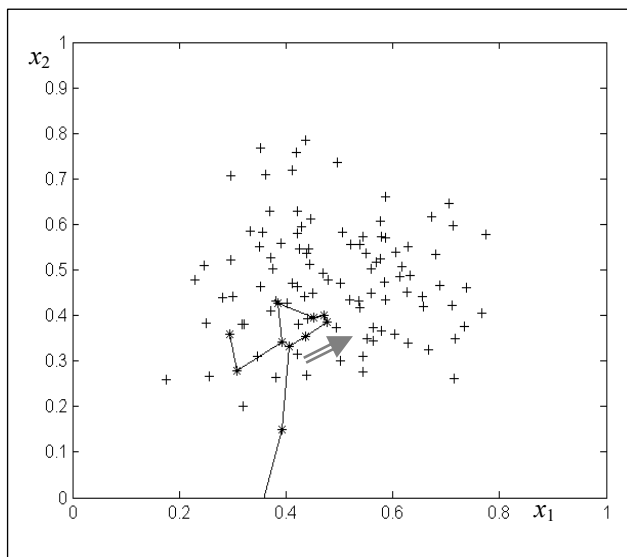
Na obr. 7 sú znázornené prvé štyri kroky učenia klasifikátora na tréningovej množine príznakových vektorov triedy C_i v dvojrozmernom príznakovom priestore. Spracovaním príznakových vektorov x_0 až x_4 pomocou výpočtovej schémy (7, 8) sa vzor triedy dostáva postupne do pozície $a_{C_i}(4)$. Pritom boli definované tieto hodnoty parametrov: $\mu(0) = 1$, $\Delta\mu = 0.1$. Je vidieť, že pri týchto hodnotách parametrov sa vzor približuje postupne k ťažisku x^T tréningových dát. Pri nevhodne volených hodnotách parametrov však táto metóda učenia môže divergovať (obr. 8). Ťažisko tréningovej množiny príznakových vektorov bolo počítané vzťahom

$$x_i^T = \frac{\sum_{j=1}^D p(x_{ij}) \cdot x_{ij}}{\sum_{j=1}^D p(x_{ij})}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

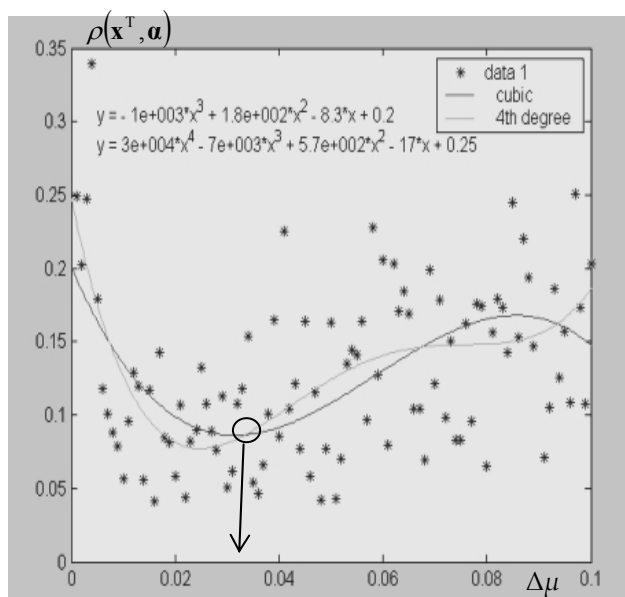
kde x_{ij} predstavuje hodnotu i –tého príznaku v j –tom príznakovom vektore trénovacej množiny dát, $p(x_{ij})$ je odhad pravdepodobnosti tejto hodnoty podľa Gaussovho rozdelenia.



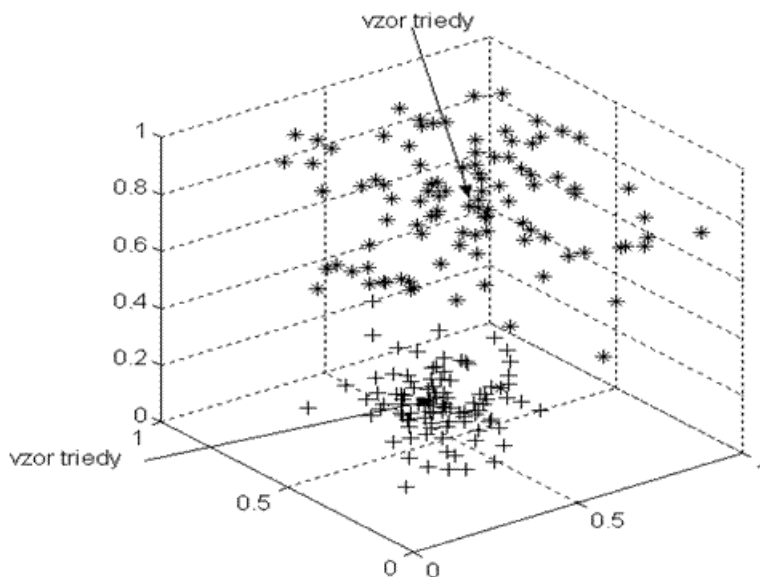
Obr. 7 Prvé štyri kroky procesu učenia (postupné vytváranie vzoru triedy definovanej v dvojrozmernom príznakovom priestore); pozn: body v dolnej časti priestoru odpovedajú inej triede



Obr. 8 Predčasné „utlmenie“ procesu učenia už po 11. kroku vplyvom nevhodne volených počiatočných parametrov $\mu(0)$ a $\Delta\mu$ (+ -príznačky, * - vzor)



Obr. 9 Fitovaná závislosť vzdialenosti naučeného vzoru triedy od ťažiska tréningových dát pri rôznej voľbe parametra $\Delta\mu$ v intervale 0.001 až 0.1



Obr. 10 Vytvorenie vzorov dvoch tried hornín v trojrozmernom príznakovom priestore.

Na obr. 9 je znázornená fitovaná závislosť vzdialenosti medzi výsledným vzorom triedy hornín a ťažiskom trénovacej množiny vektorov na voľbe parametra tlmenia $\Delta\mu$ miery posunutia $\mu(k)$. Trénovacia množina dát pozostávala z 200 šesťzložkových príznakových vektorov. Je vidieť, že existuje optimálne tlmenie, pri ktorom sa dosiahne maximálne priblíženie vektoru k ťažisku trénovacej množiny, čím sa splní podmienka (9). Tento poznatok je dôležitý pre využitie výpočtovej schémy (7) v procese samoučenia (učenie bez učiteľa), kedy sa hľadá vzor pre novú, resp. doteraz nepoznanú triedu hornín.

Obrázok 10 ilustruje úspešný proces učenia, kedy sa vytvorili vzory dvoch tried charakterizovaných trojrozmerným príznakovým priestorom.

Záver

V príspevku sú zverejnené prvé čiastkové výsledky aplikácie metódy vektorového kvantovania pri efektívnom riadení procesu rozpojovania hornín rotačným vŕtaním. Ide o parametrické riadenie procesu s využitím neurónovej siete ako klasifikátora rozpojovaných hornín do tried z hľadiska ich geomechanických vlastností. Skúmaná bola možnosť využitia sprievodného vibroakustického signálu na výpočet príznakov, ktoré by dostatočne diferencovali horniny podľa ich geomechanických vlastností. Pozitívne výsledky sa ukázali vo využití niektorých metód spracovania signálu v časovej oblasti. Pre ďalší výskum v tomto smere majú značný význam poznatky o vhodnej stratégii procesu vytvárania kódovej knihy vzorov tried hornín.

Literatúra

- [1] Strnište, K. (1988): Hlbinné vŕtanie, skriptum VŠT v Košiciach, Košice 1988
- [2] Strnište, K. (1992): Hlbinné vŕtanie, Alfa Bratislava, Bratislava 1992, ISBN 80-05-0131-1
- [3] Trnka, O., Balla, L. a Herel, J. (1969): Hlubinné dobývání rudných a nerudných ložísk, SNTL ALFA, Praha 1969
- [4] Krupa, V. a Pinka, J. (1998): Rozpojovanie hornín
- [5] TU v Košiciach, Vydavateľstvo Štrotek, Košice 1998, BN 80-88896-10-X
- [6] Sekula, F. (1992): Súbor prác z oblasti výsledkov výskumu rozpojovania hornín habilitačná práca, FBERG TU v Košiciach, Košice 1992
- [7] Leššo, I. (2004): Teória signálov pre priemyselnú informatiku
- [8] ES/AMS, Košice, 2004, ISBN: 80-8073-186-1
- [9] Leššo, I., Krepelka, F., Flegner, P. and Pandula, B. (2007): Research of methods for quality evaluation of rocks desintegration by rotary drilling, ISSN 1213-1962, vol. VII, 2/2007, p. 165 - 174
- [10] Leššo, I., Flegner, P., Pandula, B. and Horovčák, P. (2007): New principles of process control in geotechnics by acoustic methods.
- [11] In: Metallurgy. vol. 46, no. 3 (2007), p. 165-168. ISSN 0543-5846.
- [12] Sekula, F., Grexová, S. (2001): Monitorovanie rozpojovania pri plnoprofilovom razení líniových podzemných diel, Acta Montanistica Slovaca, 6 (2001)
- [13] Kaláb, Z., Častová, N. and Lyubushin, A. A. : Contribution to application of the Automatic classification of seismological signals

- [14] Documenta Geonica, ÚG AVČR, , s. 48 – 58.
- [15] Psutka, J., et al. (2006): Mluvíme s počítačem česky
- [16] ACADEMIA, Praha 2006, ISBN 80-200-1309-1
- [17] Gersho, A. and Gray, R. M. (1992): Vector quantisation and signal compression, Springer, 1992, ISBN 978-7923-9181-4
- [18] Deboeck, G. and Kohonen, T. (1998): Visual explorations in finance with self – organizing maps, Springer, 1998, ISBN 3-540-76266-3
- [19] Birkhoff, G. a MacLane, S. (1979): Prehľad modernej algebry, Alfa, Bratislava, 1979
- [20] Sinčák, P. a Andrejková, G. (1996): Neurónové siete, Elfa s.r.o., Košice, 1996
- [21] Hertz, J., Krogh, A. and Palmer, R. (1991): Ubtrouction to the Theory of Neural Computation, Addision Wesley publishing, 1991
- [22] Flegner, P., Leššo, I. and Pandula, B. (2007): Wiener predicting filter as parameter model process of rock separation by rotary drilling ,Transactions of the VSB – Technical university of Ostrava, Civil engineering series,
- [23] ISSN 1213-1962, vol. VII, 2/2007, p. 51 – 59
- [24] Panda, A. (2000): Hodnotenie spôsobilosti meradiel.
- [25] TD 2000-DIAGON 2000, VUT Brno, Zlín, 2000, s.239-242, ISBN 80-214-1578-9.
- [26] Panda, A. and Pandová, I. (2000): Statistical Process Control. Principles of Statistics., Transactions of the Universities of Košice 2/2000, TU, Košice2000, s.20-23, ISSN 1335-2334.

**KAROTÁŽNÍ MĚŘENÍ VE VRTECH TESTOVACÍ LOKALITY MELECHOV
WELL LOGGING MEASUREMENT ON TESTING LOCALITY MELECHOV**

Abstract

In the year 2007 research program on test locality Melechov continued for testing of geophysical and other methods needed for exploration of future deep deposit of radioactive waste materials. In the boreholes MEL-1 and MEL-2 distanced only 21 m with depth of 200 m repeated monitoring of hydrogeological situation was executed. First well logging measurements in borehole MEL-1 were realized in the year 2005, in borehole MEL-2 in the year 2006 just after boreholes were finished. The aim of well logging was control of hydrodynamic regime under natural conditions, finding out water inflows during pumping and comparison of results with previous measurements. The hydraulic communication of the boreholes through three main fracture systems was studied during previous research works on this locality. A number of interested information was obtained from well logging including significant changes in natural flow of water in both boreholes. Results of measurements are given in four figures with issues of first and repeated measurements of natural flow and location of water inflows during pumping for each borehole.

Key words: well jogging, deposit of radioactive waste materials, hydrogeological situation

Úvod

V r. 2007 pokračovaly práce na testovací lokalitě Melechov pro ověření geofyzikálních a dalších metod nezbytných při průzkumu pro budoucí hlubinné úložiště radioaktivních odpadů. Ve vrtech MEL-1 a MEL-2, umístěných ve vzdálenosti 21 m od sebe a hlubokých 200 m, bylo mimo jiné práce provedeno opakovaně monitorovací měření hydrogeologických poměrů ve vrtech. První měření po dokončení vrtu MEL-1 byla v r. 2005, ve vrtu MEL-2 v r. 2006. V každém vrtu bylo sledováno přírodní proudění vody a dále byla ověřována místa přítoků vody v průběhu čerpání. Výsledky těchto měření byly porovnány s prvními měřeními po dokončení vrtů. Hydraulické propojení vrtů ve třech hlavních propustných polohách bylo zdokumentováno v rámci předchozích prací na této lokalitě kombinací karotážního měření v jednom vrtu a vodními tlakovými zkouškami v druhém vrtu. Karotážním měřením byla získána řada zajímavých informací, zejména byly zjištěny změny v přírodním proudění vody. Výsledky měření jsou uvedeny na čtyřech obrázcích, kde jsou prezentována první a opakovaná měření přírodního proudění vody a zjišťování přítoků vody při čerpání pro každý vrt

Výsledky měření ve vrtu MEL-1

Na obr. 1 je uveden litologický profil vrtu dle karotáže, křivka elektrokarotáže Rap 0,41 m, první „přírodní“ záznam rezistivimetrie a výsledky měření přírodního proudění vody ve vrtu získané z metody ředění označené kapaliny v r. 2007 a při prvním měření v r. 2005. Ve vrtu existuje pomalé přírodní proudění směrem nahoru, podle anomálií na křivce prvního záznamu rezistivimetrie jsou přítoky vody z hloubek 187 m,

¹ RNDr., CSc., AQUATEST a.s., Geologická 4, Praha 5, lukes@aquatest.cz

180 m, 145 – 148 m, 135 m a 96,5 m. Z největší poruchy zjištěné ve vrtu v úseku 155,4 – 161,3 m nebyl zjištěn žádný přítok vody. Metodou ředění jsme zjistili, že hlavní proudění vody je v úseku 96,5 – 56 m stejně, jako bylo zjištěno v r. 2005. Vydátost přírodního proudění vody v r. 2007, která činila $Q = 0,01$ l/s, se snížila desetkrát na $Q = 0,001$ l/s.

Na obr. 2 jsou porovnány výsledky metody odčerpání z r. 2007 a r. 2005. Při měření v r. 2007 jsme čerpali 2 hodiny z hloubky 15 m s vydatností $Q = 0,25$ l/s. V důsledku čerpání došlo k plynulému poklesu hladiny, který na konci měření činil $S = 6,7$ m a nebyl ještě zcela ustálen. Při čerpání v r. 2005 bylo čerpáno s vydatností $Q = 0,2$ l/s, snížení hladiny činilo $S = 7,8$ m, lze tudíž konstatovat, že došlo ke zvýšení vydatnosti vrtu cca o 30%. Hlavní místa přítoků vody jsou totožná jak hloubkově, tak zhruba podílem vydatností. Menší odchylky ve vydatnostech byly v hloubkách vyšších než 100 m.

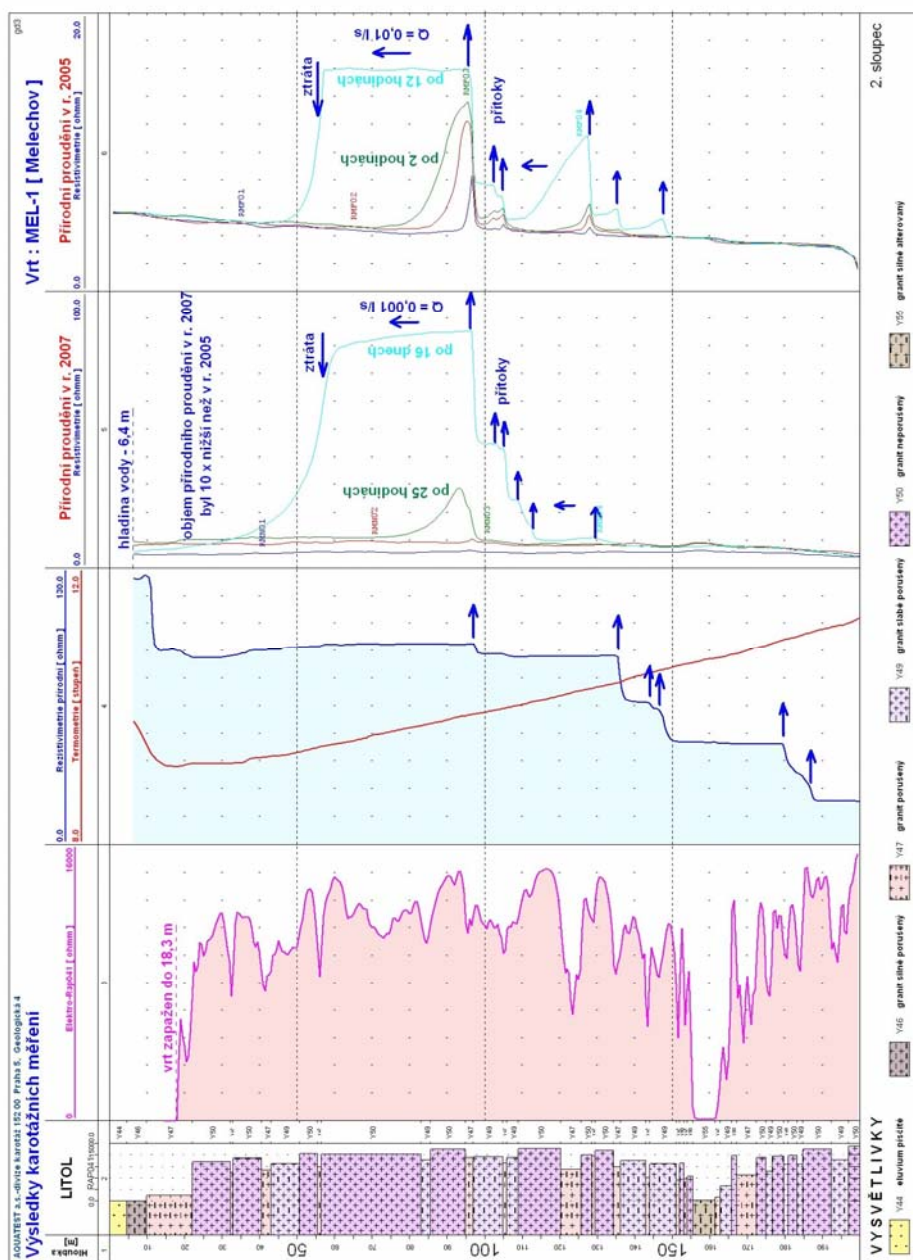
Výsledky měření ve vrtu MEL-2

Na obr. 3 je uveden litologický profil vrtu dle karotáže, křivka elektrokarotáže Rap 0,41 m, první „přírodní“ záznam rezistivimetrie a výsledky měření přírodního proudění vody ve vrtu získané z metody ředění označené kapaliny v r. 2007 a při prvním měření v r. 2006. Ve vrtu existuje pomalé přírodní proudění směrem nahoru, podle anomálií na křivce prvního záznamu rezistivimetrie jsou přítoky vody z hloubek 173 m, 130 m, 16,4 m, 91 m a 93,2 m. Z největší poruchy zjištěné ve vrtu v úseku 167,3 – 174,4 m byl zjištěn poměrně výrazný přítok vody. Metodou ředění jsme zjistili, že hlavní proudění vody je v úseku 93 – 26 m stejně, jako bylo zjištěno v r. 2006. Vydátost proudění v r. 2007, která činila $Q = 0,02$ l/s, se snížila o 50% na $Q = 0,01$ l/s.

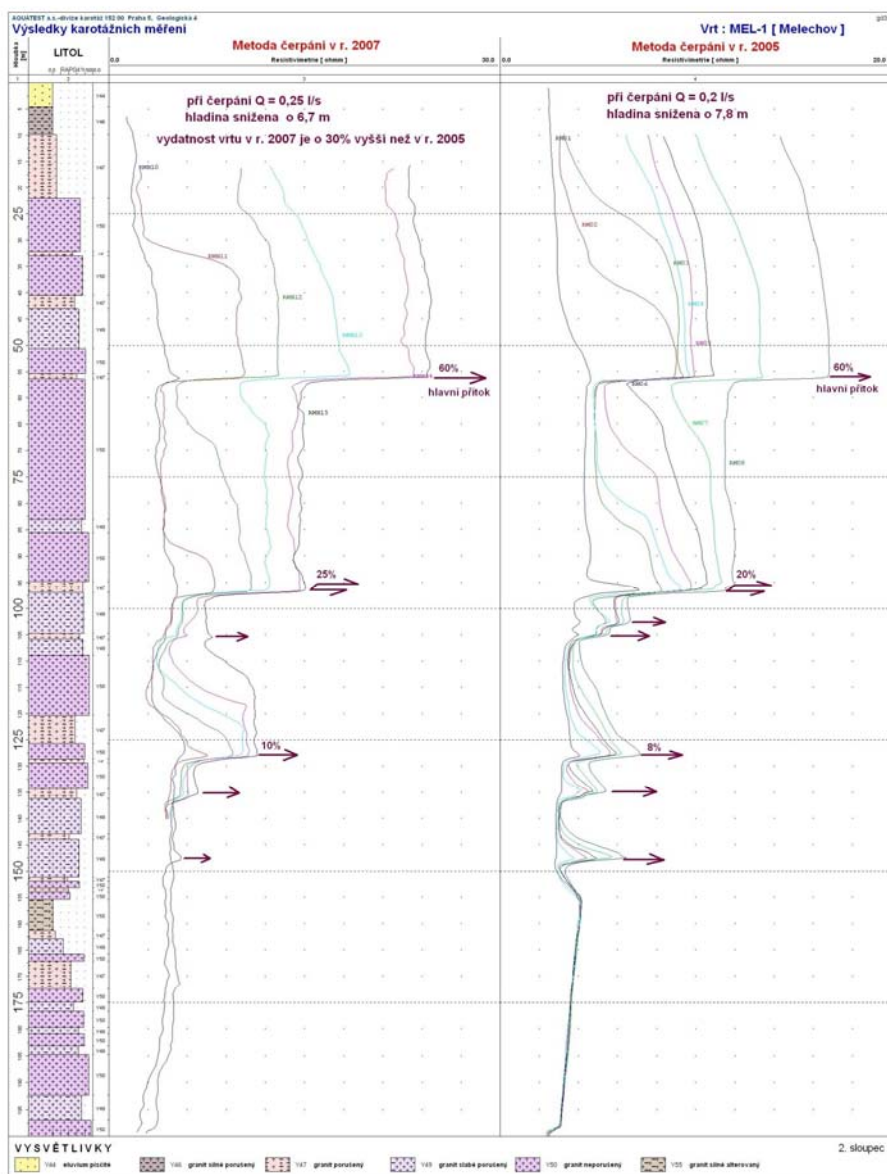
Na obr. 4 jsou porovnány výsledky metody odčerpání z r. 2007 a r. 2006. Z vrtu MEL-2 bylo čerpáno po dobu 3 hodin, čerpadlo bylo zapuštěno v hloubce 20 m, vydatnost čerpání byla $Q = 0,4$ l/s. V průběhu čerpání poklesla hladina ve vrtu MEL-2 o 6,2 m, kde se téměř ustálila. Po skončení čerpání byl zaregistrován záznam rezistivimetrie, na kterém jsou anomálie zvýšených odporů v místech hlavních přítoků vody. Při měření v r. 2006 bylo čerpáno s vydatností $Q = 0,5$ l/s, snížení hladiny činilo $S = 8,5$ m, lze tudíž konstatovat, že vydatnost vrtu byla v r. 2007 cca o 10% vyšší než v r. 2006. Hlavní místa přítoků vody jsou téměř totožná jak hloubkově, tak i vydatnostmi.

Závěr

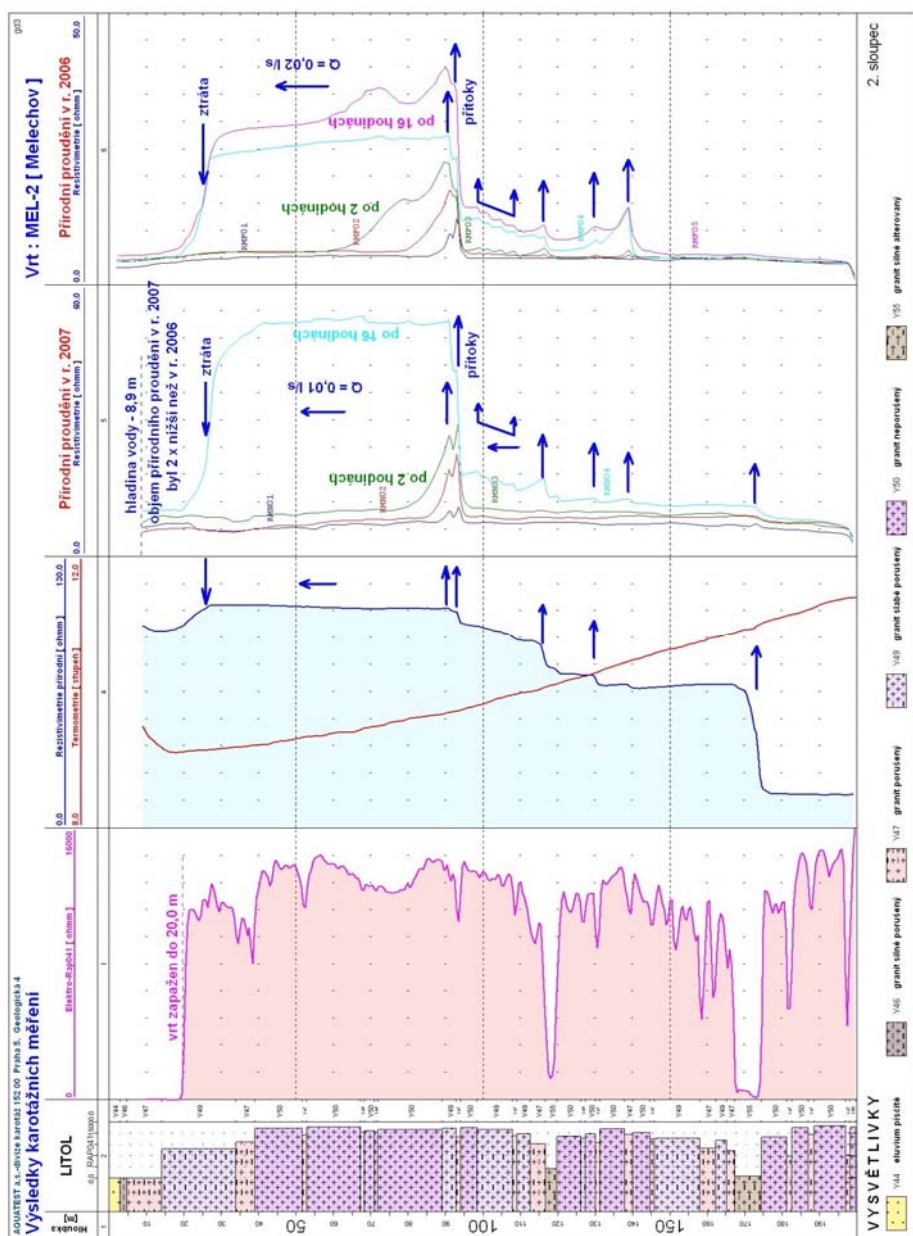
Kontrolním monitorovacím karotážním měřením byla zjištěna významná změna hydrogeologických poměrů ve vrtech za přírodních podmínek. Při měření krátce po dokončení vrtu jsou přírodní podmínky prostředí silně ovlivněny jak procesem vrtání, tak propojením propustných poloh s různou výtlačnou úrovní. Proto bude vhodné při dalších pracích zařadit do programu výzkumu monitorovací měření hydrogeologických poměrů po delším časovém odstupu.



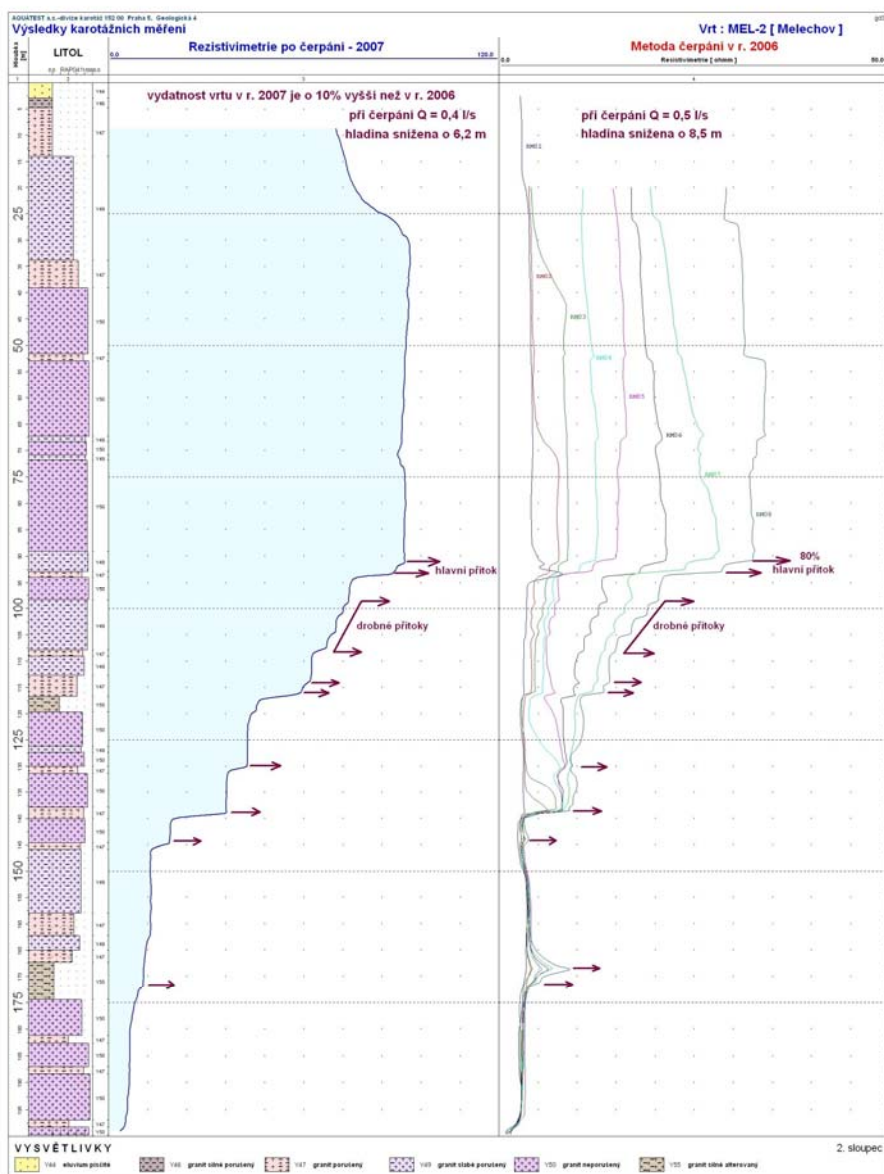
Obr.1 Litologický profil vrtu dle karotáže, křivka elektrokarotáže Rap 0,41 m, první „přírodní“ záznam rezistivimetrie a výsledky měření přírodního proudění vody ve vrtu získané z metody ředění označené kapaliny v r. 2007 a při prvním měření v r. 2005.



Obr.2 Výsledky metody odčerpání z r. 2007 a r. 2005



Obr.3 Litologický profil vrtu dle karotáže, křivka elektrokarotáže Rap 0,41 m, první „přirodní“ záznam rezistivimetrie a výsledky měření přírodního proudění vody ve vrtu získané z metody ředění označené kapaliny v r. 2007 a při prvním měření v r. 2006.



Obr.4 Výsledky metody odčerpání z r. 2007 a r. 2006

Literatura

- [1] Lukeš, J. (2007): Výzkum hydraulického propojení vrtů pomocí karotáže. Výzkum procesů pole vzdálených interakcí HÚ vyhořelého jaderného paliva a vysoce aktivních odpadů - SÚRAO, Praha.
- [2] Lukeš, J. (2006): Závěrečná zpráva o karotážním měření ve vrtech MEL-1 až MEL-6. Provedení geologických a dalších prací na testovací lokalitě Melechovský masiv – 2. etapa – SÚRAO, Praha.

**VPLYV NEŽIADÚCICH SEIZMICKÝCH ÚČINKOV TRHACÍCH PRÁC PRI
REALIZOVANÍ TUNELA BÔRIK**

**THE INFLUENCES OF UNDESIRABLE SEISMIC EFFECT OF BLASTING BY
DRIVING OF BORIK TUNNEL**

Abstract

The results of seismic effects analysis of Tunel Bôrik is discussed. The attenuation of seismic waves in surroundings of the tunnel based on analysis of seismograms are presented.

Key words: tunnel blasting, seismic waves, seismic effect analysis

Úvod

Trhacie práce majú a oddávna mali rozhodujúcu úlohu v živote človeka. Pokúsme si len predstaviť aká obrovská energia je ukrytá v malom množstve výbušniny. Na jednej strane môže táto energia vykonať pre človeka veľa užitočnej práce, ale na druhej strane môže pri nesprávnom využití spôsobiť materiálne škody.

Neužitočné formy mechanickej práce výbuchu predstavujú nutné sprievodné účinky trhacích prác, preto sa nedajú vylúčiť, dajú sa len po určité hranice znížiť. V závislosti od podmienok a parametrov rozpojovania, môžu prekročiť únosné – bezpečné hranice kedy sa stávajú škodlivými a môžu zapríčiniť veľké škody. Medzi nežiadúce – škodlivé účinky trhacích prác zaradujeme

1. porušovanie horninového masívu v pilieri – za výlomom,
2. nadmerné odhodenie a rozlet horniny,
3. vzdušná tlaková vlna a zvukový efekt,
4. jedovaté splodiny výbuchu [5,6,7].

Vyšetrenie týchto škodlivých účinkov a stanovenie seizmickej bezpečnosti je v súčasnej dobe veľmi aktuálny a nevyhnutný problém. Je potrebné nájsť ekonomicky výhodnú cestu, ktorá by na jednej strane zabezpečovala istotu neporušenia objektu a na druhej strane by určovala čo najefektívnejšiu technológiu trhacích prác [3]. Technický neodôvodnená – vysoká seizmická bezpečnosť vedie ku zmenšovaniu náloží a odstrelom, čím sa znižuje hospodárnosť rozpojovania a dobývania. Naopak, podcenenie seizmických účinkov môže spôsobiť veľké materiálne škody [1,2,4,7].

Tento článok popisuje merania seizmických účinkov trhacích prác, ktoré boli uskutočnené pri razení ľavej a pravej tunelovej rúry, na východnom portáli Tunela Bôrik.

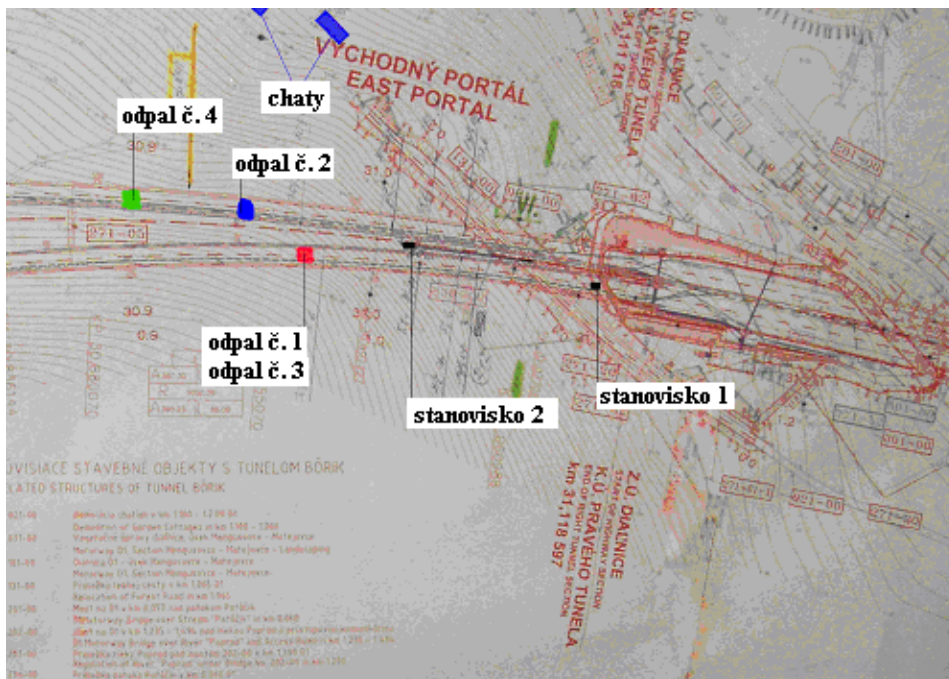
Predmetom meraní seizmiky trhacích prác, bolo posúdenie ich účinkov na vyhotovované konštrukcie definitívneho ostien tunela, ako aj okolitú najbližšiu chatovú výstavbu. Konkrétne meranie seizmických účinkov má dať odpoveď na otázku,

¹ Ing., TUBAU a.s. Generálne riaditeľstvo, Bytčická 89, 010 09 Žilina

² Doc., RNDr., PhD., ÚGaET F BERG TU v Košiciach, Park Komenského 19, 043 84 Košice, Slovenská republika

či energia seizmických vln vyvolaná odstrelní môže spôsobiť škody na sekundárnom (definitívnom) ostení Tunela Bôrik, ktorého realizácia začala ešte počas razenia oboch tunelových rúr, ako aj na chatových objektoch nachádzajúcich sa v bezprostrednej blízkosti pravej (severnej) tunelovej rúry.

Merania seizmických účinkov odstrelov boli realizované na troch odstreloch lavice a na odstrele kaloty pravej tunelovej rúry.



Obr. 1 Situačná mapa východného portálu s pozíciou odpalov a meracích stanovišiek

Zdroj otrasov

Zdrojom seizmických účinkov boli 3 odstrely lavíc v ľavej a pravej tunelovej rúre a jeden odstrelný celého profilu v pravej tunelovej rúre.

Odstrel č.1: lavice v južnej tunelovej rúre bol uskutočnený 14.07.2007 v čase 09:19 v staničení 165,00 bm. Tvorili ho valcové nálože s dĺžkami vrtov 4m priemeru 52 mm. Počet vrtov 39, s použitím trhavín Austrogel G1, Lambrex 1, Lambrex 2 Contour, rozbuškami DeM SICCA stupne 2, 4, 5, 9, 15, 16 a 20. Maximálna nálož na časový stupeň predstavovala 32,4 kg trhavín.

Odstrel č.2: lavice v severnej tunelovej rúre bol uskutočnený 14.07.2007 v čase 11:14 v staničení 191,20 bm. Tvorili ho valcové nálože s dĺžkami vrtov 4 m priemeru 52 mm. Počet vrtov 33, s použitím trhavín Austrogel G1, Lambrex 1, Lambrex 2 Contour, rozbuškami DeM SICCA stupne 4, 8 a DeD SICCA stupne 2 až 12. Maximálna nálož na časový stupeň predstavovala 15,2 kg trhavín.

Odstrel č.3: lavice v južnej tunelovej rúre bol uskutočnený 14.07.2007 v čase 14:16 v staničení 169,00 bm. Tvorili ho valcové nálože s dĺžkami vrtov 4 m priemeru 52 mm. Počet vrtov 29, s použitím trhavín Austrogel G1, Lambrex 1, Lambrex 2 Contour a rozbuškami DeM SICCA stupne 1 až 17. Maximálna nálož na časový stupeň predstavovala 22,8 kg trhavín.

Odstrel č.4: celého profilu v severnej tunelovej rúre bol uskutočnený 29.07.2007 v čase 15:38 v staničení 251,10 bm. Tvorili ho valcové nálože s dĺžkami vrtov 4 m priemeru 52 mm. Počet vrtov 142, s použitím trhavín Austrogel G1, Lambrex 1, Lambrex 2 Contour, rozbuškami DeM SICCA stupne 2, 4, 5, 9, 15, 16 a 20. Maximálna nálož na časový stupeň predstavovala 32,4 kg trhavín.



Obr. 2 Vrtanie lavice pre odstrel č. 1- stena pred odstrelom (vľavo) a stena po odstrele (vpravo)

Prenosové prostredie

Chránená krajinná oblasť Bôrik sa nachádza v katastrálnom území obcí Mengusovce a Lučivná. Dolomity vytvárajú výrazný horský relief terénu. V úseku oboch tunelových rúr je masív budovaný komplexom dolomitických hornín s rôznym stupňom zvetrania a alterácie a polohami ílu až piesku ílovitého premenlivej mocnosti. Hydrogeologické pomery za veľmi jednoduché, v celom úseku tunelových rúr neboli zaregistrované podstatné prítoky podzemnej vody. Hladina podzemnej vody je predpokladaná v hĺbke 14 m pod niveletou tunelových rúr. Geologická stavba územia pozostáva z hornín pre vodu nepriepustných alebo veľmi málo priepustných. Vrstevnatosť dolomitov je veľmi premenlivá, celé súvrstvie je mierne zvlnené, čo spôsobuje rozdielne hodnoty smeru sklonu vrstevnatosti. Tektonické pomery v tunelových rúrach reprezentujú systémy puklín a zlomov, väčšinou majúci nepriaznivý priebeh vzhľadom na smer razenia, nakoľko sú buď smerné alebo priečne s úklonom do výrubu.



Obr. 3 Dolomit rozložený – odkop stavebnej jamy pred tunelovými rúrami



Obr. 4 Meracie stanovisko 1 – základová doska č.100P – pravá tunelová rúra
hlbená časť - Seizmograf UVS 1504

Meracie stanoviská

Meracie stanovisko č. 1 sa nachádzalo na železobetónovej doske bloku č. 100P v hlbenej časti tunela na východnom portáli. Doska má hrúbku 0,85 m a je realizovaná z betónu triedy C25/30. Seizmosnímače boli umiestnené vo vzdialenosti –18 m od zarážkového bodu tunelových rúr. Na meracom stanovisku bol umiestnený 3 –zložkový seizmosnímač.

Meracie stanovisko č. 2 bolo v pravej tunelovej rúre v staničení 50,053 m od zarážkového bodu tunela. Seizmosnímač bol umiestnený vo výklenku železobetónového ochranného (stredového) piliera, realizovaného pred začiatkom razenie oboch tunelových rúr v dĺžke 60 m. Na meracom stanovisku bol umiestnený 3 –zložkový seizmosnímač NOMIS mini SUPERGRAPH.



Obr. 5 Meracie stanovisko 2 – pravá tunelová rúra ochranný stredový pilier - Seizmograf NOMIS mini SUPERGRAPH

Použitá seizmická aparatúra

Pre meranie seizmických účinkov boli použité štvorkanálový seizmograf UVS 1504 a seizmosnímače švédskej firmy Nitro Consult. Seizmograf poskytuje digitálny a grafický záznam všetkých troch zložiek rýchlosti kmitania častíc prostredia, horizontálna pozdĺžna – vx, horizontálna priečna – vy, vertikálna – vz. Štvrtý kanál bol v tomto prípade použitý na meranie vertikálnej zložky rýchlosti kmitania - vz1. Seizmograf UVS 1504 pracujú autonómne, automaticky uskutočňuje test kanálov bez zásahu a vplyvu operátora do nameraných a zaregistrovaných charakteristík kmitania. Seizmograf UVS 1504 má AD prevodník s automatickým 14 bitovým dynamickým rozsahom, ktorý zodpovedá $0,05 \div 250 \text{ mm.s}^{-1}$. Pre toto meranie boli použité elektrodynamické UVS geofóny s frekvenčným rozsahom $1 \div 1000 \text{ Hz}$ a citlivosťou 20 mV/mm.s^{-1} : trojzložkový snímač (x, y, z) na meracom stanovisku 1 a samostatný vertikálny jednozložkový snímač (z1). Geofóny boli umiestnené na betónovom podklade na špeciálnej podložke s oceľovými ostrými hrotmi, ktoré zabezpečovali nepretržitý kontakt s podkladom a dobrý prenos energie seizmického vlnenia..

Seizmograf NOMIS mini SUPERGRAPH má AD prevodník s automatickým 14 bitovým dynamickým rozsahom, ktorý zodpovedá $0 \div 254 \text{ mm.s}^{-1}$. Zabudovaný LCD

display poskytuje informácie o maximálnej hodnote meranej zložky rýchlosti kmitania a frekvencii seizmického a zvukového vlnenia po trhacích prácach alebo inom zdroji pružného vlnenia. Pre toto meranie boli použité elektrodynamické Nomis geofóny (x, y, z) s frekvenčným rozsahom $2 \div 400$ Hz a citlivosťou 20 mV/mm.s-1. Seizmosnímače boli uložené na betónovom základe na špeciálnej podložke s oceľovými ostrými hrotmi, ktoré zabezpečovali nepretržitý kontakt s betónovým podkladom a dobrý prenos energie seizmického vlnenia.

Kritérium a merítka seizmických účinkov trhacích prác

Pri výbuchu v ľubovoľnom prostredí vzniká a šíri sa v prostredí celý rad vln, nazývaných výbuchové vlny. V horninovom prostredí sú to napäťové vlny, nazývané aj seizmické vlny. Pri pozemnom výbuchu sa v horninách šíria vlny objemové pozdĺžne P a priečne S, povrchové vlny Rayleighove R, Loveove a atmosférou sa šíri vzdušná rázová vlna, ktorá indukuje v hornine indukovanú tlakovú vlnu [5,6]

Silový účinok tlakových vln sa prejavuje tlakmi, prípadne ťahmi, ktorými seizmické vlny pôsobia na konštrukcie. Zvláštnym spôsobom sa silový účinok seizmických vln prejavuje u nadzemných stavieb. Napäťová vlna výbuchu, šíriaca sa v podlaží stavieb, naráža na ich základy, prechádza nimi do muriva, dochádza k odrazom, lomom a difrakcii vln u voľných povrchov muriva, okenných, dverových, komínových a iných otvorov, vznikajú ťahové vlny a charakteristické trhlinky v murive, vychádzajúce najmä z rohov okenných a iných otvorov [5,6,8,9,10,11].

Účinky tzv. technickej seizmicity vyvolanej trhacími prácami sa merajú a posudzujú rýchlosťou kmitania častíc prostredia „v“ a to podľa maximálnej hodnoty jednej z jej troch zložiek x, y, z. Princíp seizmickej ochrany – seizmickej bezpečnosti stavebných objektov voči technickej seizmicite možno vyjadriť vzťahom: $v \leq v_d$ kde v je maximálna hodnota zložky rýchlosti kmitania vyvolaná zdrojom otrasov, nameraná na tzv. referenčnom stanovisku chráneného (posudzovaného) objektu; referenčné stanovisko sú základy prízemia budovy; hodnota „v“ závisí hlavne od maximálnej hmotnosti nálože trhaviny odpálenej v jednom časovom stupni Q [kg], ďalej od minimálnej vzdialenosti zdroja od receptora otrasov L [m] a od vlastností geologického prenosového prostredia medzi zdrojom a receptorom otrasov, v_d je maximálna dovolená (medzná) rýchlosť kmitania pre posudzovaný (chránený) objekt; pri tejto rýchlosti kmitania nedôjde k nijakému poškodeniu objektu – stupeň poškodenia je 0. Pre bežné prípady, akým je aj tento prípad, hodnoty v_d odporúčajú príslušné technické normy, v Slovenskej republike napr. STN 73 00 36 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií. V špeciálnych prípadoch je potrebné tieto hodnoty stanoviť na základe expertíznych posúdení špecialistami [5,6,7,11].

Hodnoty v_d v súlade s STN 730036 závisia od triedy odolnosti objektu (hlavne veľkosť, konštrukcia, vek), na druhu základovej pôdy a na prevládajúcom frekvenčnom rozsahu vibrácií [5,6].

Triedy odolnosti objektov

A: Chatrné stavby, historické budovy, pomníky a pod.

B: Bežné tehlové stavby, izolované alebo radové domy s pôdorysnou plochou do 200 m², najviac trojposchodové.

C: Veľké budovy z tehál a tvárnic, dobre ztužené stavby panelové a montované z betónových prvkov, kamenné mosty, oporné a ochranné múry z kameňa, tehál, murované vodojemy a pod.

D: Budovy s nosnou kostrou železobetónovou a oceľovou, konštrukcie z monolitného betónu, montované budovy pre prevádzku a výrobu,

E: Železobetónové konštrukcie pre výrobné a prevádzkové objekty, železobetónové silá a zásobníky,

F: Železobetónové a oceľové ostenia tunelov, metra a kolektorov, úkryty civilnej ochrany.

Vplyv seizmických účinkov na banské diela

Pre diela budované horninovým masívom je kritérium pevnosti pomerná dynamická deformácia ϵ_0 , pričom hodnoty $\epsilon_0 = 0,000\ 2$ až $0,000\ 3$ sú ešte v medziach pružnosti. Merítkom je opäť rýchlosť kmitania. Doporučuje sa deliť povrchové a banské diela do štyroch tried v závislosti na ich dobe životnosti t a dovolenej hodnote ϵ_0 .

- 1) Trieda banského diela:
- 2) Zvlášť dôležité diela životnosti nad 10 rokov, $\epsilon_0 = 0,000\ 1$: hydrotechnické štôlne, jamy, hlavné banské diela, tunely, odvodňovacie a iné diela, stabilné svahy zárezov a pod.
- 3) Dôležité diela životnosti od 5 do 10 rokov, $\epsilon_0 = 0,000\ 2$: náraziská, prekopy, stropné piliere, svahy etáží a hald a pod.
- 4) Diela s kratšou životnosťou od 1 do 5 rokov, $\epsilon_0 = 0,000\ 3$: chodby, komory a pod.
- 5) Diela so životnosťou do jedného roka, $\epsilon_0 = 0,000\ 5$: dobývky, svahy pracovných etáží a pod.

Dovolená rýchlosť kmitania je funkciou pružnostných vlastností hornín a doby životnosti t a zjednodušene sa môže vyjadriť empirickým vzťahom

$$v_d = 1,85 \cdot 10^{-5} c_{pe} \cdot 2,3 \cdot 1,16 \cdot t \quad (\text{m.s}^{-1})$$

c_p – rýchlosť šírenia pozdĺžnych vĺn v masíve (m.s^{-1}),

t – doba životnosti diela (rok).

Tento vzťah dobre poskytne prvé – orientačné hodnoty.

Druh základovej pôdy

Kategória a: Horniny všetkých tried pri únosnosti $\leq 0,15$ MPa, s hladinou podzemnej vody trvalo v hĺbke od 1m do 3 m pod základovou škárou.

Kategória b: Horniny všetkých tried pri únosnosti $\leq 0,15$ MPa, s hladinou podzemnej vody trvalo v hĺbke väčšej ako 3 m pod základovou škárou.

Kategória c: Horniny všetkých tried pri únosnosti $> 0,15$ MPa, s hladinou podzemnej vody trvalo v hĺbke väčšej ako 3 m pod základovou škárou.

Dominantné frekvencie

Obvyklé frekvencie od trhacích prác sú od 5 do 50 Hz. Frekvencie $f < 10$ Hz zodpovedajú náložiam s ekvivalentnou hmotnosťou $m > 2\ 000$ kg, frekvencie $f > 50$ Hz zodpovedajú náložiam s ekvivalentnou hmotnosťou $m < 5$ kg. Trhacie práce pri razení tunelov, šácht sú charakterizované prevažne frekvenciami kmitov nad 50 Hz [5,6].

Dovolená rýchlosť kmitania pre chatovú zástavbu a stavebné konštrukcie

Vychádzajúc z odporúčaní STN 73 0036 Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií, s ohľadom na nálože používané v Tuneli Bôrik, ktoré predstavujú rádovo desiatky kilogramov, kedy frekvencie kmitov bývajú obvykle $f > 10$ Hz, na základe odolnosti stavebných objektov voči technickej seizmicite je možno sledované stavebné konštrukcie v Tuneli Bôrik zaradiť do triedy odolnosti E až F.

Čo sa týka druhu a kategórie základovej pôdy chránených objektov, túto vzhľadom na absenciu konkrétnejších charakteristík a údajov, môžeme zatriediť do kategórie b, čo s vysokou pravdepodobnosťou bude najbližšie ku skutočnosti.

Stupeň poškodenia vo všetkých prípadoch uvažujeme bez poškodenia – 0.

Na základe uvedeného a vzhľadom na dlhodobejší charakter odstrelov na Tuneli Bôrik pre rozpojovanie valcovými náložami a pre sledované stavebné objekty, možno maximálnu dovolenú rýchlosť kmitania (zložku rýchlosti) stanoviť hodnotou

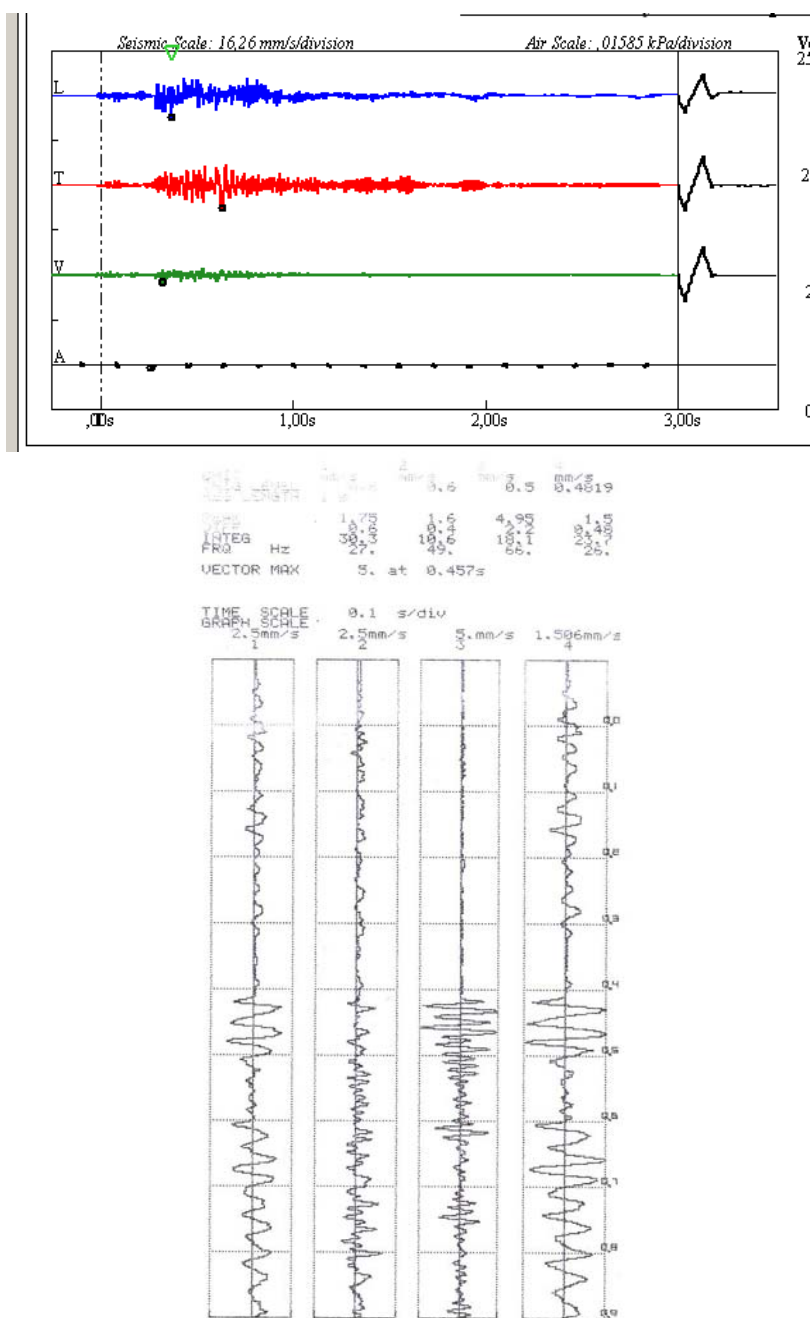
$vd \leq 60$ mm/s pre vyhotovené stavebné konštrukcie a

$vd \leq 10$ mm/s pre priľahlú chatovú zástavbu.

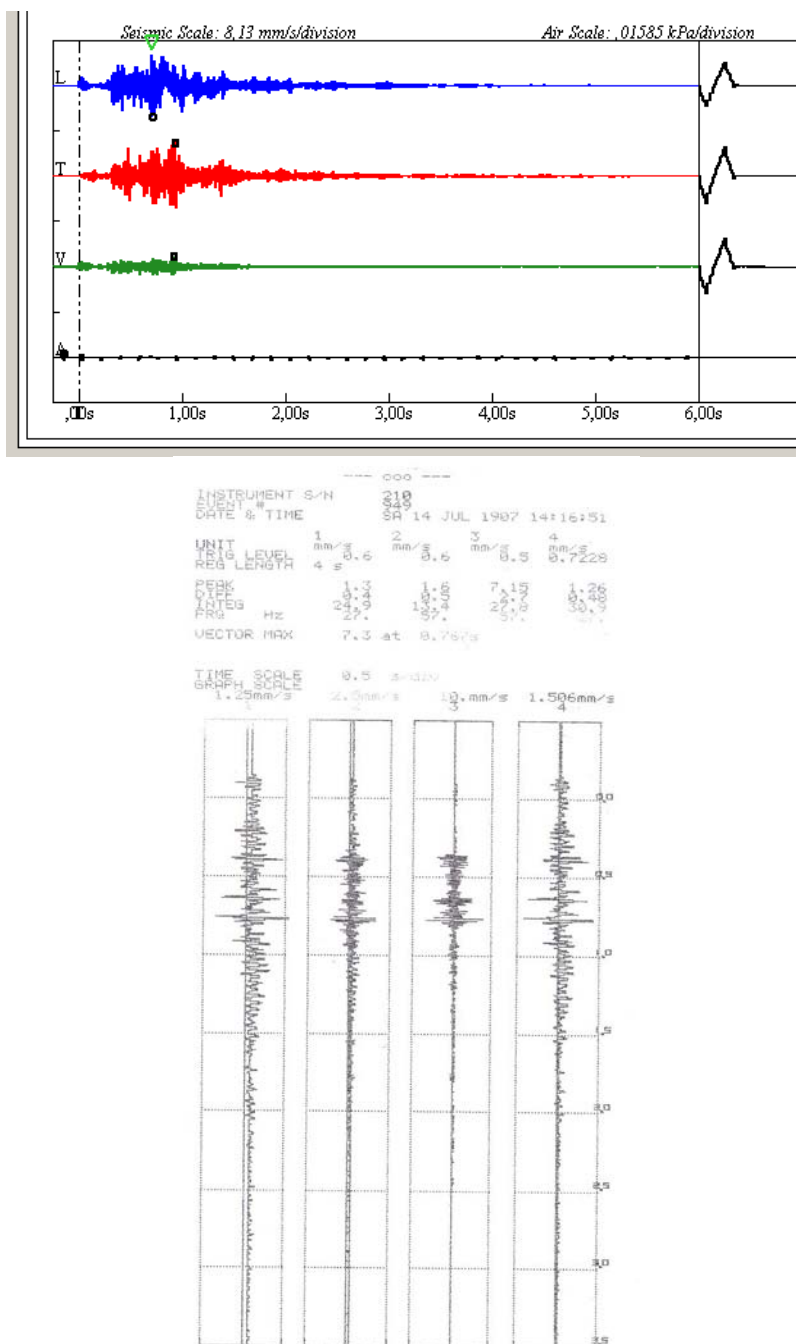
Namerané seizmické účinky a ich analýza

Seizmické účinky boli merané pri štyroch odstreloch. Tým sa získala množina hodnôt rýchlosti kmitania "v" (obr. 6, 7) v závislosti na vzdialenosti L od zdroja otrasov a veľkosti nálože Q na časový stupeň.

Digitálne záznamy na obr. 6 a 7 predstavujú priebežne hodnoty seizmického vlnenia od začiatku odstrelu až po jeho ukončenie. Prístroje priebežne merané hodnoty vyhodnocujú v milisekundových intervaloch a digitálne zobrazujú maximálnu hodnotu výchylky rýchlosti kmitania v štyroch meraných zložkách z_1 , y , x a z_2 . (UVS 1504) a x , y , z (Nomis). Namerané maximálne hodnoty seizmických účinkov generované odstrelními sú uvedené v tabuľke 1. Na obr. 6 je záznam prvého odstrelu, ktorý bol uskutočnený štandardným spôsobom v súlade s projektom. Na zázname sú viditeľné v čase 0,4 ms nasadenia odrazených vln, ktorých amplitúdy a rýchlosti kmitania boli oveľa väčšie ako od jednotlivých časových stupňov odstrelu. V druhom odstrele sme znížili veľkosť náloží na časový stupeň a zmenili časovanie. Namerané hodnoty rýchlosti kmitania nedosiahli spúšťačnú úroveň grafického záznamu a tak grafický záznam nebol k dispozícii. Pri treťom odstrele sme naprojektovali maximálne prípustné veľkosti náloží na jeden časový stupeň pri nezmenenom časovaní. Grafický záznam je na obr. 7. Z porovnania obidvoch záznamov je vidieť, že aj napriek zvýšeným náložiam na časový stupeň nebola prekročená dovolená rýchlosť kmitania, pri frekvenciách nad 50 Hz, čo je z hľadiska bezpečnosti taktiež priaznivé. V štvrtom odstrele, ktorý sa uskutočnil na celom profile tunelovej rúry sme použili odskúšané časovanie a namerané hodnoty na stanovisku č.1 boli oveľa nižšie ako dovolené ($v_y=5,4$ mm/s pri frekvencii 52 Hz - Tabuľka 1). Hodnoty frekvencii 0,2 Hz pri štvrtom odstrele pre zložky kmitania z a z_1 boli pod hranicou merateľnosti a prístroj ich nevedel vyhodnotiť. Na stanovisku č. 2 pri odstrele č. 4 nebolo uskutočnené meranie. Takýmto postupom bolo možné bezpečne uskutočniť trhacie práce v Tuneli Bôrik aj v mieste najbližšom k sledovaným objektom.



Obr. 6 Grafické záznamy rýchlosti kmitania a frekvencie v troch meraných zložkách x, y, z pri odstrele č. 1 na stanovisku 1 (vľavo) a na stanovisku 2 (vpravo)



Obr. 7 Grafické záznamy rýchlostí kmitania a frekvencie v meraných zložkách x, y, z pri odstrele č. 3 na stanovisku 1 (vľavo) a na stanovisku 2 (vpravo)

Tab 1 Namerané maximálne hodnoty zložiek rýchlosti kmitania pri odstreloch v Tuneli Bôrik

Odstrel/ stanovi sko	Hmotnosť nálože Q [kg]	Vzdialenosť L [m]	Redukovaná vzdialenosť $L/Q^{0,5}$ [m.kg ^{0,5}]	Meraná zložka	Frekvencia f [Hz]	Rýchlosť „v“ [mm.s ⁻¹]
1/1	32,4	183	32,15	x	66,0	4,95
				y	49,0	1,6
				z	27,0	1,75
				z ₁	26,0	1,5
1/2	32,4	115	20,203	x	42,6	7,94
				y	22,2	8,26
				z	512,0	2,67
				z ₁	-	-
2/1	15,2	209,2	53,659	x	-	1,00
				y	-	1,05
				z	-	0,45
				z ₁	-	0,30
2/2	15,2	141,2	36,217	x	85,3	1,14
				y	73,1	0,95
				z	256,0	0,76
				z ₁	-	-
3/1	22,8	187	39,162	x	57,0	7,15
				y	57,0	1,60
				z	27,0	1,30
				z ₁	27,0	1,26
3/2	22,8	119	24,92	x	64,0	5,26
				y	51,2	5,97
				z	512,0	1,78
				z ₁	-	-
4/1	32,4	269,1	47,276	x	57,0	1,15
				y	52,0	5,4

				z	0,2	0,35
				z ₁	0,2	0,30
4/2	32,4	-	-	x	-	-
				y	-	-
				z	-	-
				z ₁	-	-

Na základe týchto údajov bola zostrojená grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlosti kmitania na redukovanej vzdialenosti. Graf na obr. 8 predstavuje tzv. zákon útlmu seizmických vln pre Tunel Bôrik, zostrojený z hodnôt nameraných pri realizovaní odstrelov č. 1, 2, 3 a 4, v ktorom bola použitá hodnota Q v tvare:

$$v = \left(\frac{L}{Q^{0,5}} \right) = K \left[\frac{L}{Q^{0,5}} \right]^n,$$

kde: „v“ je maximálna rýchlosť kmitania (maximálna zložka rýchlosti kmitania) generovaná odstrelovaním, [mm.s-1],

- ☐ L.Q-0,5 je tzv. redukovaná vzdialenosť LR, [m.kg-0,5],
- ☐ L je najkratšia vzdialenosť zdroja otrasov od ich receptora, [m],
- ☐ Q je hmotnosť nálože časového stupňa, [kg],
- ☐ K je súčiniteľ závislý na podmienkach odstreľu, vlastnostiach prenosového prostredia, druhu trhaviny a pod.,
- ☐ n je ukazovateľ útlmu seizmických vln.

Zo zákona útlmu seizmických vln je možné stanoviť pre konkrétny receptor veľkosť nálože pri známej vzdialenosti, tak aby maximálne hodnoty jednotlivých zložiek rýchlosti kmitania nepresiahli dovolenú rýchlosť kmitania vd.

Tento vzťah umožňuje pre danú celkovú nálož na odstrel a pre minimálnu vzdialenosť L od posudzovaného objektu, stanoviť očakávanú rýchlosť kmitania vygenerovanú odstrelovaním na posudzovanom (chránenom) objekte.

Druhý, oveľa dôležitejší spôsob použitia zákona útlmu seizmických vln je nasledovný. Pre vopred stanovenú dovolenú rýchlosť kmitania posudzovaného stavebného objektu vd v grafe na obr. 8 stanovíme maximálne dovolenú redukovanú vzdialenosť LRd, z ktorej pri známej vzdialenosti L vypočítame celkovú maximálnu dovolenú nálož na odstrel Qcd

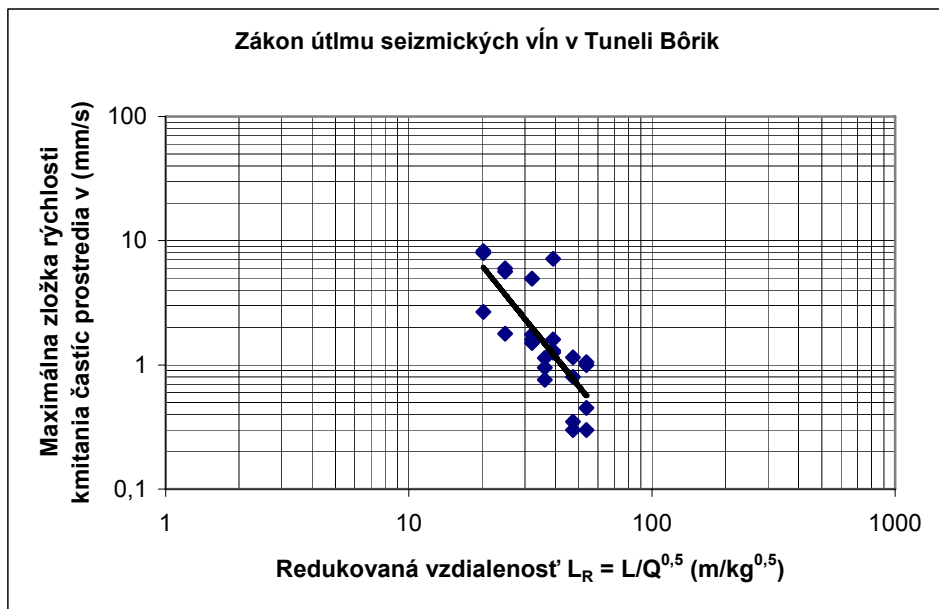
$$Q_{cd} = (L/L_{Rd})^2 \quad (\text{kg})$$

Takto pre Tunel Bôrik, kde $vd \leq 10 \text{ mm/s}$, z grafu na obr. 8 máme dovolenú redukovanú vzdialenosť LRd = 15 m.kg-0.5 .

Uvedený spôsob a postup hodnotenia seizmickej bezpečnosti trhavých prác na Tuneli Bôrik platí pre rozpojovanie valcovými náložami, pre:

- ☐ dĺžky postupov na jeden krok 4 m,

- nálože, alebo skupiny náloží, resp. odstrel časovaný rozbuškami DeM, DeD a DeP.



Obr. 8 Grafická závislosť maximálnych zložiek rýchlosti kmitania na redukovanej vzdialenosti pri odstreloch v Tuneli Bôrik – zákon útlmu seizmických vln

PodĎakování

Článok bol riešený v rámci grantovej úlohy Vega 1/3295/6.

Záver

Seizmické účinky trhacích prác na stavebné objekty sa posudzujú podľa rýchlosti kmitania častíc prostredia „v“. Na sledované stavebné objekty v Tuneli Bôrik je možno pri primárnom rozpojovaní prijať maximálnu dovolenú rýchlosť kmitania $v_d = 60$ mm/s. Pri odstreloch bola na referenčných meracích stanoviskách nameraná maximálna hodnota rýchlosti kmitania $v_x = 7,94$ mm/s pri frekvencii 42,6 Hz, t.j. dovolená hodnota rýchlosti kmitania nebola prekročená a preto možno konštatovať, že seizmické účinky sledovaných radových odstrelov nezapríčinili žiadne poškodenie na vyhotovované konštrukcie definitívneho ostenie tunela, ako aj okolitú najbližšiu chatovú výstavbu.

Literatúra

- [1] Pandula, B., Bocan, J., Kondela, J., Sasvari, T. a Jelšovská, K. (2007): Seizmika komorového odstrelu. Zborník Trhacia technika 2007, Stará Lesná 2007, s.114 – 121.
- [2] Pandula, B. a Bocan, J.(2006): Vyhodnotenie seizmických účinkov KO v lome Dubina - Kvetnica. Výskumná správa KDLaG F BERG, Košice 2006, 8 s.
- [3] Pandula, B., Mockovčiaková, A., Cehlár, M. a Jelšovská, K. (2001): Hodnotenie porušenia horninového masívu pomocou impulzových dynamických metód

- z pohľadu ekonomickej efektívnosti trhacích prác, Acta Avionica ročník III/2001 č. 4, VLA Košice s. 116 – 121.
- [4] Onderka, Z. et. al. (2003): Pomiar drgaň seismometrycznych przy strzelaniu komorowym w kamieniolome Dubina-Kvetnica kolo Popradu, Wydział gorniczy AGH- Krakow, 2003, 8 s.
 - [5] Pandula, B. (2003): Seizmika trhacích prác – perspektívy rozvoja, Habilitačná práca, Košice 2003, 157 s.
 - [6] Dojčár, O. et. al. (1996): Trhacia technika. Montanex Ostrava 1996, 421 s.
 - [7] Dojčár, O. a Pandula, B. (1998): Výskum technickej seizmicity v lome VSŽ Včeláre, Výskumná správa, TU Košice 1998.
 - [8] Janotka, V., Viskup, J. and Bukov, D. (1997): Rock environment geological models for accelerogram and seismic response spectra computation. Proceedings of the 3rd International Conference „Soil-Structure Interaction“. Slovak Technical University, Department of Geotechnics 1997, p. 27÷32.
 - [9] Purcz, P. (2003): Asymptotical Behaviour of the Communication Complexity of one Parallel Algorithm, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3019, 5th International Conference PPAM 2003, Czestochova, Poland, pp.201—206.
 - [10] Purcz P. (2001): Parallel Algorithm For Spatially One- And Two-Dimensional Initial-Boundary-Value Problem For A Parabolic Equation, Kybernetika, Prague, vol.37, No.2, 2001, pp.171-181.
 - [11] Pandula, B. a Varga, T. (2008): Vplyv otrasov a vibrácií od nákladnej dopravy na občianské stavby. Zborník Trhacia technika 2008, Stará Lesná 2008, s.10 – 17.

Jarmila MÜLLEROVÁ¹, Karel MÜLLER², Arnošt GRMELA³

**GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY VYBRANÝCH LOKALIT
KARVINSKA**

**GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL SITUATION IN SELECTED PARTS
OF KARVINA REGION**

Abstract

Geological and hydrogeological situation in selected parts of Karvina region is described in this paper. This study is target on parameters that influenced value of seismic loading of region. Possible situation in future is described using modeling. Suitable places for seismological studies are specified.

Key words: geological and hydrogeological situation, seismic loading, Karvina region

Úvod

Výsledky seizmologického výzkumu pro posouzení vlivu indukované seizmicity na povrchové objekty jsou závislé na dobré znalosti geologického prostředí tj. jeho litologicko-strukturálním charakteru, hydrogeologických poměrech, fyzikálně-mechanických parametrech a znalosti geodynamických procesů, které v tomto prostředí probíhají nebo probíhaly. Jen na základě těchto věrohodných informací, lze sestavovat reálné matematické modely interakce „otřes-prostředí-objekt-odezva“.

Zájmovým územím pro studium seizmických účinků a výběr vhodných lokalit seizmických stanic je východní část karvinské dílčí pánve OKR mezi Doubravou, Karvinou a Lázněmi Darkov, která je stále ještě pod vlivem aktivní hlubinné těžby uhlí v OKR. Proto je zde třeba počítat s možností projevů indukované seizmicity na povrchové i podpovrchové objekty.

