

Geotechnické a geofyzikální posouzení hráze rybníka v Mrákotíně



2024

Projekce iGEO s.r.o.

Nám. 28. října 1899/11, 602 00 Brno Černá Pole

IČ: 061 90 499, DIČ: CZ061 90 499

tel.: 608022443

web: www.igeo.cz

e-mail: ivan.poul@igeo.cz

Geotechnika, statika, inženýrská a stavební geologie, hydrogeologie

Název zakázky: Geotechnické a geofyzikální posouzení hráze rybníka v Mrákotíně

Číslo zakázky: 035-2024

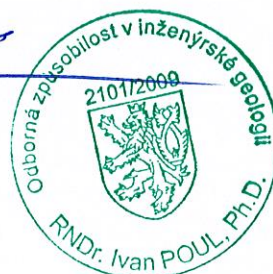
Objednatel: Krajská správa a údržba silnic Vysočiny, p.o., Kosovská 16, Jihlava 586 01

Geotechnické a geofyzikální posouzení hráze rybníka v Mrákotíně



Zodpovědný řešitel:

RNDr. Mgr. Ivan Poul, Ph.D.



 **Projekce iGEO s.r.o.** www.igeo.cz
nám. 28. října 1899/11, 602 00 Brno
IČ 061 904 99, DIČ CZ061 994 99

Brno, duben 2024

Obsah

1. Úvod	3
2. Přírodní poměry	4
3. Metodika	4
4. Geologický a geotechnický model	6
5. Geofyzikální model	7
6. Dopravní stavby	8
7. Závěr	8

Přílohy:

Příloha 1 – Situace

Příloha 2 – Výsledky DPH

Příloha 3 – Výsledky geofyzikálního měření VRT, MRS

Příloha 4 – Fotodokumentace

Rozdělovník:

1 - 3 a digitálně **KSÚS Vysočiny, p.o.**
Digitálně Projekce iGEO s.r.o.

1. Úvod

Na základě objednávky od Krajské správy a údržby silnic příspěvková organizace byl proveden a vyhodnocen geofyzikální a geotechnický průzkum za účelem posouzení integrity hráze stávajícího rybníka v Mrákotíně. Během vypouštění vody došlo na podzim 2023 k rozplavení a sesutí části návětrné strany hráze. Tento jev byl sanován 25.12.2024 sypaným kamenivem frakce 125/250 mm v objemu 300 t. Průzkum proběhl 28. 3. 2024 geotechnický a geofyzikální průzkum hráze **rybníka Řibřid nad obcí Mrákotín**. Realizovaný průzkum spočíval v realizaci 5 geofyzikálních profilů (3x mělká refrakční seismika a 2x vertikální odporová tomografie) a realizace 4 sond těžké dynamické penetrace. Účelem bylo ověřit integritu hráze. Situace zkoumaného území viz obr. 1.



Obr. 1: Přehledná situace bližšího okolí zájmové oblasti vyznačeno červenou elipsou (upraveno z mapy.cz)

Použité normy, předpisy a zdroje:

BS 1377-7:1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Shear strength tests (total stress)

ČSN 75 2410 – Malé vodní nádrže

ČSN EN 1997-1: Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla

ČSN EN 1997-2: Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy

ČSN EN ISO 22476-2 Geotechnický průzkum a zkoušení - Terénní zkoušky - Část 2: Dynamická penetrační zkouška

Česká geologická služba, mapová aplikace (2023), [cit. 27.8.2023][online] Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/mapove-aplikace>
Matys, M., Ťavoda O., Cuninka M. (1990): Poľné skúšky zemín. - Alfa, Bratislava.

2. Přírodní poměry

Jedná se o přibližně 300 roků starou sypanou homogenní hráz aloženou zejména z písčitého jílu. Na hráz byla v průběhu 2. poloviny 20. století umístěna asfaltová pozemní komunikace. Hráz je vysoká přibližně 6 m. V podloží se vyskytují klasty fluvialních zemin přecházejících do navětralé až zvětralé skalní horniny. Dle geologické mapy se jedná o granit přecházející do migmatitu spadající do moldanubické oblasti.

Záplavová oblast – ano

Poddolovaná oblast – ne

Seismicita – ne

Sesuvy – ne (část hráze r. 2023 ano)

Ložiska – ano – těžba kamene ZSZ od obce

Hydrogeologická rajonizace – 6540 Krystalinikum v povodí Dyje - západní část

Mineralizace vody je nízká a dle normy ČSN EN 206+A2 se nejedná o chemicky agresivní prostředí vůči betonu.

