

OPERATIVNÍ SYSTÉM DLOUHODOBÉHO MONITORINGU VODOHOSPODÁŘSKÉ SOUSTAVY JIHOČESKÉHO KRAJE S CÍLEM OMEZENÍ MOŽNOSTI VZNIKU ZVLÁŠTNÍ POVODNĚ

Stručné informace k monitoringu hrází vybraných vodních děl souborem geofyzikálních měření za použití nedestruktivních metod prováděných v rámci projektu firmou G IMPULS Praha spol. s r.o.

Návrh řešení geofyzikálního monitoringu stavu hrází rybníků vychází z komplexní metody GMS (Geophysical Monitoring System). Tato metodika byla vytvořena v rámci projektů 6. FP EU s názvem IMPACT a FLOODSite, které byly svého času jedny z největších evropských projektů komplexně se zabývajících ochranou a prevencí před povodněmi. Metodika GMS slouží jako nový nástroj technicko-bezpečnostního dohledu (dále také TBD) nad protipovodňovými hrázemi. V ČR již byly podobně proměřeny desítky kilometrů protipovodňových hrází. Uvedenou metodiku lze s úspěchem využít i pro hráze rybníků nebo malých přehrad. Na vývoji metodiky GMS a její verifikaci v rámci projektů IMPACT a FLOODSite se výrazně podíleli experti naší firmy. Experti firmy jsou nositeli užitého vzoru na metodiku GMS zapsaného Úřadem průmyslového vlastnictví ČR.

Stručný popis metodiky GMS

Geofyzikální Monitorovací Systém (GMS) se skládá ze 3 částí, které nabízejí ekonomické řešení základních úloh (potřeb) při údržbě a TBD kontrole stavu hrází.

1. Rychlé testovací měření (**QTM**) slouží pro základní posouzení materiálového složení, stavby a homogenity konstrukce hrází. Tato metodika je dále základem pro opakovaná - monitorovací měření (**RMM**). Měření je založeno na aplikaci metody DEMP (dipólové elektromagnetické profilování) s využitím multifrekvenčních aparatur (např. GEM2 firmy GEOPHEX – USA).
2. Diagnostická měření (**DM**) se používají pro vyhledávání skrytých defektů hrází v narušených (nehomogenních) úsecích. Metodika vychází z aplikace komplexu geoelektrických metod, zvláště odporové tomografie. Ta je vhodně doplněná o další nezávislou metodu podle typu hledaného defektu (mikrogravimetrie, seismická tomografie apod.).
3. Měření geomechanických vlastností (**MGC**) umožňuje v kombinaci s laboratorními zkouškami sledovat geomechanický stav narušených úseků hrází. Při analýze geomechanických vlastností hrází se uplatní zvláště seismické metody a mikrogravimetrie.

