

KONFERENCIA MLADÝCH ODBORNÍKOV

**ANALÝZA VPLYVU FILTRAČNEJ ANIZOTROPIE POPOLOVÉHO
SEDIMENTU ODKALISKA NA VEĽKOSŤ PRIESAKOVÉHO
MNOŽSTVA VODY**

9.11.2017

LENKA ZLATINSKÁ

Anotácia

Odkalisko je inžinierska konštrukcia pre uloženie geomateriálov priemyselných prevádzok. Bezpečný návrh odkalísk musí predovšetkým vychádzať zo spoľahlivého určenia fyzikálnych, mechanických a hydraulických vlastností ukladaného geomateriálu. Produkcia odpadov (hnedouhoľné popoly) z energetických výrobní je u nás najväčšia. Hnedouhoľné popoly vznikajú ako odpad zo spaľovania hnedého uhlia. Uloženie týchto odpadov pri tak veľkých objemoch je obťažné. Preto je potrebné pri návrhu a prevádzke takéhoto diela vychádzať z dokonalej znalosti vlastností a správania sa ukladaného materiálu.

Annotation

Tailings impoundment is an engineering structure for storage of geomaterials from industrial operations. Safe design has to be particularly based on reliable determination of physical, mechanical and hydraulic properties of stored material. The production of waste (brown coal ashes) from energy operations is the largest in our country. Brown coal ashes are formed as a waste from brown coal combustion. It is difficult to store this kind of waste in such large volumes. Therefore it is needed, according to design and operation of this structure, to come out of perfect knowledge about properties and behaviour of sedimented material.

Abstrakt

Na popolové odkaliská je ukladaný odpadový materiál rôznej zrnitosti. Výsledná popolová zmes ukladaná na odkalisko pozostáva z trosky a škvary, ktoré sa po odpadnutí z výsypiek kotolných zariadení melú a majú prevažne častice väčších rozmerov – **hrubozrnné popoly** a z popolčeka, ktorý odpadá z odlučovacích zariadení – **jemnozrnné popoly**.

Pri najrozšírenejšom spôsobe ukladania odpadov na odkalisko – hydraulickom spôsobe, dochádza k postupnej sedimentácii kalu vo vode. Táto skutočnosť má za následok vznik tenkovrstevnatého laminovaného sedimentu, v ktorom sa striedajú polohy hrubozrnnnejšie s vyššou priepustnosťou s polohami jemnozrnnnejšími s nižšou priepustnosťou.

Priepustnosť vrstevnatého popolového sedimentu vo vodorovnom smere je podstatne väčšia ako v smere zvislom. Hodnota anizotropie by mala byť popri smerodajných hodnotách koeficientov filtrácie v horizontálnom a vertikálnom smere významným vstupným údajom pre hospodárny návrh drenážnych systémov odkaliska.

V predkladanej práci je riešená experimentálna analýza filtračnej anizotropie popolového sedimentu. Výsledky experimentálnej štúdie sú overené vo filtračnom výpočte, ktorého výsledky sú porovnané s reálnym meraním priesakov na vybranom odkalisku.

Abstract

The waste material of different grain size is deposited on tailings impoundments. The resulted ash mixture deposited on tailings impoundments consists of cinder, which is melted after discharge hopper and have predominantly larger particles – coarse-grained ashes and consists of fly ash, which is removed from the separating devices – fine-grained ashes.

In the most widespread way of waste depositing to the tailings impoundment - the hydraulic way, the sludge is gradually settled in the water. This results in the formation of a laminated sediment in which are layers with higher permeability alternated with the layers with lower permeability.

The permeability of the layered accumulated sediment in the horizontal direction is considerably higher than in the vertical direction. The anisotropy value must be a significant entry value for the economic design of the drainage systems of tailing impoundment beside to the normal values of the filtration coefficients in the horizontal and vertical directions.

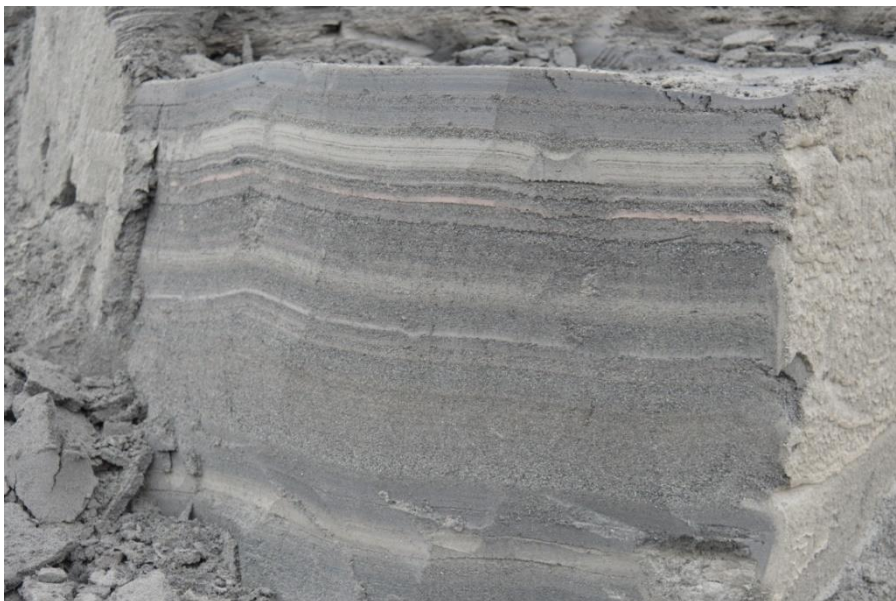
In the presented work is solved experimental analysis of filtration anisotropy of ash sediment. The results of the experimental study are verified in the filtration calculation, whose results are compared with the real measurement of the leakage at the selected tailings impoundment.