Vůči kovovému potrubí, výztuži a ocelovým prvkům bez ochrany je dle ČSN 03 8375 agresivita hodnocena jako velmi nízká I (viz tab. 13.2 jmenované normy).

Lokalita není součástí chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV).

3. Metodika

Těžká dynamická penetrace

Průzkum obsahoval 4 dynamické penetrace celkově 28 bm. Těžká dynamická penetrace byla využita ve vlastnictví Projekce iGEO s.r.o. a jedná se o typ STITZ. Postup provádění byl zvolen podle ČSN EN ISO 22476-2 a průzkum byl vyhodnocen podle ČSN EN 1997-2. Jedná se o těžkou penetrační sondu se závažím (beranem) 50 kg s dopadem na kovadlinu z výšky 50 cm. Hrot je normový s pravým úhlem v řezu a plochou 15 cm². Byly využity neztrátné hroty. Zkouška byla ukončena při dosažení 300 úderů/10 cm.

Vliv tření na tyčích byl stanovován za pomoci momentového klíče a stanovení „parazitických úderů“ přepočtem podle ověřených počtů úderů a případně dalších publikovaných postupů (např. Matys a kol. 1990). **Vzhledem k tomu, že tato metodika není standardizovaná (a často nefunguje u jílu), je nutné se řídit doporučením ČSN EN 1997-2 odst. 4.2. Výsledkem penetračního sondování jsou nalezená rozhraní mezi geologickými vrstvami, deformační vlastnosti, efektivní úhel vnitřního tření, konzistence jemnozrnných zemin a ulehlost hrubozrnných. Touto metodikou je zejména možné zkoumat zvětralé až navětralé skalní horniny. Efektivní smykovou pevnost složenou z úhlu vnitřního tření a koheze u jemnozrnných zemin není možné stanovit. Lze stanovit**

neodvodněnou smykovou pevnost jemnozrnných zemin a efektivní úhel u nesoudržných hrubozrnných zemin. V příloze jsou zeminy popsány z mechanického hlediska.

Geofyzikální průzkum - Elektrická odporová tomografie (ERT)

Měření metodou ERT byly realizovány na 2 podélných profilech. Pro měření bylo využito Wenner-Schlumbergerova uspořádání elektrod ve variatně HD (s vysokým rozlišením). Jde o nejběžněji využívané elektrodové uspořádání, kde dvěma proudovými elektrodami je elektrický proud zaváděn do zkoumaného prostředí a zároveň je na dvou potenčních elektrodách měřen rozdíl potenciálů (napětí). Měřeno bylo ve variantě HD (high density), která přináší cca o 1/3 větší počet bodů (a tedy o cca 1/3 vyšší rozlišení při stejné proměřované ploše) v porovnání se standardní variantou. Použita byla aparatura pro měření měrného odporu prostředí ARES II (GF Instruments) a aktivní multi-elektrodové kabelové sekce.