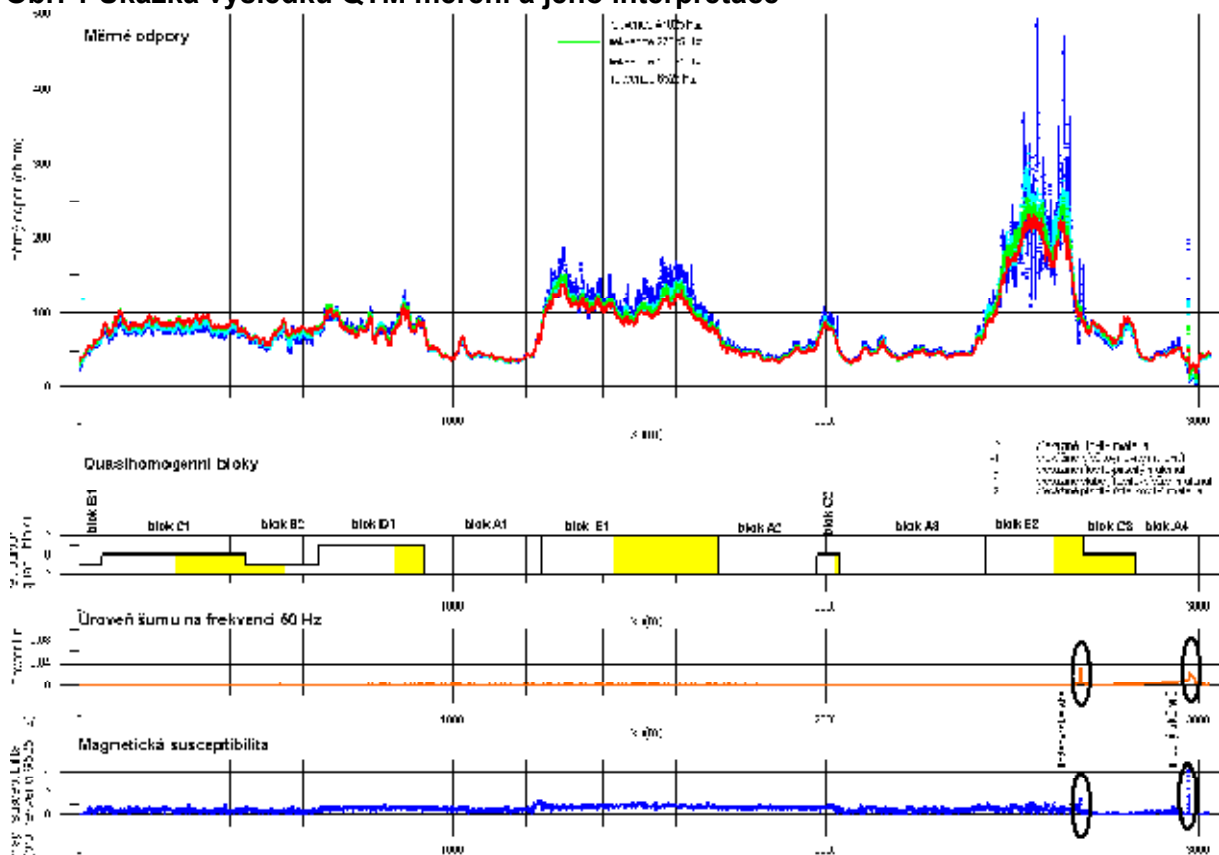
Za hlavní inovaci metodiky GMS považujeme široké využití metody dipólového elektromagnetického profilování pro rychlý popis stavu hrází a jeho monitoring. Pro měření se předpokládá nasazení moderních multifrekvenčních aparatur s vyhovující opakovatelností měřených dat.

Velkou výhodou rychlého testovacího měření pomocí metody DEMP je vysoká produktivita měření. Díky tomu lze dosáhnout příznivého poměru ceny měření a získaných informací. Hlavním měřeným parametrem je vodivost, resp. odpor zemin a hornin. Některé aparatury umožňují měřit současně i další parametry, např. magnetickou susceptibilitu a úroveň šumu na průmyslové frekvenci 50 Hz. Na základě těchto parametrů lze soudit na homogenitu použitých materiálů (konstrukci hráze), jejich popis (šterkovité - písčité – jílovité materiály), relativní propustnost a vyhledání inženýrských sítí (kabelů, potrubí, kolektorů) v tělese hráze. Měření probíhá rychlostí volné chůze, poloha měření je zaznamenávána automaticky pomocí systému GPS. Současně je měřeno na několika pracovních frekvencích, které odpovídají několika hloubkovým úrovním zkoumaného prostředí. Hloubkový dosah se pohybuje od prvních metrů do desítek metrů podle použité frekvence a měrných odporů prostředí. Lze tak získat základní představu o změnách vlastností hrází jak v podélném, tak vertikálním směru. Příklad měření aparaturou GEM2 a základního zpracování je uvedeno na obr. 1.