Úvod

Pri najrozšírenejšom spôsobe ukladania odpadov na odkalisko – hydraulickom spôsobe, dochádza k postupnej sedimentácii kalu vo vode – obr.1. Naplavovanie odpadov na odkalisko má za následok vznik tenkovrstevnatého – laminovaného sedimentu – obr.2. Z toho dôvodu možno toto prostredie z pohľadu priesaku považovať za anizotropné. Odborná literatúra doposiaľ uvádzala rozpätie filtračnej anizotropie geomateriálov popolových odkalísk v pomerne širokom rozpätí 1-100. Filtračná anizotropia popolového sedimentu bola v minulosti overená stochastickým modelovaním. Cieľom riešenia problematiky v predkladanom príspevku bolo overenie doposiaľ stanovených hodnôt filtračnej anizotropie popolového sedimentu pomocou experimentálnych meraní. Výsledky experimentálnych meraní filtračnej anizotropie popolového sedimentu boli zavedené do filtračného výpočtu. Výsledky filtračného výpočtu boli porovnané s reálnym meraním priesakov na odkalisku.



Obr.1 Hydraulický spôsob ukladania odpadov na odkalisko – naplavovanie



Obr.2 Laminovaný popolový sediment na Definitívnom odkalisku v Zemianskych Kostol'anoch

1 Súčasný stav problematiky

Odborná literatúra [1] uvádza že, hodnota filtračnej anizotropie pre popolové odkaliská sa môže pohybovať v rozpätí od 1 – 100.

V [5] je problematika filtračnej anizotropie riešená formou **stochastického modelovania** na modeli vrstevnatého sedimentu. Toto riešenie vychádza zo skutočnosti, že v popolovom sedimente na odkalisku je počet vrstiev veľmi veľký (striedajúce sa vrstvy hrubozrnného a jemnozrnného popola) a každá vrstva má svoje individuálne hodnoty d_i – hrúbka vrstvy a k_i – príslušný koeficient filtrácie. Požiadavka náhodnosti zmeny hrúbky d_i medzi krajnými hodnotami d_{\min} a d_{\max} bola riešená priradením rovnomerne rozdelených náhodných čísel v medziach d_{\min} ; d_{\max} . Pravdepodobnosť výskytu účinného priemeru d_{10} v popolovom sedimente možno aproximovať logaritmicke-normálnym rozdelením priemerov zŕn d_{10} , odvodeným na základe vyhodnotenia 316 kriviek zrnitosti populov. Koeficient filtrácie bol pre príslušnú zrnitosť popola charakterizovanú priemerom zŕn d_{10} , vyjadrený na základe vzťahu $k = 8,9 \cdot 10^{-4} \cdot 0,27^{0,49 \log d_{10}}$ ako $k = f(d_{10})$. Podľa známych vzťahov z hydrauliky [3] boli stanovené hodnoty \bar{k}_x , \bar{k}_z a $\bar{\lambda}$ výsledného vrstevnatého sedimentu.

Výsledky zo stochastického (matematického) modelovania filtračnej anizotropie v popolovom sedimente na odkalisku boli nasledovné [5]:

- pre hodnotu koeficientu filtrácie v horizontálnom smere $\bar{k}_x = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$;
- pre hodnotu koeficientu filtrácie vo vertikálnom smere $\bar{k}_z = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$;
- pre hodnotu filtračnej anizotropie $\bar{\lambda}_{\text{mat}} = 7,5$.

