

Penetrační průzkum realizovaný na lomu Medard-Libík v souvislosti s připravovaným zatopením zbytkové jámy tohoto lomu

Grantový úkol č. 105/02/0497

Penetrationsuntersuchung, durchgeführt auf dem Tagebau Medard-Libík in Zusammenhang mit der geplanten Flutung dieses Tagebaurestloches

Der Beitrag befasst sich mit der Problematik der Bewertung einer Penetrationsuntersuchung, die in Jahren 2002 bis 2004 auf dem Tagebau Medard-Libík bei der Vorbereitung der Beflutung des Restloches dieses Tagebaus realisiert wurde. Die Untersuchung und deren Auswertung wurde Bestandteil der Lösung des Projektes der Grantagentur ČR Nr. 105/02/0497 „Bestimmung der Methodik zur Charakterisierung der Entwicklungsdynamik der Deformations- und Akkumulationsformung der Restlöcher im Becken von Sokolov“. Auf diesem Projekt arbeitete die Kohlegesellschaft Sokolovská uhelná, a.s. mit VÚHU, a.s. als dem Mitlöser. Nach der Einleitung, die grundsätzliche Informationen zur eigenen Flutung des Restloches beinhaltet, sind im Beitrag Ausgangsvoraussetzungen und theoretische Beziehungen dargestellt, auf deren Grund die Auswertung der Penetrationsuntersuchung vorgenommen wurde. Zum Schluss des Beitrages ist die Auswertung der Penetrationsmessung auf der Sonde GM 24/04 sowie auch Ergebniswerte der Rutschfestigkeit für einen der verfolgten Profile angeführt. Die Ergebnisse der Untersuchung können für eine aktualisierte Auswertung der Böschungsstabilität des Restloches des Tagebaus Medard-Libík genutzt werden.

Penetration Survey Executed at Medard-Libík Mine in Connection with Upcoming Inundation of Mine Residual Pit

The article deals with the issue of evaluating the penetration survey executed

from 2002 to 2004 at the Medard-Libík mine in connection with the upcoming inundation of the mine residual pit. The survey and its evaluation was a part of the grant project GA ČR No. 105/02/0497 „Definition of Methodology Characterizing the Progress Dynamics of Destructive and Accumulative Formation of Residual Pits at the Sokolovská pánev“, where Sokolovská uhelná, a. s., cooperated with VÚHU, a. s., as a co-director. After the introductory part providing basic information related to the inundation of the residual pit the article includes the initial prerequisites and the theoretical relations based on which the penetration survey evaluation was executed. The conclusion of the article contains a demonstration of the measuring evaluation at the probe GM 24/04 and the result values of the shear strength for one of the monitored profile. The survey results can be used for an updated assessment of the slopes stability of the Medard-Libík residual pit in the mine inundation.

Разведка по пенетрации на разрезе Медард-Либик в связи с подготовкой затопления водой остаточной ямы разреза

Статья занимается проблематикой пенетрационной разведки, осуществленной в период 2002- 2004 гг. на разрезе Медард-Либик в связи с подготовкой затопления водой остаточной ямы этого разреза. Разведка и ее оценка представляли составную часть решения грантового проекта Грантового Агентства Чешской Республики номер 105/02/0497 „Установление методики, характеризующей динамику развития деструктивного и аккумулятивного оформления остаточных ям в Соколо-

вском бассейне“, над которым а/о Соколовская угольная сотрудничала с институтом ВУГУ Мост. После введения – основной информации по настоящему затоплению – статья приносит исходные предпосылки и теоретические связи, на основе которых была проведена оценка разведки пенетрации. В заключение показывается оценка конкретного измерения пенетрации на скважине 24/04 и результирующие величины прочности на срез для одного из исследуемых профилей. Результаты разведки можно использовать для актуализированной оценки откосов остаточной ямы разреза Медард-Либки при затопливании водой.

Penetrační průzkum realizovaný na lomu Medard-Libík v souvislosti s připravovaným zatopením zbytkové jámy tohoto lomu

Пříspěvek se zabývá problematikou vyhodnocení penetračního průzkumu

realizovaného v letech 2002 až 2004 na lomu Medard-Libík v souvislosti s připravovaným zatopením zbytkové jámy tohoto lomu. Průzkum a jeho vyhodnocení bylo součástí řešení grantového projektu GA ČR č. 105/02/0497 „Stanovení metodiky charakterizující dynamiku vývoje sestruckčního a akumulárního tvarování zbytkových jam v Sokolovské pánvi“, na kterém Sokolovská uhelná, a. s., spolupracovala s VÚHU, a. s., jako spoluřešitelem. Po úvodní části poskytující základní informace vztahující se k vlastnímu zatopení zbytkové jámy jsou v příspěvku uvedeny výchozí předpoklady a teoretické vztahy, na základě kterých bylo provedeno vyhodnocení penetračního průzkumu. V závěru příspěvku je uvedena ukázka vyhodnocení penetračního měření na sondě GM 24/04 a výsledné hodnoty smykové pevnosti pro jeden ze sledovaných profilů. Výsledky průzkumu lze využít pro aktualizované posouzení stability svahů zbytkové jámy lomu Medard-Libík při zatopení lomu.

K zastavení těžby hnědého uhlí došlo na lomu Medard-Libík ke dni 31. 12. 1999. Ve zbytkové jámě tohoto lomu byly ponechány bilanční zásoby (převedené do nebilančních) slojí Antonín, Meziložní a Anežka v celkovém množství 16.340.378 tun. Plocha lomu Medard-Libík, kterou je třeba v rámci sanace těžbou zdevastovaného území rekultivovat, představuje prostor 1183.0 ha. Jako nejdůležitější část řešení problematiky sanace zbytkové jámy byl přijat záměr na zatopení lomu Medard-Libík vodou. Zvolena byla varianta průtočného jezera s kótou hladiny na úrovni 401 m n.m. Při této úrovni hladiny se jezero bude rozprostírat na ploše 501.4 ha. Objem vody v jezeře bude cca 138 mil. m³ a ve středu jezera se hloubka bude pohybovat kolem 50 m.

Rozhodujícím zdrojem vody pro napouštění zbytkové jámy bude řeka Ohře. Předpokládané průměrné množství odebírané vody bude 1 m³/s, což představuje objem cca 31.5 mil. m³ vody za rok. Zároveň bude pro napouštění jezera využívána voda z podpovodí zbytkové jámy včetně důlních stařinových vod. Důlní vody se čerpají z hlavní retence Medard, která je nyní umístěna na kótě 337 m n. m. V současné době se čerpá z lomu Medard-Libík cca 5.5 mil. m³ těchto vod ročně. Toto množství však bude klesat s nárůstem hladiny vody v napouštěném jezeře, neboť se budou vyrovnávat výšky hladiny vody v jezeře s úrovní podzemních vod a s průměrnou úrovní hladiny vody v řece Ohři. Vzhledem k povoleným odběrům z řeky Ohře, předpokládanému objemu vod ze stařin a podpovodí zbytkové jámy a průměrnému množství odparu z hladiny vznikajícího jezera lze předpokládat, že jezero dosáhne konečné úrovně hladiny za cca 4 roky od zahájení napouštění z řeky Ohře. S ohledem k průměrné kótě hladiny v řece Ohři (cca 400 m n.m.) bude gravitační napouštění jezera ukončeno do 3 let na

kótě hladiny 399 m n.m. Zbývající 2 m do dosažení definitivní úrovně hladiny vody v jezeře budou po dobu 1 roku dočerpány vodou pocházející opět z řeky Ohře. Bude třeba dočerpat cca 9.7 mil. m³ vody. V případě vyššího ročního odparu se další dotace jezera vodou bude zajišťovat z Radvanovského potoka. Cílem je zamezit kolísání hladiny jezera, které by mohlo nepříznivě působit na stabilitu svahů jezera, případně na rekreační objekty (pláže na koupání apod.) vybudované na břehové linii, kde by abrazní činnost kolísající hladiny mohla způsobit jejich poškození.

Rekultivace převážné části svahů nad hladinou jezera bude provedena formou lesnické rekultivace na plánované ploše 251.8 ha. Pro ochranu rekultivované zbytkové jámy a jejího okolí před vodní erozí bude v těchto svazích vybudován systém odvodňovacích příkopů.

Předpokládá se, že při tomto způsobu napouštění se vytvoří relativně rychle optimální podmínky pro příznivou kvalitu vody v tomto jezeře, a jezero bude mít v rámci krajiny tvorné a ekostabilizační funkce mnohostranné využití jak pro rekreaci, tak i pro sportovní účely a rybaření.

