

Príloha č. 2.2.2

**VPLYV MVE HRONSKÝ BEŇADIK
NA PODZEMNÉ VODY**

Prof. Ing. Jozef Hulla, DrSc.
L. Déreza 8, 831 01 Bratislava

Bratislava, jún 2015

OBSAH

1. Úvod	3
2. Geológia a pozorovací systém	4
2.1 Poznatky z Geofondu	4
2.2 Návrh nových prieskumných a monitorovacích vrtov	8
2.3 Poznatky z prieskumu a skutočného zabudovania monitorovacích vrtov	9
2.4 Prieskum stavu hrádzí a ich podložia dynamickými penetračnými skúškami	10
3. Stručné informácie o projekte MVE	11
4. Prietoky v Hrone	12
5. Orientačný vplyv zdrže na podzemné vody	13
5.1 Vplyv zdrže bez tesniacich stien	13
5.2 Vplyv zdrže s tesniacimi stenami	14
6. Monitoring hydrodynamických účinkov	16
6.1 Hladinové režimy	16
6.2 Hladinový režim po zabudovaní monitorovacích vrtov	16
6.3 Rýchlostné režimy	17
6.4 Filtračná stabilita	19
7. Závery	20
Podklady a literatúra	20

1. ÚVOD

Predložená správa bola spracovaná na základe požiadavky Ing. Martina Lobodáša, konateľa spoločnosti Hydro Development.

Cieľom práce je analýza vplyvu stavby na podzemné vody v okolí hlavných objektov, najmä nad Hronským Beňadikom. Podklady, ktoré boli poskytnuté v elektronickej forme sú uvedené na konci správy.

Podľa správy (1) hlavné objekty MVE Hronský Beňadik (obr. 1.1) sú situované v r. km Hrona 85,3, približne 1 km nad intravilánom obce Hronský Beňadik, pod mostom rýchlostnej cesty R1.



Obr. 1.1 Hlavné objekty MVE Hronský Beňadik (2).

Na základe poznatkov z Geofondu a požiadaviek projektu MVE bol navrhnutý systém vrtov pre podrobný inžinierskogeologický prieskum. Prieskumné vrty boli súčasne zabudované ako monitorovacie na sledovanie hladinových a rýchlostných režimov prúdenia podzemnej vody v okolí hlavných objektov MVE.

2. GEOLÓGIA A POZOROVACÍ SYSTÉM

V tejto stati sú uvedené poznatky z Geofondu, sú v nej navrhnuté nové prieskumné vrty, ktoré už boli zabudované aj ako monitorovacie vrty na sledovanie vývoja zmien hladinových a rýchlostných režimov prúdenia podzemnej vody ako aj návrh rozmiestnenia dynamických penetračných skúšok pre zistenie stavu hrádzí a ich podložia.

2.1 Poznatky z Geofondu

Polohy vrtov zo starších prieskumných prác sú podľa (3) uvedené v situácii na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Polohy prieskumných vrtov z Geofondu (3).

Názvy lokalít a ďalšie informácie z Geofondu sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách 2.1 a 2.2.

Údaje pre prieskumné vrty, ktoré boli umiestnené v blízkosti Hrona sú v tabuľke 2.1. Sú v nej uvedené kóty terénu (ak boli v starších správach k dispozícii), hĺbky vrstiev piesku, štrku, hrúbky štrkových vrstiev, informácie o podklade, hĺbky – dná vrtov, polohy hladín podzemnej vody pri prieskumných prácach ako aj kóty maximálnych hladín podzemnej vody a dôležité poznámky. Pre každú lokalitu sú okrem hrúbok štrku a maximálnych hladín pre každý vrt, uvedené aj priemerné hodnoty; priemerná hrúbka štrkov získaná zo všetkých vrtov bola 4,9 m. Informácie o štrkovitých vrstvách sú dôležité preto, že cez ne budú do okolia zdrže prúdiť najväčšie množstvá priesakovej vody, ktoré budú významne ovplyvňovať aj polohy hladín.