2 Experimentálne merania filtračnej anizotropie popolového sedimentu

2.1 Homogénny popolový sediment

V prvej fáze experimentálnych meraní bola venovaná pozornosť homogénnej vzorke jemnozrnného a hrubozrnného popola. Popolový sediment bol pripravený v exsikátore, ktorý bol po stenách vystlaný filtračným papierom. Na dne nádoby bola umiestnená dierovaná podložka, ktorá zabezpečovala drénovanie odsedimentovanej vody. V priestore nádoby vodou nasýtený hrubozrnný a jemnozrnný popol voľne sedimentoval po dobu 1 týždeň. Z pripraveného sedimentu boli vyrezané 3 vzorky jemnozrnného popola a 2 vzorky hrubozrnného popola, na ktorých bola realizovaná skúška priepustnosti. Výsledky skúšky priepustnosti na vzorkách jemnozrnného a hrubozrnného popola sa nachádzajú v tab.1.

Tab.1 Výsledky experimentálnych meraní – homogénne vzorky naplaveného popola

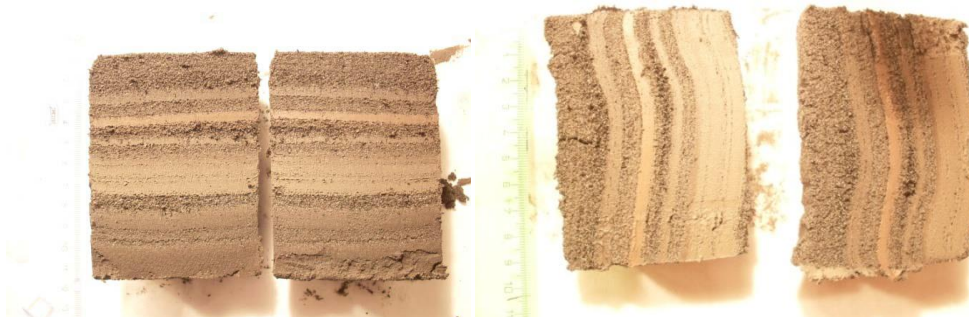
POPOL	VZORKA Č.	k	\bar{k} - PRIEMER
		[m.s ⁻¹]	[m.s ⁻¹]
JEMNOZRNNÝ	1	$3,26 \cdot 10^{-7}$	$4,66 \cdot 10^{-7}$
	2	$4,91 \cdot 10^{-7}$	
	3	$5,11 \cdot 10^{-7}$	
HRUBOZRNNÝ	1	$1,99 \cdot 10^{-5}$	$2,05 \cdot 10^{-5}$
	2	$2,13 \cdot 10^{-5}$	

2.2 Reálne vrstevnatý popolový sediment

Vzorky reálne vzniknutého popolového sedimentu boli odobrané z naplavovacieho meandra Definitívneho odkaliska, ENO a.s. Na náhodne vybraných 10tich miestach naplavovacieho meandra boli z každého miesta odobrané dvojice vzoriek (dvojica vzoriek v smere laminácie, dvojica vzoriek kolmo na smer laminácie popolového sedimentu – obr.3). Na takto vyrezaných vzorkách sedimentu vzniknutého v reálnych podmienkach naplavovania bol experimentálne stanovený koeficient filtrácie kolmo na jeho vrstevnatosť a v smere jeho vrstevnatosti. Na obr.4 sa nachádza ukážka vzoriek po skúške priepustnosti. Z výsledkov experimentálnych meraní – tab.2, t.j. stanovenia koeficientov filtrácie vzoriek vo zvislom a horizontálnom smere boli vyjadrené hodnoty filtračnej anizotropie pre vzorky z každého odberného miesta – λ_{real} . Priemerná hodnota filtračnej anizotropie $\bar{\lambda}_{\text{real}}$ bola stanovená podielom mediánov (\bar{k}_x, \bar{k}_z) nameraných koeficientov filtrácie.



Obr.3 Odber vzoriek



Obr.4 Vzorky po skúške priepustnosti - vz. č.4

Výsledky z experimentálnych meraní filtračnej anizotropie v popolovom sedimente na odkalisku boli nasledovné:

- pre priemernú hodnotu koeficientu filtrácie v horizontálnom smere $\bar{k}_x = 1,29 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$;
- pre priemernú hodnotu koeficientu filtrácie vo vertikálnom smere $\bar{k}_z = 1,30 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$;
- pre priemernú hodnotu filtračnej anizotropie $\bar{\lambda}_{\text{real}} = 9,90$;
- pre minimálnu hodnotu filtračnej anizotropie $\lambda_{\text{real,min}} = 2,00$;
- pre maximálnu hodnotu filtračnej anizotropie $\lambda_{\text{real,max}} = 36,00$.

