

Hluboké penetrační sondy na vnitřní výsypce lomu Jiří

RNDr. Martin Šípek¹, RNDr. Stanislav Chochlík²

¹Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s.; sipek@suas.cz

²Penetra, s.r.o.; chochlik@penetra.cz

Přijato: 28. 4. 2016, recenzováno: 11. a 22. 5. 2016

Abstrakt

Každou sondu, která splňuje hloubkovou podmínku $h > 50$ m, lze obecně považovat za hlubokou. Tento příspěvek se ale zabývá penetračními sondami, které se svou hloubkou blíží hranici 100 m, nebo ji dokonce překračují. Zájmová lokalita dosahuje v současnosti ve své centrální části mocnosti 120 m. Firma Penetra, s.r.o. si vypracovala technologii na realizaci extrémně hlubokých penetračních sond, takže i při této mocnosti výsypky se daří provádět měření, která plní svůj účel. Za využití tabulek je zdokumentován vývoj nebývale rozsáhlého penetračního průzkumu vnitřní výsypky Jiří, který dělá s bezmála 39 kilometry penetračních měření z této výsypky nejvíce propenetrovanou lokalitu v ČR. Z 807 penetračních sond, které byly v letech 1993 až 2015 provedeny v prostoru vnitřní výsypky Jiří, se podařilo realizovat již 18 sond, které překročily hranici $h > 100$ m. V případě sondy SPJ 36/18 z roku 2013 ($h = 114,0$ m) byl tak vytvořen rekord v hloubce penetrační sondy v ČR. V rámci realizace penetračních měření se podařilo na vnitřní výsypce Jiří zachytit vznik plastického jádra, které se začne vytvářet při bázi výsypky v případě překročení mezní mocnosti výsypky. Na závěr příspěvku je provedeno vzájemné porovnání možností terénních a laboratorních měření, a to jak z časového, tak i finančního hlediska.

Deep penetrating probes on the internal dump of the surface mine Jiří

Every penetrating probe that meets deep condition $h > 50$ m can generally be considered as a deep. The article, however, deals with penetrating probes, which are close to the depth of 100 m or even exceed it. The location of interest currently achieves in its central part the thickness of 120 m. The company Penetra, s.r.o. has developed the technology to implement extremely deep penetration probes, so that even for this thickness of the dump they are able to provide measurements, which fulfils its purpose. The tables document the development of an unprecedented large-scale penetration survey of the internal dump Jiří, which makes this dump the most surveyed internal dump in the Czech Republic with nearly 39 kilometres of penetration measurement. Of the 807 penetration probes, which were carried out between 1993 and 2015 in the area of internal dump Jiří, 18 probes achieved the depth threshold $h > 100$ m. In the case of the probe SPJ 36/18 from 2013 ($h = 114.0$ m), there was created the record at a depth of penetration probe in the Czech Republic. Within the framework of the penetrating measurements on the internal dump George, the formation of a plastic core, that begins to create at the base of the dump exceeding the limiting value of the dump thickness, was captured. The conclusion of the paper provides the comparison of the field and laboratory measurements options, both from a financial and time aspects as well.

Tiefe Penetrationssonden auf der Innenkippe des Tagebaus Jiří

Jede Sonde, die die Bedingung der Tiefe $h > 50$ m erfüllt, kann man allgemein für Tiefsonde halten. Dieser Beitrag befasst sich aber mit den Penetrationssonden, die sich mit ihrer Tiefe der Grenze 100 m nähern, oder sie sogar überschreiten. Die Interessenlokalität erreicht gegenwärtig in ihrem Zentralteil eine Mächtigkeit von 120 m. Die Firma Penetra, s.r.o. hat ein Verfahren für Durchführung der extrem tiefen Penetrierungssonden ausgearbeitet, sodass sich auch bei dieser Kippenhöhe gelingt, die Messungen vorzunehmen, die deren Zweck erfüllen. Unter Nutzung von Tabellen ist die Entwicklung einer außerordentlich umfangreichen Penetrationsuntersuchung von Innenkippe Jiří dokumentiert, die mit beinahe 39 km Penetrationsmessungen aus dieser Kippe die am meisten durchpenetrierte Lokalität Tschechiens macht. Aus 807 Penetrationssonden, die in Jahren 1993 bis 2015 im Raum der Innenkippe Jiří durchgeführt wurden, hat sich gelungen, bereits 18 Sonden umzusetzen, die die Grenze $h > 100$ m überschritten sind. Im Falle der Sonde SPJ 36/18 aus dem Jahr 2013 ($h = 114,0$ m) wurde so ein Rekord in der Tiefe einer Penetrationssonde in Tschechien geschafft. Im Rahmen der Umsetzung von Penetrationsmessungen hat sich auf der Innenkippe Jiří gelungen, die Entstehung eines plastischen Kerns aufzufangen, das sich bei der Kippenbasis im Falle der Überschreitung von Grenzmächtigkeit der Kippe zu gestalten beginnt. Zum Schluss des Artikels werden Möglichkeiten der Terrain- und Labormessungen verglichen, und zwar aus der zeitlichen sowie auch finanziellen Sicht.

Klíčová slova: geotechnický průzkum, penetrační měření, penetrační odpor, vnitřní výsypka Jiří, plastické jádro výsypky.

Keywords: geotechnical exploration, penetration, penetration resistance, inner dump Jiří, plastic core of dump.

1 Úvod

Statická penetrace se na Sokolovsku používá jako dominantní forma geotechnického průzkumu již od začátku 90. let., kdy se o její zavedení do praxe zasloužil Ing. Adolf Radl, CSc. Penetrační měření se na Sokolovské uhelné, a.s. používá při průzkumu jak skryvkových svahů, tak i výsypek (viz vnitřní výsypka Druž-

ba, vnitřní výsypka Jiří, Smolnická výsypka, Podkrušnohorská výsypka, vnitřní výsypka bývalého lomu Medard-Libík atd.). Tento příspěvek se ale zabývá pouze penetračním průzkumem vnitřní výsypky Jiří, kde se v posledních letech podařilo realizovat již několik desítek penetračních sond s hloubkou okolo 100 metrů (viz kapitola 4, tab. č. 2).

2 Penetrační průzkum vnitřní výsypky lomu Jiří

Systematický průzkum vnitřní výsypky Jiří za využití penetračních měření se provádí od roku 1993, resp. od roku 1995, kdy se realizovala první série opakovaných penetračních měření. V rámci těchto opakovaných měření je snaha umisťovat sondy do identických míst, aby bylo možné výsledky měření z jednotlivých let vzájemně porovnávat. Pro tento způsob geotechnického průzkumu se vžil označení následné penetrace a provádí se každoročně v centrální části vnitřní výsypky, ve třech profilech, které jsou vedeny ve směru postupu lomu. V roce 2015 se jednalo již o dvacátou sérii opakování penetračních měření. Nasazením soupravy pro hloubkovou statickou penetraci se daří již dvacet let plnit tři úkoly najednou – vyhodnocovat účinnost prováděných sanačních opatření (dlouhodobý úkol sledovaný OBÚ Sokolov), provádět monitoring výsypky a získávat vstupní data do stabilitních výpočtů postupů zakládání.

Pokus o vybudování tzv. stálého geotechnického monitorovacího systému (inklinometrické sondy na sledování vývoje horizontálních deformací, hydrosondy na sledování vývoje hladin podzemní vody, měřiče pórového tlaku) probíhal na vnitřní výsypce lomu Jiří v letech 2001 až 2005. Počátkem roku 2005 nezůstala funkční jediná sonda – všechny sondy zhavarovaly při prvním (max. druhém) nastavení. Tehdy se definitivně potvrdil názor, že vybudovat systém tzv. stálého sledování na výsypce, na které se v celé její ploše aktivně zakládá, je prakticky nemožné. Přitom udržet tento systém v provozu si vyžadovalo značné finanční vícenáklady (výšková nastavování sond, opravy poškozených sond, resp. kompletní instalace zničených sond), aby se nakonec prokázalo, že vynaložené úsilí (včetně vynaložených finančních prostředků) nebylo odpovídající získaným informacím o chování výsypky.

Vlastní problematikou stanovení varovných stavů pro geotechnický monitoring výsypky se zabýval odborný posudek Výzkumného ústavu pro hnědé uhlí a.s. (VÚHU a.s.) Most [1] s výsledkem, že aktualizované stupně bezpečnosti získané na základě stabilitních přepočtů vnitřní výsypky, ve kterých jsou zohledňovány skutečnosti zjištěné každoročně opakovaným penetračním průzkumem, splňují definici varovných stavů, tj. takto získané stupně bezpečnosti lze považovat za samotné varovné stavy.

Výsledky vyhodnocení následných penetrací slouží jako základní vstupní data do stabilitních výpočtů báňských postupů zakládání na vnitřní výsypce lomu Jiří pro příslušný rok (viz odborné posudky VÚHU a.s. Most „Stabilitní posouzení zpřesněného návrhu zakládání na vnitřní výsypce Jiří na rok...“). Při těchto stabilitních výpočtech se posuzují jednotlivé postupy zakládání (postupy jsou očíslovány a je nezbytné, aby provoz dodržoval jejich posloupnost) tak, aby všechny postupy zakládání při dodržení pořadí splňovaly požadavky báňských předpisů na bezpečnost (viz vyhláška ČBÚ č. 26/1989 Sb. ve znění vyhlášky č. 8/1994 Sb.). Přitom nejenom číselné výsledky penetračního průzkumu po statistickém zpracování (tj. hodnoty smykové pevnosti a přetvárné parametry) slouží jako základní vstupní data do stabilitních výpočtů báňských postupů zakládání. Pro tyto výpočty jsou neméně důležité i samotné grafické výstupy, ve kterých jsou zachyceny úložně-geologické (resp. geotechnické) poměry v posuzovaných profilech – tj. schematická stavba tělesa výsypky (uložení vrstev), průběh kontaktu výsypky s pod-



Obr. 1: Penetrační souprava umístěná na Tatře T815 v prostoru vnitřní výsypky Jiří.

ložím a především průběhy potenciálních smykových ploch s příslušnými parametry smykové pevnosti.

3 Vyhodnocení výsledků penetračního průzkumu

V rámci vyhodnocení výsledků penetračních měření se stanovují jak totální hodnoty smykové pevnosti (ϕ_u , c_u), tak i efektivní hodnoty pevnosti (ϕ_{ef} , c_{ef}) penetrované zeminy (sypaniny). Efektivní hodnoty smykové pevnosti ϕ_{ef} a c_{ef} se z penetračních měření nezískávají přímo jako výsledek měření, ale jedná se o převod totálních parametrů na efektivní parametry smykové pevnosti na základě úrovně výstupní hladiny podzemní vody naměřené v penetračním stvolu po ukončení měření. Při vyhodnocení výsledků penetračního průzkumu se využívá teoreticko-empirický převodník, který umožňuje na základě korelace stanovit z penetračního odporu smykové pevnostní vlastnosti zemin. Používaný korelační převodník, resp. korelační vztah $k_{\phi u}$ (pro totální úhel vnitřního tření), je výsledkem matematického modelování chování penetračního hrotu za využití metody MKP (metody konečných prvků) – viz závěrečná zpráva projektu GA ČR [2]. Vedle pevnostních vlastností se na základě výsledků penetračních měření stanovují i přetvárné vlastnosti sypaniny (modul přetvárnosti E_{def} a Poissonovo číslo ν) a lokální stupně bezpečnosti F_{lok} .

Základem pro vyhodnocení penetračního průzkumu je vyhledání minimálních hodnot odporu na penetračním záznamu. Těmito minimálními hodnotami odporu se metodou nejmenších čtverců proloží přímky, tzv. trendové přímky minim. Pomocí těchto trendových přímek se penetrační záznam příslušné sondy rozdělí na jednotlivé geomechanické vrstvy, pro které se v první fázi vyhodnocení stanovují hodnoty ϕ_u , c_u , E_{def}^u , ν_u , F_{lok}^u a ve druhé fázi vyhodnocení pak hodnoty ϕ_{ef} , c_{ef} , E_{def}^{ef} , ν_{ef} a F_{lok}^{ef} . Převodem parametrů trendové přímky minim (tj. směrnice přímky a průsečíku přímky s povrchem terénu) za využití vztahů označených jako „vztahy 1.1, 1.2 a 1.3“ lze získat parametry smykové pevnosti penetrované zeminy.

Odvození vztahů pro stanovení smykové pevnosti a přetvárných vlastností sypaniny není obsahem tohoto příspěvku - jedná se o poměrně rozsáhlý materiál, který by značně přesahoval rozsah tohoto článku. Pouze jako ukázka (prakticky bez podrobného vysvětlení jednotlivých pojmů) jsou níže uvedeny vztahy 1.1, 1.2 a 1.3 používané pro stanovení totálních hodnot smykové pevnosti:

$$q = \{ [(1 - \sin \varphi_c) \cdot \gamma \cdot h \cdot k_{\varphi_u} \cdot \operatorname{tg}^4 (45^\circ + \varphi_u/2) + 2c_u \cdot k_{\varphi_u} \cdot \operatorname{tg}^3 (45^\circ + \varphi_u/2) + 2c_u \cdot \operatorname{tg} (45^\circ + \varphi_u/2)]^2 + 3 \cdot [(1 - \sin \varphi_c) \cdot \gamma \cdot h \cdot k_{\varphi_u} \cdot \operatorname{tg}^2 (45^\circ + \varphi_u/2) + 2c_u \cdot k_{\varphi_u} \cdot \operatorname{tg} (45^\circ + \varphi_u/2)]^2 \}^{1/2} \quad (\text{vztah 1.1})$$

$$dq/dh = \{ [c_u \cdot \cos^3 \varphi_c / \gamma \cdot h + (1 - \sin \varphi_c) \gamma \cdot k_{\varphi_u} \cdot \operatorname{tg}_2 (45^\circ + \varphi_u/2) / q] \cdot [\sigma_1^x \cdot \operatorname{tg}^2 (45^\circ + \varphi_u/2) + 3 \cdot \sigma_3^x] \} \quad (\text{vztah 1.2})$$

$$c_u = \{ q_{h=0} / 2 \cdot \operatorname{tg} (45^\circ + \varphi_u/2) \cdot \{ [k_{\varphi_u} \cdot \operatorname{tg}^2 (45^\circ + \varphi_u/2) + 1]^2 + 3 \cdot k_{\varphi_u}^2 \}^{1/2} \} \cdot 0,34 \cdot e^{0,0472 \cdot \varphi_u} \quad (\text{vztah 1.3})$$

q odpor na hrotu v příslušné hloubce h

φ_c zdánlivý úhel vnitřního tření

dq/dh směrnice trendové přímky minim

$q_{h=0}$ odpor při povrchu, resp. průsečík trendové přímky minim s povrchem terénu

4 Stručný přehled vývoje penetračního průzkumu vnitřní výsypky

Za využití tabulek č. 1 a č. 2 je dokladováno, proč lze o vnitřní výsypce Jiří hovořit jako o bezkonkurenčně nejvíce penetrované lokalitě, a to minimálně v rámci ČR.

Z tabulky č. 1 je patrné, že takový rozsah penetračních měření prováděných za účelem geotechnického průzkumu, jaký byl v letech 1993 až 2015 realizován v prostoru vnitřní výsypky Jiří, nemá v ČR obdobu – za toto období bylo realizováno bezmála 39 km měření. Hranici 10 km měření se podařilo překročit v roce 2005 – po deseti letech průzkumu. Hranice 20 km měření padla za další 4 roky měření v roce 2009. V rámci navyšování rozsahu průzkumu, ke kterému došlo po sesuvu výsypky v roce 2009, byla hranice 30 km překonána již za 3 roky měření – a to v roce 2012. Hranici 40 km se zcela jistě podaří překročit při penetračních měřeních v roce 2016.

Z tabulky č. 1 je také patrné (viz „průměrná hloubka sondy“), jak se za sledované období změnil charakter této výsypky – z málo mocné výsypky (max. povolená mocnost výsypky byla stanovena na 37 m) zakládané na podloží se značným úklonem se změnila na velmi vysokou výsypku (mocnost výsypky běžně dosahuje hodnoty 120 m) zakládanou do protisvahu, neboť sloj Antonín již mírně stoupá ve směru postupu lomu Jiří. V dobách začí-

Tab. 1: Přehled sond.

Rok	Počet sond	Délka měření	Průměrná hloubka sondy	Celkový počet sond	Celková délka měření
1993	28	653,0 m	23,3 m	28	653,0 m
1994	19	213,2 m	11,2 m	47	866,2 m
1995	16	351,0 m	21,9 m	63	1 217,2 m
1996	49	1 009,4 m	20,6 m	112	2 226,6 m
1997	26	717,8 m	27,6 m	138	2 944,4 m
1998	33	903,4 m	27,4 m	171	3 847,8 m
1999	28	646,2 m	23,1 m	199	4 494,0 m
2000	11	348,8 m	31,7 m	210	4 842,8 m
2001	21	933,4 m	44,4 m	231	5 776,2 m
2002	15	628,8 m	41,9 m	246	6 405,0 m
2003	35	1 389,2 m	49,7 m pouze N.P.	281	7 794,2 m
2004	25	1 168,4 m	46,7 m	306	8 962,6 m
2005	39	1 938,0 m	52,8 m pouze N.P.	345	10 900,6 m
2006	53	2 751,2 m	53,5 m pouze N.P.	398	13 651,8 m
2007	45	2 421,8 m	53,8 m	443	16 073,6 m
2008	48	2 500,6 m	54,0 m pouze N.P.	491	18 574,2 m
2009	55	3 573,0 m	65,0 m	546	22 147,2 m
2010	55	3 151,0 m	66,2 m pouze N.P.	601	25 298,2 m
2011	46	2 827,8 m	71,2 m pouze N.P.	647	28 126,0 m
2012	45	2 610,8 m	68,3 m pouze N.P.	692	30 736,8 m
2013	33	2 505,6 m	77,3 m pouze N.P.	725	33 242,4 m
2014	48	3 147,6 m	67,9 m pouze N.P.	773	36 390,0 m
2015	34	2 509,4 m	75,3 m pouze N.P.	807	38 899,4 m

Pozn.: Zkratka „pouze N.P.“ (následné penetrace) znamená, že průměrná délka sondy v daném roce se stanovovala pouze z výsledků následných penetrací, tj. např. samostatné průzkumy patní části výsypky, průzkumy kontaktu lomů Družba a Jiří apod. se do tohoto průměru nezahrnovaly.

najícího geotechnického průzkumu představovala vnitřní výsypka Jiří plně zvodnělou výsypku postiženou sérií sesuvů z 80. let, na které zakládal celek TC1 cca 4 miliony m³ sypaniny ročně (při překročení těchto objemů docházelo obvykle k havárii). Aby bylo možné na takovouto výsypku zasadit celky TC2, byl v roce 1993 vypracován ve VÚHU a.s. Most soubor sanačních opatření s cílem změnit poměry na této výsypce na úroveň, aby bylo možné postupně v roce 1999 nasadit celek TC 2/2 a v roce 2004 celek TC 2/1 (tento celek byl oproti plánům nasazen na vnitřní výsypku o rok dříve) a zakládat na této výsypce objemy 18-20 milionů m³ sypaniny ročně.

Za využití hloubkového penetračního sondování se v období let 1993-2008 podařilo v zakládacím prostoru tzv. „horního“ celku TC 2/1 zachytit (a zmapovat) projevy sesuvů z let 1985-1994, které se v průběhu let spojily v jeden sesuvový celek. V roce 2001 se podařilo penetračním průzkumem zachytit projevy sesuvu, který byl iniciován pohybem tehdy čerstvě založené sypaniny po rozbrzděném povrchu výsypky v oblasti tzv. „Suez“ (pracovní označení prostoru, přes který bylo dlouhodobě převáděno povrchové odvodnění výsypky). Výsledky penetračních měření z let 2005 až 2008 postupně prokazovaly, že tyto dvě původně od sebe oddělené a na sobě nezávislé sesuvné oblasti se spojily v jedinou sesuvnou oblast, pro kterou byl charakteristický vý-

razný nárůst mocnosti smykových ploch. Penetrační průzkum v zakládacím prostoru tzv. „spodního“ celku TC 2/2 zachytil pevnostně výrazně oslabené vrstvy, které vznikly jako důsledek sesuvu vnitřní výsypky v roce 2003. Tímto sesuvem byl prakticky postižen celý zakládací prostor vnitřní výsypky mezi tehdejšími postavenými pasovými dopravníky PD 254 a PD 255, a to prakticky od severního až po jižní okraj lomu. Výsledky penetračních měření v letech 2006-2008 ukazovaly na skutečnost, že plošný rozsah tohoto sesuvu se v závislosti na čase postupně mírně rozšiřoval. Dále se penetračním průzkumem v prostoru tzv. „spodního“ celku TC 2/2 podařilo dokladovat lokální projevy nestability zakládaných vyšších etáží nad nedostatečně sanovanou retencí z roku 2002 a ujetí uhelného pilíře, ke kterému došlo v dubnu roku 2005 v prostoru mezi posuzovanými profily.

Ovšem za největší úspěch penetračního průzkumu na vnitřní výsypce Jiří lze považovat objevení vzniku plastického jádra při bázi výsypky a sledování jeho dalšího vývoje. V nesanované části vnitřní výsypky, která se prakticky kryla s tehdejšími zakládacím prostorem horního celku TC 2/1, zachytila vznikající plastické jádro v roce 2004 jedna sonda (SPJ 13A/9). V roce 2005 se již jednalo o 4 sondy. Od roku 2006 prakticky všechny sondy realizované v prostoru zakládání horního celku TC 2/1 zachytily neúnosné vrstvy a potvrdily tím názor, že neúnosná vrstva

Tab. 2: Počet sond překračující v daném roce hranici hloubky sondy.

Rok	Hloubka sondy $h >$								
	20 m	30 m	40 m	50 m	60 m	70 m	80 m	90 m	100 m
1993	21	1	0	0	0	0	0	0	0
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	8	2	0	0	0	0	0	0	0
1996	9	2	0	0	0	0	0	0	0
1997	15	6	1	0	0	0	0	0	0
1998	18	10	0	0	0	0	0	0	0
1999	13	5	0	0	0	0	0	0	0
2000	5	5	1	0	0	0	0	0	0
2001	3	5	6	5	2	0	0	0	0
2002	3	3	5	4	0	0	0	0	0
2003	7	8	10	6	2	0	0	0	0
2004	4	4	5	7	4	1	0	0	0
2005	5	6	5	11	7	2	1	0	0
2006	1	11	9	18	5	6	2	1	0
2007	3	4	5	18	10	4	0	0	0
2008	7	6	7	11	7	9	1	0	0
2009	3	2	11	6	6	12	13	2	0
2010	5	5	10	10	7	7	3	6	0
2011	2	2	14	6	4	7	3	7	0
2012	2	9	6	9	1	6	4	3	3
2013	0	5	3	7	0	4	6	3	5
2014	2	1	6	5	4	4	7	2	5
2015	1	1	3	5	5	5	5	4	5
Σ	137	103	107	128	64	67	45	28	18

plně zplastizovaných zemin při bázi výsyvky je prostorově prakticky celistvá a celek TC 2/1 ji pod sebou doslova vytváří v rámci svého postupu zakládání východním směrem. Na těchto neúnosných vrstvách (resp. smykových plochách) vznikajících v rámci překročení mezní mocnosti výsyvky byly naměřeny hodnoty penetračních odporů, které po převodu na totální parametry smykové pevnosti dosahovaly extrémně nízkých hodnot reziduální pevnosti ($\varphi_u \leq 3^\circ$, $c_u \leq 5$ kPa). V nesanované části výsyvky, postižené sesuvem v roce 2009, došlo k vytvoření plastického jádra při bázi výsyvky při mocnosti výsyvky cca 80 m.

V sanované části vnitřní výsyvky, tj. v aktuálně využívaném základacím prostoru vnitřní výsyvky, bylo vznikající plastické jádro při bázi výsyvky poprvé objeveno v roce 2010, a to v místech tzv. „sesuvu z roku 2003“, kde jej zaznamenaly sondy SPJ 36/15, SPJ 54/15 a SPJ 53/15. Skutečnost, že v sanované části výsyvky došlo k nárůstu mezní mocnosti cca o 40 m na hodnotu 120 m, lze zcela jednoznačně považovat za pozitivní důsledek účinnosti prováděných sanačních opatření, neboť došlo k nárůstu mezní mocnosti výsyvky o 50%. S ohledem na dosažení mezní mocnosti se neuvažuje ani v dalších letech s tím, že by projektovaná mocnost vnitřní výsyvky Jiří měla překročit hranici 120 m.

Z tabulky č. 2 je patrné, že hranici $h > 30$ m se podařilo překročit již při prvním průzkumu této výsyvky v roce 1993. Hranici $h > 40$ m se podařilo překonat za další 4 roky – v roce 1997. V roce 2001 se podařilo překročit hned dvě hranice najednou, a to hranici $h > 50$ m i $h > 60$ m. Přitom hloubku sondy $h > 50$ m lze obecně považovat za hranici, kdy lze hovořit o hlubokých penetračních sondách – od roku 2001 tedy lze v souvislosti s penetračním průzkumem vnitřní výsyvky Jiří hovořit o hlubokých sondách statické penetrace. V letech 2004 až 2006 padala každý rok jedna hloubková hranice za druhou – viz v roce 2004 hranice $h > 70$ m, v roce 2005 hranice $h > 80$ m a v roce 2006 pak padla hranice $h > 90$ m. Na hranici $h > 100$ m však bylo třeba počkat celých 6 let, než si realizační firma plně osvojila, resp. vypracovala technologii na realizaci extrémně hlubokých penetračních sond. Jak je patrné z tabulky č. 2, poprvé se podařilo překročit 100 metrovou hranici v roce 2012, a to rovnou na třech sondách s tím, že hloubka $h = 110,8$ m (sonda SPJ 54/17) představovala rekord v ČR. V roce 2013 se podařilo tento rekord dokonce překonat a dosáhnout hloubky $h = 114,0$ m (sonda SPJ 36/18). Při posledním průzkumu (v roce 2015) překročilo hranici 100 metrové hloubky celkem 5 sond. Největší hloubky se podařilo dosáhnout toho roku na sondě SPJ 71/20, a to konkrétně $h = 103,4$ m.

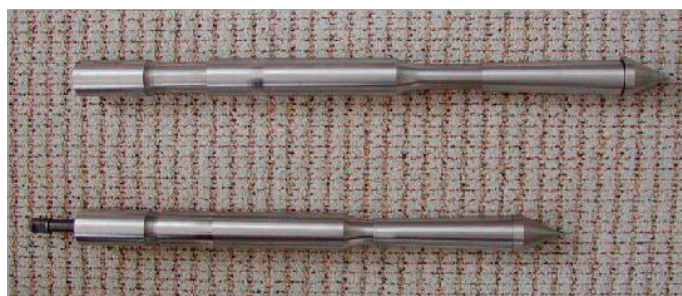
5 Technologie realizace hlubokých penetračních sond

Na výsyvkách SU, a.s. je v rámci zadání geotechnického průzkumu vždy požadováno provést sondu až do podloží výsyvky. Penetrační sondy o délkách (dále hloubkách) přesahující 50 m lze jen málokdy provést prostým zatlačováním soutyčí. S hloubkou narůstá celkové tření zeminy na penetrační soutyčí, které zvyšuje celkový penetrační odpor. Pro snížení tohoto tření se používá „snížovač tření“, který rozšiřuje penetrační stvol. Snížovač je umístěn cca 0,5 až 1 m za penetračním hrotem. Sondy o hloubce nad 70 m nelze realizovat s použitím běžného snížovače tření. Ke snížení tření se používá průběžné pažení penetrační sondy. Přes penetrační tyče o průměru 36 mm je přesouvána další kolona soutyčí o průměru 56/39 mm. První tyč je osazena roubíkovou vrtní korunkou, roubíky jsou přesazeny pro rozšíření vrtného

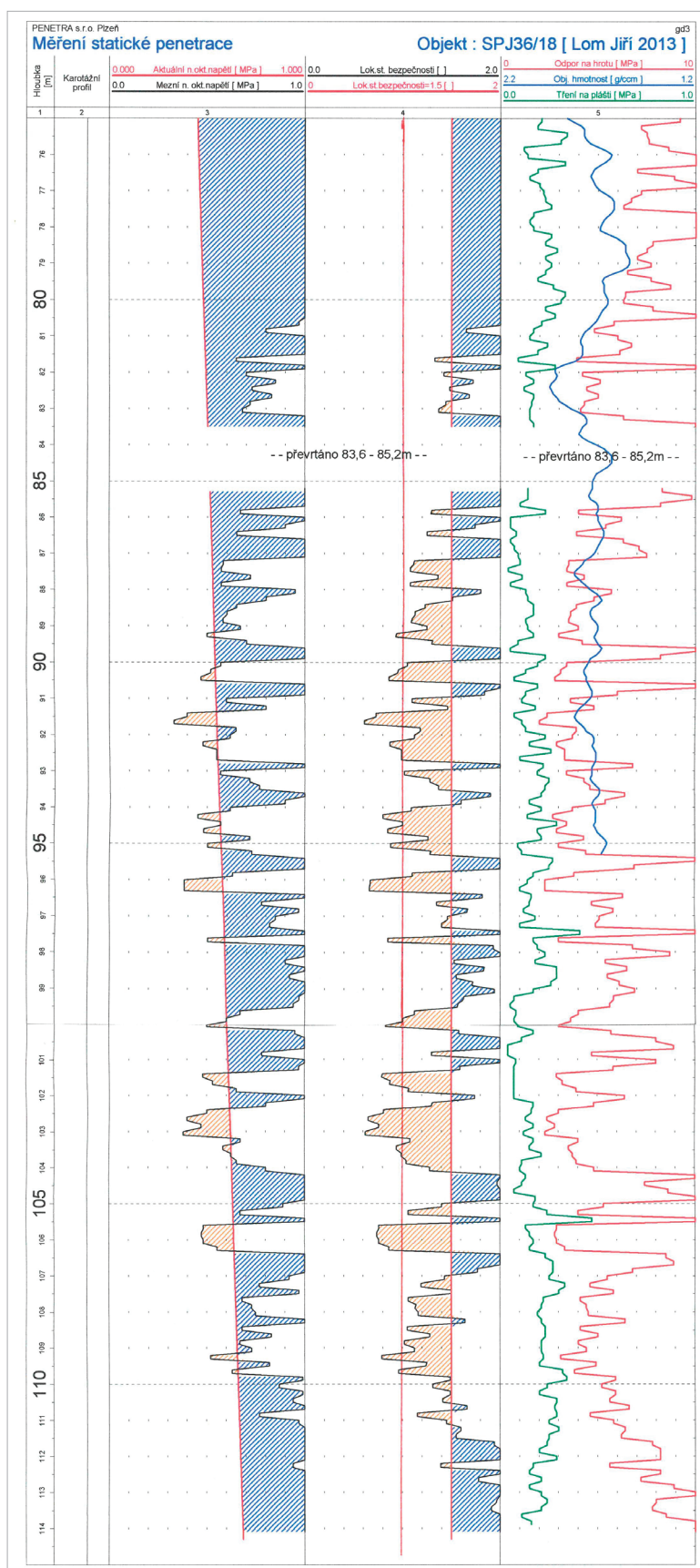


Obr. 2: Zatláčeč hydraulika od výrobce A.P. van den Berg Machinefabriek.

průměru. Korunka je průchozí pro penetrační soutyčí s hrotem. Tyče jsou zavrtávány do zeminy, pokud celkový odpor převyší 120 kN nebo pokud penetrační hrot narazí na obzvláště tvrdou polohu. Pro provádění tohoto postupu penetrace je souprava dále vybavena zařízením pro rotaci soutyčí (hydraulická vrtná hlava ROTAP-65) a proplach soutyčí (vysokotlaké čerpadlo PETO GC-60/50B s maximálním tlakem vody 60 atmosfér). Provádění hlubokých penetračních sond je časově i finančně náročné. Sondu o hloubce cca 50 m lze obvykle provést ve 2 pracovních dny. Sondu o hloubce cca 90–100 m provádějí 3 pracovníci 4 až 5 pracovních dní.



Obr. 3: Begemannův penetrační hrot v plně vysunutě a zasunutě poloze.



Obr. 4: Penetrační záznam sondy SPJ 36/18 (tzv. F_{okt} záznam) v hloubkovém intervalu 75,0-114,0 m, resp. ukázka plastického jádra při bázi výsypky.

Pozn. k obrázku č. 4: Všechny hodnoty odporu nacházející se v rozmezí $F_{\text{lok}} = 1,0$ až $F_{\text{lok}} = 1,5$ (hnědě vyšrafované) nevyhovují požadavkům na stabilitu svahu trvalého charakteru, kdy je požadován stupeň bezpečnosti splňující podmínku $F \geq 1,5$ – viz penetrační záznam ve středu obrázku č. 4 (Lok. st. bezpečnosti). Hodnoty odporu, které se nacházejí vlevo od svislé čáry $F_{\text{lok}} = 1,0$ (dodatečně přikreslené do obr. č. 4), představují sypaninu plně zplastizovanou, pro kterou platí $F_{\text{lok}} < 1,0$. Rozsah plastického jádra při bázi výsypky je také dobře patrný na penetračním záznamu, který se nachází na obrázku č. 4 zcela vlevo (Aktuální a mezní n. okt. napětí), kde jsou tyto plně zplastizované polohy hnědě vyšrafované.

Měření penetračních odporů je prováděno mechanickými Begemannovými hroty (viz obrázek č. 3). Následně je v penetračních stvolech prováděno měření objemové hmotnosti metodou gama-gama karotáže (GGK). Odklon penetračních sond od svislice je kontrolován inklinometrií. Čidlo IM je součástí sondy GGK. Odklon soutyčí od vertikály nepřesahuje obvykle 2 stupně. Malý odklon sond je dosažen zavrtáváním pažnic s minimálním přitlakem. Pokud se penetrační soutyčí výrazněji od vertikály odkloní, obvykle nelze sondu provést do požadované hloubky a navíc hrozí havárie penetrační kolony. Hladina vody v sondách je zjišťována elektrickým hladinoměrem. Měření objemové hmotnosti metodou gama-gama karotáže (GGK) je prováděno přes pomocné pažení, a to pouze do tlaků (hloubek) bezpečných z hlediska havárie zářiče. K měření je používán izotop Cs^{137} . Sonda je v otevřeném penetračním stvolu cejchována na měření absolutních hodnot objemové hmotnosti v jednotkách $[g \cdot cm^{-3}]$. Při měření v pažnicích je nutno zjistit opravný koeficient na vliv pažnic. Oprava na pažnice je stanovena experimentálně z rozdílu měření v pažnici a volném stvolu.

Výsledky měření statické penetrace jsou po základním zpracování předávány v grafické, tabulkové a elektronické formě. Pro rychlé orientační posouzení výsledků penetračního měření jsou, dle metodiky Ing. Adolfa Radla CSc., předávány také záznamy s vypočtenými hodnotami mezních normálových oktaedrických napětí (MNON), aktuálních normálových oktaedrických napětí (ANON) a lokálních stupňů bezpečnosti – viz obrázek č. 4, na kterém je uveden tzv. F_{okt} záznam penetrační sondy SPJ 36/18 z roku 2013. Tato metodika vyhodnocení je využívána při veřejné prezentaci výsledků měření pro její značnou názornost, neboť je i laikovi poměrně snadno vysvětlitelná.

Jak již bylo v tomto příspěvku několikrát zmíněno, v centrální části vnitřní výsypky Jiří dosahuje mocnost výsypky hodnoty 120 m. Každý, kdo se zabýval problematikou stability vnitřní výsypky Jiří, zjistil, že o stabilitních poměrech rozhodují zcela zásadní měrou pevnostní poměry při bázi výsypky. V případě, že není možné si ověřit poměry právě při bázi výsypky, ztrácí jakýkoliv geotechnický průzkum, včetně penetračního, více-méně smysl. Vzhledem k možnosti dosahovat hloubek $h > 100$ m, lze pokračovat v geotechnickém průzkumu vnitřní výsypky Jiří a projektovat, resp. posuzovat postupy zakládání na této výsypce i při její opravdu značné mocnosti.

6 Technologie realizace hlubokých penetračních sond

Na příkladu následných penetrací z roku 2015 (dvacáté série opakovaných měření), v rámci kterých bylo realizováno 33 penetračních sond o celkové délce měření 2 484,0 m [3], je možné demonstrovat přednosti penetračního průzkumu oproti tzv. klasickému způsobu získávání vstupních dat do stabilitních výpočtů, tj. oproti laboratorním měřením (krabicová zkouška, triaxiální zkouška, edometrická zkouška) na odebraných vzorcích z inženýrsko-geologického vrtnu.

Pozn. k tabulce č. 1: V roce 2015 byla realizována ještě jedna penetrační sonda (OZ 2/2015) o hloubce $h = 25,4$ m, a to v rámci řešení problematiky sanace sesuvu vnitřní výsypky Jiří z roku 2009.

Penetrační záznam nám poskytuje komplexní soubor pevnostních dat. Při penetračních průzkumech se měří každých

20 cm, takže v roce 2015 bylo při 2 484 metrech penetračních měření získáno $5 \times 2\,484 = 12\,420$ pevnostních údajů (dat). V rámci vyhodnocení penetračních měření jsou trendové přímky vedeny pevnostními minimy, neboť o pevnostních poměrech výsypky rozhodují právě pevnostně nejslabší polohy – rozhodně ne pevnostně nejlepší, které se „de facto“ v rámci interpretace penetračních měření přehlíží. Vzhledem k hustotě dat, která jsou v rámci vyhodnocení penetračních měření k dispozici, nelze tato pevnostní minima prakticky minout. Totéž však nelze konstatovat o laboratorních měřeních založených na náhodném výběru odebraných vzorků z různých hloubkových poloh. Vzhledem k omezenému počtu odebraných vzorků (oproti množství dat z penetračního záznamu sondy) nemohou laboratorní měření poskytnout obdobně komplexní obraz o pevnostních poměrech jako penetrační měření. Při laboratorním měření jsme zcela odkázáni na náhodu, jaké pevnostní polohy si zrovna vybereme. Mohou nastat případy, resp. tyto případy také často nastávají, že laboratorní měření je provedeno na lokálním pevnostním maximu, které by bylo v rámci vyhodnocení penetračních měření zcela ignorováno, neboť vůbec nereprezentuje v dané hloubce odběru pevnostně nejslabší polohu ve výsypce. V rámci porovnání výsledků měření penetrace-laboratoř se ukazuje, že se nemají výsledky laboratorních měření porovnávat s trendovou přímkou, která je vedena přes lokální minima, ale mají se porovnávat s hodnotou odporu, která byla v dané hloubce odběru vzorku naměřena. Potom však v případech, kdy se penetrační odpor v hloubce odběru vzorku nachází na penetračním záznamu příslušné sondy výrazně vpravo od průběhu trendové přímky minim (tj. v oblasti vyšších hodnot odporu), získáme na základě laboratorních měření také vyšší hodnoty smykové pevnosti než při penetračních měřeních. Především se to týká hodnot soudržnosti.

Pozn.: Výše uvedené konstatování, že penetračním měřením můžeme získat nižší hodnoty pevnostních parametrů než laboratorním měřením na odebraných vzorcích, se vztahuje především na vrcholové hodnoty smykové pevnosti stanovené krabicovou smykovou zkouškou. Lze předpokládat, že reziduální hodnoty pevnosti zjištěné krabicovou zkouškou budou lépe korespondovat s výsledky terénních penetračních měření.

Samozřejmě, že je možné provést více odběrů vzorků, aby obraz o pevnostních poměrech výsypky byl úplnější, ale tím značně naroste cena za laboratorní měření a čas na realizaci těchto měření. V případě následných penetrací z roku 2015 by se totiž muselo odebrat více než 12 000 vzorků a provést na nich laboratorní měření, kdyby se požadovalo dosáhnout obdobnou hustotu dat jako při penetračním měření. Cena za odběr a měření na 12 400 vzorcích by se pohybovala v desítkách milionů korun. Doba realizace takto rozsáhlého souboru laboratorních měření by se pohybovala v prvních jednotkách let. Přitom interpretace penetračního záznamu jedné sondy trvá v závislosti na hloubce sondy od jednoho dne ($h < 50$ m) po maximálně dva až tři dny ($h = \text{cca } 70\text{--}100$ m). Totéž platí o realizaci hluboké penetrační sondy, která se pohybuje v prvních jednotkách dnů. Doba realizace hlubokého vrtnu by se pohybovala v jednotkách týdnů. K tomu nesmíme zapomenout přičíst cenu na 2,5 km vrtných prací (cca lze odhadnout, že by se jednalo minimálně o 5 milionů Kč) s tím, že vrty ve výsypce přesahující hloubku 50 m jsou již velmi obtížně realizovatelné, resp. by tomu odpovídala cena

za jejich realizaci, která by výše odhadovanou cenu zmnohonásobila. V rámci tohoto výše uvedeného porovnání měření penetrace-laboratoř se dostáváme k nesporným výhodám penetračního průzkumu – a těmi jsou na jedné straně jeho rychlost a relativně nízká cena, na druhé straně pak komplexnost obrazu o pevnostních poměrech výsypkového tělesa při skoro nemožnosti minout pevnostní minima výsypky, která rozhodují o stabilitních poměrech. A to všechno je korunováno možností dosáhnout hloubek překračujících hranici 100 m. Z výše uvedeného porovnání měření penetrace-laboratoř je patrné, že jak z časového, tak i finančního hlediska jsme řádově někde jinde, ale v každém případě ve prospěch penetračních měření.

7 Námět k diskuzi

Autorům tohoto příspěvku není v současnosti známo, jakými jinými prostředky geotechnického průzkumu by se dařilo dosahovat obdobných výsledků při průzkumu výsypky o mocnosti $h > 100$ m, a to jak po stránce kvantity, tak i kvality vstupů do stabilitních výpočtů, než právě cestou penetračního průzkumu, který je schopen dosahovat do oblasti při bázi výsypky.

Literatura

- [1] DYKAST, I.: Stanovení varovných stavů pro chování tělesa vnitřní výsypky Jiří. Odborný posudek, VÚHU a.s., Most, č. 205/2000, 2000.
- [2] ŠÍPEK, M., KURKA, J., VAIDIŠOVÁ, L.: Přímá komparace výsledků terénního geotechnického měření a výsledků laboratorních měření na triaxiálním přístroji. Závěrečná zpráva projektu GA ČR č.105/03/0992, VÚHU a.s., Most, číslo OGTR-107/05, 2005.
- [3] ŠÍPEK, M.: Vyhodnocení účinnosti sanačních opatření na vnitřní výsypce lomu Jiří – 20. dodatek (za rok 2015). Interní zpráva, SU, a.s., Sokolov, 2016.