Geologická a hydrogeologická situace v zájmovém území

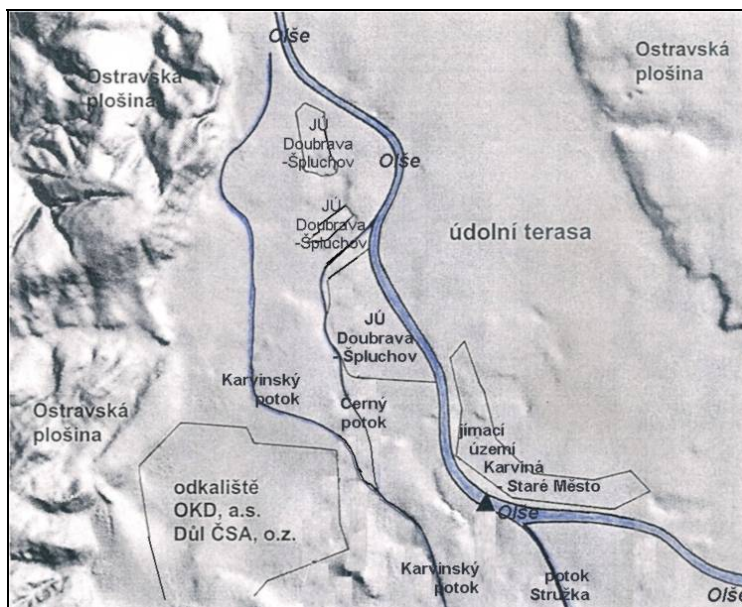
V návaznosti na předchozí výzkumné práce (Kaláb et al., 2001, 2006, 2008, Doležalová et al., 2004) byla zvolena část dobývacích prostorů Karviná - Doly a Darkov, ležící na vyšší a údolní terase na levém břehu řeky Olše (Obr.1). Nadmořská výška terénu se pohybuje v rozmezí +214 až 226 m n.m. Jeho přirozenou hranici na východě tvoří koryto řeky, na severozápadě výrazný terénní stupeň Ostravské plošiny s výškou + 243 až 282 m n. m.

Na modelaci přirozeného povrchu se podílela akumulární a následně erozní činnost řeky. Dnešní reliéf je výsledkem antropogenní činnosti, která je vázána především na intenzivní dobývání uhlí, projevující se poklesy terénu, odvaly, navážkami a odkališti, které omezují toto zájmové území na západě a jihozápadě. Současná těžba uhlí probíhá v hloubkách 750 m (Důl Darkov) až 900 m pod terénem (Důl ČSA).

¹ Doc., Ing., CSc., dříve VŠB-Technická univerzita Ostrava, fakulta hornicko-geologická

² Prof. Ing., DrSc., Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava – Poruba, Muller@ugn.cas.cz

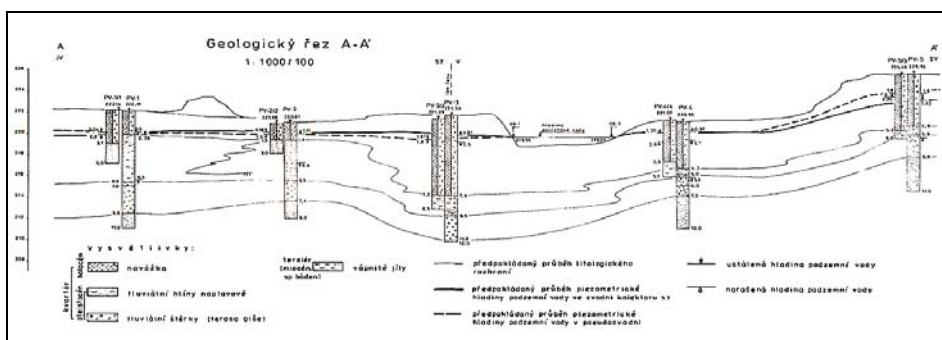
³ Doc. Ing., CSc., VŠB-Technická univerzita Ostrava, fakulta hornicko-geologická 708 33 Ostrava – Poruba, arnost.grmela@vsb.cz, též: ATH-Univerzita Bielsko-Biala, WNMiS, Inst OIŚ 43-309 Bielsko-Biala, Poland.



Obr.1 Stínový model terénu oblasti Doubrava – Špluchov a Karviná – Staré Město (Žáček, 1996).

Vzhledem k výzkumnému záměru je popis geologického prostředí omezen na subhorizontálně uložená sedimentární souvrství kvartéru, neogénu a svrchního karbonu a vymezení výrazných rozhraní, která mohou ovlivnit průběh a charakter seizmických vln.

Kvartér je zastoupen pleistocenními fluvialními sedimenty, které jsou ve vyšší terase ve formě 2-3 m mocné polohy písčitých štěrků, překrytých 1-2 m mocnou vrstvou sprašových hlín. V údolní terase jsou nad 3-7 m mocnou vrstvou štěrků a štěrkopísků holocenní jílovito-prachové povodňové hlíny o průměrné mocnosti 2 m (Obr. 2, Obr. 3).



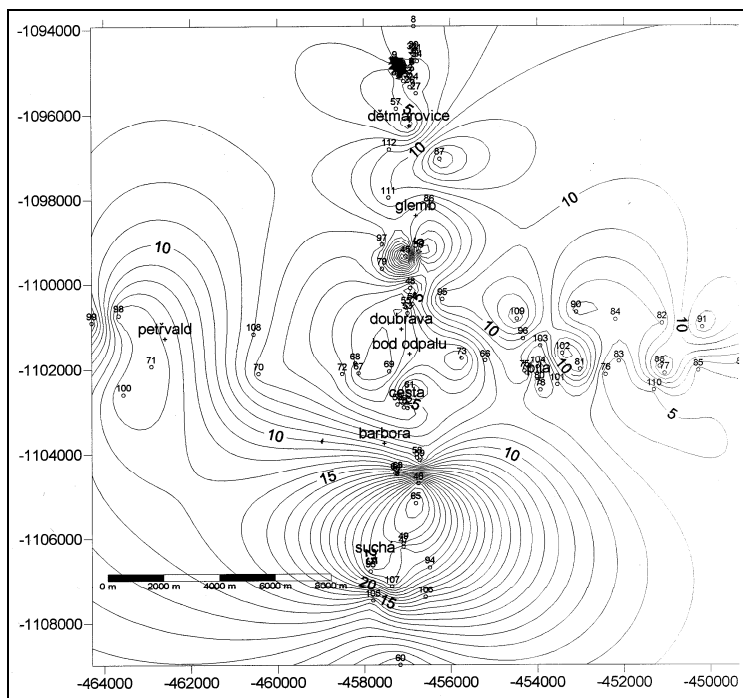
Obr.2 Charakteristický geologický profil kvartérem v zájmovém území (území Dolu ČSA).(převzato ze Sedláčková, 1993)

Šterky a šterkopísky teras tvoří významný zvodněný kolektor s volnou hladinou v hloubce cca 1,2- 2,7 m pod povrchem. Protože koryto řeky Olše je zaříznuto až do kolektoru, dochází k přímé hydraulické spojitosti mezi zvodní a řekou (Grmela et al., 1994, Malucha et al., 2004).

Neogén tvoří transgresivní pokryv uhlonosného karbonu. Je reprezentován nezvrásněným spodnobadenským souvrstvím vápnatých jííl s čočkami, laminami a tenkými vrstvami (cm) prachových písků až pískovců. V daném území se mocnost souvrství pohybuje, podle členitosti povrchu karbonu, mezi 100-500 m.

Vyšší akumulace zvodněných, vzájemně hydraulicky izolovaných písčitých poloh a čoček se vyskytuje v „hlavním písčitém horizontu“ o mocnosti 10-50 m v hloubce cca ± 50 m p.m. Podíl psamitické složky dosahuje až 20%. Jedinou regionálně sledovanou souvislou vrstvou o mocnosti 0,5 – 4 m v něm tvoří tzv. darkovský pískový obzor. Hlubší, „spodní písčité horizont“ ve výškové úrovni cca - 400 až - 450 m p.m. má písčité vložky velmi tenké, většinou neprůběžné. Oba horizonty, včetně podločních bazálních klastik jsou zdrojem jodobromových vod, čerpaných pro lázeňské účely.

Přes rozsáhlý a dlouhodobý vrtný průzkum, probíhající v celé oblasti OKR od 50tých let, jsou informace o pelitické facií spodního badenu sporadické. Průzkum, účelově zaměřený především na ověření ložiskových poměrů (vrty NP), byl proveden přes miocén až k horizontu bazálních klastik většinou bezjádrovým vrtním s omezeným využitím karotážních měření.



Obr. 3 Izolinie mocnosti kvartéru (Kaláb et al., 2006)

Litologicky a hydrogeologicky výrazným horizontem jsou bazální klastika spodního badenu tzv. detrit (vrstvy dembowiecké), relativně ostře oddělena od nadloží

petlické facie. Tvorí je šterkopísky, hrubozrné šterky a suťové brekcie, uložené ve výmolech paleoreliéfu karbonu. Tyto deprese vznikly selektivní erozí v místech výrazných tektonických poruch v karbonském masívu (Obr.4, Obr. 5). V oblasti dobývacích prostorů Karviná-Doly a Darkov se vyskytují dílčí výmoly - doubravský a darkovský, které vybíhají z hlavního dětmarovického výmolu.

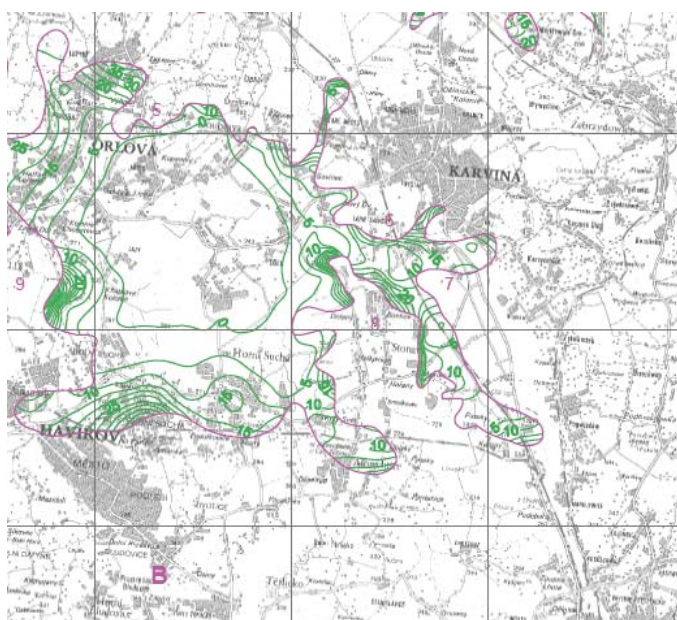
Bazální klastika jsou kolektorem fosilních mořských vod s napjatou hladinou (Obr. 6). Z hydrogeologického hlediska představují, spolu s karbonským zvětralinovým pláštěm, největší ohrožení bezpečnosti důlní činnosti. Podrobně je tato problematika uvedena v monografii Dvorský et al. 2006.

Podložní konsolidovaný karbonský masív je tvořen cyklickými uhlonosnými sedimenty karbonské molasy (slepence, pískovce, prachovce a jílovce), v cyklotémách s vývojem uhelných slojí. Spodní –ostravské souvrství- v paralickém vývoji dosahuje v karvinské dílčí pánvi mocnosti cca 1000m. Svrchní- karvinské souvrství- vyvinuté pouze v karvinské pánvi, má limnický vývoj kontinentální uhlonosné molasy s vyšším podílem písčité složky i mocnějšími uhelnými slojemi. Jeho maximální mocnost je cca 1200m. Podrobně je geologická charakteristika uvedena v publikaci Dopita et al.,1997.



Obr.4 Hlavní výmoly na paleoreliéfu karbonu v české části hornoslezské pánve (Dvorský et al., 2006)

Karbon v podloží spodnobádenské výplně vněkarpatské pánve má charakter rozvolněného, silně rozpukaného zvětralinového pláště, který v bezprostředním podloží detritu, vytváří s ním jeden zvodněný systém. Jedná se o hydraulický systém s napjatou hladinou, dnes silně ovlivněný antropogenní činností. Důlními pracemi, vrty a řízeným i neřízeným odvodňováním bylo dosaženo stavu, kdy původní piezometrická úroveň (vrstevní tlaky cca 8 MPa) je již podstatně snížena (až o 3,5 MPa), jsou vyčerpávány statické zásoby (cca $3 \cdot 10^9 \text{ m}^3$) a je vyvoláno proudění detritových vod v kolektoru. Mocnost pláště se pohybuje v daném území v m až prvních desítkách m (obr. 9).



Obr.7 Mocnost zvětralínového pláště karbonu v zájmové oblasti (Dvorský et al. 2006).

Geotechnické parametry

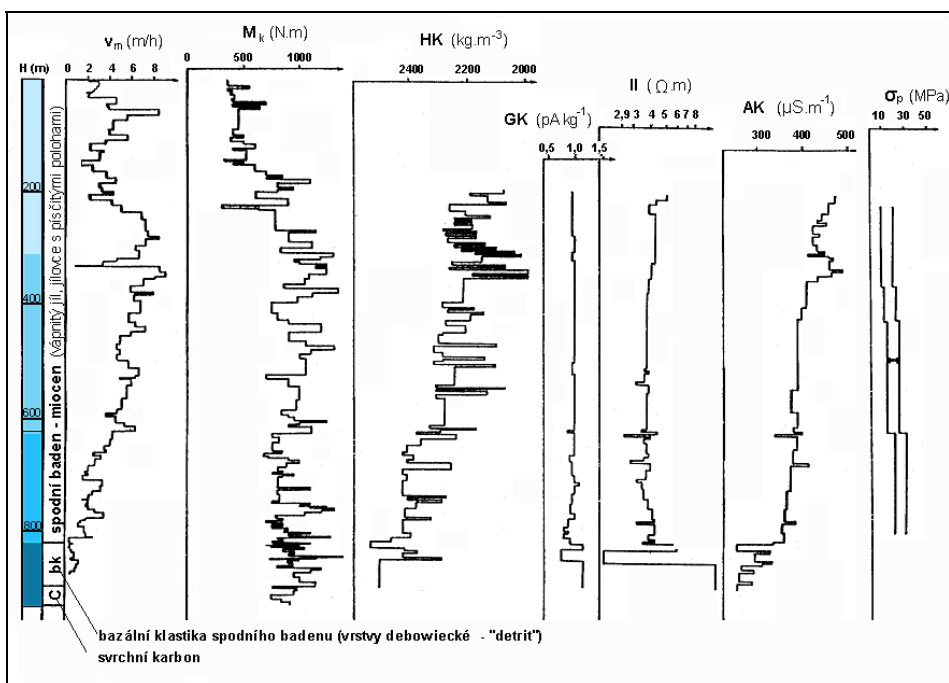
Na seizmické projevy na povrchu má nejen vliv zdrojová funkce seizmického jevu, dráha šíření seizmické energie, ale i efekt lokální geologické stavby, tzv. site effect (Kaláb et al., 2008). Aby bylo možné detailně analyzovat projev vibrací na povrchu, využívá se vedle metod detailního zpracování seizmických záznamů i metod matematického modelování. Modely horninového prostředí v zájmové lokalitě jsou tvořeny třemi částmi –kvartérem, terciérem a karbonem s různou mocností. Pro tyto modely je nezbytná znalost geotechnických parametrů a to objemové tíhy nebo objemové hmotnosti, modulu pružnosti, Poissonova čísla, soudržnosti a úhlu vnitřního tření. Tyto parametry lze odvodit buď z normových hodnot, lépe však z analýzy dosavadních měření na vrtných jádrech nebo z karotážních měření ve vrtech v zájmové oblasti.

Souborně jsou jednotlivé parametry uvedeny v tab. 1. V komentáři uvádíme zdroje údajů o jednotlivých parametrech.

Tab.1 Rozmezí geotechnických parametrů horninových útvarů v oblasti Karvinska

Parametr		Kvartér	Terciér	Karbon
obj. hmotnost ρ	kg.m ⁻³	1 800-2 150	2 000-2 400	2 300-2 600
Poissonovo číslo μ	-	0,30-0,35	0,30-0,35	0,20-0,30
modul pruž. E	MPa	3,4-24	50-400	9000-27000
soudržnost c	kPa	15-50	20-117	n.10 ^{1~2}
úhel vnitřního tření φ	[°]	11-30	20-27	25-40

Objemová hmotnost ρ - hodnoty pro kvartérní sedimenty se pohybují v mezích 1800 až 2150 kg.m⁻³ (Ryška, 1988, Haladej, 1981). Průběh v miocénu je nejlépe patrný na výsledcích cejchované gama-gama karotáže (hustotní) ve vrtu NP 915 (Müller et al., 1990, Müller, 2000). Výsledky korelují s výsledky mechanické karotáže, reprezentovanými rychlostí vrtání v_m . Z obr. 8 je patrné, že lze v miocénu vymezit tři části s odlišnou objemovou hmotností a to interval do hloubky cca 350 m s hodnotami 2000-2200 kg.m⁻³, dále interval od 350 do 630 m s hodnotami 2200-2300 kg.m⁻³ a spodní interval do 820 m s hodnotou nad 2400 kg.m⁻³. Hodnoty objemové hmotnosti pro karbonské horniny se pohybují v mezích 2300 až 2600 kg.m⁻³, i když byly zjištěny hodnoty pod i nad uvedené meze (Dopita et al., 1997, Ibrmajer, Suk et al., 1989).



Obr. 8 Geotechnické parametry hornin ve vrtu NP 915 (Müller, 1990)

Poissonovo číslo μ - hodnoty pro kvartér a terciér jsou uváděny podle výsledků měření ultrazvukovou metodou a z výsledků měření ve vrtu Do IV (Grmela, Aldorf, 1999). V hloubkovém intervalu tohoto vrtu 61 – 100 m v písčitých jílech a v jílovitých písčích byla zjištěna hodnota $\mu = 0,35$. Tuto hodnotu lze předpokládat i pro sedimenty terciéru ve vrtu NP 915 neboť jílovitost podle křivek gama karotáže i odporové karotáže je poměrně stálá. Pro karbonské horniny je průměrná hodnota $\mu = 0,25$, avšak se zvyšující se jílovitostí stoupá k hodnotě 0,30 a klesá s obsahem uhelné hmoty k hodnotě 0,20. Největší kolísání Poissonova čísla se projevuje na kontaktu karbonu s terciérem (Martinec, Krajíček, 1989).

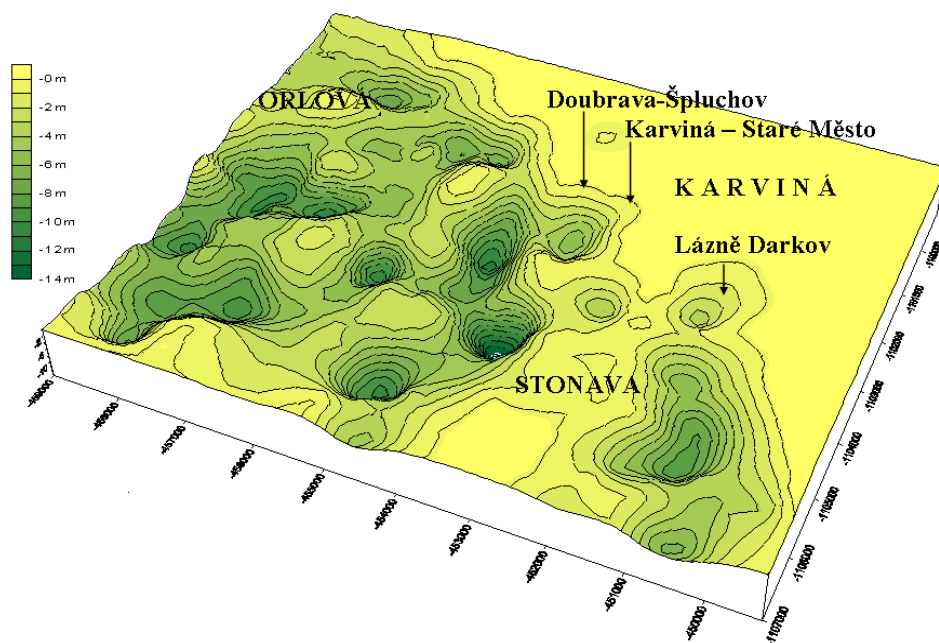
Modul pružnosti E – pro kvartérní sedimenty se pohybují v mezích 3,4 – 24 MPa (Ryška, 1988). Podle průběhu rychlostí vln z akustické karotáže vrtu NP 915 lze pro miocéní sedimenty předpokládat hodnoty E v mezích 50 až 400 MPa s postupným

nárůstem do hloubky. Pro karbonské horniny jsou moduly dostatečně dokumentovány v práci Dopita et al., 1997 a pohybují se v mezích 9 až 27 GPa.

Soudržnost c a úhel vnitřního tření ϕ - pro kvartérní a terciérní sedimenty jsou dokumentovány v pracích Ryšky, 1988, Haladeje, 1981, Grmely, Aldorfa, 1999 a Müllera, V., ed. et al. 1998. Soudržnost pro kvartér se pohybuje v mezích 15-50 kPa, pro terciérní sedimenty 20-117 kPa. Pro karbonské horniny hodnoty soudržnosti v dostupné literatuře chybí. Lze předpokládat, že bude dosahovat hodnot řádově 102 kPa. Úhel vnitřního tření se mění pro kvartérní sedimenty v mezích 110 až 300, pro miocéní sedimenty v mezích 200 – 270. Pro karbonské horniny lze úhel vnitřního tření uvažovat v mezích 25- 400.

Vlivy poddolování

Významným geodynamickým procesem, narušujícím stabilitu horninového masívu je dlouhodobá hlubinná těžba uhelných slojí a s ní spojené další antropogenní aktivity. Tato činnost se projevuje zejména zavalováním vydobytých prostor, tvorbou poklesových kotlin s projevy až na povrch terénu (Obr. 9), seizmickými jevy různé intenzity (např. při náhlém porušení nadložních pískovcových vrstev), vytvářením strukturních, hydrogeologických, stabilitních diskontinuit a mechanicky oslabených zón. Významným geodynamickým procesem, bezprostředně spojeným s projevy poddolování na povrchu, je vznik nových nebo oživení starých svahových deformací, zejména na svazích poklesových kotlin. Jen na listu 15-44 Karviná bylo registrováno do r. 2004 na poddolovaném území přes 20 aktivních svahových deformací (Müllerová, Idés, 2004).



Obr.9 Poklesové kotliny východní části karvinské dílčí pánve za léta 1961-1991 (Grygar et al., 1995)

Hloubkový dosah rozvolnění masívu je limitován hloubkou a rozsahem těžby, ale především geomechanickým stavem masívu jako celku i stavem horninových těles. Poznání přírodních podmínek karbonských hornin a geologické stavby vedlo k formulaci bezpečnostních předpisů v důlní činnosti, kde pro dobývání pod nebezpečnými zvodněnými horizonty jsou stanoveny ochranné (min. mocnost 40 m) a orientační bezpečnostní celíky (min. mocnost 150 m), které zabraňují zvýšeným přítokům nebo průvalům vod do důlních děl.

Vliv dobývání prezentujeme na příkladu kvartérní hydrogeologické struktury v dobývacím prostoru Karviná-Doly. Podle prognózních výpočtů poklesů pro období 2005-2010 na základě rozložení těžebních polí, charakteristiky slojí, hloubky, způsobu i časového harmonogramu dobývání na Dole ČSA, o.z. by poklesy v oblasti západně od jímacího území Doubrava – Špluchov vytvořily poklesovou kotlinu s hloubkou cca 9-10 m (Grmela, 2003, 2004) - Obr. 10. Poznamenáváme, že prezentované poklesové kotliny jsou modelovými situacemi, vycházejícími z určitých spekulativních prognóz rozložení těžebních aktivit (tj. z plánů otvírky-přípravy a dobývání v roce 2004).

Lokality navržené pro seizmologický výzkum

Pro výběr lokalit byla vzata v úvahu následující hlediska:

- dostupnost a vhodnost místa pro vybudování a zabezpečení stanic a měření,
- dostatečná znalost geologické stavby, hydrogeologických poměrů, horninového prostředí a jeho základních geotechnických charakteristik.

Po zvážení výše uvedených požadavků byly navrženy lokality:

- Doubrava-Špluchov,
- Lázně-Darkov (areál lázní),

kteří z regionálního geologicko-hydrogeologického pohledu jsou situovány ve stejné struktuře. Litologická rozhraní, která mohou ovlivnit charakter seismického projevu:

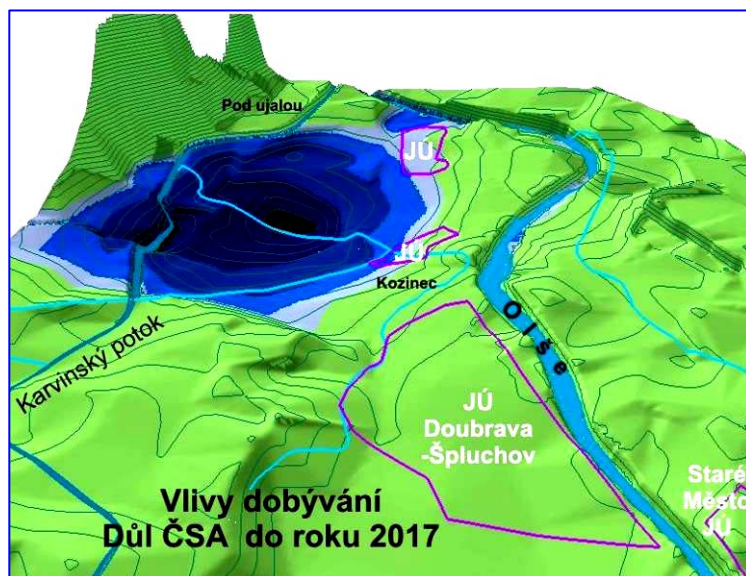
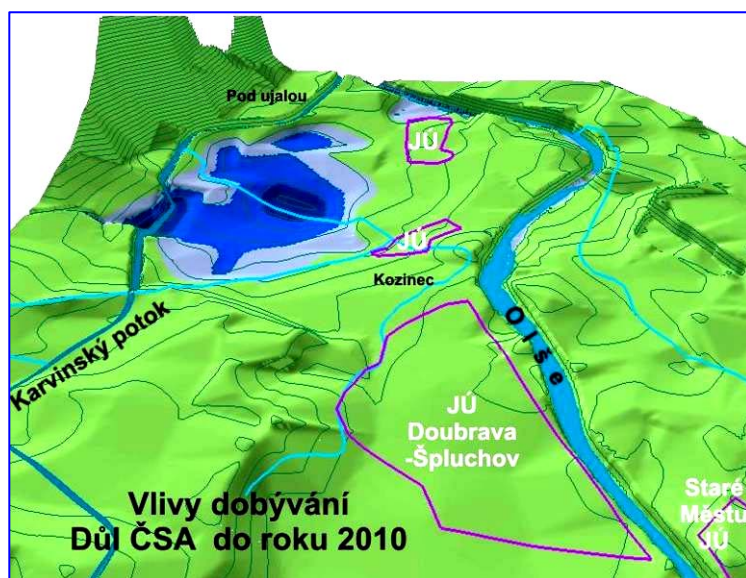
- kvartér (šterky) - neogén (vápnité jíly) v hloubce do cca 10m,
- hlavní písčité horizont v hloubce cca +50m p.m.,
- spodní písčité horizont v hloubce cca – 400 až 450 m p.m.,
- od hloubky -430 m p.m. nabývá pelitická facie pravděpodobně charakter skalních hornin (podle analýzy vrtu NP 915 - viz Obr. 8),
- bazální klastika + zvětralinový plášť karbonu v hloubce cca -500až-600m p.m. (podle konfigurace paleoreliéfu),
- konsolidované horniny karbonského souvrství.

Rozdíl mezi lokalitami je v tom, že Doubrava Špluchov je pod přímým vlivem poddolování a postupně bude zasažen poklesovou kotlinou, zatím co areál lázní Darkov je zabezpečen ochranným pilířem.

Lokalita Doubrava-Špluchov

Leží v katastru obce Doubrava, v jímacím území kvartérních podzemních vod Doubrava-Špluchov, v levobřežní údolní nivě řeky Olše.

Pro stanovení geologické stavby byly vybrány vrty řady NP z povrchu, uvedené v následující tabulce (tab. 2). Pro geologickou a hydrogeologickou charakteristiku kvartéru vrty byly vybrány pozorovací vrty KO , KPV (Malucha,1998) a hydrogeologické vrty IV a PS (Žáček,1996).



Obr. 10 Prognóza vlivu dobývání širší oblasti Dolu ČSA do roku 2010 (nahore) a do roku 2017 (dole) (Grmela, 2004)

Tab. 2 Vrtý pro stanovení geologické stavby v lokalitě Doubrava-Špluchov

vrt č.	rok	kvartér	miocén	detrit	zvětralínový plášť	karbon	hladina
Z souřadnice	hloubka vrtu						⊕
NP 397	1961	6	621	695	710		
224,7	1150						
NP 425	1958	7	523				
234,0	623	11					
NP 426	1958	10	311	3 26			
223,4	600						
NP 674	1963	14	341				
221,9	1138						
NP 690	1978		725	753	784		294,7
223,4	1399						
NP 911	1989		630	695	700		
227,2	730						
NP 915	1989		830	8 70			
272,0	900						

Vysvětlivky :

- ⊕ naražené hladiny ve vrtu NP 397 v hloubkách :
- 2,6 m, 160 m, 480 m, 515m, 610 m, 635 m, 651 m.

hlína
štěrk
jíl
štěrkopísek
horniny karbonu

Lázně Darkov leží v katastru obce Darkov, na levém břehu řeky Olše, v dobývacím prostoru Dolu Darkov. Proti vlivům poddolování jsou chráněny ochranným pilířem stanoveným OBÚ v Ostravě. Pro stanovení geologické stavby byly vybrány vrtý řady NP z povrchu, uvedené v následující tabulce (tab. 3). Pro geologickou a hydrogeologickou charakteristiku kvartéru byly použity vrtý J1-J13 (Ryška,1988).

Tab. 3 Vrtý pro stanovení geologické stavby v lokalitě Lázně Darkov

vrt č.	rok	kvartér	miocén	detrit	zvětralínový plášť	karbon	hladnina
Z souřadnice	hloubka vrtu						
NP 379	1960	5	752	755	799		486
257,4	1360						752
NP 394	1962	11	628	640			①
241,3	1203						
NP 395	1961	7	825	874	882		②
279,4	1401						
NP472	1960	13	426				
227,7	1213						
NP 680	1975	5	542	579			390
231,2	1010						
NP 681	1965	15	444				253
236,3	1296						
NP 698	1963	2					61,5
231,1	403	6	260	293	307		
NP 699	1963	2					279,4
231,9	410	6	279	285	292		
D 2	1978	15	351				
233,4	533						

Vysvětlivky :

Poznámka: ① naražené hladiny ve vrtu NP 394 v hloubkách:
- 7,3 m, 125 m, 260 m, 360m, 445 m,
628 m,

② naražené hladiny ve vrtu NP 395 v hloubkách:
- 150-198 m, 285 m, 435 m, 528m720-760 m, 810-874 m.

hlína
štěrk
jíl
štěrkopísek
horniny karbonu

Informace o jímacích vrtech jodobromových vod pro Lázně Darkov uvádí Hufová, Vašíčková, 2001.

Předložená publikace je součástí řešeného grantového úkolu projektu GAČR 105/07/0878 „Studium seizmických účinků v okolí seizmické stanice v závislosti na místních geologických podmínkách“.

Literatura

- [1] Doležalová, H., Holečko, J., Kaláb, Z. a Knejzlík, J. (2004): Analýza vlivu důlně indukované seismicity na povrch na Karvinsku. Transaction- Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské-Technické univerzity Ostrava, řada stavební, roč.IV,č.2/2004, 85-93
- [2] Dopita, M. et al. (1997): Geologie české části hornoslezské pánve.Min.živ.prostř., Praha.
- [3] Dvorský, J., Malucha, P., Grmela, A. a Rapantová, N. (2006): Ostravsko-karvinský detrit, spodnobádenská bazální klastika české části hornoslezské pánve. Monografie, Montanex, ISBN 80-7225-231-3, 150 stran + přílohy.
- [4] Grmela, A. (1998): Znalecké posouzení jímacích objektů na prameništi Karviná-Staré Město a Doubrava - Špluchov vůči vlivům poddolování. Znalecký posudek č.j. ZP 39/98 pro OKD, a.s. IMGE, odštěpný závod, Smetanovo náměstí č. 2, 702 00 Ostrava. Ss. 1-31 + přílohy. Ostrava 20. 7. 1998

- [5] Grmela, A. a Aldorf, J. (1999): Vlivy podzemních vod na destrukci jamy Doubrava IV v OKR. Sem. Enviromentalná geológia, Herlany, 1-5
- [6] Grmela, A. (2003) : Odborný hydrogeologický posudek na vlivy z předpokládaného dobývání ODK, a.s., Dolu ČSA v Karvině-Doly za období 2003-2015 na jímací objekty prameniště pitné vody Karviná-Staré Město a Doubrava-Špluchov. Posudek č. ZP82/03 pro OKD, a.s., člen koncernu KARBON INVEST, a.s., Důl ČSA, ul. Čs. armády 1, Karviná Doly. Ss. 1-69. Ostrava 31. 10. 2003.
- [7] Grmela, A. (2004): Odborný hydrogeologický posudek na vlivy z předpokládaného dobývání OKD, a.s., Dolu ČSA v Karvině-Doly za období 2005-2017 na jímací objekty prameniště pitné vody Karviná-Staré Město a Doubrava-Špluchov. Znalecký posudek č. ZP č. 84/04 pro OKD, a.s., KARBON INVEST, a.s. Důl ČSA, Karviná-Doly. Ss. 1-65 + přílohy. Ostrava 10. 7. 2004.
- [8] Grmela, A. (2005): Odborný hydrogeologický posudek na vlivy z předpokládaného dobývání Dolu ČSA za období 2005-2017 na jímací objekty prameniště pitné vody Karviná-Staré Město a Doubrava-Špluchov. Vymezení podmínek jímání a monitoringu kvality podzemních vod. ZP 91/05 pro OKD, a. s., člen koncernu KARBON INVEST, a. s. Důl ČSA, 735 02 Karviná Doly. Ostrava 10. 5. 2005. Ss. 1-8.
- [9] Grmela, A., Bujok, P., Rapantová, N. a Zelinka, V. (1994): Monitoring kvality podzemních vod v oblasti jímacího území pitných vod Doubrava - Špluchov. Zpráva HS č. 1529/94. Pro OKR, a.s. Důl Čs. armáda, o.z. Karviná. Ss. 1-65 + 2 přílohy. Ostrava 30.12.1994
- [10] Grygar, R., Slob, S. a Koster, R.D. (1995): Strukturně-tektonické poměry karvinské dílčí pánve ve vztahu k vlivům poddolování na geomorfologii krajiny postižené hornickou činností - mapy ekologické zranitelnosti (závěrečná zpráva za léta 1993 a 1995), MS HS MŽP ČR Praha, 51s
- [11] Haladej, M. (1981): Stonava- Větrné systémy, záv. zpráva Geol. průzkum Ostrava MS
- [12] Hufová, E. et al. (1971): Hydrogeologický průzkum vymýtin OKR. Závěrečná zpráva. ČGÚ, Geologický průzkum, n.p. Ostrava, č.ú. 522 400 044, duben 1971, 349 s + příl.
- [13] Hufová, E. a Vašíčková, J. (2001): Exkurzní průvodce. XI. NHGK Ostrava, 16-21.9.2001 – vyd. VŠB-TU Ostrava.
- [14] Ibrmajer, J. a Suk, M. et al. (1989): Geofyzikální obraz ČSSR. ÚÚG, Academia, nakl. ČSAV, Praha.
- [15] Kaláb, Z. a Knejzlík, J. (2001): Zesílení amplitudy seismických vln v pokryvných útvarech karvinské části OKR. In: Sb. konf. Minerál Raw Materiále and Mining Aktivty of the 21st Century, VŠB- Technical university of Ostrava, Cech Rep., 157-164.
- [16] Kaláb, Z., Knejzlík, J., Holub, K., Doležalová, H., Holečko, J. a Ptáček, J. (2006): Vliv geologických faktorů na intenzitu účinků důlně indukovaných seizmických jevů na povrchové objekty v karvinské oblasti. Závěrečná výzkumná zpráva k řešení projektu GAČR 105/03/0078, Ústav geoniky AVČR Ostrava a OKD, DPB, a.s. v Paskově, 46+11.
- [17] Kaláb, Z., Knejzlík, J. a Hrubešová, E. (2008): Vliv lokální geologie na rychlost kmitání na povrchu v karvinské oblasti. Uhlí, rudy, geologický průzkum, 1/2008, 26-31

- [18] Martinec, P. a Krajiček, J. (1989) : Vlastnosti hornin svrchního karbonu na kontaktu s pokryvnými útvary. VVUÚ Ostrava- Radvance, sam. publ. č. 43.
- [19] Malucha, P. (1998): Doubrava-Kozinec prognóza ohrožení terénu podzemní vodou. MS archivOKD-DPB a.s. Paskov
- [20] Malucha, P. et al. (2004): Kozinec 2004. Studie OKD, DPB Paskov, a. s. pro OKD, a. s. Důl Čs. armáda, o. z., ss. 1-36, prosinec 2004, Paskov.
- [21] Müller, K. et al. (1990): Metodika určování mechanických vlastností z vrtně technologických a karotážních dat. Záv. Zpráva, VŠB Ostrava, MS
- [22] Müller, K. (2000): Assessment of rock mechanical properties of superficial deposits in upper Silesian basin through a komplex of drill technological and logging date. Acta montana IRSM ASCR, ser.A,16, 125-129, Praha.
- [23] Müller, V. et al. (1998): Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1:50 000. List 15 44 Karviná. ČGÚ Praha.
- [24] Müllerová, J. a Idés, D. (2004): Svahové deformace Ostravska . Documenta geonica 2004, ÚGN AV ČR Brno, 38- 51.
- [25] Ryška, J. (1988): Darkov- zvýšení hrází. Záv. zpráva Unigeo Ostrava. MS
- [26] Sedláčková, M. (1993): Monitorovací systém podzemních vod ostravské aglomerace - vzorová lokalita Doubrava-Špluchov, závěrečná zpráva. Vodní zdroje Opava. Archiv katedry geologického inženýrství VŠB Ostrava.
- [27] Žáček, J. (1996) : Základy hydraulického modelu proudění mělkých podzemních vod v kvartérních sedimentech oblasti jímacího území Doubrava-Špluchov. Diplomová práce VŠB-TU Ostrava, HGF, IGI, Ss. 1÷58+přílohy, květen 1996.

BADANIA STANU WAŁÓW PRZECIWPOWODZIOWYCH PRZY UŻYCIU
RADARU GPR

RESEARCH OF CONDITION OF FLOOD BANKS USING GROUND
PENETRATING RADAR (GPR)

Abstract

Flood banks are construction to protect nearest region of those rivers from high water level. Spring - sloppy roads or torrential rains cause very often that a level of water in those rivers increase and lead to flood. The flood most often is a result of bad technical conditions of flood banks. It means that proper conditions of flood banks have strategic meaning for protection of people lives and environment.

This article presents results of research of the flood bank structure carried out with classic geological method and with the GPR radar. Measurements were carried out on the flood bank of the Odra river in Wrocław. The results show the appropriateness for applying the radar method to the preliminary assessment of the technical condition of embankment.

Key words: ground penetration radar, flood bank

Wstęp

Ludzkość od zawsze wykorzystywała rzeki jako naturalne źródła wody pitnej, wody do celów gospodarczych oraz jako szlaki do przemieszczania się i transportu towarów. Osiedlanie się nad rzekami i budowa miast nad nimi była naturalną konsekwencją potrzeby bliskości źródeł wody. Jednakże bliskość rzeki czy też innego zbiornika wodnego oprócz wielu korzyści dla człowieka i jego gospodarki stwarza również spore zagrożenia. Wiosenne roztopy lub też obfite opady deszczu powodują podnoszenie się stanu wody w rzekach. Często konsekwencją wysokiego stanu wody jest wylanie rzeki z jej koryta i powstanie powodzi co pociąga za sobą straty społeczne i materialne. Naturalną ochroną przed wysokim stanem wód i ich skutkami jest zatem budowa wałów przeciwpowodziowych.

Pierwsze wały przeciwpowodziowe w Polsce zaczęto budować w 13 wieku. Szczególny rozwój tych budowli miał miejsce w 19 i 20 wieku. Wały były budowane z różnych materiałów (dostępnych w danym rejonie) oraz przy użyciu różnych technologii. Przez lata były one remontowane, zmieniano ich przebieg, często przeprowadzano przez nie infrastrukturę techniczną (rurociągi, kable, elementy betonowe, itp.). W wielu miejscach wałów przez lata zachodziły procesy gnilne resztek roślinności, małe ssaki ryły nory i korytarze, w wielu miejscach korona wałów wykorzystywana była jako droga dojazdowa. W konsekwencji tych wszystkich czynników istniejące obwałowanie rzek w Polsce jest w bardzo różnym stanie technicznym.

¹ Dr, Institute of Telecommunications, Teleinformatics and Acoustic, Wrocław University of Technology, Wyspiańskiego 27, Wrocław, Poland, remigiusz.mydlkowski@pwr.wroc.pl

² Dr, Institute of Geological Sciences, Wrocław University, pl. M.Borna 9, Wrocław, Poland, aszyn@ing.uni.wroc.pl

Służby zajmujące się wałami w Polsce zobligowane są do okresowego sprawdzania ich stanu technicznego. Według polskiej normy (Prawo wodne 2001) sprawdzenia takiego dokonuje się poprzez odwierty geologiczne i analizę uzyskanych próbek. Wybór umiejscowienia odwiertów dokonywany jest na podstawie oględzin zewnętrznego stanu technicznego wału. Wykonuje się co najmniej 3 odwierty na 1 km długości wału i po analizie próbek interpoluje się całą strukturę wału pomiędzy danymi pochodzącymi z odwiertów.

Prowadzenie badań technicznych metodą opisaną w normie, jest niejednokrotnie zawodne. Interpolacja wyników na tak znacznym odcinku wału, może wprowadzać pewne błędy w faktycznej ocenie stanu technicznego wału. Dla pełniejszej analizy, badania takie wspomagane powinny być wstępnymi badaniami elektromagnetycznymi. Badania elektromagnetyczne struktury z łatwością mogą wskazać miejsca w których struktura geologiczna wału jest zmieniona. Na tej podstawie wybór miejsc klasycznego sondowania może być znacznie ułatwiony. Bardzo przydatnym urządzeniem do wspomagania klasycznych metod pomiarowych może okazać się radar do penetracji gruntu (Forest, Watters, Chen 2004, Szyrkiewicz 2000).

W artykule przedstawiono wyniki badań struktury wału przeciwpowodziowego radarem do penetracji gruntu GPR oraz klasyczną metodą oceny wzrokowej wału i analizy odwiertów geologicznych. Pomiarów dokonano w mieście Wrocław na wale przeciwpowodziowym pomiędzy mostami Jagiellońskimi i Swojszyckim na lewym brzegu kanału powodziowego na całej jego długości. W artykule przedstawiono analizę wyników pomiarów na przykładowym 200 metrowym odcinku wału.

Badania struktury wału przeciwpowodziowego

Badania wału przeciwpowodziowego przeprowadzono we Wrocławiu na wale rzeki Odry. Pomiary wykonano na kanale przeciwpowodziowym pomiędzy mostami Jagiellońskimi

a Swojszyckim na lewym brzegu kanału (rys.1). Odcinek tego wału chroni przed powodzią dwa wrocławskie osiedla (Zalesie i Sępolno), które zamieszkuje około 30 tys. ludności.



Rys.1 Mapa z zaznaczonym odcinkiem badanego wału przeciwpowodziowego

Autorzy referatu przeprowadzili badania struktury wału przeciwpowodziowego radarem GPR szwedzkiej firmy Mala Geoscience z anteną osłonową o częstotliwości roboczej 250 MHz (Mydlikowski 2007). Wyniki tych pomiarów porównano z wynikami uzyskanymi klasycznymi metodami pomiarowymi. Ocenę stanu technicznego poprzez ocenę wzrokową i analizę laboratoryjną wykonanych odwiertów geologicznych, wykonały służby mające pod opieką wały we Wrocławiu i okolicy.

W artykule przedstawiono porównanie otrzymanych wyników metoda radarową z wynikami uzyskanymi z klasycznych metod geologicznych. Analizę pokazano dla przykładowego 200 metrowego odcinka wału usytuowanego pomiędzy 200 a 400 metrem długości wału licząc od strony mostów Jagiellońskich.

Wyniki badań odcinka wału klasyczną metodą geologiczną

Ocena stanu wału przeciwpowodziowego została przeprowadzona przez służby mające pod opieką wały we Wrocławiu i okolicy. Przeprowadzono wzrokową ocenę stanu technicznego wału na całej jego długości (2600 m), tabelaryczne zestawienie wyników pokazano na rys.2. Wykonano również 11 sondujących odwiertów geologicznych. Próbkę gruntu pobrane z odwiertów poddano analizie laboratoryjnej (rys.3). Na rysunkach 2 i 3, szarym kolorem, zaznaczono wyniki analizy wału pomiędzy 200 a 400 metrem jego długości. Na rysunku 4 przedstawiono końcowe wnioski z badań wału przeciwpowodziowego, typując zagrożone miejsca w budowie wału.

WAŁ		CZĘŚCI WAŁOWE I WBUDOWANE W WAŁ		STRONA CIĘŻKODNA (MIĘDZYWAŁE)		STRONA ODPOWIEETRZNA (ZAWAŁE)	
Kolejny km odcinka	Opis	Kolejny km odcinka	Opis	Kolejny km odcinka	Opis	Kolejny km odcinka	Opis
ODCINEK 1Pc - Pierścieniowy kanału powodziowego II (2,20 – 4,89 km kanału powodziowego)							
0,00 – 0,40	Początek wału oparty o przyczółek mostu Jagiellońskiego. Wał wąski, wysoki. Korona porośnięta szpalarem drzew. Na koronie pojedyncze koleina po jednokładach. Fundacja korony zdeformowana, zapadnięta na znacznych odcinkach. Brak półki. Ubijki w zadarmieniu. Lokalnie w poprzek wału wydeptane „dzikie” ścieżki.	0,01	Zjazd gruntowy na stronę OW, zniszczony.	0,00 – 2,60	Międzywałę wąskie szerokości 30 – 50m. Teren płaski porośnięty łąką. Lokalnie zakrzewiony z pojedynczymi młodymi drzewami. W końcowym odcinku na długości ok. 100m międzywałę zaniedbane, gęsto zakrzewione, dużo samosiejek drzew.	0,00 – 2,60	Wzdłuż wału szpalery drzew, pomiędzy nimi ścieżka spacerowa, w początkowej części z nawierzchnią asfaltową, dalej gruntowa. W głębi zabudowania dzielnicy Zalesie, a na odcinku ok. 1,35 – 2,40 obiekty Stadionu Olimpijskiego. Przy stopie wału lokalnie bardzo gęste zakrzewienie, wchodzące miejscami na skarpę OP i koronę. Od km 2,40 do 2,60 plac zabaw dla dzieci, w głębi zabudowania dzielnicy Sępólno.
0,40 – 2,15	Korona szeroka, nierówna. Na kornie od strony OP szpaler dębów. Wydeptane przejścia w poprzek wału. Zamiast darni chwasty i pokrzywy. Lokalnie skarpy porośnięte krzewami. Na km 1,90 na krawędzi korony od strony OW murak betonowy (rodzaj tarasu) za nim na długości ok. 100m stare słupki betonowe.	0,10	Schody betonowe od strony OP, spełkane. Przy schodach skarpa wydeptana, zniszczona.				
		0,19	Przejazd gruntowy, stan dobry.				
		0,30	Schody od strony OP betonowe, spełkane. Wokół schodów skarpa zniszczona.				
		0,38	Wylot rurociągu z rowem odprowadzającym do kanału powodziowego, betonowy, zasypany, niedostępny.				
		0,64	Schody od strony OP betonowe, spełkane. Wokół schodów skarpa zniszczona.				
		0,88	Schody od strony OP betonowe, spełkane. Wokół schodów skarpa zniszczona.				
		0,96	Zjazd gruntowy na stronę OP, rozjeżdżony.				
2,15 – 2,60	Stan wału wyraźnie lepszy. Skarpy i korona porośnięte trawą. Środek korony wydeptany. Brak wyraźnych zniszczeń i deformacji.	0,98	Zjazd gruntowy na stronę OW, zarosnięty trawą.				
		1,15	Schody od strony OP betonowe, stan dobry.				
		1,36	Schody od strony OP betonowe, stan dobry.				
		1,83 – 1,84	Schody od strony OW betonowe, spełkane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
		1,90	Schody od strony OW betonowe, spełkane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
		1,91	Schody na stronę OW i OP, betonowe, spełkane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
		1,92	Schody od strony OW betonowe, spełkane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
		1,94	Schody od strony OW betonowe, spełkane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
		2,28	Przejazd gruntowy, rozjeżdżony, z koleinami.				
		2,43	Schody od strony OP betonowe, spełkane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
		2,51	Schody od strony OP betonowe, spełkane, wokół schodów skarpa zniszczona.				
		2,56	Zjazd gruntowy na stronę OW, rozjeżdżony, z koleinami.				

Rys.2 Wyniki oceny wzrokowej wału przeciwpowodziowego

Wyniki badań odcinka wału metodą georadarową

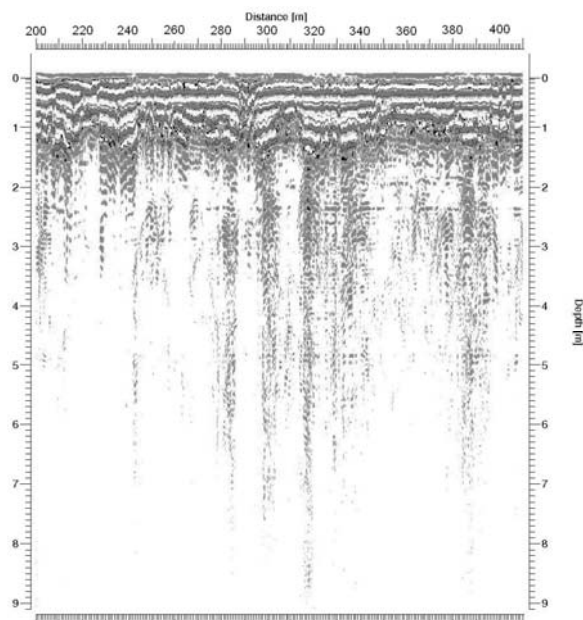
Badania struktury wału przeciwpowodziowego przeprowadzono radarem RAMAC/GPR z antena osłonową 250 MHz. Do sondowania struktury wybrano $Ti = 0,3$ m (trace interwał) oraz $F = 4289$ MHz (sampling frequency). Badania przeprowadzono na całej długości wału. Na rysunku 5 przedstawiono przykładowy falogram przedstawiający strukturę 200 metrowego odcinka analizowanego wału.

Winnipeg, le 12.01.2000.

* - gestosc obciążeniowa określona dla gruntu w stanie średnio zaszczerpczym

ZESTAWIENIE ZBIORCZE ZAGROŻEŃ - WAL 1Pc - Pierścieniowy kanał powodziowego II

Rys.4 Zestawienie zbiorcze zagrożeń wału; a, b, c – kategorie zagrożeń filtracyjnych (a – max); I, II, III – stopień zagrożenia przerwaniem wału (I – max)



Rys.5 Wyniki pomiarów struktury wału przeciwpowodziowego radarem GPR

Porównanie wyników badań odcinka wału przeciwpowodziowego

Wzrokowa ocena stanu wału przeciwpowodziowego, na odcinku między 200 a 400 metrem jego długości, wskazuje na 300 metrze zniszczone schody i na 380 nieczynny rurociąg. Laboratoryjna analiza próbek gruntu pobranych z odwiertu na 350 m (1Pc/2/2) zawiera informację o składzie gruntu w tym miejscu. W większości wykonanych odwiertów widać, że wał zbudowany jest z różnej grubości piasku z domieszką żwiru.

Wyniki uzyskane z radaru GPR wskazują na pewną niejednorodność w strukturze falogramu w okolicy 300 m wału (schody betonowe). Podobnie w okolicy 380 m widać sporą niejednorodność w strukturze wału spowodowaną istnieniem wale nieczynnego rurociągu. Jest zatem zgodność wyników uzyskanych z metody radarowej ze wzrokową oceną stanu wały. Metoda radarowa wskazuje jednak jeszcze kilka miejsc, niezauważalnych na powierzchni wału, o zmienionej strukturze wewnętrznej. Zaburzenia takie występują w okolicach 220 i 250 metra długości wału.

Ocena stanu technicznego wału klasycznymi metodami, tj. ocena wzrokowa, wybór miejsc sondowania, analiza laboratoryjna pobranych próbek gruntu, zajęła co najmniej kilka dni. Profilowanie falą elektromagnetyczną niespełna 2 godziny. Przy użyciu radaru do penetracji gruntu możliwe jest bezinwazyjne i liniowe śledzenie struktury wału na całej jego długości. Metoda ta jednak nie daje wprost odpowiedzi jaka jest mikroskopijna struktura wału i jaka jest wilgotność poszczególnych jego warstw. Pozwala jednak wskazać, w stosunkowo krótkim czasie, miejsca o zmienionej strukturze wewnętrznej wału. Wytypowanie takich miejsc może pozwolić na dokładniejszą ich analizę, czyli ocenę wzrokową, ewentualne odwierty geologiczne i

analizę laboratoryjną uzyskanych próbek. Celowe jest zatem stosowanie metody georadarowej do wstępnej oceny stanu technicznego wału przeciwpowodziowego i przy jej pomocy wskazywania zagrożonych miejsc wale do dalszej analizy.

Wnioski

1) Badania klasycznymi metodami geologicznymi stanu wału przeciwpowodziowego jest dosyć pracochłonnym procesem. Uzyskuje się z tych metod jednak dość dokładny obraz struktury wału przeciwpowodziowego. Wykonanie odpowiedniej ilości odwiertów i ich laboratoryjna analiza, pozwala na interpolację wyników na całej długości wału.

2) Stosowanie oceny wzorkowej jako jedyne go wskaźnika do wyboru miejsc sondowania może być zawodne. Wykonywanie odwiertów w znacznej odległości od siebie i niekoniecznie w miejscach szczególnie zagrożonych może zaciemniać uzyskiwany z nich obraz.

3) Wykonywanie miejscowych odwiertów punktowo osłabia strukturę wału przeciwpowodziowego

4) Stosowanie radaru GPR pozwala na liniowe i bezinwazyjne śledzenie struktury wału na całej jego długości. Stosowanie tej metody nie daje jednakże dokładnych informacji na temat składu poszczególnych warstw wału ani ich wilgotności, itp..

5) Celowe jest stosowanie metody georadarowej do wstępnej oceny struktury wału przeciwpowodziowego. Wykonanie pomiarów w stosunkowo krótkim czasie pozwala na wskazanie miejsc w których struktura wału jest zmieniona. Wskazane miejsca mogą być pomocne przy wyborze miejsc sondowań klasyczną metodą pomiarową.

Literatura

- [1] Szykiewicz A.: GPR monitoring of earthen flood banks/levees. 8 Int. Conference on Ground Penetrating Radar, 2000, Vol. 4084, pp.85-90.
- [2] Forest R., Utsi V.: Non-destructive crack depth measurements with ground penetrating radar. 10 International Conference on Ground Penetrating Radar, 2004, Vol. II, pp.799-802.
- [3] Watters M.S.: GPR: A tool for archaeological management. 10 International Conference on Ground Penetrating Radar, 2004, Vol. II, pp.811-816.
- [4] Chen B., Hu Z., Li W.: Using ground penetrating radar to determine water of rehabilitated coalmine soils treated by different methods. 10 International Conference on Ground Penetrating Radar, 2004, Vol. II, pp.513-516.
- [5] Ustawa o prawie wodnym z dnia 18 lipca 2001r. (Dz.U.2001.115.1229).
- [6] Mydlikowski R., Beziuk G., Szykiewicz A.: Detection of inhomogeneities in structure of flood embankments by means of D.C. resistivity, GPR and frequency electromagnetic method measurements - short note, Acta Geodynamica et Geomaterialia, 2007, Vol.4, no 4, pp.83-88.

OCENA MODERNIZACJI WAŁU PRZECIWPOWODZIOWEGO PRZY UŻYCIU
RADARU GPR

ESTIMATION OF FLOOD BANK MODERNIZATION WITH USING GPR RADAR

Abstract

Flood banks are the most important hydro-engineering system. They protect nearest region from effects of the high water level. The high water level and the bad technical conditions of flood banks are the most often flood causes. It means that the technical conditions of flood banks should be checked periodically and the damage renovated.

This article presents results of research of the flood bank structure carried out with the GPR. Measurements were carried out on the donated embankment for the renovation and on the same embankment after renovating. Research results were analyzed and the modernization of embankment was estimated.

Key words: flood bank, GPR, renovation

Wstęp

Wały przeciwpowodziowe mają za zadanie ochronę najbliższej okolicy rzek oraz zbiorników wodnych od skutków wysokiego stanu wód. Wysokie stany wód powodowane wiosennymi roztopami, obfitymi opadami, zatorami lodowymi, itp., mogą prowadzić do powstania powodzi i w konsekwencji znacznych szkód społecznych i materialnych. Wały przeciwpowodziowe są zatem jedną z najważniejszych budowli hydrotechnicznych chroniącą najbliższą okolice rzek lub zbiorników wodnych.

Wały eksploatowane przez lata są często w różnym stanie technicznym. Ich erozja powodowana miejscowym podmywaniem przez wodę, gniciem resztek roślinności w ich strukturach, ryciem nor i korytarzy przez małe ssaki, powodują miejscowe ich osłabianie. Przez takie miejsca, podczas wysokiego stanu wód, może przesiąkać woda co w konsekwencji dalej osłabia strukturę wału i może doprowadzić do jego miejscowego przerwania. Z tego względu prowadzi się czasowe badania stanu technicznego wałów przeciwpowodziowych (Prawo wodne 2001). Kontrola stanu technicznego wałów pozwala na wytypowanie szczególnie zagrożonych miejsc. Na podstawie takiej oceny wał poddawany jest miejscowej naprawie lub też przeznaczany jest do generalnego remontu.

Na przykładzie remontowanego wału, w artykule przedstawiono wyniki badań struktury wału wykonem radarem do penetracji gruntu RAMAC/GPR. Badania takie przeprowadzono na wale przeznaczonym do remontu i na tym samym wale tuż po zakończeniu jego remontu. Analizując wyniki otrzymane z radaru podjęto próbę oceny wykonanego remontu.

¹ Dr, Institute of Telecommunications, Teleinformatics and Acoustic, Wrocław University of Technology, Wyspiańskiego 27, Wrocław, Poland, remigiusz.mydlkowski@pwr.wroc.pl

² Dr, Institute of Geological Sciences, Wrocław University, pl. M.Borna 9, Wrocław, Poland, aszyn@ing.uni.wroc.pl

Badany odcinek wału przeciwpowodziowego

Badania wału przeciwpowodziowego przeprowadzono we Wrocławiu na wale rzeki Odry. Pomiary wykonano na kanale przeciwpowodziowym pomiędzy mostami Jagiellońskimi a Swojszyckim na lewym brzegu kanału (rys.1). Odcinek tego wału chroni przed powodzią dwa wrocławskie osiedla (Zalesie i Sępolno) na których mieszka około 30 tys. ludności.

Autorzy referatu przeprowadzili badania struktury wału przeciwpowodziowego radarem GPR szwedzkiej firmy Mäla Geoscience z anteną osłonową o częstotliwości roboczej 250 MHz (Mydlikowski 2007). Pomiary przeprowadzono w 2005 roku na wale przeznaczonym do kapitalnego remontu i w 2007 roku tuż po zakończeniu remontu tego wału.

Badania wału przeprowadzono na całej jego długości (2600 m). W artykule podjęto próbę oceny przeprowadzonego remontu na podstawie analizy 200 metrowego odcinka wału. Wybrano pierwsze 200 m wału licząc od jego początku tj. od mostów Jagiellońskich.



Rys.1 Mapa z zaznaczonym odcinkiem badanego wału przeciwpowodziowego

Badania wału metodą georadarową

Metoda pomiarów przypowierzchniowych warstw gruntu przy użyciu radaru GPR jest coraz powszechniej stosowaną metodą (Forest 2004, Watters 2004, Chen 2004). Pomiary takie pozwalają na bezinwazyjne i liniowe śledzenie struktury badanego

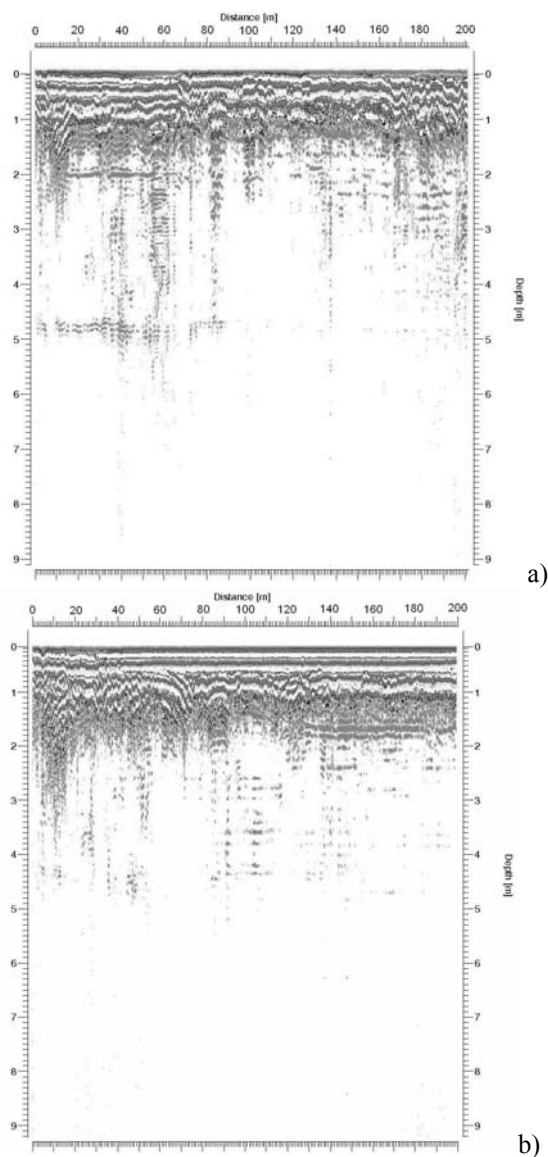
ośrodka. Przy sondowaniu falą elektromagnetyczną z radu, uzyskuje się falogram obrazujący strukturę geologiczną badanego gruntu. Poddając obróbce graficznej otrzymany obraz, możliwe jest ukazanie wszelkich szczegółów badanego gruntu.

W bardzo mnogiej gamie zastosowań badań radarowych, stosunkowo rzadko wykorzystuje się te urządzenia do badania stanu wałów przeciwpowodziowych (Szykiewicz 2000). Stosowanie wstępnych badań georadarowych pozwala na wskazanie miejsc w wale przeciwpowodziowym o zmienionej strukturze. Informacja o takich miejscach może służyć do dokładniejszej analizy wybranego odcinka wału i decyzji o ewentualnej konieczności jego remontu (Mydlikowski 2006, 2007).

W artykule przedstawiono wyniki badań 200 metrowego odcinka wału przeciwpowodziowego metodą georadarową. Na ry.2a przedstawiono strukturę wału przed jego remontem (2005 rok) natomiast na rys.2b strukturę tego samego odcinka po przeprowadzonym remoncie wału w 2007 roku.

Próba oceny przeprowadzonej modernizacji wału przeciwpowodziowego

Badania przeprowadzone w 2005 roku wskazywały na konieczność remontu wału. Potwierdziła to również ocena przeprowadzona przez służby zajmujące się wałami we Wrocławiu. Według klasyfikacji ważności budowli hydrotechnicznych, wał ten należy do I klasy ważności chroniąc istotną część Wrocławia, przed skutkami wysokiego stanu wody w rzece Odra. Jednak wał ten przez lata był zaniedbywany. W momencie przeprowadzania badań jego korona była nierówna, skarpa zdeformowana a zadarnienie nierównomierne, zachwaszczone. Na skarpie wału istniało wiele przejść – schody betonowe w większości mocno uszkodzone. Liczne krzewy i drzewa wrastały w strukturę wału. Na podstawie przeprowadzonych badań (klasycznymi metodami geologicznymi) stanu technicznego wału, został on przeznaczony do gruntownego remontu.



Rys.2 Wyniki pomiarów odcinka wału przeciwpowodziowego radarem GPR: a) przed remontem wału, b) po remoncie wału

Badania przeprowadzone radarem GPR w 2005 roku, wskazywały wiele niejednorodności w strukturze wału. Na przykładowym 200 metrowym odcinku (rys.2a) widoczne były niejednorodności na początku wału (do 20 m), w okolicach 70 m, 100 m i znacząca niejednorodność pomiędzy 160 a 200 m. Badania rozpoczęto od linii jezdni przy moście Jagiellońskim zatem pierwszy odcinek (około 20 m) jest odcinkiem chodnika i obrazuje infrastrukturę techniczną prowadzoną w nim. Kolejne niejednorodności występują w samym wale. Duża niejednorodność pomiędzy 160 a

200 m może być interpretowana jako wyrwa w wale która miejscowo została naprawiona.

Na rys.2b przedstawiono wyniki badań przykładowego odcinka wału po przeprowadzeniu remontu. Pierwsze 20 m wału (odcinek chodnika) jest niezmienny – remont nie obejmował chodników i ich infrastruktury. Widać wyraźnie, że remont wału rozpoczął się od około 30 m jego długości. Wyraźne są nasypa i ubite nowe warstwy wału do głębokości 0,5 – 0,6 m. Warstwa o takiej grubości (0,5–0,6 m) została usunięta i zastąpiona nową. Wnioskować można również, że na odcinku od około 140 m do 200 m (domniemana wyrwa w wale), przeprowadzono gruntowny remont wybierając znacznie głębszą warstwę wału (do 2 m), zastępując ją nową.

Z porównania wyników sprzed i po remoncie wału widać, że większość niejednorodności w jego strukturze została skutecznie naprawiona. Jednak niektóre z nich zostały pominięte, np. niejednorodność na 70 m wału. Wał w tym miejscu został wyrównany do głębokości około 0,5 – 0,6 m, ale głębiej wału wyraźnie jest widoczna poprzednia niejednorodność. Rodzi to pewne obawy o prawidłowo wykonany remont w tym miejscu wału.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że przy remoncie wału pominięto wiele niejednorodności usytuowanych głębiej niż 0,5 – 0,6 m. Rodzi to pewne obawy, czy w tych miejscach struktura wału jest spójna. Czy miejsca te dalej nie stanowią zagrożenia dla spójności całego wału. Czy w tych miejscach w czasie wysokiego stanu wody nie będzie dochodziło do przesiąkania wału i stwarzania zagrożenie powodziowego.

Wnioski

- [27] Stosowanie radaru GPR pozwala na liniowe i bezinwazyjne śledzenie struktury wału na całej jego długości. Stosowanie tej metody nie daje jednakże dokładnych informacji na temat składu poszczególnych warstw wału, ich wilgotności, itp..
- [28] Badanie wałów przeciwpowodziowych radarem GPR jest celowe do wstępnej oceny ich struktury. Wykonanie pomiarów w stosunkowo krótkim czasie pozwala na wskazanie miejsc o zmienionej strukturze.
- [29] Wytypowane miejsca mogą być wskazówką do dokładniejszego ich zbadania np. poprzez odwierty geologiczne. Na tej podstawie można podejmować decyzje o konieczności ich remontu.
- [30] Remont analizowanego wału przeciwpowodziowego został przeprowadzony na znaczącej jego długości poprawnie. Na całej długości wału usunięto wierzchnią warstwę (0,5 – 0,6 m) wału zastępując ją nową. W wielu miejscach przeprowadzono również głębszą wymianę warstw wału.
- [31] Wyniki z radaru GPR wskazują na miejsca w wale (głębiej niż 0,6 m), o znacznie zmienionej strukturze, które zostały

pominięte przy naprawie wału. Miejsca te mogą budzić pewne obawy o ich spójność i odpowiednią wytrzymałość w czasie wysokiego stanu wody.

Literatura

- [1] Szynkiewicz, A. (2000): GPR monitoring of earthen flood banks/levees. 8 Int. Conference on Ground Penetrating Radar, 2000, Vol. 4084, pp.85-90.
- [2] Forest, R. and Utsi, V. (2004): Non-destructive crack depth measurements with ground penetrating radar. 10 International Conference on Ground Penetrating Radar, 2004, Vol. II, pp.799-802.
- [3] Watters, M.S. (2004): GPR: A tool for archaeological management. 10 International Conference on Ground Penetrating Radar, 2004, Vol. II, pp.811-816.
- [4] Chen, B., Hu, Z. and Li, W. (2004): Using ground penetrating radar to determine water of rehabilitated coalmine soils treated by different methods. 10 International Conference on Ground Penetrating Radar, 2004, Vol. II, pp.513-516.
- [5] Ustawa o prawie wodnym z dnia 18 lipca 2001r. (Dz.U.2001.115.1229).
- [6] Mydlikowski, R., Beziuk, G. and Szynkiewicz, A. (2007): Detection of inhomogeneities in structure of flood embankments by means of D.C. resistivity, GPR and frequency electromagnetic method measurements - short note, Acta Geodynamica et Geomaterialia, 2007, Vol.4, no 4, pp.83-88.
- [7] Mydlikowski, R., Beziuk, G. and Szynkiewicz, A. (2006): Wykrywanie niejednorodności w strukturach naziemnych budowli hydrotechnicznych elektrycznymi oraz elektromagnetycznymi metodami geofizycznymi. Problemy hydrotechniki. Modelowanie i hydroinformatyka oraz wybrane zagadnienia ochrony przeciwpowodziowej. Dolnośl. Wydaw. Edukacyjne, 2006. pp.527-532.

ÚČINEK PŘETRŽENÍ LANA KOTVENÉHO STOŽÁRU
THE EFFECT OF CABLE FAILURE ON THE GUYED MAST

Abstract

The paper deals with the phenomena causing failures of anchoring cables of guyed masts and with the theoretical analysis of the mast response to the breaking of a cable using the equivalent static method as well as the time-domain response. Further it discusses the input data of the corresponding damping characteristics of the structure. A numeric example is presented to illustrate the evaluation of impact factor, static and dynamic deflections and structural stresses.

Key words: Guyed mast, break of guy, energetic method, dynamic factor, damping

Úvod

Při návrhu kotvených stožárů je maximálně využito materiálu kotevních lan. V takovémto případě vzniká zvýšené riziko ztráty funkčnosti nebo zřícení stožáru vlivem poškození či přetržení kotevních lan. Tato otázka vyvstává v souvislosti s přehodnocením funkčnosti a možnou výměnou kotevních lan kotvených stožárů z důvodu přechodu na digitální vysílání TV, viz např. opětovné ověření u RKS Kojál v roce 2002.

Problematika přetržení kotevního lana byla zkoumána našimi autory [1, 2, 3] již v 80. letech 20. století v souvislosti s výstavbou telekomunikační sítě. Otázka přetržení kotevního lana stožáru byla zařazena i do norem [6, 7]. Pro stožáry 3. třídy (zvýšená spolehlivost) norma [6] předepisuje navrhnout stožár na účinek přetržení jednoho kotevního lana. Stožár musí být schopen přenést účinek dynamického zatížení vneseného do konstrukce přetržením lana a dále musí být schopen odolat účinku kvazistatické složky zatížení větrem snížené na 50 %, tj. zatížení větrem o rychlosti rovné 71 % střední rychlosti větru v_m .

Příčiny poškození kotevních lan

K poškození kotevního lana dochází zpravidla při jeho koncovekách. Ačkoliv je namáhání lana osovými silami větší u jeho horní podpory, dochází častěji k poškození u dolní koncovky lana [5]. Tento jev je možné vysvětlit na základě dvou marginálních příčin: Dolní konec lana je vystaven častějším účinkům koroze než konec horní. V případě, kdy není ukončení lana provedeno jako „bezmomentové“, tj. dokonalý kloub, k čemuž může dojít právě korozí v oblasti čepů koncovek, a nebo jsou lanové koncovky či izolátory příliš těžké, vznikají u dolní koncovky lana větší hodnoty ohybových napětí než u koncovky horní.

Při oslabení vinutých lan přetržením některých drátů lana dochází k jejich částečnému rozvinutí na určité, vzhledem k celkové délce lana zpravidla malé délce. V této oblasti je namáhání lana samozřejmě zvýšené, nicméně zbývající část lana přenáší účinky zatížení beze změn, neboť vlivem vinutí lana se neaktivní (přetržené) dráty opět aktivují. Problematickým parametrem zůstává odhad účinné délky oslabení lana.

¹ Ing. Aleš Nevařil, Ústav stavební mechaniky, fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno, Česká republika, e-mail: nevaril.a@fce.vutbr.cz

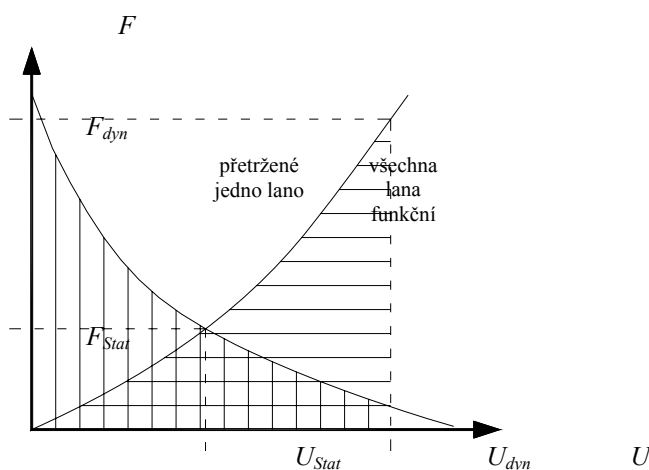
V článku [2] se uvádí, že přibližný odhad byl získán např. při poškození jednoho z lan vysílače Krašov v roce 1977, kdy došlo k přetržení 143 ze 169 drátů lana. Toto poškození se projevilo na délce 6 až 10 m, tj. V oblasti 5 % délky kotevního lana.

