

RNDr. Martin Šípek, Sokolovská uhelná a.s.

Vyhodnocení penetračních měření realizovaných na vnitřní výsypce lomu Jiří

Auswertung der an der Innenkippe des Tagebaues Jiří realisierten Penetrationsmessungen

In den Raum der Innenkippe des Tagebaues Jiří soll schon im Jahre 1999 der erste von zwei geplanten Absetzern der Leistungsklasse TC2 eingesetzt werden. Weil es sich um eine in der Vergangenheit mit wiederholten Ausdrücken der Instabilität betroffene Lokalität handelt, ist die Stabilität der Innenkippe im Zusammenhang mit ihrer Kapazitätserhöhung durch TC2 höchstens aktuell. Auf der Innenkippe wird fortlaufend ein Monitoringsystem gebaut, dessen unteilbarer Bestandteil auch eine durchlaufende Erprobung veränderlicher geomechanischer Eigenschaften der in vorhandener Innenkippe gelagerten Böden ist. Zur Erprobung wurde die Methode der statischen Penetration gewählt. Im Beitrag werden einige durch diese Methode gewonnene Ergebnisse eingeführt, z.B. Ausdrücke instabiler Teilsituationen oder Einflüsse des durchdringenden Grundwassers auf die Bodenqualität. Im Artikel ist auch die Art der Applikation der Ergebnisse von Penetrationssondierung eingeführt, die für Erprobung der Richtigkeit bei der Stabilitätsausrechnung der Totalparameter der Scherfestigkeit angewendet wird.

Evaluation of penetration measurements realized on internal dump of the opencast mine Jiří

Into the area of internal dump of the opencast mine Jiří it is to put on already in 1999 the first from total two considered dumping machines of the output class TC2. As it deals with locality that was in the last time affected with repeated demonstrations of instability, the stability problems of the dump in connection with its giving into capacity by means of TC2 is highly topical. On the dump it is gradually built up monitoring system its integral part is also the running verification of variable geomechanical properties of soils laid in

present dump. For verification it was chosen the method of statical penetration. In article there are mentioned some interesting results gained by this method, f.e. manifestations of partial unstable situations or influences of penetrating underground waters on soil quality. In the article it is also described the way of results application of penetration probing for verification of correctness in stability calculations of used total parameters of shear strength.

Оценка результатов пенетрационных измерений, осуществляемых на внутреннем отвале угольного разреза "Иржи" (Соколовский бассейн)

В пространстве внутреннего отвала разреза "Иржи" должен уже в 1999 г. работать первый из всего двух предусмотренных отвалообразователей класса производительности ТК-2. Так как в данном разрезе в прошлом встречались повторные явления неустойчивости, является проблема сохранения устойчивого отвала в связи с повышением его мощности комплектом ТК-2 крайне актуальной. На отвале постепенно внедряется система мониторинга, неотделимой частью которой является также промежуточная проверка переменных геотехнических свойств залегающих в имеющемся отвале грунтов. Для заверения был выбран метод статической пенетрации. В статье даются некоторые интересные результаты, полученные на основе этого метода, например, явления частичных ситуаций неустойчивости или влияний проникновения подземных вод на качество грунтов. В статье также описывается способ приложения результатов пенетрационного зондирования для проверки верности в расчетах устойчивости используемых тотальных параметров прочности на срез.

Vyhodnocení penetračních měření realizovaných na vnitřní výsypce lomu Jiří

Do prostoru vnitřní výsypky lomu Jiří má být již v roce 1999 nasazen první z celkem dvou uvažovaných zakladačů výkonové třídy TC2. Protože se jedná o lokalitu v minulosti postiženou opakovanými projevy nestability, je stabilitní problematika výsypky v souvislosti s jejím zkapacitněním pomocí TC2 nanejvýš aktuální. Na výsypce je postupně budován monitorovací systém, jehož nedílnou součástí je i průběžné ověřování

proměnných geomechanických vlastností zemin uložených ve stávající výsypce. K ověřování byla zvolena metoda statické penetrace. V článku jsou uvedeny některé zajímavé výsledky získané touto metodou, např. projevy dílčích nestabilních situací nebo vlivy pronikajících podzemních vod na kvalitu zemin. V článku je též popsán způsob aplikace výsledků penetračního sondování pro ověření správnosti ve stabilitních výpočtech používaných totálních parametrů smykové pevnosti.

Vnitřní výsypka lomu Jiří

V prostoru vnitřní výsypky lomu Jiří zakládají v současnosti TC 1 (technologické celky první generace) skrývku ze spodních řezů. Po vyčerpání kapacity vnější výsypky (jedná se o Podkrušnohorský výsypkový komplex) mají podle projektových záměrů postupně přejít na vnitřní výsypku lomu Jiří ještě dva zakladače TC 2 (technologické celky druhé generace). První zakladač TC 2 má být nasazen již v roce 1999.

Na vnitřní výsypce lomu Jiří se však jedná o prostor na zakládání, jenž byl v minulosti postižen několika sesuvy. Značný úklon podloží výsypky (cca 4°) je jednou z příčin, jež se výraznou měrou podílela na těchto sesuvech. Dalším nepříznivým faktorem je skutečnost, že těleso výsypky je dotováno značným množstvím vody. Tuto skutečnost mimo jiné dokladuje neustálý nárůst výstupní hladiny podzemní vody v penetračních stvolech.