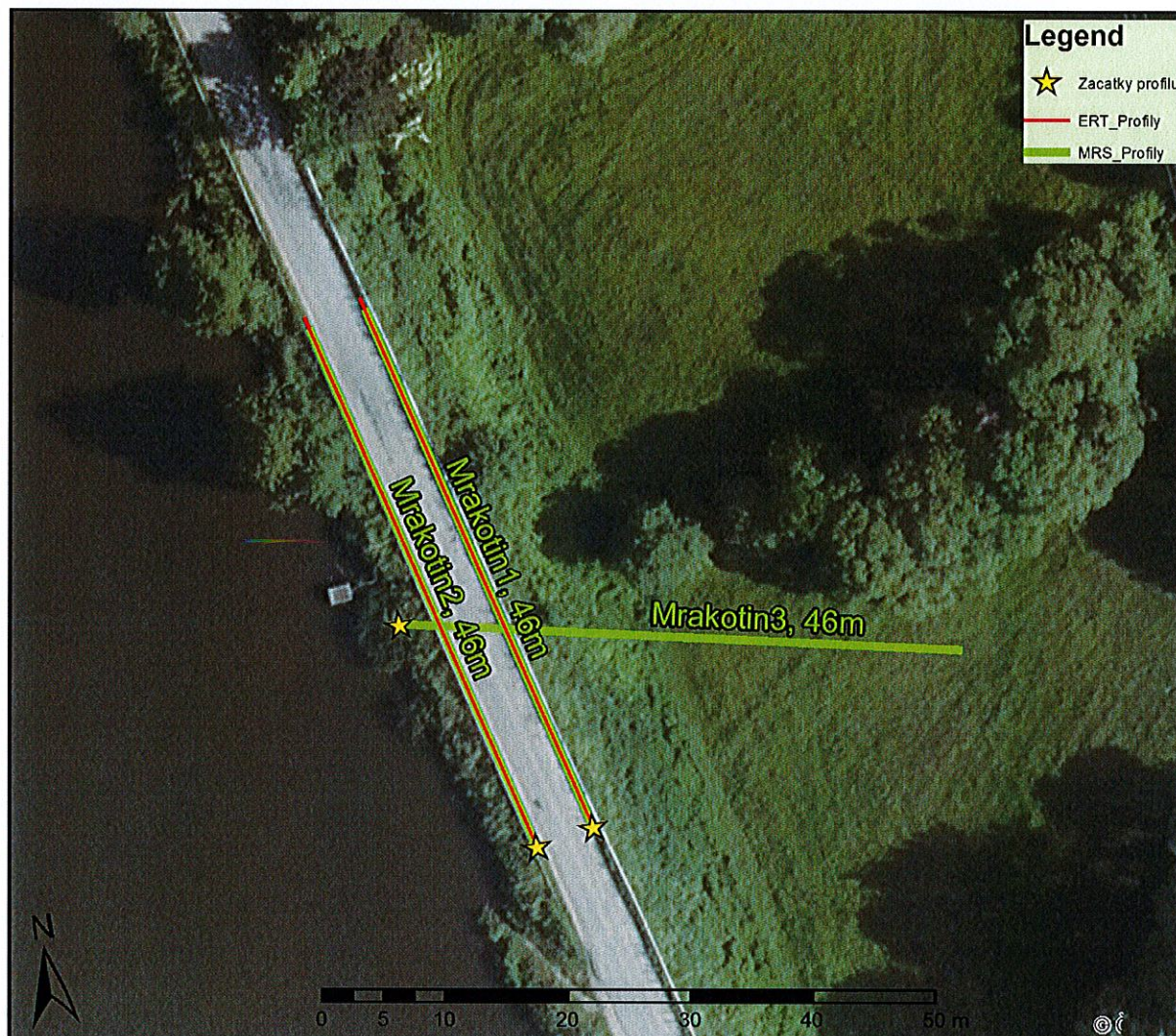
Data byla zpracována ve standardním programu Res2Dinv (Geotomo Software) jako inverzní odporový model, zobrazující distribuci měrného odporu ve 2D vertikálním řezu podél profilu (tomografie). Data byla zobrazena v jednotné škále pro všechny profily. Do změřených dat byla během procesu zpracování zavedena topografie, převzatá z Digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G, ČÚZK). Výsledné profily byly interpretovány na základě dat získaných dalšími metodami a hmotných vzorků zajištěných vrtným průzkumem.

Geofyzikální průzkum - Mělká refrakční seismika (MRS)

Odporové měření bylo doplněno třemi profily MRS s rozstupem geofonů 2 m. Dva z nich v podstatě kopírují umístění profilů ERT, kdy mají stejný počátek a délku 46 m. Třetí, také 46 m dlouhý profil je pak přibližně kolmý k ostatním profilům (viz obr. 2) s přihlédnutím k místním podmínkám v terénu, kdy nebylo možné profil změřit v místě navezeného kameniva. Mělká refrakční seismika byla měřena na 2 podélných a jednom příčném řezu 24-kanálovou aparaturou Geode (Geometrics, Inc.). Pro registrování příchozích P-vln byly použity geofony s vlastní frekvencí 10 Hz. Jako zdroj seismické energie bylo použito 8-kg seismické kladivo a vertikální údery do kovové destičky. Spínání elektrického obvodu o kovovou destičku sloužilo zároveň jako signál (tzv. *trigger*) pro spuštění seismického záznamu. Za účelem zlepšení poměru signál/šum (SNR, *signal-to-noise ratio*) byly údery na jednotlivých bodech sumovány. Délky profilů a rozestupy snímačů byly voleny s ohledem na efektivní pokrytí zadaných profilů a detailní rozlišení.

