

Fine dining diagnostiky pro stavebníka, na menu máme geotechniku a geofyziku

Článek navazuje na ústní prezentaci na konferenci Podkladní vrstvy vozovek a zemní těleso (Brno, 2024), která představila metodiku geotechnického a geofyzikálního průzkumu pro pozemní komunikace v různých mimořádných situacích. Prezentace se zaměřila převážně na penetrační sondy, zatěžovací zkoušky deskou, průkazné laboratorní analýzy, geotechnické výpočty, mělkou refrakční seismiku (MRS) a vertikální odporovou tomografii (VRT).

Obecné informace o „geo“ průzkumech

Rozsah průzkumných prací pro pozemní komunikace stanovuje TP76A na str. 10 a dál jsou uvedena doporučení pro jednotlivé etapy, kde jsou specifikovány body, které by měly být splněny. Jedná se o popis přírodních poměrů, které jsou pro projektanta obecně obtížně použitelné, ale také průzkumné sondy, terénní a laboratorní testování, na základě kterých se potom již projektuje. Na základě geologického zákona 62/1988 Sb. a navazujících zákonů a vyhlášek je oprávněna provádět geologické průzkumné (v oboru inženýrská geologie a hydrogeologie § 2 písm. d) vyhl. č. 206/2001 Sb. a § 2 písm. c) vyhl. č. 206/2001 Sb.) práce pouze osoba s odbornou způsobilostí vydanou MŽP ČR. Geologické práce jsou popisem přírodních poměrů (vrty, bagrované sondy hlubší 2 m, skalní výchozy, odběry vzorků zemin a hornin a granulometrické klasifikace zemin apod.) definované českou legislativou. Průzkumy geofyzikální (neinvazivní a nedestruktivní) má provádět osoba s odbornou způsobilostí pro geofyziku (§ 2 písm. h) vyhlášky č. 206/2001 Sb.).

Mechanická testování zemin pod geologický zákon nespádají. Jedná se tedy o zatěžovací zkoušky deskou, penetrační sondy, návrtvy, dynamicky zarážené sondy, ale také laboratorní analýzy (efektivní smyková pevnost, stlačitelnost v oedometru, CBR...). Pokud projekt inženýrskogeologických prací dává dohromady inženýrský geolog, takový nese zodpovědnost pouze za rozsah popisu přírodních poměrů podle zákona č. 62/1988 Sb. a navazujících vyhlášek. Jedná se tedy o práce, které spadájí do kompetence § 2 d) vyhlášky č. 206/2001 Sb., a má se tak jednat o vrty, kopané šachty a např. analýzy zrnitosti a jiné popisné analýzy.

Při projektování např. penetračních sond a průkazných analýz mechaniky zemin (např. stlačitelnost v oedometru a smykovou pevnost) se jedná o překročení pravomocí ze strany inženýrského geologa, čímž mu (asi?) hrozí postih. Případně se jedná o překrocování zákona č. 62/1988 Sb. a autorizačního zákona č. 360/1992 Sb., kdy objednatel požaduje po geologovi provádět něco, co má provádět člen ČKAIT – geotechnik nebo akreditovaná/odborně způsobilá laboratoř. Znáte inženýrského geologa, který správně vyhodnocuje např. penetrační sondy? Může být, ale za svá zjištění nenese profesní zodpovědnost. Takže geolog vlastnosti odhadne pouze na základě „geologické zkušenos-

ti“ s odpovědností za vady na základě občanského zákoníku (89/2012 Sb. § 2172). Kvalita není definovaná, takže jsou chyby ve vyhodnocení vlastně nevyzpytatelné.

Geotechnický versus inženýrskogeologický průzkum

Pro projektování pozemních komunikací projektant potřebuje informace, které by mu měl předat dodavatel průzkumných prací, který disponuje patřičnou odborností a živnostenským listem. Mělo by se jednat o informace o úrovni hladiny pozemní vody, namrzavosti podloží v návaznosti na granulometrii a potom výsledky analýz CBR a pro většinu případů také Proctor standard určený k volbě skladby komunikace. Takové informace lze získat pomocí inženýrskogeologického průzkumu, který realizuje a vyhodnocuje odborně způsobilý inženýrský geolog. Jedná se o obecné popisné informace, které lze získat rešerší předpisů, norem a terénním průzkumem např. vrty.