Tab.2 Výsledky experimentálnych meraní filtračnej anizotropie popolového sedimentu – reálne vrstevnaté vzorky

SMER VYREZANIA VZORKY	VZORKA Č	k_z [m.s ⁻¹]	\bar{k}_z - MEDIÁN [m.s ⁻¹]	SMER VYREZANIA VZORKY	VZORKA Č	k_x [m.s ⁻¹]	\bar{k}_x - MEDIÁN [m.s ⁻¹]	VZORKA Č	Filtračná anizotropia λ_{real}	Filtračná anizotropia - PRIEMER $\bar{\lambda}_{real}$
ZVISLÝ	1A	$3,36 \cdot 10^{-6}$	$1,30 \cdot 10^{-6}$	HORIZON- TÁLNY	1A	$1,66 \cdot 10^{-5}$	$1,29 \cdot 10^{-5}$	1	4,61	9,90
	1B	$3,26 \cdot 10^{-6}$			1B	$1,39 \cdot 10^{-5}$		2	13,25	
	2A	pokazená			2A	$2,55 \cdot 10^{-5}$		3	35,94	
	2B	$1,96 \cdot 10^{-6}$			2B	$2,64 \cdot 10^{-5}$		4	26,74	
	3A	$2,84 \cdot 10^{-7}$			3A	$9,36 \cdot 10^{-6}$		5	18,26	
	3B	$2,58 \cdot 10^{-7}$			3B	$1,01 \cdot 10^{-5}$		6	2,16	
	4A	$5,72 \cdot 10^{-7}$			4A	$1,60 \cdot 10^{-5}$		7	1,44	
	4B	$5,64 \cdot 10^{-7}$			4B	$1,43 \cdot 10^{-5}$		8	5,66	
	5A	$7,77 \cdot 10^{-7}$			5A	$1,63 \cdot 10^{-5}$		9	11,27	
	5B	$9,07 \cdot 10^{-7}$			5B	$1,44 \cdot 10^{-5}$		10	2,16	
	6A	$2,98 \cdot 10^{-7}$			6A	$5,96 \cdot 10^{-7}$				
	6B	$2,74 \cdot 10^{-7}$			6B	$6,38 \cdot 10^{-7}$				
	7A	pokazená			7A	$2,11 \cdot 10^{-5}$				
	7B	$1,02 \cdot 10^{-5}$			7B	$8,38 \cdot 10^{-6}$				
	8A	$2,09 \cdot 10^{-6}$			8A	$1,10 \cdot 10^{-5}$				
	8B	$1,49 \cdot 10^{-6}$			8B	$9,25 \cdot 10^{-6}$				
	9A	$1,32 \cdot 10^{-6}$			9A	$1,19 \cdot 10^{-5}$				
	9B	$1,30 \cdot 10^{-6}$			9B	$1,77 \cdot 10^{-5}$				
	10A	$2,45 \cdot 10^{-6}$			10A	$3,41 \cdot 10^{-6}$				
	10B	pokazená			10B	$7,17 \cdot 10^{-6}$				

3 Analýza vplyvu filtračnej anizotropie popolového sedimentu na veľkosť priesakového množstva vody

Pôvodné odkalisko ENO a.s. je najstaršie zo súboru odkalísk v Zemianskych Kostol'anoch. V r. 1965 bolo poškodené vážnou haváriou a v súčasnosti je už neprevádzkované – je zrekultivované. Odkalisko bolo budované spôsobom „proti vode“, pričom nadvyšovacie hrádze boli budované prevažne z popolového sedimentu. Drenážny systém odkaliska je tvorený 3 drénmi v základných hrádzach (PD, DZ I, DZ II) a priečnymi drénmi (1-9) ktoré boli dobudované s postupným nadvyšovaním odkaliska – obr.5. Podľa [4], množstvo vody presakujúce v odkalisku z kalu do drenáže a aj do základnej hrádze je predovšetkým dané priepustnosťou sedimentu. Počas celej svojej prevádzky bolo naplavované popolovým sedimentom, čím dochádzalo k tvorbe laminovaného, a tým aj k filtračne anizotropného popolového sedimentu.

3.1 Okrajové podmienky riešenia

Priesak telesom odkaliska bol riešený numerickými filtračnými výpočtami v module Seep/W [2] v programe Geo-Slope [S1], na modeli ohraničenom na obr.5 zelenou čiarou - kedy bolo odkalisko naplavené po kótu 292,0m n.m. Dôvodom riešenia priesaku práve v tomto vybranom období bola dostupnosť meraní prietokov z pätného drénu a drénov základných hrádzí (PD, DZ I, DZ II).

Z výsledkov riešení filtračnej anizotropie popolového sedimentu (stochastické matematické modelovanie, experimentálne merania) je zrejmé, že hodnota filtračnej anizotropie kolíše v rozmedzí hodnôt $\lambda = 2,0$ až **36,0**. Z tohoto dôvodu bol výpočet priesaku telesom odkaliska realizovaný vo forme nasledovnej parametrickej štúdie prostredníctvom modelových situácií (MS):

Modelová situácia 1 = MS 1:

Populový sediment bol modelovaný ako filtračne izotropný materiál, ktorého koeficient filtrácie k bol zvolený ako stredná hodnota medzi k jemnozrnného popola a k hrubozrnného popola – tab.1.