Na obrázku je v horním grafu uveden soubor křivek měrných odporů materiálu hráze a jejího podloží naměřených aparaturou GEM2. Na základě těchto křivek byla provedena základní

interpretace měřeného úseku – členění na kvazi homogenní bloky (2. graf). Bloky jsou definovány lomenou čarou s hodnotami -2 až $+2$, ke každé hodnotě je uveden popis převažujícího materiálu v tělese hráze. Vidíme, že hráz v měřeném úseku je značně nehomogenní. Střídají se úseky, kde převládají jílovité materiály s malou propustností s úseky písčitými až štěrkovitými s propustností vysokou. Přechody mezi materiály jsou navíc velmi ostré (např. hranice bloku A1/E1, A3/E2), může zde při opakovaném vysychání hráze docházet ke vzniku smršťovacích trhlin. Proto lze tyto ostré přechody bloků označit za rizikové úseky. Ke změnám odporů dochází i ve vertikálním směru. Zvýšené odpory pro frekvenci 6525 Hz (modrá křivka) ve srovnání s odpory pro frekvenci 47025 Hz (červená křivka) ukazují oblasti s výskytem štěrkovitých – silně propustných sedimentů v podloží hráze (většinou staré meandry). Naopak snížené „modré“ odpory ve srovnání s „červenými“ ukazují na přítomnost sedimentů s větším obsahem jílovité složky. Díky analýze úrovně šumu na 50 Hz (3. graf) a křivky magnetické susceptibility (4. graf) lze soudit na přítomnost umělých objektů v tělese hráze (inženýrské sítě, větší železné objekty). Existence inženýrských sítí v tělese hráze často představuje zvýšené riziko průsaku, navíc některé sítě (staré, nefunkční, ilegální) nejsou známy a dokumentovány. Na obr. 1 jsou anomálie odpovídající inženýrským sítím na metrů 2700 a 2980.

Obr. 1 Ukázka výsledků QTM měření a jeho interpretace



Monitorovací funkce systému GMS spočívá v pravidelném opakovaném měření pomocí metody DEMF. Analýza série opakovaných měření přináší nový typ geofyzikální informace. Můžeme totiž vyčlenit v čase nestabilní úseky, kde dochází k anomálním změnám elektrických vlastností materiálu hráze. Ty se nejčastěji vyskytují v místech opakovaných průsaků hráze nebo jejím podloží. Při analýze je potřeba respektovat dvě základní pravidla:

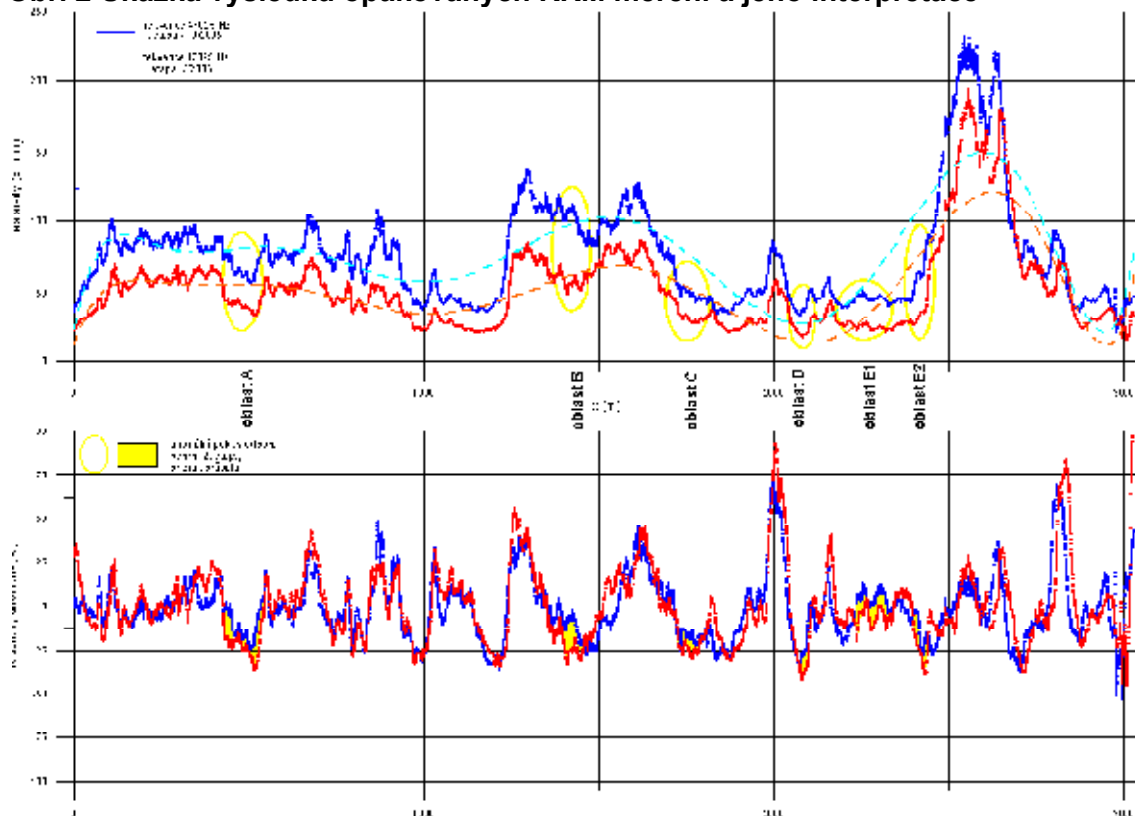
1. je třeba odlišit „normální“ variace měrných odporů zemín, které vznikají díky různé vlhkosti materiálu hráze a podloží při opakovaných měřeních. Vlhkost kolísá díky srážkám (klimatickým podmínkám) a výšce hladiny vody v řece. Takové variace odporů běžně dosahují desítek až stovek procent.

2. opakovaná měření pro posouzení průsakových drah je vhodné provádět za odlišných hydrologických a hydraulických podmínek, nejlépe v suchém období při vypuštěné nádrži a vyschlé hrázi (základní měření) a při plném stavu vody nebo dokonce za povodně, kdy je v nádrži maximální stav vody (kontrolní měření).

Efekt „normálních“ variací odporů potlačujeme matematicky výpočtem tzv. relativní residuální odporové anomálie (s ohledem na očekávanou délku anomálních úseků). Potom analyzujeme tvarové odchylky naměřených křivek (nikoliv tedy absolutní změnu odporů), které vznikají většinou díky anomálním průsakům. Interpretace v čase nestabilních odporových anomálií vychází z předpokladu, že v místech, kde dochází k průsakům nebo ke vzniku tahových trhlin a opakovanému vyplavování jemnozrnné frakce z materiálu hráze, se mění ve srovnání s okolím i měrný odpor materiálu hráze. Příčinou lokálních změn odporů je zvýšený obsah vody v takovém anomálním úseku, který se projeví relativním poklesem odporů při nasycení hráze vodou (kontrolní měření). Naopak při vysušení hráze (základní měření) se v daném úseku může projevit relativní nárůst odporů vlivem zvýšení pórovitosti materiálu vyvolaném vznikem trhlin a opakovaným vymýváním sedimentů.

Příklad analýzy dvojice opakovaných měření je uveden na obr. 2. Jedná se o stejný úsek, jako na obr. 1. Křivky v horním grafu představují odpory pro frekvenci 47025 Hz naměřené v „suchém“ období (modrá křivka) a při povodni (červená křivka). Vidíme, že při nasycení hráze vodou v období povodně došlo k celkovému poklesu odporů, který odpovídá „normálním“ variacím. Nás však zajímají lokální tvarové odchylky na měřených křivkách. K tomu nám pomohou relativní residuální odporové anomálie uvedené na spodním grafu. Jako anomální jsou hodnoceny úseky, kde rozdíl odporů mezi 1. a 2. etapou dosahuje 20 a více % hodnoty regionálního pole (výrazný pokles červené křivky pod modrou křivku). Celkem zde bylo tímto způsobem vymezeno 6 úseků. Na obr. 2 jsou tyto úseky zvýrazněny žlutou barvou a označeny písmeny A až E. Při pozorném pohledu jsou jemné změny tvaru odporových křivek ve srovnání s okolím patrné i přímo v měřených datech (horní grafy). Na grafech residuální anomálie jsou však odchylky jednoznačně čitelnější.

Obr. 2 Ukázka výsledků opakovaných RRM měření a jeho interpretace



Výsledky prováděných monitorovacích měření byly verifikovány při povodňových stavech během vizuálních prohlídek. Na obr. 3 je uveden průsak zaznamenaný v anomální oblasti označené E1.

Obr. 3 Detail průsaku při bázi hráze v oblasti E1 za povodňového stavu