Na druhou stranu geotechnický průzkum je zaměřený na stanovení mechanických vlastností základové půdy pro geotechnické/statické výpočty (sedání podloží pod násypem, únosnost základové spáry pro založení mostu aj.). Tyto vlastnosti, jak již bylo uvedeno dříve, jedná se o činnosti, které nespádají pod geologický zákon a doporučení charakteristických vlastností, by měl realizovat autorizovaný inženýr pro geotechniku, který za takovou činnost nese profesní zodpovědnost. Výsledkem by měl být numerický a grafický model podloží, kde vlastnosti zemin jsou funkcí, např. jejich hloubce pohřbení, saturací a očekávaných změn (HTÚ, přetížení od založení aj.). Jedná se o informace, které geolog, jenž neprovádí statické a stabilní výpočty, nemůže znát a získat.

Laboratorní analýzy

Pro získání diskretních informací o zemině používáme laboratorní (mechanické) analýzy. Výsledky dávají informaci o mechanice/proměnných vlastnostech pro daný materiál a hloubku odběru. Na základě dalšího testování lze předvídat chování zemin při změně napjatosti (přetížení, odlehčení) a změně saturace zemin. Použití pro složitější úlohy je ale omezené a projektant se musí spokojit s informací, že jedna daná vrstva (mocná i 10 m) má konstantní vlastnosti.

Terénní *in situ* testování

Cílem průzkumných prací je získat mechanické vlastnosti zemin na základě nějakého (pokročilého) modelu. Klasifikace na tzv. geotypy je vhodná pro 1. a 2. geotechnickou kategorii, kdy projektant nevyužívá speciálních postupů, které jsou nezbytné pro staticky náročné konstrukce a složité přírodní poměry. Abychom získali vhodný model, je třeba zeminy testovat nejen v laboratoři, ale také v terénu. Často jsou tak využívány zatěžovací zkoušky deskou (SZZD, ČSN 72 1006) průměru, který má odpovídat očekávané hloubce, do které se projeví změna napjatosti. Napětí by mělo odpovídat očekávané změně po umístění stavby (přílohy a a B dané normy jsou striktní). Hloubka dosahu zkoušky je daná Mohr-Andersonovým modelem, kdy dosah zkoušky (hloubku deformační zóny) ovlivňuje zejména průměr SZZD a také hrubost zeminy ~ úhel vnitřního tření (tabulka 1).

Pokud ale projektujeme 10 m vysoký násyp, sotva se nám podaří přesvědčit stavebníka, že potřebujeme v terénu (*in situ*) realizovat model v měříku 1:1. Abychom zeminy hlouběji prozkoumali, je nutné použít jiné metody, které se svým dosahem mají možnost prozkoumat hlubší partie.

Využití penetračních sond

Jedná se o metody nepřímé. Pro testování hlubších vrstev základové půdy využíváme dynamické penetrace (norma ČSN EN ISO 22476-2) a penetrace statické (ČSN EN ISO 22476-1). Využívání dynamických penetrací (DP) je relativně běžné. Schopný interpretátor (v souladu s ČSN EN 1997-2 kap. 4) dokáže (z N_{10}) získat ulehlost, přetvárné a smykové vlastnosti v případě hrubozrnných (nesoudržných) zemin. Horší je to ale v případě jílu. Lze sice stanovit konzistenci, ale jíl se lepí na soutyč a dynamická energie, která je nutná pro „posunutí“ hrotu o 10 cm je spotřebovávána na překonání tření. Po několika m v jílu počet úderů může závrtně vystoupit nad 100 (pro štěrk $I_p \sim 1,0$), ale co s tím? Výsledkem může být interpretace $E_{def} = 80$ MPa, což je obrovská chyba – hazard. Mezi „geo“ experty kolují různé metodiky, jak se takovým problémům vyhnout, lze využít měření torzního momentu a snížení počtu úderů, ale to funguje pouze omezeně. Pomocí dynamické penetrace lze diagnostikovat integritu svahu, který je porušen čerstvým sesuvem, kdy se smyková plocha projeví poklesem počtu úderů.

Tabulka 1: Velikost Poissonova čísla a ef. úhlu vnitřního tření v závislosti na granulometrii podloží určují hloubkový dosah zkoušky SZZD (samozřejmě) v závislosti na průměru desky

	Jíl	Prach	Písek	Písek hr.	Štěrk 0/32	Štěrk 0/63	Kameny
φ_{ef} (°)	20	25	30	35	40	45	50
ν (-)	0,40	0,37	0,33	0,30	0,26	0,23	0,19

Deska (mm)	Hloubkový dosah zkoušky (m)						
300	0,43	0,47	0,52	0,58	0,64	0,72	0,82
450	0,64	0,71	0,78	0,86	0,97	1,09	1,24
600	0,86	0,94	1,04	1,15	1,29	1,45	1,65