Změřená data byla zpracována v programovém balíku SeisImager (Geometrics, Inc. / OYO Corporation) standardní metodikou, tzn. (i) odečtením tzv. časů příchodu P-vln ("first arrivals" nebo "first breaks") v programu SeisImager - Pickwin, včetně (ii) kontroly tzv. časů vzájemnosti ("reciprocal travel times") v programu SeisImager - Plotrefa, a následným (iii) výpočtem rychlostního modelu, tzv. seismickou tomografií z povrchu („Wavepath Eikonal Traveltime tomography“) opět v programu SeisImager - Plotrefa. Výsledkem zpracování jsou 2D rychlostní řezy, udávající změny rozložení rychlostí šíření seismických vln s hloubkou podél profilu. Do změřených dat byla během procesu zpracování zavedena topografie, převzatá z Digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G, ČÚZK). Výsledné

profily byly interpretovány na základě dat získaných dalšími metodami a hmotných vzorků zajištěných vrtným průzkumem.



Obr. 2: Situace provedených geofyzikálních měření

4. Geologický a geotechnický model

Geologické prostředí je rozděleno na 3 kvazihomogenní geotypy Y1, Y2 a G1. Vzhledem k variabilitě, budou fyzikální i mechanické vlastnosti zemin doporučovány obecně v intervalu nebo průměrné hodnotě a detailně až pro jednotlivé SO. Klasifikace zemin proběhla podle ČSN 73 6133 ~ ČSN 75 2410 a ČSN EN ISO 14688-2.

Y1 – Skladba pozemní komunikace

Asfaltový povrch (0-2 cm), aktivní zóna tvořená štěrkem asi(?) 32/63. V mocnosti 1,0-1,2 m. s $E_{def1} \sim 10$ MPa ($E_{def2} \sim 20$ MPa), což nesplňuje požadavek ČSN 73 6133 na zhutnění aktivní zóny.

Y2 – Těleso homogenní hráze

Lehce hutněná jílovitopísčitá zemina (snad F4 CS) měkké až tuhé konzistence s $E_{def1} \sim 0,5-2,2$ MPa.

G1 – Fluviální sedimenty, rozložená až zvětralá skalní hornina

Jedná se o písek jílovitý kyprý až středně ulehlý klasifikovaný jako F4 CS až G5 GC. Samotná hornina nebyla zastižena. Na základě nepřímých metod není možné jednotlivé geneze rozlišit. $E_{def1} \sim 5-10$ MPa

Těžitelnost zemin a hornin

Součástí geologických průzkumů bývá stanovení těžitelnosti zemin. Jediná platná česká norma pro stanovení těžitelnosti je ČSN 73 6133 (pro dopravní stavby). Dle této normy, všechny zastižené zeminy lze kategorizovat do I. (zeminy). Dle TP76A se ještě určuje třída vrtatelnosti pilot, která je stanovena v příloze 1 jmenovaného TP. **Pro navážky Y1 a Y2 se jedná o I. až II. třídu. Soudržné i nesoudržné zeminy geotypu G1 se jedná o I. třídu.**

5. Geofyzikální model

Oba měřené profily ERT byly pravděpodobně ovlivněny přítomností kovových svodidel, kdy jsou ovlivněna data v přípovrchové vrstvě. To se projevuje střídáním zón s nižším a vyšším odporem v hloubkách přibližně 1–3 m pro metodu Wenner-Schlumberger. V metodě Dipól-Dipól bylo ovlivnění ještě výraznější, proto je vyloučeno z interpretace. Výsledné **modely ERT** ukazují zóny vyšších odporů přibližně v místě průsaku. Tato zóna je pro východní profil (Profil 1) na metrůzi přibližně 18–24 m v hloubce cca 3–7 m a pro západní profil (Profil 2) na metrůzi přibližně 21–24 m v hloubce cca 2–6 m. Tato anomálie může být způsobena antropogenními vlivy, především přítomností většího množství navezeného kamene, či dalšími, kdy je v blízkosti propustek, betonové molo, případně jiná nezdokumentovaná stavba zasahující do tělesa hráze. Další interpretací může být nepřítomnost jemnozrnné složky vázající vodu z důvodu eroze vlivem průsaku.

Výsledky mělké **refrakční seismiky** jsou prezentovány formou gradientového modelu s vloženou křivkou t_0 . Profily 1 a 2 nevykazují žádné anomálie, kdy rychlost P vln (vp) postupně narůstá s hloubkou a v horizontálním směru nejsou nijak výrazné změny rychlostí. Profil A pravděpodobně zachytil těleso hráze, kdy s hloubkou postupně přechází do kvarterních sedimentů (vp cca nad 400 m/s). Profil 2 má větší hloubkový dosah a z kvartérních sedimentů postupně přechází do granitů (vp cca nad 2000 m/s). Třetí profil 3 vykazuje na jeho začátku artefakt inverze, který by neměl být interpretován a je pravděpodobně způsoben betonovým mole, či jinou stavbou pod hrází. Celkové lze v zájmové oblasti (metrůz přibližně 3–9 m) pozorovat menší nárůst rychlostí na východní straně hráze v hloubce přibližně 6–8 m oproti profilům 1 a 2. Tento nárůst rychlostí značí spíše zpevnění hráze, než její nesoudržnost. Zbytek profilu zachytil opět kvartérní sedimenty postupně přecházející do granitového podloží.