Metody analýzy

Pro analýzu účinků přetržení kotevního lana na stožár se využívá dvou základních metod: energetické metody, kterou uvádí norma [6] v příloze D, a analýzy pomocí odezvy stožáru v časové oblasti.

Energetická metoda

Princip energetické metody vychází z rovnováhy mezi ztracenou energií nepřetržených kotevních lan dané kotevní úrovně (svisle šrafovaná plocha) a akumulovanou energií ve všech lanech dané kotevní úrovně (vodorovně šrafovaná plocha), viz obr. 1.



Obr. 1

Metoda je založena na následujících zjednodušujících předpokladech:

- ☐ porušení lana nastane jeho jednoduchým přetržením,
- ☐ energie kumulovaná v lanu před jeho přetržením je zanedbána,
- ☐ tlumení se zanedbává,
- ☐ zatížení větrem se neuvažuje.

Předpis [6] uvádí dále postup pro určení dynamické výchylky U_{dyn} a součinitele rázu Φ pro případ přetržení kotevního lana. Součinitel rázu je definován poměrem statické a dynamické síly, tj.

$$\Phi = \frac{F_{dyn}}{F_{stat}} \quad (1)$$

Analýza v časové oblasti

Analýzu odezvy stožáru po přetržení kotevního lana je možné řešit např. metodou konečných prvků. V této analýze se obvykle předpokládá, že porušení nastane jednoduchým přetržením a energie kumulovaná v lanu před jeho přetržením je zanedbána. Tlumení systému se bere v úvahu. Úlohu je možné řešit včetně vlivu zatížení větrem, i když zpravidla je zatížení větrem řešeno samostatně.

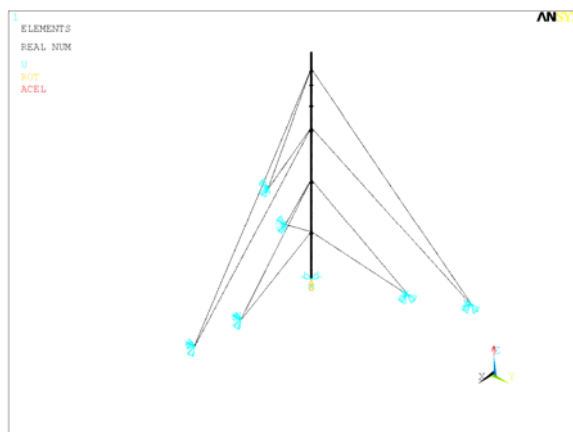
Vzhledem k nutnosti řešit úlohu v oblasti velkých přemístění (lanové prvky v konstrukci) je třeba při použití metody odezvy v časové oblasti využít přímé integrace pohybových rovnic (zpravidla Newmarkova metoda). Tlumicí charakteristiky konstrukce je možné zadat do výpočtového modelu např. prostřednictvím Rayleighova útlumu popsaného vztahem (2), kde matice tlumení C je určena na základě matice hmotnostních konstant M konstrukce, matice tuhostních konstant K a součinitelů tlumení .

$$C = \alpha M + \beta K \quad (2)$$

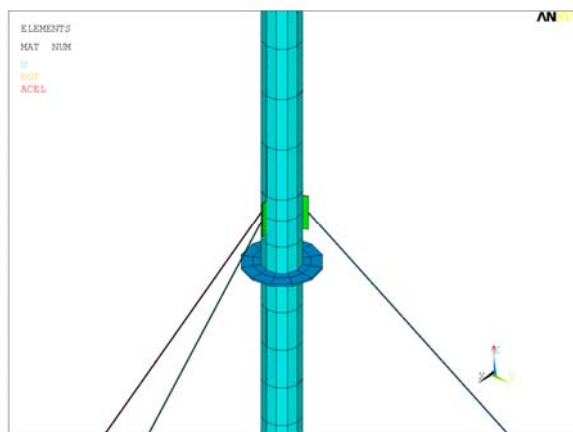
Vzhledem k faktu, že matice tuhosti je měněna během geometricky nelineárního výpočtu (jedná se o tečnou matici tuhosti) použití „tlumení“ se nezdá být výhodné [4]. Dalším z faktů znevýhodňujících tento typ tlumení je situace, kdy lanové části konstrukce nejsou namáhány tahem, tj. jejich tuhost je velmi nízká, a tedy je snížen i tlumicí účinek. Tato situace často vede ke konvergenčním problémům při numerickém řešení úlohy. Tlumení je tedy výhodné modelovat pomocí koeficientu tlumení matice hmotnosti .

Numerický příklad

Analyzovanou konstrukcí je 294 m vysoký anténní stožár kotvený lany ve čtyřech výškových úrovních +61,25 m, +128,75 m, +196,25 m a +271,25 m, obr. 2. Těleso stožáru je kotveno do tří směrů, kdy dvě nižší a dvě vyšší úrovně kotvení mají vždy v daném směru jeden společný kotevní blok umístěný ve vzdálenosti 105 m, resp. 175 m. Kotevní lana jsou ocelová, předběžně vytažená, s jednou vrstvou Z-drátů. Dřík je tvořen ocelovou troubou o průměru 2,1 m a má po výšce proměnnou tloušťku stěny 7 - 12 mm. V patě je kloubově uložen. Od úrovně +273,3 m navazuje na dřík sklolaminátový anténní nosič o průměru 1,9 m. Stožár je vybaven anténním systémem a revizními lávkami, viz obr. 3. Úloha byla modelována s použitím programového systému ANSYS, a to jeho prutových prvků BEAM44 pro dřík stožáru a prvků LINK10 pro kotevní lana. Výpočtový model se skládá z 1048 prvků lokalizovaných 1971 uzly.



Obr. 2

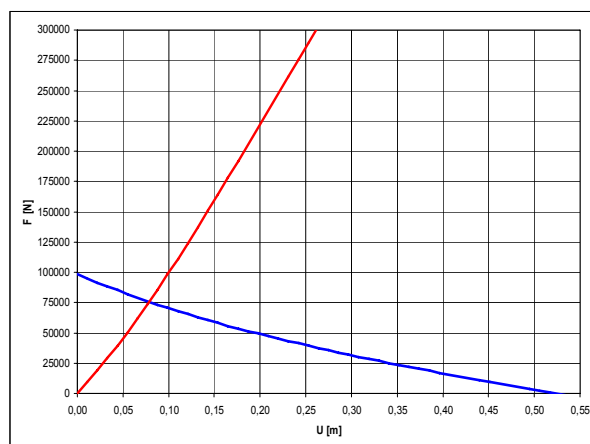


Obr. 3

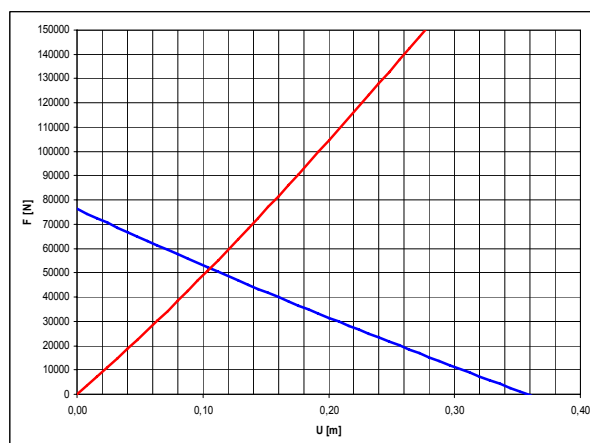
Energetická metoda

Dřík stožáru byl v místech připojení kotevních lan postupně zatěžován předepsanými deformacemi a byla sledována velikost reakce v této lanové podpoře. Vynesením této závislosti pro stožár se všemi lany funkčními a s jedním přetrženým (odstraněným) kotevním lanem je možné na základě odst. 3.1 určit velikost součinitele rázu dle vztahu (1).

Grafy pro určení součinitele rázu v případě přetržení lana na jednotlivých kotevních úrovních jsou uvedeny v pořadí od nejnižší (graf 1) po nejvyšší (graf 4) úroveň kotvení. Červeně je vyznačena křivka pro stav s přetrženým kotevním lanem a modře křivka, kdy jsou všechna lana funkční.



Graf 1

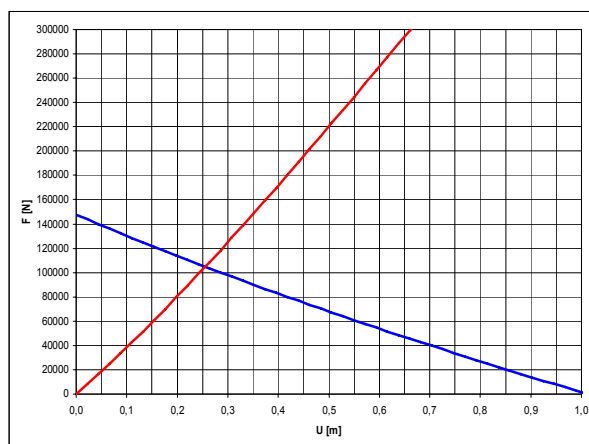


Graf 2

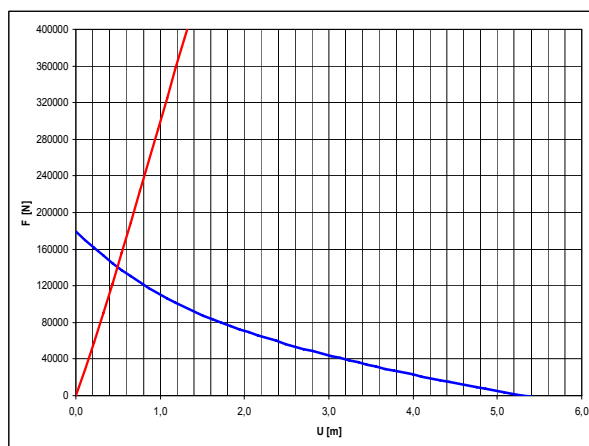
Součinitelé rázu Φ a dynamické a statické výchylky U_{dyn} a U_{stat} v úrovni kotvení přetrženého lana jsou pro jednotlivá přetržení uvedeny v následující tabulce.

Tab. 1

kotevní úroveň	I	II	III	IV
Φ [-]	2,01	2,01	2,02	1,82
U_{dyn} [m]	0,14	0,2	0,47	0,92
U_{stat} [m]	0,083	0,108	0,253	0,486



Graf 3



Graf 4

Pro zajímavost je možné uvést velikost dynamického součinitele odvozeného z poměru dynamické a statické výchylky. Pro jednotlivé kotevní úrovně je (od nejnižšípo nejvyšší kotevní úroveň, tj. I až IV) roven 1,69, 1,85, 1,86 a 1,89.

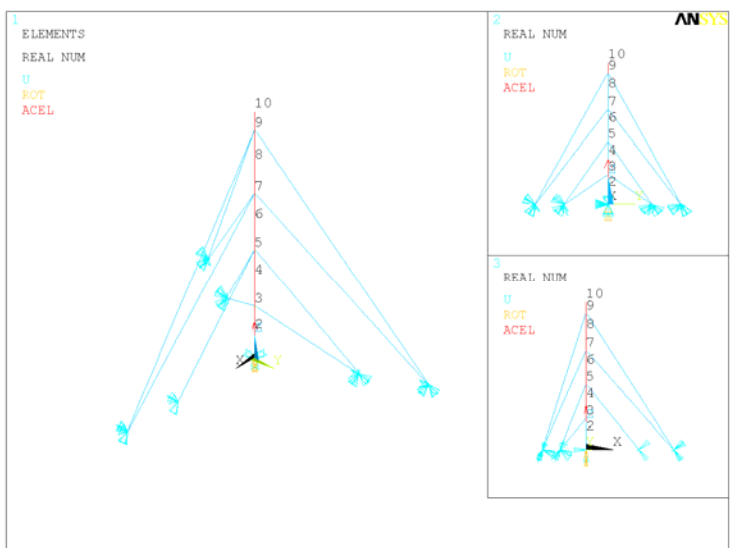
Odezva v časové oblasti

Dynamická odezva stožáru na přetržení kotevního lana I. až IV. kotevní úrovně získaná přímou integrací pohybových rovnic Newmarkovou metodou je prezentována v grafech 5 – 12. Odezva dříku stožáru je uvedena v 9 charakteristických místech (uprostřed jednotlivých polí, v místech lanových podpor a ve vrcholu stožáru). Jednotlivá místa jsou označena číslicemi 2 až 10 a zobrazena na následujícím obrázku.

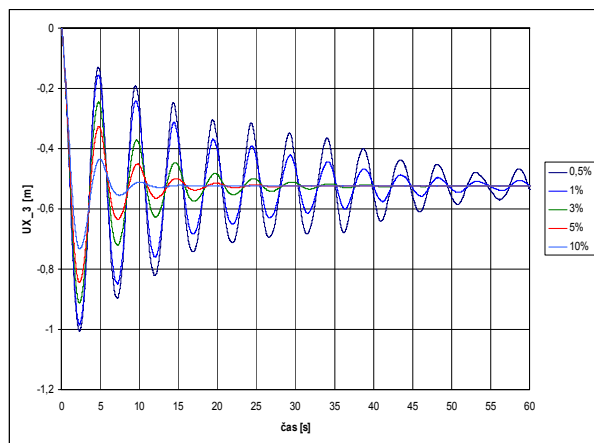
Odezvu stožáru po přetržení kotevního lana významně ovlivňuje velikost útlumu konstrukce. Protože tato hodnota patří k nesnadno určitelným vstupním parametrům, byla provedena studie závislosti odezvy stožáru na velikosti poměrného útlumu.

Velikost poměrného útlumu byla uvažována hodnotami $\xi = 0,5, 1, 3, 5$ a 10% . Vzhledem k faktu, že je třeba nahradit poměrný útlum ξ tlumením Rayleighovým, viz odst. 3.2, byla velikost součinitele určena tak, aby výsledný poměrný útlum odpovídal přibližně první vlastní ohybové frekvenci dříku plně funkčního stožáru o hodnotě cca $0,5$ Hz.

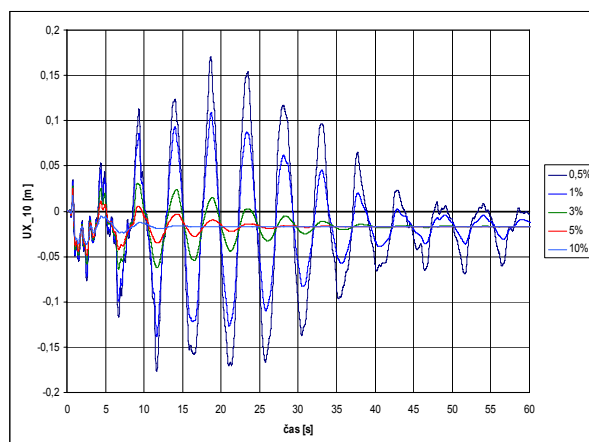
V grafu 5 a 6 je zobrazena odezva v místě I. kotevní úrovně a ve vrcholu stožáru po přetržení kotevního lana I. kotevní úrovně. Obdobně v grafech 7 a 8 je zobrazena odezva v místě II. kotevní úrovně a vrcholu stožáru po přetržení lana II. kotevní úrovně.



Obr. 4

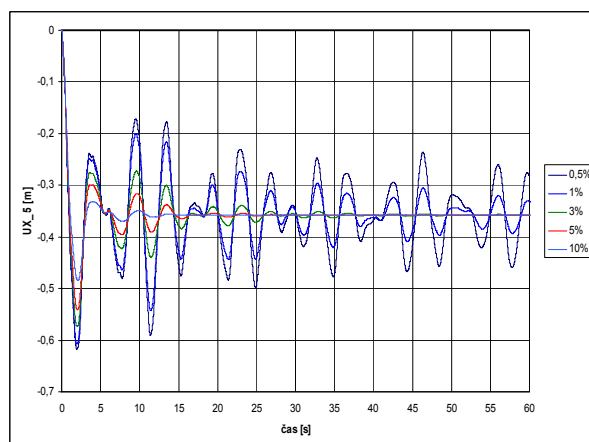


Graf 5

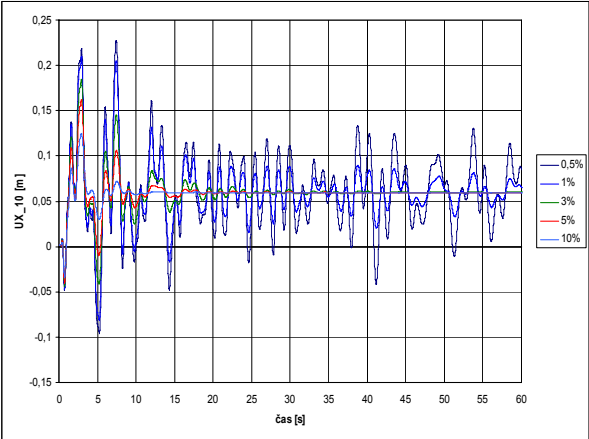


Graf 6

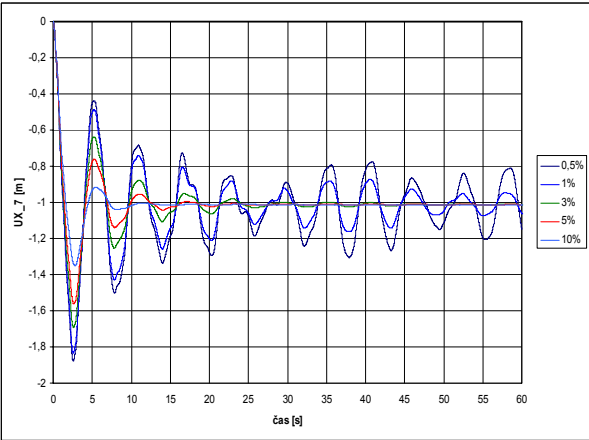
Odezva na přetržení lana III. kotevní úrovně je zobrazena v grafech 9 a 10, a to v místě připojení lan III. kotevní úrovně ke stožáru, tj. místo č. 7, a ve vrcholu stožáru, tj. místo č. 10. Obdobně je uvedena odezva pro přetržení kotevního lana nejvyšší kotevní úrovně v místě jeho připojení ke dříku, tj. místo 9, v grafu 11 a ve vrcholu stožáru v grafu 12.



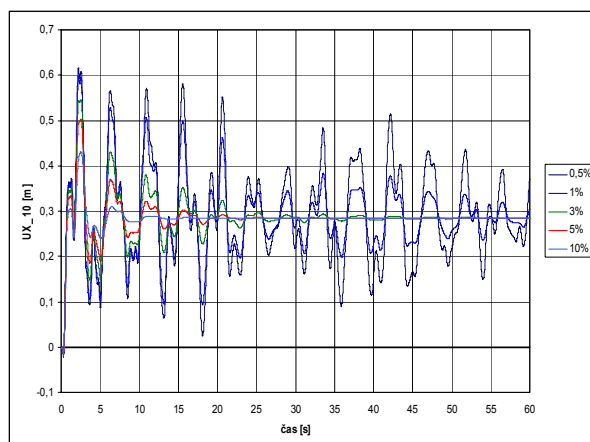
Graf 7



Graf 8



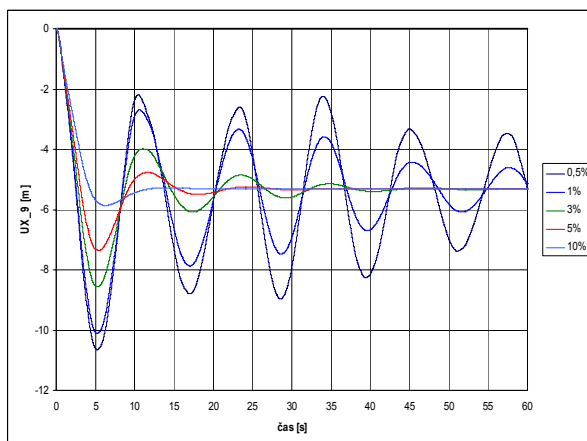
Graf 9



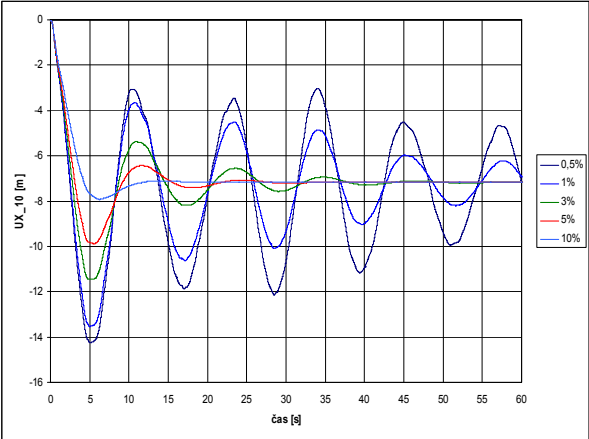
Graf 10

Extrémy napětí dříku stožáru

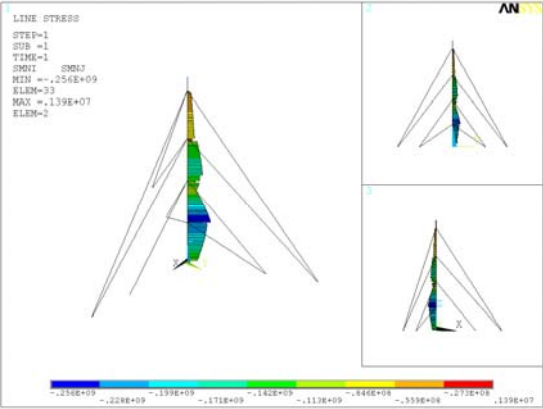
S využitím součinitelů rázu Φ byly určeny extrémní hodnoty normálových napětí dříku stožáru násobením výsledného napjatostního stavu konstrukce po přetržení daného kotevního lana odpovídajícím součinitelem rázu. Získaná pole napětí jsou zobrazena na obr. 5 (přetržení kotevního lana nejnižší kotevní úrovni) až obr. 8 (přetržení kotevního lana nejvyšší kotevní úrovni).



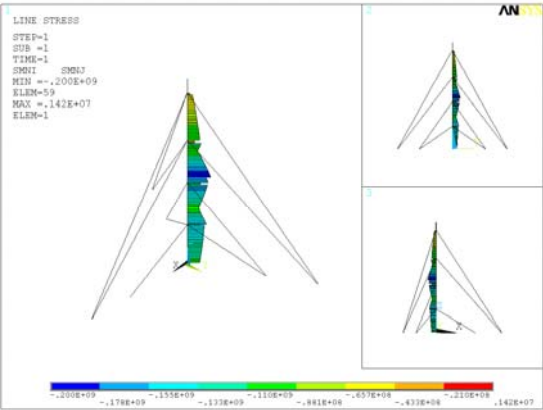
Graf 11



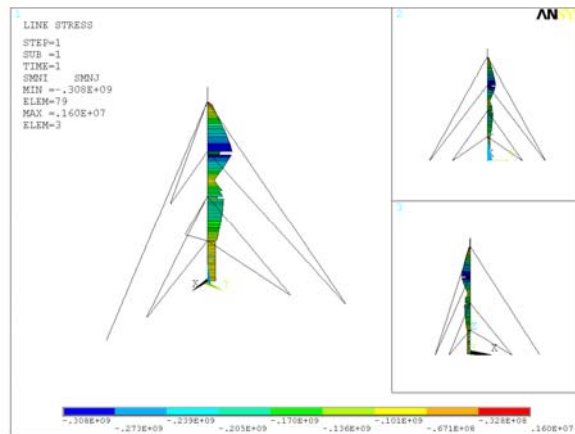
Graf 12



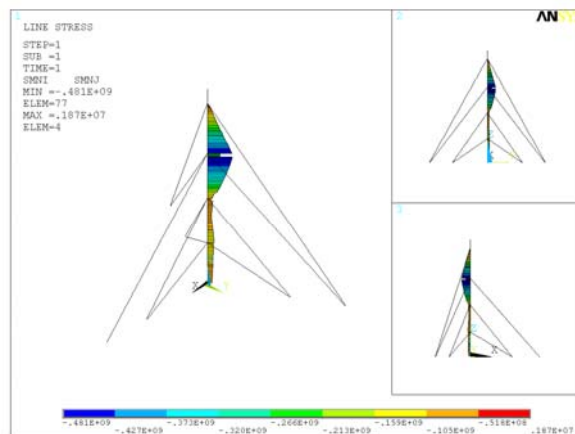
Obr. 5



Obr. 6

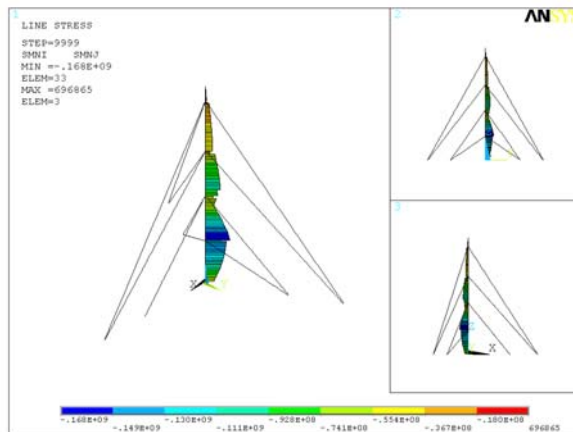


Obr. 7

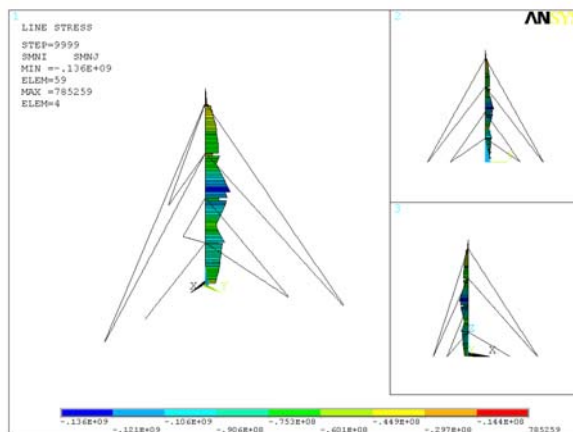


Obr. 8

Extrémní napětí v případě odezvy stožáru v časové oblasti byly získány výpočtem obálky napětí v jednotlivých časových krocích analýzy. Pro variantu s poměrným útlumem o velikosti $\xi = 0,5 \%$ jsou pole extrémních normálových napětí (v tlaku) dříku stožáru zobrazena na obr. 9 (přetržení lana nejnížší kotevní úrovni) až obr. 12 (přetržení lana nejvyšší kotevní úrovni).



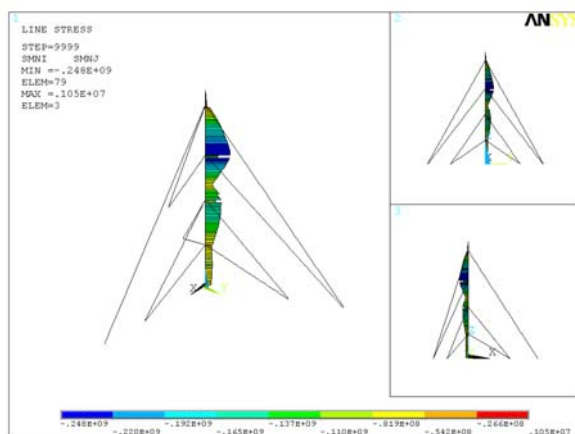
Obr. 9



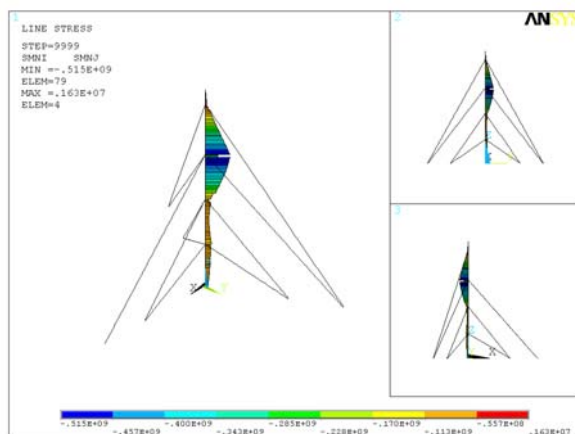
Obr. 10

Velikosti součinitelů rázu obdržných z analýzy odezvy stožáru v časové oblasti ve variantě s poměrným útlumem o velikosti $\xi = 0,5 \%$ mají pro extrémy normálových napětí (v tlaku) dříku stožáru velikost 1,32, 1,37, 1,63 a 1,95.

Vzájemný poměr mezi extrémními normálovými napětími (v tlaku) dříku stožáru obdržnými metodou odezvy v časové oblasti (odst. 3.2) a ekvivalentní energetickou metodou (odst. 3.1) pro přetržení kotevního lana jednotlivých kotevních úrovní je 0,66, 0,68, 0,81 a 1,07



Obr. 11



Obr. 12

Závěr

Na základě energetické metody byly stanoveny velikosti součinitelů rázu pro jednotlivé kotevní úrovně. Pro danou konstrukci se součinitel rázu pohybuje v rozsahu 1,8 až 2,0. Velikost dynamického součinitele určená na základě poměru dynamické a statické výchylky se pohybuje v rozsahu 1,7 až 1,9. Velikost součinitele rázu obdržená z odezvy stožáru v časové oblasti se pohybuje v rozsahu 1,1 až 2,0 v závislosti na velikosti poměrného útlumu.

Odezvu konstrukce na přetržení kotevního lana výrazně ovlivňuje velikost poměrného útlumu, jak je zřejmé z výše prezentovaných grafů 5 – 12. V případech, kdy je $\xi < 3 \%$, je patrné poměrně dlouhé dokmitávání stožáru. Pro $\xi = 10 \%$ naopak stožár téměř nekmitá.

Pro prezentovaný stožár se jeví jako kritické přetržení kotevního lana nejvyšší úrovně, kdy výkmit vrcholu stožáru dosahuje více jak 14 metrů. Extrémní hodnoty

normálových napětí odpovídající maximálnímu výkmitu při přetržení kotevního lana nejvyšší úrovně dosahují hodnoty 515 MPa v případě $\xi = 0,5 \%$, 418 MPa v případě $\xi = 3 \%$ a 295 MPa pro $\xi = 10 \%$.

Srovnání součinitelů rázu obdržených výše prezentovanými metodami ukazuje, že numericky a časově méně náročnou energetickou metodu je možné použít pro stanovení extrémů odezvy kotveného stožáru po přetržení kotevního lana.

Poděkování

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT ČR, projekt IM0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Literatura

- [1] Fischer, O. (1976): Účinek přetržení kotevního lana stožáru. Inženýrské stavby 4. 1976. p. 207-212.
- [2] Fischer, O. a Novotný, R. (1983): Příspěvek k diagnostice poškození kotvených stožárů. Inženýrské stavby 2. 1983. p. 93-97.
- [3] Fischer, O. a Pirner, M. (1987): Dynamika kotvených stožárů. Studie ČSAV č. 2. Praha, Academia Praha. 1987. 148 stran.
- [4] Koenke, P. (2005): ANSYS User's Manual, Revision 10.0, SAS IP, Inc., 2005.
- [5] Koloušek, V., Pirner, M., Fischer, O. and Náprstek, J. (1983): Wind Effects on Civil Engineering Structures. Academia Praha. 1983. 572 p.
- [6] ČSN P-ENV 1993-3-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 3-1: Věže, stožáry a komíny – Věže a stožáry, ČNI Praha, 90 stran, 2000.
- [7] ČSN 73 1430 Navrhování ocelových konstrukcí stožárů, ČNI Praha, 48 stran, 1985.

Henryk R. PARZENTNY¹

**CONTENTS OF PB AND ZN AND AFFINITY TO ORGANIC COAL FRACTION
FROM FLYSCH ASSOCIATION (VISEAN) IN THE UPPER SILESIA COAL
BASIN (USCB)**

Abstract

Shed coals from flysch association tend to be not very thick and contain a low ash content. The contents of Pb in coal and coal ash of these shed coals is higher, while Zn content is lower than the contents of Pb and Zn in the coals and coal ashes from paralic and limnic series of the USCB. A relationship between Pb and Zn and organic matter of coal was noted. Element sorption by organic matter had probably a significant impact in reaching present-day contents of ash, and Pb and Zn in coal.

Key words: Geochemical characteristics, Zn, Pb, coal.

Introduction

In the years 1975-1988, the Upper Silesian Branch of the Polish Geological Institute (PIG) made 24 drill holes in the USCB (Fig. 1) as part of the „Research project of deep-level productive carbon” developed and later on supervised by Kotas [10]. The project aimed at a detailed description of the USCB geological structure in the area with poorly documented occurrence of a paralic series floor. The samples were thoroughly analysed geologically and geochemically by the PIG, the Upper Silesian Branch, and the results were compiled in geological documentation for specific drill holes. The contents of trace elements were determined in ashes of coal beds (525oC) with the use of X-ray fluorescence spectrometry (Table 1). Petrographic or technological quality indices of the coal beds were not available to the author, but he had only the contents of Pb and Zn, and ash. This article concludes a stage of analysis of the results [such as 13, 15, 16] conducted together with Engineer Anna Rózkowska from the PIG, the Upper Silesian Branch.

The aim of this work is to determine contents and affinity of Zn and Pb to organic and mineral matter of shed coals in the USCB flysch association because so far there have not been any geochemical characteristics of coal beds below the Štur sea level which would be established in this way. The Malinowice Beds representing the formations of this association were drilled in 9 boreholes (Fig. 2).

Results and their interpretation

Shed coals from 0.10 m to 0.30 m thick, best preserved, thin and with relatively stable lateral extension, were observed in the Zalaskie Beds in the area of Leńcze. The beds represent deposits of the marginal USCB formed during the sea regression and are considered to be pseudomolasse. On the other hand, the typical Malinowice Beds are a cryptoflysch formation deposited as a result of aqueous solid flows [8, 9, 11]. These formations contained two coal beds from 0.15 m to 0.30 m thick each, in the area of Poręba Wielka and Poręba Żegoty. According to Kotas [11], they both were formed from the middle Visean to the lowermost Namurian A. The absence of results for the Malinowice Beds in the area of Bestwina, Bielowicko, Czechowice, Dębowiec, Łąka and Rudzica, is due to an inadequate mass of coal samples for examination (Fig. 2).

¹ University of Silesia, Sosnowiec

Average thickness of the investigated coal beds is several times lower as compared with average thickness of the coal beds in the USCB and with the most frequent thickness of the coal beds in the Bug Beds (0.40 m), Kumów Beds (0.37 m) and the Lublin Beds (0.67 m) in the Lublin Coal Basin (Table 1). The shed coals with the thickness of below 0.3 m, and thin coal seams from 0.3 m to 0.7 m thick (not included in the recoverable reserves of the USCB as per Polish standards) occur mainly in the paralic series directly overlying the flysch association and in the USCB limnic series [16]. In the limnic series of the USCB the most frequent coal beds have thickness of 0.7 m – 1.5 m, and also thickness of 0.3 m – 0.7 and 1.5 – 4.0.

The average ash content in the shed coals is similar to the average ash content in bituminous coals from Polish basins (Table 1). An interesting regularity was observed, namely the increase of the ash contents in the shed coals with the increase of thickness ($r = 0.78$; Table 2). The same trend was noted earlier for coals of the USCB limnic series [16]. However, in the limnic series the trend was reversed, i.e. together with the increase in the coal bed thickness its ash content decreased.

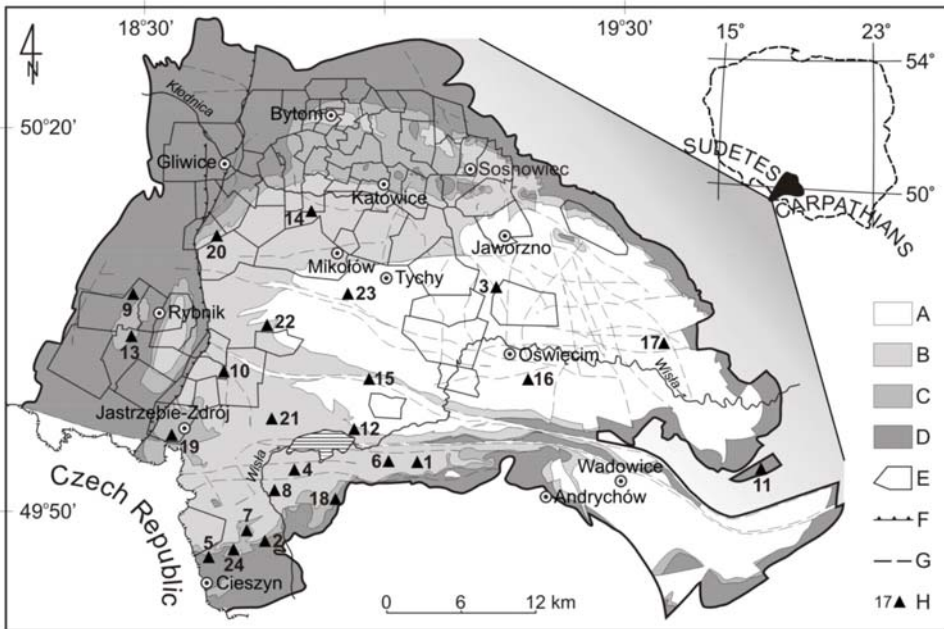


Fig. 1 Sampling locations of coal in the USCB: A - Cracov Sandstone Series, B - Mudstone Series, C - Upper Silesian Sandstone Series, D - Paralic Series, E - coal mine boundaries, F - thrusts, G - fault, H - symbols of drill holes: 1 - Bestwina, 2 - Bielowicko, 3 - Chelmek, 4 - Chybie, 5 - Cieszyn, 6 - Czechowice, 7 - Dębowiec, 8 - Drogomyśl, 9 - Jejkowice, 10 - Krzyżowice, 11 - Lencze, 12 - Łąka, 13 - Niedobczyce, 14 - Paniowy, 15 - Piasek, 16 - Poręba Wielka, 17 - Poręba Żegoty, 18 - Rudzica, 19 - Ruptawa, 20 - Szczygłowice, 21 - Studzionka, 22 - Woszczyce, 23 - Wyry, 24 - Zamarski

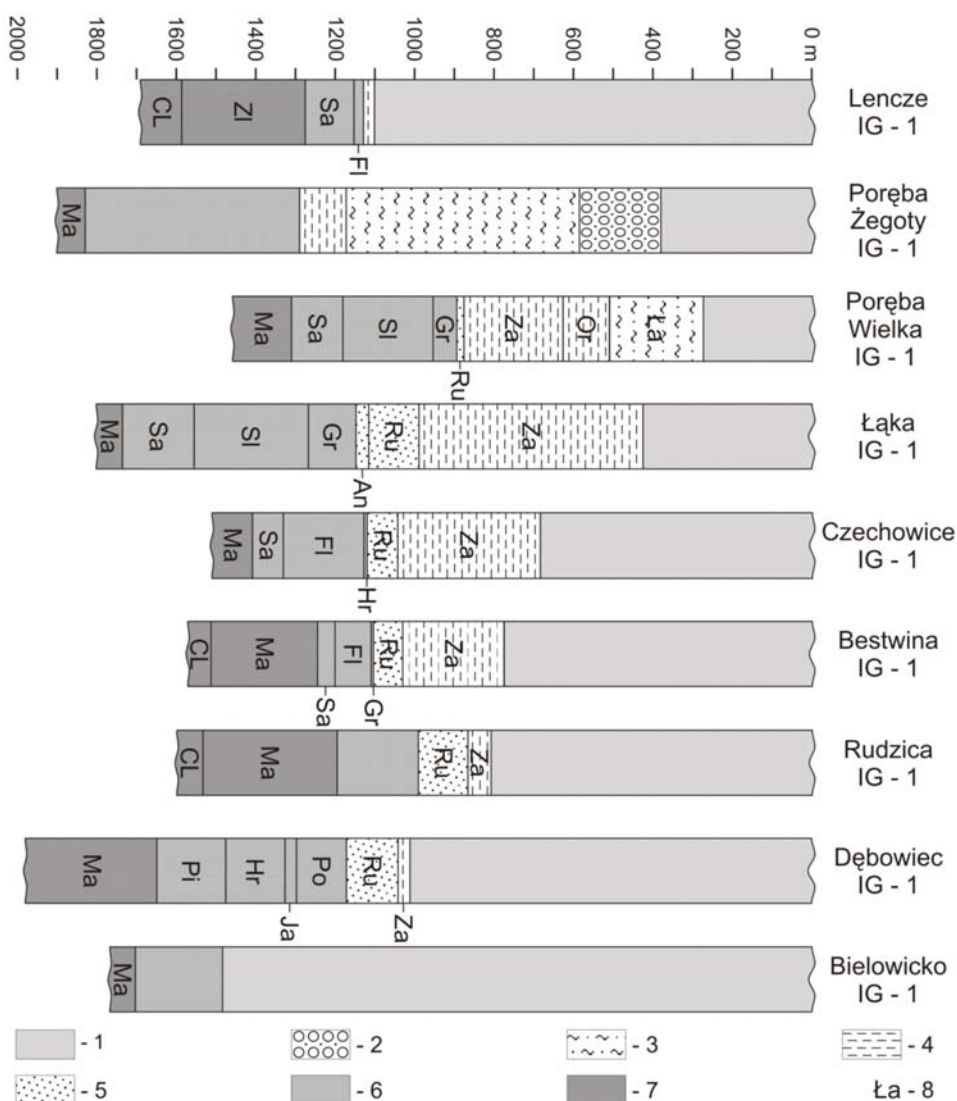


Fig. 2 Generalized lithostratigraphic sequence of Carboniferous formations exposed in the boreholes to the floor of the flysch association 1 - Tertiary + Mesozoic, 2 - Kwaczała Arcose, 3 - Cracow Sandstone Series, 4 - Mudstone Series, 5 - Upper Silesian Sandstone Series, 6 - Paralic Series, 7 - Flysch Association, 8 - Carbonate Association, 9 - Symbols of the formations (beds): Ła - Łaziska, Or - Orzesze, Za - Załęże, Ru - Ruda, An - Anticlinal, Po/Gr - Poręba = Upper Grodziec, Ja/Gr - Jakłovec = Lower Grodziec, Hr/FI - Hrušov = Flora, Pt/Sa - Petřkovice = Sarnow, Ma/ZI - Malinowice = Zalas, CL - Coal Limestone

Characteristic of coal seams in flysch association in the USCB

Tab. 1 LCB – Lublin Coal Basin, LSCB – Lower Silesian Coal Basin, A – calculated by the author based on works by Pendias [18], Winogradov [26] and Bossowski [2], B – calculated by the author based on works by Pendias [17] and Winogradov [26].

Citation of results from: 1 – Bossowski [2], 2 – Cebulak [4], 3 – Jureczka and Kotas [8], 4 – Mielecki and Krzyżanowska [12], 5 – Parzentny et al. [16], 6 – Porzycki and Zdanowski [19], 7 – Ptak and Rózkowska [20].

Element		Range	Geometric mean	Standard deviation	Other bituminous coals in Poland
Thickness of coal seams (m)		0.05 - 0.3	0.17	0.09	USCB: 1.01 ⁵ LCB: 0.40 ⁶ ; 0.37 ⁶ ; 0.67 ⁶ LSCB:
Ash ₅₂₅ (%)		5.68 - 24.3	13.57	5.66	USCB: 13.00 ³ ; 13.79 ⁴ LCB: 13.69 ² ; 14.82 ⁶ LSCB: 14.00 ¹
Pb (ppm)	in ash	18.5 - 53.4	206.71	13.65	USCB: 180.5 ² ; 132 ⁷ LCB: 133.6 ² LSCB: 394 ^A ; 700 ^B
Zn (ppm)		24.4 - 53.5	247.06	10.82	USCB: 403.5 ² ; 328 ⁷ LCB: 250.6 ² LSCB: 408 ^A ; 896 ^B
Pb (ppm)	in coal	85 - 470	28.08	133.65	USCB: 25 ³ ; 18 ⁷ ; 17.7 ² LCB: 17.7 ² LSCB: 55.2 ^A ; 98.0 ^B
Zn (ppm)		150 - 760	33.55	212.95	USCB: 46 ³ ; 45 ⁷ LCB: 32.6 ² LSCB: 51.7 ^A ; 125.4 ^B

The average lead content in the shed coals and coal ash is higher than its content in coal ashes and the coals from the USCB and LCB, while it is lower than in the coals and coal ashes of the LSCB (Table 1). What is more, the zinc content in shed coals and their ashes is lower than its content in the coals and coal ashes from the USCB and LSCB, while it is comparable with the zinc content in the coals and coal ashes from the LCB. The contents of Pb and Zn in the shed coals are similar (Pb) or lower (Zn) as compared from the contents of these elements in the paralic series coals of the USCB (Pb = 24 ppm, Zn = 52 ppm) determined by Ptak and Rózkowska [20]. This trend supports the regularity described earlier. It has been noted that mainly the contents of Pb and Zn in the USCB coals decreases beginning from formations of the Cracow Sandstone Series towards the floor of the paralic series [14, 20].

The observed correlation coefficient ($r = -0.74$) indicates an empirical relationship in which the contents of Pb and Zn in the investigated shed coals increase with their thickness decrease (Table 2). The relationship results probably from the

mechanism of enriching coal seams in trace elements and ash-forming substances in contact with other sedimentary rocks noted by Yudovich and Ketris [27] and supported by other authors [1, 5, 21]. Inclusions in sedimentary rocks of the transformed and untransformed organic matter together with aggregates of clay minerals frequently separating them are intensively sorbed by trace elements. In the area of contact of

Correlation relationships between Pb and Zn contents in the investigated coals

Tab. 2 A - Correlation coefficient for confidence interval 95% is $r = \pm 0.35$.

Correlation coefficient ^A		Thickness	Ash content	Pb	Zn	Pb	Zn
				in ash		in coal	
Thickness		1.00	0.78	-0.25	0.00	-0.74	-0.74
Ash content		0.78	1.00	-0.15	0.27	-0.72	-0.72
Pb	in ash	-0.25	-0.15	1.00	-0.44	0.74	-0.30
Zn	in ash	0.00	0.27	-0.44	1.00	-0.26	0.42
Pb	in coal	-0.74	-0.72	0.74	-0.26	1.00	0.38
Zn	in coal	-0.74	-0.72	-0.30	0.42	0.38	1.00

the coal bed (shed coal or seam) with the surrounding rocks, we usually observe a coal layer of several millimetres enriched in elements. The difference of the element contents between the surface of the coal bed and its median portion leads to Pb and Zn diffusion into the bed. Consequently, the roof and floor portions of the coal seams become enriched in some elements, which was supported in the results of USCB coal examination [4, 7, 14, 25]. Following the processes, thin coal layers (shed coals) may become enriched across their whole thickness.

Usually, the increase of ash content appears during the the enrichment of coal beds with trace elements [4, 7, 14, 25]. In the investigated coal beds this relationship was not noted but quite an opposite phenomenon was observed. With the increase of Pb and Zn contents, their ash contents decreases ($r = -0.72$; Table 2), which indicates the relationship of the elements with organic matter. Zn and Pb probably concentrated in the matter with higher sorption rate of the compounds by organic matter than by clay minerals, and with lower infiltration rate of the peat layer, and then coal, with solutions and suspensions rich with Zn and Pb. Otherwise, the investigated coal seams would have contained higher contents of ash-forming substances. The relationship between Pb and Zn with organic matter of bituminous coals from different international basins were already studied many a time [e.g. 3, 6, 28]. The relationship is the stronger, the more similar or lower is the contents of Pb and Zn in the coals to their average contents in international coals (Pb = 25 ppm, Zn = 50 ppm; Valković, 1983) and similar to lithosphere clarkes (i.e. Pb = 12.5 ppm, Zn = 70 ppm; Taylor, 1964). Poor positive correlation between the content of Pb and Zn in the coal ($r = 0.38$) and, at the same time, poor positive correlation between the contents of Pb and Zn in coal ash ($r = 0.38$), and poor negative correlation between Pb and Zn contents in coal ash ($r = -0.44$) were

observed. The relationship supports the earlier assumption that these elements co-occur in organic matter of the investigated shed coals.

Conclusions

The shed coals drilled in the area of Leńcze, Poręba Wielka and Poręba Żegoty are thin (0.17) and have a low ash content (13.57%). The shed coals are marked by a higher Pb content and lower or similar content of Zn in the coal and coal ash as compared with coals and ashes from the productive series of the USCB and LCB.

Together with the decrease in thickness of the shed coals, their ash contents decreases with the simultaneous increase of Pb and Zn contents. These dependencies indicate the relationships between Pb and Zn with organic matter of coal as well as a greater role of sorption of the elements by organic matter than by clay minerals in reaching the present-day contents of ash and Pb and Zn in the coal from the flysch association.

References

- [1] Arbuzov, S.I., Rikhyanov, L.P., Maslov, S.G. and Belyaeva, A.M. (2006): Anomalous gold contents in brown coals and peat in the south-eastern region of the Western-Siberian platform. *Int. J. Coal Geol.* 68, 127 – 134.
- [2] Bossowski, A. (1995): Lower Silesian Coal Basin. Coal deposits. In: Zdanowski, A., Żakowa, H. (Eds.), *The Carboniferous system in Poland. Prace PIG* 148, 173-175.
- [3] Bouška, V. (1981): *Geochemistry of coal.* Czechoslovak Academy of Sciences, Eds. B. Campbell. Prague, pp. 259.
- [4] Cebulak, S. (1983): Determination of geochemical components of coal from the point of view of full utilization and environmental preservation. In: Bojkowski K., Porzycki, K. (Eds.), *Geological problems of coal basins in Poland.* Warsaw 335-361
- [5] Eskenazy, G.M. (1999): Aspects of the geochemistry of rare earth elements in coal: an experimental approach. *Int. J. Coal Geol.* 38, 285 – 295.
- [6] Gluskoter, H.J. (1975): Mineral matter and trace elements in coal. In: Babu S.P., (Eds.), *Trace elements in fuel. Advances in chemistry. Series 141 American Chemical Society Washington*, pp. 1 – 22. Chapter 1.
- [7] Idzikowski, A. (1959): O występowaniu niektórych mikroelementów w węglach kamiennych warstw rudzkich i siodłowych na Górnym Śląsku. *Arch. Mineral.* 23, 272-350.
- [8] Jureczka, J. and Kotas, A. (1995): Upper Silesian Coal Basin, Coal deposits. In: Zdanowski, A., Żakowa, H. (Eds.), *The Carboniferous system in Poland. Prace Państw. Inst. Geol.* 148, 164 – 172.
- [9] Kotas, A. (1972): Osady morskie karbonu górnego i ich przejście w utwory produktywne Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. In: *Karbon Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Prace IG* 61, 279 – 307.
- [10] Kotas, A. (1975): Projekt badań głębokich poziomów karbonu produktywnego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Centr. Arch. Geol. PIG Warszawa.*
- [11] Kotas, A. (1995): Lithostratigraphy and sedimentologic-paleogeographic development, Upper Silesian Coal Basin. In: Zdanowski A., Żakowa H. (Eds.), *The carboniferous system in Poland. Prace Państw. Inst. Geol.* 148, 124-134.
- [12] Mielecki, T. and Krzyżanowska, W. (1961): Charakterystyka chemiczna popiołów węgla górnośląskich, próbki pokładowe. *Prace GIG seria M, komunikat nr* 273.

- [13] Parzentny, H. (1993): Charakterystyka zapopielenia węgla w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW). *Przeg. Geol.* 41, 785- 788.
- [14] Parzentny, H. (1995): Wpływ nieorganicznej substancji mineralnej na zawartość niektórych pierwiastków śladowych w węglu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego *Prace Nauk. Uniw. Śl. w Katowicach* 1460, pp. 91.
- [15] Parzentny, H. a Rózkowska, A. (1989): Ocena zawartości oraz sposobu związania cynku w węglu po rozciągłości Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Przeg. Górn.* 45, nr 5, s. 14-20.
- [16] Parzentny, H., Rózkowska, A. and Róg, L. (1999): Relationship between bed thickness, average ash content, and Zn and Pb content in coal in the Upper Silesian Coal Basin. *Geological Quarterly* 43, 365-374.
- [17] Pendias, H. (1964): Badania geochemiczne węgla z warstw wałbrzyskich i białoka-mieńskich Zagłębia Wałbrzyskiego. *Kwart. Geol.* 8, 769-788.
- [18] Pendias, H. (1966): Badania geochemiczne węgla z pokładów żaclerskich Zagłębia Wałbrzyskiego. *Kwart. Geol.* 10, 296-314.
- [19] Porzycki, J. and Zdanowski, A. (1995): Coal deposits, Lublin Coal Basin. In: Zdanowski A., Żakowa H. (Eds.), *The carboniferous system in Poland. Papers of the Polish Geological Institute* 148, 159-164.
- [20] Ptak, B. a Rózkowska, A. (1995): Atlas geochemiczny złóż węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego 1:300 000. *Państw. Inst. Geol., Warszawa.*
- [21] Qi, H., Hu, R. and Zhang, O. (2007): Concentration and distribution of trace elements in lignite from the Shengli Coalfield, Inner Mongolia, China: Implications on origin of the associated Wulantuga Germanium Deposit. *Int. J. Coal Geol.* 71, 129 – 152.
- [22] Rózkowska, A. (1993): Pierwiastki podrzędne i śladowe w węglu z głębokich poziomów karbonu produktywnego GZW. *Przeg. Geol.* 41, 780 –785.
- [23] Taylor, S.R. (1964): Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geoch. et Cosmoch. Acta* 28, 1273 – 1288.
- [24] Valkovic, V. (1983): Trace elements in coal. *Chem. Rubber Co. Press, Boca Raton*, vol. 1, 210 pp.; vol. 2, pp. 281.
- [25] Winnicki, J. (1964): German a nieorganiczna substancja mineralna w węglu pokładu 510 w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. *Prace GIG, Komunikat* nr 354.
- [26] Winogradov, A.L. (1962): Srednye soderzaniya chimičeskich elementov v glavnyh tipach izverżennyh gornych porod zemnoy kory. *Geochimia* 7, 555-571.
- [27] Yudovich, Ya.E. and Ketris, M.P. (2002): Neorganičeskoe veščestvo uglej. Russian Academie Science, Ural Division, Komi Scientific Centre Institute of Geology, Ekaterinburg 2002, pp. 423.
- [28] Yudovich, Ya.E. and Ketris, MP. (2005): Toksичnye elementy-primesi v iskopaemyh ugliach. Russian Academy of Sciences, Ural Division Komi Scientific Centre, Institute of Geology, Ekaterinburg, pp. 1 – 655.

VARIABILITY OF LA, SC, TH AND U CONTENTS IN BITUMINOUS COALS OF
LUBLIN FORMATION IN LUBLIN COAL BASIN (LCB)

Abstract

As compared with international coals, high contents of La, Sc, Th and U were found in LCB coals. La content in Polish coals was determined for the first time. Vertical and lateral variability in element contents of the Lublin Formation, where they occur in associations with other elements, was noted.

Key words: geochemical characteristics La, Sc, Th, U, coal.

Introduction

Following geological studies and mining conducted during recent 20 years, it was possible to access LCB coal seams and to discover which elements, not yet determined or determined rarely, occur in coals. In this study, we decided to analyse coals from coal seams (378, 382, 385, 387, 389, 391, 394) marked by the largest spread, according to Porzycki and Zdanowski [11] and relatively stable thickness in Bogdanka and Chełm deposits. The seams are supposed to be mined in the coal mine „Lubelski Węgiel Bogdanka” [1].

The aim of this article is to evaluate average contents and changes in La, Sc, Th and U contents in LCB coals.

Scope of research and methodology

From seams 382 and 385/2 coal columns were sampled in active mine faces in the coal mine „Bogdanka”. 219 coal samples from drill cores in 12 holes in the deposit „Chełm” were obtained for research from the Polish Geological Institute, the Upper Silesian Branch, as part of the Marie Skłodowska-Curie Fund. The results were submitted to the Institute and published [2, 7, 8, 9]. 30 coal samples not studied so far due to small coal mass, collected from 8 drill cores (Fig. 1), were analysed in this work. In coal ashes (525oC), La, Sc, Th and U contents were determined with ICP–Mass Spectrometer (Tab. 1).

By means of X2 Pearson's test, geometric means were considered best to estimate averages (Tab. 2), therefore the test was also used to determine average La, Sc, Th and U contents in coal seams of the profile of the Lublin Formation (Fig. 2). Moreover, correlation coefficients were calculated to obtain element affinity to organic or mineral portions of the investigated coals, and to find element associations marked by geochemical relationships (Tab. 3).

Results and interpretation

Coal ash

Average ash content in LCB coals is 11.88%, which is slightly lower than ash content in the whole basin as given by Cebulak (A = 13.63%) [2], and Porzycki and Zdanowski (A = 14.82%) [11]. Since average ash contents in bituminous coals around the world have not been estimated so far, the investigated coals were compared to petrologically similar Paleozoic coals from other seams in the North Atlantic macro-region. Based on the comparison, ash content in the LCB coals was determined to range

¹ University of Silesia, Sosnowiec

from 1.34% to 24.20% corresponding to ash contents in English [16] and American [14] coals.

Generally, 1-modal distribution of ash contents in the coals of the profile of the LCB, with maximum ash content in coal from the coal seam 387, and minimum – in the coal from the seam 394 (Fig. 2) was discovered. Large differences in ash contents were determined in coals within the LCB and vertical profile of the seams 378 and 391 (Tab. 1). The changes result probably from the differences in mineral matter content within the LCB coal seams described by Knafel [6].

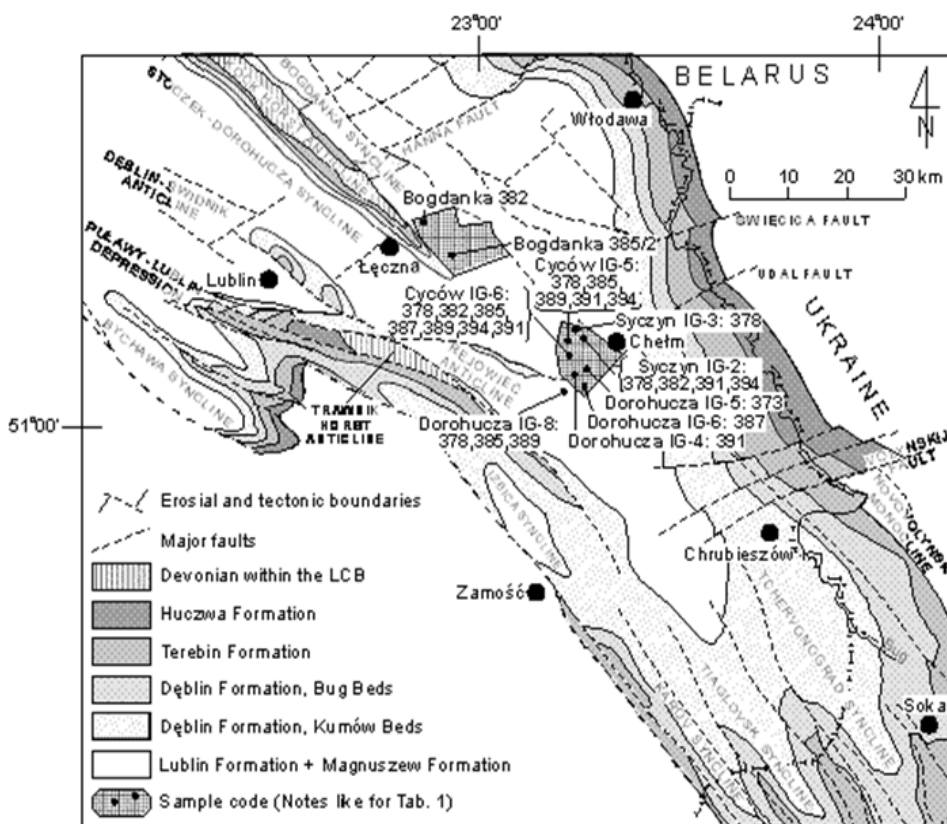


Fig. 1 A geological characteristics of the researched areas in the LCB (after Porzycki and Zdanowski, 1995) and location of the places from where simplex were taken

Table 1 La, Sc, U and Th content (ppm) in coal from researched areas in the LCB

Sample	Seam	Borehole, Mine	Seam thickness (m)	Ash ₅₂₅ (%)	Content of elements (g/Mg)			
					La	Sc	Th	U
L	378	Cyców IG-6	1,30	10,78	73	63	9	10
38L		Cyców IG-5	0,35	6,60	117	128	29	19
90L		Syczyn IG-3	0,80	16,73	64	68	27	10
105L		Syczyn IG-2		17,17	82,4	62,3	30,5	11,9
106L			3,10	15,85				
107L				31,16				
207L		Dorohucza IG-1	2,40	22,93	50	64	20	10
10L	382	Cyców IG-6	3,60	9,80	112,4	63,7	40,9	15,2
11L				15,07				
111L		Syczyn IG-2	0,40	13,46	57	32	22	10
64W		Bogdanka	2,52	18,62	58	85	31	18
16L	385	Cyców IG-6	0,90	17,70	66	32	38	24
45L		Cyców IG-5	1,20	14,81	213	33	54	10
213L		Dorohucza IG-8	1,10	27,75	121	45	35	23
62W		Bogdanka	1,27	8,48	48	56	28	16
18L	387	Cyców-IG-6	0,30	10,43	207	84	48	43
201L		Dorohucza IG-6	2,40	22,93	98	24	53	10
19L	389	Cyców IG-6	2,80	33,50	57	28	22	10
48L		Cyców IG-5	0,80	5,00	52	85	20	30
215L		Dorohucza IG-8	1,00	16,92	55	54	26	10
21L	391	Cyców IG-6	2,90	8,29	51,5	26,1	23,7	14,3
22L				21,30				
49L		Cyców IG-5	2,60	6,60	56	69	23	10
116L		Syczyn IG-2	2,50	7,41	54	37	22	15
177L		Dorohucza IG-4	1,00	7,69	58	20	13	10
23L	394	Cyców IG-6	3,30	15,84	62,7	32,1	25,5	13,9
25L				16,67				
26L				14,62				
52L		Cyców IG-5	1,10	3,67	42	133	23	25
119L		Syczyn IG-2	0,50	4,73	33	106	16	18

Lanthanum

Average La contents in the LCB coals is found to be much higher than in international coals (Tab. 2). A wide La content interval in the investigated coals and quite a high standard deviation result from statistically significant vertical and lateral variability of La content in the LCB coals. La distribution in the coals of the profile of the Lublin Formation is approximately 1-modal, with maximum content in coal from the seam 387, and minimum content in coal from the seam 394 (Fig. 2). In general, insignificant differences in La contents in coals within the coal seams 387>382>378>394>391=389 were discovered (Tab. 1). However, visible changes in La contents in the coal of the vertical profile in seams 382>378> 394=391 result probably from La sorption from aqueous solutions infilling the seam by organic matter and clay mineral aggregates in the areas near the roof and the floor of the coal seams. The process was discussed in detail by Rysanov and Yudovich [13].

The correlation coefficient between La content in the investigated coals and ash content indicates that both organic and mineral matter have influence on La accumulation in coal (Tab. 3). Strong correlation bond between La and Th, moderately strong bond between La and Nb>V=Zr>Cu>Y, and weak bond between La, and Ba and Cr were discovered. On the other hand, the presence of Mg and Mn in the coals almost completely excludes the possibility for La to occur in the LCB coals.

The results of geochemical studies on the coals from different coal seams of the world by various authors compiled and developed synthetically by Yudovich et al. [20] indicate syngenetic origin of La in LCB coals. Low La contents in coals result from coal-forming plants. La in coals comes probably from mineral matter aggregates of terrigenous origin from weathering zones of granitoid rocks and pegmatites in the north-eastern alimentation area.

Scandium

Sc contents in LCB coals is significantly higher than Sc content in the coals of the LSCB and international coals (Tab. 2). A wide change interval in Sc content in the coals and high standard deviation indicate extensive variability in Sc occurrence in the coals both in the profile and within the LCB. The highest Sc contents of the profile of the Lublin Formation were found in the coals from the seams 394 and 378, while the lowest values in the coals from the seam 391 (Fig. 2). In the profile of the seams (Tab. 1), higher Sc contents, as compared with other parts, were noted in the centre (seams 394 and 378) and in the floor and the roof of the seams (391 and 382). Large differences in Sc contents in the coals within the LCB were found in the seams 394>391=387.

Correlation coefficients indicate that there is a considerable influence by organic matter on average Sc content in the investigated LCB coals (Tab. 3). In organic matter probably Sc co-occurs with Be>Ni>Cr>V>Cu>Y>CoSb>Pb, while it occurs quite rarely with Zn>W>Mo. Presence of Sc in the coals excludes the occurrence of phosphorus. Following Yudovich et al. [20], it was assumed that Sc derives from coal-forming plants which absorbed it from solubilized aggregates of pegmatite grains and maphic minerals.

Table 2 Average values (ppm) of La, Sc, U and Th in coals from research areas

Element	Range	Arithmetic mean	Geometric mean	Standard deviation	Mean of World	Other bituminous coals in Poland
La	33 - 213	79.24	70.40	45.42	1–40 ⁷ ; 3–10 ¹⁰ ;	
Th	9 - 54	28.76	26.80	10.75	4 ⁷ ; 3.5±0.7 ¹⁰ ;	USCB: 2.3 ⁵ ;
U	10 - 45	15.76	14.21	8.70	2.0 ⁷ ; 1.9±0.1 ¹⁰ ;	LSCB: 1500-9900 ³ ; 1202-1360 ⁴ ; USCB: 8.9-6720 ² ; 37-7200 ³ ; 0.3 ⁵ ; 0.6-2660 ⁶ ; 0.3 ⁸ ; 0.79-1.52 ⁹ ;
Sc	6 - 133	58.58	49.19	32.65	4 ⁷ ; 3±0.2 ¹⁰ ;	LSCB: 2.41 ¹ ;

Citation of results from: 1 – Golschmidt and Peters [3], 2 – Hoffmann [4], 3 – Jęczalik [5], 4 – Nielubowicz and Wróblewski [10], 5 – Rózkowska [12], 6 – Saldan [15], 7 – Swaine [17], 8 – Widawska-Kuśmierska [18], 9 – Winnicki [19], 10 – Yudovich et al. [20]. LCB - Lublin Coal Basin, LSCB – Lower Silesian Coal Basin, USCB – Upper Silesian Coal Basin.

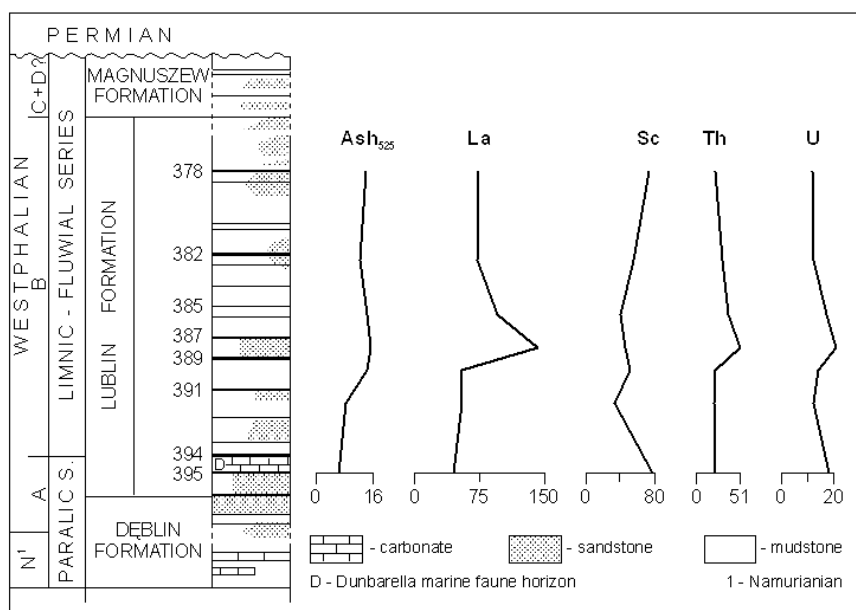


Fig. 2 La, Sc, U and Th content in coal seams in vertical profile of the Lublin Formation (LCB).

Thorium

Average Th content in the LCB coals is significantly lower as compared with USCB coals and international coals (Tab. 2). Th distribution in the coals of the profile of the Lublin Formation is generally 1-modal, with maximum Th content in the coals of the seam 387, and minimum in the coals of the seam 391 (Fig. 2). Coals in the parts near the roof of the coal seams are slightly enriched in Th.

Correlation coefficients indicate that probably mineral matter gains importance over organic matter in Th concentration (Tab. 3). Following Yudovich et al. [20], Th was assumed to concentrate more in minerals from weathering igneous and metamorphic rocks from alimentionation areas of the LCB than in coal organic matter. Undoubtedly, in mineral aggregates Th often co-occurs with $\text{La} > \text{Ba} > \text{Nb} > \text{Sr} > \text{Ti} > \text{Al} = \text{Zr}$, while quite rarely with Sn and P. Presence of Th in the coals excludes the occurrence of $\text{Mg} > \text{Mn} > \text{FeNa} > \text{As}$.

Uranium

Average U content in the LCB coals is higher than its content in international bituminous coals, however, it is generally lower than U content in the LSCB and USCB coals (Tab. 2). In general, U content in the coal seams of the profile of the Lublin Formation is weakly differentiated, with maximum U content is the coals of the seam 387 (Fig. 2). In the profile of the coal seams small differences of uranium content were noted as well (Tab. 1).

Correlation coefficients indicate the relationship between U and organic portion of the investigated coals. Following Yudovich and Ketris [21], it was assumed that U in coals probably occurs in organic complex compounds and solutions of humic and fulvonic acids, in association with clay mineral aggregates.

Table 3 Values of correlation coefficient between the contents of La, Yh, U, Y and Sc in coals and coals ash content from the LCB and correlations relationships between the elements. Correlation coefficient for confidence interval 95% is $r = \pm 0.35$

Element	La	Sc	Th	U
Ash₅₂₅	0.01	-0.49	0.25	-0.26
Ag	0.23	-0.17	-0.01	-0.32
Al	0.22	0.01	0.53	0.01
As	-0.17	0.00	-0.35	-0.02
Ba	0.38	-0.23	0.65	-0.18
Be	0.13	0.79	-0.03	0.51
Bi	-0.18	0.07	-0.31	-0.07
Ca	-0.12	0.04	-0.21	-0.10
Cd	-0.04	-0.10	0.01	-0.08
Co	0.23	0.63	-0.06	0.23
Cr	0.37	0.75	0.13	0.08

Cu	0.45	0.72	0.20	0.55
Fe	-0.27	0.12	-0.47	0.05
K	-0.13	-0.15	-0.11	-0.07
La	1.00	0.20	0.75	0.18
Mg	-0.48	0.13	-0.66	0.02
Mn	-0.39	0.06	-0.65	0.01
Mo	-0.01	0.37	-0.25	0.42
Na	-0.21	-0.23	-0.36	-0.07
Nb	0.58	0.27	0.63	0.40
Ni	0.17	0.77	-0.15	0.26
P	0.15	-0.35	0.40	-0.16
Pb	0.34	0.59	0.20	0.36
Sb	0.06	0.61	-0.15	0.59
Sc	0.20	1.00	0.02	0.33
Sn	0.40	-0.09	0.45	0.12
Sr	0.27	-0.33	0.59	-0.20
Th	0.75	0.02	1.00	0.12
Ti	0.29	0.04	0.58	-0.02
U	0.18	0.33	0.12	1.00
V	0.50	0.72	0.30	0.54
W	0.28	0.37	0.21	0.10
Y	0.42	0.67	0.34	0.37
Zn	-0.11	0.44	-0.26	0.39
Zr	0.50	-0.02	0.52	0.25

Conclusions

Contents of La, Sc, Th and U in LCB coals are markedly higher as compared with international coals, and higher (Sc and Th) and lower (U) as compared with other Polish Carboniferous coal basins. Lanthanum in Polish coals was determined for the first time. Distribution of ash, La and Th contents in the coals of the Lublin Formation is 1-modal, and contents of Sc and U are 2-3 modal. There is variation in the contents of ash, and La, Sc, Th and U in the coals in the profile of some coal seams, which are caused by sorption and different element diffusion rates. Organic matter has a fundamental influence on the contents of Sc and U in the coals; Th content is affected by mineral matter and La by both organic and mineral matter to the same extent. The elements derived probably from

granitoid rocks and pegmatitoids from NE Poland. In the LCB coals, La, Sc, Th and U occur in associations with elements marked by geochemical relationships.

References

- [1] Bogdanka, (2004): Ogólna charakterystyka górniczo-geologiczna złoża „Lubelski Węgiel Bogdanka” S.A, Przekrój geologiczny w rejonie szybów głównych w Bogdance.
- [2] Cebulak, S., (1983): Determination of geochemical components of coal from the point of view of full utilization and environmental preservation. In: Bojkowski, K., Porzycki, K., (Eds.), Geological problems of coal basins in Poland. Warsaw 335-361.
- [3] Goldschmidt, V.M. and Peters, C. (1931): Zur Geochemie des Scandiums. Nachr. Ges. Wissen. Göttingen. Math.-Physik. Kl., 257 – 279.
- [4] Hoffmann, J., (1945): Uran in Kohlen und Torf. *Chemie Erde* 15, 277 – 282.
- [5] Jęczalik A., 1970. Geochemia uranu w uranonośnych węglach kamiennych w Polsce. *Biuletyn Inst. Geol.* 224: Z badań petrograficzno – mineralogicznych i geochemicznych w Polsce 103 – 195.
- [6] Knafel, S., (1988): Charakterystyka petrograficzna węgla. In: Dembowski Z., Porzycki J. (Eds.), *Karbon Lubelskiego Zagłębia Węglowego*. *Prace Inst. Geol.* 122, 167-179.
- [7] Marczak, M., (1985): Geneza i prawidłowości występowania pierwiastków śladowych w węglach złoża Chełm w Lubelskim Zagłębiu Węglowym. *Prace Nauk. Uniw. Śl. w Katowicach* 748, 1 – 109.
- [8] Marczak, M. and Parzentny, H. (1985): Geochemiczna i ekologiczna ocena węgla złoża Chełm o podwyższonych i wysokich koncentracjach ołowiu. *Przeg. Geol.* 33, 680-683
- [9] Marczak, M. and Parzentny, H. (1989): Stężenie kadmu jako kryterium ekologicznej oceny węgla złoża Chełm w LZW. *Przeg. Geol.* 37, 272-275.
- [10] Nielubowicz, B. and Wróblewski, T. (1963): Przyczynek do poznania okruszcowania uranowego w węglach warstw radwanickich na Dolnym Śląsku. *Kwart. Geol.* 7, 114-128
- [11] Porzycki, J. and Zdanowski, A. (1995): Coal deposits, Lublin Coal Basin. In: Zdanowski A., Żakowa H. (Eds.), *The carboniferous system in Poland*. *Papers of the Polish Geological Institute* 148, 159-164.
- [12] Różkowska, A. (1993): Pierwiastki podrzędne i śladowe w węglu z głębokich poziomów karbonu produktywnego Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego. *Przeg. Geol.* 41, 780-785.
- [13] Ryasanov, I.V. and Yudovich, J.E. (1974): K diffuzionnoj teorii redkomat’nego obogaščenija kontaktnych zon ugol’nych plastov. *Litol. Pol. Iskop.*, nr 4, 64-67.
- [14] Ruppert, L.F., Kirschbaum, M.A., Warwick, P.D., Flores, R.M. and Affolter, R.H. (2002): The US Geological Survey's national coal resource assessment: the results. *Int. J. Coal Geol.* 50, 247 – 274.
- [15] Saldan, M. (1965): Metalogeneza uranu w utworach karbońskich Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego. *Biuletyn Inst. Geol.* 193: Z badań złóż kruszców 5, 111 – 165.
- [16] Spears, D.A. and Zheng, Y. (1999): Geochemistry and origin of elements in some UK coals. *Int. J. Coal Geol.* 38, 161 – 179.
- [17] Swaine, D.J. (1990): *Trace elements in coal*. Butterworths, London. 278 pp.

- [18] Widawska-Kuśmierska, J. (1981): Występowanie pierwiastków śladowych w polskich węglach kamiennych. *Przeg. Górn.* 37, 455-459.
- [19] Winnicki, J., (1964): Występowanie i sposób związania niektórych pierwiastków rzadkich w krajowych węglach kamiennych. *Prace Nauk. Instyt. Chemii Nieorg. i Metali Pierw. Rzadkich Pol. Wrocł.* 18, 45 – 71.
- [20] Yudovich, Ya.E., Ketris, M.P., Merc, A.W. (1985): Elementy – primesi v iskopaemykh ugljach. *Izdatielstvo “Nauka”, Leningrad*, pp. 1 – 239.
- [21] Yudovich, Ya.E. and Ketris, MP. (2005): Toksichnye elementy-primesi v iskopaemykh ugliach. *Russian Academie of Sciences, Ural Division Komi Scientific Centre, Institut of Geology, Ekaterinburg*, pp. 1 – 655.

**LOKALIZACE JEVŮ AKUSTICKÉ EMISE V ANIZOTROPNÍM PROSTŘEDÍ
LOCALIZATION OF ACOUSTIC EMISSION IN ANISOTROPIC VELOCITY FIELD**

Abstract

The questions of influence of a velocity model and accuracy of P-wave first arrival times on the seismoacoustic events foci localization are analyzed. It was found out that the velocity model can be approximated by a triaxial ellipsoid. Current velocity ellipsoid results from measured ultrasonic sounding data. The accuracy of automatic picking of P-wave first arrivals performed by Vallen software and by method of moment picker is discussed. New localization approaches were tested and applied for testing on migmatite samples.

Key words: Seismoacoustic event, location of event, velocity model

Úvod

Výzkum akustické emise (AE) vznikající při zatěžování hornin je nejen ve světě, ale i u nás prováděn již po řadu desetiletí. Souhrnný přehled využití akustické emise pro studium procesu porušování hornin podává například Lockner (1993). Současné sofistikované monitorovací aparatury však umožňují identifikovat seismoakustické impulzy v širokém frekvenčním i amplitudovém rozsahu s časovým rozlišením řádově mikrosekund. Právě detailní časové údaje o příchodu seismoakustických vln na síť snímačů umožňují lokalizaci mikroporušení v horninových vzorcích, která jsou ohnisky vyzářených elastických vln o akustických a ultrazvukových frekvencích. Analýza rozložení ohnisek impulsů AE a jejich migrace během zatěžování horninových vzorků svědčí o průběhu porušování horniny a je i důležitým údajem pro odhad budoucího totálního rozrušení vzorku.

Metody lokalizace ohnisek dějů AE vycházejí zejména z metod používaných v seismologii pro nalezení hypocenter zemětřesení. V průběhu zatěžovacích experimentů bývá zaznamenáno velké množství jevů AE (až desítky tisíc), které je možno lokalizovat. Z důvodu jejich vysokého počtu je nutné proces lokalizace provádět automaticky.

V tomto příspěvku budou diskutovány otázky přesnosti lokalizačních metod a uvedeny příklady na laboratorně testovaných vzorcích migmatitu z lokality Skalka. Přitom bude testována i metodika automatických odečtů časů prvních nasazení.

Metodika zpracování dat

Pro určování polohy ohniska zemětřesení existuje celá řada metod, které vycházejí z různých principů. Při laboratorním výzkumu porušování horninových vzorků

¹ Přírodovědecká fakulta University Karlovy v Praze, Geologický ústav AV ČR, v.v.i., Praha

² Ing., CSc., Geologický ústav AV ČR, v.v.i., Praha, tl@gli.cas.cz

³ RNDr., DrSc., Geologický ústav AV ČR, v.v.i., Praha, rudajev@gli.cas.cz

⁴ Doc., RNDr., CSc., Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Geologický ústav AV ČR, v.v.i., Praha, vilhelm@natur.cuni.cz

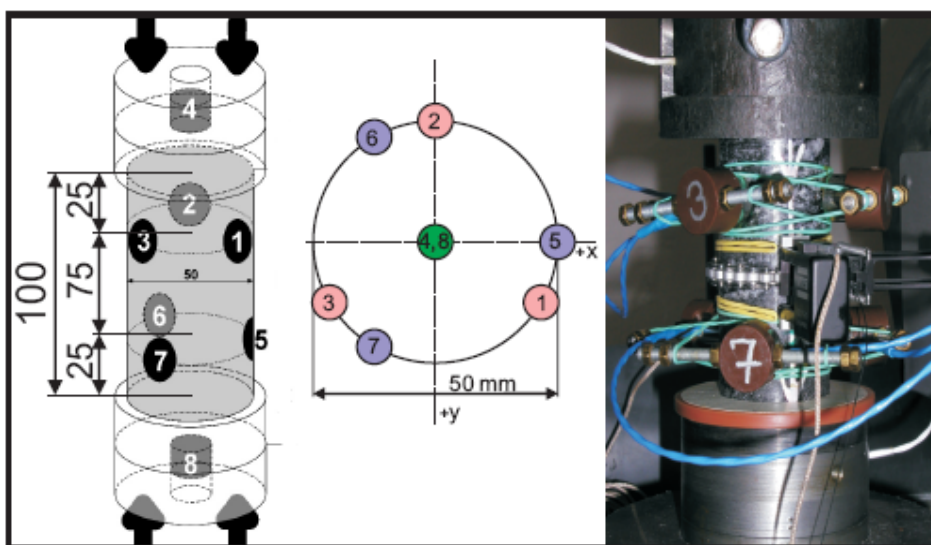
se používají často jednodušší algoritmy založené na využití časů příchodu vln v prvním nasazení (AE: downhill simplex algoritmus Nelder a Mead (1965) nebo Press at al (1987), Gaussian iterační algoritmus podle Locknera (1992), nebo modified Gaussian - Zang et. al, (1996)). Zásadním měřeným parametrem vstupujícím do lokalizačních algoritmů jsou časy příchodu jednotlivých vlnových fází ke snímačům tvořícím měřicí síť. Ze známé geometrie snímačů a rychlostního modelu jsou vypočteny souřadnice ohniska akustické emise. Jedním z algoritmů, který lze pro lokalizaci použít je grid search algoritmus. Jeho výhodou je možnost poměrně snadného přizpůsobení tohoto algoritmu i složitějšímu rychlostnímu modelu prostředí ve vzorku.

Přesnost lokalizace ovlivňují především tyto faktory: rozmístění registrační sítě snímačů, dostupnost jednotlivých fází, přesnost odečtů časů příchodu P vln na jednotlivé snímače a vhodnost rychlostního modelu. V laboratorních podmínkách je vlnový obraz tvořený složitou interferenční vlnou a například příchod S-vlny je prakticky nemožné identifikovat (jednosložkové snímače, omezené rozměry vzorku), proto se pro lokalizaci využívá jen prvního nasazení P-vln. Pro dosažení co nejvyšší přesnosti lokalizace je nezbytné určit časy příchodu co nej přesněji. Z důvodu velkého množství lokalizovaných jevů není možné provádět odečty nasazení ručně, ale je nutné použít nějaký automatický odečítač časů příchodu (picker). Automatickými odečty časů se zabývali například Lokajíček a Klíma (2006), Leonard a Kinnet (1999).

Pro lokalizaci AE se běžně používá isotropaní rychlostní model, kdy je konstantní rychlost šíření elastických vln určena na základě ultrazvukového prozařování. Pokud v průběhu zatěžovacího experimentu probíhá ultrazvukové prozařování, je možné na jeho základě hodnotu rychlosti upřesňovat podle toho, jak vzorek reaguje na působící napětí. Vlivem přednostní orientace minerálů, jednotlivých zrn, orientace pórového prostoru nebo systémů mikrotrhlin se horniny projevují různým stupněm anizotropie rychlosti, který je rovněž závislý na napětových podmínkách. V některých horninách tak dosahuje anizotropie takových hodnot, že použití isotropaního modelu s konstantní rychlostí je pro lokalizaci jevů AE nevhodné. I u hornin původně isotropaních, jako jsou např. granity nebo basalty, dochází někdy vlivem zatěžování k vývoji výrazné rychlostní anizotropie (Stanchits et. al.,2006).

Experimentální vybavení

Pro měření akustické emise na vzorcích hornin je využívána síť osmi širokopásmových piezokeramických snímačů WD (firmy PAC, USA). Rozložení těchto snímačů na vzorku zachycuje obrázek 1. Standardní vzorek je válcový, o výšce 100 mm a průměru 50 mm.



Obr. 1 Uspořádání snímačů při jednoosém zatěžování válcových vzorků.

Registrované elastické vlnění je piezokeramickými snímači přeměněno na elektrický signál. Ten je po zesílení registrován pomocí aparatury Vallen, která v dané konfiguraci umožňuje osmikanálovou registraci vlnových obrazů dějů AE s rozlišením 16 bitů. Využívána je spouštěná registrace, založená na překročení prahové úrovně na jednom z kanálů. Záznam každého kanálu představuje signál o délce 2048 vzorků, z toho je 512 bodů před spuštěním (u spouštěcího kanálu). Vzorkovací frekvenci je 10 MHz, což odpovídá kroku vzorkování 0,1 mikrosekundy.

Kromě záznamu vlnových obrazů umožňuje aparatura Vallen rovněž automatické online zpracování signálů AE. Pokud na některém kanálu dojde k překročení prahové úrovně je odečten absolutní čas příchodu a proběhne určení dalších parametrů AE (energie, maximální amplituda, délka trvání, úroveň šumu a další). Propojení těchto automaticky určených dat a zaznamenaných vlnových obrazů umožňuje společné indexování.

Pomocí aparatury Vallen v kombinaci se sítí snímačů je také realizováno ultrazvukové prozařování v průběhu zatěžování. Prozařování se využívá pro určení rychlosti elastických vln ve vzorku a dále ke stanovení velikosti a orientace rychlostní anizotropie. Anizotropii je v řadě případů možné vyjádřit rychlostním elipsoidem (Petružálek et al, 2007).

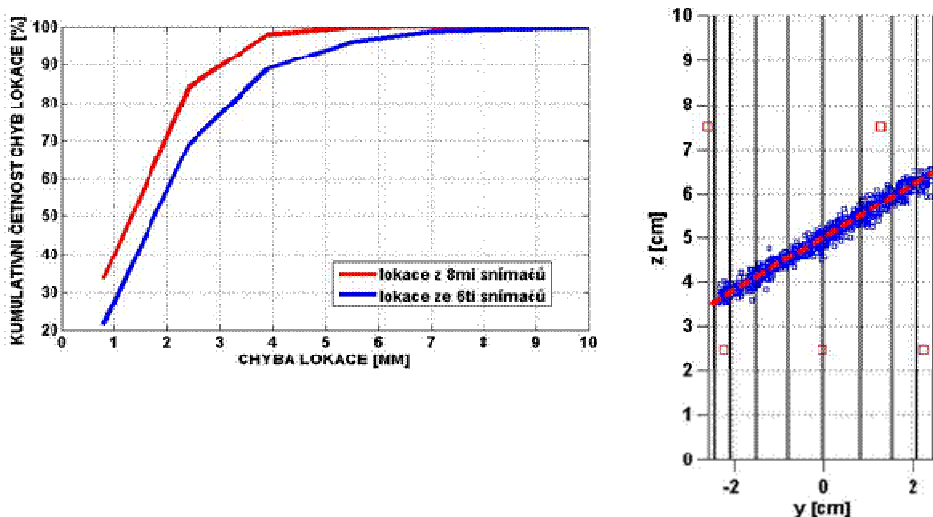
Horninový materiál

Laboratorní experimenty byly provedeny na vzorcích migmatitu, odebraného z lokality Skalka. Tento materiál se projevuje výraznou, makroskopicky viditelnou, plošně-paralelní strukturou. Rychlostní anizotropie a její závislost na struktuře migmatitu byla stanovena metodou ultrazvukového prozařování kulového vzorku ve 132 nezávislých směrech (Pros et al, 1998). Bylo zjištěno (Petružálek et al, 2007), že minimální rychlost je orientována kolmo k foliaci a za atmosférického tlaku

má hodnotu 3 km/s. Směr maximální rychlosti leží v rovině foliace a maximální rychlost dosahuje až 6 km/s.

Lokalizace s použitím anizotropního rychlostního modelu

Z velikosti anizotropie, zjištěné prozařováním kulového vzorku vyplývá, že pro lokalizaci není vhodné v daném případě použít izotropní rychlostní model s konstantní hodnotou rychlosti. Jako rychlostní model pro lokalizaci dějů AE v průběhu jednoosého zatěžování válcového vzorku byl proto zvolen anizotropní model určený trojosým rychlostním elipsoidem, získaný aproximací dat ultrazvukového prozařování v průběhu zatěžovacího experimentu (Petružálek et al, 2007).



Obr. 2 Vliv rychlostního modelu na přesnost lokalizace

Testování vlastností trojosého elipsoidu jako rychlostního modelu pro lokalizaci AE bylo provedeno pomocí modelového výpočtu. K tomu účelu byla zvolena modelová rovina porušení procházející středem vzorku se sklonem 30° od horizontální roviny. V této rovině bylo pomocí pravidelné sítě určeno 1000 uzlových bodů. Každý z těchto bodů se v modelovém výpočtu stal zdrojem seismického vlnění. S pomocí anizotropního rychlostního modelu, vycházejícího z rychlostního elipsoidu, bylo vypočteno 8 časů průchodu vlnění od zdroje v modelové rovině porušení ke každému z osmi snímačů na povrchu vzorku. Pro testování vlivu chyb v určení času příchodu byly takto stanovené časy zatíženy chybou. Tato chyba měla normální rozdělení a střední hodnotou 500 m/s. Hodnota 500 m/s byla stanovena na základě odhadu přesnosti aproximačního rychlostního elipsoidu pomocí RMS chyby. Lokalizace byla provedena metodou grid search, objem vzorku byl rozdělen pravidelnou trojrozměrnou sítí s krokem $dx=dy=dz=0.1$ mm.

Pro stanovení polohy ohniska AE děje v obecném případě postačují čtyři známé časy příchodů vlnění do čtyř snímačů. Pokud máme k dispozici více snímačů a více časů příchodu, lze problém lokalizace ohniska řešit optimalizací. V konkrétním případě byla k dispozici síť osmi snímačů, a tak bylo možné lokalizovat s optimalizací, a to i v případě vypuštění například dvou časů příchodů, které byly zatíženy největší chybou.

Odstranění časů zatížených největší chybou může vést ke zpřesnění určení polohy ohniska. To bylo rovněž ověřováno modelovým výpočtem.

Obrázek 2 (vpravo) zachycuje rozložení ohnisek po zpětné lokalizaci. Z obrázku 2 (vlevo) vyplývá, že vlivem rychlostního modelu dochází při lokalizaci z osmi časů k nepřesnosti do 3 mm v 90% bodů modelové roviny. Při lokalizaci ze šesti snímačů je vlivem přibližně stejnoměrného rozložení chyby na všech osmi snímačích přesnost výrazně nižší.

Vliv přesnosti odečtů na chybu lokalizace

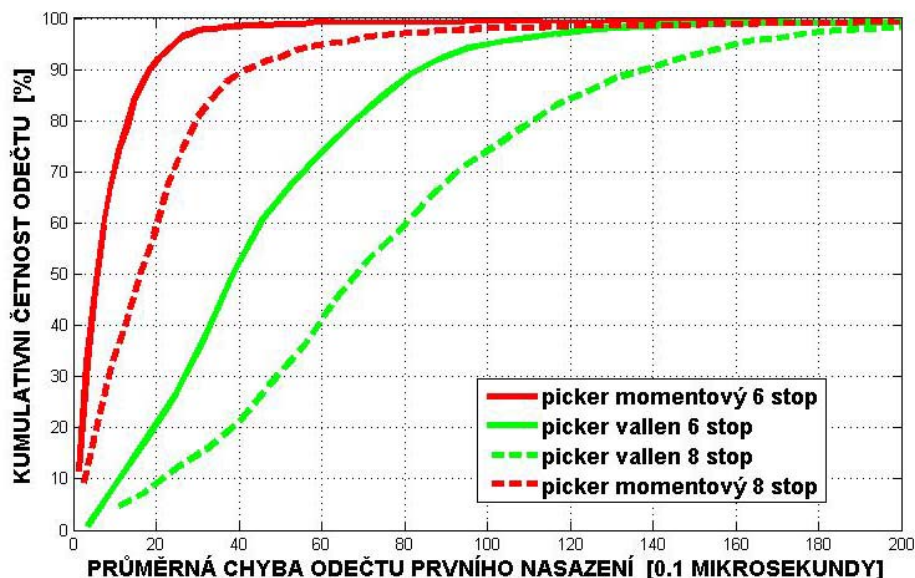
Chyba lokalizace jeví akustické emise závisí podstatným způsobem na přesnosti automatických odečtů prvního nasazení P-vln. Automatické odečty, které můžeme v současnosti využít pro lokalizaci, jsou dvojího druhu:

- odečty aparatury Vallen
- odečty momentového pickeru.

Registrační aparatura Vallen provádí automatické odečty na základě překročení trojnásobku střední úrovně šumu.

Odečty pomocí momentového pickeru jsou založené na výpočtu vyšších statistických momentů (Lokajíček a Klíma, 2006).

Pro testování přesnosti automatických odečtů bylo manuálně odečteno 1000 jevů AE. Rozdíly časů mezi automatickými a manuálními odečty jsou zachyceny na obrázku 3, kde chyba odečtu představuje aritmetický průměr osmi nebo šesti rozdílu pro každý testovaný jev.



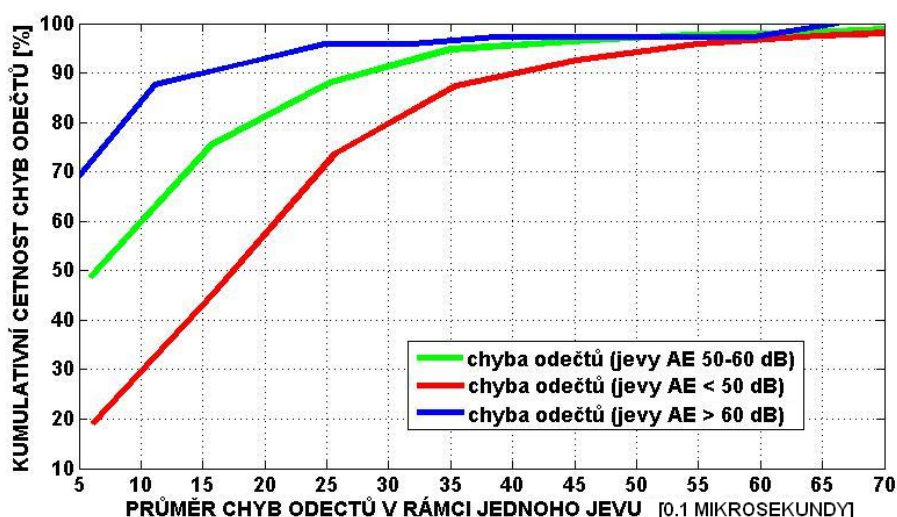
Obr. 3 Přesnost automatických odečtů

Z obrázku 3 jasně vyplývá vyšší přesnost časů určených pomocí automatických momentových odečtů v porovnání s odečty pomocí software Vallen. Další rozbor se proto zaměřil jen na analýzu přesnosti momentového pickeru.

Při využívání časů odečtů zjištěných pomocí automatických procedur lze uvažovat o tom, že všechny časy příchodu nejsou stanoveny se stejnou chybou. Bylo

zjištěno, že často u jednoho děje AE mohou být některé odečty zatíženy větší chybou, než ostatní. Obrázek 3 ukazuje významný rozdíl v průměrné chybě odečtu, když je tato chyba počítána ze všech osmi nebo jen z šesti nejpřesnějších časů. V takovémto případě by jevy AE mohly být přesněji lokalizovány, pokud by nejméně přesně odečtené časy příchodu byly z procesu lokalizace vyloučeny.

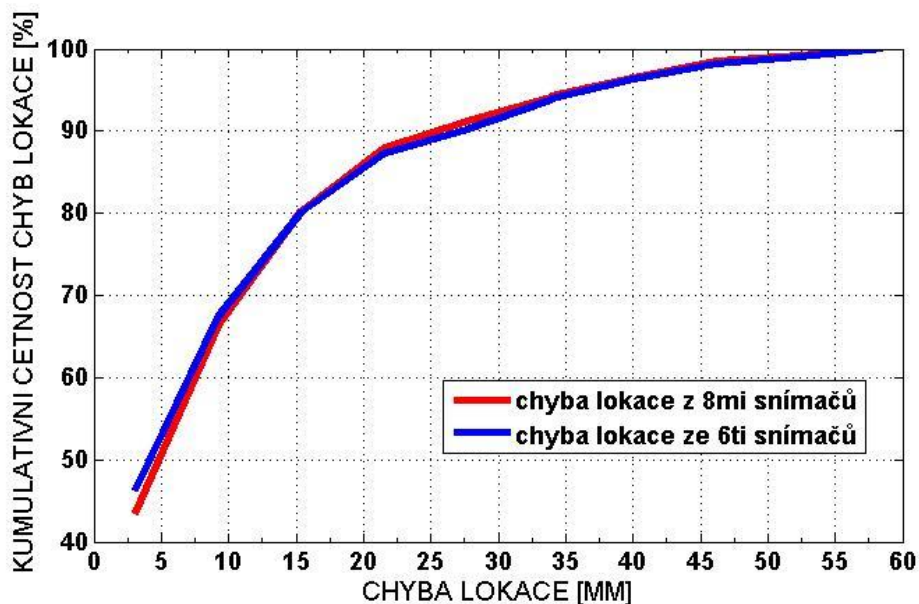
Obrázek 4 znázorňuje přesnost momentových odečtů v závislosti na průměrné maximální amplitudě jevu. Chybou odečtu je opět míněn průměrný rozdíl mezi ručními a momentovými odečty (jeden jev, 8 odečtů). Velikost amplitudy v dB je vztažena k úrovni $LSB = 1\mu V$. Registrované jevy mají amplitudy od 40 do 100 dB, přičemž množství jevů v závislosti na velikosti amplitudy logaritmicky ubývá. Z obrázku 4 vyplývá, že výrazně přesněji jsou automatickým procesem odečítány časy příchodu jevů s průměrnou amplitudou větší než 60 dB. Průměrná chyba 70% těchto jevů je 0.5 mikrosekundy, což odpovídá posunu o pět vzorků signálu.



Obr. 4 Přesnost automatických momentových odečtů v závislosti na amplitudě jevu

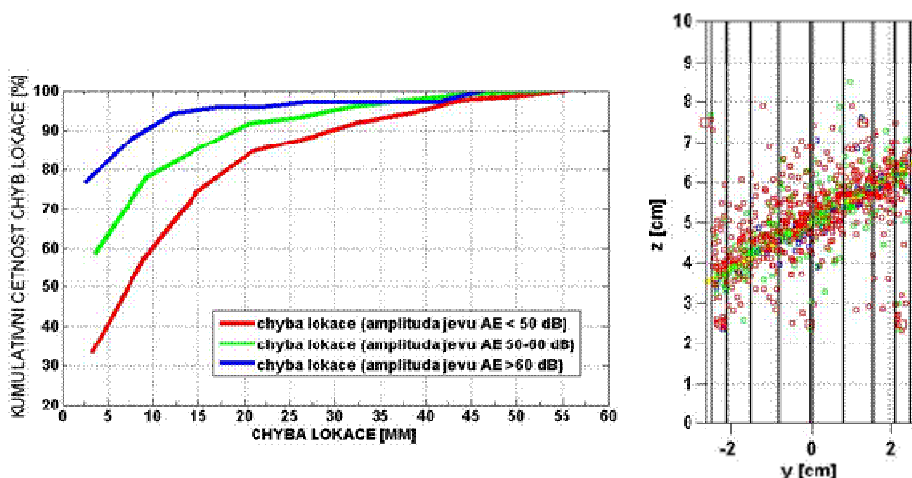
Testování vlivu přesnosti momentových automatických odečtů bylo provedeno modelovým výpočtem v rychlostním prostředí popsaném trojosým rychlostním elipsoidem v objemu odpovídajícím velikosti vzorku. V tomto objemu byla zvolena testovací rovina procházející středem vzorku se sklonem 30° od horizontální roviny. Testovací rovina byla v objemu vzorku rozdělena pravidelnou sítí na 1000 bodů, pro které byly podle rychlostního elipsoidu a rozložení snímačů vypočteny časy průchodu vzorkem. K těmto časům byly přičteny skutečně naměřené časové rozdíly mezi manuálně a automaticky odečtenými časy příchodu pro tisíc jevů AE. Z takto zašuměných časů byla zpětně provedena lokalizace metodou grid search ($dx=dy=dz=0.1$ mm). Lokalizace byla provedena jak ze všech osmi časů, tak i ze šesti nevhodnějších časů. Lokalizace ze šesti časů je realizována následujícím způsobem. Nejprve provedeme lokaci ze všech m (osmi) snímačů, které jsou k dispozici. Pro takto určené ohnisko zjistíme, která skupina $m-1$ snímačů dává nejmenší sumu kvadrátů odchylek časů naměřených a časů odpovídajících spočtené poloze ohniska. Z těchto $m-1$ snímačů pak spočítáme skutečnou lokaci. Tento postup je opakován dvakrát a postupně jsou

odstraněny dva snímače, které v tomto smyslu působí největší chybu. Na obrázku 5 je znázorněna chyba lokace z osmi a ze šesti snímačů.



Obr. 5 Vliv počtu snímačů na přesnost lokace z automatických momentových odečtů

Pokud by odečty na všech osmi snímačích pro lokalizovaný jev měly zhruba stejnou chybu, pak by lokalizace z osmi časů byla přesnější než lokalizace ze šesti časů, jak je vidět na obrázku 2b. Na obrázku 5 je však vidět, že lokalizace z osmi i šesti snímačů je přibližně stejně přesná. To by mohlo ukazovat, že lokalizace ze šesti snímačů je přesnější pro ty jevy AE, které mají výraznou nepřesnost v několika odečtených časech příchodu. K významnému zpřesnění lokace by potom měla vést lokalizace jevů z maximálního možného počtu dobře odečtených časů příchodu osmi, sedmi či případně šesti. Kritériem pro případné vyřazení nevhodného času z procesu lokalizace by mohla být velikost poklesu sumy kvadrátů odchylek časů naměřených a časů odpovídajících spočtené poloze ohniska. Vzhledem k tomu, že časy vypočtené pro modelovou rovinu byly zašuměny skutečně naměřenými chybami odečtů, můžeme přesnost lokace vztáhnout k průměrné maximální amplitudě jevu.



Obr. 6 Přesnost lokace z automatických momentových odečtů v závislosti na amplitudě jevu

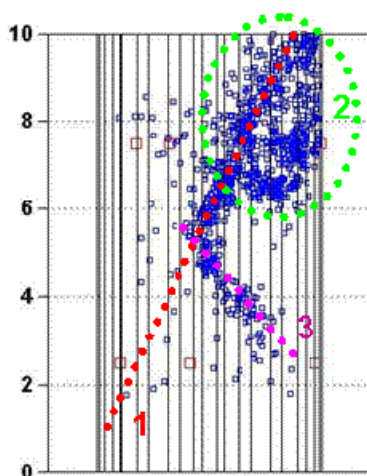
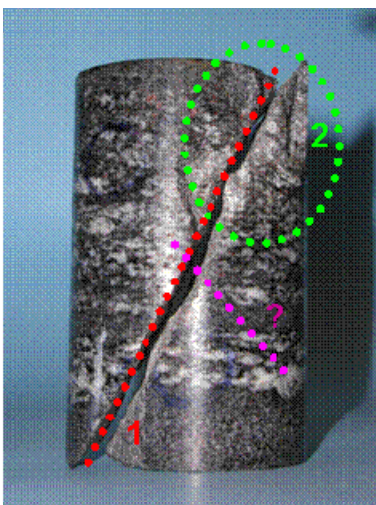
Obrázek 6 (vpravo) zachycuje rozložení modelových jevů kolem testovací roviny v závislosti na průměrné maximální amplitudě jevu. Kvantitativně je tato závislost znázorněna na obrázku 6 (vpravo), ze kterého vyplývá, že nejpřesněji lokalizované jevy jsou ty, které mají průměrnou maximální amplitudu větší než 60 dB. U 75% těchto lokalizovaných jevů způsobuje nepřesnost automatického momentového odečtu (do 0,5 mikrosekundy – viz obr. 2 vlevo) chybu lokace do 2,5 mm.

Korelace vybraných jevů AE s porušením testovaného vzorku

V předchozí části byl na základě modelových výpočtů zjištěn vliv nepřesnosti rychlostního modelu a nepřesností odečtů prvního nasazení na lokalizaci jevů AE. Rychlostní model způsobuje u 70% jevů chybu lokalizace do 2 mm. Pro 75% jevů s průměrnou maximální amplitudou větší než 60 dB je chyba lokalizace způsobená vlivem nepřesnosti automatických momentových odečtů do 2,5 mm. Pokud tedy budeme lokalizovat jevy s větší průměrnou maximální amplitudou než 60 dB, neměla by chyba lokalizace způsobená společným vlivem rychlostního modelu a nepřesností odečtů u většiny jevů přesáhnout 5 mm.

Pro ověření modelových výpočtů byla provedena lokalizace vybraných jevů AE s amplitudou větší než 60 dB. Tyto jevy byly vybrány z jevů v oblasti po překročení 90% meze pevnosti, kde by měla být výrazná korelace prostorového rozložení jevů AE a oblastí porušení testovaného vzorku migmatitu (Obr. 7).

Na obrázku 7 je fotografie porušeného vzorku migmatitu spolu s vyobrazením tisíce výše popsaných lokalizovaných jevů AE a znázorněnými oblastmi porušení vzorku. Konečná rovina porušení označená číslem 1 ve své horní části velmi dobře koreluje s podstatnou částí lokalizovaných jevů AE. Oblast největšího makroskopicky viditelného porušení vzorku je označená číslem 2 a tvarem i velikostí odpovídá významnému shluku jevů AE. Shluk jevů AE označený číslem 3 se makroskopicky viditelným porušením na vzorku neprojevil.



Obr. 7 Korelace prostorového rozložení vybraných jevů AE s porušením testovaného vzorku

Závěr

Trojosý elipsoid se prokázal jako vhodný rychlostní model pro lokalizaci jevů v anisotropním prostředí. Chyba lokalizace způsobená nepřesností rychlostního modelu pro provedené experimenty nepřesahuje u 70% jevů 2 mm.

Pro lokalizaci jevů AE je vhodnější použít momentové automatické odečty než automatické odečty aparatury Vallen.

Pomocí automatických momentových odečtů lze docílit lokalizaci ohnisek s přesností do 2,5 mm u 75 % jevů s průměrnou maximální amplitudou větší než 60 dB.

Lokalizace jevů odečtených momentovým pickerem z osmi nebo šesti snímačů je přibližně stejně přesná. Ke zvýšení přesnosti lokalizace by mohlo vést využití maximálního možného počtu správně odečtených časů příchodu.

Předpoklady, zjištěné na základě modelových výpočtů, byly ověřeny srovnáním polohy oblastí makroskopicky viditelného porušení a lokalizovaných jevů AE.

Poděkování

Tato práce vznikla za finanční podpory projektu GAČR číslo 205/06/0906, projektu GAUK č. 47007 a výzkumných záměrů Přírodovědecké fakulty UK č. MSM0021620855 a Geologického ústavu AV ČR v.v.i. č. AVOZ 30130516. Speciální poděkování patří technikům Laboratoře fyzikálně-mechanických vlastností hornin Z. Erdingerovi, V. Fillerovi a J. Strakové za přípravu vzorků a realizaci experimentálních měření.

Literatura

- [1] Leonard, M. and Kennett, B.L.N. (1999): Multi-component autoregressive techniques for the analysis of seismograms, Phys. Earth Planet. Int. 113(1–4), 247.
- [2] Lockner, D.A., Byerlee, J.D., Kuksenko, V., Ponomarev, A. and Sidorin, A.(1992): Observations of quasistatic fault growth from acoustic emissions, in

- Fault Mechanics & transport Properties of Rocks, pp. 3-31, eds Evans B. & Wong T.-F., Academic Press, London.
- [3] Lockner, D.A. (1993): The role of acoustic emission in the study of rock fracture, *Int. J. Rock Mech. Mining Sci. Geomech. Abstr.*, 30, 883-899.
 - [4] Lokajiček, T. and Klíma, K. (2006): A first arrival identification system of acoustic emission (AE) signals by means of a high-order statistics approach, *Meas. Sci. Technol.*, 17, 2461-2466.
 - [5] Nelder, J. and Mead, R. (1965): A Simplex method for function minimization, *Computer J.* 7, 308–312.
 - [6] Petružálek, M., Vilhelm, J., Lokajiček, T. and Rudajev, V. (2007): Assessment of P-wave anisotropy by means of velocity ellipsoid, *Acta Geodynam. Geomater.* Vol. 4, No. 3 (147), pp. 23-31.
 - [7] Press, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky, S. and Vetterling, W.T. (1987): *Numerical Recipes*, Cambridge University Press, Cambridge.
 - [8] Pros, Z., Lokajiček, T. and Klíma, K. (1998): Laboratory study of elastic anisotropy on rock symplect, *Pure Appl. Geophys.*, 151, 619–629.
 - [9] Stanchits, S., Vinciguerra, S. and Dresen, G. (2006): Ultrasonic velocities, acoustic emission characteristics and crack damage of basalt and granite, *Pure Appl. Geophys.* 163, 974–993.
 - [10] Zang, A., Wagner, F.C. and Dresen, G. (1996): Acoustic emission, microstructure and damage model of dry and wet sandstone stressed to failure, *J. Geophys. Res.*, 101, 17507-17521.

Martin PROCHÁZKA¹

**KAROTÁŽ VRTŮ V RÁMCI ZAKÁZKY "REKONSTRUKCE CELOSTÁTNÍ SÍTĚ
POZOROVACÍCH VRTŮ PODZEMNÍCH VOD ČR" – ČHMÚ**

**GEOPHYSICAL WELL LOGGING IN FRAME OF PROJECT "RECONSTRUCTION
OF NATIONAL NETWORK OF OBSERVATION WELLS OF UNDERGROUND
WATERS IN CZECH REPUBLIC"**

Abstract

Brief information about project "Reconstruction of national network of observation wells of underground waters in Czech Republic" is presented in this paper. For this purpose, geophysical well logging was used as basic method. Examples of measurement are included.

Key words: underground water, geophysical well logging

V rámci zakázky jsme v průběhu duben 2006 až duben 2008 provedli měření ve zhruba 500 nových vrtech na celém území České republiky.

Celé území České republiky bylo rozděleno na sedm pracovních celků. Každý pracovní celek měl na starosti hydrogeolog nejlépe obeznámený s danou oblastí a supervizor, případně jeho zástupce- odborníci na vrtnou problematiku s hlubokými znalostmi z hydrogeologie.

Karotážní měření a TV prohlídky vrtů byly základem pro rozhodnutí o tom, zda vrt splňuje podmínky pro zařazení do pozorovací sítě ČHMÚ pro dlouhodobé monitorování podzemních vod České republiky.

Rozsah a způsob měření se lišily v závislosti na hloubce vrtů a na tom, zda vrt zastihl jediný aquifer nebo více aquiferů.

V případě mělkých vrtů pro sledování kvartérní zvodně byla, a to se souhlasem provozního hydrogeologa a supervizora, ve většině případů provedena revizní prohlídka pouze televizní kamerou.

Ve vrtech, které zastihly alespoň dva aquifery o různých výtlačných úrovních a ve všech vrtech o hloubkách 50-100 m byla navíc provedena revizní karotáž ve vystrojeném vrtu.

Ve všech vrtech hlubších než 100 m bylo kromě revizního karotážního měření a televizní prohlídky vrtu provedeno karotážní měření během vrtných prací.

V případě hlubokých vrtů karotážní měření během vrtných prací bylo prováděno vždy po dosažení dalšího předpokládaného aquiferu. Nejhlubší vrty byly vyhloubeny v severozápadní části křídové tabule; dosahovaly hloubek cca 750 m.

Na základě výsledků karotáže a TV prohlídek a po návrhu supervizora a rozhodnutí zadavatele byl vrt buď zařazen do sítě pozorovacích objektů, anebo bylo nařízeno odstranění nedostatků, případně byla nařízena odborná likvidace objektu na náklady zhotovitele.

Součástí těchto měření bylo ke každému objektu vyhodnocení a syntetizující zpráva o výsledcích karotážního měření a televizní prohlídky.

¹ RNDr., Aquatest a.s., prochazka@aquatest.cz

Komplexní výsledky karotáže byly předávány zadavateli formou písemnou a elektronickou.

Na základě zadávacích podmínek byly ve vrtech sledovány tyto parametry:

Karotáž v průběhu vrtání před konečnou výstrojí

- ☐ Geologický profil vrtu, vymezení aquiferů a aquitardů.
- ☐ Tektonika, pukliny, stupeň chemické alterace hornin.
- ☐ Kvalita zapažnicové cementace.
- ☐ Prostorový průběh vrtu.

Revizní karotáž, TV (=karotáž po vystrojení a vyčištění vrtu)

- ☐ Kvalita zapažnicové cementace.
- ☐ Přítomnost obsypu.
- ☐ Zjišťování hydrogeologických parametrů: zjištění přítoků, zjištění rychlostí a směru proudění podzemních vod ve vrtu, ověření, zda nedochází k hydraulické interakci mezi jednotlivými kolektory.
- ☐ Vymezení propustných poloh a jejich hydraulické vlastnosti.
- ☐ Kontrola výstroje, perforace.

Jak plyne ze zadání, byla pro relevantní zodpovězení otázky, zda vrt splňuje požadavky pro zařazení do systému dlouhodobého monitorování konkrétní zvodně, požadována komplexní "diagnóza" vrtů. Proto byl používán poměrně rozsáhlý soubor karotážních metod. Ve vrtech byly aplikovány tyto karotážní metody:

gama karotáž, neutron-neutron karotáž, hustotní karotáž, magnetická karotáž, odporová elektrokartotáž, kavnometrie, inklinometrie, termometrie, rezistivimetrie, metoda ředění označené kapaliny, metoda čerpání, průtokometrie (v případě vrtů s přetokem a vrtů s rychlým prouděním vody), cement log, spíše výjimečně akustická karotáž a detektor azimutárního směru proudění, naopak ve všech případech televizní prohlídka vrtů kamerou s možností natáčení ve svislé i vodorovné ose. Kombinací těchto metod bylo možno podat informaci o všech bodech uvedených v zadání.

Všechna karotážní měření v průběhu celé akce byla zajišťována našimi čtyřmi plně vybavenými karotážními aparaturami zabudovanými ve dvou vozidlech Mitsubishi L300 (aparatury K1000), ve vozidle IVECO Daily (aparatura GOI) a spíše výjimečně ve speciálních případech hlubokých vrtů aparaturou Geocom zabudovanou ve vozidle Renault B110. Televizní prohlídky byly zajišťovány aparaturou "RG" zabudovanou ve třetím vozidle Mitsubishi L300 a v ojedinělých případech rovněž přenosnou televizní aparaturou "GeoVision". TV prohlídky části mělkých vrtů na území Moravy prováděli pracovníci firmy Lidařik, s nimiž jsme uzavřeli subdodavatelskou smlouvu a kteří nám posílali originály televizních prohlídek na DVD ke zpracování.

Všechna karotážní měření byla zpracována jednotně systémem programů gdBase vers.4.

Svým rozsahem se jednalo o největší karotážní zakázku za dobu existence naší firmy. Její úspěšné zvládnutí si vyžádalo velké pracovní nasazení všech sedmi pracovníků divize karotáž AQUATEST a.s., stovky hodin přesčasů při nočních měřeních, práce o víkendech, koordinace při vybírání dovolené a jejich odkladech po dobu dvou let. Nezbytnou podmínkou "přežití" takto silného provozního zatížení byl i pravidelný servis složité karotážní techniky včetně údržby terénních vozidel.

Uvědomujeme si nyní, po skončení zakázky, že byl získán unikátní a kvalitní soubor geofyzikálních, geologických a hydrogeologických dat na území celé České republiky.

Zpracování tak rozsáhlého souboru údajů jednotnou metodikou přispělo i ke zdokonalení vlastních technologií a samozřejmě k novým pohledům na problematiku proudění podzemních vod. V některých oblastech se jednalo o nové znalosti, které překonávají původní pohledy na režim proudění podzemních vod.

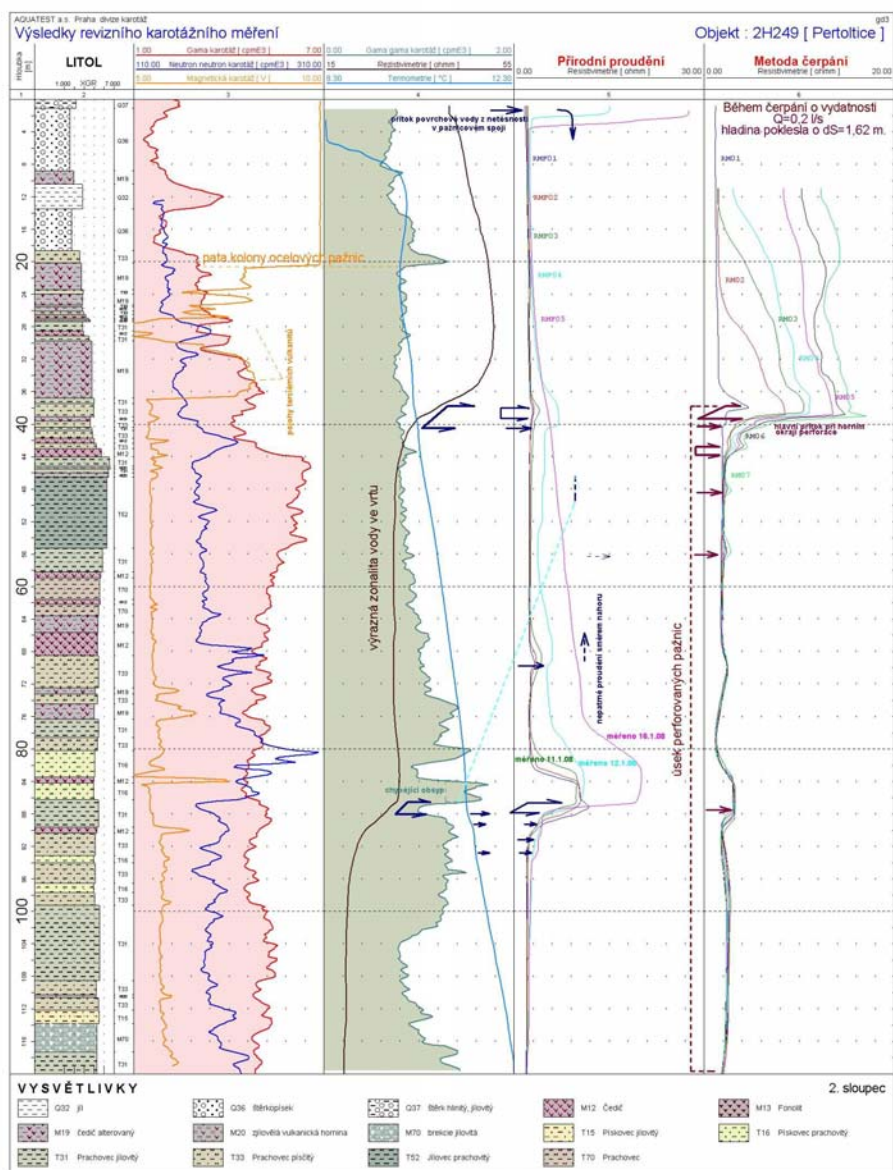
Zároveň si ale uvědomujeme i tu skutečnost, že karotážní zakázka takového rozsahu a charakteru se téměř jistě nebude v nejbližších letech opakovat.



Obr.1 Karotážní měření a TV prohlídka v novém vrtu s přetokem



Obr.2 televizní prohlídka starého vrtu před rekonstrukcí- havarijní stav pažnice



Obr.3 Příklad výsledků karotážního měření ve vrtu v Pertolticích

GEOELEKTRICKÁ DOKUMENTÁCIA NENASÝTENEJ ZÓNY
GEOELECTRIC DOCUMENTATION OF NONSATURATED ZONE

Abstract

In paper is discussed of possibilitie and limitation of electric resistivity documentation of nonsaturated zone. Those is presented on characterisation at different places in soil with shallow and deeper underground water table and in mixture of rock and soil environmen .

Key words: nonsaturated zone, electric resistivity

Úvod

Je veľa prieskumov horninového prostredia, ktoré sú orientované na zistenie jeho obrazu do malých hĺbok (2 – 10 m). Do tejto kategórie patria hlavne úlohy riešené pre inžiniersku geológiu, environmentalistiku, archeológiu a iné.

Špecifikom plytkých geofyzikálnych prieskumov je fakt, že horninové prostredie v tomto intervale hĺbok obsahuje často hladinu podzemnej vody. Vyšetrovaný priestor je teda rozdelený minimálne na dve vrstvy: hornú, nad hladinou podzemnej vody a na dolnú, pod hladinou podzemnej vody. Tento významný faktor je nutné zohľadniť pri plánovaní prieskumu a hlavne pri interpretácii nameraných výsledkov.

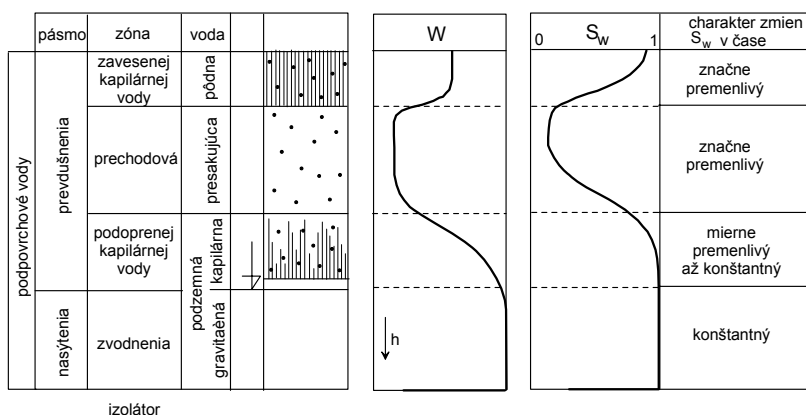
V tomto príspevku sa zaoberáme problematikou skutočnosti existencie tzv. nenasýtenej zóny, t.j. vrstvy horninového prostredia nad hladinou podzemnej vody a jej prejavu, resp. vplyvom na výsledky odporových meraní, realizovaných s cieľom charakterizovať plytké horninové prostredie (OP, VES, ERT).

Nenasýtená zóna

V príslušnej literatúre (napr. Mareš a kol., 1983) sa nenasýtená zóna charakterizuje špecifickým rozložením vlhkosti vo vertikálnom smere. Ako vidieť z obr.1, pri povrchu zeme je prítomná vrstva tzv. zavesenej kapilárnej vody (pôdna voda), ktorej prítomnosť a hrúbka v danom čase závisí na momentálnom stave zrážok (pretože týmto je utváraná) a na type pôdnej vrstvy a jej vegetačnom kryte. Obsah vody a vlhkosti v tejto vrstve je veľmi premenlivý. V smere do hĺbky nasleduje tzv. prechodná vrstva, do ktorej sa zrážková voda dostane iba zriedka a iba za určitých podmienok, priaznivých pre jej prietok a v čase výdatných zrážok. Vlhkosť v tejto vrstve môže byť v čase zrážok menšia ako vo vrstve zavesenej kapilárnej vody a v čase sucha väčšia ako vo vrstve nad ňou. Okrem toho môže prechodná zóna obsahovať lokálne nepriepustné polohy (ily), na ktorých sa môže vytvoriť vrstva vysunutej kapilárnej obruby. Obsah vlhkosti v tejto prechodnej vrstve je značne premenlivý. Ďalej do hĺbky nad hladinou podzemnej vody je ďalšia vrstva zvýšeného obsahu vlhkosti – vrstva podoprenej kapilárnej vody. Je to vlhkosť pochádzajúca z podzemnej vody, ktorá kapilárnymi silami v pórovom priestore vystúpila nahor. Jej hrúbka závisí na priemere pórov – čím sú tenšie, tým je hrubšia (v sprášiach boli pozorované hrúbky až do 20 m).

¹ RNDr., CSc., Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, Slovensko, rozimant@fns.uniba.sk

² Doc., RNDr., CSc., Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, Slovensko, gajdos@fns.uniba.sk



Obr.1 Zónovanie a rozdelenie vlhkosti v nenasýtenej zóne (spracované podľa Mareš a kol., 1983). W – zmena vlhkosti s hĺbkou, S_w – zmena stupňa nasýtenia pórov vodou.

Pod kapilárnou obrubou bezprostredne nasleduje horninové prostredie, ktorého pórový priestor je úplne zaplnený podzemnou vodou.

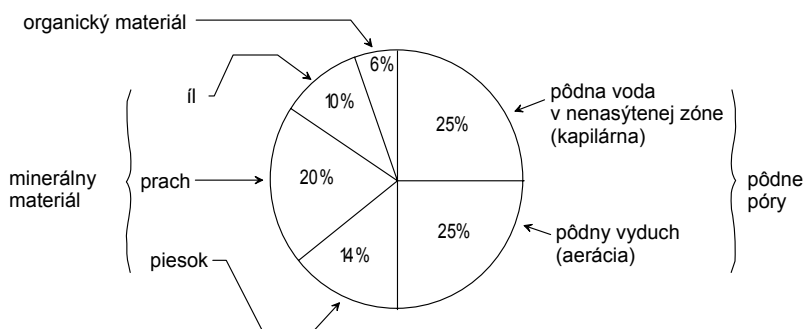
Otázka, ktorú chceme v ďalšom diskutovať znie: ako sa tento model prejavuje vo vertikálnom rozložení rezistivity (merného elektrického odporu)?

Pri odporových meraniach na horninovom prostredí zisťujeme množstvo a pohyblivosť nosičov elektrického náboja vo vyšetrovanom priestore. Keďže sa spravidla pohybujeme v prostredí s iónovou vodivosťou, množstvo voľných nosičov elektrického náboja je dané množstvom vlhkosti v nenasýtenej zóne, pretože voľné nosiče elektrického náboja sú tu zastúpené iónmi vo vode vytvárajúcej vlhkosť v pórovom priestore. Pohyblivosť týchto iónov závisí na spojitosti vlhkostnej blany, na priechodnosti pórov a na povrchovej vodivosti vytváranej prítomnosťou ílov v materiáli nenasýtenej, ale aj nasýtenej vrstvy.

Z uvedeného je zrejmé, že priestorové rozloženie rezistivity odráža materiálové zmeny (zrornosť sedimentu, percentuálny obsah ílových minerálov, percentuálny obsah vlhkosti a jej mineralizácia) a zmeny v stave zhutnenia sedimentu (miera pórovitosti). Na základe posúdenia týchto faktorov je možné analyzovať napr. ERT obrázky a pokúsiť sa interpretovať príčiny diferenciácie rezistivity vo vyšetrovanom horninovom prostredí.

Materiál nenasýtenej zóny

Približný obraz o materiáli nenasýtenej zóny je možné získať z grafu uvedenom McNeilom (McNeil, J.D., 1980) (obr.2). I keď sa týka hlavne pôdneho horizontu, dá sa po miernej úprave použiť aj pre ostatnú časť nenasýtenej vrstvy – ubúda organický materiál, mení sa objem pórov, pomer vlhkosti a vzduchu a zrejme zmeny prebiehajú aj v pomere troch minerálnych zložiek ku ktorým sa miestami pridáva aj kamenitá (štrková) zložka.



Obr.2 Objemové zloženie hlinitej pôdy (upravené podľa McNeil, J.D., 1980).

Prítomnosť vody v pórovom priestore nenasýtenej zóny je priestorovo a časovo veľmi premenná. Táto premenlivosť je závislá na pórovitosti (Φ) a jej zmenách v priestore nenasýtenej zóny. Okrem percentuálneho zastúpenia pórov (čo podľa obr.2 môže dosahovať aj 50%) je z hľadiska jej pohybu a nepriamo aj elektrickej vodivosti dôležitá priechodnosť pórov a ich prierez. Tieto môžu významne ovplyvniť transport vlhkosti v nenasýtenej zóne a spôsobiť jej rezistívne štruktúrovanie.

Okrem priestorovej premenlivosti je významná aj časová premenlivosť prítomnosti vody v pórovom priestore. Táto časová premenlivosť závisí predovšetkým na aktivite zrážok a na podmienkach pre výpar tej časti zrážkovej vody, ktorá zostáva predovšetkým vo vrstve kapilárnej zavesenej vody. Keďže množstvo vody v pórovom priestore sa mení, na jeho hodnotenie sa používa parameter nasýtenie – S_w (jeho hodnota sa mení v intervale 0 – 1). Z obr.1 vidieť, že vyčleňujúcim znakom nenasýtenej zóny je to, že v nej $S_w < 1$. Teda k premenlivosti pórovitosti pristupuje aj premenlivosť nasýtenia pórov, ktoré je v nenasýtenej zóne vždy menšie ako 100%.

Ako sme uviedli, nosiče náboja sú v bežnom horninovom prostredí (bez prítomnosti kovových materiálov) prítomné takmer výlučne (ak neuvažujeme umelé vodiče) v podzemnej vode vo forme iónov. Množstvo iónov v tejto vode je závislé na tom, koľko solí je vo vode rozpustených – jej mineralizáciou (M). Pre potreby výpočtu rezistivity sa rôzne druhy solí prepočítavajú na ekvivalentnú NaCl ($\text{mg/l} = 1 \text{ ppm}$). Mineralizácia pitnej vody sa pohybuje okolo 500 ppm, morská voda má mineralizáciu okolo 35.000 ppm a voda z vodovodu okolo 311 ppm (podľa údajov Univerzity Lausanne). Vo výpočtoch rezistivity sa s mineralizáciou pórovej vody kalkuluje cez rezistivitu (alebo vodivosť) pórovej vody (ρ_w , resp. γ_w).

Archieho zákon

Veľa autorov sa pokúšalo výpočtom odhadnúť rezistivitu horninového prostredia budovaného zeminami. Vzhľadom na heterogenitu takéhoto prostredia sa presný výpočet v reálnych podmienkach realizovať nedá, pretože prakticky nie je možné presne určiť podiel jednotlivých zložiek vo vyšetrovanom objeme (navyše tento objem sa pri bežných meraniach nedá presne vymedziť) ani presne stanoviť ich hodnoty vstupujúce do výpočtu. Preto je aspoň snaha minimalizovať počet premenných (jednoduché homogénne prostredia s jednoduchou geometriou a pod.). Základnú podobu vzťahu, ktorú akceptuje prakticky celá odborná verejnosť navrhol Archie v roku 1942 a jeho podoba pre nenasýtenú zónu v rozšírenej podobe pre nespevnené alebo spevnené materiály má tvar

$$\gamma_s = A\gamma_w\Phi^m S_w^n + \gamma_c$$

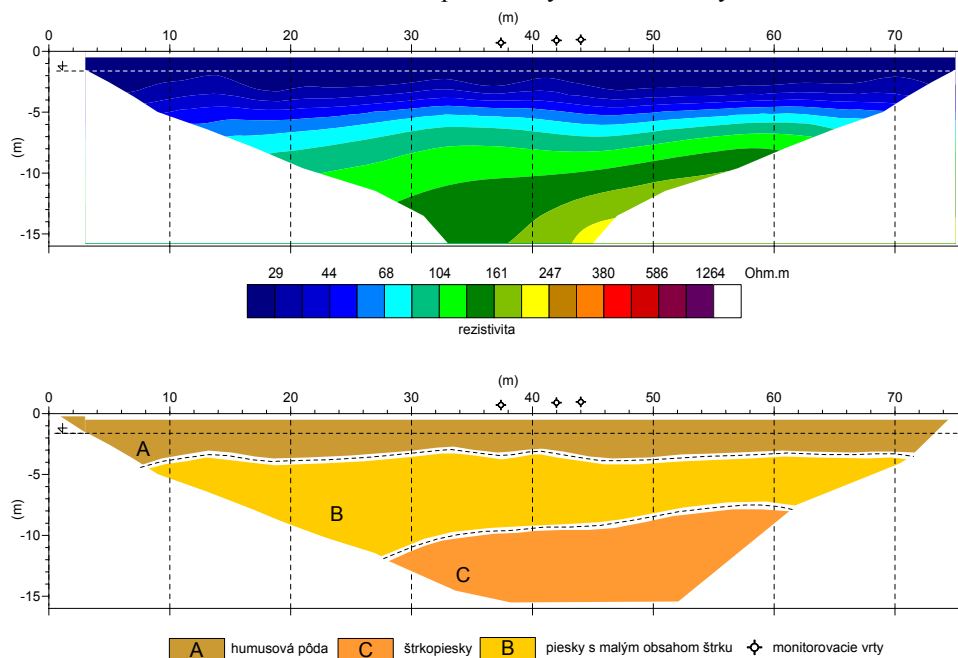
kde γ_d je vodivosť horninového prostredia, A je všeobecná konštanta, γ_w je vodivosť pórovej tekutiny, Φ je pórovitosť, S_w je nasýtenie vodou, m je faktor tvaru častíc, n je empirická konštanta a zvyčajne sa kladie rovná 2, γ_c je vodivosť ílovej zložky zemín (charakterizuje povrchovú vodivosť ílových minerálov prítomných vo vyšetrovanom prostredí). Parameter m , resp. voľba jeho hodnoty má neukončenú históriu a v súčasnosti je aktuálny vzťah, ktorý na základe empirických údajov publikovali Sen a kol. (1988)

$$m = 1,67 + 1,953 (CEC/100)^{1/2}$$

kde CEC je hodnota výmennej kapacity katiónov a jej hodnota sa pohybuje od 5 (meq/100 g) pre jemné štrky po 500 (meq/100 g) pre čistý íl. Parameter CEC takto zavádza hodnotenie prítomnosti ílov aj do exponenta pórovitosti.

Interpretácia výsledkov merania metódou ERT

Rezistivné rezy zostavujeme v prevažnej miere z výsledkov meraní metódou VES a ERT. Z týchto dvoch metód najväčšiu hustotu informácie poskytuje metóda ERT. Preto v ďalšom budeme diskutovať interpretáciu výsledkov získaných touto metódou.

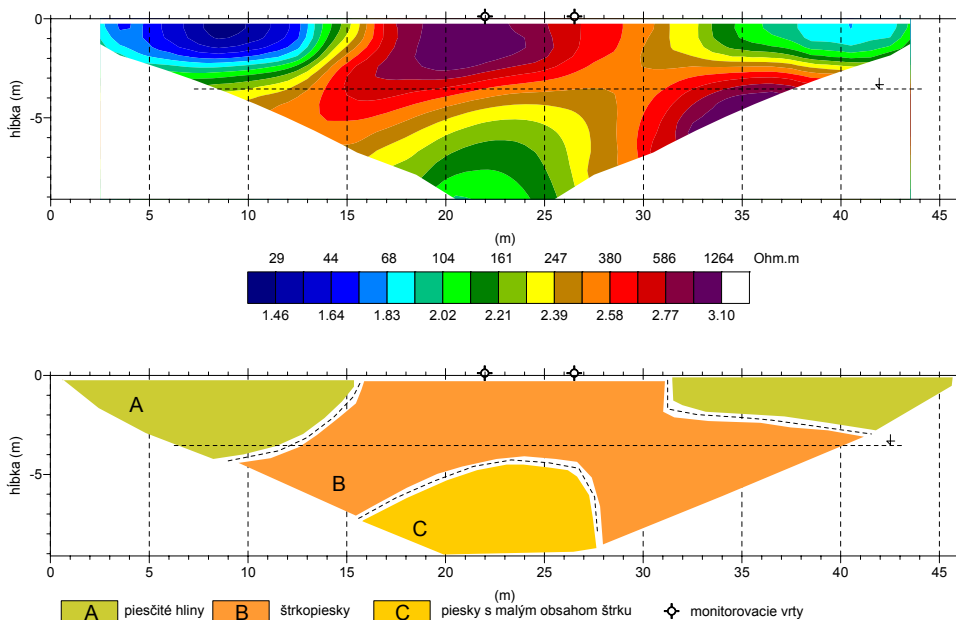


Obr.3 Výsledok merania na hydrologickom monitorovacom stanovišti Čilízska Radvaň.

Ako uvádzame v predošlej časti, na jednej strane máme k dispozícii možnosť zostaviť pomocou teoretických predpokladov približný model rezistivného obrazu nenasýteného horninového prostredia, na druhej strane stojí realita charakterizovaná veľkou lokálnou premenlivosťou materiálového zloženia, pórového priestoru a jeho nasýtenia rôzne mineralizovanou vlhkosťou. Prax však ukazuje, že je možné zmierniť túto neurčitosť obrátenej úlohy a z reálnych výsledkov zostaviť modely, ktoré budú mať svoju akceptovateľnú výpovednú hodnotu. Vzhľadom na obmedzený priestor a zložitú situáciu si na tomto mieste dovoľíme načrtnúť možné východiská.

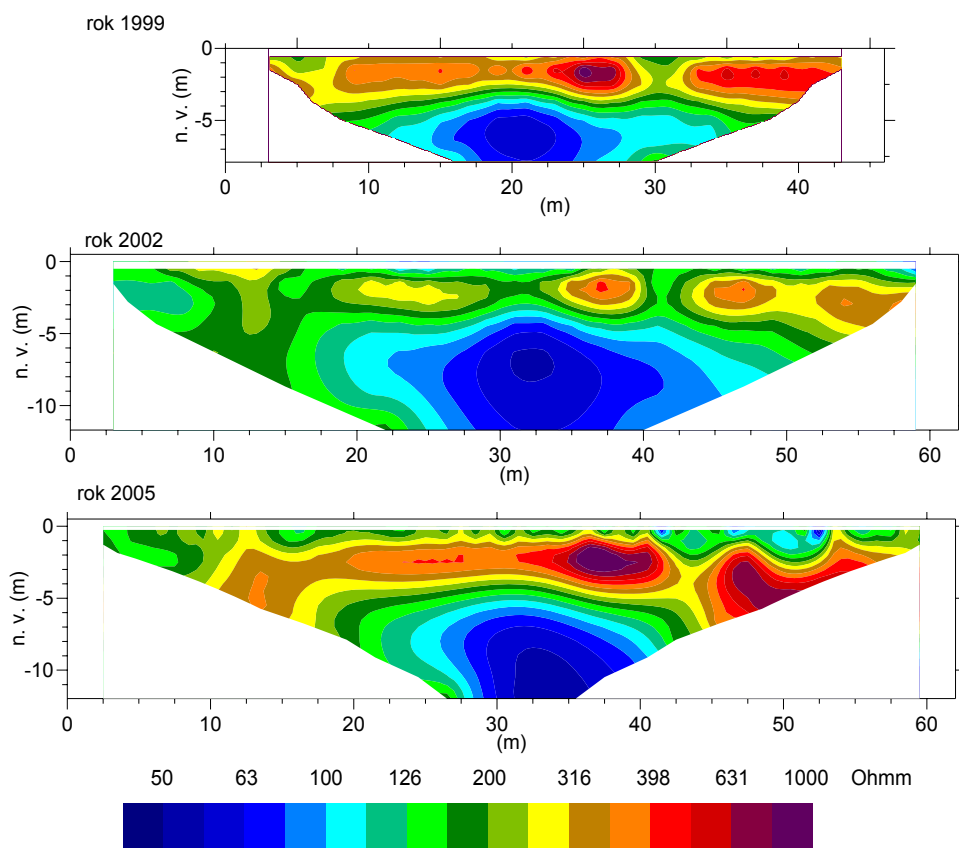
Na obr.3 a 4 sú uvedené vertikálne rezy ako výsledok inverzného spracovania nameraných dát metódou ERT a ich materiálovej interpretácie. Zároveň sú v rezoch vyznačené polohy hladiny podzemnej vody. V obr.3 je hladina plytko a teda nenasýtená zóna je veľmi tenká (cez 1,5 m). V reze na obr.4 je zase hladina podzemnej vody hlbšie a nenasýtená zóna je tu pomerne hrubá (viac ako 3 m).

Rez na obr.3 je jednoduchý, tvoria ho subhorizontálne vrstvy pôdy, pod ňou ležia piesky s malým obsahom štrku a pod nimi ležia štrky (sú to kvartérne uloženiny Žitného ostrova). Nenasýtená zóna nevykazuje žiadne výrazné charakteristiky, ktoré by ju odlišovali od nasýtenej zóny a pokiaľ by sme nemali údaje z vrtu, nedala by sa poloha hladiny podzemnej vody z uvedeného rezu určiť. O nenasýtenej zóne sa v tomto prípade dá povedať, že je homogénna, vlhkosť je rozdelená rovnomerne a nevytvára anomálne miesta. Všetky zložky prostredia, pórový priestor, jeho nasýtenie a mineralizácia vlhkosti ako aj podzemnej vody nevykazujú zjavné zmeny. Narastanie odporu smerom do hĺbky je tu zrejme regulované predovšetkým narastaním podielu piesčitej až štrkovej zložky a ubúdaním jemnozrnnej humusovej zložky s hĺbkou.



Obr.4 Výsledok merania na hydrologickom monitorovacom stanovišti Báč.

Rez na obr.4 je zložitejší. Materiálové zloženie je pestrejšie (striedanie štrkov, piesku a piesčitej hliny), hladina podzemnej vody je hlbšia a teda nenasýtená zóna je hrubšia (cez 3 m). Čo je dôležité, hladina podzemnej vody v reze nevytvára významné rozhranie a prechody medzi jednotlivými objektmi sú plynulé bez zjavných deformácií. Z rezu sa dá usudzovať, že je štrukturovaný predovšetkým zmenou materiálového zloženia – striedaním štrkov, pieskov a piesčitých hĺn. Tieto materiály vymedzujú rozdelenie pórového priestoru a tým aj rozdelenie vlhkosti nenasýtenej zóny. Čo je zvlášť dôležité, samotná zmena vlhkosti nevytvára samostatné telesá – štrky z nenasýtenej zóny prechádzajú do nasýtenej zóny bez viditeľného skoku a rovnako piesčité polohy nevykazujú rozdielny charakter v nasýtenej a nenasýtenej zóne. Z uvedeného vyplýva, že zmena pórovitosti a jej nasýtenia vodou úzko súvisí s litologickým charakterom prítomných zemín a v tomto prípade, keď nie sú v mieste merania a ani jeho okolí známe zdroje zvýšenej mineralizácie, je rozdelenie vlhkosti v nenasýtenej zóne v zhode s litologickým charakterom zemín a nemení ich rezistivný obraz v prezentovanom reze. Tento poznatok je možné zovšeobecniť tak, že v prípade pestrého zloženia horninového prostredia v nenasýtenej zóne, keď je zastúpená väčšina zrnitostných zložiek, tak rozdelenie vlhkosti nemusí významnejšie deformovať jeho rezistivný obraz.



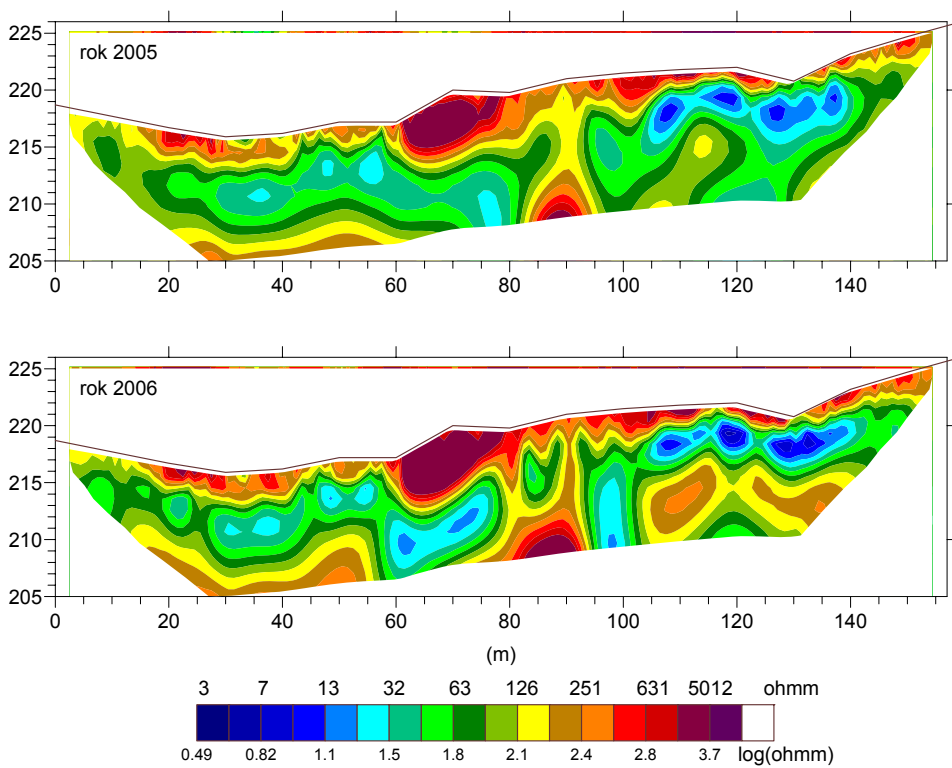
Obr.5 Opakované meranie na odkalisku popolovín

Extrémnym prostredím umelých zemín sú odkaliská popolovín. Na obr.5 sú výsledky opakovaných meraní na takomto odkalisku. Pri povrchu je poloha pokryvných hlien, ktorá umožňuje konduktívne meranie, pretože je tu dosť hlinitej zeminy na zabezpečenie dostatočne nízkeho prechodového odporu na meracích elektródach. Pod ňou je vrstva suchého popola, vytvárajúca nenasýtenú zónu, v ktorej je prítomná vlhkosť iba v čase zrážok. Rezistivita tejto vrstvy sa v čase mení a závisí na zrážkovej aktivite bezprostredne predchádzajúcej realizáciu merania. V spodnej strednej časti rezu je oblasť s nízkou rezistivitou predstavujúca priestor nasýtený podzemnou vodou, ktorá tu odvodňuje teleso odkaliska.

Nakoniec by sme chceli ukázať situáciu s príkladom nenasýtenej zóny v skalných horninách (obr.6). Sú to výsledky monitorovacích meraní vykonaných pod skládkou vybudovanou v bývalom kameňolome (vápence) položenom nad prístupovou cestou, takže meranie bolo možné realizovať na svahu pod kameňolomom. Z množstva opakovaných meraní tu uvádzame dva charakteristické rezistivné rezy, zhodou okolností merané v dvoch po sebe idúcich rokoch. Z rezov je zrejmé, že pri povrchu je vrstva skalných hornín a to vo forme hrubej vrstvy navážky balvanov rôznej veľkosti. Pod ňou je vrstva jemnozrnnejších zemín. Pod ňou vo forme kúl vystupuje skalné podložie, ktoré je zhruba po metráž 60 m kompaktné, vo vyšších metrážach je diferencované a obsahuje strmé polohy so zvýšenou pórovitosťou a nevylučuje sa ani prítomnosť krasových javov. Oba rezy dokumentujú premenlivosť rezistivného obrazu hlavne na rozhraní medzi vrstvou jemnozrnnejších zemín a skalným podložíom. Za príčinu tejto premenlivosti považujeme meniaci sa obsah vlhkosti dodávanej zo zrážok a tiež zo zakonzervovaného telesa skládky, ktoré leží nad meraným profilom a funguje ako špongia, ktorá postupne uvoľňuje vlhkosť do meraného priestoru. Pozorované zmeny sú teda výsledkom zrážkovej aktivity v období bezprostredne pred realizovaným meraním a za príspevku retenčnej schopnosti telesa skládky v susedstve meraného profilu. Z rezov je tiež zrejmé, že zeminy nad a skalným podložíom a v jeho poruchách sú pomerne priepustné a obsah vlhkosti v nich je citlivý na dotáciu vody zo zrážok.

Záver

Na základe priebežne získavaných poznatkov sa ukazuje, že interpretácia rezistivných rezov získaných inverziou z meraní metódou ERT v prostredí bežných zemín nie je, okrem tenkej vrstvy pri povrchu, významne ovplyvnená prítomnosťou vlhkosti, pretože premenlivosť jej obsahu (S_w) je v zhode s pórovitosťou konkrétneho typu zeminy vrátane prítomnosti ílových minerálov. Extrémnym prípadom sú hrubozrnne zeminy s rovnakou zrnitosťou bez ílov (piesok, popoloviny, štrky a pod.), v ktoré sa (pod tenkou povrchovou vrstvou s malým obsahom hlien a zvyškov vegetácie) v suchom období výrazne odvodňujú, takže prítomnosť vlhkosti a teda aj jej vplyv na rezistivný obraz nenasýtenej zóny je významný. Podobne v prostredí so skalným podložíom, tvoreným karbonátmi, môžu byť prítomné krasové dutiny vyplnené ľahko priepustným (veľké zrná) materiálom v ktorom je obsah vlhkosti silne závislý na zrážkovej aktivite a rezistivný obraz týmto významne ovplyvnený. V takýchto prípadoch odporúčame pre kvalitnejšiu interpretáciu realizovať opakované meranie v zrážkovo rozdielnych pomeroch.



Obr.6 Príklad nenasýtenej zóny v prostredí so skalnými horninami.

Príspevok vznikol s podporou grantovej agentúry VEGA prostredníctvom projektov č. 1/4041/07 a 1/3073/06 a tiež projektu č. APVV-0158-06, podporovaného agentúrou APVV.

Literatúra

- [1] Mareš, S. et al. (1980): Geofyzikální metody v hydrogeologii a inženýrské geologii. SNTL/ALFA, Praha.
- [2] McNeil, J.D. (1980): Electrical conductivity of soils and rocks. Technical Note TN-5. Geonics Limited, Mississauga, Ontario, Canada.
- [3] Sen, P.N. et al. (1988): Electrical conduction in clay bearing sandstones at low and high salinities. J. Appl. Phys., 63, 4832-4840.

Kamil ROZIMANT¹, Vojtech GAJDOŠ²

**OPAKOVANÉ MERANIA METÓDOU ELEKTRICKEJ ODPOROVEJ
TOMOGRAFIE**

**REPEATED MEASUREMENTS WITH ELECTRICAL RESISTIVITY
TOMOGRAPHY**

Abstract

Electrical resistivity tomography surveys are often repeated over the same line at different times to study the changes of the subsurface resistivity with time. Normally, the data from the surveys conducted at different times are inverted independently, but there is no guarantee that the differences in the resistivity values are only due to actual changes in the subsurface resistivity with time. There is also another approach, when the model obtained from the inversion of the initial data set is used as a reference model to constrain the inversion of the later time-lapse data sets. An example of long-term monitoring in the 3 year cycles is focused on the changes in physical and mechanical properties of deposited fly ash in time.

Key words: electrical resistivity tomography, monitoring, time-lapse inversion

Úvod

V minulosti bolo sledovanie zmien fyzikálnych vlastností hornín v čase geofyzikálnymi metódami len málo používané, najmä v dôsledku nízkej hustoty informácie ako aj nedostatočnej presnosti terénnych meraní. Technologický pokrok v oblasti geofyzikálnych aparátúr, ako aj softwarového vybavenia umožnil využitie niektorých geofyzikálnych metód na monitorovanie fyzikálneho stavu horninového prostredia. Ako jeden z najvhodnejších monitorovacích fyzikálnych parametrov sa javí merný odpor horninového prostredia, ktorého rozloženie v pomerne hustej sieti bodov vo vertikálnom reze je možné sledovať metódou elektrickej odporovej tomografie. Opakovaním takýchto meraní je možné postihnúť odporové zmeny spôsobené viacerými faktormi.

Opakovaním meraní elektrickej odporovej tomografie (ERT) na tom istom profile v rôznych časových odstupoch je možné postihnúť rôzne rozdiely v odporoch spôsobené napr. zmenami vlhkosti, teploty alebo salinity, pohybom vody v nesaturovanej zóne, migráciou kontaminátov ako aj priesakmi z hrádzí a skládok.

Time-lapse inverzia

Samotné terénne údaje obsahujú len informácie o zdanlivých merných odporoch a ich rozloženie je ovplyvnené aj použitým meracím rozostupom a rozmiestnením anomálnych odporových telies. Údaje o skutočnom rozdelení odporových nehomogenít dostávame až po realizácii obrátenej úlohy – inverzie, používajúcej špeciálne algoritmy na riešenie tejto úlohy.

¹ RNDr., PhD., Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, SR, rozimant@fns.uniba.sk

² Doc., RNDr., CSc., Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, SR, gajdos@fns.uniba.sk

Štandardný postup inverzie tomografických meraní však vnáša do výsledkov aj vplyv z návrhu rôznych štartovacích modelov. Potlačenie tohoto vplyvu umožňuje použitie postupu tzv. time-lapse inverzie.

Štandardne sa realizuje inverzia terénnych meraní nezávisle pre jednotlivé časové etapy. V mnohých prípadoch takýto postup zabezpečuje uspokojivé výsledky. Inverzia realizovaná pre každú etapu izolovane, však neposkytuje žiadnu garanciu, že rozdiely v hodnotách odporov sú spôsobené len ich aktuálnymi zmenami s časom, nakoľko minimalizačný algoritmus pôsobí len na rozdiel medzi nameranými a vypočítanými hodnotami spracovávanej sady údajov, neberúc do úvahy východzie merania.

Preto sa v prípade opakovaných meraní ERT môže z výhodou použiť tzv. time lapse inverzia (inverzia s časovým posunom), ktorá umožňuje detailnejšie sa zamerať na odporové zmeny v horninovom prostredí z odstupom času. Ako základné sa považujú počiatočné merania, na ktorých sa realizuje štandardný postup inverzie za účelom zostavenia základného odporového modelu resp. podpovrchového rozdelenia odporov. Pri inverzii mladších meraní sa potom používa to isté rozdelenie odporových nehomogenít, aké sa použilo pri počiatočnom modeli. Takýto postup sa používa za účelom minimalizácie vplyvov v prípade zostavenia odlišného východzieho modelu na aktuálne zmeny (Loke, 1999).

Výhody použitia time-lapse inverzie:

- ☐ detailnejšie porovnanie odporových zmien
- ☐ zvýraznenie aktuálnych zmien
- ☐ spoločný východzí model

Nevýhody použitia time-lapse inverzie:

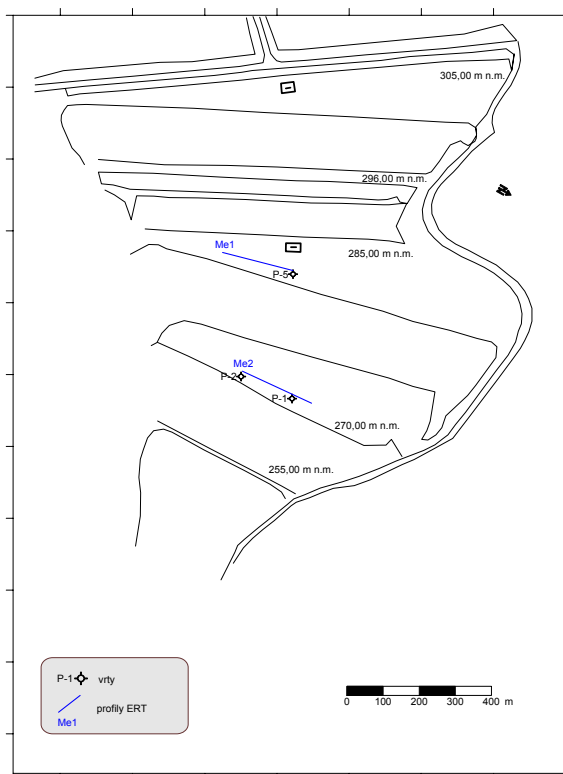
- ☐ nutnosť použitia tých istých meracích bodov t.j. merací profil musí mať tú istú hĺbku a hustotu meraných úrovní
- ☐ nepriaznivý vplyv vyššieho šumu na inverziu.

Príklad použitia

Príklad porovnania „klasického“ postupu inverzie meraní ERT a time-lapse inverzie je realizovaný na profile Me2 odkaliska popolčiekov v Novákoch. Jedná sa o časť odkaliska, kde sa už od určitého času je uzavretá. Prvé meranie bolo realizované v r.2002 a ďalšie v r.2005 (Gajdoš, Rozimant 2006).

Profil Me2 (obr.1) bol situovaný v spodnej časti odkaliska (270m n.m.), približne v strede naplavovanej plochy, pričom dno údolia je na kóte 250m n.m. Nakoľko pod vrstvou pokryvných hlín postupne dochádza ku konsolidácii naplaveného materiálu, s odstupom času sa namerané hodnoty odporov na odkalisku ako aj výsledky inverzie zvyšujú, čo potvrdili aj naše merania s odstupom 3 rokov. Výhody použitia Time-lapse inverzie môžeme pozorovať na pravej strane Obr.2 v homogénnejšom obraze, výraznejšom horizontálnom zvrstvení a nižšej RMS. Časová zmena odporov (obr.2 – dole) je prakticky v celej ploche rezu kladná, okrem pripovrchovej časti, kde je ovplyvnená zrážkovou činnosťou pred meraním. Na základe realizovaných presiometrických skúšok sa zistilo zlepšenie mechanických vlastností v období uvedených rokov. Z realizovaných presiometrických skúšok (Matys 2002, Matys a kol.

2006) v uvedených rokoch vyplýva, že generálne dochádza pri uložení elektrárenských popolčiek v čase od ich naplavenia (po niekoľkých rokoch) k zreteľnému zlepšovaniu mechanických vlastností. Ku zlepšeniu dochádza najmä v dôsledku znižovania prirodzenej vlhkosti popolčiek a zväčšovaní väzieb na stykoch zŕn popola.



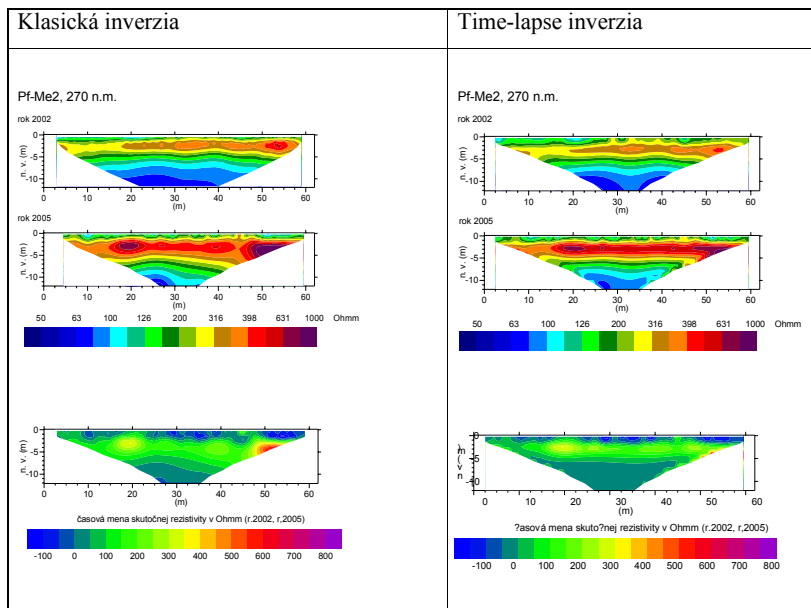
Obr.1 Situácia profilov ERT na odkalisku

Záver

Výsledky použitia time-lapse inverzie na výpočet rezistivitných modelov v prípade opakovaných meraní na príklade odkaliska elektrárenských popolovín poukazujú na výhodnosť použitia takéhoto postupu. Umožňujú detailnejšie porovnanie aktuálnych odporových zmien a v prípade viacerých meraní aj použitie spoločného východzieho modelu. Využitím ďalších možností interpretačného softvéru (napr. RES2DINV) pri jeho konštrukcii je možné lepšie prispôbenie daným meracím a geologickým podmienkam aj na inom type lokalít

Podakovanie:

Príspevok vznikol s podporou grantovej agentúry VEGA prostredníctvom projektov č. 1/4041/07 a 1/3073/06 a tiež projektu č. APVV-0158-06, podporovaného agentúrou APVV.



Obr.2 Porovnanie výsledkov klasickej a time-lapse inverzie na profile meranom v rokoch 2002 a 2005 a ich rozdiel.

Literatúra

- [1] Aaltonen J., 2001: Seasonal resistivity variations in some different swedish soils. Eur J Environ Eng Geophys 6:33–45
- [2] Gajdoš, V. – Rozimant, K., 2006: Monitorovanie vlastností popolčiekov odkaliska ENO Nováky (pôvodné) geofyzikálnymi metódami. Zborník referátov, Polní geotechnické metody 26. AZ Consult, Ustí nad Labem.
- [3] Loke, M.H., 1999. Time lapse resistivity imaging inversion. Proceedings of the 5th Meeting of the EEGS European Section, Eml., Budapest
- [4] Matys M. 2002: Zmeny antropogénnych sedimentov na odkaliskách. Geologické práce, Správy 106, ŠGÚDŠ, Bratislava
- [5] Matys M., Maas P., Šprochová A., 2006: Zmeny mechanických vlastností popolčiekov odkaliska ENO pôvodné. Zborník referátov, Polní geotechnické metody 26. AZ Consult, Ustí nad Labem.
- [6] RES2DINV ver.3.5, Geotomo Software, 2006, www.geoelectrical.com

Abstract

In this paper there are formulas determined for calculation of the electrode constants of Microlog for various shape geometry of electrodes. It is possible to compare fields of relations remarked as $(k/a) = f(2m/a, A/a)$ for various shapes of electrodes. Curvilinear segments of curves are observed for short distances between electrodes and their curvature is influenced with the magnification factor remarked like A/a . For long distances between electrodes we observe linearization of curves that depends on the translation factor only being remarked as $2m/a$. This is translation factor in horizontal direction. There exist also the translation factor in vertical direction remarked as $2n/a$, because relation for constant in general can be written like $k/a = f(2m/a, 2n/a, A/a)$. Linear segments of curves are allowed to use the equation for the point electrodes, because error is in such case negligible.

In electrically-homogeneous surroundings there is registered identical resistivity. The curves of the micro-normal and the micro-inverse must have the same resistivity value. This is insured with condition that it holds that $kM = 2 \times kN$. The mentioned condition is generally valid both for linear and nonlinear relations.

Electrode systems of Microlog can be symmetrical and asymmetrical. Asymmetrical systems have the right asymmetry or the left asymmetry. It is expressed with the help of factor ϵ . This can be positive, negative or zero.

The paper makes possible form arbitrary electrode arrays. They can be three-electrodes or four-electrodes. Their electrodes are allowed to assume an arbitrary position on plane. What is important is you can exactly compute for any array constants characterizing this array.

Key words: electrode constant, the micro-normal, the micro-inverse, linear segments, nonlinear segments, magnification factor, translation factor, the point electrodes, resistivity, right asymmetry, left asymmetry, Microlog, well-logging.

Introduction

In several former works there was stated the fact that geometry of electrodes, namely their shape, effects their electric field, thus their functions $k/a = f(2m/a, 2n/a, A/a)$ have outstanding differences between themselves. It holds mainly for near distances of electrodes. For long distances influence of shape geometry and dimensions of electrodes are falling down and there survives only the influence of electrode spacing.

The electric field tends to field of the point electrodes and just this is able to make calculation easier. Therefore there are preferred those curve segments having function $k/a = f(2m/a, A/a)$ linear. However, it does not take as a rule.

The next problem is definition of constants for the micro-normal and the micro-inverse one to other. If I have to register identical resistivity for electrically-homogeneous surroundings, the both constants should be equal. However, in electrically-inhomogeneous surroundings there are observed various resistivity of the

¹ RNDr., rysavy.frantisek@seznam.cz

micro-normal and the micro-inverse, because horizontal radius of both arrays is different and the resistivity is changed in horizontal direction.

Both mentioned problems are solved in this paper together with explanation of symmetry and asymmetry of used arrays of electrodes.

Comparison of shape geometry and dimensions of electrodes

In fig.1 there are depicted various systems of Microlog for electrodes of various geometry. Each of them consists of the current electrode A and two potential electrodes N and M. There is registered the micro-normal being on electrode M, more distant electrode, and the micro-inverse between electrodes M and N.

I distinguish disc electrodes and square electrodes. I can compare the square electrodes in two variances. The first has the square electrodes situated on one of sides of square; I signed this system like the square electrodes. The second has the same electrodes situated on one of vertexes of square – I remarked such system like the diamond electrodes, because it is special case of diamond.

The fundamental functional relation has this form; $k/a = f(2m/a, 2n/a, A/a)$. The ratio remarked as $(2m/a)$ presents translation factor in horizontal direction, the ratio $(2n/a)$ is translation factor in vertical direction and the ratio remarked as (A/a) is magnification factor. If it holds that $(2n/a) = 0$, you will receive simpler form: $k/a = f(2m/a, A/a)$. This relation is depicted in fig.2 for all three various shapes of electrodes. For near distances when it holds that $(2m/a) \rightarrow 1$ there exist an influence of electrode dimensions. For various (A/a) I observe various shapes of the depicted curves, as well. However, for long distances when $(2m/a) \gg 1$ the relationship inclines to the line for the point electrodes defined with the help of this formula:

$$\left(\frac{k}{a}\right) = 2\pi \times \left(\frac{2m}{a}\right). \quad (1)$$

This relation is marked with dash-and-dot line. And you can see that for $(2m/a) = 1$ you will get that $(k/a) = 2\pi$.

From point of view of relation $k/a = f(2m/a, 2n/a, A/a)$ the disc electrodes provide for calculation of the micro-normal the following formulas:

$$\left(\frac{k}{a}\right) = \frac{2\pi}{\sum_{i=1}^4 G_i}, \quad (2)$$

$$G_1 = +\frac{1}{4} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left[\left(\frac{2n}{a} + \frac{A}{a} + 1\right) \times \text{Argsinh}\left[\left(\frac{2m}{a}\right)^{-1} \times \left(\frac{2n}{a} + \frac{A}{a} + 1\right)\right] - \left(\frac{2n}{a} + \frac{A}{a} - 1\right) \times \text{Argsinh}\left[\left(\frac{2m}{a}\right)^{-1} \times \left(\frac{2n}{a} + \frac{A}{a} - 1\right)\right]\right], \quad (3)$$

$$G_2 = -\frac{1}{4} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left[\left(\frac{2n}{a} - \frac{A}{a} + 1\right) \times \text{Argsinh}\left[\left(\frac{2m}{a}\right)^{-1} \times \left(\frac{2n}{a} - \frac{A}{a} + 1\right)\right] - \left(\frac{2n}{a} - \frac{A}{a} - 1\right) \times \text{Argsinh}\left[\left(\frac{2m}{a}\right)^{-1} \times \left(\frac{2n}{a} - \frac{A}{a} - 1\right)\right]\right], \quad (4)$$

and

$$G_3 = -\frac{1}{4} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \sqrt{\left(\frac{2m}{a}\right)^2 + \left(\frac{2n}{a} + \frac{A}{a} + 1\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{2m}{a}\right)^2 + \left(\frac{2n}{a} + \frac{A}{a} - 1\right)^2} \right\}, \quad (5)$$

$$G_4 = +\frac{1}{4} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \sqrt{\left(\frac{2m}{a}\right)^2 + \left(\frac{2n}{a} - \frac{A}{a} + 1\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{2m}{a}\right)^2 + \left(\frac{2n}{a} - \frac{A}{a} - 1\right)^2} \right\}. \quad (6)$$

If it holds that $(2n/a) = 0$ you attain simpler formulas:

$$\left(\frac{k}{a}\right) = \frac{2\pi}{(F_1 + F_2)}, \quad (7)$$

$$F_1 = +\frac{1}{2} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \left(\frac{A}{a} + 1\right) \times \text{Argsinh} \left[\left(\frac{2m}{a}\right)^{-1} \times \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right] - \left(\frac{A}{a} - 1\right) \times \text{Argsinh} \left[\left(\frac{2m}{a}\right)^{-1} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right] \right\}, \text{ and} \quad (8)$$

$$F_2 = +\frac{1}{2} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \sqrt{\left(\frac{2m}{a}\right)^2 + \left(\frac{A}{a} + 1\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{2m}{a}\right)^2 + \left(\frac{A}{a} - 1\right)^2} \right\}. \quad (9)$$

Equivalent formula is the formula derived for system expressed in polar coordinates. It is again relation for factors $(2m/a)$, $(2n/a)$ and (A/a) .

$$\left(\frac{k}{a}\right) = \frac{2\pi}{(F_1 + F_2)}, \quad (10)$$

$$\left(\frac{2r}{a}\right) = \sqrt{\left(\frac{2n}{a}\right)^2 + \left(\frac{2m}{a}\right)^2}, \quad (11)$$

$$F_1 = +\frac{1}{2} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left(\frac{2r}{a}\right)^{-1} \times \left(\frac{2}{\pi}\right) \times \left\{ \left(\frac{2r}{a} + \frac{A}{a}\right) \times \text{E} \left\{ \left(\frac{2r}{a} + \frac{A}{a}\right)^{-1} \right\} - \left(\frac{2r}{a} - \frac{A}{a}\right) \times \text{E} \left\{ \left(\frac{2r}{a} - \frac{A}{a}\right)^{-1} \right\} \right\}, \text{ and} \quad (12)$$

$$F_2 = +\frac{1}{2} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left(\frac{2r}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \arcsin \left(\frac{2r}{a} + \frac{A}{a}\right)^{-1} - \arcsin \left(\frac{2r}{a} - \frac{A}{a}\right)^{-1} \right\}. \quad (13)$$

If you implement again condition that $(2n/a) = 0$, you will get simpler formulas:

$$\left(\frac{k}{a}\right) = \frac{2\pi}{(F_1 + F_2)}, \quad (14)$$

$$F_1 = +\frac{1}{2} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left(\frac{2m}{a}\right)^{-1} \times \left(\frac{2}{\pi}\right) \times \left\{ \left(\frac{2m}{a} + \frac{A}{a}\right) \times \text{E} \left\{ \left(\frac{2m}{a} + \frac{A}{a}\right)^{-1} \right\} - \left(\frac{2m}{a} - \frac{A}{a}\right) \times \text{E} \left\{ \left(\frac{2m}{a} - \frac{A}{a}\right)^{-1} \right\} \right\}, \text{ and} \quad (15)$$

$$F_2 = +\frac{1}{2} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left(\frac{2m}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \arcsin \left(\frac{2m}{a} + \frac{A}{a}\right)^{-1} - \arcsin \left(\frac{2m}{a} - \frac{A}{a}\right)^{-1} \right\}. \quad (16)$$

where $\text{E} \left\{ \left(\frac{2m}{a} \pm \frac{A}{a}\right)^{-1} \right\}$ = the complete elliptic integral of second type,

m = the distance between both centres of the potential and current electrodes in horizontal direction [m],

n = the distance between both centres of the potential and current electrodes in vertical direction [m],

A = the diameter of the current electrode [m], and

a = the diameter of the potential electrode [m].

Both used formulas yield identical results.

You ought to note that an influence of factor (A/a) for the disc electrodes is the lowest of all three depicted systems. For $(2m/a) > 5$ there exist function $k/a = f(2m/a, A/a)$ like linear and independent on the ratio $(A/a) = 1$. If $(A/a) = 5$, all linear relation would be only for $(2m/a) > 13$. All this is well visible in fig.2.

The square electrodes have more significant influence of the electrode dimensions – it is distinct in fig.2, too. The disc electrodes you can easy replace by the point electrodes and those constants can be enumerated after simple formula (1) – it is main advantage in comparison to the square electrodes.

For relationship of the square electrodes $k/a = f(2m/a, 2n/a, A/a)$ there are valid the formulas as follows:

$$\left(\frac{k}{a}\right) = \frac{2\pi}{\sum_{i=1}^4 G_i}, \quad (15)$$

$$G_1 = +\frac{1}{4} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \left[\frac{2n}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right] \times \operatorname{Argsinh} \left\{ \frac{\frac{2n}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right)}{\frac{2m}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right)} \right\} \right\} - \left[\frac{2n}{a} + \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right] \times \operatorname{Argsinh} \left\{ \frac{\frac{2n}{a} + \left(\frac{A}{a} - 1\right)}{\frac{2m}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right)} \right\} \right\}, \quad (16)$$

$$G_2 = +\frac{1}{4} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \left[\frac{2n}{a} - \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right] \times \operatorname{Argsinh} \left\{ \frac{\frac{2n}{a} - \left(\frac{A}{a} + 1\right)}{\frac{2m}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right)} \right\} \right\} - \left[\frac{2n}{a} - \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right] \times \operatorname{Argsinh} \left\{ \frac{\frac{2n}{a} - \left(\frac{A}{a} - 1\right)}{\frac{2m}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right)} \right\} \right\}, \quad (17)$$

$$G_3 = -\frac{1}{4} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \sqrt{\left[\frac{2m}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right]^2 + \left[\frac{2n}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right]^2} - \sqrt{\left[\frac{2m}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right]^2 + \left[\frac{2n}{a} + \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right]^2} \right\}, \text{ and} \quad (18)$$

$$G_4 = -\frac{1}{4} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \sqrt{\left[\frac{2m}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right]^2 + \left[\frac{2n}{a} - \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right]^2} - \sqrt{\left[\frac{2m}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right]^2 + \left[\frac{2n}{a} - \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right]^2} \right\}. \quad (19)$$

If it holds that $(2n/a) = 0$ you will attain function $k/a = f(2m/a, A/a)$ and then you will get simpler formulas:

$$\left(\frac{k}{a}\right) = \frac{2\pi}{(F_1 + F_2)},$$

$$F_1 = +\frac{1}{2} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \left(\frac{A}{a} + 1\right) \times \operatorname{Argsinh} \left\{ \frac{\left(\frac{A}{a} + 1\right)}{\frac{2m}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right)} \right\} \right\} - \left(\frac{A}{a} - 1\right) \times \operatorname{Argsinh} \left\{ \frac{\left(\frac{A}{a} - 1\right)}{\frac{2m}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right)} \right\} \right\}, \text{ and}$$

$$F_2 = -\frac{1}{2} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \sqrt{\left[\frac{2m}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right]^2 + \left(\frac{A}{a} + 1\right)^2} - \sqrt{\left[\frac{2m}{a} + \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right]^2 + \left(\frac{A}{a} - 1\right)^2} \right\}. \quad (20)$$

An influence of the electrode dimensions is distinctly significant. I think this case is biggest of all three systems when the electrode dimensions have highest affect on constant. Linear segment for $(A/a) < 2$ you can observe only if $(2m/a) > 40$. Nonlinear segments of function can be used for calculation too; however, the distances between electrodes will not be identical like it is for the point electrodes.

The micro-normal of the diamond electrodes for relation $k/a = f(2m/a, 2n/a, A/a)$ is presented by these formulas:

$$\left(\frac{k}{a}\right) = \frac{2\pi}{\sum_{i=1}^4 G_i},$$

$$G_1 = +\frac{1}{8} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \left[\frac{2n}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right] \times \text{Argsinh} \left\{ \frac{\frac{2n}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} + 1\right)}{\frac{2m}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right)} \right\} - \left[\frac{2n}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right] \times \text{Argsinh} \left\{ \frac{\frac{2n}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right)}{\frac{2m}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right)} \right\} \right\}, \quad (21)$$

$$G_2 = +\frac{1}{8} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \left[\frac{2n}{a} - \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right] \times \text{Argsinh} \left\{ \frac{\frac{2n}{a} - \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} + 1\right)}{\frac{2m}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right)} \right\} - \left[\frac{2n}{a} - \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right] \times \text{Argsinh} \left\{ \frac{\frac{2n}{a} - \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right)}{\frac{2m}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right)} \right\} \right\}, \quad (22)$$

$$G_3 = -\frac{1}{8} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \sqrt{\left[\frac{2m}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right]^2 + \left[\frac{2n}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right]^2} - \sqrt{\left[\frac{2m}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right]^2 + \left[\frac{2n}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right]^2} \right\}, \text{ and} \quad (23)$$

$$G_4 = -\frac{1}{8} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \sqrt{\left[\frac{2m}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right]^2 + \left[\frac{2n}{a} - \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right]^2} - \sqrt{\left[\frac{2m}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right]^2 + \left[\frac{2n}{a} - \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right]^2} \right\}. \quad (24)$$

If you implement condition that $(2n/a) = 0$ you will obtain simpler formulas:

$$\left(\frac{k}{a}\right) = \frac{2\pi}{(F_1 + F_2)},$$

$$F_1 = +\frac{1}{4} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \left[\sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} + 1\right) \right] \times \text{Argsinh} \left\{ \frac{\sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} + 1\right)}{\frac{2m}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right)} \right\} - \left[\sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right) \right] \times \text{Argsinh} \left\{ \frac{\sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right)}{\frac{2m}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right)} \right\} \right\}, \text{ and} \quad (25)$$

$$F_2 = -\frac{1}{4} \times \left(\frac{A}{a}\right)^{-1} \times \left\{ \sqrt{\left[\frac{2m}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right)\right]^2 + 2 \times \left(\frac{A}{a} + 1\right)^2} - \sqrt{\left[\frac{2m}{a} + \sqrt{2} \times \left(\frac{A}{a} - 1\right)\right]^2 + 2 \times \left(\frac{A}{a} - 1\right)^2} \right\}. \quad (26)$$

Affect of the electrode dimensions is strong and it is visible on relations $k/a = f(2m/a, A/a)$ depicted in fig.2. Nevertheless, for $(A/a) = 1$ the linear segment will present by $(2m/a) > 4$ yet. This is momentous exception being comparable to the disc electrodes. The only mentioned exception presents relation which can be replaced by relation for the point electrodes with negligible error.

For remaining ratios (A/a) there are no any exceptions; for example, when $(A/a) = 2$ there will begin the function to be linear only if $(2m/a) > 40$ and for the next ratios the limits will be even higher.

Calculation of constants for the micro-normal and the micro-inverse

For the axis arrays if it is the micro-potential registered on the electrode M being the more distant one there will hold this equation:

$$U_M = \frac{1}{k_M} \times R \times I, \quad (27)$$

where I = the current flowing through electrode A [mA], and
 R = the resistivity of surroundings [Ωm].

For the micro-potential registered on electrode N being the closer one you can use the similar relation:

$$U_N = \frac{1}{k_N} \times R \times I. \quad (28)$$

If you want to register the micro-inverse, you will have to register the difference of two potential; U_M and U_N .

$$\Delta U = U_N - U_M. \quad (29)$$

After substitution of equations (27) and (28) into equation (29) you obtain the following expression:

$$\Delta U = \left(\frac{1}{k_N} - \frac{1}{k_M} \right) \times R \times I. \quad (30)$$

Now, I express the resistivity R and I shall receive this formula:

$$R = \left(\frac{1}{k_N} - \frac{1}{k_M} \right)^{-1} \times \frac{\Delta U}{I} . \quad (31)$$

Further, you are able to write down the formulas expressing constants of the micro-normal and the micro-inverse.

$$k_p = k_M , \text{ and} \quad (32)$$

$$k_g = \left(\frac{1}{k_N} - \frac{1}{k_M} \right)^{-1} , \quad (33)$$

where k_p = the constant of the micro-normal [m],
 k_g = the constant of the micro-inverse [m],
 k_M = the constant of the micro-normal being on electrode M [m], and
 k_N = the constant of the micro-normal being on electrode N [m].

Relations being between constants of the micro-normal and the micro-inverse

In the electrically-homogeneous surroundings I must receive identical resistivity. Therefore it is possible to use these relations:

$$R = k_p \times \frac{U_M}{I} , \text{ and} \quad (34)$$

$$R = k_g \times \frac{\Delta U}{I} . \quad (35)$$

Both left sides of equations are same and this is reason why the right sides must be identical too. There must it be held that:

$$\frac{\Delta U}{I} = \frac{U_M}{I} , \text{ and} \quad (36)$$

$$k_g = k_p = k_m . \quad (37)$$

To realize conditions (36) and (37) – it means to implement this condition:

$$\left(\frac{k_M}{a} \right) = 2 \times \left(\frac{k_N}{a} \right) . \quad (38)$$

This condition through formula (33) for k_g is able to ensure relation (37). And simultaneously through the ratio that

$$\frac{U_N}{U_M} = 2 ,$$

resulting from formulas (27) and (28) and further through equation (29) it is confirmed that relation (36) is valid.

Equation (38) holds for linear and nonlinear relations generally. However, for linear segments of relations it is valid that condition (38) is easy realizable, because in domain of linear relations there holds that:

$$\left(\frac{2m}{a}\right)_M = 2 \times \left(\frac{2m}{a}\right)_N . \quad (39)$$

This equation results from equation for the point electrodes:

$$k = 4\pi \times m . \quad (40)$$

Linear segments of relations are for the disc electrodes and the only linear segment existed also for the diamond electrodes. For example, the disc electrodes have linear relation for $(A/a) = 1$ if it holds that $(2m/a) > 5$; the diamond electrodes for $(A/a) = 1$ have linear relation for $(2m/a) > 4$. The resting relations have nonlinear; or else condition (38) holds, but distances, AM and AN, are not double – equation (39) is not valid.

We observe for linear relation symmetry, $AN = MN$, whereas, for nonlinear relation there is asymmetry, $AN \neq MN$. This is visible difference between linear and nonlinear relations.

Comparison of exact calculations of constants with experimental modeling

For comparison there were used the disc electrodes of Microlog manufactured in Russia. Such system is characterized with following characteristics: $a = 0.010m$, $AN = 0.025m$, $AM = 0.050m$. Thanks to those characteristics it is possible to compute ratios $(2m/a)_M$ and $(2m/a)_N$.

$$\left(\frac{2m}{a}\right)_N = \frac{2 \times 0.025}{0.010} = 5, \text{ and } \left(\frac{2m}{a}\right)_M = \frac{2 \times 0.050}{0.010} = 10.$$

After these ratios you attain that $(kN/a) = 31.821$ and $(kM/a) = 63.040$. For $a = 0.010m$ it proceeds that $kN = 0.32m$ and $kM = 0.63m$. Ratio being between both constants is 1.969. It is very near to 2.

If you suppose the point electrodes, you will use formula (1) for values $(2m/a)_N = 5$ and $(2m/a)_M = 10$. Then you will get the values as follows:

$$\left(\frac{k_N}{a}\right) = 2\pi \times 5 = 31.416 \text{ and } \left(\frac{k_M}{a}\right) = 2\pi \times 10 = 62.832 .$$

For $a = 0.010\text{m}$ again you receive $kN = 0.32\text{m}$ and $kM = 0.63\text{m}$. You have again identical values comparable with former calculation.

Now, it is possible to determine constants of Microlog after formulas (32) and (33). For the micro-normal it holds that $k_p = k_M = 0.63\text{m}$. For the micro-inverse I receive that $k_g = (0.32-1 - 0.63-1) \cdot -1 = 0.65\text{m}$. The calculated constants are not fully identical, but, they are very close to one other. In the practice we observe often a small difference between resistivity of the micro-normal and the micro-inverse what depends on accuracy of calculation.

The next figures, fig.3 and fig.4, present the correction charts for Microlog of Russian production. They vary according to dimensions of the electrode pad. The pad having dimensions $100 \times 200\text{mm}$ has $k_p = 0.48\text{m}$ and $k_g = 0.34\text{m}$, whereas, the pad with dimensions $70 \times 190\text{mm}$ presents $k_p = 0.56\text{m}$ and $k_g = 0.36\text{m}$. It is more than clear there are big differences between values exactly calculated and empirically modelled.

Just that is why I have to remember that the values empirically modelled are influenced with the electrode potentials being on surface of electrodes and, too, by an influence of dimensions of the electrode pad. It is known that empirically modelled constants are lower due to both significant factors effecting registration.

Comparison of systems having different shape of electrodes

I shall attempt in this chapter to project distances between electrodes for different shape geometry. The fundamental input data will be common for all three systems; $a = 0.010\text{m}$, $(A/a) = 1$, $(kN/a) = 30$ and $(kM/a) = 60$. Through them it is valid that $kM = 2 kN$ and this is condition (38).

For the disc electrodes I obtain the following data: $(2m/a)N = 4.7065$ and $(2m/a)M = 9.5145$. If $a = 0.010\text{m}$, there will be it that $AN = 0.024\text{m}$ and $AM = 0.048\text{m}$.

If I have the diamond electrodes I shall obtain the following results: $(2m/a)N = 4.6410$ and $(2m/a)M = 9.4805$. In case that $a = 0.010\text{m}$, I shall get that $AN = 0.023\text{m}$ and $AM = 0.047\text{m}$.

For the square electrodes I receive these data: $(2m/a)N = 2.7065$ and $(2m/a)M = 7.5145$. For $a = 0.010\text{m}$ it is valid that $AN = 0.014\text{m}$ and $AM = 0.038\text{m}$.

All projected systems ought to have minimal deviation between the micro-normal and the micro-inverse, if they are in electrically-homogeneous surroundings. They are those systems depicted in fig.1.

You can put a question how it is when it holds that $(A/a) \neq 1$. The most interesting relationships you find out in case of the diamond electrodes. I shall apply the same input data that $a = 0.010\text{m}$, $(kN/a) = 30$ and $(kM/a) = 60$ and I change the magnification factors: $(A/a) = 2$ and $(A/a) = 0.5$.

For $(A/a) = 2$ I shall get that $(2m/a)N = 3.0390$ and $(2m/a)M = 7.9645$. If $a = 0.010\text{m}$ the output data will be like this: $AN = 0.015\text{m}$ and $AM = 0.040\text{m}$.

In case that $(A/a) = 0.5$ I obtain that $(2m/a)N = 5.3965$ and $(2m/a)M = 10.2130$. In such case when $a = 0.010\text{m}$ I shall get that $AN = 0.027\text{m}$ and $AM = 0.051\text{m}$.

Symmetrical and asymmetrical systems – evaluation of their horizontal radius

The volume of the electric field is defined like sphere having its centre in the current electrode A. Its radius is presented as the spacing of tool. That is a distance, for

the micro-normal it is abscissa AM, for the micro-inverse it is abscissa AO. The last mentioned abscissa is expressed like this:

$$\underline{AO} = 0.5 \times (\underline{AM} + \underline{AN}). \quad (41)$$

The electrode array can be symmetrical or asymmetrical. It is given by position of electrode N. The symmetrical array has usually bigger radius; for the asymmetrical array the radius can be lower. It depends on the micro-normal. In the contrary to this fact there exists definition of the eccentricity factor characterizing each of arrays.

If you borrow from the theory of conics definition of eccentricity, you will be allowed to apply this factor in an adjusted form for classification of the electrode arrays.

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \left(\frac{\underline{AN}}{\underline{AM}}\right)^2} - \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{2 \times \left(\frac{\underline{AO}}{\underline{AM}}\right) \times \left(\frac{\underline{MN}}{\underline{AM}}\right)} - \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (42)$$

where ε = factor of eccentricity according to electrode N,
 AO = spacing of the micro-inverse, and
 MN = base of the micro-inverse.

If you are going to analyze this formula, you will result in the following facts:

1. For $\underline{AN} = 0.5 \times \underline{AM}$ it holds that $\varepsilon = 0$ and that means that the electrode array is symmetrical.
2. For $\underline{AN} < 0.5 \times \underline{AM}$ and on condition that $\underline{AN} \rightarrow 0$ it holds that $\varepsilon = +0.134$ and the electrode array has positive asymmetry.
3. For $\underline{AN} > 0.5 \times \underline{AM}$ and on condition that $\underline{AN} \rightarrow \underline{AM}$ it holds that $\varepsilon = -0.866$ and the electrode array has negative asymmetry.

All arrays having been projected before you find out in tab.1 there. This table provides good informative ability about projected arrays.

Analysis of various electrode arrays of Microlog

The derived formulas of Microlog are expressed generally like function $k/a = f(2m/a, 2n/a, A/a)$. The formulas for the classical axis array have reducing condition that $(2n/a) = 0$. Therefore the depicted plots use function $k/a = f(2m/a, A/a)$.

For all axis arrays it is possible to write that $k/a = f(2r/a, A/a)$ where symbol r presents distance between centres of the current and normal electrodes in any arbitrary direction.

Possibility you can count the geometric constant of the micro-normal has great significance for creation of various electrode arrays consisting of three or four electrodes on the pad. Fig.5 depicts available arrays of the three-electrode configuration. There are these: a. perpendicular one, b. horizontal axis one and c. classical axis one.

Fig. 6. presents arrays of the disc electrodes having four ones. There are presented some of the possible arrays: a. perpendicular one, b. axis one and c. Werner one. It ought to be emphasized these three arrays are only samples of big amount of available variances. And moreover, I have to add that not every array is convenient. I should like to remark that the derived formulas are exactly made for configurations depicted on fig. 5. and 6.

For the four-electrode array you can exactly enumerate four partial constants remarked kAM, kAN, kBM and kBN, whereas, the three-electrode array has only two constants: kAM and kAN. Thanks to well-known principles holding for the point electrodes you receive final constants for two/one potentials of the micro-normal and for one gradient of the micro-inverse. The formulas are in agreement to depiction in fig. 5. and 6.

For the three-electrode array in arbitrary position on the plane if I suppose that partial geometric constants kAM and kAN are vectors there holds this formula:

$$k_g = \begin{cases} \left\{ \left(k_{AM}^{-1} \right)^2 + \left(k_{AN}^{-1} \right)^2 - 2 \times \left(k_{AM}^{-1} \right) \times \left(k_{AN}^{-1} \right) \times \cos \left(\alpha_M - \alpha_N \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \dots \text{for } 0 \leq \left(\alpha_M - \alpha_N \right) \leq \frac{\pi}{2} \\ \left\{ \left(k_{AM}^{-1} \right)^2 + \left(k_{AN}^{-1} \right)^2 + 2 \times \left(k_{AM}^{-1} \right) \times \left(k_{AN}^{-1} \right) \times \cos \left(\alpha_M - \alpha_N \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \dots \text{for } \frac{\pi}{2} \leq \left(\alpha_M - \alpha_N \right) \leq \pi. \end{cases} \quad (43)$$

where $(\alpha_M - \alpha_N)$ = the angle having its vertex in the centre of the current electrode.

If you analyze this formula, you will state that there exist three possible events.

1. For $(\alpha_M - \alpha_N) = 0$ it holds that $\cos(\alpha_M - \alpha_N) = +1$. In such case it is valid that:

$$k_g = \left\{ k_{AN}^{-1} - k_{AM}^{-1} \right\}^{-1}. \quad (44)$$

2. For $(\alpha_M - \alpha_N) = \pi/2$ it holds that $\cos(\alpha_M - \alpha_N) = 0$. Then you will get this formula:

$$k_g = \frac{1}{\sqrt{\left(k_{AN}^{-1} \right)^2 + \left(k_{AM}^{-1} \right)^2}}. \quad (45)$$

3. For $(\alpha_M - \alpha_N) = \pi$ it holds that $\cos(\alpha_M - \alpha_N) = -1$. For that event it holds that:

$$k_g = \left\{ k_{AN}^{-1} - k_{AM}^{-1} \right\}^{-1}.$$

At first you should suppose that constants are unequal, i.e., it holds that $k_{AM} \neq k_{AN}$. All axis arrays are those which have $(\alpha_M - \alpha_N) = 0$ and $(\alpha_M - \alpha_N) = \pi$. The first presents that electrodes M and N are both on identical side with regard to electrode A; the second is that each of electrodes M and N are on opposite side after electrode A.

From this point we can classify the single array depicted on fig.5 and fig.6. For the classical three-electrode array there are these formulas:

$$k_{pM} = k_{AM}.$$

$$k_g = \left\{ k_{AN}^{-1} - k_{AM}^{-1} \right\}^{-1}.$$

For the four-electrode axis array remarked as the axis one you receive the following formulas:

$$k_{pM} = \left\{ k_{BM}^{-1} - k_{AM}^{-1} \right\}^{-1}, \quad (46)$$

$$k_{pN} = \left\{ k_{BN}^{-1} - k_{AN}^{-1} \right\}^{-1}, \text{ and} \quad (47)$$

$$k_g = \left\{ \left(k_{BN}^{-1} - k_{BM}^{-1} \right) - \left(k_{AN}^{-1} - k_{AM}^{-1} \right) \right\}^{-1}. \quad (48)$$

The next axis array is Werner array. For this there hold the following formulas:

$$k_{pN} = \left\{ k_{AN}^{-1} - k_{BN}^{-1} \right\}^{-1}, \quad (49)$$

$$k_{pM} = \left\{ k_{BM}^{-1} - k_{AM}^{-1} \right\}^{-1}, \text{ and}$$

$$k_g = \left\{ \left(k_{AN}^{-1} - k_{BN}^{-1} \right) - \left(k_{BM}^{-1} - k_{AM}^{-1} \right) \right\}^{-1}. \quad (50)$$

It is clear that for $B \rightarrow \infty$ you attain the classical axis array, when

$$k_{BN}^{-1} = 0 \text{ and } k_{BM}^{-1} = 0.$$

There remain arrays having both constant equal; it holds that $k_{AM} = k_{AN}$. In such case it is three-electrode perpendicular array and you obtain formula as follows:

$$k_g = \frac{\frac{k_{AM}}{2 \times \sin\left(\frac{\alpha_M - \alpha_N}{2}\right)}}{\frac{k_{AM}}{2 \times \cos\left(\frac{\alpha_M - \alpha_N}{2}\right)}} \quad \begin{matrix} \dots \text{for } 0 < (\alpha_M - \alpha_N) \leq \frac{\pi}{2} \\ \dots \text{for } \frac{\pi}{2} \leq (\alpha_M - \alpha_N) \leq \pi. \end{matrix} \quad (51)$$

If you analyze this formula you will get the following results:

For $(\alpha_M - \alpha_N) = 0$ it holds that $\sin[(\alpha_M - \alpha_N)/2] = 0$ and $k_g = \infty$. This presents identity of electrodes M and N; such case cannot be.

For $(\alpha_M - \alpha_N) = \pi/2$ it holds that $\sin[(\alpha_M - \alpha_N)/2] = \sqrt{2}/2$. Then it holds that:

$$k_g = \frac{\sqrt{2}}{2} \times k_{AM}. \quad (52)$$

For $(\alpha_M - \alpha_N) = \pi$ it holds that $\cos [(\alpha_M - \alpha_N)/2] = 0$ and $k_g = \infty$. It is case when between electrodes M and N there is zero voltage.

The three-electrode array remarked as the horizontal axis array belong to the last named. For this is $k_{AM} = k_{AN}$ and $(\alpha_M - \alpha_N) = \pi$. This array is not convenient for usual registration, because if $k_g = \infty$ then formula (35) says that $\Delta U = 0$, permanently. But for registration of vertical micro-inhomogeneities being between electrodes M and N it may be used.

The last array is the four-electrode one remarked as the perpendicular array. For this there are the following formulas:

$$k_g = \begin{cases} +\frac{1}{2} \times \left\{ \frac{k_{BM}}{\sin\left(\frac{\alpha_{BM} - \alpha_{BN}}{2}\right)} - \frac{k_{AM}}{\sin\left(\frac{\alpha_{AM} - \alpha_{AN}}{2}\right)} \right\} & \dots \text{for } 0 < (\alpha_{AM} - \alpha_{AN}) \leq \frac{\pi}{2}, 0 < (\alpha_{BM} - \alpha_{BN}) \leq \frac{\pi}{2} \\ -\frac{1}{2} \times \left\{ \frac{k_{BM}}{\cos\left(\frac{\alpha_{BM} - \alpha_{BN}}{2}\right)} - \frac{k_{AM}}{\cos\left(\frac{\alpha_{AM} - \alpha_{AN}}{2}\right)} \right\} & \dots \text{for } \frac{\pi}{2} \leq (\alpha_{AM} - \alpha_{AN}) < \pi, \frac{\pi}{2} \leq (\alpha_{BM} - \alpha_{BN}) < \pi \end{cases} \quad (53)$$

$$k_p = \left\{ k_{AM}^{-1} - k_{BM}^{-1} \right\}^{-1} = \left\{ k_{AN}^{-1} - k_{BN}^{-1} \right\}^{-1}. \quad (54)$$

The fact you are able to count exactly constants of Microlog for arbitrary array significantly extends the construction domain of tools having different convenient arrays of electrodes. Here is opened a wide way of experiments for new types of Microlog.

I attempted by mathematical modeling to find out the root principle of Microlog behavior tending to new knowledge, because there is always actual Latin phrase: Causarum cognitio cognitionem eventorum facit.

Conclusions

In accordance to made up analysis I present these conclusions:

Different shape geometry of electrodes affects their electric field and this is why of various shapes of relations having various magnification factors. Nonlinearity of those relations depends on magnification factor there where short distances between electrodes are. In the domain of long distances, when it holds that $(2m/a) \gg 1$ and $(2n/a) \gg 1$, there act only translation factors in horizontal and vertical directions. All relations incline to the basic relationship characterizing the point electrodes.

In the electrically-homogeneous surroundings there is registered identical resistivity for both the micro-normal and the micro-inverse. It is insured with condition that $k_M = 2 \times k_N$. Thanks to it there are valid next partial conditions: $\Delta U = U_M$ and $k_p = k_g = k_M$. This condition holds for both linear and nonlinear relations.

The electrode arrays can be symmetrical or asymmetrical. For the symmetrical ones it holds that $AN = MN$, whereas, the asymmetrical ones are characterized either with condition that $AN > MN$, negative asymmetry, or with condition that $AN < MN$, positive asymmetry.

Thanks to derived function $k/a = f(2m/a, 2n/a, A/a)$ it is possible exactly to compute geometric constants of the micro-normal and the micro-inverse in arbitrary place of plane for arbitrary electrode array. This opens new ways for new construction of unconventional electrode arrays.

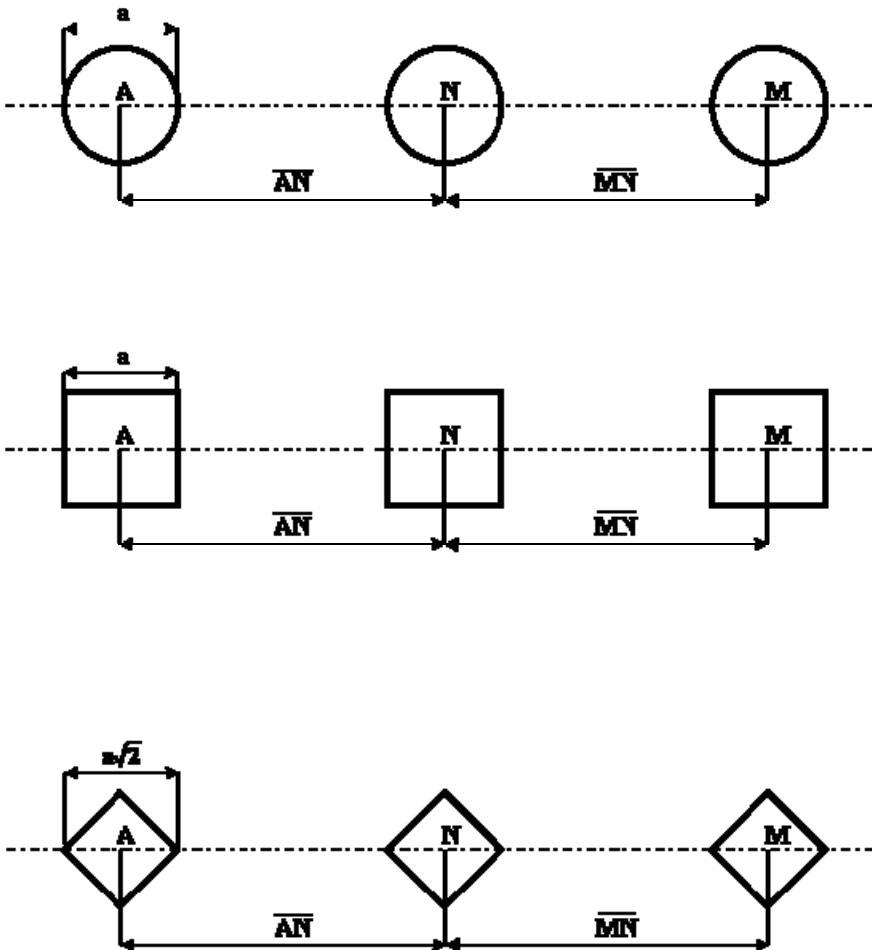


Fig. 1 The various form of electrodes for classical Mikrolog

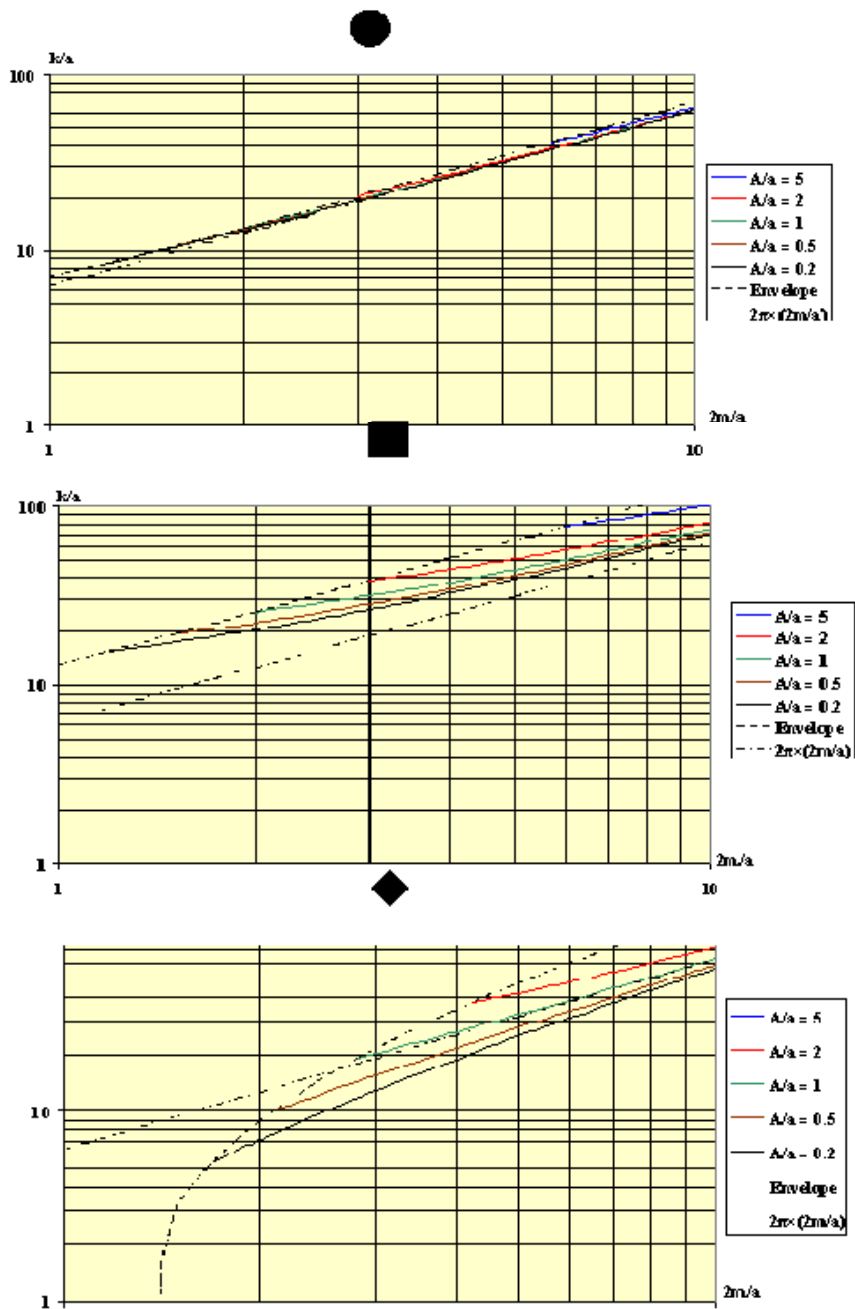


Fig. 2 Comparison of various form electrodes like function $k/a = f(2m/a, A/a)$

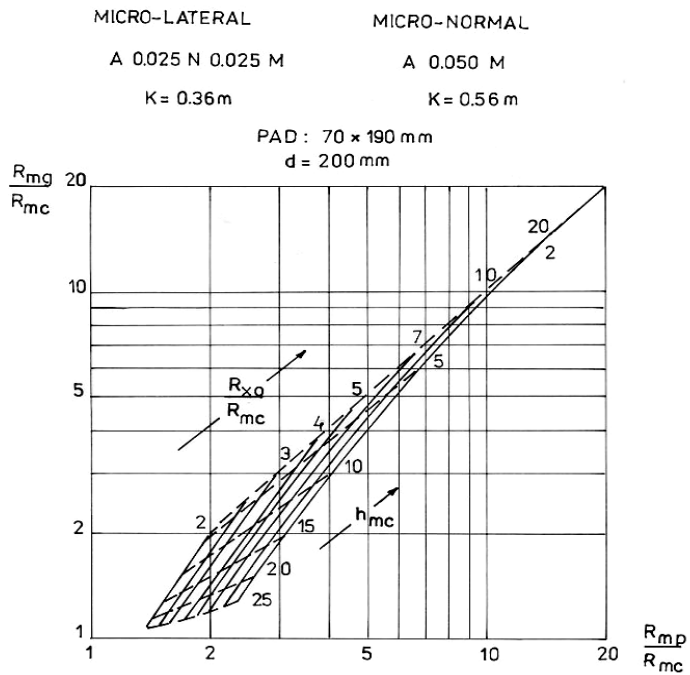


Fig.3 Correction charts for Russian Microlog for pad 70 × 190mm

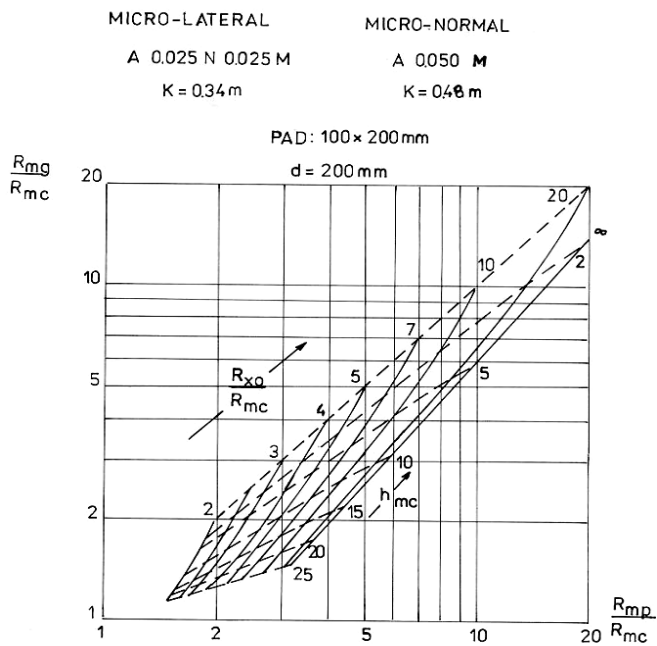


Fig. 4 Correction charts for Russian Microlog for pad 100 × 200mm

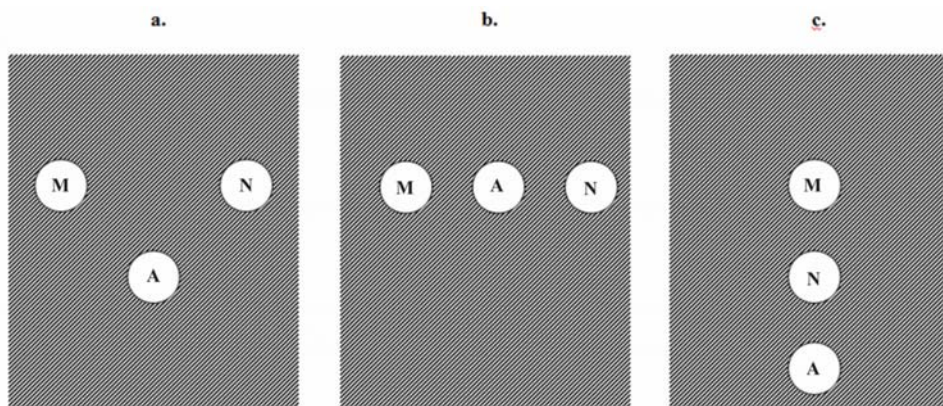


Fig.5 Some of possible arrays for the three-electrode system of Microlog

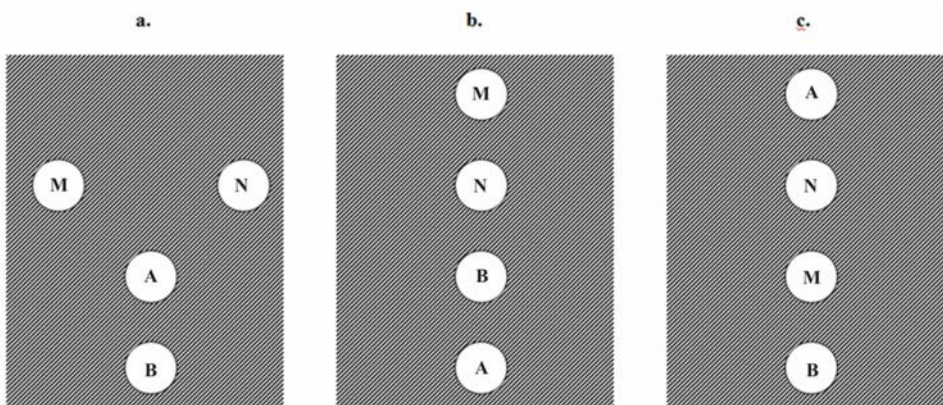


Fig. 6 Some of possible arrays for the four-electrode system of Microlog

Tab. 1 Examples of different shape geometry and their classification

Shape geometry	(A/a)	$\frac{AN}{[mm]}$	$\frac{AM}{[mm]}$	$\frac{MN}{[mm]}$	$\frac{AO}{[mm]}$	$(\frac{AO}{AM})$	$(\frac{MN}{AM})$	ϵ
Disc	1	24	48	24	36	0.750	0.500	0.000
Square	1	14	38	24	26	0.684	0.632	0.064
Diamond	1	23	47	24	35	0.745	0.511	0.006
	2	15	40	25	27.5	0.688	0.625	0.061
	0.5	27	51	24	39	0.765	0.471	-0.018

INFLUENCE OF CURVINESS OF THE ELECTRODE PAD SURFACE ON
ELECTRIC WELL-LOGGING MICRO-SYSTEMS

Abstract

The surface of the electrode pad for Microlog or for other focused micro-methods of well-logging is curved. It is cylindrical surface. The curvature of the pad surface is not to affect calculation of the electrode constant, because the above calculation is made for the plane into which the contours of electrodes are projected. Aim of this paper is the proof of previous contention.

Key words: the electrode pad, curvature of the pad, focused micro-methods, Microlog, Microlaterolog, calculation of constant, well-logging

Introduction

The last, but not insignificant, problem of electric well-logging micro-systems is curviness of the electrode pad surface and its effect on the voltage registration. The question sounds whether the above curviness has or has not an influence. Let's prove it.

Curviness of the electrode pad and its effect on

You can work on assumption of fig.1 and suppose that the oblong electrode has dimensions remarked as $a^* \times b$. Dimension b is laid in the only line being parallel to axis of cylinder, whereas, dimension a^* is the part of the curve of cylindrical surface.

If you project both sides on the straight surface, it will hold the following formulas:

$$a = 2r \times \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right) = 2r \times \left(\frac{a}{2r}\right), \text{ and} \quad (1)$$

$$b = b^*, \quad (2)$$

Where φ = central angle of the part of the cylindrical surface curve, and
 r = radius of the cylindrical surface of the electrode pad.

For the part of the cylindrical surface curve forming the side a^* it holds that:

$$a^* = r \times \varphi = 2r \times \arcsin\left(\frac{a}{2r}\right). \quad (3)$$

The voltage element remarked as dU^* being on the cylindrical surface of the oblong potential electrode is defined as follows:

$$dU^* = \frac{R \times I}{k} \times \frac{dS^*}{S^*}, \text{ and} \quad (4)$$

¹ RNDr., rysavy.frantisek@seznam.cz

$$S^* = a^* \times b^* = 2r \times b \times \arcsin\left(\frac{a}{2r}\right), \quad (5)$$

where k = constant of the electric well-logging micro-system [m],

R = resistivity of surroundings [Ωm], and

I = electric current flowing through the current electrode [mA].

The voltage element remarked as dU being on the straight surface where the electrode is projected from the cylindrical surface is determined with the help of this formula:

$$dU = \frac{R \times I}{k} \times \frac{dS}{S}, \text{ and} \quad (6)$$

$$S = a \times b = 2r \times b \times \left(\frac{a}{2r}\right). \quad (7)$$

The ratio between S^* and S is constant and has this form:

$$m = \frac{S^*}{S} = \frac{a^*}{a} = \frac{\arcsin\left(\frac{a}{2r}\right)}{\left(\frac{a}{2r}\right)}. \quad (8)$$

As it is valid that $r > a/2$ therefore there holds this inequality:

$$0 < \left(\frac{a}{2r}\right) < 1. \quad (9)$$

The inequality (9) results in the next inequality for m :

$$1 < m < \frac{\pi}{2}. \quad (10)$$

From equation (8) it is evident that it holds:

$$S^* = m \times S, \text{ and} \quad (11)$$

$$dS^* = m \times dS. \quad (12)$$

Due to relations (11) and (12) you are able to write:

$$\frac{dS^*}{S^*} = \frac{m \times dS}{m \times S} = \frac{dS}{S}. \quad (13)$$

This is very important relation entitled without any doubts that equations (4) and (6) are identical:

$$dU^* = dU. \quad (14)$$

For the electrode formed like circle the formula (14) holds, as well. We ought to remember that the contour curve on the cylindrical surface facing like circle is in fact ellipse.

$$S^* = \pi \times \frac{a^*}{2} \times \frac{a}{2}, \text{ and} \quad (15)$$

$$S = \pi \times \frac{a^2}{4}. \quad (16)$$

Formulas (13) and (14) are again valid, because there hold formulas from (8) up to (12). That is identical process as it was for the oblong electrode.

This all confirms that curviness of the electrode pad surface has no influence on registration of voltage. You are allowed to do all counting for voltage being on the incurvate plane having cylindrical surface as if the contours of electrode were projected into plane.

Conclusions

If you summarize the results of analysis, you will state that:

Curviness of the electrode pad does not affect calculation of constant remarked ask.

For calculation of the above constant we are allowed to take the distances between electrodes and their dimensions measured out the plane where the electrodes were projected.

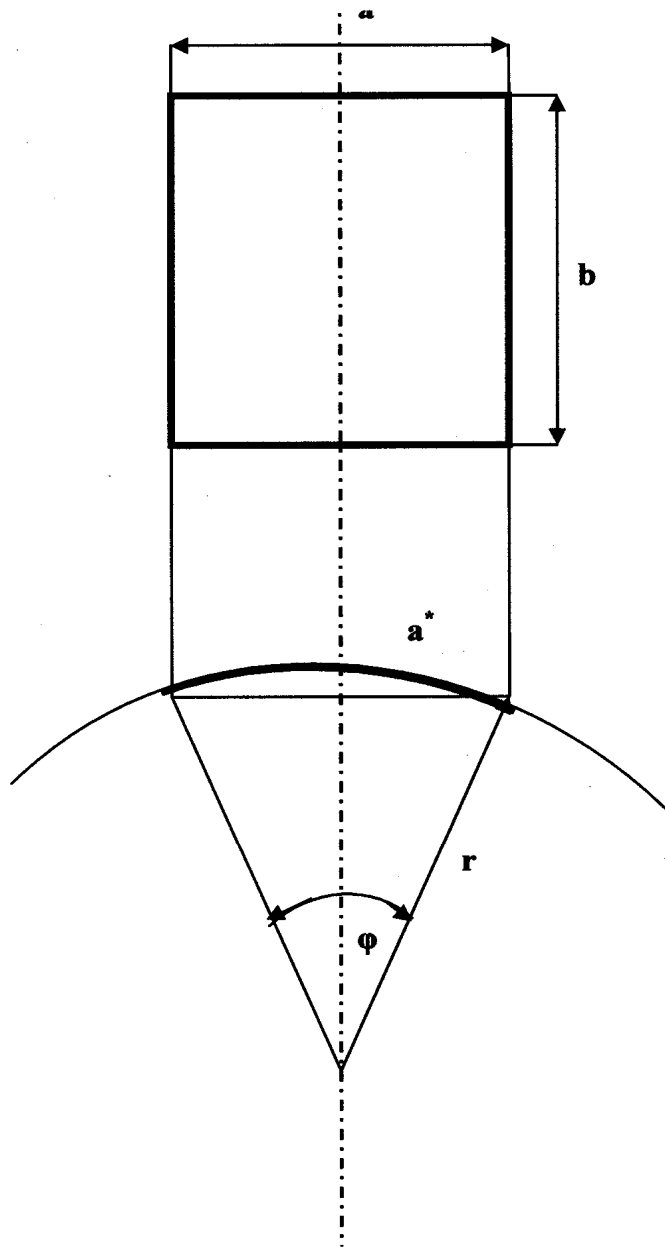


Fig.1 Schema of derivation of formulas for incurvate surface of pad

References

- [1] Dachnow V.N. (1967): Elektricheskiye i magnitnye metody issledovanya skvazhin, Fundament of Theory, Nedra, - Moscow.

STUDIE VLIVU MODELOVÁNÍ PODZÁKLADÍ NA PROVOZNÍ DYNAMIKU
KOMPRESORU

STUDY OF SUBSOIL MODELING INFLUENCE ON COMPRESSOR
OPERATIONAL DYNAMICS

Abstract

This work deals with the interaction of a structure and its subsoil. The investigated object is a concrete foundation of the compressor. The calculation model of the compressor, foundation block and subsoil is assembled by the finite element method. The paper concerns with dynamic response to harmonic and general excitation acting in time. Obtained results are treated in the numerical and graphical form.

Key words: Dynamics of Constructions, Concrete Foundation of Machines, Interaction of Construction with Subsoil.

Úvod

Základy strojů a strojních zařízení jsou stavební konstrukce, zatížené dynamickými účinky vznikajícími provozem stroje. Působící zatížení je konstrukcí základu přenášeno do podzákladí. Vzniká tak složitá soustava vzájemně se ovlivňujících prvků, kterými jsou stroj, základ, a podzákladí. Základy strojů a strojních zařízení jsou stavební konstrukce, zatížené

Oblast podzákladí, která je dnes již přirozenou součástí výpočtového modelu stavební konstrukce, představuje v realitě, při uvážení rozměrů konstrukce, neohraničený poloprostor. Při tvorbě modelu podzákladí v programech pracujících na bázi metody konečných prvků se tak setkáváme s problémem, jakým způsobem korektně zohlednit neohraničitelnost reálné oblasti ve výpočtovém, konečnoprvkovém prostorovém modelu.

V úlohách statiky bývá modelováno podzákladí pouze v blízkosti řešené konstrukce a jeho rozměry nemají vliv na výsledky analýzy.

Rozměr modelu oblasti podzákladí však získává na významu v úlohách dynamiky konstrukcí. Vlnění šířící se podzákladím směrem od konstrukce dosáhne ve výpočtovém modelu až hranice modelu podzákladí, která v reálném prostředí neexistuje. Záleží na přístupu řešitele, jakým způsobem hranici modelu vytvořil a do jaké míry tak ovlivní hodnoty výpočtem určených veličin dynamické odezvy.

Jednou z možností je na hranici modelu použít tzv. nekonečné prvky. Pro řešení interakce konstrukce s podzákladím jsou dnes odvozeny prostorové nekonečné prvky, umožňující řešit dynamické úlohy šíření vlnění nekonečným pružným prostředím. Pomocí nekonečných prvků lze vytvořit model podzákladí jako neohraničený

¹ Ing., VUT BRNO, FAST, Stavební mechanika, Veveří 331/95, 602 00 Brno, bratka.m@fce.vutbr.cz

² Ing., PhD., VUT BRNO, FAST, Stavební mechanika, Veveří 331/95, 602 00 Brno, kala.j@fce.vutbr.cz

³ Doc., Ing., CSc., VUT BRNO, FAST, Stavební mechanika, Veveří 331/95, 602 00 Brno, salajka.v@fce.vutbr.cz

poloprostor při použití co nejmenšího konečného počtu prvků. Touto problematikou se zabývá řada autorů, viz např. [1], [2]. V komerčních programových systémech, např. v systému ANSYS, jsou již dnes zabudovány nejjednodušší nekonečné prvky, není je však možné použít pro úlohy interakce konstrukce s podloží.

Druhým možným přístupem je vytvořit model podzákladí jako oblast konečných rozměrů s předem známými hranicemi, na kterých se zadají okrajové podmínky – vazby. Jednotlivé typy okrajových vazeb pak různě ovlivňují vlastnosti výpočtového modelu a výsledky prováděných výpočtů a analýz.

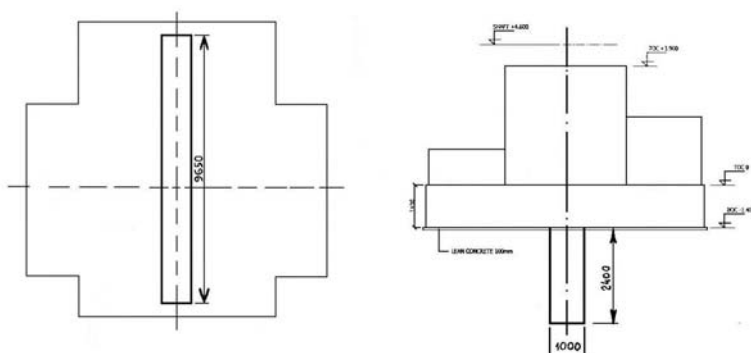
Předložený článek předkládá výsledky harmonické a transienční analýzy konstrukce blokového základu kompresoru. Práce se snaží poukázat na vliv modelování podzákladí na hodnoty odezвовých veličin. Měnicím se parametrem použitých výpočtových modelů je typ vazby na hranici modelu oblasti podzákladí. Analýza konstrukce byla provedena v programovém systému ANSYS.

Popis konstrukce

Soustrojí tvoří dvouválcový ležatý kompresor s protiběžnými písty a pohonným elektromotorem. Funkčními jednotkami soustrojí jsou kompresor, elektromotor, levý a pravý tlumič a olejový agregát, o celkové hmotnosti 51,5 Mg. Funkční jednotky mají samostatné základové desky, kotvené šrouby do základové konstrukce. Silové účinky na základovou konstrukci jsou odvozeny z nevyváženosti rotujících a translačních hmot mechanismu kompresoru.

Analýzovanou konstrukcí je silně vyztužený základový železobetonový (ŽB) blok, s množstvím výztuže min. 200 kg.m⁻³. Rozměry základu jsou 10 650 mm x 11 000 mm x 1 400 mm (D x Š x V). Horní povrch ŽB základu je složitě profilován, vystupují z něj dílčí ŽB bloky, které nesou jednotlivé součásti podporovaného soustrojí. Dolní povrch je z důvodu zajištění stability konstrukce opatřen železobetonovým žebrem (schéma viz obr. 1). Blok je uložen na vrstvě podkladního betonu tl. 100 mm, po stranách je od okolní zeminy oddělen vrstvou polystyrenu tl. 50 mm.

Podzákladí je zjednodušeně uvažováno jako homogenní oblast, jejíž mechanické vlastnosti byly dypočteny z rychlostí šíření tlakových a smykových vln v zemině, určených na základě zkoušek.



Obr. 1 Schéma základu

Výpočtový model

Za účelem zkoumání dynamické odezvy konstrukce byl vytvořen v programovém systému ANSYS prostorový výpočtový model konstrukce včetně podzákladí. Byly modelovány všechny části konstrukce – stroj, základ a oblast podzákladí.

Výpočtový model soustrojí byl vytvořen zjednodušeně. Prutové prvky BEAM44 nahrazují svou tuhostí tuhost konstrukce soustrojí. Hmotnost celého soustrojí je soustředěna do pěti diskretních uzlů tvořených prvky MASS21, ležících v teoretických místech těžišť jednotlivých částí soustrojí. Ukotvení stroje do ŽB základu je modelováno pomocí kotevních desek, vytvořených ze skořepinových prvků SHELL43. Vzájemná provázanost pohybu soustředěných hmot při silovém buzení jediné hmoty je zajištěna pomocí prutových prvků LINK8. Protože veškerá hmotnost kompresoru je soustředěna v hmotných uzlech, jsou tuhé pruty a kotevní desky definovány jako izotropní materiál s nulovou hmotností. Výpočtový model základového bloku, podkladního betonu a postranní dilatační vrstvy polystyrenu byl sestaven z prostorových prvků SOLID45. Oblast podzákladí byla modelována opět prostorovými prvky SOLID45. Celkem bylo v modelu použito 72 266 prvků, lokalizovaných 77 601 uzlem.

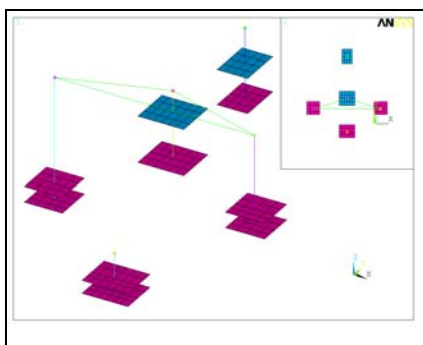
Ve všech dílčích částech modelu byl použit materiálový model lineárního izotropního materiálu. Hodnoty materiálových konstant jsou dány v tabulce tab. 1.

Tab. 1 Materiálové modely

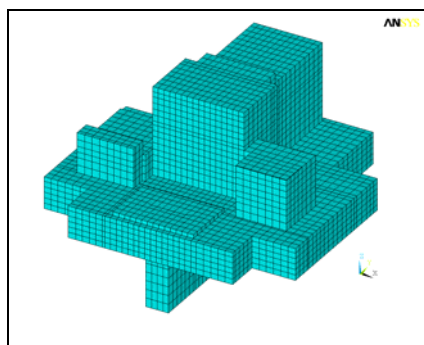
	Soustrojí	Beton základu	Podkladní beton	Polystyren	Podzákladí
E [Pa]	$210 \cdot 10^9$	$3,1 \cdot 10^{10}$	$2,7 \cdot 10^{10}$	$8,0 \cdot 10^5$	$149 \cdot 10^6 + 5,96 \cdot 10^6 h^{(1)}$
ν [-]	0,30	0,20	0,20	0,49	0,49
ρ [kg.m ⁻³]	0	2400	2300	10	2090

¹⁾ Modul pružnosti zeminy podzákladí je lineární funkcí hloubky h [m] od povrchu zeminy. Jednotlivé horizontální vrstvy konečných prvků měly různý modul pružnosti dle vertikální polohy vrstvy.

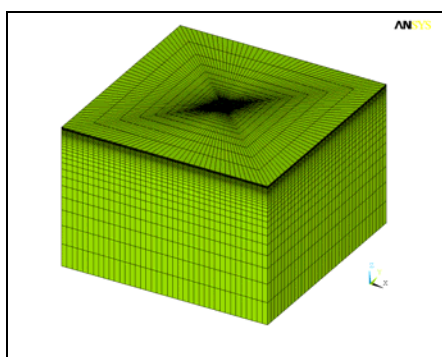
Konstrukce modelované včetně oblasti podzákladí vyžadují zadání matematického modelu útlumu, který umožňuje přímou integraci pohybových rovnic. V modelu byl použit model Rayleighova útlumu, který uvažuje hodnotu matice tlumení $[C]$ jako lineární kombinaci matice hmotnosti $[M]$ a matice tuhosti $[K]$ podle vztahu $[C] = \alpha[M] + \beta[K]$, kde α , β jsou koeficienty Rayleighova útlumu. Byl uvažován poměrný útlum o velikosti $\alpha = 2 \%$, této hodnotě odpovídají hodnoty koeficientů $\alpha = 0,75$ a $\beta = 0,00036$.



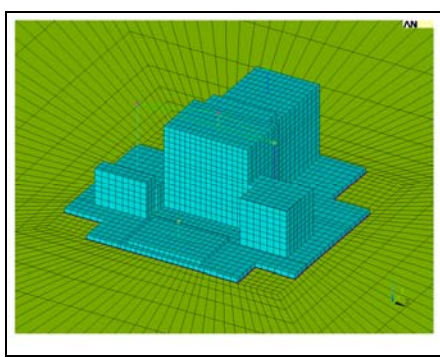
Obr. 2 Model kompresoru



Obr. 3 Model betonového základu



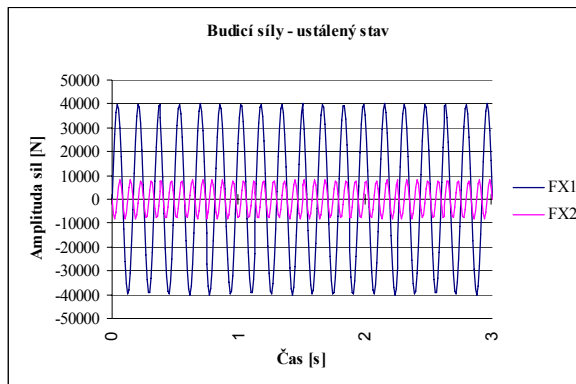
Obr. 4 Model oblasti podzákladí



Obr. 5 Model základu a stroje včetně podzákladí

Dynamické buzení konstrukce

Dynamické buzení stroji vzniká pohybem nevyvážených hmot. V modelované úloze je dynamické zatížení vyvoláno provozem kompresoru. Skutečné působení stroje na základovou konstrukci bylo pro účely výpočtu nahrazeno modelem dynamického buzení, který je tvořen osmi působícími silami. Tyto síly byly určeny konstantními hodnotami, působišťem, směrem a funkcemi, popisujícími proměnnost hodnoty síly buzení v čase. Byl modelován ustálený stav buzení. Graf 1 ukazuje průběh velikosti dvou budících sil v čase.

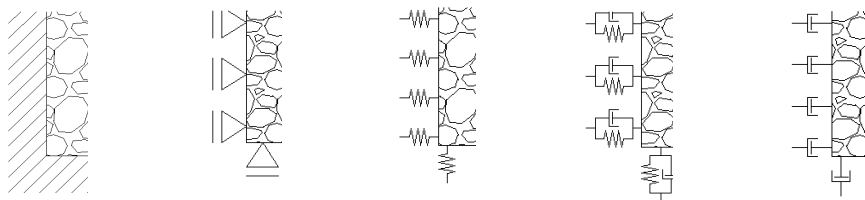


Graf 1 Budící síly

Řešené varianty výpočtového modelu

Okrajové podmínky na hranici modelu podzákladí byly modelovány pěti různými variantami vazeb:

- a) vetknutí b) kluzná c) pružná d) vazkopružná e) disipativní



ad a) vetknutí – uzlům na hranici modelu podzákladí jsou odebrány posuvy všemi směry,

ad b) kluzná vazba – hraničním uzlům jsou odebrány posuvy ve směru kolmém k ploše, na níž se uzel nachází,

ad c) pružná vazba – uzly jsou pomocí prvků COMBIN14 podepřeny tuhými pružinami,

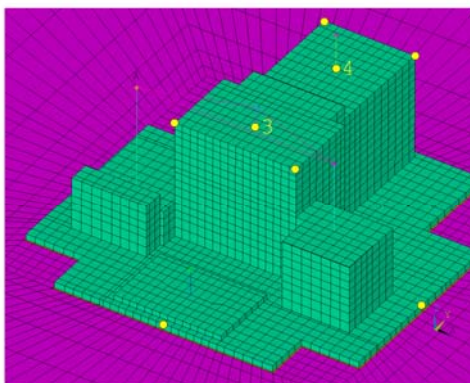
ad d) vazkopružná vazba – prvek COMBIN14 jako soustava pružina – tlumič, bez potlačení tuhosti pružiny,

ad e) disipativní vazba – COMBIN14 zadán jako soustava pružina – tlumič s velmi malou tuhostí pružiny.

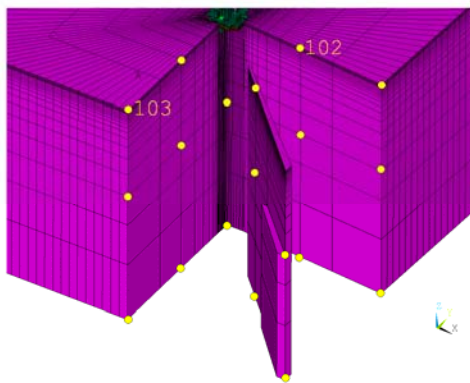
Sledované uzly modelu

Na konstrukci byla sledována odezva celkem ve vybraných 32 uzlech, 12 uzlů je umístěno na konstrukci základu a stroje, zbylých 20 uzlů v modelu podzákladí. Závěry práce jsou doloženy zobrazením odezvových veličin na konstrukci v uzlech č.3 a č.4 a

v podzákladí jsou prezentovány v uzlech č.102 a č.103. Sledované uzly jsou popsány na obr. 6,7.



Obr. 6 Sledované uzly na konstrukci

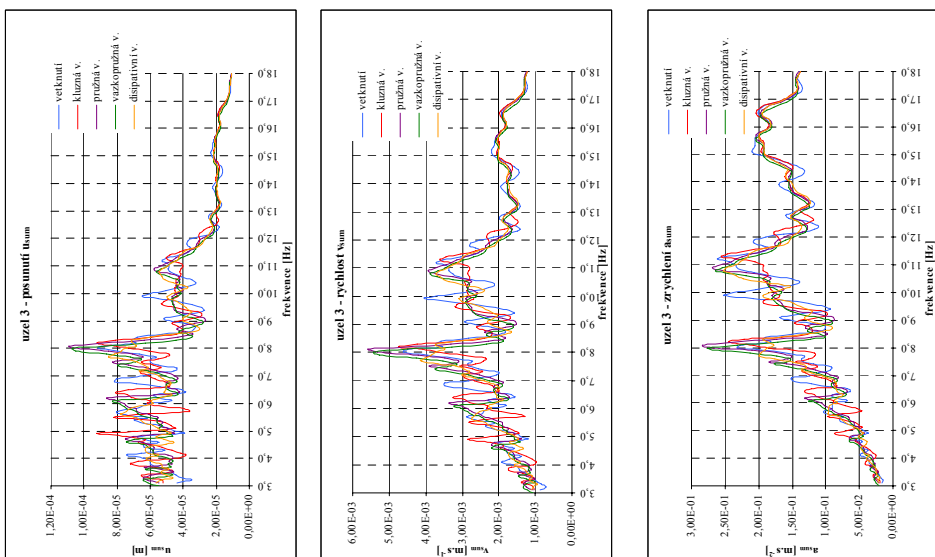


Obr. 7 Sledované uzly v podzákladí

Odezva na harmonické buzení

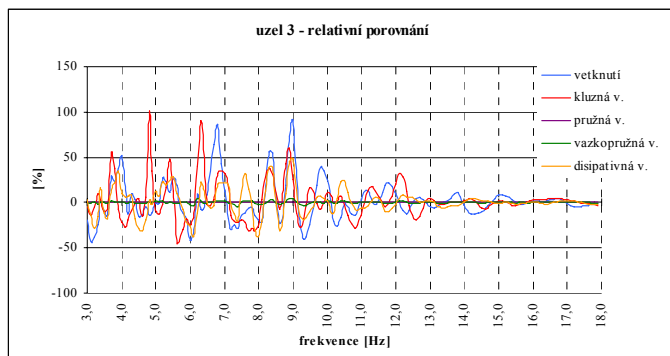
Harmonická analýza řeší ustálenou odezvu konstrukce zatížené harmonickým zatížením, tj. zatížením, které se v čase mění podle předpisu funkce sinus. Všechna zatížení působící na konstrukci mají pouze jednu budící frekvenci. Tato analýza se používá pro řešení dynamické odezvy konstrukcí ve frekvenční oblasti.

Výsledky provedené analýzy po vzájemném porovnání ukazují, že vliv typu okrajové podmínky na dynamickou odezvu konstrukce, vyvolanou harmonickým zatížením, je značný. Dokládají to následující grafy zobrazující odezvu ve sledovaném uzlu č.3.



Graf 2 Odezva na harmonické buzení

Charakter odezvy všech variant okrajových podmínek je přibližně stejný. Z relativního porovnání hodnot přemístění usum (graf 3) je však patrné, že rozdíly v odezvě, vyhodnocované pro konkrétní hodnotu frekvence, mohou být i při stejném buzení v řádu stovek procent. Relativní srovnání je vyjádřeno vzhledem k hodnotám odezvy při pružném uložení konstrukce.



Graf 3 Relativní porovnání

Maximální hodnoty přemístění u_{sum} a jejich vzájemné porovnání ukazuje tabulka 2:

Tab. 2 Relativní porovnání u_{sum}

	Uzel 3			Uzel 4		
	f [Hz]	$\max u_{sum}$ [m]	[%]	f [Hz]	$\max u_{sum}$ [m]	[%]
Kluzná v.	4,9	9,24E-05	85	8,2	7,65E-05	86
Vetknutí	8,0	9,18E-05	84	8,1	7,65E-05	86
Pružná v.	8,1	1,09E-04	100	8,1	1,00E-04	100
Vazkopružná v.	8,1	1,07E-04	98	8,1	9,77E-05	98
Disipativní v.	7,7	8,51E-05	78	7,7	7,11E-05	71

Odezva na buzení v čase

Časová (transientní) analýza je určena k řešení dynamické odezvy konstrukce na libovolné zatížení, popsané funkcí změny hodnoty zatížení v závislosti na čase. Jednotlivá zatížení mohou mít různou budící frekvenci. Řešení je tedy provedeno v časové oblasti. Časová analýza je v programovém systému ANSYS řešena implicitní Newmarkovou metodou časové integrace, známé také pod názvem metoda průměrného zrychlení.

Délka řešeného časového úseku byla zvolena 10 s, aby bylo zajištěno utlumení vlastního kmitání konstrukce vzniklého na začátku výpočtu analýzy v důsledku numerické konstrukce výpočtu. Z důvodu velikosti výpočtového modelu byly výsledky analýzy uloženy pouze ve sledovaných uzlech modelu. Ukládanými veličinami byly hodnoty uzlových přemístění.

Požadavky na mezní úroveň vibrací stroje za provozu byly:

$d_m = 77,5 \text{ } \mu\text{m}$ - amplituda výchylky kmitání základ. desky kompresoru,

$v_m = 4,26 \text{ mm.s}^{-1}$ - amplituda rychlosti kmitání základ. desky kompresoru,

$d_m = 65,7 \text{ } \mu\text{m}$ - amplituda výchylky kmitání základ. desky motoru,

$v_m = 2,55 \text{ mm.s}^{-1}$ - amplituda rychlosti kmitání základ. desky motoru.

Základová deska kompresoru ve výpočtových modelech odpovídá sledovanému uzlu č.3, základová deska motoru sledovanému uzlu č.4.

V tabulce 3 jsou hodnoty odezvy pro sledovaný uzel č.3 – základ. desky kompresoru.

Tab. 3 Maxima odezvy – uzel č.3

Uzel 3	Typ okrajové vazby				
	Vetknutí	Kluzná	Pružná	Vazkopružná	Disipativní
u_{sum} [m]	$4,47 \cdot 10^{-5}$	$5,81 \cdot 10^{-5}$	$7,42 \cdot 10^{-5}$	$7,13 \cdot 10^{-5}$	$4,67 \cdot 10^{-5}$
v_{sum} [m.s ⁻¹]	$1,86 \cdot 10^{-3}$	$2,25 \cdot 10^{-3}$	$3,13 \cdot 10^{-3}$	$3,01 \cdot 10^{-3}$	$2,09 \cdot 10^{-3}$

Porovnáním s mezními hodnotami vyplývá, že ustálený stav kmitání základové desky kompresoru vyhoví v každé z řešených variant.

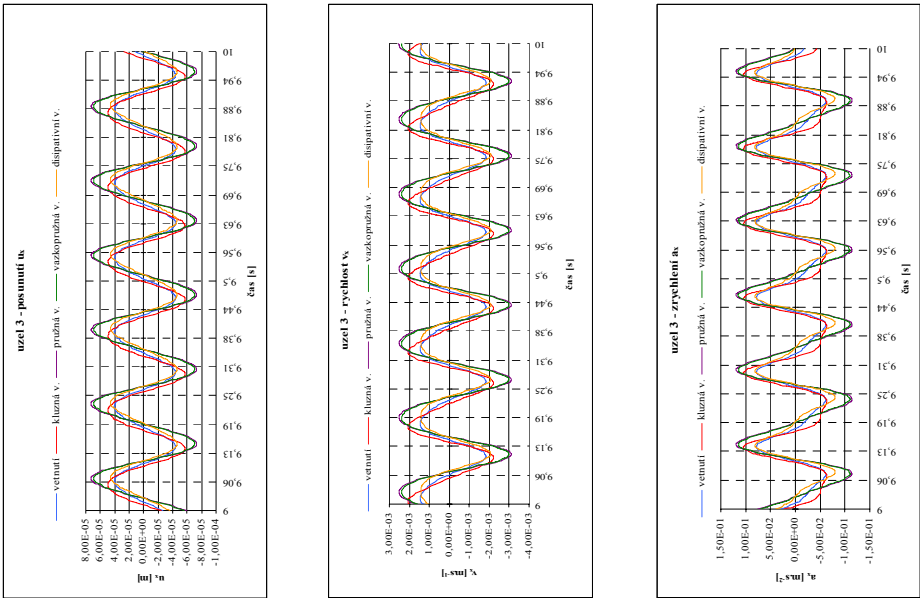
Hodnoty odezvy pro sledovaný uzel č.4 – základ. deska motoru, ukazuje tabulka 4.

Tab. 4 Maxima odezvy – uzel č.4

Uzel 4	Typ okrajové vazby				
	Vetknutí	Kluzná	Pružná	Vazkopružná	Disipativní
$u_{\text{sum}} [\text{m}]$	$4,58 \cdot 10^{-5}$	$6,46 \cdot 10^{-5}$	$7,52 \cdot 10^{-5}$	$7,23 \cdot 10^{-5}$	$4,93 \cdot 10^{-5}$
$v_{\text{sum}} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	$1,88 \cdot 10^{-3}$	$2,52 \cdot 10^{-3}$	$3,07 \cdot 10^{-3}$	$2,96 \cdot 10^{-3}$	$2,08 \cdot 10^{-3}$

Při zvolení pružného nebo vazkopružného uložení jsou červeně zvýrazněné hodnoty odezvy vyšší, než připouští mezní hodnoty. Konstrukce by v tomto případě byla posouzena jako nevyhovující a hodnoty odezvy by musely být sníženy úpravou konstrukce, nebo např. vložení dalších tlumičů.

Následující grafy 7.12 až 7.14 zobrazují odezvu v uzlu č.3 ve směru osy x:



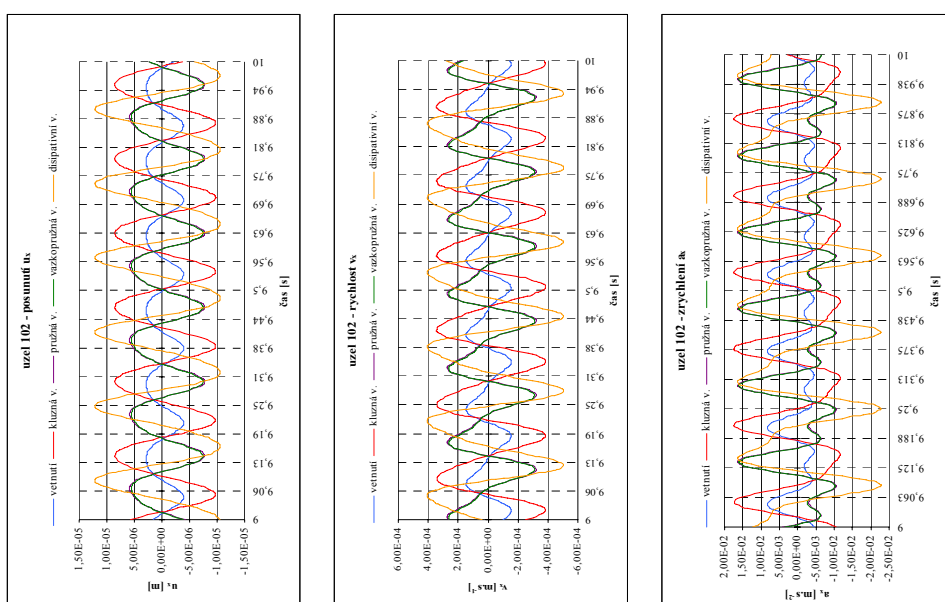
Graf 4 Odezva na buzení v čase

Je evidentní, že časová odezva konstrukce se pro jednotlivé typy okrajových podmínek velice liší. Důvod je následující:

Dynamické zatížení stroje rozkmitává konstrukci základu a toto kmitání se přenáší do modelu podzákladí. Vlnění se následně šíří podzákladím od zdroje buzení

všemi směry a během šíření je postupně tlumeno. Když vlnění dorazí na hranici oblasti podzákladí, je buď zcela nebo částečně odraženo zpět do modelu podzákladí. Množství odražené či pohlcené energie závisí na typu uložení bloku podzákladí. Odražené vlnění se šíří podzákladím zpět a dochází tak ke skládání původního a odraženého vlnění. V závislosti na fázovém posunu vůči původnímu vlnění může docházet k výraznému zesilování a nebo i zeslabování celkové amplitudy vlnění v daném místě. V různých bodech modelu tak mohou být hodnoty odezvy pro různé typy okrajové podmínky velice odlišné.

Rozdílnost v odezvě jednotlivých řešených variant v uzlech podzákladí je tedy důsledkem odražení či pohlcení pružného vlnění okrajovou podmínkou na hranici oblasti podzákladí. Doložme tvrzení hodnotami odezvy ve sledovaném uzlu podzákladí č.102.



Graf 5 Odezva na buzení v čase

Závěr

Jak bylo doloženo výsledky výpočtů, uvedenými v předchozí kapitole, typ okrajové vazby na hranici modelu oblasti podzákladí se významným způsobem promítá do hodnot odezvových veličin konstrukce. Pro různé varianty sledovaného parametru se mění hodnota odezvy konstrukce na buzení harmonickým zatížením. Rozdíly jsou řádově v desítkách procent, a to zejména v oblastech nízkých frekvencí, které jsou typické právě pro stavební konstrukce. U hodnot dynamické odezvy konstrukce na buzení ustáleným stavem kmitání je vliv okrajových podmínek na chování výpočtového modelu natolik podstatný, že změna parametrů může vést až k hodnotám odezvy konstrukce přesahujícím mezní přípustné limity pro použité strojní zařízení. Volba nevhodných vlastností výpočtového modelu tak může zbytečně zvýšit investice do

stavebních a provozních úprav konstrukce, či zapříčiní špatný návrh konstrukce a nutnost následných oprav a rekonstrukcí.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za finančního přispění Výzkumného záměru MSM 0021630519 Progresivní spolehlivé a trvanlivé nosné stavební konstrukce.

Literatura

- [1] Kazakov, K. (2007): Continuity between Finite and Infinite Elements, Along Artificial Boundary in Soil-Structure Interaction Problems, Proceedings of the Jubilee Conference in UACG 2007, Sofia, Bulgaria
- [2] Šimonovič, M. (2006): Riešenie interakcie konštrukcia-podložie nekonečnými prvkami, dizertačná práca, STU v Bratislave

**MATEMATICKÉ MODELOVÁNÍ SEIZMICKÝCH ÚČINKŮ TRHACÍCH PRACÍ
PROVÁDĚNÝCH BĚHEM VÝSTAVBY TUNELU KLIMKOVICE
MATHEMATICAL MODELING OF SEISMIC EFFECTS OF BLASTS PERFORMED
DURING CONSTRUCTION OF KLIMKOVICE TUNNEL**

Abstract

This paper summarized results of mathematical modeling of seismic effects of blasts performed during construction of Klimkovice tunnel. Program package Plaxis was used for this purpose. The main study was concentrate on seismic loading of building in near zone.

Key words: Klimkovice tunnel, mathematical modeling, seismic loading

Úvod

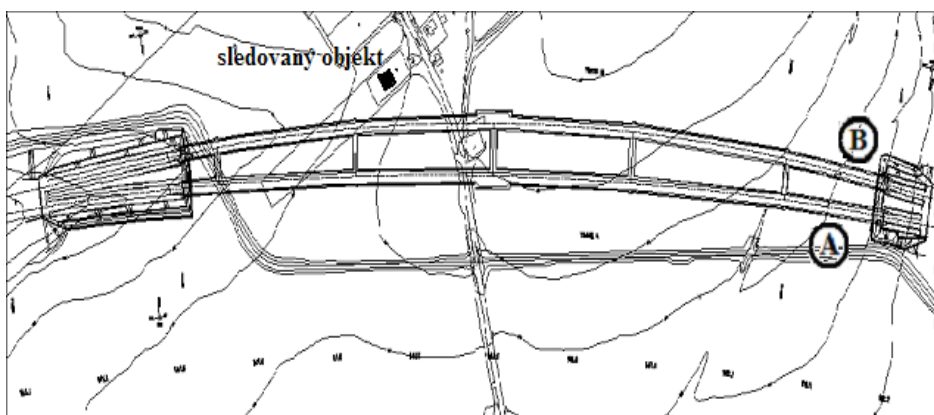
V České republice dochází k velkému rozmachu tunelové výstavby a podzemních děl obecně, což sebou nese i určité problémy, neboť mnoho již budovaných či plánovaných staveb je vedeno v zastavěných oblastech a v relativně malých hloubkách pod povrchem. Většina tunelů je ražena novou rakouskou tunelovací metodou, jejíž nedílnou součástí je rozpojování horniny trhacími pracemi a průběžný geotechnický monitoring, do něž spadá i monitoring seizmický. Trhací práce jsou zdrojem technické seizmicity, která může na povrchu způsobovat poškození zařízení budov či celých objektů. Seizmický monitoring v průběhu výstavby podzemního díla má tomuto zabránit. Na základě naměřených údajů jsou parametry trhacích prací upravovány tak, aby se minimalizovaly dopady rážby mělce vedeného podzemního díla na povrchu (Holub, 2006, Kaláb, 2007, Stolarík, 2007).

Cílem této práce je modelovat vliv lokální geologie a vzdálenosti na maximální hodnoty amplitudy rychlosti kmitání, při srovnání reálných naměřených hodnot a hodnot získaných z matematického modelu. Jako zdroj technické seizmicity byla v modelu uvažována trhací práce prováděná při rážbě mělce pod povrchem vedené tunelové trouby. Výsledky matematického modelu byly statisticky vyhodnoceny a porovnány s reálnými hodnotami rychlosti kmitání získanými během geotechnického monitoringu (Manuál programu PLAXIS 2D).

Reálná předloha modelu

Jako předloha pro zpracování matematického modelu byla použita stavba dálničního tunelu Klimkovice, který je součástí stavby dálnice D47. Jedná se o dvě jednosměrné dvoupruhové tunelové trouby (Obr. 1). Ražená část tunelu A je dlouhá 857.40 m, tunel B je ražený v délce 867.90 m. Hrubý profil obou ražených tunelů je 116.4 m² (bližší informace o tunelu Klimkovice včetně inženýrsko – geologických poměrů např. Stolarík 2007). V průběhu celé výstavby tunelu byl prováděn seizmický monitoring technické seizmicity vyvolané trhacími pracemi a senzory byly umístěny mimo jiné i na objektu rodinného domku č.p. 798 (interní materiály firmy INSET).

¹ Ing., FAST VŠB-Technická univerzita Ostrava, 17.listopadu 15, 708 00 Ostrava-Poruba, (též Ústav geoniky AV ČR, v.v.i., Ostrava), martin.stolarik@vsb.cz



Obr. 1 Tunel Klimkovice – situační schéma

Matematický model

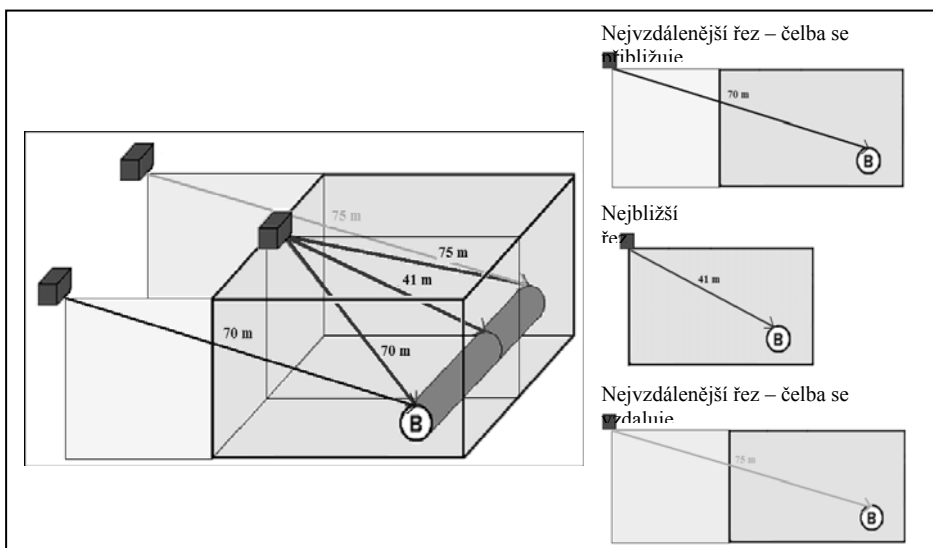
Dynamický model seizmických účinků trhací práce byl realizován v programovém systému Plaxis 2D osově symetrickým modelem. Při tvorbě dynamického modelu je obecný postup analogický jako v případě statické analýzy. Zahrnuje zadání geometrie modelu, definování okrajových podmínek, generaci sítě, zadání počátečních podmínek, zadání vstupních geometrických i materiálových charakteristik horninového prostředí i konstrukčních prvků a stanovení charakteristik zatížení (Hrubešová a Aldorf, 2004).

Pro potřeby 2D prostředí programového systému PLAXIS bylo nutné reálnou 3D situaci sledovaného 120 metrového úseku ražby tunelové trouby B patřičně zjednodušit, a to rozložením celé situace na 19 řezů odpovídajících staničením, ve kterých byly prováděny trhací práce (Obr. 2). Celkem bylo tedy sestaveno 19 matematických modelů simulujících postup čelby.

Vrstevnaté horninové prostředí odpovídá charakteristické geologii pro dané území a pro potřeby modelu bylo zjednodušeno. Jednotlivé vrstvy, které měly různý úklon a v geologickém řezu měnící se mocnost, byly do modelu zaimplementovány jako vrstvy vodorovné o stejné mocnosti (Obr. 3). Fyzikální vlastnosti zemin a mocnosti jednotlivých vrstev byly do modelu zadány na základě výsledků inženýrsko - geologického průzkumu (interní materiály firmy INSET) a doplněny tabulkovými hodnotami (ČSN 73 1001 – Zakládání staveb, Základová půda pod plošnými základy) (Tab. 1). Vliv podzemní vody nebyl z důvodu zjednodušení matematického výpočtu uvažován, model však bez zadání objemové tíhy saturované zeminy nepracuje.

Tab. 1 Vlastnosti horninového prostředí

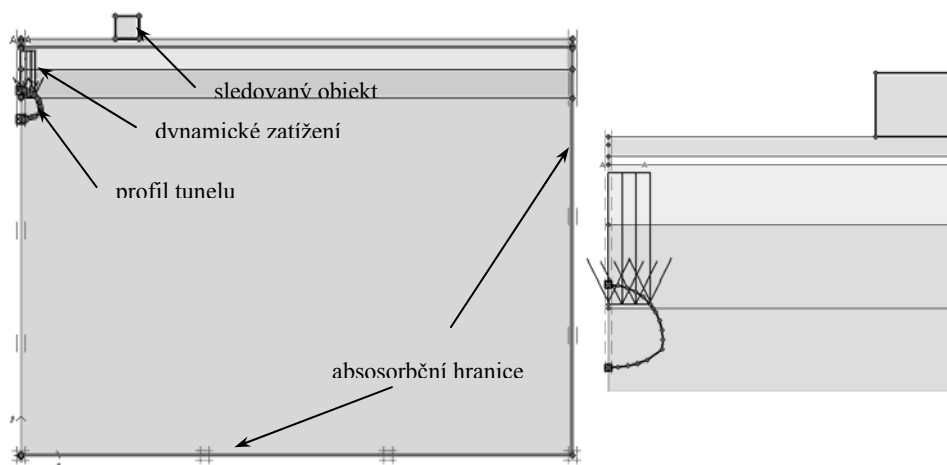
Typ horniny	γ [kN/m ³]	γ_{SAT} [kN/m ³]	μ [-]	E [kN/m ²]	c [kN/m ²]	Φ [°]	γ ... objemová tíha zeminy
kvartérní pokryv	18	21	0,35	2000	10	19	
droby	22,65	24,65	0,25	2000000	80	42	γ_{SAT} ... obj. tíha saturované zeminy
jílovce a prachovce	zvětralé	20,55	0,25	1500000	20	36	
	slabě navětralé	22,7	0,25	2000000	60	38	
neporušené	24,3	26,3	0,25	2800000	80	42	μ ... Poissonovo číslo



Obr. 2 Princip zjednodušení reálné situace pro potřeby 2D modelu

V případě modelování dynamických vlivů je nutno kromě základních charakteristik horninového prostředí (přetvárné, pevnostní, popisné parametry) zadat dále rychlosti šíření vln v horninovém prostředí, a charakteristiky materiálového tlumení. Rychlosti šíření vln lze buď zadávat přímo nebo je možno tyto parametry spočítat na základě modulu pružnosti E resp. Eoed, Poissonova čísla μ a objemové tíhy γ dle obecně známých vztahů.

Pro zohlednění materiálového tlumení je nutno zadat tzv. Rayleighovy parametry tlumení alfa a beta. Pro osově symetrický model je často dostačující uvažovat pouze tzv. geometrické tlumení, plynoucí z radiálního šíření vln prostředím a materiálové tlumení lze v tomto případě zanedbat (Rayleighovy koeficienty tlumení jsou nulové) (Hrubešová a Aldorf, 2004).



Obr. 3 Celková geometrie symetrického modelu a detail umístění zatížení a sledovaného objektu

Dynamický modul jímž je zadáno do matematického modelu dynamické zatížení je v programovém systému PLAXIS 2D charakterizován koeficientem dynamického zatížení (Amplitude multiplier), frekvencí kmitání a fázovým posunem (Obr. 4).

Fázový posun v této úloze nebyl uvažován, protože zavedení fázového posunu nemá vliv na výpočet. Koeficient dynamického zatížení byl spočítán za použití vztahu profesorky Fotieové (Bulyčev, 1988), přičemž parametry horniny vstupující do výpočtu p_{dyn} jsou parametry horninové vrstvy v modelu, ve které je umístěno dynamické zatížení:

$$p_{dyn} = \frac{1}{2\pi} \cdot Kc \cdot \gamma \cdot Vp \cdot To \approx 1,8389 \quad [kPa] \quad (1)$$

kde

Kc – koeficient seizmicity ($Kc = 0,05$)

γ – objemová tíha zeminy ($\gamma = 22,7 \text{ kN/m}^3$)

To – převládající perioda seizmických kmitů horninových částic ($To = 0,01 \text{ s}$)

Vp – rychlost šíření podélných vln ($Vp = 1018 \text{ m.s}^{-1}$) je dána vztahem (2):

(2)

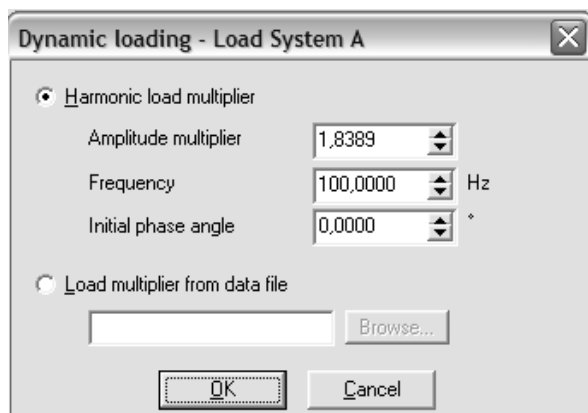
$$V_p = \sqrt{\frac{E_{oed}}{\rho}}, \quad E_{oed} = \frac{(1 - \mu) E}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2\mu)}, \quad \rho = \frac{\gamma}{g}$$

E – modul pružnosti ($E = 2000000 \text{ kPa}$)

μ – Poissonovo číslo ($\mu = 0,25$)

g – tíhové zrychlení ($g = 9,80665 \text{ m.s}^{-2}$)

ρ – hustota horniny ($\rho = 2,314 \text{ g/m}^3$)



Obr. 4 Dynamické zatížení – Plaxis 2D

Frekvence kmitání byla do matematického modelu zavedena z reálného záznamu průběhu rychlosti kmitání pořízeném při monitoringu technické seizmicity na objektu rodinného domku č.p. 798 vlivem trhacích prací prováděných v místě kaloty na tunelové troubě B v době, kdy ražba procházela v nejmenší vzdálenosti od monitorovaného objektu, tj. ve staničení 141.576,65 (Obr. 5).

Vlastní zatížení simulující trhací práci bylo v geometrii matematického modelu umístěno ve formě rovnoměrného spojitého zatížení v místě kaloty. Doba působení dynamického zatížení byla 0,01 s. Tato hodnota vyplynula z převládající frekvence naměřené na monitorovaném objektu.

Výstupy a interpretace výsledků matematického modelu

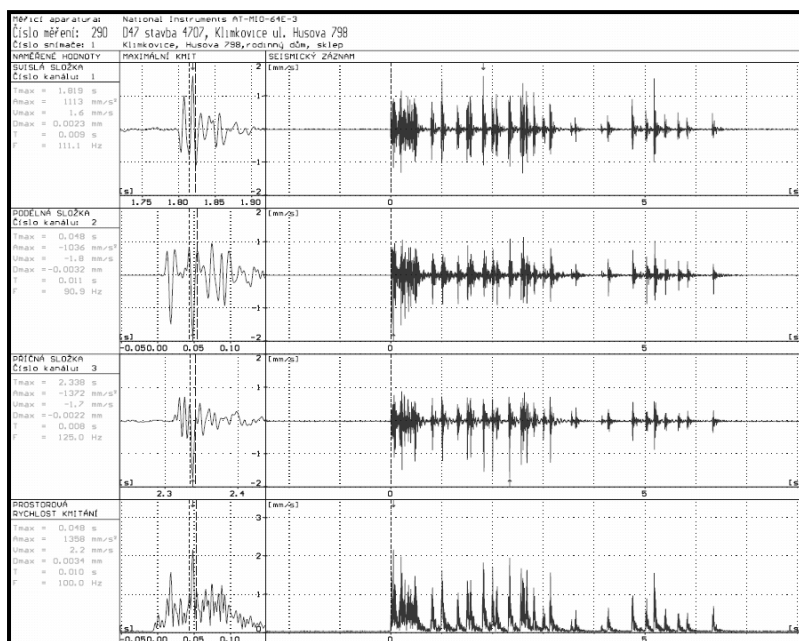
Po dopočítání prostorových vzdáleností jednotlivých trhacích prací od objektu byly za pomoci vztahu:

$$u = K \cdot \frac{\sqrt{m_{ev,n}}}{l} \quad (3)$$

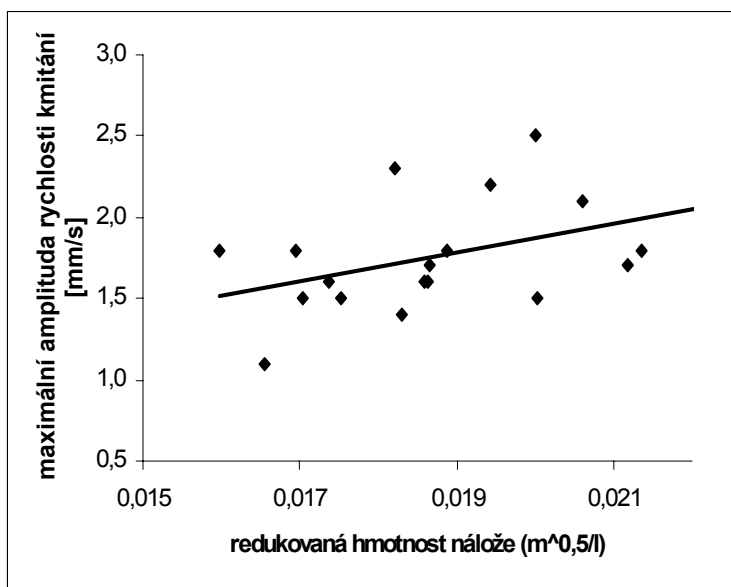
spočítány konstanty přenosu K pro jednotlivé mezní nálože $m_{ev,n}$ příslušející naměřeným maximálním amplitudám rychlosti kmitání u (ČSN 73 0040).

Současně bylo provedeno 19 výpočtů modelovaných trhacích prací v programovém systému PLAXIS 2D. Výstupem programového systému byla maximální amplituda rychlosti kmitání pro každou z 19 trhacích prací. Tyto maximální amplitudy rychlosti kmitání se zmenšují se vzdalující se čelbou od sledovaného objektu (Tab. 2), což neodpovídá realitě – do výpočtu koeficientu dynamického zatížení (vztah Prof. Fotieové) není zahrnuta měnící se mezní nálož s postupem čelby k resp. od sledovaného objektu. Porovnání grafické závislosti reálných a napočítaných maximálních amplitud rychlosti kmitání na redukované hmotnosti nálože (kde redukovanou hmotnost nálože vyjadřuje poměr $\sqrt{m_{ev,n}}$ – hmotnost mezní nálože, k l – vzdálenost čelby od sledovaného objektu) nevykazuje shodu. Graf 1 znázorňuje grafickou závislost maximální amplitudy rychlosti kmitání na redukované hmotnosti pro soubor dat získaných měřením odezvy trhací práce na objektu IN-SITU (koeficient korelace pro lineární závislost 0,45), graf 2 znázorňuje tutéž grafickou závislost pro

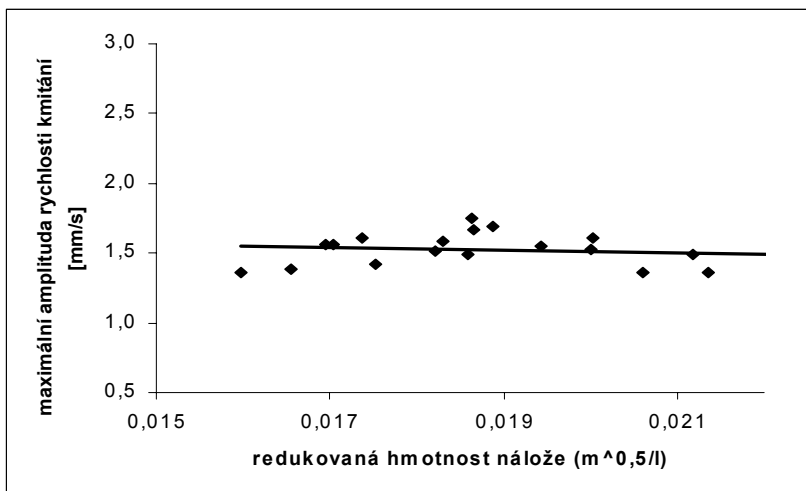
hodnoty získané z matematického modelu (koeficient korelace pro lineární závislost – 0,12).



Obr. 5 Záznam trhací práce – tunelová trouba B, staničení 141.576,65, kalota



Graf 1. Grafická závislost rychlosti kmitání na redukované hmotnosti nálože – reálné hodnoty



Graf 2. Grafická závislost rychlosti kmitání na redukové hmotnosti nálože – spočítané hodnoty

Tab. 2 Reálné hodnoty a hodnoty spočítané matematickým modelem

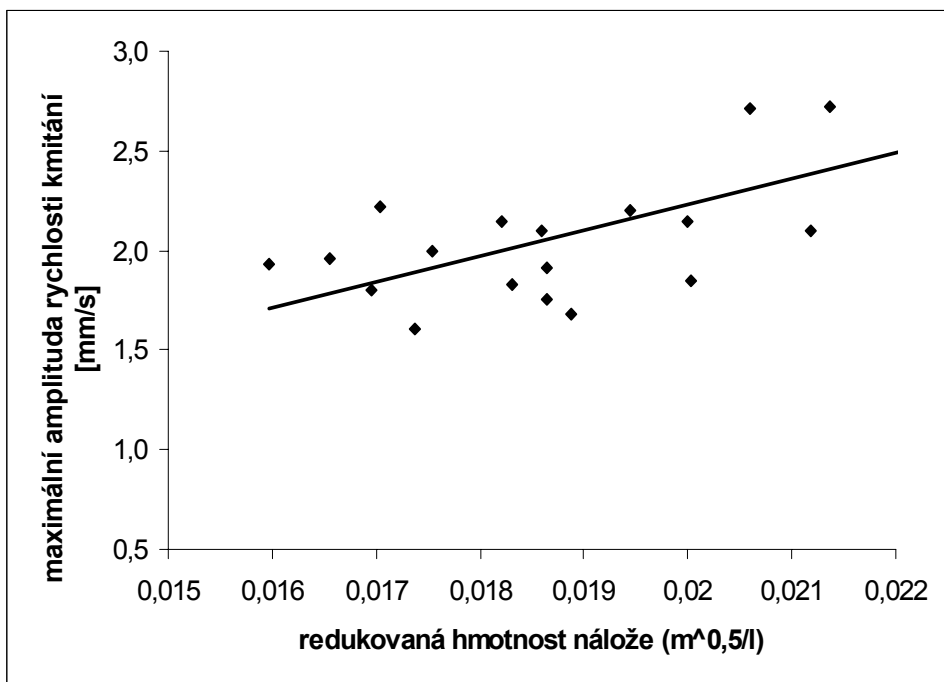
	sledovaný bod	prostorová vzdálenost sledovaného objektu od počvy na čelbě [m]	konstanta přenosu K	mezni nálož Mev,n [kg]	naměřená maximální amplituda rychlosti kmitání [mm/s]	vypočítaná maximální amplituda rychlosti kmitání [mm/s]
čelba se přibližuje ke sledovanému objektu	1	70,01	94,90	2,4	2,1	1,4
	2	66,17	66,45	1,2	1,1	1,4
	3	62,48	85,55	1,2	1,5	1,4
	4	58,94	86,09	1,2	1,6	1,5
	5	54,78	125,01	1,2	2,5	1,5
	6	51,72	80,26	1,2	1,7	1,5
	7	47,97	91,18	0,8	1,7	1,7
	8	44,59	92,11	0,6	1,6	1,6
	9	41,02	95,32	0,6	1,8	1,7
čelba se vzdaluje od sledovaného objektu	10	41,55	85,83	0,6	1,6	1,8
	11	44,67	74,91	0,8	1,5	1,6
	12	48,86	76,47	0,8	1,4	1,6
	13	52,77	106,19	0,8	1,8	1,6
	14	56,35	113,17	1,2	2,2	1,5
	15	60,15	126,30	1,2	2,3	1,5
	16	64,29	88,03	1,2	1,5	1,6
	17	68,59	112,70	1,2	1,8	1,4
	18	72,54	84,28	2,4	1,8	1,4
	19	75,21	101,96	2,4	2,1	1,4

Proto byly ze vztahu (3) spočítány konstanty přenosu K pro příslušné matematickým modelem spočítané rychlosti kmitání a jednotnou mezní nálož 0,6 kg, neboť modelované dynamické zatížení vychází z trhací práce na staničení 141.576,65 viz výše. Následně byly tyto spočítané koeficienty přenosu opět použity ve vztahu (3), ale nyní již pro mezní nálože odpovídající jednotlivým trhacím pracím (0,6 kg – 2,4 kg). Výsledkem jsou maximální amplitudy rychlosti kmitání, jejichž velikosti zavedením mezní nálože odpovídají realitě (Tab 3).

Tab. 3 Výsledné spočítané hodnoty maximální amplitudy rychlosti kmitání

	sledovaný bod	prostorová vzdálenost sledovaného objektu od počvy na čelbě [m]	mezni nálož $M_{ev,n}$ [kg]	konstanta přenosu K z napočítaných rychlosti kmitání pro $M_{ev,n} = 0,6\text{kg}$	dopočítané rychlosti kmitání k příslušným mezním náložím [mm/s]
čelba se přibližuje ke sledovanému objektu	1	70,01	2,4	126,99	2,8
	2	66,17	1,2	118,20	2,0
	3	62,48	1,2	113,67	2,0
	4	58,94	1,2	112,94	2,1
	5	54,78	1,2	107,05	2,1
	6	51,72	1,2	99,29	2,1
	7	47,97	0,8	102,76	1,9
	8	44,59	0,6	92,41	1,6
	9	41,02	0,6	88,99	1,7
čelba se vzdaluje od sledovaného objektu	10	41,55	0,6	93,96	1,8
	11	44,67	0,8	92,41	1,9
	12	48,86	0,8	100,09	1,8
	13	52,77	0,8	106,19	1,8
	14	56,35	1,2	113,02	2,2
	15	60,15	1,2	117,59	2,1
	16	64,29	1,2	130,00	2,2
	17	68,59	1,2	120,74	1,9
	18	72,54	2,4	127,38	2,7
	19	75,21	2,4	131,81	2,7

Grafická závislost dopočítané maximální amplitudy rychlosti kmitání na redukované hmotnosti (Graf 3) nyní již ukazuje shodu s naměřenými hodnotami (koeficient korelace pro lineární závislost u dopočítaných hodnot 0,64).



Graf 3 Grafická závislost dopočítané maximální amplitudy rychlosti kmitání na redukové hmotnosti nálože

Závěr

V této práci byla částečně ověřena použitelnost programového systému Plaxis 2D pro modelování seizmického efektu trhacích prací prováděných v mělce budovaném podzemním díle situovaném v malé vzdálenosti od zastavěné oblasti.

V matematickém modelu bylo zadáno dynamické zatížení za pomoci vzorce profesorky Fotieové. Tento vzorec nezahrnuje parametry konkrétní prováděné trhací práce (mezní nálož). Samotné výsledky matematického modelu je nutné přepočítat k příslušným mezním náložím. Navrhovaný postup ukazuje, že lze dosáhnout shody mezi reálnými hodnotami maximální amplitudy rychlosti kmitání naměřenými IN-SITU v rámci geotechnického monitoringu a hodnotami spočítanými matematickým modelem.

Celková geometrie modelu je kvůli náročnosti výpočtu značně zjednodušená v geologii (úklon vrstev, tektonika) a v zanedbání vlivu podzemní vody, což vede ke zjednodušení a zrychlení celého výpočtu, ale také k jisté nepřesnosti. V modelu také nelze zahrnout různé anomálie, které jsou patrné z tabulky 2 (sledovaný bod 5, 14, 15) a jsou pravděpodobně způsobeny buďto lokální geologickou anomálií nebo nedodržením pasportu trhacích prací a přebitím nálože.

Takovýto matematický model může být součástí projektové dokumentace tunelu, resp. podzemní stavby a sloužit jako podklad pro pasport trhacích prací (dimenzování mezní nálože) a případná opatření v rámci realizované stavby s ohledem na povrchovou zástavbu. Nebo mohou být výsledky matematického modelu součástí inverzní analýzy geotechnického monitoringu a jako podklad pro měření seizmické odezvy trhacích prací

(možná očekávaná maximální amplituda, volba rozsahu aparatury a spouštěcí úrovně, výběr sledovaných objektů na povrchu).

Tento příspěvek byl zpracován při řešení projektu GAČR 103/05/H036 „Analýzy spolehlivosti konstrukcí, vystavených účinkům mimořádného zatížení“

Literatura

- [1] Bulyčev, N.S. (1988): Mechanika podzemnych sooruzenij, Nedra, Moskva, UDK (622.012.2:69.035.4)(075.8).
- [2] ČSN 73 1001 – Zakládání staveb: Základová půda pod plošnými základy.
- [3] ČSN 73 0040 – Zatížení stavebních objektů technickou seismicitou a jejich odezva.
- [4] Holub, K. (2006): Vibrace vyvolané trhacími pracemi a jejich účinky na podzemní díla, povrchovou zástavbu a na obyvatelstvo, Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava – Řada stavební, 2, 113-123.
- [5] Hrubešová, E. a Aldorf, J. (2004): Analýza vlivu beranění štětovicových stěn na blízké podzemní konstrukce, Geotechnika – the conference proceeding, 57-62.
- [6] Kaláb, Z. (2007): Mělká podzemní díla a vibrace, Tunel, 2, 12-20.
- [7] Manuál programu PLAXIS 2D.
- [8] Stolárik, M. (2007): Analýza Seizmických účinků trhacích prací prováděných během výstavby tunelu Klimkovice, Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava – Řada stavební, 2/2007, 319-325.
- [9] Šťavíček, P. (2006): Diplomová práce Vliv postupu ražení tunelu Klimkovice na vývoj poklesové kotliny, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.

PRŮBĚH PROJEKTU „PŘÍPRAVA KOMPLEXU GEOFYZIKÁLNÍCH METOD PRO
DIAGNOSTIKU, MONITORING A ANALÝZU PORUCH ZÁKLADŮ STAVEB A
POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ VZNIKLÝCH V DŮSLEDKU POVODNÍ“
THE PERFORMANCE OF PROJECT „THE PREPARATION OF A COMPLEX OF
GEOPHYSICAL METHODS FOR DIAGNOSING, MONITORING AND
ANALYZING DEFECTS OF STRUCTURES AND ROADS FOUNDATIONS THAT
OCCURRED IN CONSEQUENCE OF THE FLOODS“

Abstract

After flood events in the Czech Republic in 1997 and 2002, geophysical investigation was applied to a large extent in assessing damage caused by floods. Geophysical investigation was conducted on the basis of requirements made by particular object administrators. Based on these works, a project „The preparation of a complex...“ was prepared, having aimed to prepare and improve the methodology of the geophysical works which would be applicable in the future in potential post-flood works. The realization of this project proceeds with the support granted by the Ministry of Education, Youth and Physical Training. It is scheduled for the period between 2006 and 2010. Significant part of this project is formed by cooperation with a Russian company Geologorazvedka Moskva, which is involved in the geophysical investigation itself and also in the development of their own geophysical apparatuses.

Key words: geophysical methods, defects of structures and roads foundations, floods.

Úvod

V letech 1997 a 2002 postihly Českou republiku rozsáhlé povodně. Už povodně roku 1997 přinesly velké množství práce pro geofyzikální průzkum, který byl zaměřen například na posuzování nebezpečí dalších pohybů v sesuvných oblastech nebo zjišťování míry poškození protipovodňových hrází. V srpnu 2002 vstoupila povodeň do Prahy, byly zaplaveny rozsáhlé oblasti zejména v okolí řeky. Zatopeno bylo též metro, které poté několik měsíců jezdilo jen v omezeném rozsahu stanic, výrazně omezena byla i povrchová doprava. Bezprostředně po opadnutí vody bylo provedeno mnoho geofyzikálních měření zaměřených na posouzení míry rizika propadání a jiného poškození ať už silničních komunikací, staveb nebo i podzemních objektů. Velmi důležitým faktorem při posuzování výsledků byl tehdy čas, neboť se mnohdy jednalo o otázku možnosti uvedení objektů či komunikací zpět do běžného provozu. Z těchto důvodů byl nejčastěji pro průzkum používán georadar, jehož aplikace je velmi rychlá a i přes určitá omezení dokáže dodat velmi rychle mnohé informace o objektu (obr. 1). Pokud to bylo možné, byl georadarový průzkum doplňován nejčastěji o gravimetrický průzkum, který dokázal přesněji popsat charakter anomálií zejména s ohledem na případné vyplavení materiálu z podzemí nebo charakt. nalezených neznámých podzemních objektů. Pro upřesnění charakteru anomálií byl na některých objektech používán taktéž refrakčně seismický nebo geoelektrický průzkum. Příklad vhodné kombinace georadarové a gravimetrické metody je vidět na obr. 2. V tomto případě se

¹ RNDr., Ph.D., G Impuls Praha spol. s r.o., Přístavní 24, 170 00 Praha 7

jednalo o průzkum frekventovaného parkoviště v Praze, kde bylo na znázorněném profilu georadarem zachyceno několik anomálních míst. Tyto anomálie byly posléze přesněji popsány díky gravimetrickému modelu, jenž zjistil, že se jedná o neznámé sklepní prostory, které jsou místy jen částečně zasypány a mohou tak v budoucnu působit nebezpečné komplikace. Tyto informace byly následně ověřeny výkopovými pracemi a celé parkoviště bylo následně sanováno.

Geofyzikální průzkum po povodních 2002 byl uskutečněn ve velkém rozsahu, s ohledem na akutnost jeho aplikace však nebyl prováděn zcela systematicky a vycházel z dosavadních zkušeností. V roce 2005 naše společnost navázala kontakty s moskevskou firmou Geologorazvedka, která má mnoho zkušeností ve stejném oboru jako my. Na základě naší vzájemné spolupráce byl vytvořen projekt spolupráce při zkvalitňování metodiky využití geofyzikálních metod při posuzování postpovodňových škod. Pro tento projekt byla schválena pětiletá státní podpora českého Ministerstva školství v rámci programu mezinárodní spolupráce KONTAKT.

Pětiletý projekt „Příprava komplexu geofyzikálních metod pro diagnostiku, monitoring a analýzu poruch základů staveb a pozemních komunikací vzniklých v důsledku povodní“ byl zahájen v dubnu 2006. Projekt má za úkol na vybraných modelových lokalitách vytvářet databázi dat a při její interpretaci vyhledávat nové postupy a zejména zkvalitňovat použitou metodiku terénních i interpretačních prací tak, aby při příštím postižení živly bylo možné metodiku použít. Vybrané lokality měly vhodně reprezentovat různé typy liniových i pozemních staveb postižených či postižitelných povodněmi. Při aktuálním postižení povodní je předpokládáno i měření s interpretací ihned po zaplavení a v určitých intervalech poté. Projekt je realizován v rámci programu KONTAKT, velký důraz je proto také kladen na výměnu zkušeností v dané oblasti se zahraničním (v našem případě ruským) partnerem.

V prvních dvou letech byly ministerstvem zkráceny plánované finanční prostředky, takže i původně předpokládané plnění projektu bylo poněkud redukováno. V prvním roce plnění bylo rozhodnuto, že bude omezena interpretační část, která bude doplněna až v dalších letech. Naopak bylo rozhodnuto, že nebude redukován rozsah terénních prací, aby byl vytvořen základ pro databázi monitorovacích měření lokalit. Nejprve bylo vytipováno (ve spolupráci s jejich správci) šest reprezentativních modelových lokalit, zahrnujících vozovku, most, hráz či veřejně užívanou pozemní stavbu (kino). Jako základní modelová lokalita L1 byla zvolena pražská náplavka na Výtoni, nově opravena po zaplavení v roce 2002. Náplavka je i nadále poměrně často zaplavována a je sice veřejnou komunikací, ale komunikací nepříliš využívanou, a proto vhodnou pro různé experimenty.

Na náplavce byl již v roce 2006 aplikován celý komplex použitelných metod. Měřilo se zde georadarem, gravimetrií, refrakční seismikou, odporovou tomografií i metodou DEMP, pro výzkum byly vytyčeny základní profily popsané podle metrické vzdálenosti od řeky. Pro hlavní část výzkumu byla určena cca dvěstěmetrová část pod Vyšehradem, kde náplavka mj. podchází železniční most a naopak přechází i přes zatrubněný potok Botič, takže je možné i zkoumat vlivy těchto skutečností na výsledky. Na náplavce i na dalších lokalitách byla pro opakovatelnost měření klíčová místa měřených profilů zafixována pomocí hřebíků. Interpretace výsledků naměřených v roce 2006 byla zahájena v roce 2007, začalo i postupné porovnávání výsledků (obr. 3). S ohledem na pětiletý charakter projektu jsou ještě výsledky většinou v pracovní verzi. Dosud také nebyla správcem dodána kompletní dokumentace rekonstrukce náplavky, proto jsou i tyto výsledky považovány za předběžné. V roce 2007 bylo měření z roku 2006 téměř v celém rozsahu opakováno a na některých lokalitách i rozšířeno, ani

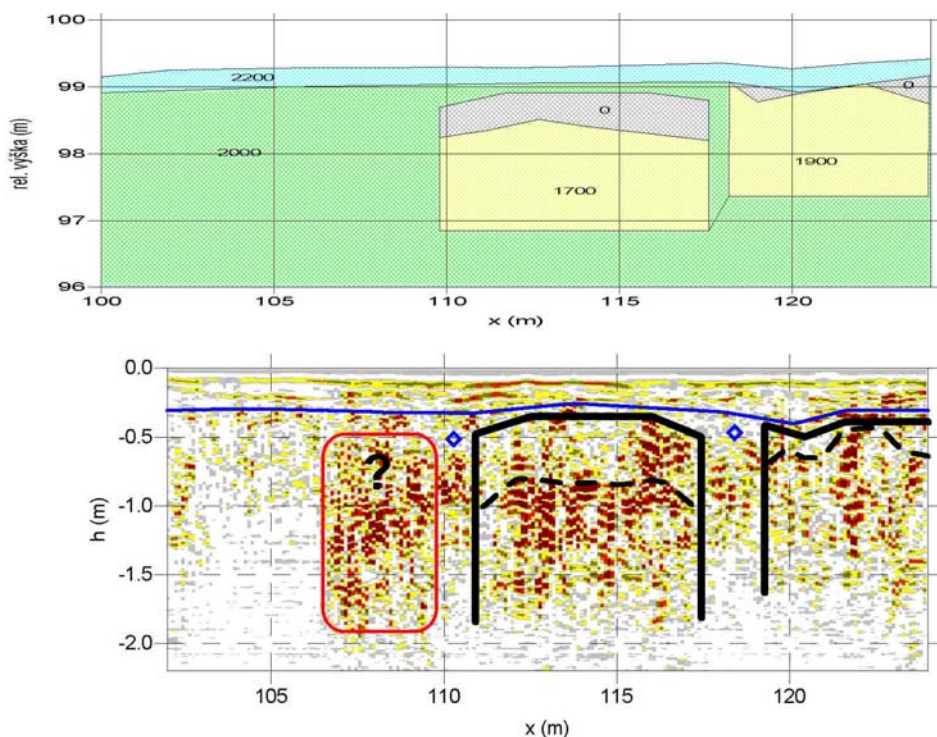
výsledky z těchto měření nejsou ještě (i s ohledem na redukci finančních prostředků) zkompletovány. V letech 2006 ani 2007 nebyly na lokalitách zaznamenány výraznější povodňové stavy, přesto je již možné po porovnání výsledků vyhodnotit některé meziroční změny. Například na náplavce (lokalita L1) byly v některých úsecích (zejména v těsné blízkosti řeky) meziročně zachyceny poklesy hodnot nivelace, i v některých místech vzdálenějších od řeky pak byly zachyceny deficity Bouguerovy anomálie. Význam těchto informací bude posouzen na základě dalšího meziročního srovnání.

Výzkumný projekt probíhá ve spolupráci společností G Impuls Praha a Geologorazvědk Moskva. Tato ruská společnost se zabývá geofyzikálním průzkumem a také vyrábí vlastní (zejména radarové) aparatury. V letech 2006 a 2007 proběhlo několik výměnných návštěv mezi oběma společnostmi, při kterých byly obě strany průběžně seznamovány s možnostmi a schopnostmi obou stran, obě společnosti se také prezentovaly na mezinárodních kongresech a výstavách v Moskvě a Praze. V roce 2007 bylo ruského radaru použito i při měřeních na hlavní modelové lokalitě, tedy na náplavce na Výtoni. Po předběžném vyhodnocení výsledků byly zjištěny některé drobné rozdíly vlastností obou použitých přístrojů, charakter výsledků a jejich interpretace se však shodovaly.

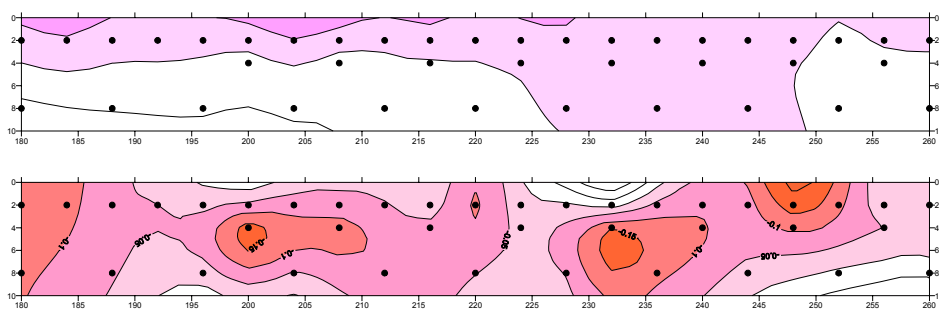
V dalším průběhu projektu předpokládáme i další měření také moderními typy ruských přístrojů a detailní srovnání výsledků dosažených aparaturami používanými ruskou a českou stranou. Ukončení výzkumného úkolu je naplánováno v roce 2010.



Obr. 1 Georadarový průzkum na komunikaci poškozené povodní



Obr. 2 Georadarový řez a gravimetrický model profilu nad dosud neznámým sklepem



Obr. 3 Meziroční porovnání výsledků nivelace a gravimetrie (reziduální Bouguerovy anomálie) z měření na náplavce Výtoň. Červeně jsou zbarvena místa s mírným poklesem hodnot nivelace (nahore) a hodnot gravimetrického měření (dole).

**Petr ŠPAČEK¹, Pavel ZACHERLE², Zdena SÝKOROVÁ³, Jana PAZDÍRKOVÁ⁴,
Josef HAVÍŘ⁵**

MICROSEISMIC ACTIVITY OF THE UPPER MORAVA BASIN AND SURROUNDINGS

Abstract

This paper deals with description of microseismic activity of the Upper Morava basin and surroundings. The results of the monitoring period 1996-2007 show a regional-scale focusing of microseismic activity within a 40–60 km wide Nysa-Morava Zone of generally NW-SE trend. Sequence of events from 2006 microswarm is analysed in details.

Key words: microseismic activity, swarm, Upper Morava basin

Introduction

The increased seismic activity concentrated at the NE part of the Czech Republic is often attributed to tectonic movements within the south-eastern portion of the Sudetic fault system – a pre-Mesozoic structure which has been repeatedly re-activated up to the recent times.

The historical seismicity and recent seismological observations rank this region to one of the two most active regions in the Bohemian Massif with typical macroseismic intensities ranging between $I_0 \approx 3-5^\circ$ and occasionally reaching $I_0 \approx 6-7.5^\circ$ MSK (e.g. Kárník et al. 1958; Pagaczewski 1972; Kárník et al. 1984; Procházková 1994).

Two short campaigns of digital local seismic monitoring were carried out in 80s. Since the early 90s the seismic activity of the Eastern and Middle Sudetes has been monitored continuously with permanent and temporary seismic stations in variable arrangements. The following periods of monitoring have confirmed that the seismicity continues up to the present-day (e.g. Kaláb and Holub 1994, Skácelová et al. 1997, Zedník et al. 2001, Havíř J. 2002, Sýkorová et al. 2003, Špaček et al. 2006). At present the monitoring of the eastern part of Sudetes is provided by seismic stations of Institute of Physics of the Earth, Brno (IPE) and Institute of Geonics, Ostrava, while the Trutnov-Hronov area in the Middle Sudetes is monitored by stations of Geophysical Institute, Prague and Institute of Rock Structure and Mechanics, Prague (Fig. 1). This paper deals mainly with microseismic observations in the eastern part of the Sudetic seismoactive zone. Readers interested in the Trutnov-Hronov area are referred to paper Málek et al., 2008.

¹ Mgr., Ph.D., Institute of Physics of the Earth, Tvrdého 12, 602 00 Brno, Masaryk university of Brno, spacek@ipe.muni.cz

² Ing., RNDr., Institute of Physics of Earth, Tvrdého 12, 602 00 Brno, Masaryk university of Brno, pavel.zacherle@ipe.muni.cz

³ RNDr., Institute of Physics of Earth, Tvrdého 12, 602 00 Brno, Masaryk university of Brno, zdenka.sykorova@ipe.muni.cz

⁴ RNDr., Institute of Physics of Earth, Tvrdého 12, 602 00 Brno, Masaryk university of Brno, jana.pazdirkova@ipe.muni.cz

⁵ Mgr., Dr., Institute of Physics of Earth, Tvrdého 12, 602 00 Brno, Masaryk university of Brno, josef.havir@ipe.muni.cz

Seismic activity in the Nysa-Morava Zone: 1996-2007

Seismic stations which have been launched in the Nysa-Morava Zone (NMZ) in the early 90s registered numerous microearthquakes but due to poor coverage of the region by seismic stations it was not possible to estimate the hypocentres within reasonable error limits. Since 1996 first locations of stronger events could have been carried out, the location errors remaining still large. In the period 2001-2003 a small network of 5-7 local seismic stations operated in the central part of the NMZ (see Špaček et al., 2006 for details on individual stations). The results of the 30-month monitoring campaign have shown that the higher number of local stations improved significantly the detection and location limits and reduced the location errors of the events. During the 30 months of data acquisition with 5-7 local stations, the annual number of located microearthquakes increased approximately by a factor of 3 compared with the period January 1996-March 2001. Similarly, the number of registered events increased approximately by a factor of 2. In this respect, the effect of the reduction of the network in 2003/2004 (3 local stations had to be removed due to the termination of a research project) seems to be insignificant. Since 2004, the central part of the NMZ has been monitored by four stations of IPE, and the average annual numbers of registered and located events remained close to those of the 2001-2003 period.

After 12 years of monitoring (1996-2007) the IPE catalogue contains more than 1390 registered and nearly 280 located natural microearthquakes for the region shown in Fig.1. Other more than 200 recorded weak quakes can be associated with conventionally located hypocentres basing on preliminary cross-correlation analysis (see the following chapter).

At a regional scale, the seismic activity is concentrated within the triangular area extending approximately between the towns of Kroměříž, Opava, and Trutnov, called Nysa-Morava Zone (NMZ) by Špaček et al. (2006). Several gaps with diminished or absent seismicity seem to exist within this zone, and two main domains can be distinguished: the relatively smaller Trutnov-Hronov area at the NW and a wider eastern part, which is terminated approximately along a line connecting the towns of Opava, Vrbno pod Pradědem and Staré Město to the north and Kroměříž, Konice and Králíky to the south and west. The eastern boundary is not well constrained due to the lack of local seismic stations.

The VRAC station which is located 40-50km to the SW of the NMZ has low level of seismic noise and records the microseismic events with a very good quality. Since the picking of the seismograms and seismic phase identification are made manually for all IPE stations, we believe that the seismicity to the south of the NMZ is not underestimated.. Similarly, local stations of Institute of Geonics (RADC, ZLHC) have not recorded any seismic events to the north of the NMZ (e.g. Holub et al. 2007 and pers. comm.). We therefore assume our catalogue nearly complete at least for the region shown in the Fig. 1 and $ML \geq 0.0$ *).

Significant part of the located events have relatively large location errors (more than 1km in horizontal co-ordinates) because the epicentres lie outside the network of local short-period stations and the distant VRAC, DPC or OKC stations were crucial for location. In spite of the location errors it is clear that most epicentres have tendency to group into several clusters. Within these clusters the seismic activity occurs repeatedly and no significant trend of large-scale migration has been observed over the monitoring period.

Hypocentral depths typically range between 7 and 19 km but are generally not well-constrained, the estimated error exceeding 3km for the events lying outside the network of local stations. The magnitude range of conventionally located microearthquakes is $ML \approx -0.5-2.2$ in the eastern part of the NMZ. The Trutnov-Hronov area is characteristic by larger magnitudes, reaching $ML \approx 3.3$ in the period of the instrumental monitoring (J. Zedník, pers.comm.).

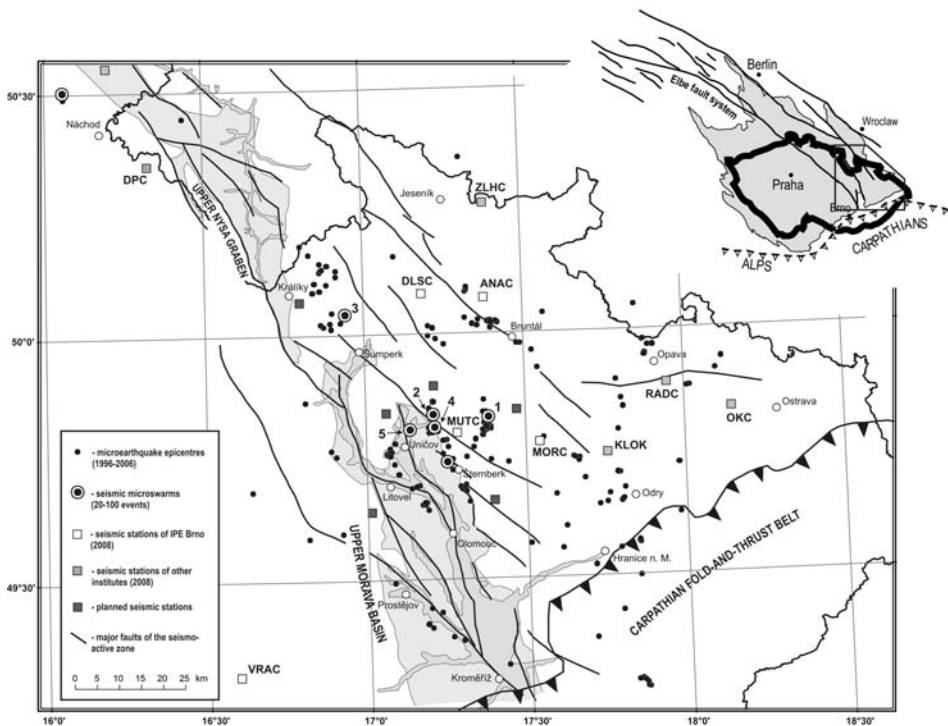


Fig. 1 Schematic map of the Nysa-Morava fault zone showing epicentres of microearthquakes located in period 1996-2006, currently operating seismic stations and positions of planned seismic stations. Positions of seismic microswarms, main faults with morphological manifestation and pull-apart basin structures are also shown.

Numbering of microswarms according to text.

In the period 1996-2007 most of the epicentres seem to concentrate at the northern termination of the Upper Morava basin and its close neighbourhood. Forty five percent of all located events and roughly sixty percent of all registered events fall within the small area of 35×35 km in the vicinity of Šternberk and Uničov. The clusters of epicentres tend to align with NNW-SSE to N-S striking tectonic structures, which are partly associated with the Plio-Quaternary sedimentation in the Upper Morava basin.

*) Magnitude is calculated as an average from all stations used in location. Since large differences often exist between the magnitudes calculated for individual stations,

the absolute value of the magnitude should be taken as a rough estimate only. We are currently testing at IPE new approaches of magnitude calculation.

Preliminary analysis of microswarms

Three types of seismicity can be distinguished with respect to characteristic interevent times and number of events in the NMZ:

1) Sequences of several events (typically 2 to 5 events above noise level) with interevent times ranging from several minutes to several hours or weeks which are observed in most epicentral zones in the region.

2) Microswarms of larger number of events (up to 100) released during several hours to several days. Such microswarms are less frequent and are characteristic for several sub-clusters with relatively small dimensions located mainly at N to NW margin of the Upper Morava basin.

3) Solitary events without any associated weak microearthquakes.

Sequences of multiple events are characteristic for the NMZ and have been reported since the early periods of monitoring (e.g. Kaláb and Holub 1994, Skácelová et al. 1998, Havř 2002). Both within the microswarms and sequences of earthquakes, multiplets, i.e. events having nearly identical waveforms, are typical, which corroborates their close locations and similar source mechanisms.

To identify the multiplets and their relative amplitudes we use a simple cross-correlation analysis. Due to the low magnitude of the microswarm events we can usually analyse only the seismograms recorded at the nearest station. The strongest event of a sequence is used as a master event. A section of the seismogram is selected which includes all the manually picked events and 12-24 hrs of the record before and after the sequence. This section is analysed in a time-domain to find the local maxima of correlation coefficients. Automatically picked events which correspond to these maxima are manually checked to eliminate problematic events. A master event and a part of a sequence of multiplets of 2006 microswarm is shown in Figs. 2 and 3 as an example.

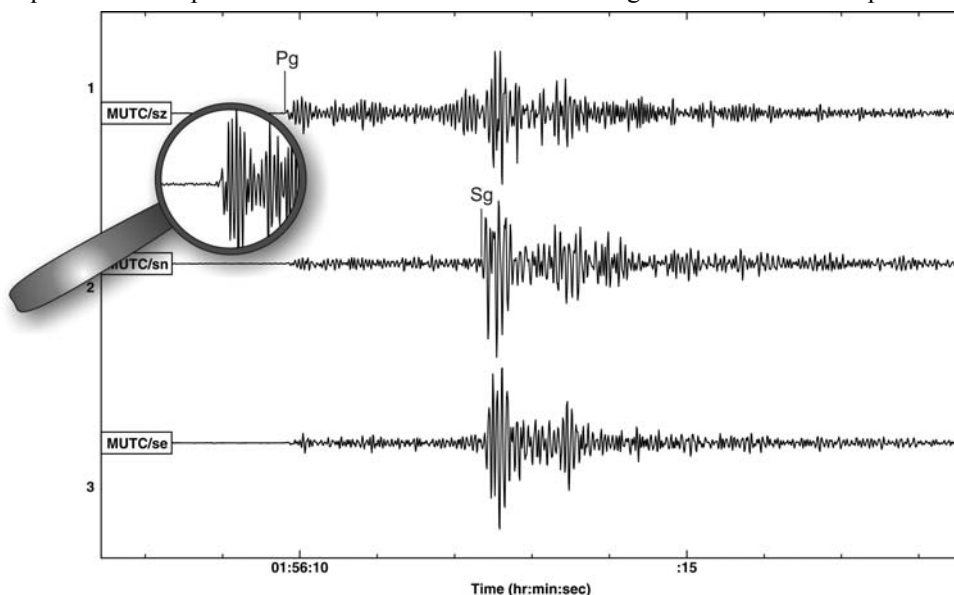


Fig. 2 Seismogram of the strongest event of the Nov 2006 microswarm (MUTC station),

used as a master event for cross-correlation analysis. Local magnitude at station MUTC is $M_L=1.3$. Seismogram is rather complex, with several converted phases and/or reflections (splitting?) both in Pg- and Sg-wave codas.

Five microswarms with larger number of events (>30) were analysed using the above described simple technique. Their position of the epicentres is shown in Fig.1 and marked with numbers:

- 1 – 30 multiplets during 2 days, Mar 1998
- 2 – 47 events during 9 days, Oct 2001
- 3 – 33 events during 4 days, Jun 2002
- 4 – 50 multiplets during 5 days, Nov 2005
- 5 – 100 multiplets during 2 hours, Nov 2006

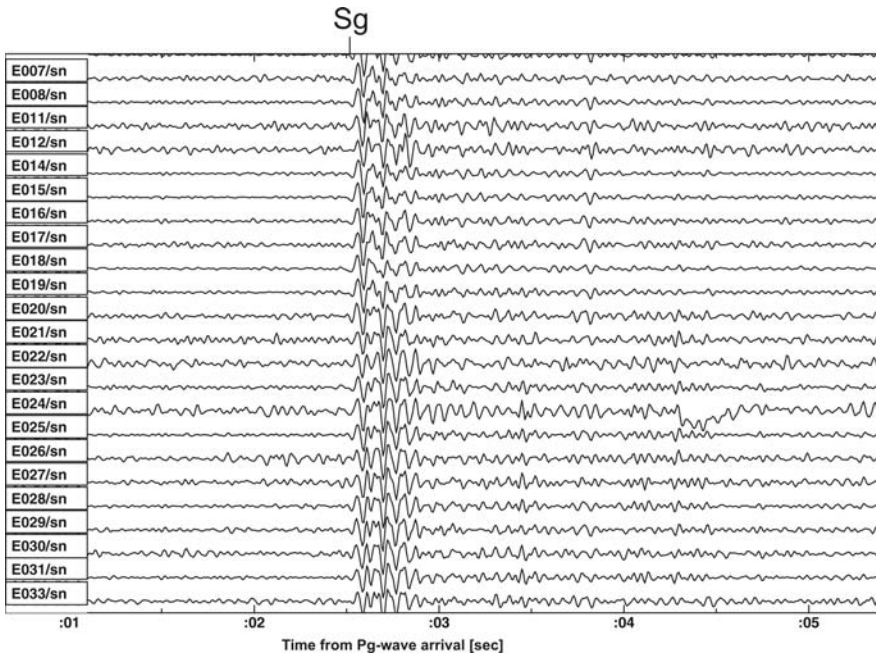


Fig. 3 Seismograms of a multiplet sequence from 2006 microswarm (MUTC station, Sg-waves at N-channel, separation between E007 and E033 is about 45min). Seismograms of individual events are aligned accordingly to correlation maxima; time in seconds with 00:00 at Pg-wave arrival. Note the high similarity of the events, stable offset of Pg- and Sg-arrival times and variation of possible reflections of unknown origin in the Sg-coda.

Although the seismic sequences and microswarms are highly variable with respect to the interevent times, they have several similar features. The microswarms are usually composed of several higher amplitude events and higher number of low amplitude events, maximum magnitudes reaching $ML \approx 1.4$. Within the range of “intermediate” magnitudes (typically, $-1.0 < ML < 0.0$), microswarms obey the Gutenberg-Richter law and b-value of magnitude-frequency distribution is close to $b=1$ in all five microswarms analysed (examples for the 2006 microswarm are given in Figs. 4 and 5). Above this range the deficit of events disables us to perform well-founded

statistical regressions. Below the $M_L \approx -1.0$ the deficit is probably due to the incapability to distinguish the signal from the seismic noise.

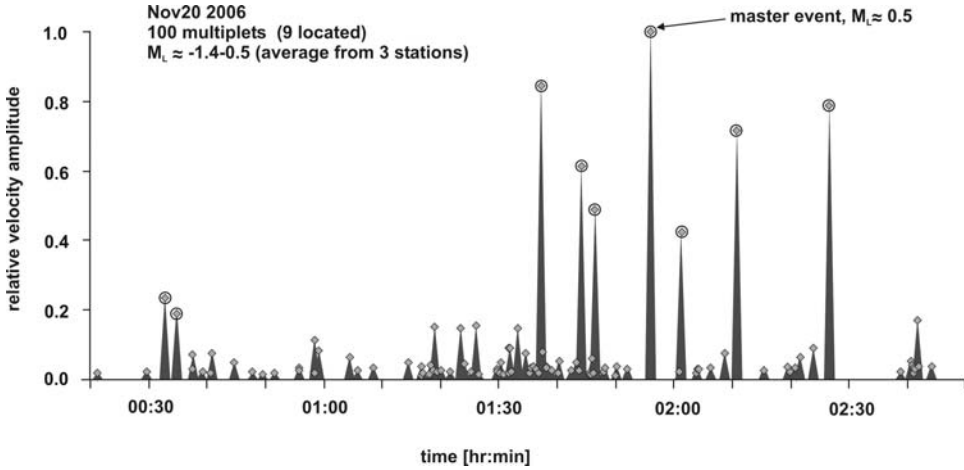


Fig. 4 Time-amplitude distribution of 100 events of 2006 microswarm. The stronger events come in the second half of the microswarm. Notice two repeating 10-min sequences between 02:00 and 02:30 with similar development.

Unfortunately, it is not possible to make fine correlation-based relocations of the individual foci because only the strongest events are well-recorded at more stations. Most sequences and microswarms express as nearly perfect multiplets, which could be viewed as a possible repeatedly reactivated single focus (within the resolution scale of the seismograms with sampling rate of 100 or 125Hz). However, in several cases (e.g. 2001 swarm) we observed a clear short-term temporal variation of seismic signals both in terms of the shape of the waveform and the difference of P- versus S-wave arrival times. This indicates that both small-scale migration of earthquake foci (minimum 200m within a single swarm) and pronounced changes of focal mechanisms (variable orientations of slip planes or slip directions) occur even in such low-magnitude seismic events.

Conclusive remarks and future investigation

The results of the monitoring period 1996-2007 show a regional-scale focusing of microseismic activity within a 40–60 km wide Nysa-Morava Zone of generally NW-SE trend. At a local scale the seismic activity concentrates in the N to NW termination of the Upper Morava basin - an active pull-apart structure with Late Miocene-Pliocene-Quaternary sediment accumulation. Roughly sixty percent of all registered events and forty five percent of all located events of the last decade are associated with this structure, and sequences of several multiplets and microswarms are characteristic feature of its seismic activity.

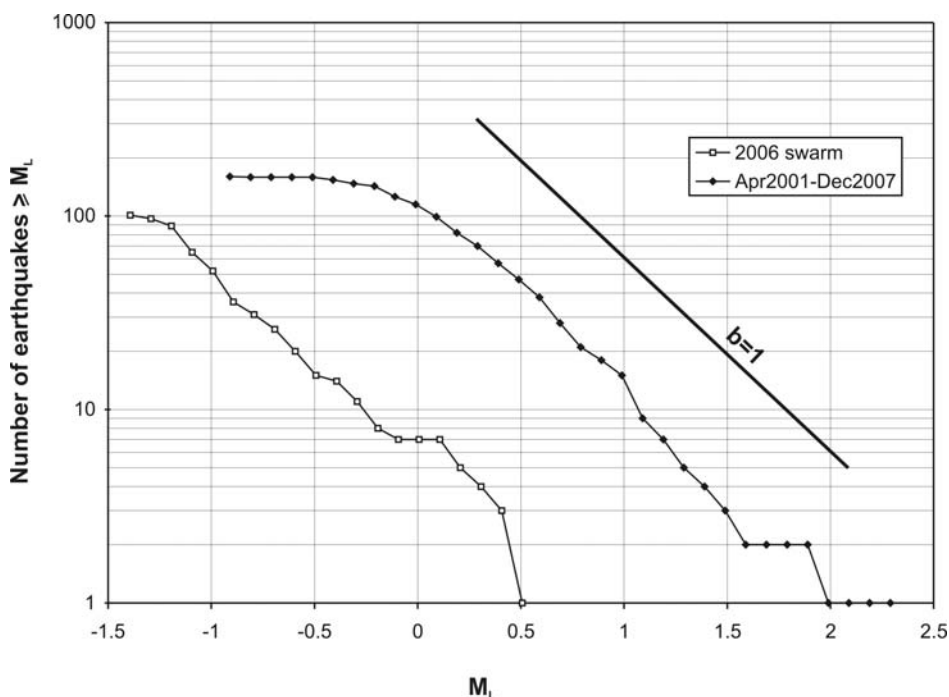


Fig. 5 Cumulative frequency-magnitude distribution of microearthquakes of 2006 swarm (open squares) and period April 2001-December 2007 (closed diamonds). The latter includes only events with epicentres lying <25km from at least one of the local stations which operated in the whole period (MUTC, MORC, ANAC). The plot shows number of earthquakes with magnitude greater or equal to corresponding value of M_L . Magnitude calculated as an average from all stations used in location. Since large differences exist between the values measured at individual stations, the absolute value of the magnitude should be taken as a rough estimate only. Line with $b=1$ shown for comparison.

Regarding the number of events, their magnitudes and interevent times, the seismic sequences and microswarms of North Moravia are comparable to minor focal zones of the West Bohemia/Vogtland region (the main focal zone of the Nový Kostel is obviously excluded from any comparisons). The spatial co-incidence of Pliocene/Pleistocene volcanic activity and anomalous post-volcanic fluid migration with swarm-like seismicity and increased seismic activity in general, suggests similar causal relations between these phenomena in both regions. However, this co-incidence is observed only at regional scale and it has to be stressed that it is not clear which of these phenomena is a cause and which are consequences. Taking into account the situation in the Upper Morava basin and its close neighbourhood, it can be presumed that pull-apart tectonics or the inversion tectonics of the pull-apart structure might play the crucial role in a process of increased generation of microearthquakes.

The magnitude limits for location of the events lying outside the network of local seismic stations are too high to get an unbiased picture of seismic activity and to carry out correct interpretations of the microswarms.

A thorough manual analysis of the seismograms performed in the last decade shows that we are still only able to locate about twenty percent of the recorded events. Even a simple waveform cross-correlation of selectively handpicked seismograms for 5 microswarms revealed more than 200 foci of weak quakes which can be associated with conventionally located events. The ongoing reconstruction of 3 short-period stations of Institute of Geonics (Fig. 1, e.g. Holub et al. 2007) will significantly improve the location limits in the northern and eastern parts of the NMZ. To get unbiased picture of seismic activity in the most active area, and to understand the phenomena described briefly above, it is crucial to implement several new stations with high sampling rate, which would improve the network geometry in the most active central part of the NMZ. Such an improvement would lower the magnitude limits for location of the events and help to better constrain their source parameters. Then the interpretation of the phenomena described briefly above would be supported by high-quality data and our understanding of pull-apart basin evolution could improve significantly, whether it is in a regime of continuing subsidence or inversion.

References

- [1] Havíř J. (2002): Recent tectonic activity in the area northwards of Šternberk (Nízký Jeseník Mts.) – Present knowledge. – *Acta Montana IRSM, Ser A*, 20 (124), 97-104.
- [2] Holub K., Rušajová J., and Pazdírková J. (2007): Re-opening of the temporary seismic station at Klokočov (KLOK). *Transactions of the VŠB – Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series 7*, 2, 83-90.
- [3] Kaláb Z. and Holub K. (1994): Recent seismic activity in the Opava area (Czech Republic). *Proceedings and Activity Report ESC 1992-1994*, Athens, 153-161.
- [4] Kárník V., Michal E. and Molnár A. (1958): *Erdbebenkatalog der Tschechoslowakei bis zum Jahre 1956*. *Travaux Inst. Géophys. Acad. Tchécosl. Sci.* 69, 411–598.
- [5] Kárník V., Procházková D. and Brouček I. (1984): *Catalogue of Earthquakes for the Territory of Czechoslovakia for the period 1957–1980*. *Travaux Géophysiques* 29, 547, *Academia*, Prague, 155–186.
- [6] Málek J., Brož M., Stejskal V. and Štrunc J. (2008): Local seismicity at the Hronov-Poříčí fault (Eastern Bohemia). *Acta Geodyn. Geomater.* 5, 171-175.
- [7] Pagaczewski K. (1972): *Catalogue of Earthquakes in Poland in 1000–1970 Years*. *Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences* 51, 3-36.
- [8] Procházková D. (1994): Earthquakes in the Jeseníky Mts. in 1986. *Travaux Géophysiques XXXVI. (1988-1992)*, 28-38. *Geophys. Inst. AS CR*, Prague.
- [9] Skácelová D., Skácelová Z. and Havíř J. (1997): Earthquakes in the northeastern part of the Bohemian Massif recorded by MORC station during the period October 1994 - March 1995. *Bull Czech Geol. Surv.* 72, 1, 49-53.
- [10] Skácelová Z., Skácel J. and Havíř J. (1998): The newest knowledge of seismicity in the region of the Moravia and the Silesia. In: Z. Kaláb (Ed.), *Current Trends in Seismology and Engineering Geophysics*, (1998), 40-48. *Institute of Geonics ASCR*, Ostrava.
- [11] Špaček P., Sýkorová Z., Pazdírková J., Švancara J., Havíř J. (2006): Present-day seismicity of the south-eastern Elbe Fault System (NE Bohemian Massif). – *Stud. geoph. geod.* 50, 2, 233-258.

- [12] Sýkorová Z., Špaček P., Pazdírková J., and Švancara J. (2003): Seismological monitoring of the Dlouhé Stráně pumped-storage power plant. Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series 12, 247-251.
- [13] Zedník J., Pospíšil J., Růžek B., Boušková A., Jedlička P., Skácelová Z., Nehybka V., Holub K. and Rušajová J. (2001): Earthquakes in the Czech Republic and surrounding regions in 1995–1999. Stud. Geophys. Geod. 45, 267–282.

Jozef URÍK¹, Stanislav MAREŠ², Miroslav KOBR³, Svatopluk ŘEZANINA⁴

**FOTOMETRICKÝ PRŮTOKOMĚR PRO MĚŘENÍ VELMI MALÝCH
VERTIKÁLNÍCH PRŮTOKŮ VODY VE VRTU
PHOTOMETRIC FLOWMETER FOR MEASURING SLOW VERTICAL WATER
FLOW IN WELLS**

Abstract

The logging tool is equipped with injector enabling to create in the streaming water a colour mark using the food dye Brilliant Blue (E133) as a tracer. A pair of photometric sensors is located in the axis of the flowmeter in a distance 5 and 10 cm above and below the special outlet nozzle of the injector. The switch in the upper part of the tool can activate the sensors of the desired distance (5 or 10 cm), what must be done before putting the tool into the well. The length of the tool is 150 cm, outer diameter 60 mm. The outlet nozzle is situated in a distance $L = 93$ cm from the bottom end of the tool. The measuring space with the outlet nozzle and photometric sensors is covered with a housing (metallic tube) of the outer diameter 50 mm. Four windows (60 x 30 mm) are created in the metallic tube with the angle distance 90° at the upper and lower end of the measuring space in order to adjust free water flow into the measuring space of the tool. The head of the tool is equipped for quick connecting to transportable logging system BLS-92H (Czech made product of the W+R Instrument Company) through one conductor armoured cable. The dye injector is operated from the cable winch, the amount of the injected dye tracer into the water flow is controlled by the operating time of the dye injector. The logging tool has a character of the flowmeter capable to measure vertical flow velocities in the range 10⁻⁴ to 10⁻² m/s or vertical flow rates in the range 10⁻⁶ to 10⁻⁴ m³/s. The start of the dye injection is synchronous with the starting point of the record representing the output signal from the upper (channel 1) as well as from the lower (channel 2) photometric sensor as a function of the time. The tracer mark recorded by the channel 1 proves the parameters of the water flow to the well head, by the channel 2 the parameters of the water flow to the bottom of the well. The flow velocity W is done by the ratio $\Delta h/\Delta t$, where Δh is the distance of the used photosensor from the injector nozzle and Δt is the recorded time of dye entry to the photosensor.

The proper function and reliability of the logging tool was checked in the model of the well under laboratory conditions. The model of the well was made from the PVC casing of the inner diameter 102 mm and length 2.0 m. The bottom of the PVC tube has been blind-folded and the tube equipped with a series of inlet and outlet valves in 5 levels with the mutual distance 0.5 m. Any inlet or outlet valve can be connected with water inflow or water outflow. In this way, it was possible to simulate different patterns of water flow in the well. We have checked the reliability of the injector, the optimum dye tracer concentration, the proper function of photosensors in both the distances from the injector nozzle ($\Delta h = 5$ cm; $\Delta h = 10$ cm), their reaction after injecting the dye tracer

¹ Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, 128 43 Praha 2, Aquatest a.s., divize karotáž, Geologická 4, 152 00 Praha 5

² Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, 128 43 Praha 2

³ Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Albertov 6, 128 43 Praha 2

⁴ W+R Instruments, s.r.o., Ječná 29a, 621 00 Brno

in the case of water flow to the top of the tube as well as to the bottom of the tube. We have compared the flow velocity determined by the flowmeter with the volumetric flow rate using the calibrated glass cylinder and the stop-watch. The results of the laboratory tests can be summarised in the following way:

- the optimum dye tracer (Brilliant Blue, FCF) concentration for the injector is $C = 250 \text{ mg/l}$,
- the dye injector has to operate 5 to 10 s in order to create tracer mark that can be easily recognized by the photosensor and evident in the output record,
- the recording channels 1 and 2 are good separated, there is no mutual influence, in the case of the water flow to the top, the tracer mark is recorded by the channel 1, in the case of the water flow to bottom, the tracer mark is recorded by the channel 2,
- the total recording time of the photosensor output signal is usually 60 s.
- the tool can be equipped with the outside rubber ring mounted on the tool housing in the place corresponding to the position of the injector nozzle; the goal is the sensitivity increase.

Key words: hydrologging, fractured rock environment, photometric flowmeter.

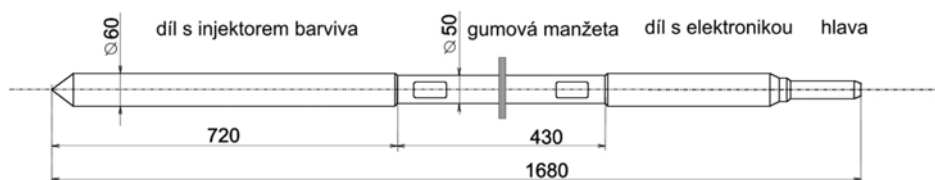
Úvod

Karotážní průtokoměry mají své oprávněné místo mezi karotážními přístroji používanými pro stanovení parametrů proudící kapaliny v průzkumném vrtu, nebo monitorovacích vrtech sloužících ke kontrole hydraulických parametrů kolektoru (Morin et al., 1988). Běžně používané vrtulkové průtokoměry mají práh citlivosti pro měření vertikální rychlosti $W_{lim} = 10\text{--}2 \text{ m/s}$, speciální průtokoměry jako je pulsní tepelný průtokoměr (Hess, 1986, 1990) nebo elektromagnetický průtokoměr (Molz et al., 1989) dosahují citlivosti řádu 10^{-3} m/s . V souvislosti se vzrůstajícím zájmem o průzkum puklinových horninových systémů (Vernon et al., 1993; Wilson et al., 2001) a jejich hydraulických vlastností (Hess et Paillet, 1990) se objevují nové metodické přístupy k jejich výzkumu, vyžadující opakované měření změn vertikální rychlosti v pozorovacích vrtech během krátkodobého hydraulického testu ve vybraném vrtu testované lokality. Ve snaze mít představu o charakteru puklinového prostředí ve větším plošném rozsahu, tedy při vzdálenosti průzkumných vrtů několik desítek až prvé stovky metrů, objevují se požadavky na velmi citlivé průtokoměry schopné měřit vertikální rychlosti řádu $10\text{--}4 \text{ m/s}$ a objemové průtoky řádu $10\text{--}6 \text{ m}^3/\text{s}$. Níže popsanou konstrukcí fotometrického průtokoměru se snažíme tomuto požadavku vyhovět.

Konstrukce a funkce karotážní sondy

Karotážní sonda je vybavena injektorem, umožňujícím vytvořit v proudící kapalině barevnou značku potravinářským barvivem Brilliant Blue FCF (E133). Kolem místa vstřiku jsou v ose sondy symetricky umístěny dvojice fotometrických čidel ve vzdálenosti 5 a 10 cm od místa vstřiku. Přepínač uložený v horní části sondy umožňuje, aby byla v činnosti buďto dvojice detektorů se vzdáleností 5 cm nebo 10 cm od vstřikovací trysky. Volbu vzdálenosti čidel je nutno uskutečnit před vložením sondy do vrtu. Délka sondy je 168 cm, průměr 60 mm (Obr. 1). Tryska je situována 93 cm od dolního konce sondy, prostor trysky a fotometrických čidel je zakryt pláštěm o průměru 50 mm, 4 podélné otvory o délce 60 mm s úhlovým rozestupem 90° situovaných symetricky kolem místa vstřiku nad a pod dvojicí fotometrických čidel zaručují volný pohyb vody účinným prostorem sondy. Sonda je ukončena hlavou pro snadné připojení na jednožilný pancéřovaný kabel lehké přenosné karotážní soupravy BLS-92H (výrobek firmy W+R Instruments), kterou je vybaveno řešitelské pracoviště. Injektor barviva je

ovládán dálkově zapnutím elektromotoru, který posunuje pístem velké injekční stříkačky (objem 55 cm³), množství barviva vytlačeného pístem do účinného prostoru sondy je dáno dobou, po kterou je motor injektoru v činnosti. Karotážní sonda má charakter fotometrického průtokoměru, schopného registrovat vertikální pohyby vody řádu 10–3 až 10–4 m/s a objemové vertikální průtoky řádu 10–6 m³/s. Při zapnutí motoru injektoru je současně spuštěna časová registrace výstupního signálu z prvního fotometrického čidla (situovaného nad místem vstříku) a z druhého (situovaného pod místem vstříku). Barevná značka zaznamenaná prvním čidlem svědčí o pohybu vody směrem k ústí vrtu, zaznamenaná druhým čidlem svědčí o pohybu vody směrem k čelbě vrtu. Rychlost proudící vody W je dána poměrem $\Delta h/\Delta t$, kde Δh je vzdálenost použitého fotometrického čidla od místa vstříku barviva, Δt je čas, ve kterém byl zaregistrován průchod barevné značky fotometrickým čidlem.



Obr. 1 Konstrukční schéma fotometrického průtokoměru

Laboratorní testování přístroje

Ověření funkční spolehlivosti sondy bylo provedeno v laboratorních podmínkách v modelu vrtu. Model vrtu představuje PVC trubka délky 2 m o vnitřním průměru 102 mm. Trubka je opatřena dnem a sadou vstupních a výstupních ventilů v pěti úrovních se vzájemnou vzdáleností 0,5 m. Přívod a odtok užitkové vody je možno napojit na kterýkoliv vstupní nebo výstupní ventil a tím simulovat různé režimy pohybu vody ve vrtu. Zaměřili jsme se především na základní funkce přístroje při využití obou vzdáleností ($\Delta h = 5$ cm, $\Delta h = 10$ cm) fotometrických čidel od místa vpravení barviva do proudící vody, na vhodnou koncentraci barviva, činnost injektoru, schopnost spolehlivě stanovit směr pohybu a posoudit rychlost vzájemným porovnáním údajů o objemovém průtoku měřeném odměrnou nádobou a hodnotě rychlosti $W = \Delta h/\Delta t$ stanovené z údajů fotometrické sondy výše popsaným způsobem.

Výsledky laboratorních testů

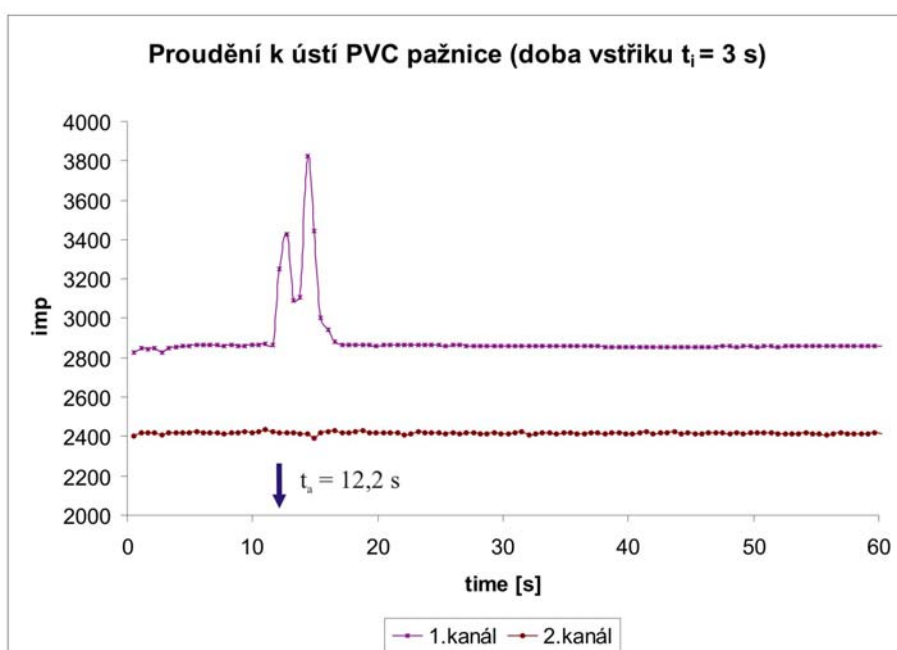
Výsledky provedených prací v laboratorních podmínkách lze shrnout takto:

- ☐ nejvhodnější koncentrací barviva Brilliant Blue (E133) je hodnota $C = 200$ až 300 mg/l,
- ☐ motor injektoru stačí ponechat v činnosti 3 až 5 s aby se vytvořila dobře registrovatelná barevná značka fotometrickým čidlem (Obr. 2, Obr. 3, Obr. 4),
- ☐ objem barviva 55 ml (využitelný objem injekční stříkačky) stačí na vytvoření 60 značek při době vstříku 3 s, nebo 35 značek při době vstříku 5 s,
- ☐ mezi registračním kanálem 1 a 2 se neobjevují žádné přeslechy, při pohybu vody směrem k ústí vrtu je registrován průchod barevné značky pouze horním fotometrickým detektorem (kanál 1), při pohybu vody

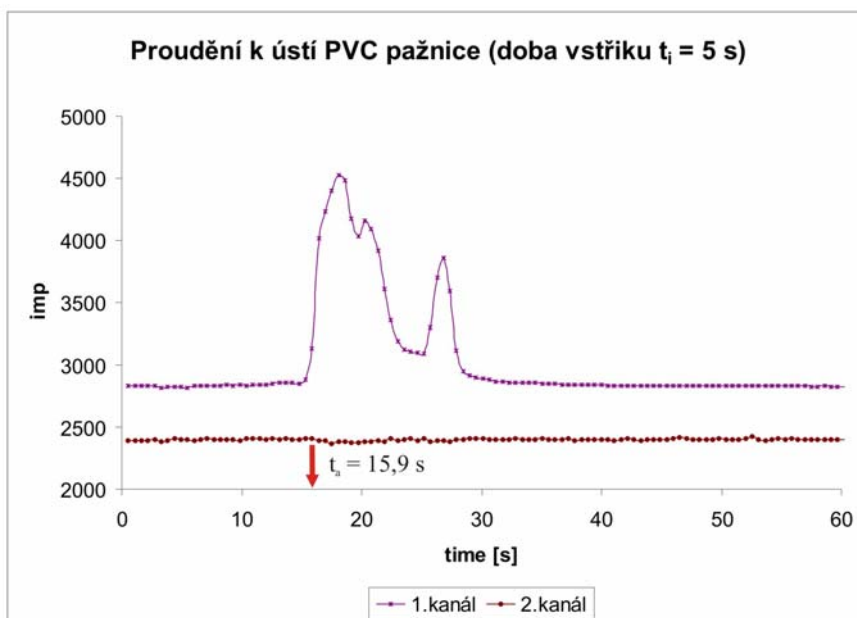
směrem k čelbě vrtu pouze dolním fotometrickým detektorem (kanál 2); pro snadné rozlišení mají oba registrační kanály rozdílnou základní úroveň měřeného signálu i intenzitu barevné stopy. Časová délka záznamu fotometrických čidel nepřekročí obvykle dobu 60 s (viz Obr. 2, Obr. 3, Obr. 4).

Pro zvýšení citlivosti je sonda vybavena výměnnou pryžovou manžetou odpovídající průměru vrtu. Tím je dosaženo toho, že voda proudící podél osy vrtu musí z největší části protékat účinným prostorem průtokoměru.

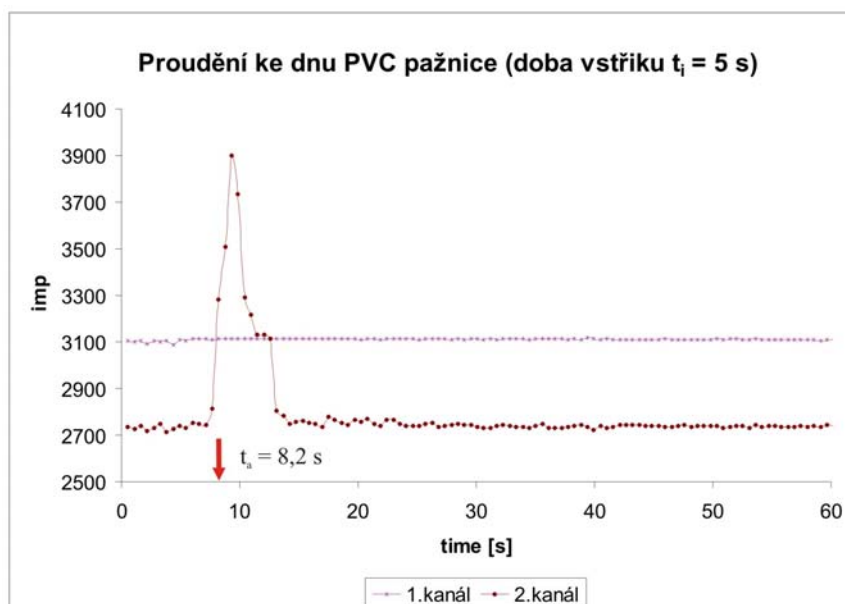
Vzájemný empirický vztah mezi vertikálním průtokem Q_p (10^{-6} m³/s) testovací pažnice a vertikální rychlostí vody W_s (10–3 m/s) proudící účinným prostorem průtokoměru je uveden pro fotometrická čidla vzdálená od místa vstřiku 5 cm na Obr. 5 a pro fotometrická čidla vzdálená od místa vstřiku 10 cm na Obr. 6.



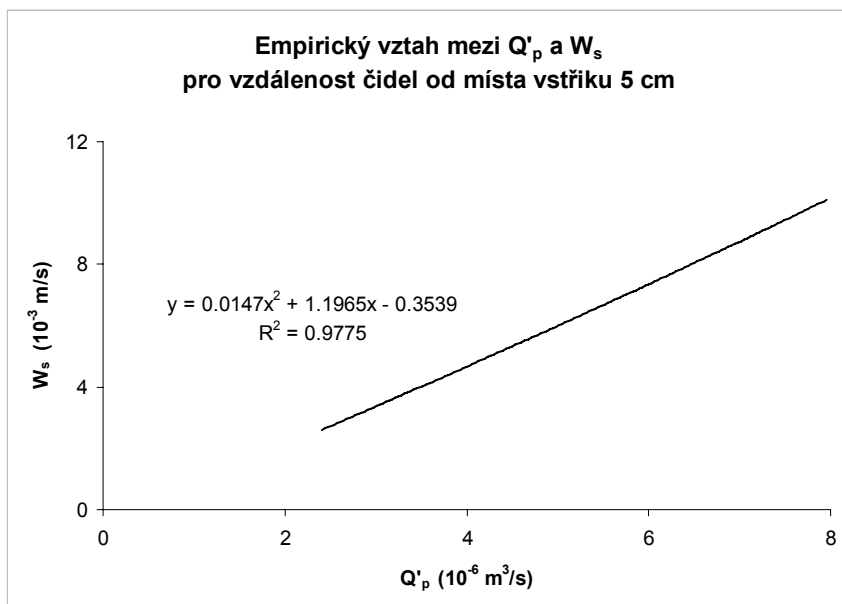
Obr. 2 Časový záznam průchodu barevné značky fotometrickým čidlem při kapalině proudící k ústí PVC pažnice (1. kanál). Doba vstřiku barviva $t_i = 3$ s. Čas příchodu je na časové ose vyznačen šipkou ($t_a = 12,2$ s).



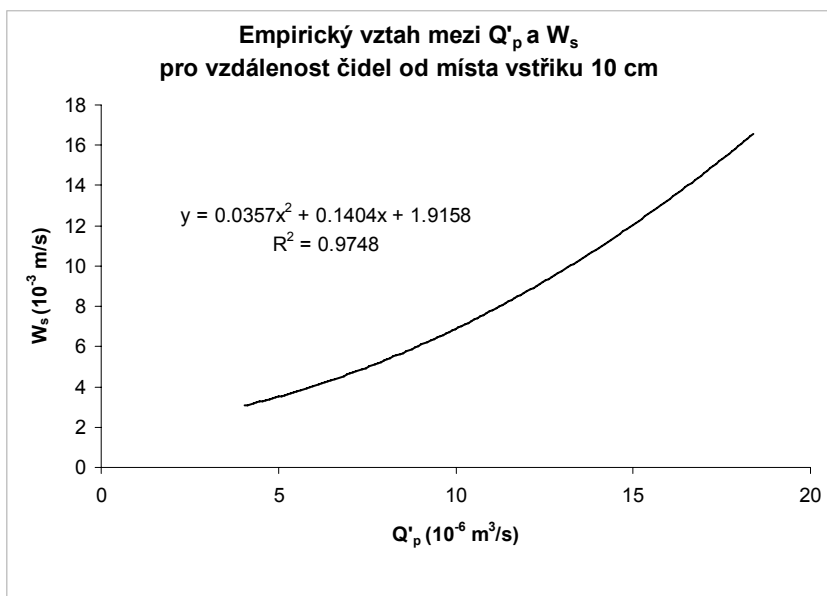
Obr. 3 Časový záznam průchodu barevné značky fotometrickým čidlem při kapalině proudící k ústí PVC pažnice (1. kanál). Doba vstřiku barviva $t = 5$ s. Čas příchodu je na časové ose vyznačen šipkou ($t = 15,9$ s).



Obr. 4 Časový záznam průchodu barevné značky fotometrickým čidlem při kapalině proudící ke dnu PVC pažnice (2. kanál). Doba vstřiku barviva $t = 5$ s. Čas příchodu je na časové ose vyznačen šipkou ($t = 8,2$ s).



Obr. 5 Empirický vztah mezi vertikálním průtokem Q'_p ($10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$) vody modelem vrtu a vertikální rychlostí vody W_s (10^{-3} m/s) proudící účinným prostorem průtokoměru pro fotometrická čidla vzdálená od místa vstříku 5 cm.



Obr. 6 Empirický vztah mezi vertikálním průtokem Q'_p ($10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$) vody modelem vrtu a vertikální rychlostí vody W_s (10^{-3} m/s) proudící účinným prostorem průtokoměru pro fotometrická čidla vzdálená od místa vstříku 10 cm (pohyb vody ke dnu PVC pažnice).

Závěr

Laboratorní testy prokázaly, že fotometrický průtokoměr splňuje základní požadavky na průtokoměry, které se v zahraničí používají pro sledování malých změn v objemovém vertikálním průtoku v pozorovacích vrtech jako odezva na krátkodobý čerpací nebo injekční test v jednom z blízkých vrtů testované lokality. Analýza časových změn vertikálního objemového průtoku umožňuje při porovnání s modelovými křivkami posoudit rozdílné typy puklinového propojení v prostoru mezi testovanými vrty a stanovit průtočnost a zásobnost puklinového systému (Williams and Paillet, 2002).

Prohlášení: Uvedené výzkumné práce byly provedeny převážně v rámci projektu 205/07/0777 finančně podpořeného GAČR a částečně v rámci výzkumného záměru MSM 0021620855 finančně podpořeného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR.

Literatura

- [1] Hess, A. E. (1990): Thermal-pulse flowmeter for measuring slow water velocities in boreholes. – Open Report 87-121, U.S. Geological Survey, Denver, Colorado.
- [2] Hess, A. E. (1986): Identifying hydraulically conductive fractures with a slow velocity borehole flowmeter. – Canadian Geotechnical Journal, V. 23, No. 1, pp. 69-78.
- [3] Hess, A. E. and Paillet, F. L. (1990): Applications of thermal-pulse flowmeter in the hydraulic characterization of fractured rocks. In: Geophysical Applications for Geotechnical Investigations, ASTM STP 1101, pp. 99-112.
- [4] Molz, F. J., Morin, R. H., Hess, A. E., Melville, J. G. and Güven, O. (1989): The impeller meter for measuring aquifer permeability variations: evaluation and comparison with other tests. Water Resources Res., 25, 1677-1683.
- [5] Morin, R. H., Hess, A. E. and Paillet, F. L. (1988): Determining the distribution of hydraulic conductivity in fractured limestone aquifer by simultaneous injection and geophysical logging. Ground Water, Vol. 26., No. 5, p. 587.
- [6] Vernon, J. H. et al. (1993): Application of borehole geophysics in defining the wellhead protection area for fractured crystalline bedrock aquifer. The Log Analyst, January – February, p. 41-47.
- [7] Williams, J. H. and Paillet, F. L. (2002): Using flowmeter pulse tests to define hydraulic connections in the subsurface: A fractured shale example. – Journal of Hydrology, 265, 100-117.
- [8] Wilson, J. T., Mandell, W. A., Paillet, F. L., Bayless, E. R., Hanson, R. T., Kearl, P. M., Keerfoot, W. B., Newhouse, W. M and Pedler, W. H. (2001): An evaluation of borehole flowmeters used to measure horizontal groundwater flow in limestone of Indiana, Kentucky, and Tennessee, 1999. – U.S. Geological Survey Water Resources Investigation Report 01-4139.

**POSÚDENIE STABILITY VNÚTROBLOKOVÝCH PILIEROV PRI
VÝSTUPKOVOM DOBÝVANÍ**

**INFLUENCE OF THE INTER-BLOCK PILLARS STABILITY ON THE
MECHANIZED OVERHEAD STOPPING METHOD**

Abstract

The paper focus on the geomechanical analysis of underground mining by extraction of the deposit of magnesite minerals in Slovakia. The biggest deposit near Jelšava is called Dubrava massif and is formed by a complex of three magnesit pods (Dúbrava, Miková, Jedľovec) at a length of cc 4.5 km, with the right thickness of up to 600 m. The main extraction technique up the eighthies of the last century was the method of open stope with mining railles mechanization. For selective mining since the nineties was used a new method of extraction: mechanized overhead stopping method, with the inter-block pillars of 5x5 m. The article presents examination of proposal the inter-block pillars for the 220 m level with mathematical modelling and analytical technique.

Key words: overhead stopping metod, inter-block pillar, stability

Úvod

Ťažba magnezitu má na Slovensku viac ako 130 ročnú históriu. Na Slovensku evidujeme celkovo 23 ložísk magnezitu, z ktorých priemyselný význam má pätnásť (15) ložísk. Magnezit sa v minulosti ťažil na 8 ložiskách, v súčasnosti sa ťaží na ložiskách Jelšava, Lubeník a Mútnik-Hnúšťa s celkovou ťažbou na úrovni cca 1,5 mil. t. Najväčším ťažobným a spracovateľským závodom na Slovensku je podnik SMZ, a.s. Jelšava. Ťažba magnezitu prebieha na ložisku Dubravský a Mikovský masív, na ktorom sa v súčasnosti používajú dve dobývacie metódy a to:

- ☐ dobývanie otvorenou komorou z medziobzorových chodieb,
- ☐ mechanizované výstupkové dobývanie so zakladaním vyrúbaných priestorov.

Nosnou dobývacou metódou na ložisku je výstupkové dobývanie (VD), ktoré je charakterizované postupom dobývania od základného obzoru smerom nahor v pravidelných veľkoplošných vrstvách po tzv. lávkach. Umožňuje selektívne dobývanie iba v tých častiach bloku, ktoré kvalitatívne vyhovujú. Výhodou VD je zvýšenie výrubnosti, zníženie podielu prípravných prác, operatívne riadenie kvality ťaženej rúbany. Nevýhodou je pomerne vysoká pracnosť pri zakladaní vydobyťého priestoru, vyššie náklady na odťažbu a vysoké nároky na riadenie a organizáciu práce.

Ochranné piliere plnia pri tejto dobývacej metóde dve funkcie:

- ☐ chrániť mimoblokové banské diela pred nepriaznivými prejavmi horninových tlakov vznikajúcich ako dôsledok dobývania v bloku, najmä na dovrchnú chodbu, vetracie komíny a susedné dobývacie bloky a banské diela,
- ☐ chrániť vlastný priestor dobývky tým, že podopierajú strop. Tieto vnútroblokové piliere majú rozmery 5x5 m a sú pravidelne

¹ Ing., PhD., F BERG, Technická univerzita v Košiciach, pavol.vavrek@tuke.sk

rozmiestňované v 12 m rozstupoch. Priestor medzi piliermi tvoria dobývacie pásy. Vnútroblokové piliere ako nosné prvky sú meračsky sledované a dokumentované na každej dobývacej úrovni.

Ťažba z vyšších horizontov 390 – 323 m n.m. sa presúva na horizont 220 m n.m. Otváranie nového horizontu vyvolalo úlohu prehodnotenia rozmerov vnútroblokových pilierov výstupkového dobývania, s ktorým sa uvažuje ako s jedinou dobývacou metódou na tomto horizonte. Pri riešení predmetnej problematiky bolo použité matematické modelovanie a analytický spôsob prepočtu.

Matematické modelovanie

Pri riešení vyššie uvedenej problematiky bol použitý modifikovaný matematický model z úloh „Prehodnotenie napäťovo - deformačného stavu v okolí bariérneho piliera z hľadiska ďalšieho postupu dobývania“ (Vavrek, 2002), „Analýza napäťovo-deformačných stavov a prepočet stability dobývaného sektoru B so zohľadnením aktuálnych stavov vnútroblokových pilierov, (Ďurove, Vavrek, 2004) a „Komplexný prepočet stabilitných podmienok a návrh stabilitného riešenia na sektore B a v oblasti bariérneho piliera“ (Ďurove a kol., 2005).

Matematický model bol riešený variantne pre premenlivú výšku výstupkov. Východnou výškou bola úroveň 220 m n.m., na ktorej sa založí nultá látka. Ďalšími modelovanými výškami výstupku boli úrovne 243, 266, 290 m n.m.

Vstupné parametre modelu

Fyzikálno - mechanické vlastnosti hornín slúžia ako vstupné informácie, ktorých presnosť do značnej miery ovplyvňuje stupeň hodnovernosti výstupných parametrov modelu. Pri voľbe fyzikálno - mechanických vlastností, ktoré boli použité ako vstupné dáta pre modely z rokov 2002, 2004, 2005 sa vychádzalo z „Dielčej správy úlohy: Komplexné riešenie prechodu dobývania pod úroveň 400 m n.m.“. (Kyntera a kol., 1974).

Za účelom stanovenia Hoek – Brownových parametrov horninového masívu boli realizované triaxiálne skúšky na nepravom triaxáli T-500A (obr.1). Prevedené skúšky boli podkladom pre výpočet vstupných parametrov do matematického modelu, ktorý bol použitý pri riešení problematiky stability dobývok na horizonte 220 m n.m.



Obr. 1 Nepravý triaxiál T-500

Skúšky na nepravom triaxiálnom prístroji T – 500A sa realizovali na skúšobných telesách valcového tvaru. Bolo odskúšaných 6 vzoriek magnezitu s rovnakými rozmermi :

- ☐ $d = 35,0 \text{ mm}$ (priemer vzorky),
- ☐ $h = 37,0 \text{ mm}$ (výška vzorky).

Výsledky triaxiálnych skúšok boli podkladom pre stanovenie Hoek –Brownových parametrov:

- ☐ m_i – parameter,
- ☐ r – koeficient,
- ☐ σ_{ci} – prepočítaná tlaková pevnosť intaktnej horniny.

Tektonické porušenie horninového prostredia v oblasti Dúbravského a Mikovského masívu je zohľadnené v H – B klasifikácii pomocou GSI indexu (Geological Strength Index). Pri zatriedení horninového masívu v záujmovej oblasti sa vychádzalo z blokovej štruktúrnej stavby vytvorenej systémom plôch nespojitosti , pretínajúcich sa najčastejšie v dvoch až troch smeroch.

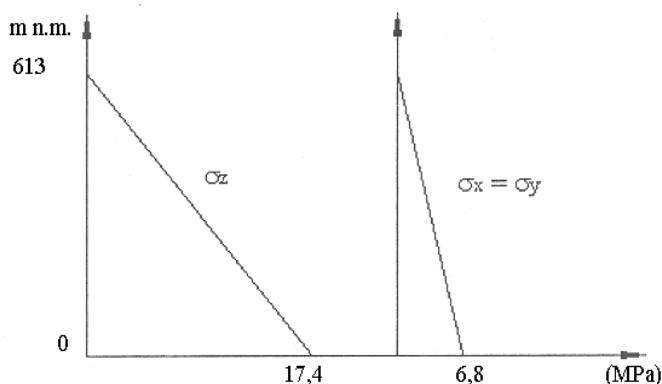
Druhý parameter klasifikácie GSI zohľadňuje stav povrchu diskontinuit, ktoré sú zatriedené do piatich skupín: veľmi dobrý, dobrý, priemerný, zlý, veľmi zlý povrch.

Na základe zhodnotenia výsledkov laboratórnych skúšok, štruktúro-tektonického porušenia masívu, zatriedenia Dúbravského masívu podľa GSI indexu boli použité vlastnosti horninového prostredia (tab. 1), ktoré sa implementovali do matematického modelu.

Tab. 1 Geotechnické vlastnosti hor. typov použitých v modeli

Hornina	Objemová hmotnosť ρ_0 [kg.m ⁻³]	Pretvárne vlastnosti E_{def}, E [MPa]	Poissonov o číslo μ	Objemový modul K [MPa]	Šmykový modul G [MPa]	Uhol vnútorného trenia φ [°]	Súdržnosť c [MPa]	Pevnosť v ťahu σ_r [MPa]
Magnezit	2900	44266	0,282	33843	17265	44,3	10,8	3,6
Fylity	2500	8772	0,21	5041	3625	25	0,8	0,3

Okrajové podmienky modelu



Obr. 2 Primárny napätový stav

Hranice modelu vo vertikálnom smere siahajú od 0 m n.m. po 613 m n.m. Výška nadložia nad voľným priestorom v strede klenby je 68 m. Tiaž povrchu terénu nad kótou 613 m n.m. je nahradená zodpovedajúcimi silami, ktoré pôsobia na povrchu modelu.

Veľkosť modelu: v smere osi x – 800 m, v smere osi y – 700 m, v smere osi z – 613 m. Pri riešení sa používal gravitačný model, ktorý zohľadňuje nárast vertikálnych napätí so zväčšujúcou sa hĺbkou modelu v závislosti od objemovej hmotnosti (ρ_0) materiálov, z ktorých sa model skladá. Maximálne hlavné napätie z nulovej hodnoty na povrchu sa zväčšuje na hodnotu 17,4 MPa na spodnom okraji modelu. Horizontálne napätia z nulovej hodnoty na povrchu narastajú lineárne na hodnotu 6,8 MPa na spodnom okraji modelu.

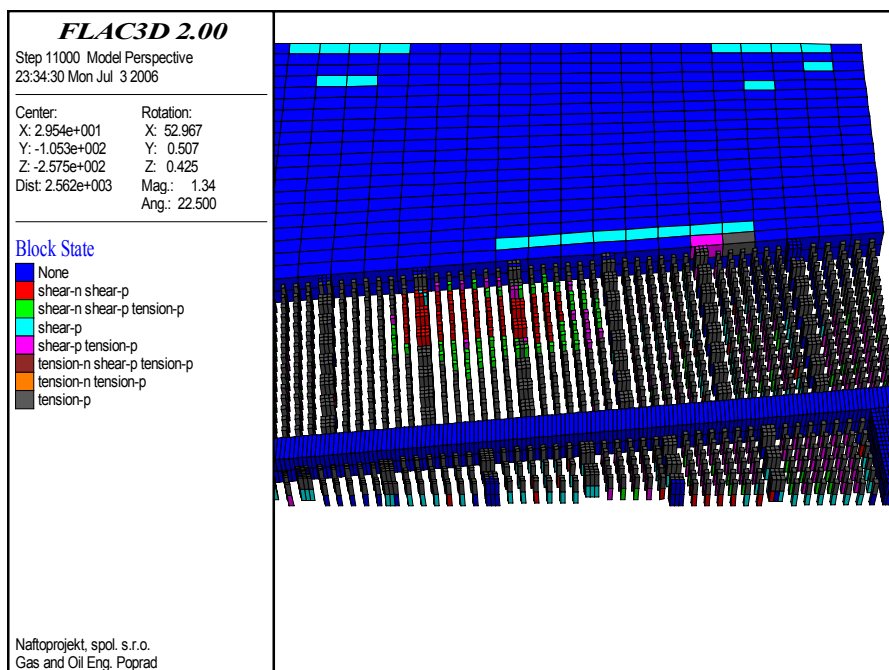
Výsledky matematického modelovania

Východiskom modelom bolo rozfárание ložiska podľa týchto geotechnických zásad pre otváрку, prípravu a dobývanie pod úrovňou 323 m n.m.: výška vnútroblokových pilierov 70 m, šírka dobývacích pásov 12 m, hrúbka stropného piliera obzoru 220 m n.m. 15 m, rozmery blokových pilierov 15x 17 m.

1. Stav stability modelu

Použitý software má k dispozícii 10 materiálovo-konštitučných modelov, ktoré sa volia v závislosti od vlastností modelovaných geotechnických materiálov a od modelovanej situácie. Samotným modelom sú priradené aj kritéria medzného stavu tzv. kritéria porušenia, ktoré vyjadrujú medzné hodnoty pevnostných charakteristik

rôznorodých materiálov (teda aj hornín), pri prekročení ktorých dochádza k rôznym medzným stavom. V geotechnike je veľmi často používaným Mohr – Coulombove kritérium porušenia, ktoré sa používa pre generálne riešenia problémov v oblasti mechaniky zemín aj skalných hornín. Podľa tohto kritéria k porušeniu môže dôjsť šmykom (shear), ťahom (tension) alebo ich kombináciou.



Obr. 3 Stav stability modelu – výška VBP – 46 m

Implementovaná funkcia block state (stav zón, stav stability modelu) v programe FLAC 3D s Mohr – Coulombovou podmienkou medzného stavu bola použitá na posúdenie stavu stability modelovaných variant. Preddisponované plochy šmykového alebo ťahového porušenia sú označované symbolom –p. Stav na medzi porušenia šmykom alebo ťahom je symbolizovaný písmenom –n. Dvojica symbolov shear – p alebo tension – p symbolizuje inicializáciu plastického pretvorenia a dvojica symbolov shear – n a tension – n indikuje stav porušovania.

Stav stability modelovanej oblasti pre výšku vnútroblokových pilierov (VBP) – 46 m (obr. 3) poukazuje na rôznu intenzitu porušenia šmykom aj ťahom vnútroblokových aj blokových pilierov. Výpočty napäťového stavu, ktoré boli prevedené matematickým modelovaním priestorovou metódou konečných rozdielov dávajú základnú informáciu o vývojových trendoch napätí v záujmových oblastiach.

Kvôli lepšej prehľadnosti výsledkov modelovania je v tab. 2 uvádzaný percentuálny nárast alebo pokles porovnávaných napätí pre rôzne výšky vnútroblokových pilierov získaných z výstupov matematického modelovania.

Tab. 2 Percentuálny nárast alebo pokles porovnávaných napätí

	<i>bez VBP</i>	<i>VBP – 23 m</i>	<i>VBP – 46 m</i>	<i>VBP – 70 m</i>
<i>S_{min} (tlakové maximum)</i>	100 %	172 %	177 %	114 %
<i>S_{max} (ťahové maximum)</i>	100 %	18 %	153 %	174 %
<i>S_{xy} (šmykové maximum v rovine xy)</i>	100 %	38 %	61 %	33 %
<i>S_{xz} (šmykové maximum v rovine xz)</i>	100 %	48 %	83 %	59 %
<i>S_{yz} (šmykové maximum v rovine yz)</i>	100 %	171 %	139 %	143 %

Východzou bázou porovnania boli hodnoty napätí na úrovni horizontu 220 m n.m. bez jeho rozfárania (súčasný stav na ložisku – bez VBP). Rozfáranie ložiska systémom VBP na nulte lávke spôsobuje priťaženie pilierov oproti východzie mu stavu (nerozfárané ložisko – bez VBP) cca o 70 %. Postupom dobývok na vyššie horizonty dochádza k odľahčovaniu VBP. Pri ťahových napätiach dochádza oproti východzie mu stavu najprv k odľahčeniu a následne k ich zvyšovaniu. Maximum ťahových napätí sa dosahuje pri výške VBP - 70 m kedy narastá ťahové zaťaženie oproti východzie mu stavu cca o 74 % (platí pre blokové piliere).

Šmykové napätia v rovine xy(horizontálna rovina) a xz (vertikálna rovina v smere S-J) s postupom na vyššie horizonty sa v porovnaní s východzie m stavom zmenšujú. Vývoj šmykových napätí v rovine yz je nepriaznivejší. Tu dochádza oproti východzie mu stavu k nárastu úrovne ťahového zaťaženia u blokových pásov aj pri blokových pilieroch.

Z hľadiska absolútnych hodnôt zaťaženia sú vnútroblokové piliere namáhané tlakovým napätím s maximom cca 70 MPa, hodnota maxim ťahových zaťažení dosahuje úrovne cca 5,9 MPa. Maximálne hodnoty šmykových napätí dosahujú úrovne cca 12 MPa. Maxima ťahových a šmykových napätí prekračujú medzné pevnosti modelovaného horninového prostredia (magnezit), čo dokumentuje aj stav stability modelov (block state). Pri rozfáraní ložiska pri pôdorys VBP – 5x5 m, šírke dobývacích pásov – 12 m, blokových pilieroch 15 x 17 m nie je zaručená bezpečnosť dobývok . V niektorých miestach dobývok dochádza k strate únosnosti vnútroblokových aj blokových pilierov. Zóny zvýšeného namáhania sa sústreďujú do oblasti styku rozfáraná a nerozfáraná časť ložiska v severnej časti, výrazná zóna ťahového namáhania je v oblasti pod B – sektorom v jeho západnej časti s deštruovanými vnútroblokovými piliermi.

Dimenzovanie vnútroblokových pilierov obzoru 220 m n.m. analytickým spôsobom

Dimenzovanie ochranných pilierov pri hlbinnom dobývaní ložísk ťžitkových nerastov patrí medzi najdôležitejšie úlohy z bezpečnostného aj ekonomického hľadiska. Pri dimenzovaní vnútroblokových pilierov výstupkového dobývania sa vychádza zo štvorcového prierezu o strane štvorca (d).

Stranu štvorcového prierezu d môžeme určiť z podmienky rovnováhy

$$\sum_{i=1}^n P_i = \frac{F_{kr} \cdot \sigma_t}{n}$$

σ_t je pevnosť horniny na tlak [Pa],

$\sum P_i$ sú sily pôsobiace na kritický prierez,

$$P_i = P_1 + P_2 + P_3$$

P_1 je sila vyvolaná hmotnosťou vnútroblokového piliera nad kritickým prierezom [N],

P_2 sila vyvolaná hmotnosťou stropného piliera [N],

P_3 sila vyvolaná hmotnosťou výplne (ochrannej podušky) nad stropným pilierom [N],

n stupeň bezpečnosti,

F_{kr} kritický prierez [m²],

$$F_{kr} = F \cdot K$$

$$F = d^2$$

d je hľadaná strana štvorca prierezu vnútroblokového prierezu [m].

Redukčný koeficient K zo štihlostného pomeru býva vzťahovaný k dovoľnému namáhaniu, čo odpovedá podľa uvedených vzťahov redukcii prierezu [F].

$$P_1 = d^2 \cdot h_4 \cdot \rho_1 \cdot g$$

h_4 je vzdialenosť kritického miesta od stropného piliera [m],

ρ_1 objemová hmotnosť ložiskovej výplne [kg.m⁻³].

$$P_2 = (l + d)^2 \cdot h_1 \cdot \rho_1 \cdot g$$

l je vzdialenosť pilierov,

h_1 hrúbka stropného piliera [m].

$$P_3 = (l + d)^2 \cdot h_2 \cdot \rho_2 \cdot g$$

h_2 je výška ochrannej podušky, podklenbovej výplne alebo základky [m],

ρ_1 objemová hmotnosť ochrannej podušky alebo základky [kg.m⁻³].

Jednoduchou úpravou vyššie uvedených vzťahov môžeme stanoviť napr. šírku vnútroblokového piliera, stupeň bezpečnosti apod.

Na základe vyššie uvedených vzťahov bol prepočítaný stupeň bezpečnosti n vnútroblokových pilierov. Pri výpočte sme vychádzali z týchto vstupných parametrov:

$$\sigma_{tl} = 100 \text{ MPa}$$

$$h_1 = 15 \text{ m}$$

$$K = 0,7$$

$$h_2 = 200 \text{ m}$$

Pre model 5x5x12 m je vypočítaný stupeň bezpečnosti $n = 1,2$. Model 7x7x10 m má stupeň bezpečnosti $n = 2,4$. Pri výstupkovom dobývaní so zakladaním vydobytych priestorov odporúča Ilivickij minimálne stupeň bezpečnosti $n=2$. Z prevedených analytických výpočtov vyplýva, že túto podmienku spĺňa model 7x7x10 m. Pri modeli 5x5x12 m nie je dodržaný požadovaný stupeň bezpečnosti.

Záver

Z vykonaného matematického modelovania a z návrhu rozmerov vnútroblokových pilierov horizontu 220 m n.m. analytickým spôsobom je možno vysloviť nasledujúce závery:

- ❑ pôvodne navrhnuté pôdorysné rozmery vnútroblokových pilierov 5x5 m a šírka dobývacích pásov 12 m sú nedostatočné. Toto konštatovanie je potvrdené výsledkami matematického modelovania aj analytickým prepočtom podľa podmienky medznej rovnováhy.
- ❑ vyhovujúcim pôdorysným rozmerom vnútroblokových pilierov a šírky dobývacích pásov je raster 7x7x10 m. Pri tomto module je stupeň bezpečnosti dobývania, stanovený analytickým výpočtom $n = 2,4$.
- ❑ z hľadiska zvýšenia bezpečnosti dobývania na horizonte 220 m n.m. je potrebné jednotlivé dobývacie sektory oddelovať súvislými blokovými pásmi. Sektory umiestniť paralelne s hlavnou tektonikou.
- ❑ šírka blokových pásov by mala byť minimálne 15 m pri dodržaní šírky dobývacích sektorov cca 100 m.
- ❑ pri väčšej šírke dobývacích pásov je potrebné prepočítať šírku blokových pilierov vzhľadom na účinok pritlačenia od vzperných klenieb vznikajúcich nad dobývacími sektormi.

Príspevok vznikol v rámci riešenia grantového projektu VEGA č. 1/0447/08.

Literatúra

- [1] Ďurove, J., Vavrek, P. (2004): Analýza napätovo-deformačných stavov a prepočet stability dobývacieho sektoru B so zohľadnením štruktúrnych podmienok a aktuálnych stavov vnútroblokových pilierov. Výsk. správa k bodu č.2 z I. etapy riešenia ZoD zo dňa 26. 3. 2004 (zodp. riešiteľ prof. Sasvári). F BERG TU v Košiciach, november 2004.
- [2] Ďurove, J., Vavrek, P., Čížik, J. (2005): Komplexný prepočet stabilných podmienok a návrh stabilného riešenia na sektore B a v oblasti bariérneho piliera. Výsk. správa k bodu č. 4 z II. etapy riešenia ZoD zo dňa 26.3.2004 (zodp. riešiteľ prof. Sasvári). F BERG TU v Košiciach, október 2005.
- [3] Filipponi, M. (2003): Die Stabilität von Karstholräumen am Beispiel der A.F. Linder - Halle im Abisso di Trebiciano, 2003.
- [4] Hatala, J., Trančík, P. (1989): Mechanika hornín a masívu. ALFA Bratislava, 1989.
- [5] Hoek, E. (2000): Practical Rock Engineering, 2000.
- [6] Hoek, E. (2002): A brief history of the Hoek – Brown criterion, Program: „Roc Lab“, 2002.
- [7] Ilivickij, A. A. (1962): Metody rasčeta meždukamernych celikov i potoločin pri razrabotke krutopadajuščich mestoroždenij. Zborník Metody opredelenija razmerov meždukamernych celikov i potolčin. IAN, Moskva, 1962.
- [8] Kyntera, F. a kol. (1974): „Dielčia správa úlohy: Komplexné riešenie prechodu dobývania pod úroveň 400 m n.m.“, ÚVR Košice, 1974.
- [9] Mužík, L. a kol. (1979): Určení napětovo-deformačních stavů na magnezitovém ložisku Miková. Závěrečná správa, Ústav geologie a geotechniky ČSAV Praha, 1979.

- [10] Záhoranský, G. a kol. (1983): Prehodnotenie postupu likvidácie na obzore 450 - 400 m n.m. na závode Jelšava. Závěrečná správa, ÚVR, Košice, jún 1983.
- [11] Vavrek, P. (2002): Prehodnotenie napäťovo-deformačného stavu v okolí barierného piliera z hľadiska ďalšieho postupu dobývania. Výskumná správa, časť matematické modelovanie, Košice, F BERG TU v Košiciach, máj 2002.

LOKÁLNE SPEKTRÁ SEIZMICKEJ ODOZVY PRE VYSOKÉ BUDOVY
LOCAL SEISMIC RESPONSE SPECTRA OF HIGH BUILDINGS

Abstract

The aim of the paper is to present the results of the computations of the site seismic response spectra of the high buildings and to compare them with standard seismic response spectra. The value of the spectral acceleration of the site response spectra is considerable smaller by comparison with the standard one. Consequently, the application of the site response spectral acceleration values reduces the cost of the construction.

Key words: Local seismic response spectrum, accelerogram, spectral acceleration"

Úvod

V Bratislave v poslednom období piatich rokov prebehla a naďalej pokračuje rozsiahla výstavba vysokých budov, ako príklad možno uviesť Business centrum V, polyfunkčný objekt na Černyševského ulici, Kopčianskej ulici, bytové objekty na Jégého ulici, polyfunkčný objekt Lakeside Park, Landslide, Olympia. Za vysokú budovu sa v zmysle STN 73 0036 považuje budova, ktorá ma podlahu najvyššieho podlažia aspoň 20 m nad terénom. V súvislosti s výstavbou týchto vysokých budov vznikli požiadavky od statikov na výpočet lokálnych spektier seizmickej odozvy, nakoľko podľa uvedenej STN vo výpočte dynamickej odozvy konštrukcie sa používa spektrum seizmickej odozvy. Špecifikom týchto objektov je, že ich vlastná frekvencia je v oblasti 0.5 Hz – 1 Hz, teda podstatne nižšia v porovnaní s inými konštrukciami. Výpočet spektier seizmickej odozvy či už na voľnom povrchu terénu alebo v ľubovoľnej hĺbke sa v súčasnosti používa ako na Slovensku, tak v Európe i v USA (Browning et al., 2008; Leydeckera et al. 2008; Bakira et al., 2007; Abbas, 2006; Lee et al., 2003; Lindeburg, 2001; Lam and Wilson, 2001; Hori et al., 1999; Schmidt et al., 1989). Vypočítaný akcelerogram alebo spektrum seizmickej odozvy je vstupný údaj pre statika na výpočet seizmickej odozvy konštrukcie a prípade dynamickej interakcie konštrukcie s podložíom (Matsuzaki and Kibe, 1983; Gupta, 1992). Spektrá seizmickej odozvy možno aplikovať i pri hodnotení účinkov technickej seizmicity na budovy (Lednická et al., 2006).

Výpočet dynamickej odozvy vysokých budov

V zmysle STN 73 0036 čl.3.1.1 stavebné konštrukcie v oblastiach 7OMSK-64 a vyššieho, kam patrí i Bratislava, sa musia počítať a navrhnuť na seizmické zaťaženie. Vo výpočtoch sa používajú buď spektrá seizmickej odozvy (čl.4.3.2) alebo akcelerogramy (čl.4.3.3). V zmysle čl. 4.3.2.1 ak je pre oblasť alebo lokalitu stavby vypracované lokálne spektrum seizmickej odozvy, použije sa miesto normového návrhového spektra alebo ako jeho doplnok. Statik požaduje výpočet spektier seizmickej odozvy na povrchu terénu a pre hĺbku, v ktorej sa nachádza základová škára alebo piety pilót. V zmysle čl. 4.2.3.2.7 pri hĺbke základovej škáry väčšej ako 3 m možno vo výpočte uvažovať pokles zrýchlenia v základovej škáre oproti zrýchleniu na povrchu

¹ RNDr., CSc., Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, Slovensko, viskup@nic.fns.uniba.sk

terénu, avšak pokles musí byť doložený výpočtom podľa geologického profilu. V zmysle čl.5.2.1.3.1 sa hodnota takto vypočítaného zrýchlenia použije vo výpočte seizmickej sily na stavebnú konštrukciu. Ako príklad takéhoto postupu je uvedený výpočet lokálnych spektier seizmickej odozvy pre budovu Olympia v Bratislave.

Polyfunkčný objekt Olympia Bratislava

Miestom realizácie zámeru postavenia vysokej budovy Olympie má byť pozemok v lokalite Bratislava - Ružinov, územný obvod Bratislava II, súradnice GPS uvedenej lokality sú 17O08'40"E, 48O09'19"N.

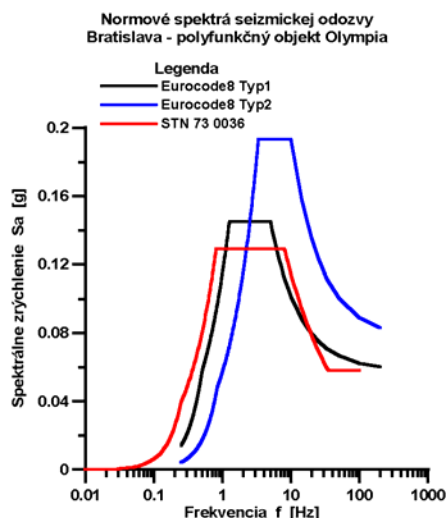
Účelom navrhovaného zámeru je výstavba polyfunkčného komplexu (výška 39 nadzemných podlaží), v rámci ktorého sa uvažuje s vytvorením 265 bytových jednotiek pre 818 obyvateľov (s celkovou úžitkovou plochou 34 9270 m²), administratívnych priestorov (s celkovou úžitkovou plochou 14 782 m²), plôch pre obchodné prevádzky a služby (s navrhovanou úžitkovou plochou 14 955 m²). Pre funkčné využitie hodnotenej činnosti sú navrhované parkovacie stojiská v podzemnej trojpodlažnej garáži.

Objednávateľ prác MODULINVEST s.r.o. Bratislava poskytol údaje vrtoz vykonaných v rámci prieskumu pre uvedenú lokalitu a kompletnú geologickú správu z inžiniersko-geologického prieskumu (Šikula, 2007), využité boli tiež dostupné údaje o seizmických a fyzikálnych vlastnostiach zemín (Müller et al., 1985).

Normové spektrá seizmickej odozvy

V zmysle STN 73 0036 „Seizmické zaťaženie stavieb“, majú pre lokalitu Polyfunkčný objekt Olympia Bratislava vplyv 3 zdrojové oblasti seizmického rizika: Pernek – seizmická oblasť 3, základné seizmické zrýchlenie $a_r = 0.06g$, Wien - Wiener Neustadt – seizmická oblasť 2, základné seizmické zrýchlenie $a_r = 0.1g$, Komárno – seizmická oblasť 1, základné seizmické zrýchlenie $a_r = 0.15g$.

V správe z inžiniersko-geologického prieskumu sa okrem iného uvádza, že vo všetkých vrtoch v uvedenej lokalite sa nachádzajú íly so strednou až vysokou plasticitou, napríklad vo vrte OL-19, hlbokom 50 metrov, sa vysokoplastické íly nachádzajú v hĺbke 31.10 – 50.00. Vo všetkých ďalších vrtoch v jeho okolí sa nachádzajú íly hlavne vo väčších hĺbkach. V zmysle STN 73 0036 čl. 4.3.1 podložie v lokalite Bratislava - Polyfunkčný objekt Olympia bolo zaradené do kategórie D. Následne podľa STN 73 0036 čl. 4.3.2.2 bolo vypočítané normové návrhové spektrum seizmickej odozvy. Tak isto bolo vypočítané spektrum pružnej horizontálnej seizmickej odozvy podľa Eurocode 8 typu 1 a typu 2 (čl.3.2.2.2), všetky 3 spektrá sú uvedené na Obr.1



Obr.1 Normové spektrá seizmickej odozvy pre lokalitu Bratislava Olympia.

Lokálne spektrá seizmickej odozvy

Na základe požiadaviek odberateľa prác boli vypočítané lokálne spektrá seizmickej odozvy ako pre voľný povrch terénu, tak i pre hĺbku 16m pod povrchom terénu, na úrovni základovej dosky pre štandardný útlm 5%. Hĺbku 16m stanovil statik, ide o hĺbku základovej dosky, nad ňou sa nachádzajú 3 podlažia garáží.

Vo výpočte lokálnych spektier seizmickej odozvy sa postupovalo v zmysle č.4.3.2.1. Ich výpočet sa vykonal z vypočítaných akcelerogramov na voľnom povrchu terénu a v hĺbke 16m pod povrchom terénu., výpočet akcelerogramov sa vykonal v zmysle STN 73 0036 čl.4.3.3.

Výpočet bol vykonaný programom SHAKE98, (Bardet et al., 1998), ktorý je modifikácia programu SHAKE91 (Idriss and Sun, 1992) a ten je modifikáciou SHAKE (Schnabel, et al., 1972). Program SHAKE je výpočtový program, ktorý analyzuje chovanie sa horizontálne zvrstvených vrstiev počas pôsobenia seizmického zaťaženia používajúc ekvivalentnú lineárnu metódu. Tento nám dostupný program SHAKE je stále najrozšírenejší program v seizmickom inžinierstve používaný aj v súčasnosti na analýzu nielen na Slovensku, ale i v Európe, USA a Kanade (Di Fiore and Bruno 2007; Socco et al. 2007; Cramer 2006; Massa 2006; Chouinard 2004; Rathje and Stokoe 2004; Rosset et al., 2003; Girsang Ch. H. 2001; E. M., Saffarini 2000; Nunziata et al., 1999). Pracuje vo frekvenčnej oblasti a používa iteratívnu metódu, ktorá berie do úvahy nelineárne chovanie zemín.

Na výpočet akcelerogramov na voľnom povrchu terénu a v hĺbke 16 m boli použité vstupné akcelerogramy Anza 1980/02/25, Cape Mendocino 1992/04/25, Morgan Hill 1984/04/24, Lytle Creek 1970/09/12 zaznamenané na skalnom podloží, ich priebeh je na Obr.2. Výber akcelerogramov bol zvolený v zmysle čl.4.3.3.3 STN 73 0036 tak, aby zodpovedali seizmogénnym vlastnostiam zdroja, normované boli na hodnotu zrýchlenia 0.043g vypočítanú pre kategóriu podlažia A (skalné podložie) v danej lokalite výstavby konštrukcie Olympia. Z dvoch horizontálnych zložiek sa vždy vyberala tá, ktorá mala vyššiu hodnotu zrýchlenia. To, ktorá horizontálna zložka sa vybrala, nie je

relevantné, nakoľko Fourierove spektrum oboch je rovnaké a i tak sa pôvodná zložka akceleroqramu normovala na hodnotu 0.43g.

Výsledné lokálne spektrum seizmickej odozvy bolo stanovené ako obálka lokálnych spektier pre jednotlivé akceleroqramy (obr. 3-5).

Na základe výpočtov možno konštatovať (Viskup, 2008), že pre seizmické ohrozenie lokality Bratislava - polyfunkčný objekt Olympia, má najväčší význam zdrojová oblasť seizmického rizika Wien - Wiener Neustadt. Návrhové zrýchlenie, ktoré treba uvažovať vo výpočtoch je $a_g = 0.0645g$, kategória podložia je D, maximálna hodnota spektrálneho zrýchlenia je $S_a(max) = 0.129 g$, špičková hodnota seizmického pohybu na povrchu terénu voľného poľa je $d_g = 0.145125 m = 14.5125 cm$.

Záver

V porovnaní s lokálnymi spektrami z iných lokalít pre iné konštrukcie možno konštatovať, že v prípade vysokej 39 podlažnej budovy Olympia v Bratislave sú hodnoty lokálneho spektrálneho zrýchlenia značne nižšie v porovnaní s normovými hodnotami. Ku podobným údajom sme dospeli aj v prípade ďalších vysokých budov v Bratislave - Business centrum V, polyfunkčný objekt na Černyševského ulici, Kopčianskej ulici, bytové objekty na Jégého ulici, polyfunkčný objekt Lakeside Park, polyfunkčný objekt Landslide. Nie je to tak vždy, že lokálne spektrá sú nižšie v porovnaní s normovými, napríklad v prípade cyklotrónu v Bratislave (Viskup and Janotka, 2002) alebo vodného diela Gabčíkovo (Viskup, 2003) lokálne spektrá boli viac menej tie isté ako normové.

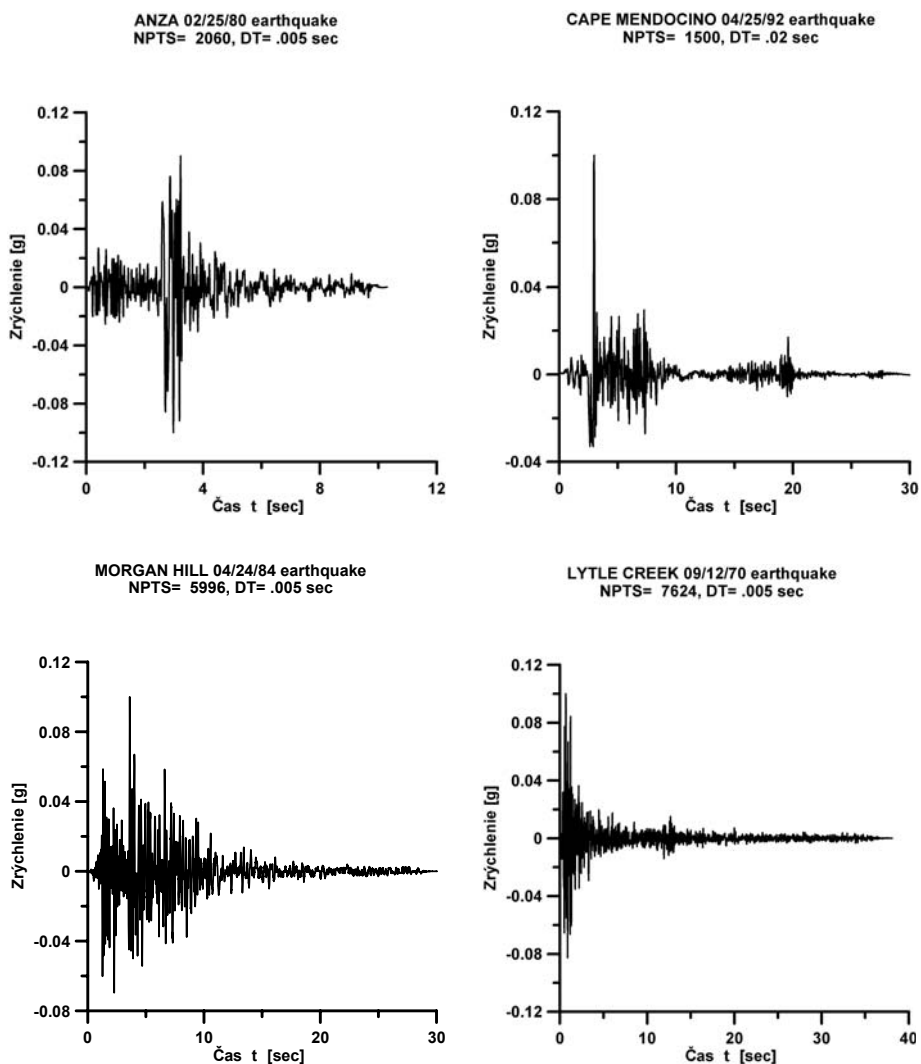
To, či lokálne spektrálne zrýchlenie je vyššie či ni nižšie v porovnaní s normovým závisí od vlastnej frekvencie konštrukcie (Viskup, 2004). Aj v prípade lokality, kde je výstavba vysokej budovy Olympie, pre frekvencie vyššie ako 4 Hz sú hodnoty lokálneho spektrálneho zrýchlenia vyššie v porovnaní s normovými.

Na základe uskutočnených výpočtov možno konštatovať, že použitie lokálnych spektier seizmickej hodnoty v prípade vysokých budov v Bratislave viedlo k zníženiu nákladov na výstavbu konštrukcie a pri zachovaní ich seizmickej bezpečnosti.

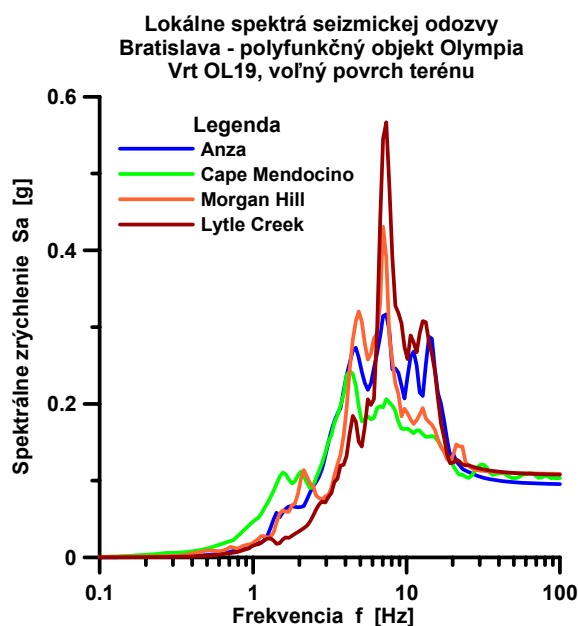
Vzhľadom na odlišné geologické pomery v iných častiach Slovenska zatiaľ nemožno zovšeobecniť toto tvrdenie aj pre iné lokality na Slovensku.

Podakovanie

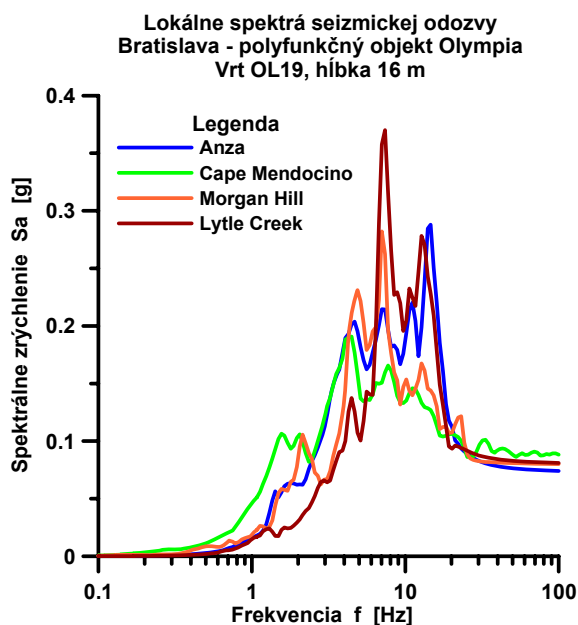
Tento článok vznikol vďaka podpore výskumu v rámci projektu Kvalita života – zdravie, výživa a vzdelávanie“ a grantovej agentúry VEGA pri riešení projektu 1/1030/04.



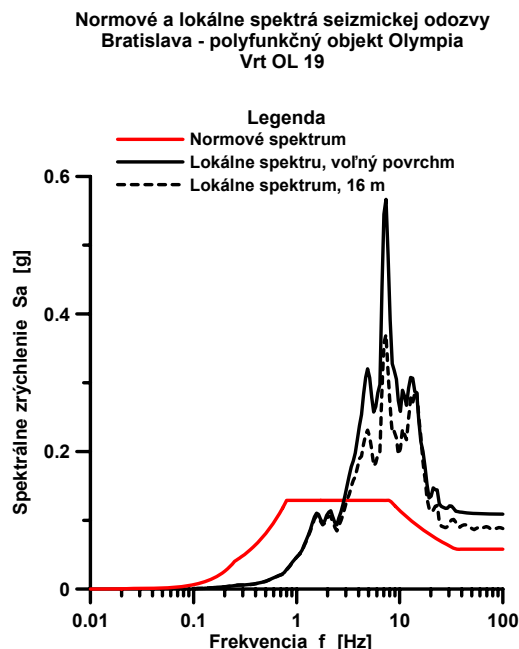
Obr.2 Vstupné akcelerogramy pre výpočet lokálnych spektier seizmickej odozvy. Z dvoch horizontálnych zložiek je uvedená vždy zložka o vyššej maximálnej hodnote zrýchlenia.



Obr. 3 Lokálne spektrá seizmickej odozvy pre lokalitu Bratislava - polyfunkčný objekt Olympia, voľný povrch terénu.



Obr. 4 Lokálne spektrá seizmickej odozvy pre lokalitu Bratislava: - polyfunkčný objekt Olympia, hĺbka 16 m pod povrchom terénu.



Obr. 5 Normové a lokálne spektrá seizmickej odozvy pre lokalitu Bratislava: - polyfunkčný objekt Olympia, pre voľný povrch terénu.

Literatúra

- [1] STN 73 0036. Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií. Slovenská technická norma. Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR, Bratislava, 1997, 68 str.
- [2] EUROCODE8. Design provisions for earthquake resistance. Part 1. General rules, seismic actions and rules for buildings. British-Adopted European Standard / 08-Apr-2005 / 232 p.
- [3] Abbas, A.M. (2006): Critical seismic load inputs for simple inelastic structures. Journal of Sound and Vibration, Vol. 296, Iss.s 4-5, p. 949-967
- [4] Bakira, P.G., De Roeck, G., Degrandeb, G. and Wong, K.K.F. (2007): Site dependent response spectra analysis of the characteristics of the strong ground motion due to the 1999 Duzce earthquake in Turkey. Engineering Structures, Vol. 29, Iss. 8, , p. 1939-1956.
- [5] Bardet, J.P., Lin, C.H. and Idriss, I.M. (1998): SHAKE98. A computer proram for linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits. Department of Civil Engineering, University of Southern California, 41 pp.
- [6] Browning, J.A., Warden, B., Matamorosa, A. and Lepagec, A. (2008): Global and local seismic next term drift estimates for RC frames. Engineering Structures, Vol. 30, Iss. 5, p. 1262-1271.

- [7] Chouinard, L., Rosset, P., De la Puente, A., Madriz, R., Mitchell, D. and Adams, J. (2004): Seismic hazard analysis for Montreal. 13th World Conference on Earthquake Engineering. Vancouver, B.C., Canada. August 1-6, 2004, Paper No. 7010, 12 pp.
- [8] Cramer, Ch. H. (2006): Quantifying the Uncertainty in Site Amplification Modeling and Its Effects on Site-Specific Seismic-Hazard Estimation in the Upper Mississippi Embayment and Adjacent Areas. Bull. Seismol. Soc. Am., 96, p. 2008-2020.
- [9] Di Fiore, V. and Bruno, P.P. (2007): Seismic site effect:: SV waves Phase shift in visco-elastic non linear media , L' Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS, GNGTS, Convegni precedenti, Tema 2 - Sismologia per la pianificazione territoriale e la progettazione, Sessione 2.2 - Caratterizzazione sismica del territorio , p. 331 – 336.
- [10] Girsang, Ch. H. (2001): A numerical investigation of the seismic response of the aggregate pier foundation system. Virgin. Poly. Inst. and State Univ. , 278 pp.
- [11] Gupta, A. K. (1992): Response Spectrum Method in Seismic Analysis and Design of Structures, CRN Press, INC, 192 pp.
- [12] Hori, T., Kuramoto, H., Koshika, N., Okuzono, T. and Takayama, M. (1999): Seismic Evaluation of Buildings by Acceleration Response Spectrum at Engineering Bedrock. (Part 8). Conversion to Single Degree of Freedom (Research Results on High-rise Buildings). Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan., Architectural Institute of Japan. B-2. Structures 2. Journal Code:L2505A, p. 1139-1140
- [13] Idriss, I. M. and Sun, J. I. (1992): User's Manual for SHAKE91. A computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analyses of Horizontally Layered Soil Deposits. Department of Civil&Environmental Engineering, University of California, 64 pp.
- [14] Lam, N. T., Wilson, J. L. (2001): Earthquake response spectrum models for Australia. roceedings of the Annual Seminar for the Australian Earthquake Engineering Society, 2001, Canberra, p. 8-0 - 8-5
- [15] Lednická, M., Luňáčková, B., Kaláb, Z., Hrubešová, E. and Kořínek1R. (2006): Contribution to evaluation of technical seismicity effect on buildings - case study. Earth Sci. Res. J. Vol. 10, No. 1 (Jun. 2006), p. 7-14
- [16] Lee, W. H. K., Jennings, P. and Kanamori, H. (2003): International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology. IAEE, Academic Press, 1200 p.
- [17] Leydecker, G. , Schmitt, T., Busche, H. and Schaefer, T. (2008): Seismo-engineering parameters for sites of interim storages for spent nuclear fuel at German nuclear power plants. Soil Dynam Earthq Eng., Vol. 28, Iss. 9, p. 754-762
- [18] Lindeburg, M. R. (2001): Seismic Design of Building Structures: A Professional's Introduction to Earthquake Forces and Design Details, Professional Publications (CA), 262 pp.
- [19] Massa, M. , Ferretti, G. , Stupazzini, M. and Cauzzi, C. (2006): Evaluation of Site Amplification Effects in Ripabottini (Molise, Italy). Geoph. Res. Abstr., Vol. 8, 09888.
- [20] Matsuzaki, Y. and Kibe, S. (1983): Shock and Seismic Response Spectra in Design Problems. The Shock and Vibration Digest, Vol. 15, No. 10, p. 3-10.

- [21] Müller, K., Okál, M. a Hofrichterová, L. (1985): Základy hornické geofyziky. SNTL - Alfa, Praha, 220 str.
- [22] Nunziata, C., Mele, R., Natale, M. and Marrara, F. (1999): Realistic Modelling of Seismic input for Megacities and large Urban Areas. UNESCO-IGCP Project 414, Yearly report 1999, Dipartimento di Geofisica e Vulcanologia, Università "Federico II" Napoli, Italy, 3 pp.
- [23] Rathje, E. M. and Stokoe, K. H. (2004): The integrated surface and borehole, geotechnical array needs for deep nonlinear soil response. International Workshop for Site Selection, Installation, and Operation of Geotechnical Strong-Motion Arrays. 7 pp.
- [24] Rosset, P., De la Puente, A., Chouinard, L. and Mitchell, D. (2003): Seismic risk mitigation for the Montreal Urban Community. Evaluation of soil amplification; development and applications", 91th Journées Luxembourgeoise de Géodynamique, Walferdange, Luxembourg. October 6-8, 2003, 8 pp
- [25] Saffarini, H. S. (2000): Ground motion characteristics of the November 1995 Aqaba earthquake. Engi. Structures, Vol. 22, Iss. 4, p. 343-351
- [26] Schnabel, P. B., Lysmer, J. and Seed, B. H. (1972): SHAKE. A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. College of Engineering, University of California, 88 pp.
- [27] Schmidt, H. G., Schwarz, J. and Wuttke, F. (1989): Site response studies for low seismicity regions of Central Europe: research strategies in support of code development. Soil Dynam Earthq Eng., Vol. 17, Iss.s 7-8, p. 459-464
- [28] Socco, L.V., Boiero, D., Foti, S. and Comina, C. (2007): Implicazioni della non Unicità della Soluzione nelle Prove per Onde Superficiali per lo Studio della Risposta Sismica Locale. L' Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS, GNGTS, Convegni precedenti, Tema 2 - Sismologia per la pianificazione territoriale e la progettazione, Sessione 2.2 - Caratterizzazione sismica del territorio , p. 323 - 326
- [29] Šikula, G.: (2007): Bratislava: polyfunkčný objekt Olympia Záverečná správa z podrobného inžinierskogeologického prieskumu, Ekogeos, Bratislava, 52 s.
- [30] Viskup, J. a Janotka, V. (2002): Bratislava – SMÚ. Seizmický posudok na cyklotrónové centrum. SEISCOMP, SEISING, Bratislava, 10 str.
- [31] Viskup, J. (2003): Spektrá seizmickej odozvy pre lokalitu Gabčíkovo. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Řada stavební, Roč. 3, č. 2, str. 253-258.
- [32] Viskup, J. (2004): Metodika stanovenie parametrov seizmického pohybu pre výpočet seizmického zaťaženia .In: Staticko-konštrukčné a stavebno-fyzikálne problémy stavebných konštrukcií. - Košice : Tech. Univ. Košice, s. 101-104
- [33] Viskup, J.(2008): Bratislava - polyfunkčný objekt Olympia. Normové a lokálne spektrá seizmickej odozvy. Seizmický posudok. SEISCOMP, Bratislava, 24 str.

**POSÚDENIE SEIZMICKÝCH ÚČINKOV LIKVIDÁCIE MUNÍCIE A VÝBUŠNÍN
VÝBUCHOM**

**APPRECIATION OF SEISMIC EFFECTS OF LIQUIDATION OF AMMUNITION
AND EXPLOSIVES BY DETONATIONS**

Abstract

The paper deals with the problem of seismic effects of liquidation of ammunition and explosives by detonations on buildings on the distance 7 km from detonations. Special seismic measurements were performed for the purposes to measure velocity of the wave motion during detonations and evaluate the influence of these detonations on buildings. The result is that the damaging of the buildings is not due to these detonations.

Key words: seismic effects, velocity of vibration, blast

Úvod

Vojenskému technickému a skúšobnému ústavu (VTSU) Záhorie bola doručená sťažnosť obyvateľky na poškodzovanie jej majetku – chalupy nachádzajúcej sa v obci Plavecký Mikuláš, ul. Tehelná 240. K poškodeniu stavby podľa vyjadrenia sťažovateľky malo dôjsť v dôsledku likvidácie munície a výbušnín výbuchom v trhacích jamách v teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu (VTSÚ) Záhorie. Vlastníci nehnuteľností v Plaveckom Mikuláši sú presvedčení o tom, že poškodenie ich domov je v dôsledku výbuchov výbušnín vykonávaných na teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu Záhorie. Obyvatelia domov na potvrdenie svojich tvrdení uvádzajú poškodenia svojich rodinných domov.

Je skutočnosťou, že poškodenia viacerých domov sú naozaj očividné. Vzhľadom k tejto skutočnosti pre objektívne posúdenie príčiny poškodenia stavby bol okrem iného vykonaný i seizmický prieskum a posúdenie seizmických účinkov odstrelov vykonávaných na teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu Záhorie.

Dynamické účinky výbuchov

Výbuchy výbušnín vyvolávajú dynamické zaťaženie okolitých objektov. Pri výbuchu v ľubovoľnom prostredí vzniká a šíri sa v prostredí celý rad vln (Flesch, 1993; Ljachov, 1974), nazývaných výbuchové vlny. V horninovom prostredí sú to napätňové vlny (vlny napätia), nazývané aj seizmické vlny. Pri pozemnom výbuchu sa v horninách šíria vlny objemové pozdĺžne P a priečne S, povrchové vlny Rayleighove R a povrchové Loveove L a atmosférou sa šíri vzdušná rázová vlna, ktorá indukuje v hornine indukovanú tlakovú vlnu (Henrych, 1973; Juhásová, 1985).

Seizmické vlny pri odstreloch je možné rozdeliť na prvotné seizmické vlny a druhotné (indukované) seizmické vlny. Pri podzemnom výbuchu vznikajú len prvotné seizmické vlny, pri nadzemnom výbuchu iba druhotné seizmické vlny a pri pozemnom výbuchu (či podzemnom v blízkosti povrchu) vznikajú ako prvotné, tak i druhotné seizmické vlny. Z hľadiska účinkov na konštrukcie býva v niektorých prípadoch väčší

¹ RNDr., CSc., Univerzita Komenského, Prírodovedecká fakulta, Mlynská dolina, Bratislava, Slovensko, viskup@nic.fns.uniba.sk

² Doc., RNDr., CSc., Fakulta BERG, Košice

vpływ prvotných seizmických vln a v iných prípadoch zasa druhotných seizmických vln. (Kaláb and Knejzik 2004; Kaláb. et al., 2006)

Z hľadiska pôsobenia seizmických vln na konštrukcie môžeme rozlišovať silový účinok seizmických vln a deformačný účinok seizmických vln

Silový účinok tlakových vln sa prejavuje tlakmi, prípadne ťahmi, ktorými seizmické vlny pôsobia na konštrukcie. Zvláštnym spôsobom sa silový účinok seizmických vln prejavuje u nadzemných stavieb. Tlaková vlna výbuchu, šíriaca sa v podlaží základov stavieb, naráža na ich základy, prechádza nimi do muriva, dochádza k odrazom, lomom, a difrakcii vln napätia u voľných povrchov muriva, okenných, dverových, komínových a iných otvorov, vznikajú ťahové vlny a charakteristické trhlinky v murive, vychádzajúce najmä z rohov okenných a iných otvorov.

Deformačný účinok seizmických vln sa prejavuje deformáciami (vibrácie), ktoré sú odovzdávané podlažím do základov stavby. Od vibrácií základov sa rozkmitá celá stavba. U stavieb podzemných alebo zapustených pod povrch terénu sa pohyb podlažia prenáša na celú stavbu (Viskup, 2002). Deformačný účinok seizmických síl je dvojaký - napätia v konštrukcii sú spôsobené len zotrvačnými silami alebo napätia v konštrukcii sú spôsobené zotrvačnými silami a silami plynúcimi z relatívne rôznych deformácií prvkov stavby. V tomto prípade je pohyb rôznych častí základov rôzny. V prípade rodinných domov a podobných konštrukcií môžeme očakávať výskyt tohto prípadu, nakoľko jeho základy nie sú založené na tuhej základovej doske a pôdorysný rozmer konštrukcie je rádovo rovnaký ako dĺžka seizmickej vlny.

Parametre arametre výbuchov v teritóriu VTSU Záhorie

Miesto, kde sa vykonávajú výbuchy (vykonáva delaborácia), sú trhacie jamy nachádzajúce sa nachádza v teritóriu VTSU vo viatych pieskoch Záhorskej nížiny, ich mocnosť (hrúbka) je odhadovaná na 6 m a viac.

Dňa 26.10.2007 v čase od 10.25 hod. do 11.45 hod. boli pre účely seizmického prieskumu vykonané 4 odstrelů munície 122 mm OF HD 30 a 5 odstrelů pyrotechnických zloží. Samotné výbuchy náloží boli realizované v čase od 10:30 do 11:00 a oznámenie o výbuchoch bolo telefonicky koordinované s meracou skupinou. V čase od 11:00 do 11:45 sa zabezpečoval odvoz prepravných zariadení na muníciu. Obsah a štruktúra jednotlivých odstrelů a munície je nasledovná:

1./ Každý z monitorovaných odstrelů munície 122 mm OF HD 30 obsahoval 13 ks munície, pričom

- každý kus munície obsahuje 3,5 kg trhaviny A IX-2.

- Celkové množstvo trhaviny A IX-2 použitej pri jednom odstrole je 45,5 kg. (13x 3.5 kg = 45.5 kg)

- Ekvivalentná hmotnosť 45,5 kg trhaviny A IX-2 je 55,96 kg TNT.

- Celkom pri štyroch monitorovaných odstreloch bolo zlikvidovaných 52 ks munície 122 mm OF HD 30.

- Jednotlivé odstrelů boli vykonané v časových intervaloch 3 – 5 minút nasledujúcich po sebe.

- Tento druh munície je likvidovaný od 25.9.2007 v maximálnych množstvách 13 ks munície do jednej jamy na jeden odstrel.

2./ Každý z monitorovaných odstrelů pyrozloží obsahoval 60 kg pyrozložie.

- Pyrozlože obsahujú zmes chlorečnanu draselného a horčika v pomere 50% a 50% $\pm$ 5%.

- Ekvivalentná hmotnosť 60 kg pyrozlože je 37.8 kg TNT.

- Celkom pri piatich monirovaných odstreloch bolo zlikvidovaných 300 kg pyrozloží.

- Jednotlivé odstrelly boli vykonané v časových intervaloch 3 – 5 minút nasledujúcich po sebe.

- Tento druh munície je likvidovaný od 4.6.2007 v maximálnych množstvách 90 kg pyrozlože do jednej jamy na jeden odstrel.

Odstrelly boli a bývajú realizované v jednotlivých jamách. Jednotlivé odstrelly bývajú vykonávané osobitne, v žiadnom prípade nedošlo k synchronizovanému odstrelu dvoch, alebo viacerých náloží.

Posúdenie technickej seizmicity v zmysle STN 73 0036 a STN 73 0031

V prípade rodinného domu sťažovateľky v Plaveckom Mikuláši č.240 a podobne susedných domov ide o budovy bytové a občianske, objekt má predpokladanú dobu životnosti Tlf, asm = 100 rokov a jeho trieda významnosti je “ II “ – ide o objekt so stredným ekonomickým alebo spoločenským významom, kam patria aj obytné a občianske objekty. Súčiniteľ účelu je $\gamma_n = 0.95$.

V zmysle STN 73 0036 obyčajné budovy (o.i. aj domy) zaradujeme do III. kategórie významnosti (obyčajné budovy, ktoré nie sú školy, zhromažďovacie sály, ...) súčiniteľ významnosti $\gamma_I = 1.0$, prípadne do IV. kategórie významnosti (budovy malého významu z hľadiska bezpečnosti obyvateľstva,...) súčiniteľ významnosti $\gamma_I = 0.7$

U uvedených rodinných domov predpokladáme, že je dovolený stupeň poškodenia 0, to znamená, že dom musí po delaborácii (výbuchoch) v teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu (VTSU) Záhorie zostať bez poškodenia, na domoch nesmú vznikáť žiadne viditeľné poškodenia, funkcie domu i všetkých jeho častí musia po odstreloch byť plne zachované, u rodinných domoch nesmie dôjsť k prekročeniu nielen 1.skupiny medzných stavov (medzné stavy únosnosti), ale ani k prekročeniu 2. skupiny medzných stavov (medzných stavov použiteľnosti) počas výbuchov v dôsledku delaborácie výbušnín v plánovanom areáli VTSU Záhorie.

U uvedených rodinných domov ide o bežné tehlové stavby, radové domčeky s pôdorysnou plochou do 200 m², prízemné prípadne jednoposchodové, trieda odolnosti uvedených rodinných domov je “B“. Medzná hodnoty efektívnej rýchlosti vef pre triedu významnosti objektu II a pre triedu odolnosti objektu B je $vef = 1.0 \text{ mm.s}^{-1}$. Dynamickú odozvu spôsobenú technickou seizmicitou, z hľadiska I. medzného stavu netreba ďalej analyzovať, pokiaľ na referenčnom stanovisku efektívna rýchlosť kmitania nepresiahne medzi $vef = 1.0 \text{ mm.s}^{-1}$.

V prípade stavebných konštrukcií triedy významnosti objektu II a pre triedu odolnosti objektu B, pokiaľ efektívna rýchlosť kmitania je menšia ako $vef = 1.4 \text{ mm.s}^{-1}$, tak netreba dynamický výpočet, pokiaľ efektívna rýchlosť kmitania je vyššia ako $vef = 4.0 \text{ mm.s}^{-1}$, tak je treba vykonať dynamický výpočet, medziľahlé hodnoty medzi $vef = 1.4 \text{ mm.s}^{-1}$ a $vef = 4.0 \text{ mm.s}^{-1}$ sa posudzujú podľa úvahy.

Dynamickú odozvu spôsobenú technickou seizmicitou, s výnimkou odozvy od trhacích prác, z hľadiska I. medzného stavu netreba ďalej analyzovať, pokiaľ na referenčnom stanovisku efektívna rýchlosť kmitania nepresiahne medznú hodnotu $vef = 1.0 \text{ mm/s}$.

Pre frekvencie $f < 10 \text{ Hz}$, ktoré odpovedajú náložiam s ekvivalentnou hmotnosťou $m_{ev} > 2000 \text{ kg}$, je efektívna rýchlosť kmitania vef od 3 do 6 mm/s. Následne možno stanoviť že maximálna rýchlosť kmitania v zmysle STN 73 0036 je $u_{max} = 3 \text{ mm/s}$.

Rýchlosť kmitania “u” podložia objektu možno odhadnúť podľa vzťahu

$$u = K \frac{\sqrt{m_{ev}}}{1000l} \quad (1)$$

kde K – je súčiniteľ prenosu energie [$\text{kg}^{1/2}\text{m}^2\text{s}^{-1}$], v našom prípade orientačná hodnota $K = 100 \text{ kg}^{1/2}\text{m}^2\text{s}^{-1}$, u - je rýchlosť kmitania v [m/s], v našom prípade $u = 1.0 \text{ mm/s}$, l - je vzdialenosť od ťažiska odstreľu [m], v našom prípade $l = 7000 \text{ m}$, m_{ev} – je ekvivalentná hmotnosť nálože [kg].

Po dosadení uvedených hodnôt a vypočítaní ekvivalentnej hmotnosti nálože vytlýva, že ekvivalentná hmotnosť nálože v teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu Záhorie môže teoreticky byť $m_{ev} = 7000 \text{ kg}$ bez toho, aby došlo ku poškodeniu konštrukcií triedy významnosti objektu II a triedy odolnosti objektu B, ktoré v tomto prípade predstavuje dom č.240 a okolité domy. V tomto prípade ide o teoretický výpočet a pre správne stanovenie súčiniteľa prenosu energie “ K ” by bolo treba vykonať pokusný odstreľ, ktorý v tomto prípade bol aj vykonaný. V každom prípade hmotnosť nálože $m_{ev} = 60 \text{ kg TNT}$ použitá pri odstreloch v areáli VTSU Záhorie je zanedbateľná s dovoleným množstvom $m_{ev} = 7\,000 \text{ kg}$.

Meranie účinkov výbuchov

Vplyv seizmických účinkov delaborácie výbušnín (výbuchov) v konaných v teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu (VTSU) Záhorie na rodinný dom v Plaveckom Mikuláši č.240 bol posúdený meraním na referenčnom stanovisku, ktoré bolo v zmysle čl. 8.1 STN 73 0036 zvolené priamo na dome č.240 na pivničnom okne situovanom v obvodových múroch rodinného domu. Trojzložkový snímač bol orientovaný v smere výbuchu a v smere kolmom na výbuch, tretia zložka je vertikálna. Na meranie bol použitý vibračný monitor UVS 1504 (Pandula, Dojčár, Leššo 1996). Tento priebežne merané hodnoty vyhodnocuje v dvojsekundových intervaloch a digitalne zobrazuje maximálnu hodnotu výchylky rýchlosti kmitania v štyroch meraných zložkách z , y , x a $z1$. Ide o vibrogramy, ktoré zaznamenávajú rýchlosť kmitania v závislosti na čase, v inžinierskej praxi sa nazývajú aj čiarové diagramy. Prvá výchylka je zložka pohybu v smere lokality, druhá je zložka kolmo na ňu, tretí záznam je vertikálna zložka a štvrtý je tlaková vlna. Maximálne hodnoty sú uvedené vždy na spođu záznamu.

Cieľom meraní bolo zistiť hodnotu efektívnej rýchlosti kmitania. Terén v okolí bol štandardný, zemina mala prirodzenú vlhkosť, hladina podzemnej vody nebola známa, vonku bola relatívna zima a značný vietor. Miesto, na ktorom boli umiestnené seizmické snímače bolo pevnou súčasťou stavebnej konštrukcie rodinného domu, čo je požiadavka normy. Štvrtý snímač, merajúci účinky tlakovej vlny, bol voľne zavesený na drôte plotu.

Výsledky meraní účinkov výbuchov

Počas odstrelov bola zastavená okolitá doprava a od všetkých sme požadovali, aby sa nepohybovali v okolí snímačov a aparatury. Vibrogramy (čiarové diagramy) na Obr.1, 2, 3 predstavujú priebežne merané hodnoty od začiatku merania (10:03) do ukončenia merania (11:00).

Na obr. 1 je uvedený záznam pred odstrelom (cieľom bolo zistiť spoľahlivý chod aparatury a úroveň okolitého šumu), výchylka hneď na začiatku záznamu dosahujúca hodnoty $z_{\max} = 0.2 \text{ mm/s}$, $y_{\max} = 0.4 \text{ mm/s}$ a $x_{\max} = 0.8 \text{ mm/s}$ (hodnoty sú uvedené na spodu záznamu) predstavuje reakciu na dupnutie nohou v snahe overiť funkčnosť prístroja.

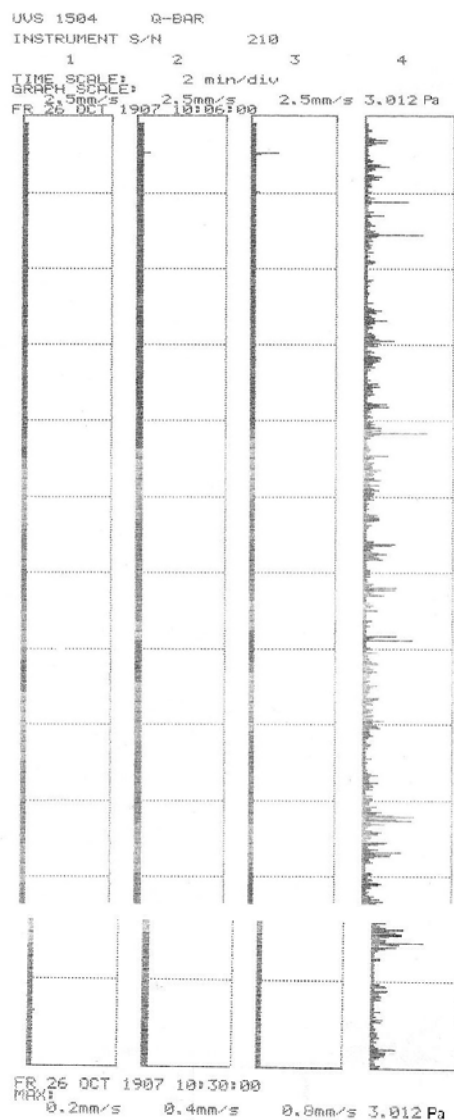
Obr.2 a Obr.3 predstavujú záznam odstrelu. Maximálna efektívna rýchlosť kmitania jednotlivých zložiek na vibrograme na Obr.2 je $z_{\max} = 0.2 \text{ m/s}$, $y_{\max} = 0.2 \text{ m/s}$ a $x_{\max} = 0.15 \text{ m/s}$, na Obr.3 je $z_{\max} = 0.3 \text{ m/s}$, $y_{\max} = 0.2 \text{ m/s}$ a $x_{\max} = 0.15 \text{ m/s}$.

V našom prípade namerané hodnoty počas odstrelu sú: $z_{\max} = 0.3 \text{ mm/s}$, $y_{\max} = 0.2 \text{ mm/s}$, $x_{\max} = 0.15 \text{ mm/s}$, a akustický tlak $P = 6.9879 \text{ Pa}$. Tieto hodnoty sú pod stanovenou hodnotou $v_d \leq 1 \text{ mm/s}$. Tlak akustického vlnenia, môže spôsobiť poškodenia pri hodnotách nad 100 Pa . Z týchto meraní vyplýva, že žiadna hodnota zistená počas výbuchu nedosiahla medznú hodnotu efektívnej rýchlosti kmitania konštrukcie $v_{\text{ef}} = 1.0 \text{ mm/s}$, maximálna hodnota bola nižšia než jedna tretina tejto medznej hodnoty. Pokiaľ by sme uvažovali lineárny vzťah medzi veľkosťou nálože a uvoľnenou energiou, tak na výbuchy by sa mohla použiť nielen nálož o celkovej ekvivalentnej hmotnosti nálože $m_{\text{ev}} = 60 \text{ kg}$, ale nálož viac ako trojnásobne prevyšujúcu túto hodnotu, teda nálož o celkovej ekvivalentnej hmotnosti nálože $m_{\text{ev}} = 200 \text{ kg}$. Keďže ale vzťah medzi energiou uvoľnenou pri odstrelе v závislosti na veľkosti nálože nie je lineárny, ale logaritmický, tak by sa mohla použiť nálož presahujúca celkovú ekvivalentnú hmotnosť nálože $m_{\text{ev}} = 200 \text{ kg}$ (Viskup, 2007).

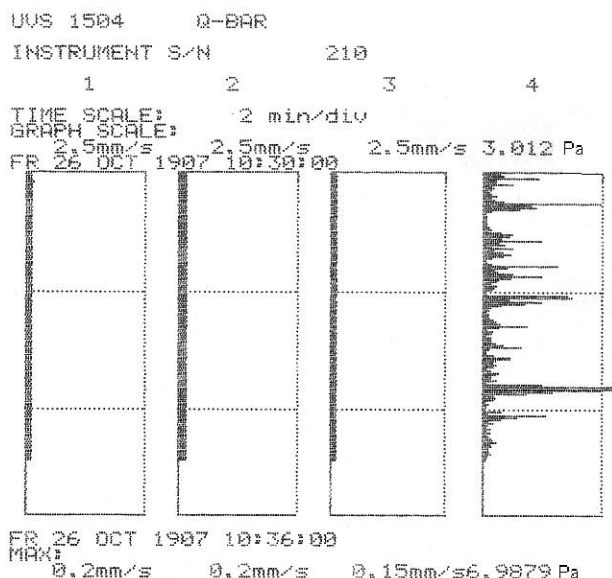
Záver

Najväčšia hodnota rýchlosti kmitania $v_{\max} = 0.3 \text{ mm/s}$ je menšia ako dovolená medzná rýchlosť kmitania $v_{\max} = 1.0 \text{ mm/s}$. Seizmické účinky, generované dňa 23.10.2007 v čase 10:00 hod – 11:30 hod v trhacích jamách v teritóriu ústavu Vojenského technického a skúšobného ústavu Záhorie nemohli spôsobiť nijaké škody, ani známky poškodenia na sledovanom objekte rodinného domu v Plaveckom Mikuláši č.240 a ani na susedných domoch.

Z vykonaných meraní vyplýva, že i keby na výbuchy použili nálož o celkovej ekvivalentnej hmotnosti nálože $m_{\text{ev}} = 200 \text{ kg}$, teda trojnásobne prevyšujúce v súčasnosti používaných $m_{\text{ev}} = 60 \text{ kg}$, k poškodeniu uvedených rodinných domov by nedošlo.



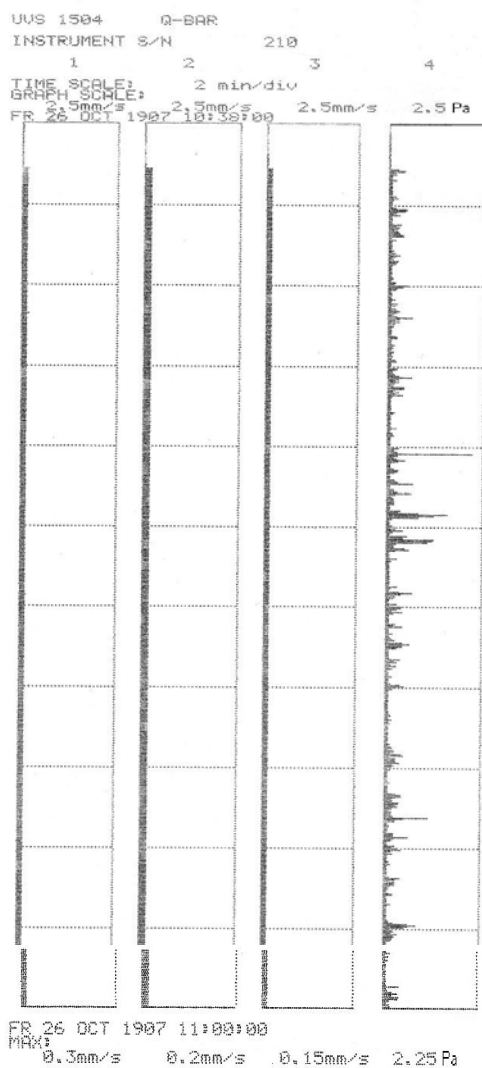
Obr. 1 Záznam merania pred odstrelom 10:06 - 10:30



Obr.2 Záznam merania počas odstrelu.10:30 – 10:36

K poškodeniu statiky rodinných domov (a to je očividné) mohlo dôjsť jednak v dôsledku nesprávneho založenia konštrukcie domu, jednak v dôsledku nevhodných geotechnických pomerov ale tiež i dynamických účinkov výbuchov, ale produkovaných nie v trhacích jamách v teritóriu VTOZ Záhorie ale v kameňolomoch v Solološnici či v Rohožníku. V kameňolomoch sa požívajú nálože dosahujúce ekvivalentnú hmotnosť nálože niekoľko tisíc kg.(napr. pri pokusnom odstrelu v lome Lietavská Svinná pri hrade Lietavská Lúčka ekvivalentná hmotnosť nálože bola $m_{ev} = 2316$ kg.

Konštatujeme, že teritórium VTSÚ Záhorie predstavuje priam ideálny terén pre ničenie a likvidáciu munície a výbušnin výbuchom, nakoľko trhacie jamy sa nachádzajú v pieskoch, ktorých hrúbka (mocnosť) je niekoľko metrov (geológmi odhadovaná najmenej na šesť až desať metrov a viac). U pieskov dochádza ku značnému pohlcovaniu (absorbácii) seizmickej energie, teda energie výbuchu, koeficient absorpcie seizmického vlnenia u pieskov je podstatne vyšší v porovnaní s koeficientom absorpcie u skalných hornín.



Obr.3 Záznam merania počas odsrelov 10:38 – 11:00

Literatúra

- [1] STN 73 0036. Seizmické zaťaženie stavebných konštrukcií. Slovenská technická norma. Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR, Bratislava, 1997, 68 str.
- [2] STN 73 0031 Spôľahlivosť stavebných konštrukcií a základových pôd. Prevzatá ČSN 73 0031.
- [3] P ENV 1991 - 2 - 7 Zásady navrhovania stavebných konštrukcií. Časť 2.7. Mimoriadne zaťaženie rázmi a explóziami.

- [4] ČSN 73 0031 Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových púd. Rev.vyd. Ústav pro normalizaci a měření, Praha, 1988, 24 s.
- [5] ČSN 73 0031 Komentář k ČSN 73 0031. Ústav pro normalizaci a měření, Praha, 1980, 104 s.
- [6] ČSN 73 0035 Zatížení stavebních konstrukcí. Ústav pro normalizaci a měření, Praha, 1986, 168 s.
- [7] ČSN 73 0036 Seismická zatížení staveb. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, Praha, 1973, 45 s.
- [8] EUROCODE8. Design provisions for earthquake resistance. Part 1. General rules, seismic actions and rules for buildings. British-Adopted European Standard / 08-Apr-2005 / 232 p.
- [9] Flesch, R. (1993): Baudynamik. Bauverlag GMBH, Wiesbaden, 543 p.
- [10] Henrych, J. (1973): Dynamika výbuchu a její užití. ACADEMIA, Praha, 412 s.
- [11] Juhásová, E. (1985): Pôsobenie seizmických pohybov na stavebné konštrukcie. VEDA, Bratislava, 264 s.
- [12] Kaláb, Z. a Knejzlík, J. (2004): Experimentální měření seismických účinků trhačích prací v historickém dole Jeroným. Transactions (Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, řada stavební), roč. IV, č.2/2004, str. 159-166.
- [13] Kaláb, Z., Knejzlík, J. a Lednická, M. (2006): Vibrace vyvolané odstřelem trhavin při ražbě mělkého důlního díla. Geotechnika 2006, zborník medzinárodnej konferencie, ORGWARE a a FAST, VŠB-TU Ostrava, str. 317-324.
- [14] Ljachov, G.M. (1974): Osnovy dynamiky vzryvnych voln v gruntach i gornych porodach. NEDRA, Moskva, 192 s.
- [15] Pandula, B., Dojčár, O. a Leššo, I. (1996): Seizmická aparátúra UVS 1504, jej možnosti a využitie. Acta Montanistica Slovaca, Roč. 1 (1996), 3, str. 202-208
- [16] Viskup, J.(2002): Posudok na ložisko lietava Drieňovica. KAEG PFUK, Bratislava, 2003, 9 s.
- [17] Viskup, J. (2007): Posúdenie seizmických účinkov likvidácie munície a výbušnín výbuchom v trhačích jamách v teritóriu Vojenského technického a skúšobného ústavu (VTSÚ) Záhorie. SEISCOMP, Bratislava, 36 s.

**OBRAZOWANIE ELEKTROOPOROWE W POMIARACH STRUKTUR
GEOMORFOLOGICZNYCH NA PRZYKŁADZIE POMORZA ZACHODNIEGO**

**ELECTRICAL RESISTIVITY IN POST-GLACIAL MEASUREMENTS ON
WESTERN POMERANIA, POLAND**

Abstract

Determining physical properties of postglacial deposits was an aim of examinations and on the basis of disintegrations of value of the resistance examining the spatial lengthiness of these structures. Two measuring profiles were made at applying depicting the resistivity imaging method. This method let the appropriate resistance of layers for determining the thickness and disintegrations in checked structures: layer of deposit came on average 20m for resistances 4000 - 5000 [Ω m] (sands and graveles), layer of boulder clays on average 30m and 5 - 70 [Ω m]. Outside these two layers on the second profile transitional layer was determined (thickness: 15m, resistivity: 100 - 200 [Ω m]), probably it is weater level about disturbed geological construction, which results around transgressive of character of glaciation of the Pomeranian phase. In the first profile beneath the layer of boulder clays a level of sands was reached (400 - 600 [Ω m]), most probably Miocene.

Key words: Poland, Western Pomerania, electrical resistivity, Pleistocene glaciations, post-glacial sediments, post-glacial structures

Wstęp

Badaniami objęte zostały polodowcowe struktury geomorfologiczne pojezierza szczecineckiego (ryc. 1), które stanowi mezoregion Pojezierza Południowopomorskiego (Kondracki, 2001). Pojezierze Szczecineckie jest wyznaczone przez dwa pasma moren czołowych fazy krajeńskiej a jej urozmaicona budowa geomorfologiczna jest wynikiem zlodowaceń plejstoceńskich (Bukowska-Jania, Pulina, 1997). Obszar został dokładnie zbadany pod względem geomorfologicznym (Kostrzewski i in., 1997), natomiast pod względem geologicznym jest słabo rozpoznany (Karczewski, 1997).

Zastosowano metodę obrazowania elektrooporowego w celu rozpoznania dwóch wybranych struktur kemowych. Wybrana metoda pozwala śledzić granicę utworów w sposób prawie ciągły, a dzięki temu uzyskać dokładne parametry badanych struktur. Wyznaczono miąższość osadów plejstoceńskich, a na podstawie otrzymanych wartości oporności określono przypuszczalną budowę geologiczną. Profile pomiarowe zostały ustalone tak, aby uchwycić granicę pomiędzy kemem a sąsiednią formą geomorfologiczną. Metoda obrazowania elektrooporowego była powszechnie stosowana w badaniach form lodowcowych i polodowcowych, a jej skuteczność została potwierdzona w wielu publikacjach (Barines i in., 2002; Kneisel, 2006; Schmitt i in., 2004; Kilner i in., 2005), jednak w wybranym obszarze stosowano ją rzadko (Gibas, 2002).

¹ Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Ul. Będzińska 60 Sosnowiec,
annawys@poczta.fm



Ryc. 1 Obszar badań, fragment mapy geomorfologicznej wg A. Karczewskiego (1997)

Fig. 1 Area of research, the geomorphological map pices, A. Karczewski (1997)

Obszar badań

Charakterystyczną cechą obszaru badań jest duża amplituda rzeźby stropu podłoża znaczna miąższość osadów plejstocenijskich oraz wpływ procesów glacytektonicznych i akumulacyjnych na współczesne ukształtowanie terenu (Dobracki, Lewandowski, 2002). Granica pomiędzy utworami plejstocenijskimi a pliocenijskimi znajduje się średnio na setnym metrze głębokości (Karczewski, 1991, 1997; Dobracki, Lewandowski, 2002; Klimek, Lewandowski, 2002). Piaski, żwiry wodnolodowcowe oraz ily, a także piaski jeziorne i torfy pochodzące z okresów interglacialnych są standardowymi osadami obszaru badań. Całkowita miąższość osadów pliocenu wynosi średnio 175m (Bukowska-Jania, Pulina, 1997; Mapa Geologiczna Polski 1:50000).

Badane formy polodowcowe znajdują się na terenie zlewni rzeki Piławy o charakterystycznym przebiegu rynnowym z wieloma jeziorami. Jej największym zbiornikiem jest jezioro Pile (9,8 km², śr. gł. 44m) zasilane jest przez wody spływające północy, północnego – zachodu oraz z zachodu (Choiński, 1991). Piława charakteryzuje się prostym reżimem odpływu z jednym wezbraniem wiosennym, okresem niskich stanów (okres letni) oraz gruntowo – deszczowo – śnieżnym zasilaniem (Bukowska-Jania, Pulina 1997; Dynowska 1971).

Rozpoznanie płytkiej budowy geologicznej i hydrogeologicznej powstało w oparciu o kilkanaście płytkich otworów wiertniczych wykonanych w obszarze badań. Wynika z nich, że przypowierzchniowa warstwa zbudowana jest z pisaków różnej granulacji i żwirów. Poziom wód gruntowych znajduje się na głębokości od 8 do 14m ppt. Pod tą warstwą znajduje się poziom glin zwałowych (Sołtysik, Rybka, 1993).

Wykonano dwa profile pomiarowe na formach kemowych. Profil pierwszy zlokalizowany był po południowej stronie j. Pile i przebiegał przez kem i sandr. Kemy zbudowane są ze żwirów i piasków o wysokich wartościach oporności. Prawdopodobnie zostały ukształtowane w szczelinach martwego lodu. Sandry są rozległymi płaskimi formami geomorfologicznymi zbudowanymi przeważnie ze żwirów i piasków osadzonych i wypłukanych przez wody topniejącego lodowca (Klimaszewski, 1978).

Drugi profil poza kemem przebiegał przez morenę, która jest formą akumulacyjną zbudowaną najczęściej z przemieszanych frakcji różnej wielkości osadów, od głazów i bloków, przez kamienie, okruchy, po piasek i pył skalny (Klimaszewski, 1978).

Metodyka badawcza

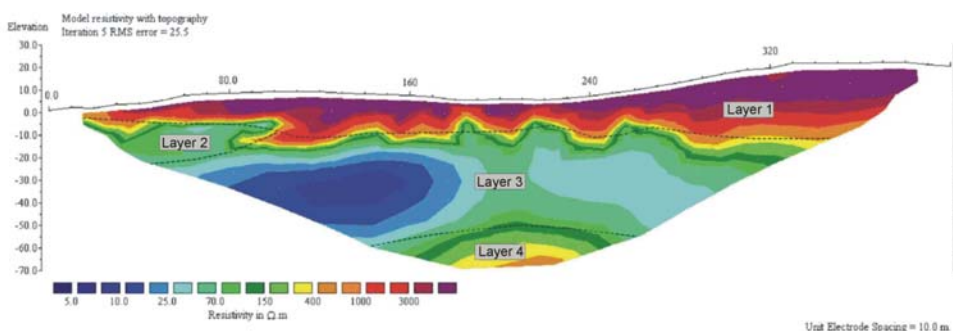
Celem badań obrazowania elektrooporowego jest określenie, na podstawie otrzymanych wartości oporności, przypuszczalnej budowy geologicznej badanych osadów. Otrzymane wartości oporności pozornej są przetwarzane w procesie inwersji na wartości oporności właściwej. Można opisać to za pomocą funkcji matematycznej, która jest sumą operatora odwzorowania i błędów obserwacji. Operator odwzorowania pozwala obliczyć poprawność dopasowania modelu (Rudzki, 2002; Loke, 2004). Dzięki zastosowanej technice interpretacyjnej możliwe jest nie tylko uzyskanie informacji o rozkładach oporności właściwej poszczególnych warstw oraz ich miąższości, ale także ich rozciągłości i morfologii.

Metody cechuje szeroki zakres stosowalności. Teoretyczny zasięg pomiaru w głąb ziemi zależy od odległości między skrajnymi elektrodami i wynosi średnio 1/4 tej odległości. Im większa odległość, tym większy zasięg, poza odległością na zasięg głębokościowy mają wpływ czynniki takie jak: wilgotność, porowatość, zasolenie i in. (Loke, 2004). Do elektrod zewnętrznych (prądowych) podłączone jest źródło prądu elektrycznego, do wewnętrznych (napięciowych) woltomierz. Metoda ta uśrednia rzeczywistą rezystancję gruntu w obszarze od powierzchni do głębokości, która zależy od rozstawu elektrod zewnętrznych (Loke, 2004).

Długość profili pomiarowych wynosiła 400m, a odstęp pomiędzy elektrodami wynosił 10m. Pomiaru zostały wykonane przy zastosowaniu protokołu Schlumberger-S i 41 elektrod. Dzięki zastosowanym parametrom uzyskano 450 punktów pomiarowych i średnią głębokość penetracji 50m.

Wyniki pomiarów

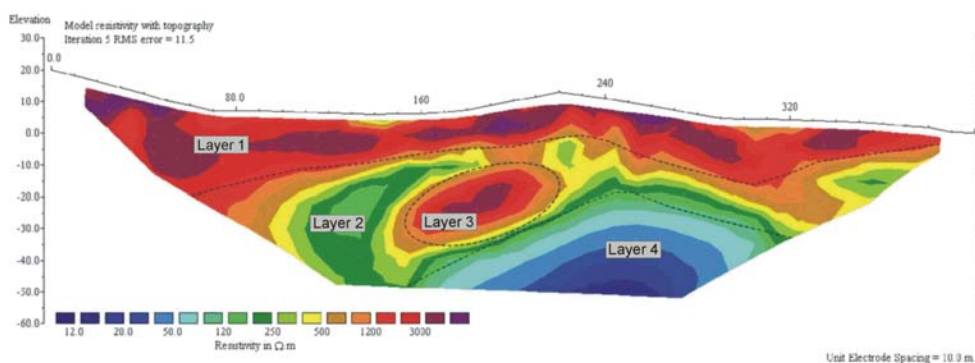
Otrzymano dwa inwersyjne modele oporności właściwej, w każdym z modeli wyznaczono cztery warstwy. Na pierwszym modelu oporności (ryc. 2) pierwsza warstwa charakteryzuje się opornością właściwą rzędu 4000 - 5000 [Ωm]. Jest ona związana prawdopodobnie z utworami budującymi kem (gruboziarniste piaski i żwiry), które występują powyżej zwierciadła Jeziora Pile, można więc przypuszczać, że są niezawodnione. Drugą warstwę przypuszczalnie stanowią piaski i mułki limnoglacialne (50 - 200 [Ωm]). Ich ograniczony zasięg powierzchniowy związany jest ze sposobem sedimentacji. Trzecią warstwą, są najprawdopodobniej gliny zwałowe i ily (3 - 50 [Ωm]). Ostatnia warstwa zbudowana jest z piasków o oporze rzędu 400 - 600 [Ωm], porównując głębokość spągu tej warstwy z danymi geologicznymi tego obszaru można przypuszczać, że są to piaski mioceńskie.



Ryc. 2 Inwersyjny model oporności właściwej, południowa strona Jeziora Pile

Fig. 2 Resistivity inversion model, southern side the Pile Lake

Pierwsza warstwa modelu drugiego (ryc. 3) charakteryzuje się wartościami oporności właściwej rzędu 4000 – 5000 [Ωm]. Stanowią ją najprawdopodobniej piaski i żwiry gruboziarniste, a ich występowanie powyżej zwierciadła j. Pile oraz gruba frakcja pozwalają sądzić, że są one niezawodnione. Drugą warstwą prawdopodobnie są piaski i żwiry fluwiogłacjalne (100 - 200 [Ωm]). Warstwa trzecia zbudowana jest z gruboziarnistych żwirów i piasków (3000 - 4000 [Ωm]) i najprawdopodobniej jest częścią kemu zagrzebaną przez osady fluwiogłacjalne o znacznie drobniejszej frakcji. Można przypuszczać, że ostatnia warstwa to łyły i gliny zwałowe (3 - 5 [Ωm]).



Ryc. 3 Inwersyjny model oporności właściwej, północna strona Jeziora Pile

Fig. 3 Resistivity inversion model, north side the Pile Lake

Podsumowanie

Otrzymane wyniki porównano z dostępnymi danymi geologicznymi (Bukowska-Jania, Pulina, 1997; Karczewski, 1997; Dobracki, Lewandowski, 2002), potwierdziło to otrzymane inwersyjne modele oporności, a co za tym idzie poprawne zbadanie badanego ośrodka.

Wyniesienia kemowe powstawały ze zdeponowanego materiału w szczelinach martwego lodu, zazwyczaj występują powyżej zwierciadła jezior, zbudowane są z piasków i żwirów różnej frakcji (Bukowska-Jania, Pulina, 1997)

Poziomy glin zwałowych oraz podścielające je osady piaszczysto żwirowe reprezentują główne ogniwo litostratygraficzne vistulianu – fazę leszczyńsko poznańską (Klimek, Lewandowski, 2002).

Zastosowana metoda badawcza umożliwiła przedstawienie rozkładów wartości oporności badanych osadów oraz określenie ich miąższości. Wartości oporności dla form kemowych są do siebie zbliżone. Można przypuszczać, że możliwe jest stworzenie modeli rozkładów wartości oporności dla różnych struktur postglacjalnych.

Przy zastosowaniu odpowiednio dużej ilości profili pomiarowych możliwe jest zbadanie przestrzennej rozciągłości struktur geomorfologicznych oraz wydzielenie poziomów wodonośnych.

Porównanie otrzymanych wyników z danymi literaturowymi może świadczyć, iż wykorzystując wybraną metodę geofizyczną uzupełnioną o dokładniejsze pomiary warstwy pierwszej, istnieje możliwość uzyskania poprawnego modelu ośrodka w sposób bezinwazyjny.

Literatura

- [1] Barines, D., Smith, D., Froese, D.G., Bauman, P. and Niemeck, G. (2002): Electrical resistivity ground imaging (ERGI): a new tool for mapping the lithology and geometry of channel-belts and valley-fills. *Sedimentology*, Volume 49: 441.
- [2] Bukowska-Jania, E. and Pulina, M. (1997): Problemy hydrochemiczne i kriochemiczne w rejonie Bornego Sulinowa (Pomorze Zachodnie), [w]: Kostrzewski A. (red.), *Rzeźba i osady czwartorzędowe obszarów współczesnego i plejstocénskiego zlodowacenia półkuli północnej*. Wyd. UAM, Ser. Geografia 58: 29-49.
- [3] Choiński, A. (1991): *Katalog jezior polskich. Pojezierze Pomorskie*. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- [4] Dobracki, R. and Lewandowski, J. (2002): Plejstocen Pojezierza Drawskiego i Szczecińskiego, [w]: *Plejstocen Pomorza Środkowego i strefa marginalna lobu Parsęty – IX Konferencja: Stratygrafia Plejstocenu Polski*. Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Pomorski, Szczecin i Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, Katowice.
- [5] Dynowska, I. (1971): Typy reżimów rzecznych w Polsce. *Zeszyt Naukowy Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace Geograficzne* 28: 151.
- [6] Gibas J. (2002): Wstępne wyniki badań geofizycznych struktur polodowcowych na Pomorzu Zachodnim, [w]: *Plejstocen Pomorza Środkowego i strefa marginalna lobu Parsęty – IX Konferencja: Stratygrafia Plejstocenu Polski*. Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Pomorski, Szczecin i Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, Katowice.
- [7] Loke, M. H. (2004): Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys in: www.geoelectrical.com.
- [8] Karczewski, A. (1991): Rozwój i zasięg fazy pomorskiej lobu Parsęty podczas zlodowacenia vistuliańskiego, [w:] Kostrzewski A., (red.) *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*. Geografia 50, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. A. Mickiewicza, Poznań.
- [9] Karczewski, A. (1997): Geomorfologia i rozwój rzeźby przedpola fazy pomorskiej w północnym sąsiedztwie jeziora Pile, [w:] Bukowska-Jania E. &

- Pulina M., (red), *Studia nad środowiskiem geograficznym Bornego Sulinowa*. PWN, Warszawa
- [10] Kilner, M., West, L. J. and Murray, T. (2005): Characterisation of glacial sediments using geophysical methods for groundwater source protection. *Journal of Applied Geophysics* 57: 293–305.
 - [11] Klimaszewski, M. (1978): *Geomorfologia*. PWN, Warszawa.
 - [12] Klimek, K. and Lewandowski, J. (2002): Stanowisko nr 5 – Liszkowo, [w:] *Plejstocen Pomorza Środkowego i strefa marginalna łobu Parsęty – IX Konferencja: Stratygrafia Plejstocenu Polski*. Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Pomorski, Szczecin i Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, Katowice.
 - [13] Kneisel, C. (2006): Assessment of subsurface lithology in mountain environments using 2D resistivity imaging. *Geomorphology* 80: 32–44.
 - [14] Kondracki, J. (2001): *Geografia Polski. Mezoregiony fizyczno geograficzne*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa.
 - [15] Kostrzewski, A., Mazurek, N., Szpikowski, J., Tomczak, G. and Zwoliński, Z. (1997) *Współczesne procesy morfogenetyczne w świetle analizy mapy morfodynamicznej byłego poligonu Borne Sulinowo*, [w:] Bukowska-Jania E. & Pulina M., (red), *Studia nad środowiskiem geograficznym Bornego Sulinowa*. PWN, Warszawa: 89-99.
 - [16] Rudzki, M. (2002): Zastosowanie metody tomografii elektrooporowej do wykrywania podziemnych obiektów antropogenicznych. *Publis. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc., M.* 25 (313).
 - [17] Schmitt, D.R., Welz, M., Rokosh, C.D., Pontbriand, M.C. and Smith, D.G. (2004): Resolving Large Pre-glacial Valleys Buried by Glacial Sediment Using Electric Resistivity Imaging (ERI). *American Geophysical Union, Spring Meeting 2004*.
 - [18] Sołtysik, J., Rybka, A. (1993): *Raport o zanieczyszczeniach gruntu i wód podziemnych pro-duktami ropopochodnymi i innymi substancjami chemicznymi na obiekcie opuszczonym przez wojska Federacji Rosyjskiej Borne Sulinowo*. Wojskowa Akademia Techniczna, Exbud – 22 Hydrogeotechnika, Warszawa, Kielce.

Vážení čtenáři,

přečetli jste nebo prolistovali časopis Transactions – Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Řada stavební, roč. VIII, č.2/2008. Tato druhá čísla stavební řady jsou již tradičně věnována k publikování recenzovaných příspěvků z naší konference s mezinárodní účastí. V roce 2008 proběhla konference již po sedmnácté a to se zaběhnutým názvem „OVA'08 – Nové poznatky a měření v seizmologii, inženýrské geofyzice a geotechnice“. Součástí časopisu je CD, na kterém je celý obsah časopisu (obrázky v dodané kvalitě s vyšším rozlišením).

Vědecký výbor konference pracoval ve složení: Doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D., Prof. Ing. Jiří Horký, CSc., Prof. Ing. Karel Müller, DrSc., Ing. Jaromír Knejzlík, CSc. V organizačním výboru se svých úkolů zhostili Ing. Hana Doležalová, Doc. RNDr. Pavel Bláha, DrSc., Anna Dombková a Hana Sedlářová. Sekci v rámci programu CIDEAS organizoval Doc. Ing. Petr Janas, CSc., pomocníky mu byli Doc. Ing. Robert Kořínek, CSc., Ing. Markéta Lednická a Ing. Roman Marek. Pořadatelské organizace, tj. ostravská pobočka ČAAG – Česká asociace geofyziků, o.s., Ústav geoniky AVČR, v.v.i., Ostrava a VŠB – Technická univerzita Ostrava, fakulta stavební, katedra geotechniky a podzemního stavitelství, se zhostily svých úkolů na jedničku. Obdobně technické zabezpečení konferenčního jednání (Anna Dombková, Ing. Hana Doležalová, Ing. Radovan Kukutsch, Ph.D., Ing. Markéta Lednická, Jana Rušajová, Hana Sedlářová, Ing. Martin Stolárik) bylo bez chyby. Úpravu příspěvků pro tisk v Transactions se letos ujala nová členka organizačního kolektivu – Vendula Stašová. Všem jmenovaným i řadě dalších patří velké poděkování. A nakonec ještě připomenu zásluhy předsedajících jednotlivých sekcí, kteří řídili odborný program i diskuze.

Je pro mě příjemné zopakovat, že ráz konference byl přátelský s řadou nových výsledků, krásných prezentací a diskuzí. Je hezké, že kromě tradičních účastníků jednání můžeme přivítat také nové účastníky, a to zvláště z řad studentů doktorandského studia.

Recenzování letošních příspěvků se ujali (a patří jim dík za jejich práci):

Doc. RNDr. Pavel Bláha, DrSc.
RNDr. Karel Holub, DrSc.
Prof. Ing. Jiří Horký, CSc.
Doc. Ing. Petr Janas, CSc.

Doc. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc.
Ing. Jaromír Knejzlík, CSc.
Doc. RNDr. Jaroslav Kněz, CSc.
Dr. Ing. Pavel Konečný
Prof. Ing. Petr Martinec, CSc.
RNDr. Jan Mrlina, CSc.
Prof. Ing. Karel Müller, DrSc.
RNDr. Vladimír Rudajev, DrSc.
RNDr. Jan Zedník

Na shledání při příštím ročníku konference se za pořadatelský kolektiv těší. Do té doby přeji všem hodně klidu, radostí a dobrých výsledků

Zdeněk Kaláb, hlavní organizátor konference

Poruba, říjen 2008

Doc. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc.,
předseda ČAAG - České asociace geofyziků, o.s.
vedoucí Oddělení geofyziky
Ústav geoniky AV ČR, v.v.i.
Studentská 1768, 708 00 Ostrava - Poruba
tel: 596979111 (341), fax: 596919452, e-mail: kalab@ugn.cas.cz
též: VŠB - Technická univerzita Ostrava, fakulta stavební,
katedra geotechniky a podzemního stavitelství

**Sborník vědeckých prací
Vysoké školy báňské – Technické univerzity
Ostrava**

řada stavební

č. 2 – 2008

©Vydala Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Vytisklo Ediční středisko VŠB – TU Ostrava

Náklad: 80 ks

Odpovědný redaktor:
Doc. Ing. Alois Materna, CSc., MBA.
Hostující redaktor:
Doc. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc.

Vydání I.

Za obsah článků odpovídají jednotliví autoři

ISBN 978-80-248-1873-3
ISSN 1213-1962