Stabilitou svahů zbytkové jámy lomu Medard-Libík ve vztahu k plánovanému zatopení se zabýval v r. 1996 geotechnický posudek Stavební geologie, Praha. Pro řešení stabilitní problematiky této plošně značně rozsáhlé lokality bylo vybráno 20 charakteristických profilů, které byly převzaty i v pozdějších stabilitních posudcích VÚHU Most. Do těchto profilů byly také situovány penetrační sondy realizované v rámci grantového úkolu. Výpočty SG, Praha byly provedeny na základě vstupních parametrů převzatých z předchozích prací. Tyto parametry smykové pevnosti byly doplněny o výsledky laboratorních měření provedených na 10 vzorcích odebraných SG, Praha na této lokalitě. Při tehdejších stabilitních výpočtech byla hladina vody v jezeře uvažována na kótě 405 m n.m. Podle výpočtů se došlo k názoru, že výsypkové svahy lomu Medard-Libík budou při zatopení lomu na tuto úroveň hladiny vykazovat nevyhovující stupně bezpečnosti. Proto bylo v této práci navrženo dosypání výsypkových svahů o celkovém objemu cca 16 mil. m³ zeminy.

V r. 1999 se stejnou problematikou, tj. problematikou stability svahů lomu Medard-Libík ve vztahu k zatopení zbytkové jámy tohoto lomu, zabýval Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, a.s. v Mostě (tentokrát však s uvažovanou hladinou jezera na kótě 401 m n.m.). Vstupní parametry smykové pevnosti byly částečně převzaty z výše uvedeného posudku SG, Praha a částečně byly hodnoty těchto parametrů odhadnuty na základě předchozích zkušeností, jež byly na Sokolovsku s výsypkovými zeminami získány. Opětovně bylo stabilitními výpočty potvrzeno, že výsypkové svahy při zatopení lomu na úroveň vodní hladiny 401 m n.m. nebudou vykazovat dostatečnou stabilitu. Z tohoto důvodu bylo požadováno, aby dno lomu bylo v celém prostoru zbytkové jámy dosypáno tzv. „do protisvahu“, tj. aby vnitřní výsypka byla z jižní strany lomu dosypána až do severních skryvkových svahů. Dále bylo požadováno dosypání určitých horizontů vnitřní výsypky především v jihozápadní části tohoto lomu. Celkové množství výsypkových hmot, jež podle tohoto posudku VÚHU Most je třeba ještě založit v prostoru bývalého lomu Medard-Libík, aby svahy vykazovaly požadované stupně bezpečnosti, dosáhlo objemu 10 990 tis. m³. Je třeba uvést, že výsledky tohoto stabilitního posouzení jsou již pro SU, a.s., závazné, neboť byly zahrnuty do schváleného „*Plánu likvidace lomu Medard-Libík*.“ V tomto plánu likvidace se předpokládá, že k ukončení zakládání skryvkových zemin kolejově dopravovaných z lomu Družba dojde ke konci r. 2007.

Tato sanační skryvka je dopravována a následně zakládána nejenom z důvodu zabezpečení dostatečné stability skryvkových řezů a etází vnitřní výsypky, ale

i z důvodu nutnosti překrytí výchozů uhelných slojí jako ochrany před možností vzniku zápar a ohňů, úpravy konečného stavu břehové linie před působením vodní abraze a také pro realizaci rekultivačních prací, které budou prováděny na svazích jezera nad úrovní plánované vodní hladiny.

Z předchozích odstavců je zřejmé, že stabilitní řešení svahů vycházela především z převzatých nebo odhadnutých vstupních parametrů smykové pevnosti, u kterých nebylo prakticky nijak potvrzeno, jak přílehavým způsobem charakterizují skutečné pevnostní vlastnosti sypaniny výsypky a zemin skryvkových svahů této lokality. Přitom plošně rozsáhlejší sesuvy, ke kterým by v rámci napouštění nebo po skončení napouštění této zbytkové jámy mohlo dojít, by buď zcela znemožnily nebo alespoň výrazně omezily možnosti využití tohoto jezera pro rekreační účely a bylo by také vážně zpochybněno, jestli došlo k naplnění cíle rekultivovat a sanovat těžbou zdevastovanou krajinu kolem obcí Sokolov, Svatava, Habartov a Bukovany. Vzhledem k tomu, že lom Medard-Libík po ukončení těžby hnědého uhlí přestal být pro Sokolovskou uhelnou, a. s., zájmovým územím, tak tato těžební společnost neprojevovala zájem podílet se na financování rozsáhlejšího geotechnického průzkumu lokality. Z tohoto důvodu bylo zažádáno o grantový úkol, v rámci kterého by vznikl prostor umožňující podrobněji se zabývat touto problematikou.

S ohledem na značný plošný rozsah zájmové lokality (přes 500 ha) a značné mocnosti sledované vnitřní výsypky (přes 50 m) bylo rozhodnuto použít pro získání vstupních dat penetrační průzkum, jehož velkou předností jsou nízké finanční náklady oproti vrtnému průzkumu a následnému laboratornímu zpracování odebraných geomechanických vzorků a také krátká doba potřebná na realizaci těchto měření. Použita byla souprava pro hloubkovou statickou penetraci firmy PENETRA, s.r.o. umístěná na Tatře T 813.

V rámci plnění grantového úkolu bylo v letech 2002 až 2004 na lomu Medard-Libík realizováno celkem 36 penetračních sond o celkové délce 939.6 m a 19 terénních měření pórového tlaku (měření PT) o celkové délce 392.0 m – viz. tabulka:

<i>Rok 2002</i>		<i>Rok 2003</i>		<i>Rok 2004</i>	
<i>Sonda</i>	<i>Hloubka sondy</i>	<i>Sonda</i>	<i>Hloubka sondy</i>	<i>Sonda</i>	<i>Hloubka sondy</i>
GM 1/02	26.4 m	GM 12/03	22.6 m	GM 21/04	45.2 m
GM 1A/02	29.6 m	GM 13/03	40.0 m	GM 22/04	51.6 m
GM 2/02	34.6 m	GM 14/03	54.4 m	GM 23/04	18.6 m
GM 3/02	25.6 m	GM 15/03	48.0 m	GM 24/04	26.0 m
GM 4A/02	25.8 m	GM 16/03	30.4 m	GM 25/04	40.4 m
GM 4B/02	36.8 m	GM 17/03	54.4 m	GM 26A/04	12.0 m
GM 5/02	32.8 m	GM 18/03	7.2 m	GM 27/04	17.6 m
GM 6/02	19.8 m	GM 19/03	4.8 m	GM 28/04	20.4 m
GM 7A/02	27.4 m	GM 20/03	4.0 m	GM 29/04	20.0 m
GM 8/02	36.2 m	GM 21/03	30.0 m	GM 30/04	9.2 m
GM 9/02	7.0 m	GM 22/03	47.4 m	GM 31/04	1.2 m
GM 10/02	18.0 m	<i>celkem</i>	343.2 m	GM 31A/04	1.4 m
GM 11/02	12.8 m			<i>celkem</i>	263.6 m
<i>celkem</i>	332.8 m				

<i>Rok 2002</i>		<i>Rok 2003</i>		<i>Rok 2004</i>	
<i>Sonda</i>	<i>Hloubka měření PT</i>	<i>Sonda</i>	<i>Hloubka měření PT</i>	<i>Sonda</i>	<i>Hloubka měření PT</i>
GM 1/02 PT	25.6 m	GM 13/03 PT	15.0 m	GM 21/04 PT	13.6 m
GM 2/02 PT	7.2 m		31.2 m		29.6 m
	14.6 m	GM 21/03 PT	17.2 m	GM 22/04 PT	20.0 m
	20.6 m		27.8 m	GM 24/04 PT	15.0 m
GM 6/02 PT	8.0 m	GM 22/03 PT	20.3 m		21.2 m
GM 8/02 PT	24.0 m		31.7 m	GM 28/04 PT	17.6 m
	31.8 m	<i>celkem</i>	143.2 m	<i>celkem</i>	117.0 m
<i>celkem</i>	131.8 m				

Při geotechnickém průzkumu zbytkové jámy lomu Medard-Libík byl použit osvědčený postup měření. Po ukončení vlastního penetračního sondování bylo v penetračním stvolu (tj. v otvoru, který se v zemině vytvořil v rámci průniku penetračního hrotu) provedeno měření γ - γ karotáže za účelem stanovení objemové tíhy zemin. Poté byla v tomto penetračním stvolu změřena celková výstupní hladina podzemní vody. Na základě penetračního záznamu byly vybrány hloubky, ve kterých bylo provedeno terénní měření pórových tlaků. Toto měření se realizovalo v novém penetračním stvolu vytvořeném v minimální vzdálenosti od původního místa realizace penetrační sondy (cca do 1 m). Měřič pórového tlaku zůstal v požadované hloubce do té doby, dokud nedošlo k ustálení měřených hodnot tlaku. V r. 2004 byly také odzkoušeny za využití penetrační soupravy nálevové zkoušky dle metodiky Ing. Jiřího Herštuse, DrSc. Při těchto nálevových zkouškách se využívala rozšířená perforovaná penetrační tyč umístěná těsně za penetračním hrotem, pomocí které se po pročištění (provzdušnění) voda nechala v předem požadovaném hloubkovém intervalu vtékat do tělesa výsypky a sledovaly se časové závislosti změn výšky hladiny.