Profil C-C'

Nejenom ze stabilitních výpočtů, ale i z výsledků penetračního průzkumu se ukazuje, že stabilitně nejméně vyhovující část výsypky je v prostoru profilu označeného profil C-C'. Důvodem, proč profil C-C' ze všech posuzovaných profilů pokrývajících prostor vnitřní výsypky představuje stabilitně nejkritičtější místo, je skutečnost, že prakticky celým svým průběhem prochází přes střední části bývalých retenčních nádrží lomu. Penetrační průzkumy, probíhající od roku 1993, neustále potvrzují, že profil C-C' vyžaduje, aby právě jemu byla věnována zvýšená pozornost nejenom při posuzování současné stability vnitřní výsypky, ale i při posuzování stability projektovaných stavů zahrnujících nasazené TC 2.

Následné penetrace v profilu C-C'

V posledních letech byl na vnitřní výsypce vybudován monitorovací systém sledující její stabilitu. Nedílnou součástí tohoto monitorovacího systému je pravidelné provádění následných penetrací na vybraných místech v tělese výsypky. Tato vybraná místa jsou všechna situována do profilu C-C'. Pomocí každoročně prováděných následných penetrací, kdy je neustále penetrováno prakticky identické místo v tělese výsypky, se sleduje dlouhodobé chování výsypky a účinnost sanačních opatření prováděných v patní části výsypky (tato opatření se realizují za účelem nasazení TC 2).

Pomocí těchto následných penetrací se podařilo zachytit a dokumentovat projevy sesuvu, při kterém se největší pohyby tělesa výsypky odehrávaly právě v profilu C-C'. V roce 1994 způsobily komplikované báňské podmínky na skrývkové i zakládací straně lomu Jiří, že provoz byl nucen zakládat v prostoru, resp. horizontu vnitřní výsypky, kde zakládání bylo spojeno s určitým rizikem. V prosinci 1994 pak došlo v prostoru zakládání k lokálnímu sesuvu. Na penetračních záznamech je patrné výrazné zhoršení stabilitních poměrů, ke kterému došlo po založení hmot do daného prostoru - viz obr. 1 a 2. Je třeba zdůraznit, že v obou případech se jedná o dvě měření realizovaná na stejném místě, ale pouze s časovým odstupem - první měření jsou z roku 1993 (před zakládáním), druhá z roku 1995 (po zakládání).

Sondy SPJ 13 resp. SPJ 130 byly situovány přímo do místa zakládání (viz obr. 1 - výška přísypu 7 m), kde v roce 1994 byla na povrchu výsypky zřetelná horní hrana tělesa sesuvu. Výrazné zhoršení lokálních stabilitních poměrů v daném místě je z penetračních záznamů zřejmé - mocnost neúnosné vrstvy se zvětšila z 1 m na 12 m, odpor na penetračním hrotu klesl z $q = 0.7 \text{ MPa}$ na $q = 0.3 \text{ MPa}$.

Je zajímavé, že sondy SPJ 14 resp. SPJ 140 se již nacházely mimo prostor zakládání (a to nad místem zakládání - viz obr. 2 - nulová výška přísypu), ale hlavně již daleko (cca 200 m) od tělesa sesuvu, ale ze záznamu penetrace je zřejmé, že i zde došlo k výraznému zhoršení lokálních stabilitních poměrů - mocnost neúnosné vrstvy se zvětšila ze 7 m na 10 m, odpor na penetračním hrotu klesl z $q = 0.6 \text{ MPa}$ na $q = 0.3 \text{ MPa}$. Přitom ale na povrchu výsypky v místě sond SPJ 14 a SPJ 140 již nebyly patrné žádné pohyby výsypky. I z ostatních penetračních sond, které však zde nejsou uváděny, je patrné, že prostor, ve kterém došlo ke zhoršení stabilitních poměrů, byl výrazně větší než prostor, který byl na povrchu výsypky zřetelně vymezen tělesem sesuvu.

Pomocí následných penetrací se podařilo také zachytit pronikání vody do tělesa výsypky - viz obr. 3. Výrazné snížení odporu na penetračním hrotu je způsobeno vodou, která pronikla do příslušné hloubky. Hloubka zachycení této vody velmi dobře koresponduje s výškou přísypu, takže vše nasvědčuje tomu, že tato voda se pohybuje v tělese výsypky po povrchu bývalé etáže.

Vyhodnocení penetračních měření

Stabilitní problematikou vnitřní výsypky lomu Jiří se zabývá Výzkumný ústav pro hnědé uhlí v Mostě. Na základě zpětných přepočtů byly v prostoru bývalých skluzů pro oblast kontaktu výsypky s podložím (tedy oblast, do které je umístována smyková plocha) stanoveny totální hodnoty smykové pevnosti - úhel vnitřního tření $\varphi = 3^\circ$ a soudržnost $c = 5 \text{ kPa}$.

V prostoru mimo bývalé skluzy pro oblast kontaktu výsypky s podložím byly na základě zpětných přepočtů stanoveny totální hodnoty smykové pevnosti - úhel vnitřního tření $\varphi = 5^\circ$ a soudržnost $c = 10 \text{ kPa}$.

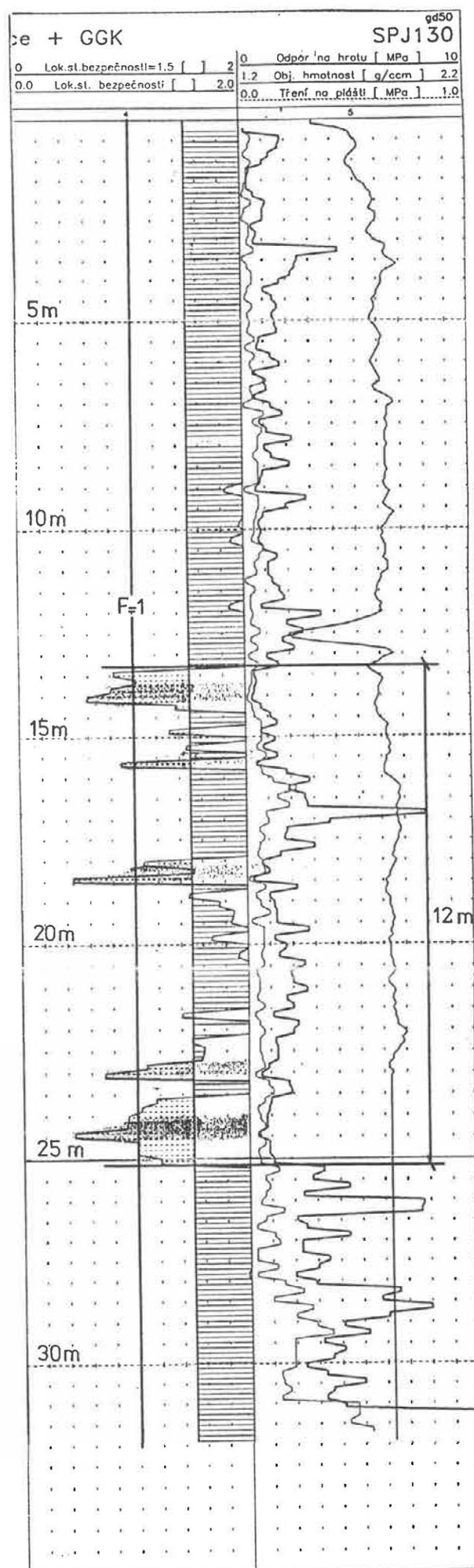
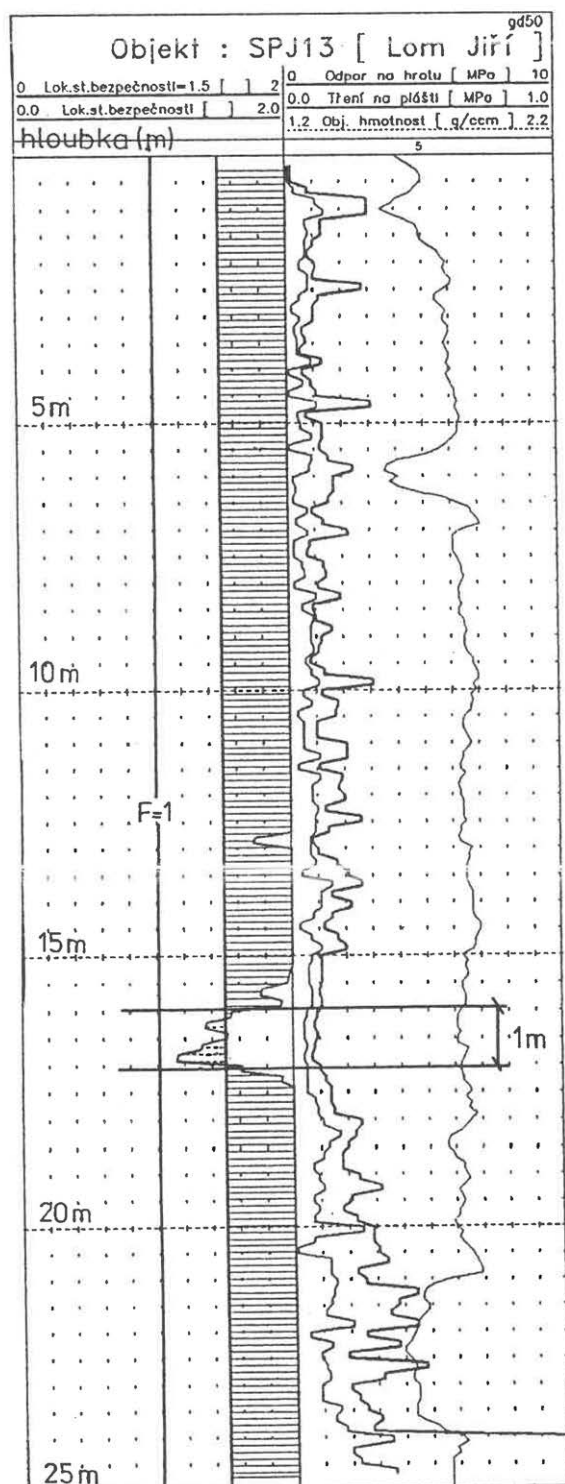
Při zpracování a vyhodnocení výsledků penetračních měření, jež se postupně realizovala v prostoru vnitřní výsypky lomu Jiří v letech 1993 až 1996, se sledovalo, jestli se podaří penetrací zachytit rozdíly mezi jednotlivými oblastmi vnitřní výsypky (konkrétně mezi oblastí sesuvu a oblastí mimo sesuv) a jestli se vůbec podaří zachytit, a tím pádem i potvrdit tzv. kontakt výsypky s podložím - tj. oblast, do které je situována smyková plocha.

Obr. č.1 - Následná penetrace
(sondy realizované na identickém místě)

sonda SPJ 13 srpen 1993

sonda SPJ 130 ... červenec 1995 (přisypáno cca 7 m)

F ... lokální stupeň bezpečnosti



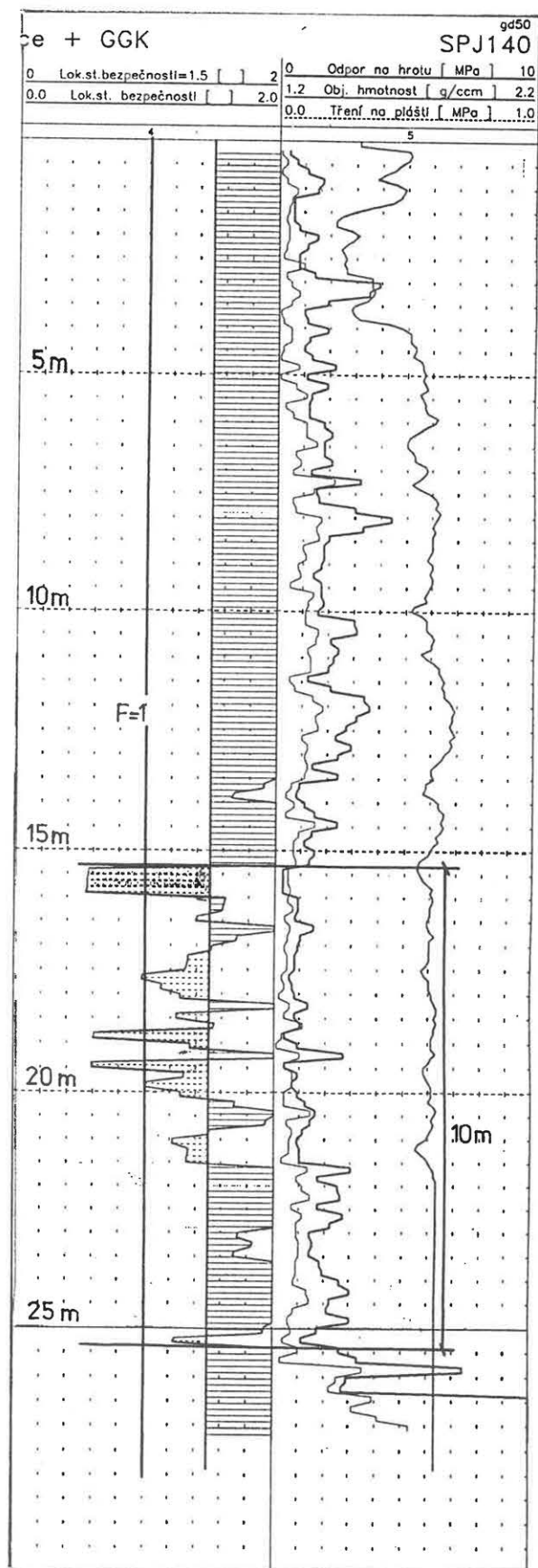
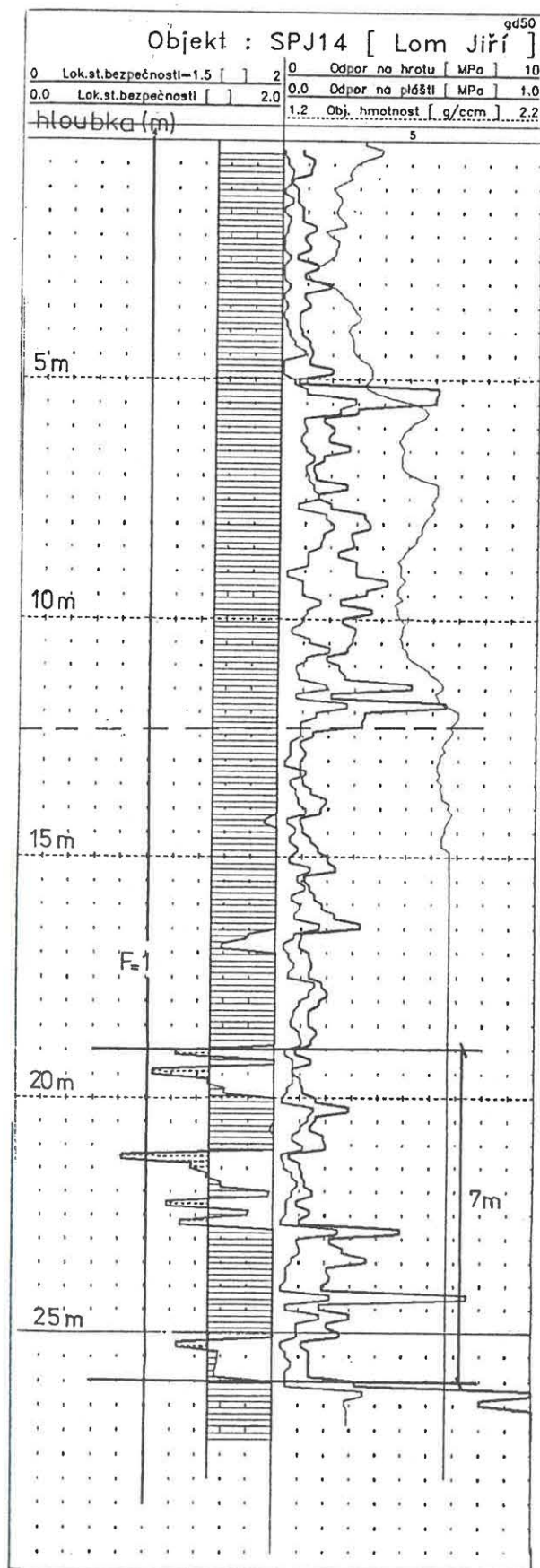
Obr. č.2 - Následná penetrace
(sondy realizované na identickém místě)

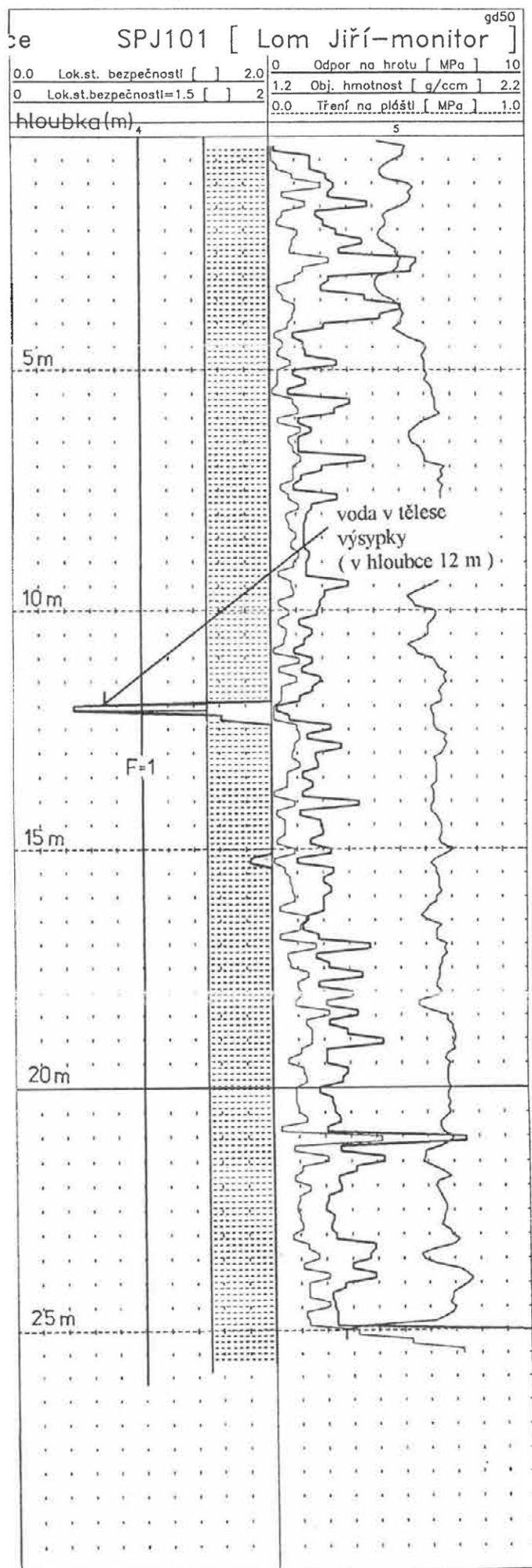
Zpravodaj Hnědé uhlí II/97

sonda SPJ 14 srpen 1993

sonda SPJ 140 ... červenec 1995 (nepřisypáno)

F ... lokální stupeň bezpečnosti

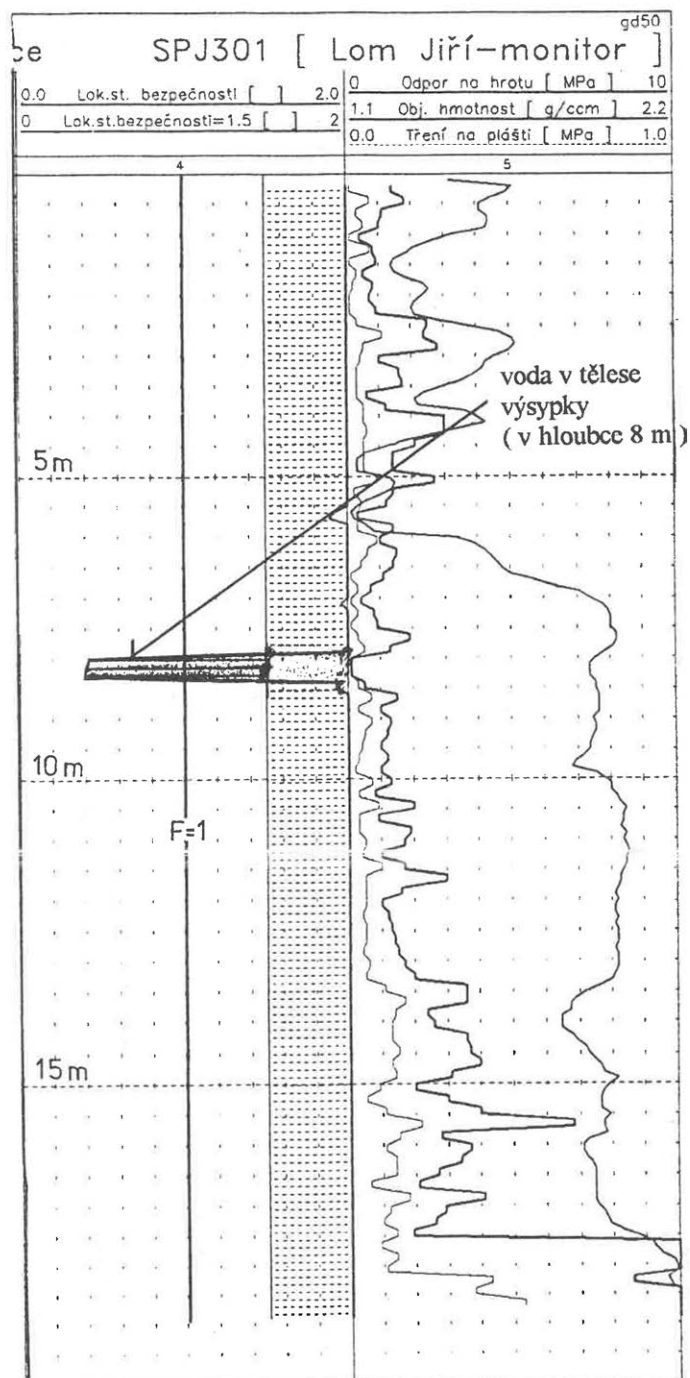




Obr. č.3 - Projev vody v tělese výsypky

sondy jsou od sebe vzdáleny 124 m
(výškový rozdíl sond je cca 7 m)

sonda SPJ 301 se nachází blíže paty výsypky



F ... lokální stupeň bezpečnosti

Ze sond, které byly realizovány v prostoru bývalých sesuvů (tento prostor byl vždy geodeticky zaměřen, takže nenastal problém s jeho vymezením), byly z penetračních záznamů vybrány polohy, jež reprezentují vrstvu, kterou procházela smyková plocha v prostoru bývalých sesuvů. Tyto tzv. typické polohy jsou například zachyceny na obr. 1 a 2 - jedná se o polohy s nejnižší hodnotou penetračního odporu. Vzhledem k tomu, že tyto polohy byly v jednotlivých sondách zachyceny v rozličném hloubkovém intervalu, bylo možné stanovit závislost penetračního odporu na hloubce. Při statistickém zpracování těchto poloh byla naměřenými daty proložena exponenciála metodou nejmenších čtverců, a tak získána závislost penetračního odporu na hloubce :

$$q = 1.5 (1 - 0.984e^{-0.018.h})$$

kde q odpor na penetračním hrotu (MPa)

h hloubka (m)

Průběh závislosti penetračního odporu na hloubce pro tuto vrstvu je zachycen na obr. 4.

Tato křivka, která reprezentuje vrstvu smykové plochy v oblasti sesuvů (vrstva č. 1), dostala označení **křivka č. 1.**

Pozn. : Čísla uváděná na obr. 4 u jednotlivých měření znamenají označení penetračních sond (například sonda SPJ 130 ... + 130).

Ze sond, které byly realizovány mimo prostor sesuvů, byly vybrány polohy reprezentující vrstvu, kterou by procházela smyková plocha v prostoru mimo bývalé sesuvy. Touto polohou byla vždy míněna poloha s nejnižším odporem na penetračním hrotu, jež se objevila na penetračním záznamu. Jelikož se tyto polohy vyskytovaly také v rozličném hloubkovém intervalu, bylo i zde možné stanovit závislost penetračního odporu na hloubce. Při statistickém zpracování těchto poloh byla naměřenými daty proložena exponenciála metodou nejmenších čtverců, a tak získána závislost penetračního odporu na hloubce :

$$q = 2.5 (1 - 1.003e^{-0.0287.h})$$

kde q odpor na penetračním hrotu (MPa)

h hloubka (m)

Průběh závislosti penetračního odporu na hloubce pro tuto vrstvu je zachycen na obr. 4.

Tato křivka, která reprezentuje vrstvu smykové plochy v oblasti mimo sesuvy (vrstva č. 2), dostala označení **křivka č. 2.**

Obě křivky byly vyděleny, resp. vynásobeny koeficienty rozptylu 1.3 (křivka č. 1) a 1.2 (křivka č. 2) a navzájem se nepřekrývají, takže lze konstatovat, že se jedná o dvě vrstvy, které se od sebe výrazně odlišují (viz již dříve přiřazované prakticky dvojnásobně velké hodnoty smykové pevnosti). Přejme-li se předpoklad, že úklon křivek

znázorněných na obr. 4 je funkcí úhlu vnitřního tření, pak poměr mezi úhly vnitřního tření ($\varphi = 3^\circ$ a 5°) a úklonem křivek č.1 a č.2 je vcelku ve velmi uspokojivé shodě.

Představíme-li si vertikální řez tělesem výsypky, tak dostaneme oblast, resp. vrstvu v tělese výsypky kudy prochází (nebo se uvažuje, že by procházela) smyková plocha. Tuto oblast resp. vrstvu reprezentují vrstvy č.1 a č.2 - viz obr. 4.

Při dalším zpracování výsledků penetračního měření byla pozornost věnována také ostatním částem penetračního záznamu, resp. ostatním částem tělesa výsypky. Zde byla snaha zachytit a vyjádřit pevnostní vlastnosti samotné sypaniny vnitřní výsypky lomu Jiří, přičemž z tohoto zpracování výsledků penetrace byly nejprve záměrně vynechány sondy ležící v profilu C-C'.

Ze sond, realizovaných na vnitřní výsypce, byly z penetračních záznamů vybrány ty polohy, které zastihují zeslabená místa v tělese výsypky (přirozeně nebyly do tohoto souboru zahrnuty polohy příslušející případným smykovým plochám, tedy s vyloučením poloh příslušejících již vrstvám č.1 nebo č.2). Při statistickém zpracování výsledků, kdy byla naměřenými daty proložena exponenciála metodou nejmenších čtverců, byla získána závislost penetračního odporu na hloubce :

$$q = 8.0 (1 - 0.961 \cdot e^{-0.0115 \cdot h})$$

kde q odpor na penetračním hrotu (MPa)

h hloubka (m)

Tato závislost je velmi podobná, resp. prakticky shodná se vztahem, který uvádí Ing. Adolf Radl, CSc. pro sypaninu z cyprisových jílovců, přičemž tento jeho vztah byl zjištěn na základě statistického zpracování výsledků penetrace na vnějších výsypkách sokolovského revíru :

$$q = 8.0 (1 - 0.93 \cdot e^{-0.012 \cdot h})$$

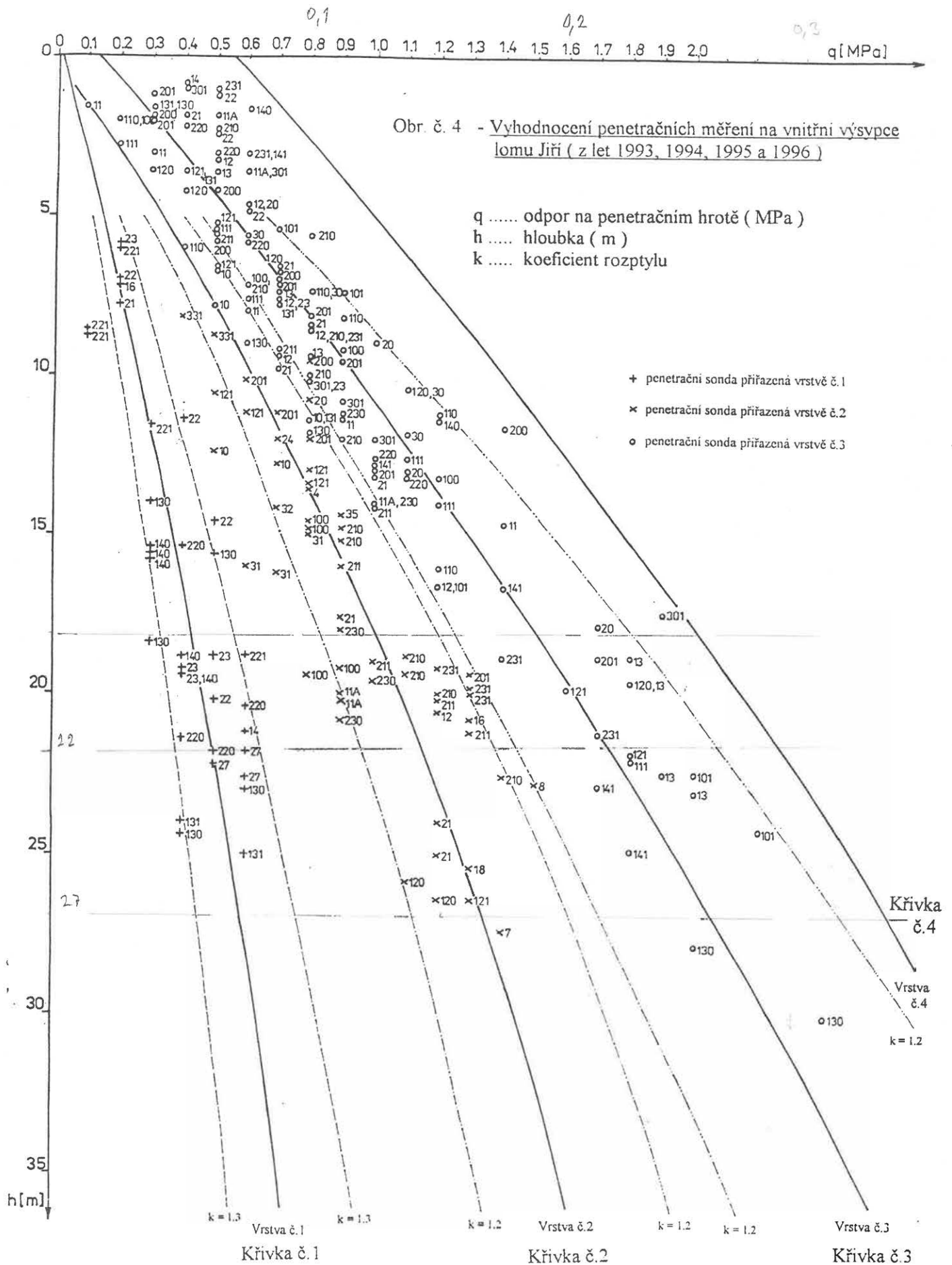
.... Ing. Adolf Radl, CSc. (1991)

Proto pro sypaninu vnitřní výsypky lomu Jiří (s výjimkou profilu C - C') byl použit vztah Ing. A. Radla, CSc., a tato křivka dostala označení **křivka č. 4** - viz. obr. 4.

Pozn. : Tuto zjištěnou skutečnost lze interpretovat tak, že sypanina vnitřní výsypky lomu Jiří (vrstva č.4) se nijak výrazně neliší od sypaniny vnějších výsypek sokolovského revíru - ovšem s výjimkou profilu C - C' - viz dále.

Při vyjadřování pevnostních vlastností sypaniny vnitřní výsypky, jak již bylo zmiňováno, byly záměrně vynechány sondy nacházející se v profilu C-C'.

Ze sond, které byly realizovány v profilu C - C', byly z penetračních záznamů vybrány polohy zastihující zeslabená místa v tělese výsypky (opět přirozeně mimo polohy příslušející případným smykovým plochám, tedy s vyloučením poloh příslušejících již vrstvám č.1 nebo č.2). Při statistickém zpracování výsledků byla naměřenými daty proložena exponenciála metodou nejmenších čtverců, a tak získána závislost penetračního odporu na hloubce :



$$q = 6.0 (1 - 0.978e^{-0.0148 \cdot h})$$

kde q odpor na penetračním hrotu (MPa)

h hloubka (m)

Průběh závislosti penetračního odporu na hloubce pro sypaninu výsypky v profilu C - C' (vrstva č.3) je zachycen na obr. 4. Tato křivka dostala označení **křivka č.3**.

Pozn. : Ani křivka č.3 se nepřekrývá s křivkou č.2, i když je vynásobena, resp. vydělena koeficientem rozptylu 1.2 (viz obr. 4).

Na základě zpracování křivek č.1,2 a křivek č. 3,4 se prokázalo, že se liší samotné těleso výsypky od vrstvy, kterou prochází případná smyková plocha, tj. že má smysl uvažovat tzv. kontakt výsypka-podloží, byť se tento „kontakt“ často nenachází důsledně při bázi výsypky, ale často se objevuje v tělese výsypky v určité hloubce nad samotným kontaktem výsypky s podložím.

Křivky č.3 a č.4 reprezentují sypaninu tělesa výsypky. Prvá v profilu C-C', druhá mimo tento profil. Z obr. 4 je patrné, že sypanina v profilu C-C' vykazuje horší pevnostní vlastnosti než sypanina jinde v tělese výsypky. To je způsobeno zřejmě tím, že sesuvné aktivity, které se soustřeďovaly právě do tohoto profilu, způsobily určitou degradaci i samotné sypaniny, tedy nejenom pokles pevnostních vlastností v oblasti smykové plochy. Porovnání křivek č.3 a č.4 ukazuje, že úklon obou křivek je velmi podobný, takže lze předpokládat, že úhel vnitřního tření se nemění nijak výrazně v prostoru profilu C-C' a mimo něj. V prostoru profilu C-C' pak sypanina zřejmě vykazuje poněkud nižší hodnoty soudržnosti.

Například i z obr. 1 a 2 je patrné, že v tělese sesuvu se nepohybuje po jedné úzce vymezené smykové ploše, ale že se zde vytvořilo několik smykových ploch, takže má smysl mluvit o vrstvě smykových ploch, jež má mocnost až do několika metrů - viz obr. 1 a 2 (tato vrstva je také někdy označovaná jako neúnosná vrstva).

Podle skutečnosti, že často nejnižší hodnoty penetračního odporu se nachází na začátku této vrstvy (viz obr. 2), má opodstatnění předpoklad, že nejintenzivnější pohyb se odehrává ve svrchní části této vrstvy smykových ploch.

Pro úplnost je třeba ještě připomenout, že v prostoru vnitřní výsypky se realizují značně nákladná sanační opatření na zkapacitnění této výsypky, aby byla připravená na nasazení TC 2. Výše popisované křivky slouží jako základní podklad pro vyhodnocení účinnosti prováděných sanačních prací. Dokonce právě potřeba provedení tohoto vyhodnocení byla důvodem, proč byly výsledky penetračního měření zpracovávány tak, jak je výše popisováno. Ověření účinnosti sanačních opatření není v současnosti uzavřenou záležitostí, což je důvodem, proč výsledky vyhodnocení nejsou zmiňovány v tomto příspěvku.

Závěr

Výše uváděné zpracování dat z penetračního měření nemohlo přímo potvrdit hodnoty totálních parametrů smykové pevnosti - ani si to nekladlo za cíl. Je třeba zdůraznit, že uváděné hodnoty smykových parametrů jsou vrstvám přiřazovány.

V každém případě však zpracování penetračních měření a jejich vyhodnocení potvrdilo správnost a použitelnost metodického přístupu při řešení stabilitní problematiky vnitřní výsypky, jak jej používá VÚHU-Most.

Stručně zmíněné výsledky ukazují, jaké možnosti nabízí použití penetrace při sledování a vyhodnocování stability výsypek.

Penetrace není jedinou metodikou, která se využívá při průzkumu výsypek v sokolovském uhelném revíru, ale její vhodné použití v kombinaci s jinými metodami a přístupy přináší vynikající výsledky, a dokonce lze říci, že některé skutečnosti lze zachytit pouze terénními metodami, mezi které patří právě penetrace.

Pozn. - Penetrační měření

Penetrační měření na vnitřní výsypce provádí pro Sokolovskou uhelnou a.s. firma Penetra s.r.o. Penetra používá na tato měření těžkou soupravu pro hloubkovou statickou penetraci od holandské firmy Gouda. Jedná se o měření s využitím Begemannova mechanického hrotu. Součástí penetračního měření je určení odporu na hrotu a na plášti, stanovení třecího poměru a měření celkového zatížení. Bezprostředně po penetraci následuje měření hustotní γ - γ karotáže a zjištění výstupní hladiny podzemní vody v penetračním stvolu.

V letech 1993 až 1996 se v prostoru vnitřní výsypky realizovalo celkem 107 penetračních sond.

$$\begin{aligned}
 &6:8 \\
 q_r &= 8 \cdot (1 - 0,976 \cdot e^{-0,0125 h}) \\
 h &= 20 \\
 q_r &= 8 \cdot (1 - 0,976 \cdot e^{-0,25}) = 1,92
 \end{aligned}$$