Na základě výsledků ERT lze předpokládat, že hráz v místě průsaku (cca 23 m na profilu 1) může postrádat jemnozrnnou složku. To jí činí náchylnější k dalším

průsakům a erozi materiálu. Z výsledků MRS ani ERT nevyplývá současná přítomnost kaverny, nebo jinak výrazně oslabeného tělesa hráze.

6. Dopravní stavby

Aktivní zóna je složena z přibližně 80 cm šterku snad(?) 32/63 s $E_{def1} \sim 10$ MPa ($E_{def2} \sim 20$ MPa), což neplňuje požadavek ČSN 73 6133 na zhutnění aktivní zóny. Dle TP 170 je podloží pod šterkem pozemní komunikace složeno z podloží PIII s CBR < 2 %. $E_{def1} \sim 0,5 \cdot E_{def2} = 0,5-4$ MPa. Jedná se o skladbu dlouhodobě nevhodnou pro nákladní i osobní dopravu. Vzhledem k nízkému E_{def} je nutné hráz stabilizovat proti rozsedání a roztékání do stran. Lze toho dosáhnout pomocí vrstvy geobuněk umístěných do aktivní zóny.

Stabilita svahů hráze neodpovídá požadavku ČSN 73 6133 na $FS \geq 1,3$, ale po snížení hladiny podzemní vody stupeň stability postupně naroste. Je však nutné počítat s konsolidací hráze, což se projeví dalšími deformacemi.

7. Závěr

Posuzovaná hráz vykazuje velmi nízkou únosnost hodnocenou pomocí I. i II. MS (ČSN EN 1997-1). Dle stejné normy kap. 2 se jedná o min. 2. geotechnickou kategorii. Aktuálně **stabilita hráze zřejmě neodpovídá požadavku ČSN 73 6133 na $FS \geq 1,3$. Zeminy obsažené v hrázi jsou špatně zhutněné** (zejména v místě DPH3 a DPH4) a dochází k rozsedání (a roztékání) hráze. Toto se projevuje vznikem trhlin v obrusné vrstvě. Pro dlouhodobou stabilizaci je nutné provést výměnu aktivní zóny a zeminu stabilizovat za pomoci geobuněk, které zabrání roztékání do stran a protlačování.

Geofyzikální profilování **nezaznamenalo významné anomálie**, které by ukazovaly na sufozi zeminy homogenní hráze nebo na vznik kaveren. Je pravděpodobné, že v blízkosti sesutého svahu došlo k vypláchnutí jemnozrnných částic. Část hráze u výtoku byla rozplavena a posléze nahrazena hrubozrnnou sypaninou.

Vzhledem k stále havarijnímu stavu hráze je doporučeno **využívat pouze jeden pruh komunikace** (blíže k rybníku), **omezit průjezd všech vozidel nad 3,5 t** mimo autobusů IDS, záchranné služby, hasičů a vozidel údržby SÚS. Dokud nebude sanovaná hráz, není doporučeno rybník napouštět.

Sanaci hráze je třeba vyprojektovat na základě provedení podrobného geotechnického průzkumu, který se zaměří zejména na stanovení mechanických vlastností zemin podle ČSN EN 1997-2. **Dokud nebude vypočítaná stabilita hráze v současném stavu a po napuštění, nedoporučuji rybník napouštět.**

Brně dne 30.4.2024

Odborný řešitel: RNDr. Mgr. Ivan Poul, Ph.D., GIPENZ

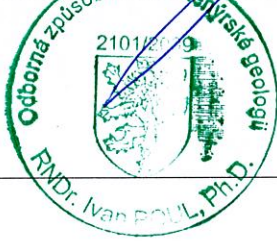
(jednatel Projekce iGEO s.r.o.)

autorizovaný inženýr pro geotechniku, č.a. 1005146

odborná způsobilost v inženýrské geologii 2101/2009

odborná způsobilost v geofyzice 2560/2021

oprávnění k provádění průzkumných a diagnostických prací pozemních komunikací 534/2022



PŘÍLOHY: