

SEIZMICKÁ MĚŘENÍ NA HRÁZI HORNICE

SEISMIC MEASUREMENTS IN THE HORNICE DAM

Roman Duras¹, Jan Gebauer², Pavel Bláha³

Abstrakt

V rámci projektu „Biosealing“ bylo na zemní hrázi rybníka v obci Hornice provedeno geofyzikální měření s cílem ověřit některé novější aspekty použití seizmických metod. Geofyzikální měření byla realizována na koruně a na svahu vzdušné strany hráze Hornického rybníka. Jejich účelem bylo zjistit možné průsaky vody z rybníka přes hrázové těleso a ve vrtech GF1 – GF3 přispět k poznání stavu tělesa hráze mezi vrty a v jejich nejbližším okolí. Dalším úkolem bylo otestování nových seizmických snímačů pro měření ve vrtech. Na lokalitě Hornice byly aplikovány metody seizmické tomografie (ST), seizmické měření mezi vrty (cross hole) a jako doplňková metoda spontánní polarizace (SP). V článku jsou popsány použité snímače, postupy měření a vyhodnocení získaných výsledků.

Abstract

Within the project “Biosealing”, geophysical measurement was carried out on the earth-fill dam of a pond in the municipality of Hornice. Its aim was to verify certain more recent aspects of the use of seismic methods. The geophysical measurements were accomplished on the crest and slope of the downstream side of the dam of the Hornicky Pond. Its purpose was to detect potential seepage of water from the pond through the dam body and in boreholes GF1 – GF3, and to contribute to the knowledge of the condition of the dam body between the boreholes and in their closest surroundings. Another task was to test new seismic sensors for measurement in boreholes. At the site of Hornice, the methods of seismic tomography (ST) and seismic measurement between boreholes (cross-hole measurement) were applied, as well as the method of spontaneous polarization (SP) as a supplementary method. This paper describes the sensors used, the procedures of measurement and the evaluation of the results obtained.

Klíčová slova

Geofyzikální měření, seizmická tomografie, cross hole, spontánní polarizace, rychlost podélných vln

Keywords

Geophysical measurement, seismic tomography, cross hole, spontaneous polarization, velocity of longitudinal wave

1 Úvod

V rámci evropského „Operačního programu Podnikání a inovace“ byl v akciové společnosti Geotest, a.s. sestaven program, jehož účelem bylo zavedení technologie „BIOSEALING“ do prací Geotestu. V rámci programu byla v Geotestu zavedena nejen samotná metoda, ale i další technologie umožňující dokumentovat stav hrázového tělesa a monitorovat změny průsaků po aplikaci metody „BIOSEALING“. V rámci těchto doplňkových metod bylo geofyzikální pracoviště Geotestu vybaveno novými seizmickými snímači. Pro testování byla vybrána lokalita Hornice.

V roce 2012 započal inženýrskogeologický a geofyzikální průzkum hráze v Hornicích (Frýbová a kol., 2013), za účelem zjištění průsaků hráze Hornického rybníka. Rybník leží severovýchodně od obce Hornice (okr. Třebíč), cca 250 metrů od středu obce. Cílem dřívějších prací bylo zjištění příčin průsaku hrází. Zvláštní pozornost byla věnována parametrům, které mají vliv na průsaky hráze. V zemní sypané hrázi rybníka o délce 73 m se v pravé části paty jejího vzdušného líce objevuje zamokření na ploše cca $1,0 \times 3,0$ m. Na základě provedených prací byl přisypán v místě průsaků dodatečný násyp hráze a prosakující voda byla odvedena ocelovou trubkou do lapače splavenin. Kóta koruny hráze se nachází v nadmořské výšce 449,4 až 449,5 mm, kóta dna nádrže 441,2 mm. Normální úroveň hladiny je na kótě 447,1 mm, maximální na 448,3 mm.

2 Popis lokality

Lokalita náleží geomorfologicky k Jevišovské pahorkatině, která je charakteristická přítomností členité pahorkatiny, která se střídá s kotlinami. Místa jsou na plochem povrchu zachovány zbytky mezozoických a terciérních zvětralin. V plochých kotlinách jsou zbytky neogenních sedimentů. Část Jevišovské pahorkatiny tvoří Bítovská pahorkatina, která je proříznutá hlubokým údolím Dyje se zaklesnutými meandry. Tvořená je krystalinickými horninami, na nichž spočívají ostrůvky neogenních sedimentů, v jejichž podloží bývá krystalinikum hluboko zvětralé. Přítoky Dyje mají na horních tocích plochá úvalovitá údolí, která se směrem po toku zařezávají.

Z geologického hlediska zájmové území přináleží moldanubiku, konkrétně k moravské části moldanubika. Horniny krystalinika jsou překryty kvartérními sprašemi a sedimenty říční terasy. Předkvartérní podloží zájmové lokality tvoří proterozoické a paleozoické hlubinné magmatity moldanubika. V širším okolí zájmového území se nacházejí izolované výskyty pliocenních štěrků, písčitých štěrků a písků s vložkami jílu. V blízkosti lokality se podél vodotečí vyskytují holocenní nivní hlíny, písky a štěrky. Dále jsou zastoupeny smíšené, převážně jemnozrnné deluviofluviální sedimenty a sedimenty výplavových kuželů (Frýbová a kol., 2013).

Přesné údaje o konstrukci hrázového tělesa se nám nepodařilo získat. Podle výsledků vrtných prací, a to jak z průzkumu firmy Geodrill ((Frýbová a kol., 2013)), tak i z popisu vrtů realizovaných v rámci programu „Biosealing“ je pravděpodobné, že se jedná o zemní hráz bez speciálního těsnícího jádra. Podle výsledků vrtných prací je hráz tvořena jíly s příměsí písků a štěrků.

3 Použité přístroje a zařízení

Terénní měření metodou seizmické tomografie spočívá v registraci uměle generovaných mechanických vln. Na lokalitě Hornice byla použita varianta měření vrt-povrch, kdy ve vrtu (vrtech) byly umístěny snímače a na povrchu se generoval seizmický signál. K měření byl použit seizmograf RAS-24 společnosti Seistronix. Jedná se o přenosný 24-kanálový přístroj. Přístroj je ovládaný externím počítačem připojeným přes rozhraní RS-232 nebo USB. Vzorkovací interval přístroje se pohybuje v rozmezí od 0,125 do 4 ms, délka záznamu může být až dvousekundová. Formát výstupních dat je kompatibilní se standardy SEG-2, SEG-D 8038 a SEG-D 8058. Přístroj je možné v případě potřeby řetězit do sestavy pěti propojených přístrojů. Další, nezbytnou, součástí měřicí techniky jsou snímače. Na lokalitě Hornice byly průzkumné vrty vystrojeny vodotěsnými pažnicemi a zality vodou, proto byla volena sestava hydrofonů BHC4 od společnosti Geotomographie GmbH (obr. 1). Jedná se o sestavu dvanácti hydrofonů Benthos AQ-2000 na společném kabelu. Hydrofony jsou vybaveny aktivním předzesilovačem, který registrovaný signál – před vstupem do seizmografu – zesílí cca 8 ×. Snímačová sestava byla ve vrtu volně zavěšena (bez přítlaku ke stěně vrtu), přenos signálu mezi okolním prostředím a hydrofony zajišťovala vodní zálivka. Zdrojem seizmických vln na lokalitě Hornice byly úder kladivem. Typický software pro zpracování dat z měření metodou seizmické tomografie jsou specializované seizmické programy, např. Rayfract, GeoTom, ST, dále pak programy balíku MS Office, Surfer a Corel.



Obr. 1 Zařízení pro ST, zleva přístroj RAS-24, kabel s piezosnímači a samotný snímač



Obr. 2 Třísložkový snímač M-40

Na lokalitě Hornice bylo použito i přímé seizmické měření mezi vrty (po paprscích rovnoběžných s povrchem). Měření je svým charakterem blízké metodě „crosshole“, která je popsána v katalogu standardů ASTM Volume 04.08, str. 885-898 pod názvem „Standard Test Methods for Crosshole Seismic Testing“, značka D 4428 / D 4428 M- 84. Metoda je založena na „prozařování“ prostředí mezi vrty sestavou paralelních seizmických paprsků. Základní sestava měřicí techniky je obdobná s metodou předchozí, tj. k úspěšné realizaci metody je zapotřebí vhodný seizmograf, snímač a zdroj seizmického signálu, v detailech se však obě metody významně liší. K předzpracování a registraci seizmického signálu jsme použili seizmograf RAS-24 společnosti Seistronix, který byl popsán v předchozích odstavcích. Při volbě snímačů došlo k zásadní změně, kdy pro seizmickou tomografii

vhodné hydrofony BCH4 byly nahrazeny speciálním vrtným – tříložkovým geofonem M-40 (obr. 2), schopným registrovat příchozí signál ve třech na sebe kolmých směrech. Uchycení vrtného geofonu je pneumatické (přítlakem ke stěně vrtu), což je důležité zejména pro metodu „crosshole“, u které se registruje kromě podélného i příčné vlnění. Při aplikaci našeho seizmického měření příčné vlnění registrováno nebylo. Mechanické (elastické) vlnění bylo generováno výbuchy pyrotechnických náložek. Náložky byly umísťovány do „zdrojového“ vrtu do definovaných pozic a elektricky, v synchronizaci se seizmografem, odpalovány. Zpracování dat probíhalo v prostředí MS Office, Grapher a Corel. Po odpalu pyrotechnické náložky byly v obou vrtech zároveň zaznamenávány příchozí seizmické vlny a odečítány časy prvního příchodu. Hloubková pozice náložek a snímačů byla vždy jednotná. Krok měření byl 1 m. Vrtné geofony M-40 byly do vrtů umísťovány orientovaně, tj. jeden horizontální geofon (první složka) směřoval ke zdroji (X), druhý kolmo k němu (Y) a vertikální (Z) zaujímal obecnou svislou pozici (obr. 3). Časy prvního nasazení seizmických vln byly odečítány ze všech tří snímačů vrtného geofonu.

Pro měření spontánní polarizace byl použit TrueRMS multimetr EXTECH ML720. Specifikem přístroje – v oboru stejnosměrného napětí – je vysoké rozlišení (0,01 mV) a přesnost (+/-0,08%). Přístroj měří v rozsazích do 50 mV, 500 mV, 5 V, 50 V, 500 V a 1000 V DC. Přístroj je schopen uložit 43 000 naměřených dat což představuje kapacitu na téměř 12 hodin nepřetržitého měření v intervalu jedné vteřiny. V případě potřeby je možné měřené hodnoty v reálném čase zobrazovat na připojeném počítači. O komunikaci se „stará“ opticky oddělený RS-232 výstup a tovární software. Nepolarizovatelné elektrody pocházejí z dílny společnosti GF Instruments a byly vyrobeny v souladu s ČSN 03 8362 „Měděná referenční elektroda k měření potenciálu podzemní kovová konstrukce – půda“. Z hlediska konstrukce se jedná o nádobu naplněnou přesyceným roztokem CuSO_4 , který přes propustnou membránu v dolní části nádoby pozvolna zasakuje do horniny a tím zajišťuje elektricky vodivé spojení s proměřovaným prostředím. V nádobě je do roztoku ponořená měděná tyčová elektroda propojená s měřidlem (voltmetrem) kabelem. Zpracování dat typicky probíhá v prostředí MS Office, Grapher a Corel.



Obr. 3 Zapouštění pyrotechnické náložky do vrtu

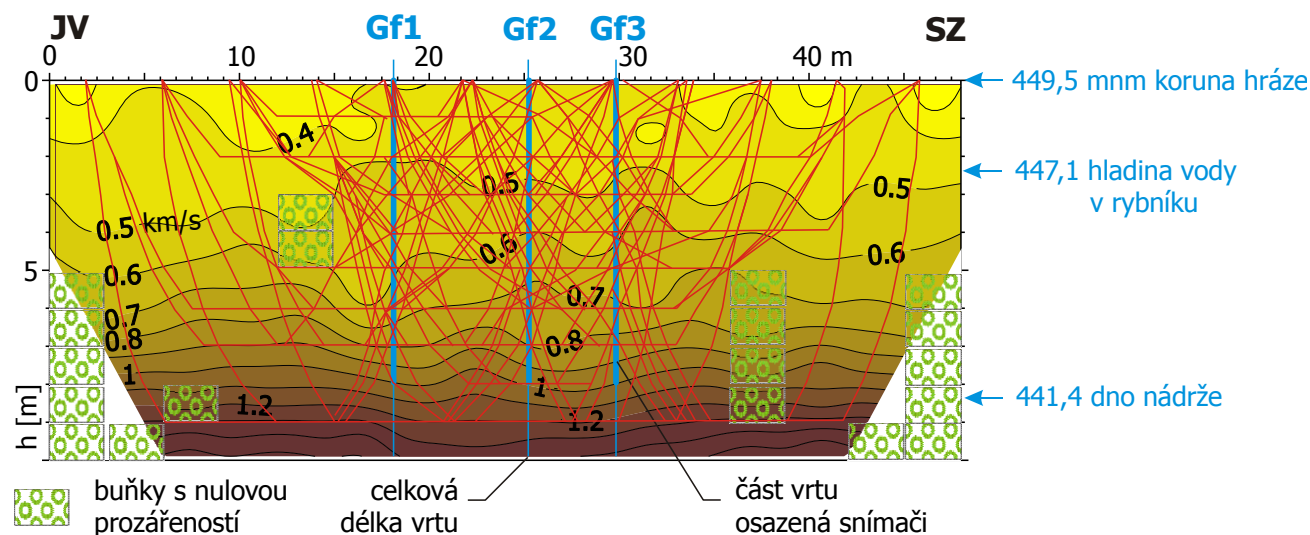
4 Výsledky měření

Situace geofyzikálního měření je na obrázku 4.

Seismická tomografie byla měřena v uspořádání vrt – povrch. Seizmické snímače byly postupně umísťovány ve vrtech GF1, GF2 a GF3. Místa buzení seizmické energie byla umísťována na povrchu na úsečce procházející všemi vrtu. Vzdálenost snímačů ve vrtu byla jeden metr, maximální hloubka zapuštění snímačů byla osm metrů. Důvodem byla neprůchodnost vrtů u jejich dna. Body „výbuchu“ byly postupně vzdalovány od příslušného vrtu po čtyřech metrech na obě strany od vrtu, a to až do vzdálenosti šestnáct metrů, tj. do dvojnásobku maximální hloubky snímače. Body „výbuchu“ byly na obou stranách od vrtu. Celkem bylo pro seizmické prozařování použito 24 zdrojů buzení seizmického signálu a 27 snímačů. Při zpracování byla proměřená oblast vetknuta do obdélníku 48×10 m. Základní obdélník byl rozdělen do 160 buněk o rozměrech

3 × 1 metr. Při výpočtu rychlostního pole bylo použito 35 různých startovacích modelů a v každém proběhlo 25 iteračních kroků. Přeurčenost při zpracování seizmické tomografie byla 1,27.

Výsledky měření seizmickou tomografií jsou znázorněny na obrázku 5. Mimo



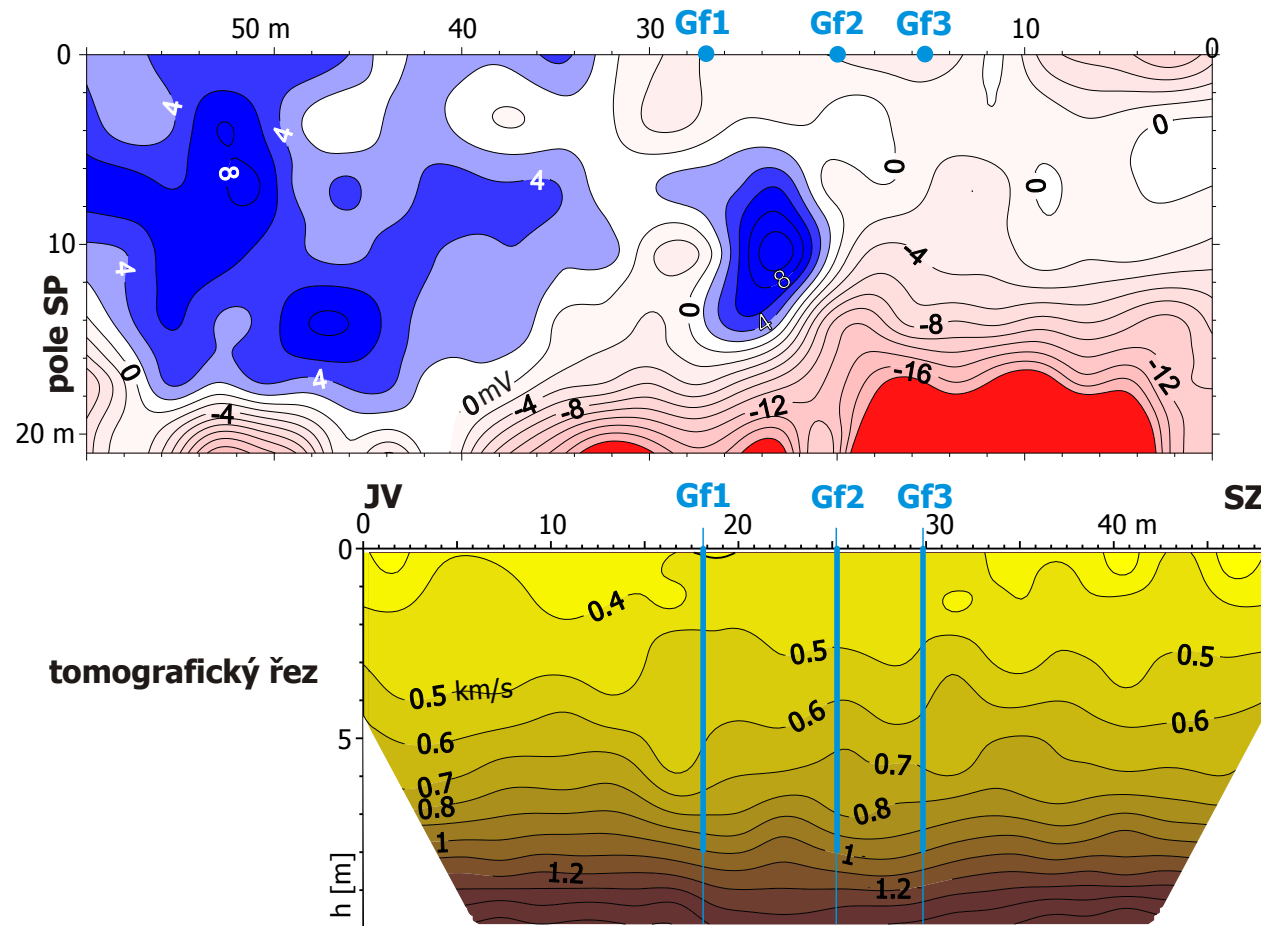
Obr. 5 Rychlostní pole ze seizmické tomografie



Obr. 4 Situace nových geofyzikálních měření

pole rychlostí, které je základním výstupem tomografického zpracování, jsou do obrázku ještě vkresleny buňky s nulovou prozářeností a dráhy seizmických paprsků mezi jednotlivými zdroji a snímači. Námi používaný software počítá s křivými drahami šíření seizmického signálu. Proto uprostřed prozařované plochy vznikají

buňky, kde prozářenost je nulová, tj. buňkou neprochází žádný seizmický paprsek. Paprsek se samozřejmě šíří prostředím, které je pro jeho šíření nejprůchodnější, tj. po dráze, která je časově nejkratší. V tomto případě je potřebné mít na paměti, že rychlost v takové buňce může být ještě nižší, než je rychlost určená při posledním průchodu paprsku danou buňkou. Z tohoto principu vyplývá, že seizmická tomografie není příliš vhodná metoda pro určování prostorově omezených porušených zón (kaveren, jeskyní apod.). Přítomnost buněk s nulovou prozářeností na okrajích proměřované oblasti vyplývá s principu věci a není potřebné jim věnovat pozornost. Pokud bychom uvažovali přímé dráhy šíření paprsku, pak by byla proměřená plocha výrazně menší. Podstatně důležitější jsou „nulové“ buňky



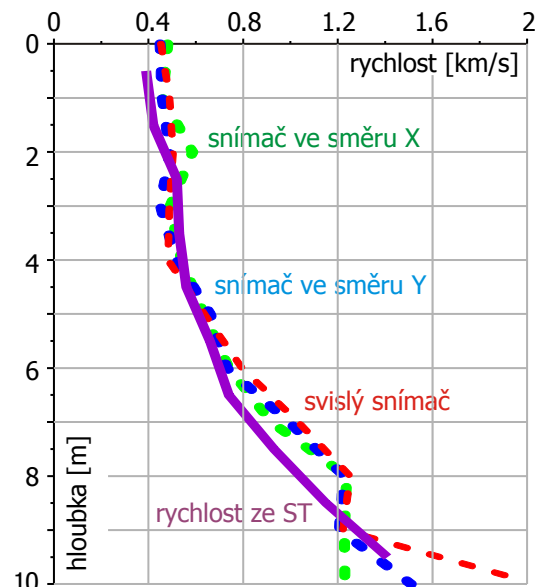
Obr. 7 Výsledky spontánní polarizace a seizmické tomografie

uvnitř prozařované plochy. Za důležité můžeme tedy považovat buňky pod staničením 14 metrů.

Protože buňky

leží hluboko uvnitř prozařované plochy s velkou hustotou paprsků, můžeme předpokládat, že zde budou rychlosti ještě nižší, než ukazuje pole izolinií. Nulové buňky pod metrží 37 m leží již v oblasti s malým výskytem seizmických paprsků, proto jim není možné přiřadit velký význam. Posoudit, jak vysoké rychlosti odpovídají místům, kde dochází k průsakům, je dosti obtížné. Pokud materiál zemní hráze se vyznačuje malou vlhkostí, pak budou i nízké rychlosti podélných vln. Pokud se vlhkost bude zvyšovat, tak porostou i rychlosti. To však bude platit jen do určité vlhkosti. Od určitého zvýšeného obsahu vody v pórech bude docházet v daném materiálu ke snižování rychlostí.

Měření rychlosti po horizontálních paprscích (tj. modifikovaná metoda crosshole) nám dalo první představu o velikosti rychlosti podélných vln.



Obr. 6 Průběh rychlostí

K měření jsme použili třívrtnou metodu, která vylučuje vliv nepřesného určení „okamžiku výbuchu“. Výsledky těchto měření jsou uvedeny na obrázku 6. Rychlosti znázorněné na obrázku čárkovanou čarou jsou rychlosti z měření typu „crosshole“, rychlost znázorněná fialovou čarou je rychlost ze seizmické tomografie. Ta byla počítána vždy z řady buněk v dané hloubce, ale pouze z těch buněk, které ležely mezi prozařovanými vrty (Gf2 a Gf3). Z průběhu všech křivek můžeme konstatovat, že rychlosti určené na horizontálních paprscích i rychlosti ze seizmické tomografie jsou v dobré relaci. Určité odchylky mohou být dány anizotropií rychlostí podélných vln. Rychlosti zjišťované z „crosshole“ jsou rychlosti odpovídající vodorovnému směru danému spojnicí vrtů. Rychlosti ze seizmické tomografie jsou průměrem rychlostí ze všech směrů, dokonce mohou být ovlivněny i prostředím mimo prozařovanou rovinu. Jediný větší rozdíl v rychlostech byl zjištěn v nejspodnější části vrtu. Na vyvozování příčin této okolnosti je nedostatek podkladů. Z měření v jednom místě nejde určovat obecné závěry.

Výsledky měření spontánní polarizace z pohledu po vodě jsou na obrázku 7. Zobrazené izolinie odpovídají naměřeným hodnotám opraveným o normální pole. To bylo v daném území stanoveno statisticky. Ze zpracování naměřených hodnot byl vyloučen profil ležící nejdále na jihozápadě. Důvodem byla skutečnost, že zde byly naměřeny vysoké záporné hodnoty „přirozených“ potenciálů (přes -300 mV). Projev tohoto anomálního místa je patrný i na obrázku 7 (vpravo dole). Takováto anomálie musí mít antropogenní důvod, avšak přesnou příčinu se nám nepodařilo zjistit. Z měření SP je patrné, že k určitým průsakům dochází i nadále v místě se středem v souřadnicích 20, 10. Toto místo je totožné s průsaky, které byly zjištěny v předchozím průzkumu (Frýbová a kol., 2013), viz obrázek 4. Dalším místem, kde byly zjištěny určité anomálie, je část plochy s vysokými souřadnicemi x. Proto doporučujeme tomuto místu věnovat v nejbližší budoucnosti zvýšenou pozornost.

5 Závěr

Na lokalitě Hornice byly v rámci projektu „Biosealing“ provedeny experimentální geofyzikální práce metodou seizmické tomografie, modifikací metody „crosshole“ a metodou spontánní polarizace. Účelem výzkumu bylo ověřit vhodnost vybraných metod geofyzikálního průzkumu pro aplikaci na vodohospodářských stavbách (vodních dílech) s podezřením na „poškození“ hrázního tělesa. Interpretací výsledků geofyzikálních měření se ukázalo, že vybrané metody byly schopny jednak identifikovat změny ve fyzikálněmechanických vlastnostech hmot hrázního tělesa Hornického rybníka (sypaná hráz), tak i dokumentovat pravděpodobná místa budoucích vývěrů vod na vzdušné straně hráze. Podrobný popis výsledků provedeného geofyzikálního průzkumu přinášejí předchozí kapitoly.

Použité geofyzikální metody seizmické tomografie, „crosshole“ (modifikace) a spontánní polarizace se tedy v daném případě ukázaly jako velmi vhodné, a to také díky špičkovým snímačům – hydrofonům BCH4 a vrtnému geofonu M-40.

Autoři děkují Operačnímu programu „Podnikání a inovace“ za podporu při řešení úkolu OPPI 4.1 IN04/1299 - Inovace v GEOTest, a.s., Biosealing.

Literatura

Bláha P., Kottas J., Sochor J.: Geological inhomogenities in seismic tomography., *In: Proceedings: 7th International Congress IAEG*, Balkema, Rotterdam, 1994, p. 79-87.

Frybová P., Drápalová R., Lubojacký O.: HORNICE, Inženýrsko-geologický a geofyzikální průzkum, *Geodrill*, Brno, 2013, MS.

¹ Ing. Roman Duras, GEOTest, a.s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno, duras@geotest.cz

² Ing. Jan Gebauer, GEOTest, a.s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno, gebauer@geotest.cz

³ Doc. RNDr. Pavel Bláha, DrSc., GEOTest, a.s., Šmahova 1244/112, 627 00 Brno, blaha@geotest.cz