Způsob vyhodnocení penetračních měření

V této kapitole jsou uvedeny vztahy a výchozí teoretické předpoklady, na základě kterých bylo provedeno vyhodnocení penetračního průzkumu na lokalitě lomu Medard-Libík.



Obr. 1 Pohled na severní skrývkové svahy bývalého lomu Medard-Libík (v popředí výsypkové svahy vnitřní výsypky, na horizontu zástavba obce Habartov)



Obr. 2 Pohled na východní část lomu Medard-Libík (v popředí vnitřní výsypka, v pozadí skrývkové svahy, v pravé části obrázku zástavba města Sokolov)



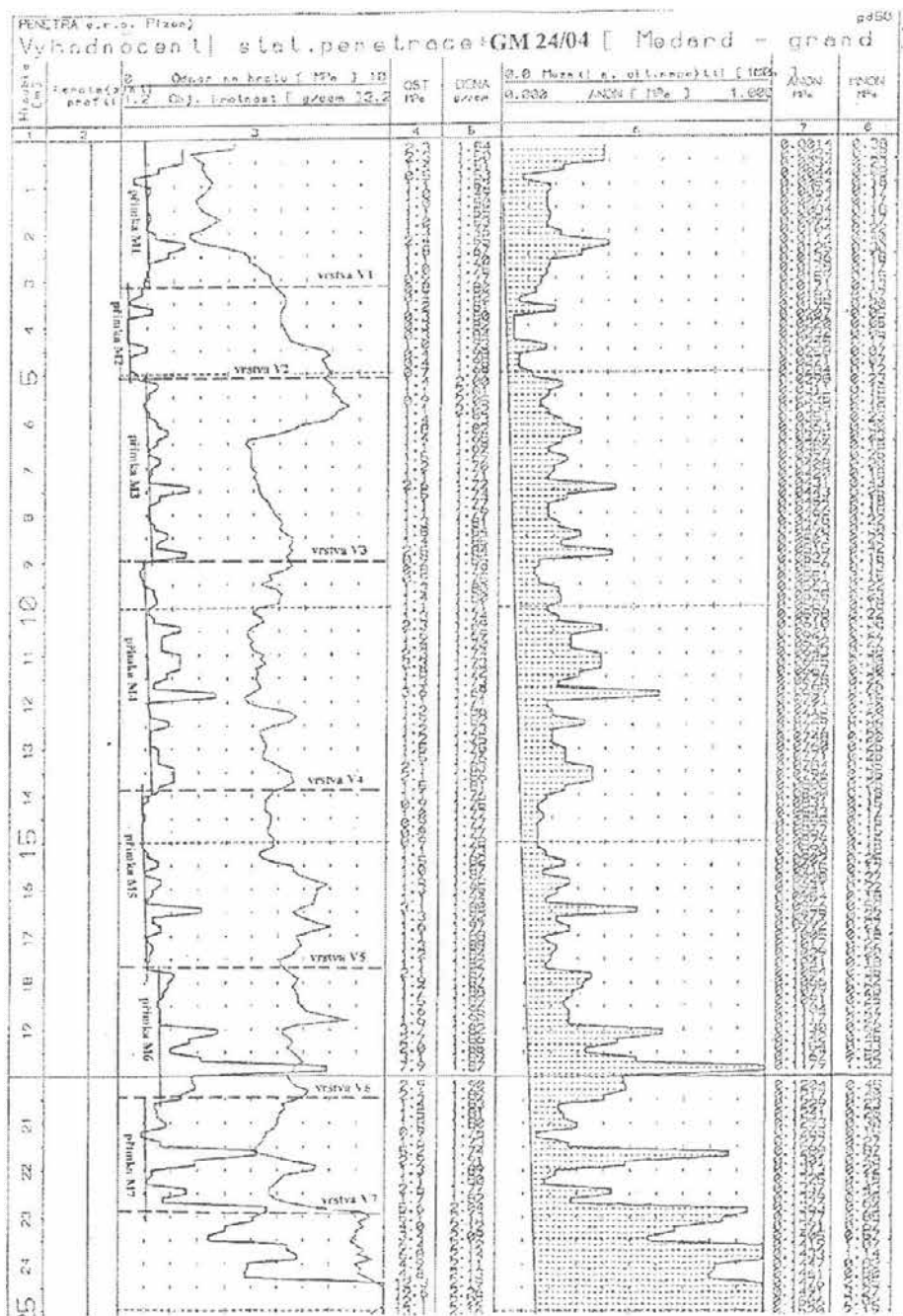
*Obr. 3 Pohled ze severu na výsypkové svahy v západní části lomu
(oblast profilů 8-8' a 9-9')*



Obr. 4 Penetrační souprava na Tatře T 813



Obr. 5 Vlastní penetrační zařízení



Obr. 6 Penetrační záznam sondy GM 24/04

Převodník pro stanovení smykových pevnostních parametrů

Při vyhodnocení výsledků penetračního průzkumu se využívá teoreticko-empirický korelační převodník, který byl nacejchován na zeminách vnitřní výsypky lomu Jiří, kde byly vedle výsledků regresních výpočtů k dispozici také výsledky penetračních měření, které bylo možné navzájem porovnat. Na výsypce lomu Medard-Libík jsou zakládány prakticky stejné zeminy jako na vnitřní výsypce lomu Jiří, takže

vztahy stanovené na této výsypce byly převzaty i pro vnitřní výsypku lomu Medard-Libík.

Základem pro vyhodnocení penetračního průzkumu je **vyhledání minimálních hodnot odporu na penetračním záznamu**. Těmito minimálními hodnotami penetračního odporu se metodou nejmenších čtverců proloží přímky, tzv. **přímky minim**. Na obr. 6 je na příkladě penetračního záznamu sondy GM 24/04 uvedena ukázka vyhledání a proložení přímek (přímky M1 až M7) minimálními hodnotami odporu. Pro převod parametrů přímek minim (směrnice přímky a průsečík přímky s osou v hloubce $h = 0$, tj. průsečík přímky s povrchem terénu) na parametry smykové pevnosti se používá teoreticko-empirický převodník $q = f(h, \varphi, c, \gamma, k_{PT})$ – viz **vztah 1.1**, který umožňuje **na základě korelace** stanovit z penetračního odporu smykové pevnostní parametry zemin zastižených sondováním. V tomto vztahu je odpor na penetračním hrotu q funkcí hloubky, úhlu vnitřního tření, soudržnosti, objemové tíhy zeminy, pórového tlaku vody a koeficientu korelace k_k , tj. $q = f(h, \varphi, c, \gamma, u, k_k)$.

$$q = (\sigma_1^{x2} + 3 \cdot \sigma_3^{x2})^{1/2}$$

$$\sigma_1^x = [\gamma \cdot h - k_{PT} \cdot \gamma \cdot (h - h_o)] \cdot (0.95 - \sin \varphi) \cdot k_k \cdot \text{tg}^2(45 + \varphi/2) + 2 \cdot c \cdot k_k \cdot \text{tg}(45 + \varphi/2)$$

$$\sigma_3^x = [\gamma \cdot h - k_{PT} \cdot \gamma \cdot (h - h_o)] \cdot (0.95 - \sin \varphi) \cdot k_k \cdot \text{tg}^4(45 + \varphi/2) + 2 \cdot c \cdot k_k \cdot \text{tg}^3(45 + \varphi/2) + 2 \cdot c \cdot \text{tg}(45 + \varphi/2)$$

(vztah 1.1)

kde q - odpor na penetračním hrotu (kPa)

h - hloubka (m)

φ - úhel vnitřního tření ($^\circ$)

c - soudržnost (kPa)