V poskytnutých správach neboli uvedené informácie o polohách hladín v Hrone, takže údaje o hladinách podzemnej vody počas prieskumných prác nemožno použiť na určenie smerov prúdenia podzemnej vody. Možno však usúdiť, že najmenšia zistená hladina podzemnej vody bola v hĺbke 1,8 m pod povrchom terénu.

Tabuľka 2.1 Poznatzky z Geofondu pre vrty blízko Hrona (3)

Lokalita	Vrt	Terén (m n.m.)	Piesok (m)	Štrk (m)	Hrúbka štrku (m)	Podklad	Dno (m)	HPV (m)	Max. HPV (m n.m.)	Poznámka
Most R1	J5	190,37		3,5-9,5	6	R6	15			pravý breh
(Sit. 6)	JA2	187,07	1-2,8	2,8-6,7	3,9	SM	20	1,8	185,27	ľavý breh
	J6	186,9		0,4-5,3	4,9	R6	20			ľavý breh
	Priemer				4,9				185,27	
Benzínka	HMÚ 786	183,2	0-1	1-4,8	3,8	Andezit	5,8		183,5	
(Sit. 3)	V4	183,78	0-3,1	3,1-6	2,9	Andezit	6,8	2,6	181,18	
	V1	183,61	0-2,1	2,1-6,1	3,9	Andezit	7	2,5	181,11	
	V3	184,51	0-1,7	1,7-6,3	4,6	Andezit	6,8	2,4	182,11	
	P-2	186,51		2,2-6,1	3,9	Andezit	6,6	2,2	184,31	
	V5	185,5	0-2,6	2,6-5,8	3,2	Andezit				
	Priemer				3,7				182,44	
Slovnaft	HPB-102	183,43	0,5-1,2	1,9-6,0	4,1	Andezit	6,2	2,3	181,13	ropné látky
(Sit. 7)	HPB-103	184,29		4,2-5,9	1,7	Andezit	6,3	3,08	181,21	
	HPB-104	183,72	0,6-4,2	4,2-6,8	2,6	Andezit	8	2,7	181,02	
	HPB-105	184,95		4,0-6,0	2	Andezit	6,3	3,27	181,68	
	Priemer				2,6				181,26	
Studňa	HŠ-12		0-2; 6-9	2,0-6,0	4	Andezit	111	2		čerp. skúška
(Sit. 9)	Priemer				4					
Vrty	S-1			2,7-5,5	2,8	Andezit		2,1		pravý breh
(Sit. 10)	S-2			2,3-5,8	3,5	Andezit		2,6		pravý breh
	S-3		0,3-2,0	2,2-4,3	2,1	Andezit		2,3		ľavý breh
	S-4			2,2-2,7	0,5	Andezit		1,7		ľavý breh
	S-5		0,3-1,5	1,7-4,3	2,6	Andezit		2,5		ľavý breh
	Priemer				2,3					
	Priemer pre všetky vrty				4,9					

Rovnakým systémom sú v tabuľke 2.2 uvedené informácie z Geofondu pre vrty, ktoré boli vytvorené vo väčších vzdialenostiach od Hrona.

Údaje o kótach povrchu terénu na lokalite pre farmu kurčiat nie sú dôveryhodné.

Pokryvné jemnozrnné zeminy majú rôznu hrúbku, ktorá je daná prvým číslom pre piesočnaté alebo štrkovité zeminy; konkrétne hodnoty sa pohybujú v rozsahu od 1,2 do 4,9 m. Z polôh hladín počas prieskumu možno usúdiť, že prúdenie podzemnej vody v pieskoch a v štrkoch sa uskutočňovalo s voľnou i s napätou hladinou. Opäť neboli k dispozícii údaje o polohách hladín v Hrone, takže zo získaných informácií možno usúdiť len to, že počas prieskumných prác bola hladina podzemnej vody vždy pod povrchom územia, najmenej v hĺbke 1,4 m.