Modelová situácia 2 = MS 2:

Populový sediment bol modelovaný ako filtračne anizotropný materiál s minimálnou hodnotou filtračnej anizotropie $\lambda_{\text{real,min}} = 2,0$ (výsledok z experimentálnych meraní na reálnych vzorkách).

Modelová situácia 3 = MS 3:

Populový sediment bol modelovaný ako filtračne anizotropný materiál s hodnotou $\bar{\lambda}_{\text{real}} = 9,9$ (priemerná hodnota filtračnej anizotropie popolového sedimentu – výsledok z experimentálnych meraní na reálnych vzorkách).

Modelová situácia 4 = MS 4:

Populový sediment bol modelovaný ako filtračne anizotropný materiál s maximálnou hodnotou filtračnej anizotropie $\lambda_{\text{real,max}} = 36,0$ (výsledok z experimentálnych meraní na reálnych vzorkách).

Modelová situácia 5 = MS 5:

Populový sediment bol modelovaný ako filtračne anizotropný materiál s extrémnou hodnotou filtračnej anizotropie $\lambda_{\text{extr}} = 100,0$.

Filtračné charakteristiky geomateriálov použitých vo výpočtoch sú uvedené v prehľadnej tab.3.

Tab.3 Filtračné charakteristiky materiálov odkaliska

	MATERIÁL	$k, k_x, \bar{k}_x [m.s^{-1}]^*$	$\lambda; \bar{\lambda} [-]$	$k_z, \bar{k}_z [m.s^{-1}]^*$	
PODLOŽIE	hlinitokamenité sute	$2,0 \cdot 10^{-6}$	neuvaž.	neuvaž.	
	povrchové hlíny	$2,0 \cdot 10^{-8}$	neuvaž.	neuvaž.	
TELESO ODKALISKA	základné hrádze	$2,0 \cdot 10^{-5}$	neuvaž.	neuvaž.	
	štrkové drény	$1,0 \cdot 10^{-4}$	neuvaž.	neuvaž.	
	popolový sediment	MS 1	$3,3 \cdot 10^{-6}$	neuvaž.	neuvaž.
		MS 2	$1,29 \cdot 10^{-5**}$	$\lambda_{real, min} = 2,0$	$6,45 \cdot 10^{-6}$
		MS 3		$\bar{\lambda}_{real} = 9,9$	$1,30 \cdot 10^{-6}$
		MS 4		$\lambda_{real, max} = 36,0$	$3,58 \cdot 10^{-7}$
MS 5		$\lambda_{extr} = 100,0$		$1,29 \cdot 10^{-7}$	

* pri uvažovaní filtračnej anizotropie je do programu Geo-Slope zadávaná hodnota k_x a hodnota k_z je automaticky dopočítaná podľa hodnoty λ

** hodnota \bar{k}_x uvažovaná z tab.2

Pri ustálenom numerickom výpočte boli použité dva typy okrajových podmienok (ďalej len OP):

- OP typu Dirichlet - výška hladiny vody v odkalisku. Vzdialenosť plavenia (t.j. umiestnenie Dirichletovej OP v horizontálnom smere) bolo stanovené na základe projektom požadovanej vzdialenosti plavenia (50 až 100m od hrádzového systému);
- OP "Potential Seepage Face", ktorá iteračným procesom hľadá polohu priesakovej krivky a výronovej plochy. Poloha a tvar OP sú naznačené na obr.6.

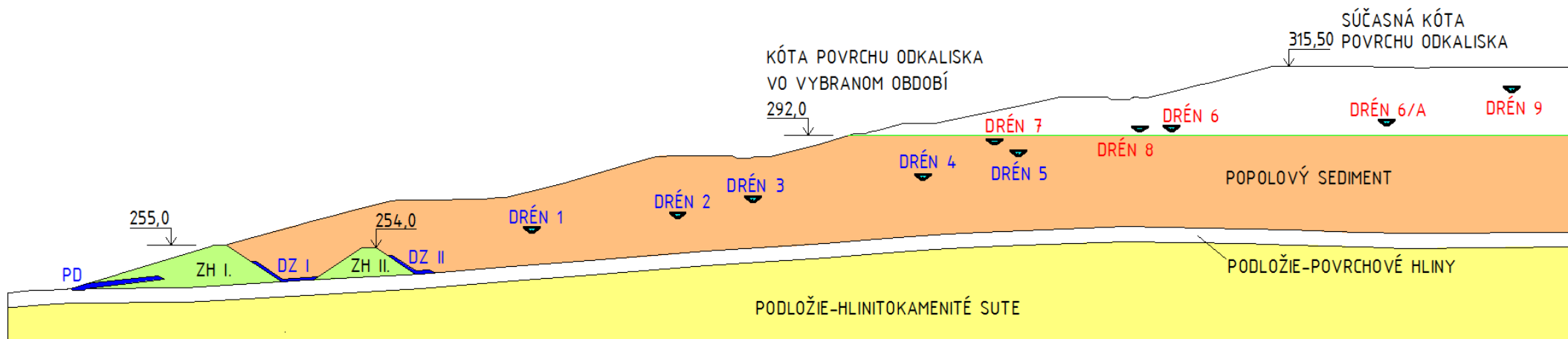
Sledované bolo množstvo presiaknutej vody z drénov PD, DZ I, DZ II.

3.2 Výsledky výpočtov

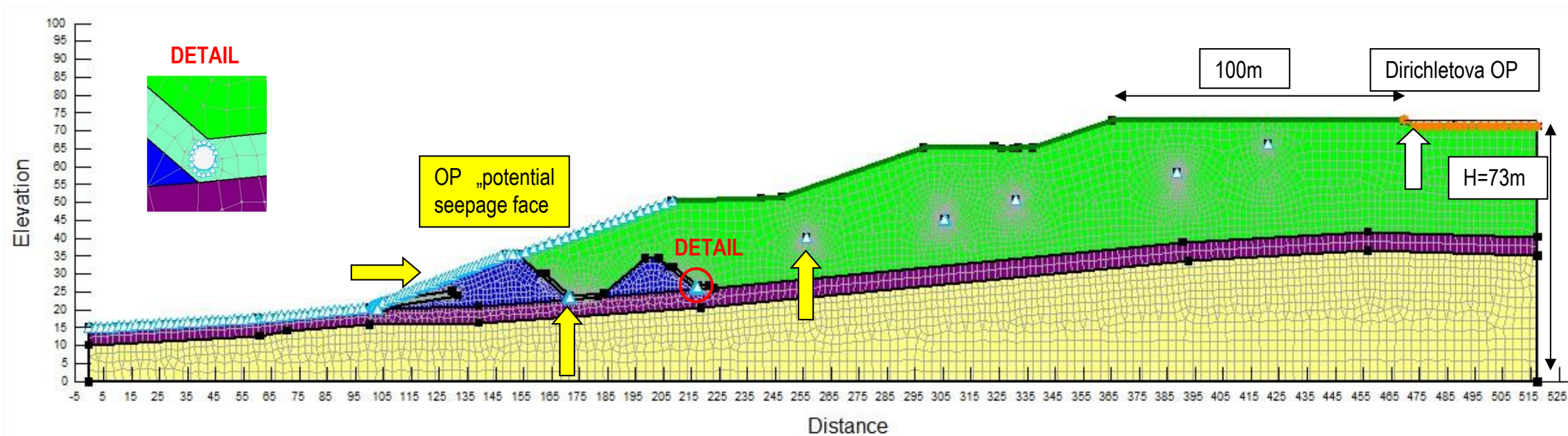
Výsledky výpočtov sú interpretované v nasledovných tabuľkách. V tab.4 sa nachádzajú vypočítané hodnoty špecifického priesaku (v PD, DZ I, DZ II) z 2D modelu $\rightarrow q [m^2.s^{-1}.mb]$ pre jednotlivé modelové situácie (MS). V tab.5 sa nachádzajú vypočítané hodnoty priesaku po zohľadnení dĺžok drénov PD, DZ I a DZ II $\rightarrow Q [m^3.s^{-1}]$ pre jednotlivé modelové situácie. Dostupné bolo meranie celkového množstva vody zachytené tromi drénmi základných hrádzí (PD, DZ I, DZ II). V tab.6 sa nachádza suma vypočítaných priesakov z troch drénov (PD, DZ I, DZ II) a následné porovnanie s reálnym meraním. Porovnanie reálnej hladiny vody v telese odkaliska vykreslenej na základe meraní hladín v jednotlivých profiloch (1 až 13, PD, DZ I, DZ II) s vypočítanou priesakovou hladinou (hladina vody bola vygenerovaná podľa vstupov modelovej situácie č.3) sa nachádza na obr.7.

Tab.4 Vypočítané hodnoty špecifických priesakov v PD, DZ I, DZ II

	$q [m^2.s^{-1}.mb]$				
	MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
PD	$6,65 \cdot 10^{-6}$	$8,43 \cdot 10^{-6}$	$9,10 \cdot 10^{-6}$	$8,95 \cdot 10^{-6}$	$8,35 \cdot 10^{-6}$
DZ I	$3,88 \cdot 10^{-6}$	$1,15 \cdot 10^{-5}$	$9,62 \cdot 10^{-6}$	$7,01 \cdot 10^{-6}$	$4,79 \cdot 10^{-6}$
DZ II	$7,58 \cdot 10^{-6}$	$3,80 \cdot 10^{-5}$	$2,60 \cdot 10^{-5}$	$1,28 \cdot 10^{-5}$	$2,70 \cdot 10^{-6}$