Dětskými nemocemi způsobenými třením jílu o soutyč i naopak netrpí výsledky statické penetrace (CPTu), kdy mechanické vlastnosti jsou měřeny elektrickým hrotem (q_c , f_s , u) a vliv soutyčí je zanedbatelný. Interpretací výsledků statické penetrace lze získat přetvárné a smykové parametry každý 1 cm + objemovou tíhu, koeficient filtrace, a dokonce je možné provést i klasifikaci zeminy. Pomocí dynamického pórového tlaku lze hledat smykové plochy sesuvů. Zní to naprosto fantasticky, ale výsledek není snadné získat tak snadno, neboť pro střední Evropu nemáme sestavený geomechanický model na korelaci. Takové „ty řecké softwary“ fungující na základě měření písků v Kalifornii příliš v ČR nefungují. Vhodné je výsledky kalibrovat s pomocí dalších dříve jmenovaných metod.

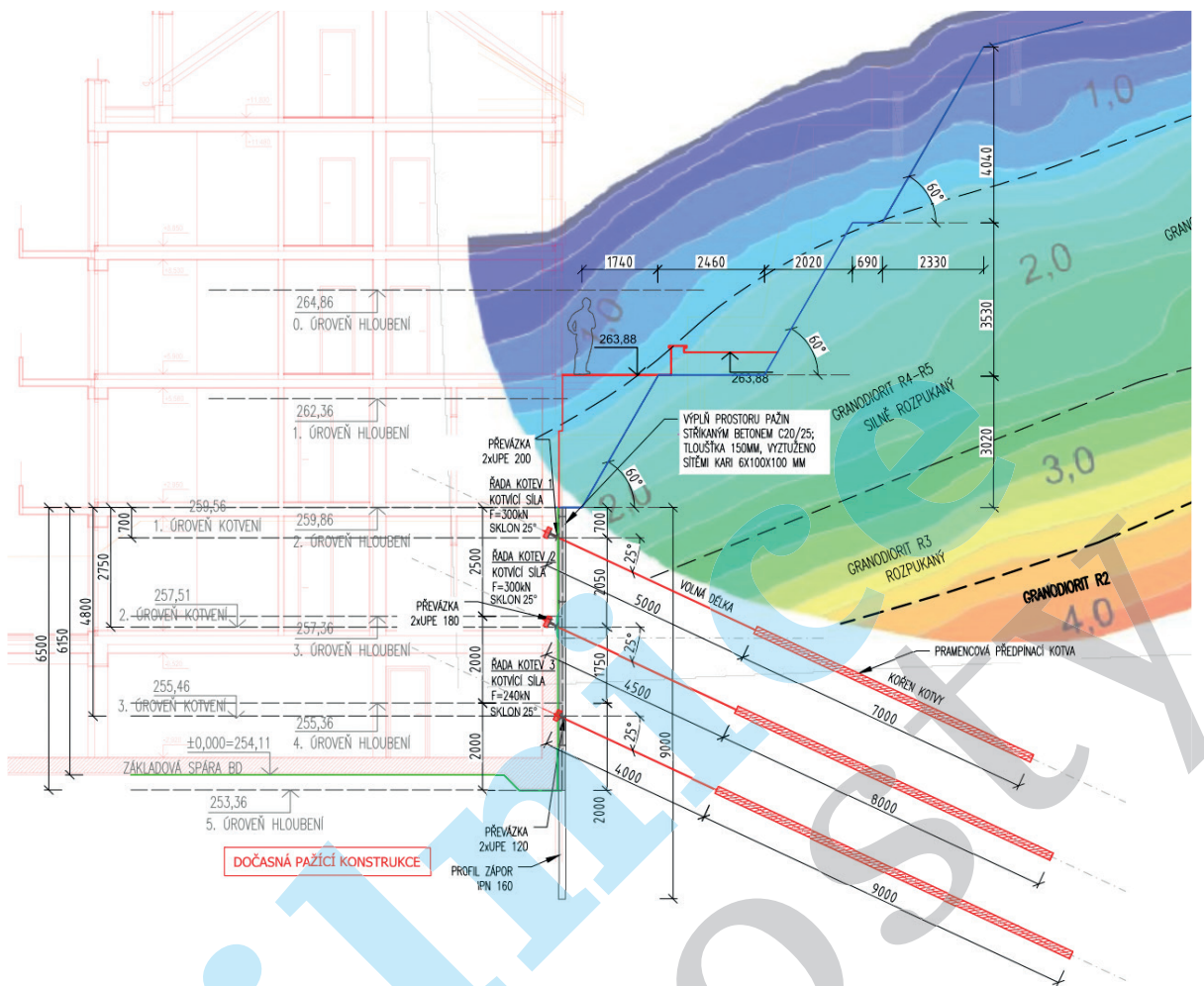
Ostatní metody

Mezi občas používané metody testování zemin patří presiometrie (ČSN EN ISO 22476-4) a dilatometrie (ČSN EN ISO 22476-11). Presiometry se stávají v průzkumech populárními, ale převedení presiometrického modulu E_p na E_{def} je pomocí koef. α , který je poněkud neznámý, a tak opět nastupuje analytické řešení. S dilatometrem nemám zkušenosti.

Geofyzikální metody

Geofyzikální metody patří mezi tzv. neinvazivní nepřímé, kdy relativně hojně užívané jsou mělké refrakční seismika (MRS) a vertikální odporová tomografie (VRT). Využití seismiky je vhodné na místech, kde nám rychlost šíření seismických vln představuje hustotu (kvalitu, zhutnění) podloží. Takové sondování je vhodné pro určování míry zvětrání skalního podloží (ve svahu), pro diagnostiku míry zhutnění násypu a také diagnostiku sypaných (homogenních) hrází. Pokud by se jednalo o seismiku, taková metoda potom dokáže v hloubce prvních km (i hlouběji) identifikovat významná rozhraní. Může se jednat o zlomy, velké dutiny a výrazná litologická rozhraní.

Tomografie je založená na měření odporu, který prostředí klade proti šíření elektrického proudu. Výborně vodivé jsou saturované jíly, které obsahují ideální elektrolyt (vodu s množstvím iontů), který odpor snižuje a intenzitu proudu zvyšuje. Naopak málo vodivým prostředím jsou (logicky) suché písky a štěrky. Jednotlivé horniny a zeminy mají odlišnou vodivost, která může



- Hrana navrženého svahu/navržené pažičí konstrukce
- Nově navržené konstrukce
- Demolované konstrukce
- Hrana stavební jámy
- Stávající nedemolované konstrukce
- Úroveň/etapa hloubení
- Úroveň/etapa kotvení
- █ Odsazení pažičí konstrukce od líce objektu
- █ Rezerva na průhyb pažičí konstrukce

- Dočasné pramencové přepínací kotvy, nutné umístit přesně do navrženého místa, počet pramenců: 7, průměr pramence 15,7 mm, průměr kořene 200 mm, výplň betonem C25/30, předpínací síla, sklon a typ převázky jsou popsány pro danou řadu kotví ve výkresové dokumentaci
- Zeminové/horninové hřeby Diwydag 25 mm, grad 75; délka a sklon specifikovány ve výkresové dokumentaci, během instalace je nutné dodržet postup stanovený výrobcem
- Záporové nosníky z válcovaných profilů IPN 160

Obrázek 1: Projekt zajištění 10 m stavební jámy ve strmém svahu zpracovaný na základě mechanického testování zvětralé horniny a využití MRS (lokality Brno – Kohoutovice), projekt Projekce iGEO s.r.o. (2022)

být na výsledku dobře patná. Metoda je skvělá pro práci na poddolovaném území, kde jsou jednotlivé štoly (i ty zasypané) výborně patrné. Je však nutné být obezřetný, kdy proud při velké vzdálenosti elektrod může štoly „obejít“. VRT je výborná pro diagnostiku násypů a hrází. Kdy lze rozpoznat změny v homogenitě zeminy i případné vodním proudem erodované dutiny. Mnohdy se však stává, že výsledkem jsou jen „jakési“ barevné fleky, které mají nízkou vypovídající hodnotu. Ne nadarmo se říká, že geofyzika je bez vrtu (v mém podání i penetrační sondy) slepá.

Závěr

Na závěr je možné uvést, že využití jedné metody (např. geology oblíbený vrt) může přinést využitelné výsledky, podle kterých

lze i něco posoudit a vyprojektovat. Pokud využijeme kombinaci různých metod, může být projektování vcelku i zábavné a projektant si může dovolit více experimentovat, neboť své úvahy opírá o výsledky získané průkaznými analýzami, osvědčenými postupy a s minimem „odhadů geologa na základě zkušenosti“. Pro rekonstrukce a havárie (zemětřesení, povodně, podkopání svahu a další) je nezbytné využití celé plejády metod, které se navzájem doplňují tak, aby bylo možné hypotézy a teorie přetavit v realitu a najít efektivní a bezpečné řešení podle platných norem. Příklady využití průzkumných a diagnostických metod byly představeny v mluvené prezentaci na konferenci.

RNDr. Mgr. Ivan Poul, Ph.D., Projekce iGEO s.r.o.