γ - objemová tíha zeminy (kNm^{-3})

k_{PT} - koeficient pórového tlaku

h_o - hloubka vzniku pórového tlaku (m)

k_k - koeficient korelace

resp. vztah 1.1a při použití koeficientu zvodnění k_{zv} :

$$\sigma_1^x = [\gamma \cdot h - 10 \cdot k_{zv} \cdot (h - h_o)] \cdot (0.95 - \sin \varphi) \cdot k_k \cdot \text{tg}^2(45 + \varphi/2) + 2 \cdot c \cdot k_k \cdot \text{tg}(45 + \varphi/2)$$

$$\sigma_3^x = [\gamma \cdot h - 10 \cdot k_{zv} \cdot (h - h_o)] \cdot (0.95 - \sin \varphi) \cdot k_k \cdot \text{tg}^4(45 + \varphi/2) + 2 \cdot c \cdot k_k \cdot \text{tg}^3(45 + \varphi/2) + 2 \cdot c \cdot \text{tg}(45 + \varphi/2)$$

(vztah 1.1a)

kde q - odpor na penetračním hrotu (kPa)

h - hloubka (m)

φ - úhel vnitřního tření ($^\circ$)

c - soudržnost (kPa)

γ - objemová tíha zeminy (kNm^{-3})

k_{zv} - koeficient zvodnění výsypky (zeminy)

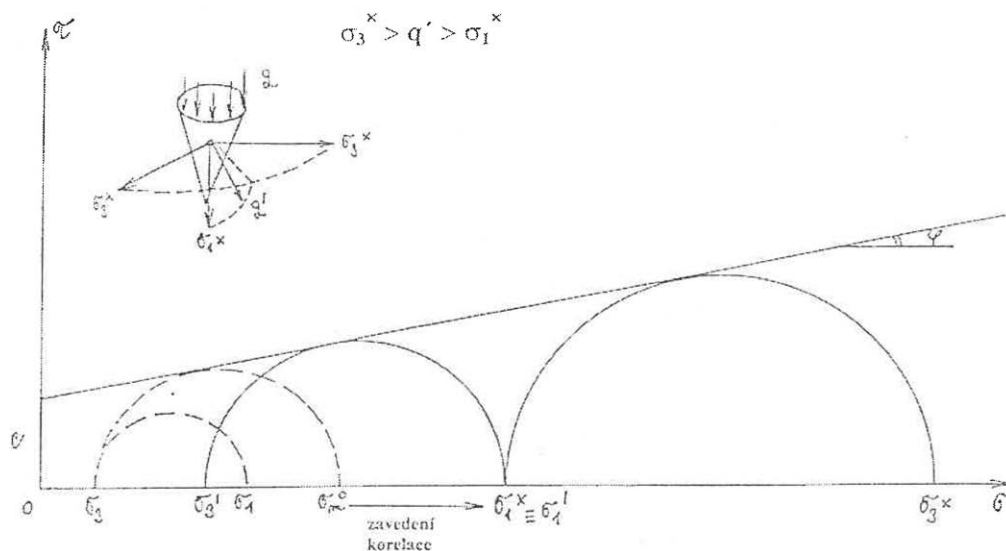
h_o - hloubka vzniku pórového tlaku (m)

k_k - koeficient korelace

s tím, že pro koeficient korelace byl stanoven vztah:

$$k_k = 0,7684 \cdot \ln \varphi - 0,1505$$

Pro ozřejmění **vztahu 1.1** je uveden obr. 7. Symboly σ_1^x , σ_3^x označují hlavní napětí (ve vertikálním a horizontálním směru), která vznikají na plášti penetračního hrotu při průniku tohoto hrotu zeminou, resp. hlavní napětí, která vznikají při bočním roztažení zeminy v rámci průniku hrotu zeminou. Platí pro ně $\sigma_3^x > q' > \sigma_1^x$ (q' - napětí na plášti hrotu).



Obr. 7

Pouze na základě znalosti hodnoty odporu v daném místě nelze stanovit dvojici pevnostních parametrů (úhel vnitřního tření a soudržnost). K tomu je třeba mít k dispozici dvě podmínky. Z tohoto důvodu se sleduje úklon přímky minim (směrnice), protože teprve na základě hodnoty odporu v daném místě a trendu nárůstu odporu s hloubkou od daného místa lze stanovit dvojici pevnostních parametrů. Pro úklon přímky minimálních hodnot, resp. směrnici platí:

$$dq/dh = 1/q \cdot \{ (1 - k_{PT}) \cdot (0.95 - \sin \varphi) \cdot \gamma \cdot k_k \cdot \lg^2(45 + \varphi/2) \cdot [3 \cdot \sigma_3^x \cdot \lg^2(45 + \varphi/2) + \sigma_1^x] \} \quad (\text{vztah 1.2})$$

resp. **vztah 1.2a** při použití koeficientu zvodnění k_{zv} :

$$dq/dh = 1/q \cdot \{ (\gamma - 10 \cdot k_{zv}) \cdot (0.95 - \sin \varphi) \cdot k_k \cdot \lg^2(45 + \varphi/2) \cdot [3 \cdot \sigma_3^x \cdot \lg^2(45 + \varphi/2) + \sigma_1^x] \}$$

Při shodnosti směrnice přímky naměřených minim a směrnice dle **vztahu 1.2** lze soudržnost vyjádřit:

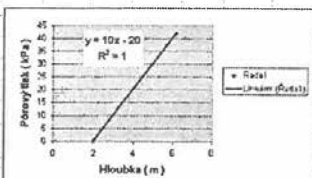
$$c = [q_{h=0} - 1,73 \cdot k_{PT} \cdot \gamma \cdot h_0 \cdot (0.95 - \sin \varphi) \cdot k_k \cdot \lg^4(45 + \varphi/2)] / [3 \cdot 464 \cdot \lg(45 + \varphi/2) \cdot [1 + k_k \cdot \lg^2(45 + \varphi/2)]]$$

resp. při použití koeficientu zvodnění k_{zv} :

$$c = [q_{h=0} - 17,32 \cdot k_{zv} \cdot h_0 \cdot (0.95 - \sin \varphi) \cdot k_k \cdot \lg^4(45 + \varphi/2)] / [3 \cdot 464 \cdot \lg(45 + \varphi/2) \cdot [1 + k_k \cdot \lg^2(45 + \varphi/2)]]$$

Vzhledem ke značné rozsáhlosti výše uvedených korelačních vztahů byl pro potřeby zpracování výsledků vyhodnocení penetračních měření vytvořen v **Microsoft Excelu** program, který umožňuje provést vyhodnocení těchto měření, přičemž tento excelovský program pomocí funkce „Řešitel“ sám provádí iterační proces vyhledání hodnot úhlu vnitřního tření.

Uhlí vs. št.	9.27	21.779	0.161702	úhel v. radian	1.176456	10.161702	0.896201702	10.161702	1.5606	Korelace	2.2169	úhel vs. št.
Soudržnost	34.919	8	0.3011	úhel v. radian	1.475425	10.161702	0.896201702	10.161702	1.5606	Korelace	2.2169	úhel vs. št.
Úhlym. úhel	16.9	16.9	0.296	úhel v. radian	1.475425	10.161702	0.896201702	10.161702	1.5606	Korelace	2.2169	úhel vs. št.
Koef. k _{PT}	1	0.596	0.78813	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u
Hloubka h ₀	2	2	0.78813	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u
Koef. korelace	1.5606	2.2169	0.578977	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u
Lineární posun	5		0.578977	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u
Hloubka	3		0.578977	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u	0.578977	K _u
h (m)	q (MPa)	alfa (°)	Phi (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)
3	0.6896	4.2391	0.5857	4.2491	0.0743	A	0.4676	B	4.2493	0.0743	A	0.4676
h (m)	q (MPa)	alfa (°)	Phi (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)	úhel (°)
8	0.8076	5.4676	0.6226	5.4676	0.8076	5.4676	0.6226	5.4676	0.8076	5.4676	0.6226	5.4676
9	0.8291	5.8291	0.6342	5.8291	0.8291	5.8291	0.6342	5.8291	0.8291	5.8291	0.6342	5.8291
10	1.2186	1.2186	1.2186	1.2186	1.2186	1.2186	1.2186	1.2186	1.2186	1.2186	1.2186	1.2186
15	1.5821	1.5821	1.5821	1.5821	1.5821	1.5821	1.5821	1.5821	1.5821	1.5821	1.5821	1.5821
20	1.9036	1.9036	1.9036	1.9036	1.9036	1.9036	1.9036	1.9036	1.9036	1.9036	1.9036	1.9036
25	2.3251	2.3251	2.3251	2.3251	2.3251	2.3251	2.3251	2.3251	2.3251	2.3251	2.3251	2.3251
30	2.6466	2.6466	2.6466	2.6466	2.6466	2.6466	2.6466	2.6466	2.6466	2.6466	2.6466	2.6466
35	3.0681	3.0681	3.0681	3.0681	3.0681	3.0681	3.0681	3.0681	3.0681	3.0681	3.0681	3.0681
40	3.4896	3.4896	3.4896	3.4896	3.4896	3.4896	3.4896	3.4896	3.4896	3.4896	3.4896	3.4896
45	3.9111	3.9111	3.9111	3.9111	3.9111	3.9111	3.9111	3.9111	3.9111	3.9111	3.9111	3.9111
50	4.3326	4.3326	4.3326	4.3326	4.3326	4.3326	4.3326	4.3326	4.3326	4.3326	4.3326	4.3326
55	4.7541	4.7541	4.7541	4.7541	4.7541	4.7541	4.7541	4.7541	4.7541	4.7541	4.7541	4.7541
60	5.1756	5.1756	5.1756	5.1756	5.1756	5.1756	5.1756	5.1756	5.1756	5.1756	5.1756	5.1756
h (m)	u (kPa)	u (kPa)	u (kPa)	u (kPa)	u (kPa)	u (kPa)	u (kPa)	u (kPa)	u (kPa)	u (kPa)	u (kPa)	u (kPa)
2	0	42	0	42	0	42	0	42	0	42	0	42
6.2	0	42	0	42	0	42	0	42	0	42	0	42



Získané parametry smykové pevnosti mají charakter **efektivních parametrů**. V případě, že při určování parametrů smykové pevnosti nebyl do výpočtu zaveden vliv pórového tlaku vody, tj. do převodníku byl dosazen koeficient $k_{PT} = 0$, resp. $k_{ZV} = 0$, pak získané parametry mají charakter **totálních parametrů**.

Pozn. – Hodnota objemové tíhy γ (kNm^{-3}) byla získána z vyhodnocení terénního měření hustotní γ - γ karotáže dle vztahu $\gamma = \text{ANON} \cdot 3000/h$ – viz záznamy penetračního měření. U všech sond, kde bylo provedeno hustotní měření γ - γ karotáže, byly do vyhodnocení dosazovány hodnoty objemové tíhy získané tímto terénním měřením.

Vztahy použité pro vyjádření pórových tlaků vody v zemině

Pórový tlak vody obsažené v zemině byl vyjádřen pomocí **vztahů A a B**. Oba vztahy jsou při číselném vyjádření hodnot pórového tlaku zcela identické – důvodem pro použití „na první pohled jaksi nadbytečného“ **vztahu B** byla pouze praktická potřeba zavést do vstupů v rámci vyhodnocování penetračních měření takovou hodnotu, která by zabezpečovala, že nárůst pórového tlaku u s hloubkou bude splňovat podmínku $\gamma_w \cdot h$ (Pozn. : γ_w – objemová tíha vody, $\gamma_w = 10 \text{ kNm}^{-3}$), nebo případně bude moci nárůst pórového tlaku s hloubkou tuto hodnotu překračovat. Tuto podmínku nejjednodušším možným způsobem splňuje zavedení hodnoty zvodnění $k_{ZV} \geq 1.0$.

Autorem **vztahu A** je Ing. Jiří Herštus, DrSc. Ve **vztahu A** se zavádí bezrozměrný **koeficient pórového tlaku k_{PT}** . Pomocí tohoto vztahu je pórový tlak vody ve výsypce, resp. obecně v zemině vyjádřen

$$u = k_{PT} \cdot \gamma_{syp} \cdot (h - h_0) \quad \text{..... vztah A,}$$

kde ... u - pórový tlak vody (kPa)
 k_{PT} - koeficient pórového tlaku
 γ_{syp} - objemová tíha sypaniny výsypky, resp. zeminy (kNm^{-3})
 h - hloubka měření pórového tlaku (m)
 h_0 - hloubka vzniku pórového tlaku (m)

Koeficient pórového tlaku k_{PT} je hloubkově proměnlivý a platí pro něj $0 \leq k_{PT} \leq 1$. Mezi vztahy A a B platí: $k_{PT} = 10 \cdot k_{zv} / \gamma_{syp}$

Jak již bylo uvedeno, důvody pro zavedení zcela identického **vztahu B** byly ryze praktické. Ve **vztahu B** se zavádí **koeficient zvodnění k_{zv}** . Po provedení penetračních měření se penetrační stvol obvykle naplní podzemní vodou a součástí souboru výsledků penetračních měření je i zaznamenání konečné výstupní hladiny této podzemní vody. Při prvotní interpretaci koeficientu zvodnění (*dnes již překonané*) udával tento koeficient poměr mezi výškou vodního sloupce v penetračním stvolu a celkovou délkou penetrační sondy. Při tomto způsobu interpretace by například na výsypce při $h_0 = 0$ a $k_{zv} = 0.5$ měla výstupní hladina podzemní vody dosahovat do poloviny mocnosti výsypky.

Jelikož podzemní voda ve výsypce bývá často tlaková, tak může tento koeficient dosahovat hodnot vyšších než jedna. Stejně tak může tento koeficient nabývat hodnot větších než jedna v zemině, kde určitá procentuální část pórů je zcela uzavřena, takže neumožňuje vodě žádnou vzájemnou komunikaci – pak se na pórový tlak takto uzavřené vody přenáší plná tíha nadloží. Pomocí **vztahu B** je pórový tlak vody ve výsypce, resp. obecně v zemině vyjádřen:

$$u = k_{zv} \cdot \gamma_w \cdot (h - h_0) \quad \text{..... vztah B,}$$

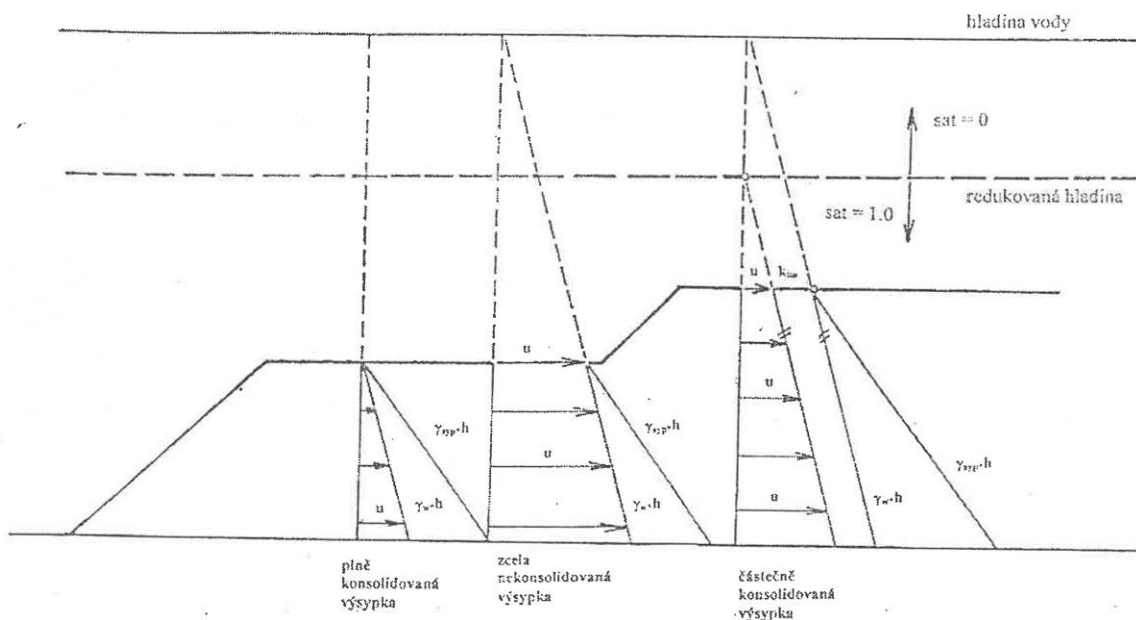
kde ... u - pórový tlak vody (kPa)
 k_{zv} - koeficient zvodnění
 γ_w - objemová tíha vody ($\gamma_w = 10 \text{ kNm}^{-3}$)
 h - hloubka měření pórového tlaku (m)
 h_0 - hloubka vzniku pórového tlaku (m)

Při vyhodnocování výsledků průzkumu lomu Medard-Libík z let 2002 až 2004 byl při stanovování pevnostních parametrů sypaniny výsypky dosazen do **vztahů 1.1** a **1.2** nejdříve koeficient pórového tlaku k_{PT} (resp. k_{zv}) rovný nule, takže byly získány nejprve totální hodnoty smykové pevnosti.

Pozn. – Hodnoty totální soudržnosti byly zpětně stanoveny převodem z efektivních hodnot pevnosti za použití hodnot φ_{ef} , c_{ef} , k_{PT} (k_{zv}) a h_0 .

Pak byl do **vztahů 1.1, 1.2** zadán koeficient zvodnění $k_{zv} = 1.0$ (případně $k_{zv} > 1$) a při zajištění této úrovně nárůstu hodnot pórového tlaku vody s hloubkou (tj. hodnoty pórového tlaku narůstaly minimálně dle závislosti $\gamma_w \cdot h$) byl stanoven odpovídající efektivní úhel vnitřního tření φ_{ef} . Případ, kdy pórový tlak vody u ve výsypce by narůstal

s hloubkou pod menším úklonem než odpovídá $\gamma_w \cdot h$ lze těžko předpokládat. Opačný případ, tj. případ, že tento tlak narůstá strměji než odpovídá této závislosti, lze vcelku přijatelně interpretovat. A to tak, že určité procento pórů je zcela uzavřeno. Voda obsažená v těchto pórech se nemůže ani s časovým odstupem uvolnit a komunikovat s okolím. Za těchto podmínek se pak na pórový tlak takto uzavřené vody přenáší plná tíha nadloží. Čím větší je procento takto uzavřených pórů v sypanině výsypky, tím je nárůst pórových tlaků strmější než $\gamma_w \cdot h$ a blíží se hodnotě $\gamma_{sy} \cdot h$.



Obr.8

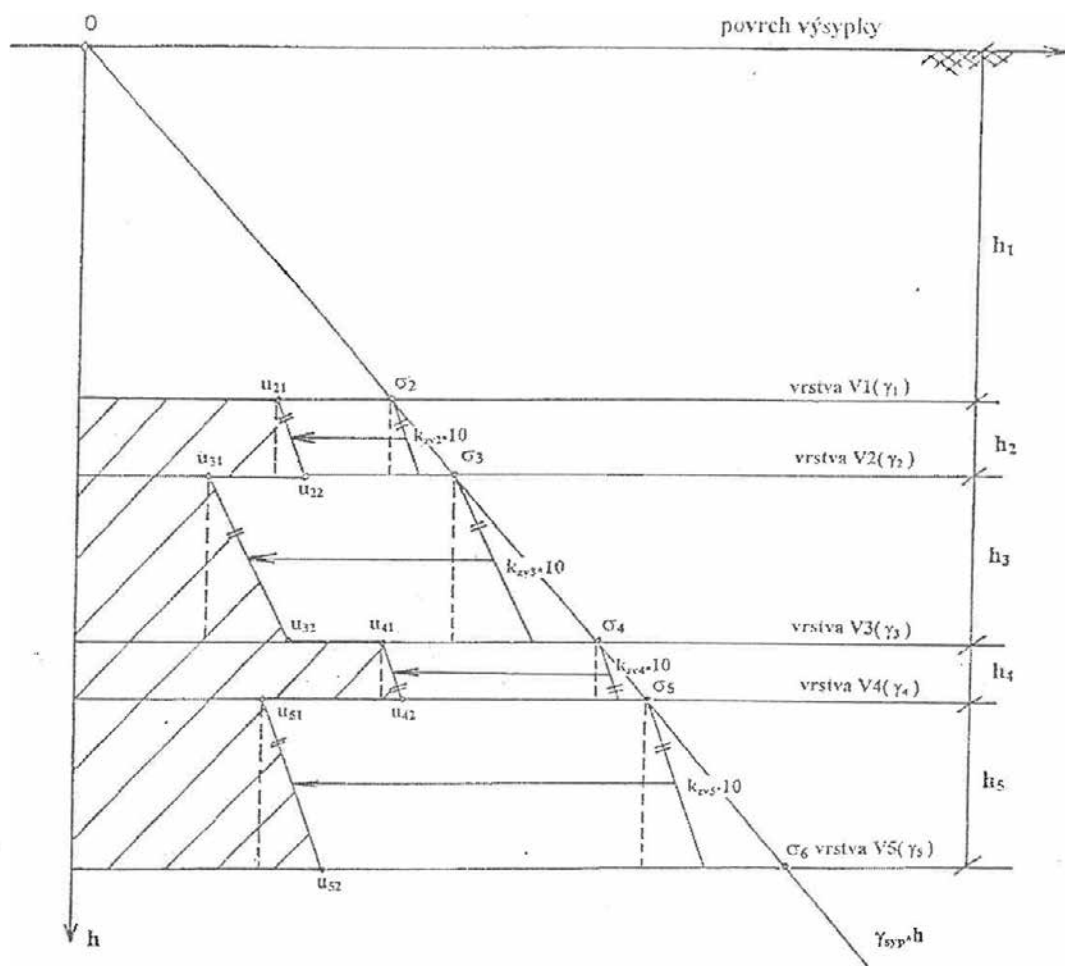
V případě zcela konsolidované výsypky bude celou tíhu vodní masy působící na povrch výsypky přenášet pouze skelet zeminy. Mezi zrny nebude voda v pórech přenášet žádné napětí, resp. pórový tlak v plně konsolidované výsypce bude odpovídat pouze hydrostatickému tlaku vodního sloupce začínajícího na povrchu výsypky (závislost $\gamma_w \cdot h$). Podle Archimedova zákona je sypanina výsypky nadlehčována stejnou silou bez ohledu na polohu vůči vodní hladině (tj. bez ohledu v jaké hloubce se nachází). Při simulování tohoto případu ve stabilitních výpočtech by se tělesu výsypky přiřadily zjištěné efektivní parametry smykové pevnosti a hodnota saturace $sat = 1.0$. Vodní ploše by se pak přiřadily nulové hodnoty ϕ , c , objemová tíha $\gamma_w = 10 \text{ kNm}^{-3}$ a saturace rovna $sat = 0$. Pórový tlak vody u ve výsypce bude na povrchu výsypky dosahovat nulové hodnoty a při bázi výsypky hodnoty $\gamma_w \cdot h_{\text{celk. mocnost výsypky}}$. Naopak v případě zcela nekonsolidované výsypky (tj. v případě, kdy voda přenáší veškerou tíhu nadloží - na obr. 9 případ, kdy pórový tlak u prochází body $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$) by veškerou tíhu vodní masy jezera přenesla voda uzavřená ve výsypce, tj. u na povrchu výsypky by byl roven hodnotě $\gamma_w \cdot h_{\text{(výška vodního sloupce nad povrchem výsypky)}}$. Pórový tlak, který by se zaváděl do výpočtu, by začínal při hladině jezera. Při simulaci tohoto případu by se při stabilitních výpočtech jak tělesu výsypky, tak vodní ploše přiřadila hodnota saturace $sat = 1.0$. Výsypka se ve skutečnosti nachází někde mezi těmito dvěma

hraničními stavy. Na povrchu výsypky přenesse část tíhy vodní masy voda uzavřená ve výsypce a část skeletu zeminy. Tento poměr přenosu napětí by měl cca odpovídat poměru mezi plochou vymezenou na obr. 9 šrafovaně a mezní plochou, při které pórový tlak u ($k_{zv} \cdot 10$) prochází body $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$. V případě částečně konsolidované výsypky začíná pórový tlak vody ve výsypce působit někde mezi hladinou jezera a povrchem výsypky, resp. v hloubce, ve které závislost $u = \gamma_w \cdot h$, procházející na povrchu výsypky bodem k_{ko} (viz. obr. 8), dosahuje nulové hodnoty. Do této polohy (hloubky) je umístěna tzv. redukovaná hladina jezera. Při modelování částečně konsolidované výsypky ve stabilitních výpočtech je třeba vodní ploše nad redukovanou hladinou přiřadit saturaci $sat = 0$ a pod touto hladinou $sat = 1.0$. Na zjištění průběhu této redukované hladiny vody v jezeře stanovené na základě vyhodnocení penetračních měření je tzv. „konstruováno“ stabilitní řešení vlivu zatopení zbytkové jámy lomu Medard-Libík na svahy výsypky.

Za využití obr. 9 lze popsat způsob stanovení efektivních hodnot soudržnosti c_{ef} . Toto stanovení je postaveno na předpokladu, že podzemní voda, která se nachází v penetračním stvolu bezprostředně po skončení penetračního měření, nepředstavuje volnou hydrostatickou hladinu podzemní vody ve výsypce, ale představuje především tzv. „nadbytečnou“ nekonsolidovanou vodu, která byla při průniku penetračního hrotu vytlačena ze sypaniny výsypky do penetračního stvolu. Jako výsledné c_{ef} se uvádí ta hodnota, při které plocha pravoúhlého trojúhelníku o odvěsňě rovné výšce vodního sloupce a o druhé odvěsňě odpovídající pórovému tlaku tohoto sloupce se shodovala s plochou, která je na obr. 9 vyšrafována (plus volná hydrostatická hladina pro 1. vrstvu výsypky).

Rozčlenění výsypky na jednotlivé vrstvy (viz. obr. 6) má své opodstatnění. Tyto vrstvy často odpovídají jednotlivým postupům zakládání výsypky, při kterých se obvykle nasypala vrstva o mocnosti mezi 5 až 10 m. Tímto bylo dáno prvotní rozvrstvení výsypky. K dalšímu „sekundárnímu“ rozčleňování výsypky mohlo dojít vlivem řady různých faktorů, například pod vlivem lokálních sesuvů, průnikem lokálních zvodní do tělesa výsypky apod.

Při založení další vrstvy dojde ve výsypce k tomu, že nejprve přenesse přitížení této vrstvy pouze voda uzavřená ve výsypce – na obr. 9 se hodnota pórového tlaku u přesune do bodu σ_1 . Vlivem zatížení této vrstvy se voda začne vytlačovat z tělesa výsypky a hodnoty pórového tlaku u se postupně začnou posouvat směrem doleva. Po určité době dané propustností sypaniny výsypky se budou hodnoty pórového tlaku nacházet v polohách daných body u_{21} a u_{22} . Bezprostředně po založení další vrstvy se opět hodnoty pórového tlaku přesunou směrem doprava a odstartuje se další proces vytlačování tzv. „přebytečné“ nekonsolidované vody z tělesa výsypky, přičemž časem opět bude docházet k poklesu hodnot pórového tlaku. V rámci procesu zakládání výsypky se v závislosti na propustnosti sypaniny a časové následnosti založení dalších výsypkových vrstev vytvoří ve výsypce rozdělení pórových tlaků pro jednotlivé vrstvy dle schématu zobrazeného na obr. 9.



Obr. 9

Koeficient konsolidace k_{ko} byl stanoven jako celkový poměr součtu ploch P2 ku součtu ploch P1 (viz. ukázka vyhodnocení sondy GM 24/04),

tj. $k_{ko} = \Sigma P2 \text{ celk.} / \Sigma P1 \text{ celk.}$ Pro tyto plochy platí vztahy

$$P1 = \sigma_i \cdot h_i + 10 \cdot k_{zvi} \cdot h_i^2 / 2 \text{ a } P2 = u_{i1} \cdot h_i + 10 \cdot k_{zvi} \cdot h_i^2 / 2, \text{ takže lze psát, že :}$$

$$k_{ko} = \Sigma (u_{i1} \cdot h_i + 10 \cdot k_{zvi} \cdot h_i^2 / 2) / \Sigma (\sigma_i \cdot h_i + 10 \cdot k_{zvi} \cdot h_i^2 / 2).$$

Hodnota c_{ef} byla stanovena na základě výstupní hladiny podzemní vody v penetračním stvolu, přičemž toto stanovení bylo založeno na předpokladu, že výstupní hladina vody odpovídá především tzv. „přebytečné“ nekonsolidované vodě, která se při roztažení sypaniny nashromáždila v penetračním stvolu. U všech sond je provedeno porovnání výstupní hladiny podzemní vody naměřené „in situ“ v penetračním stvolu s tzv. „teoretickou“ výstupní hladinou, kterou získáme, jestliže z „Tabulky pro stanovení koeficientu konsolidace a ploch výstupních hladin vody“ sumovanou hodnoty tzv. „Plochy 2“ (ne P2 celk.) rozdělíme na pravoúhlý trojúhelník

o odvěsnách rovných výšce vodního sloupce a pórového tlaku odpovídajícího této výšce vodního sloupce. Toto porovnání bylo provedeno jako kontrola, jak těsně přiléhají získané výsledky vyhodnocení penetračního průzkumu k naměřeným datům „in situ“.

Na závěr vyhodnocení každé sondy byl uveden odstavec nazvaný „*Prognóza pro zatopení lomu*“. V tomto odstavci byly převedeny získané efektivní parametry na totální s tím, že pórový tlak vody uvažovaný při těchto převodech začínal na redukované hladině vody v jezeře. Stabilitní výpočty zatopení lomu se sice nebudou provádět v totálních parametrech smykové pevnosti (resp. lze je pro kontrolu provést, ale směrodatné by měly být výpočty v efektivních parametrech), ale tyto parametry byly uvedeny pro názornou představu, jak se zatopení lomu projeví na pevnostních vlastnostech sypaniny výsypky. Převody za použití koeficientu nárůstu pórového tlaku $k_u > 1$ (tj. Σk_{zvi} /počet vrstev) zohledňovaly skutečnost, že část pórů v sypanině výsypky je zcela uzavřena, takže voda v nich zůstane prakticky natrvalo vázána. Na konci odstavce „*Prognóza pro zatopení lomu*“ byla u každé sondy uvedena hloubka, ve které se na dané sondě nachází redukovaná hladina. Tato hloubka byla stanovena na základě vztahu:

$$v_{\text{red.hl.}} = v_h - (\sigma_w \cdot k_{ko} / 10)$$

kde $v_{\text{red.hl.}}$ hloubka redukované hladiny
 v_h výška vodní hladiny v místě sondy
 σ_w tlak vody na povrch výsypky
 k_{ko} koeficient konsolidace výsypky

Ukázka vyhodnocení penetračního měření – sonda GM 24/04

Penetrační záznam této sondy, která byla vybrána jako ukázka způsobu vyhodnocení, jimž bylo zpracováno všech 36 sond realizovaných v letech 2002 až 2004, je uveden na obr. 6.

Sonda GM 24/04 : (*sonda z r. 2004 situovaná do profilu 8-8', sonda zachytila výsypku*)

Mocnost výsypky $h = 22.8$ m Celková mocnost sondy ... $h_{\text{celk.}} = 26.0$ m

Hladina podzemní vody... $h_v = -4.56$ m

Zvodnění výsypky $Z = 80$ % (pórový tlak vody ... $u_{\text{dle mř. v penetr...stvolu.}} = 82.4$ kPa)

Tabulka pro stanovení koeficientu konsolidace a ploch výstupní hladiny vody

Mocnost vrstvy	Totální napětí	Pórový tlak	Koeficient nárůstu PT	Plocha 1	Plocha 2	Poměr	P1 celk.	P2 celk.	Celkový poměr
3,2			9,64		5,8322		0	5,8322	
1,8	51,2	11,5	11,556	110,88	39,421	0,3555	110,881	39,4207	0,356
4,0	85	27,5	9,45	415,6	185,6	0,4466	526,481	225,021	0,427
4,8	158,4	11,0	10,979	886,8	179,28	0,2022	1413,28	404,299	0,286
3,8	242,9	127,4	10,711	1000,4	561,45	0,5613	2413,63	965,752	0,4
2,8	311,5	119,0	10,929	915,04	376,04	0,411	3328,67	1341,79	0,403
2,4	365,2	221,7	11,708	910,2	565,8	0,6216	4238,87	1907,59	0,450
				Σ	1913,4				

Výstupní hladina podzemní vody :

Pórový tlak vody dle výstupní hladiny podzemní vody naměřené v penetračním stvolu :

Zvodnění výsypky : **$Z = 80 \%$ $u = 182.4 \text{ kPa}$** pro hloubku 22.8 m

Tzv. „teoretický“ pórový tlak výstupní hladiny podzemní vody dle vyhodnocení penetračního měření :

$$P_{182.4 \text{ kPa}} = 182.4 \text{ kPa} \cdot (22.8 \text{ m} - 4.56 \text{ m}) / 2 = 182.4 \text{ kPa} \cdot 18.24 \text{ m} / 2 = 1663.5 \text{ kPa} \cdot \text{m}$$

$$P_{\text{cef}} = 6 \text{ kPa} = 1913.4 \text{ kPa} \cdot \text{m} = 195.6 \text{ kPa} \cdot 19.56 \text{ m} / 2 = 195.6 \text{ kPa} \cdot (22.8 \text{ m} - 3.24 \text{ m}) / 2$$

$$\Rightarrow \underline{u_{\text{teor.}} = 195.6 \text{ kPa} \quad (\Delta = 7 \%) \quad \text{pro } c_{\text{ef}} = 6 \text{ kPa}}$$

Terénní měření pórového tlaku :

h - hloubka měření, u = pórový tlak vody

$h = 15.0 \text{ m}$ $u = 236.9 \text{ kPa}$

$$h_0 = 1.9 \text{ m}, \gamma = 17.7 \text{ kNm}^{-3}, k_{PT} = 0.605 \text{ (viz. vrstva 13.8-17.6 m)} \Rightarrow u = 140.3 \text{ kPa}$$

$h = 21.2 \text{ m}$ $u = 254.9 \text{ kPa}$

$$h_0 = 1.4 \text{ m}, \gamma = 17.9 \text{ kNm}^{-3}, k_{PT} = 0.652 \text{ (viz. vrstva 20.4-22.8 m)} \Rightarrow u = 231.1 \text{ kPa} (\Delta = 10\%)$$

Prognóza pro zatopení lomu :

$Z_{\text{GM 24/04}} = 394.1 \text{ m n.m.} \Rightarrow v_h = 6.9 \text{ m}$ (výška vodní hladiny v místě sondy GM 24/04)
koeficient konsolidace výsypky $k_{ko} = 0.450$ (viz. tabulka pro konsolidaci)

koeficient nárůstu pórového tlaku ... $k_u = 1.0 \Rightarrow \varphi_{\text{tot}} = 6.1^\circ, c_{\text{tot}} = 7 \text{ kPa}$
($\Delta \varphi_{\text{tot}} = -0.6^\circ, \Delta c_{\text{tot}} = -7 \text{ kPa}$)

tlak vody na povrch výsypky 69 kPa

napětí přenesené tzv. „vodou“ 31.05 kPa (při $k_{ko} = 0.450$)

redukována hladina vody v jezeře .. **3.8 m pod skutečnou hladinou ($\approx 397.2 \text{ m n.m.}$)**

Shrnutí výsledků penetračního průzkumu

Z vyhodnocení penetračního měření bylo zcela patrné, že výsypka je ve svých vlastnostech značně heterogenní, takže bylo nezbytné zjištěné pevnostní parametry „přijatelným“ způsobem zprůměrovat. Pro toto zprůměrování byl opět využit vážený průměr - každá sledovaná veličina byla vynásobena mocností vrstvy, ke které příslušela, výsledná hodnota pak byla dělena celkovou mocností výsypky. Sondy byly při zpracování seřazeny podle své příslušnosti k profilům, ve kterých byly realizovány.

Z 9 profilů, které pokrývají výsypkovou stranu lomu Medard-Libík, bylo penetračním sondováním prozkoumáno celkem 7 profilů. Z 11 profilů pokrývajících skryvkovou stranu lomu byly vybrány pouze 3 stabilně nejexponovanější profily, ve kterých bylo realizováno 9 penetračních sond (po třech na profil).

V tabulce je uvedena ukázka vyhodnocení penetračních sond realizovaných v profilu 8-8' (*tento profil byl vybrán pro ukázkou, neboť v něm se nachází sonda GM 24/04*).

Profil 8-8'					
Sonda 23/04	Totální parametry			Efektivní parametry	
	úhel vn. tř.	soudržnost	mocnost	úhel vn. tř.	$\varphi_{ef} = 18.3^\circ$
Celá výsypka	$\varphi_{tot} = 5.9^\circ$	$c_{tot} = 17 \text{ kPa}$	14.0 m	soudržnost	$c_{ef} = 8.0 \text{ kPa}$
Těleso výsypky	$\varphi_{tot} = 6.2^\circ$	$c_{tot} = 17 \text{ kPa}$	13.0 m	koef. konsolidace	$k_{ko} = 0.310$
Kontakt V-P	$\varphi_{tot} = 2.8^\circ$	$c_{tot} = 10 \text{ kPa}$	1.0 m	hladina	- 23.3 m ($\equiv 377.7 \text{ m}$)
Sonda 24/04	Totální parametry			Efektivní parametry	
	úhel vn. tř.	soudržnost	mocnost	úhel vn. tř.	$\varphi_{ef} = 16.8^\circ$
Celá výsypka	$\varphi_{tot} = 6.7^\circ$	$c_{tot} = 14 \text{ kPa}$	22.8 m	soudržnost	$c_{ef} = 6.0 \text{ kPa}$
Těleso výsypky	$\varphi_{tot} = 7.0^\circ$	$c_{tot} = 15 \text{ kPa}$	20.4 m	koef. konsolidace	$k_{ko} = 0.450$
Kontakt V-P	$\varphi_{tot} = 3.8^\circ$	$c_{tot} = 6 \text{ kPa}$	2.4 m	hladina	- 3.8 m ($\equiv 397.2 \text{ m}$)
Sonda 25/04	Totální parametry			Efektivní parametry	
	úhel vn. tř.	soudržnost	mocnost	úhel vn. tř.	$\varphi_{ef} = 14.7^\circ$
Celá výsypka	$\varphi_{tot} = 5.9^\circ$	$c_{tot} = 32 \text{ kPa}$	39.0 m	soudržnost	$c_{ef} = 15.0 \text{ kPa}$
Těleso výsypky	$\varphi_{tot} = 5.9^\circ$	$c_{tot} = 32 \text{ kPa}$	38.8 m	koef. konsolidace	$k_{ko} = 0.343$
Kontakt V-P	$\varphi_{tot} = 5.3^\circ$	$c_{tot} = 15 \text{ kPa}$	0.2 m	hladina	Sonda nad hladinou

Po vyhodnocení váženým průměrem vychází pro **profil 8-8'** následující parametry smykové pevnosti :

	Totální parametry		Efektivní parametry
Celá výsypka	$\varphi_{tot} = 6.1^\circ$	$c_{tot} = 24 \text{ kPa}$	$\varphi_{ef} = 16.0^\circ$
Těleso výsypky	$\varphi_{tot} = 6.3^\circ$	$c_{tot} = 24 \text{ kPa}$	$c_{ef} = 11.0 \text{ kPa}$
Kontakt V-P	$\varphi_{tot} = 4.0^\circ$	$c_{tot} = 10 \text{ kPa}$	$k_{ko} = 0.369$

Po obdobném vyhodnocení vychází pro celou vnitřní výsypku lomu Medard-Libík (tj. pro profily 1-1' až 9-9') následující parametry smykové pevnosti :

	Totální parametry		Efektivní parametry
Celá výsypka	$\varphi_{tot} = 7.0^\circ$	$c_{tot} = 22.6 \text{ kPa}$	$\varphi_{ef} = 16.85^\circ$
Těleso výsypky	$\varphi_{tot} = 7.1^\circ$	$c_{tot} = 22.3 \text{ kPa}$	$c_{ef} = 10.2 \text{ kPa}$
Kontakt V-P	$\varphi_{tot} = 5.0^\circ$	$c_{tot} = 16.1 \text{ kPa}$	$k_{ko} = 0.407$

Vzhledem k poměrně vysokým hodnotám smykové pevnosti je velmi pravděpodobné, že skrývkové svahy nebudou v rámci zatopení zbytkové jámy lomu Medard-Libík ze stabilitního hlediska problematické a dosažené stupně bezpečnosti těchto svahů budou pravděpodobně vyhovovat požadavkům báňských předpisů – viz. **vyhláška ČBÚ č.26/1989 Sb., § 34**. Pozornost bude třeba zaměřit především na stabilitu výsypkových svahů.

Poděkování

Před zahájením napouštění zbytkové jámy bude vybudován monitorovací systém na sledování chování výsypkových a skrývkových svahů během napouštění lomu Medard-Libík. Součástí navrženého systému jsou i následné penetrační sondy (tj. sondy opakované po uplynutí určitého časového intervalu na identickém místě), přičemž lze právě sondy realizované s podporou grantového úkolu GA ČR č. 105/02/0497 využít jako následné penetrační sondy, neboť tyto sondy zachycují s dostatečným předstihem stav výsypky před začátkem napouštění.

Soubor výsledků vyhodnocení geotechnického průzkumu realizovaného s podporou grantového úkolu GA ČR č. 105/02/0497 lze využít pro aktualizované stabilitní posouzení svahů zbytkové jámy lomu Medard-Libík. V případě, že by se při stabilitních výpočtech zjistilo, že požadované objemy zemin (tj. 10 990 tis. m³) nejsou ze stabilitního hlediska ještě dostatečné, tak do r. 2007 ještě existuje časový prostor na založení takových objemů sypaniny, aby svahy lomu Medard-Libík odpovídaly požadavkům báňských předpisů (viz. **vyhláška ČBÚ č. 26/1989 Sb.** ve znění **vyhlášky č. 8/1994 Sb., § 46, bod a)** na dlouhodobou stabilitu konečných závěrných svahů.