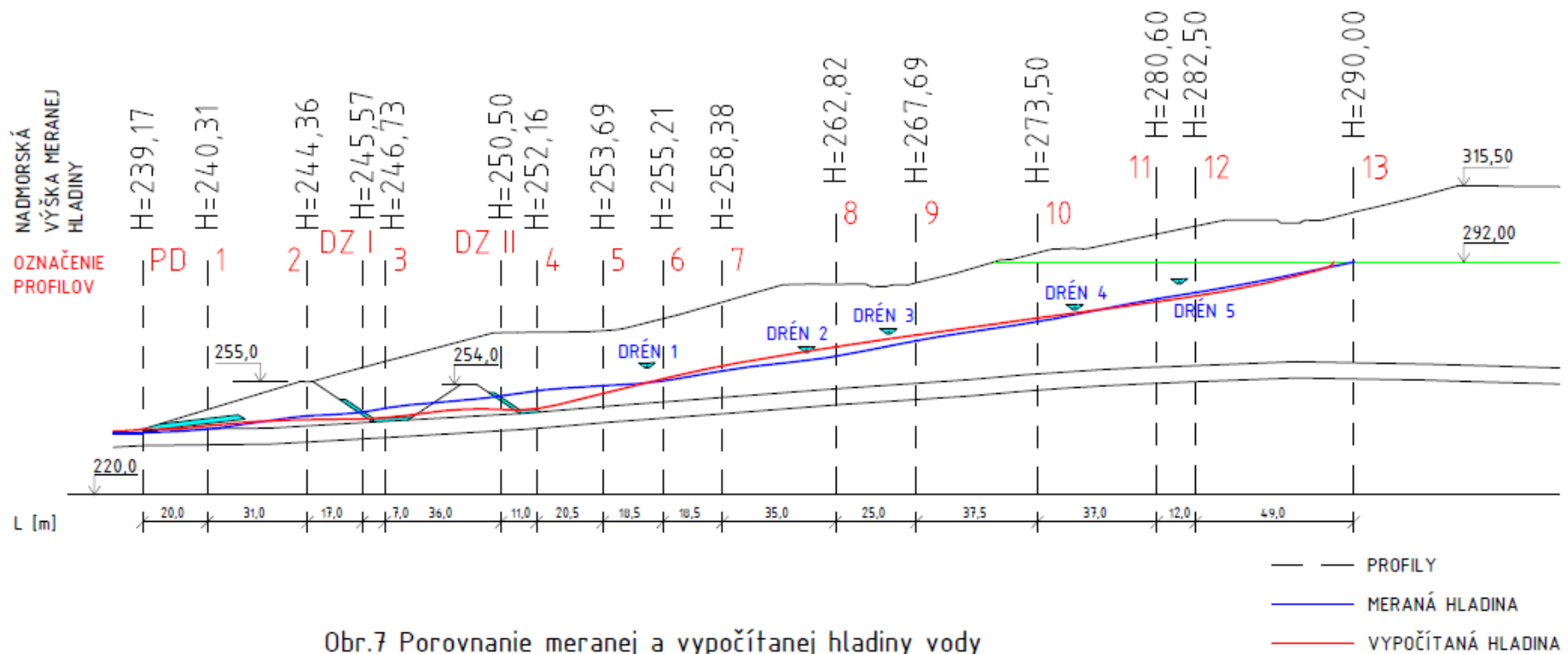
Obr.5 Priechy profil Pôvodného odkaliska ENO, a.s. v Zemianskych Kostol'anoch



Obr.6 Okrajové podmienky modelu

POROVNANIE HLADÍN

M= 1:2000



Obr.7 Porovnanie meranej a vypočítanej hladiny vody

Tab.5 Vypočítané hodnoty priesakov podľa dĺžok drénov PD, DZ I, DZ II

	Dĺžka drénu [m]	Q [m ³ .s ⁻¹]				
		MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
PD	50,0	3,33.10 ⁻⁴	4,22.10 ⁻⁴	4,55.10 ⁻⁴	4,47.10 ⁻⁴	4,17.10 ⁻⁴
DZ I	160,0	6,21.10 ⁻⁴	1,83.10 ⁻³	1,54.10 ⁻³	1,12.10 ⁻³	7,66.10 ⁻⁴
DZ II	220,0	1,67.10 ⁻³	8,37.10 ⁻³	5,71.10 ⁻³	2,82.10 ⁻³	5,94.10 ⁻⁴

Tab.6 Porovnanie vypočítaných priesakov s reálnym meraním v drénoch PD, DZ I, DZ II

		MS 1	MS 2	MS 3	MS 4	MS 5
Σ (PD+DZ I + DZ II) MODEL-VÝPOČET	Q [m ³ .s ⁻¹]	2,62.10 ⁻³	1,06.10 ⁻²	7,70.10 ⁻³	4,39.10 ⁻³	1,78.10 ⁻³
	Q [l.s ⁻¹]	2,62	10,62	7,70	4,39	1,78
	Q [l.min ⁻¹]	157,27	637,48	462,23	263,32	106,64
Σ (PD+DZ I+DZ II) MERANIE	Q [l.min ⁻¹]	480,00				

Zhodnotenie výsledkov

Filtračná anizotropia popolového sedimentu sa podľa výsledkov zo stochastického modelovania a z experimentálnych meraní pohybuje v intervale od 2,0 ~ 36,0. Zavedením týchto výsledkov do filtračného výpočtu priesakov popolového odkaliska v Zemianskych Kostolnoch v podobe parametrickej štúdie vyplynuli nasledovné závery:

- vypočítaný celkový priesak zachytený tromi drénmi základných hrádzí (PD, DZ I, DZ II) bol v prípade modelových situácií MS 2 (t.j. $\lambda_{\text{real,min}} = 2,0$) a MS 3 (t.j. $\bar{\lambda}_{\text{real}} = 9,9$) číselne približne rovnaký ako podľa reálnych meraní priesakov,
- číselne najbližšia hodnota vypočítaného priesaku k meranej hodnote priesaku bola hodnota z MS 3 (t.j. $\bar{\lambda}_{\text{real}} = 9,9$),
- druhou najbližšou hodnotou vypočítaného priesaku k meranej hodnote priesaku bola hodnota z MS 2 (t.j. $\bar{\lambda}_{\text{real}} = 2,0$),
- v prípade MS 1, MS 4 a MS 5 bol vypočítaný priesak od meraného odlišný približne o 210l.min⁻¹ až 370l.min⁻¹,
- rozdiely vo vypočítaných priesakoch medzi MS 2 až MS 5 poukazujú na viditeľnú tendenciu znižovania množstva priesaku so zvyšujúcou sa hodnotou filtračnej anizotropie,
- porovnaním meranej a výpočtom stanovenej priesakovej krivky vyplýva dobrá zhoda v oblasti popolového sedimentu; mierna nezhoda je zrejma v miestach základných hrádzí, čo mohlo byť spôsobené naviazaním (stiahnutím) vypočítanej hladiny vody dôsledkom okrajových podmienok modelu,
- priesak telesom Pôvodného odkaliska najhodnovernejšie vystihuje hodnota koeficientu filtrácie v horizontálnom smere $k_x = 1,29.10^{-5} \text{m.s}^{-1}$, hodnota koeficientu filtrácie vo zvislom smere $k_z = 1,30.10^{-6} \text{m.s}^{-1}$ a hodnota filtračnej anizotropie $\lambda = 9,9$.

Záver

Výsledky experimentálneho overovania filtračnej anizotropie popolového sedimentu boli použité vo filtračnej analýze Pôvodného odkaliska. Filtračná analýza realizovaná numerickým modelovaním sledovala vplyv filtračnej anizotropie na veľkosť priesakového množstva vody v konkrétnom odkalisku. Výsledky tejto numerickej analýzy s experimentálne odvodenými parametrami filtračnej anizotropie popolového sedimentu boli konfrontované s reálnymi meraniami priesaku na odkalisku.

Z tejto konfrontácie vyplynula skutočnosť, že hodnota numericky analyzovaného priesaku popolovým sedimentom odkaliska je v najlepšej zhode s reálne meraným priesakovým množstvom pri uvažovaní hodnoty koeficientu filtrácie popolov v horizontálnom smere $k_x = 1,29 \cdot 10^{-5} \text{m.s}^{-1}$, vo vertikálnom smere $k_z = 1,30 \cdot 10^{-6} \text{m.s}^{-1}$ a filtračnej anizotropie $\lambda = 9,9$. To sú práve hodnoty overené experimentálnym meraním na vzorkách reálneho popolového sedimentu odobratého priamo na odkalisku. Parametrizácia hodnoty filtračnej anizotropie v numerickej analýze priesaku potvrdila pokles stanoveného priesakového množstva s nárastom hodnoty filtračnej anizotropie.

Literatúra

- [1] DOUŠA, K., POLICKÝ, K.: *Likvidace popelů z energetických výroben*, SNTL Praha.
- [2] GEO-SLOPE INTERNATIONAL: *Seepage Modeling with SEEP/W 2007*, Calgary, 2010, An Engineering Methodology.
- [3] HULLA, J., TURČEK, P.: *Zakladanie stavieb*, Bratislava, 1998, Jaga group, v.o.s., ISBN: 80-88905-42-7, 310s.
- [4] PETER, P. a kol.: *Navrhovanie a výstavba odkalísk*, Bratislava, 1983, Alfa, 311s.
- [5] SLÁVIK, I.: *Geotechnické problémy hydraulických skládok zrnitých odpadov*, Bratislava, 1997, Dizertačná práca, Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, 173s, 103 A4 príl.
- [S1] Geo-Slope International - software