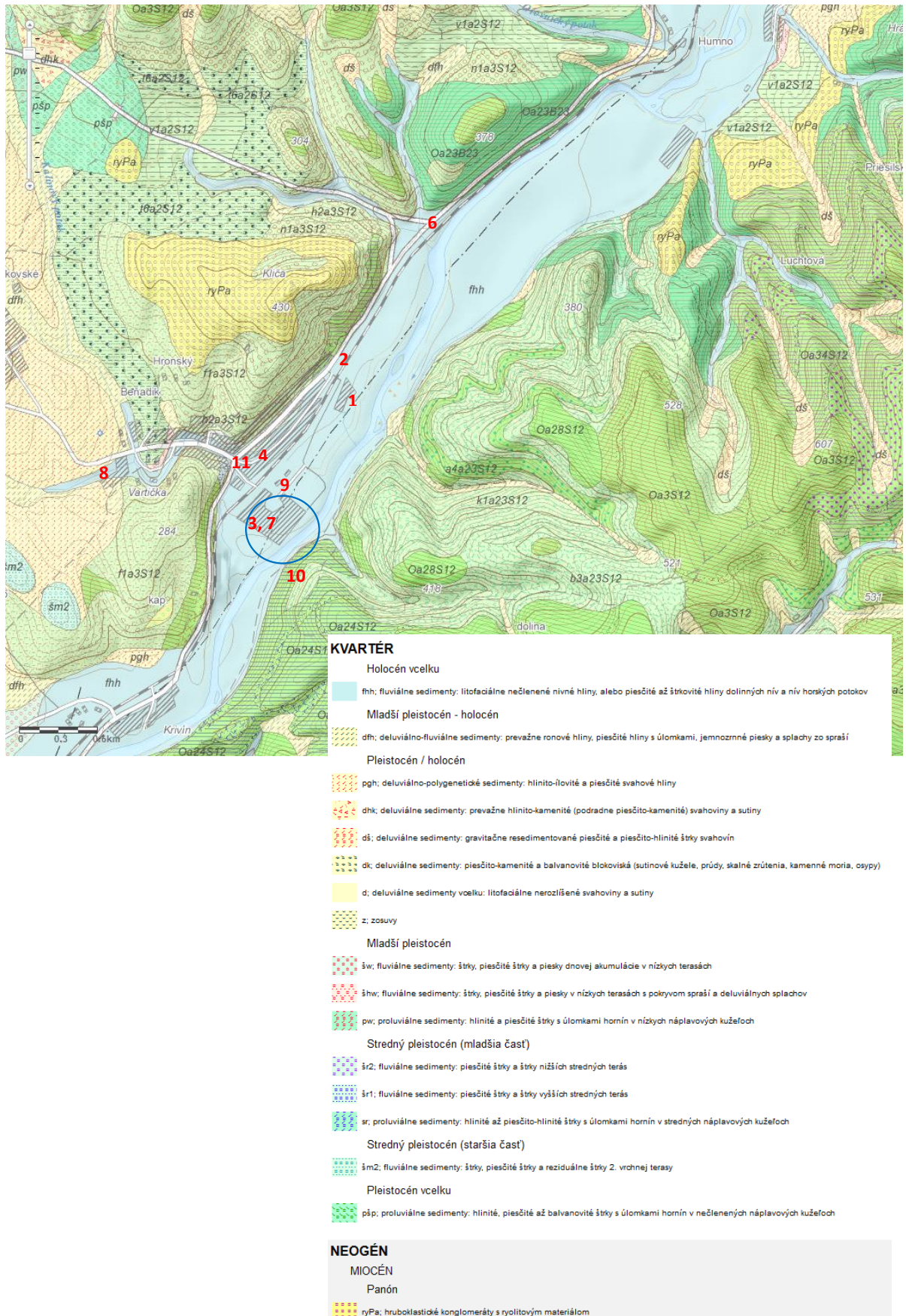
Všetky vrty nemali takú hĺbku, že by sa nimi dosiahol povrch podkladnej vrstvy. Tam, kde takéto údaje nechýbali sa v tabuľkách 2.1 a 2.2 vyskytovali v podloží skalné andezitové horniny.

Priemerná hrúbka štrkovitých zemín zo všetkých vrtov bola 3,4 m.

Tabuľka 2.2 Poznatky z Geofondu pre vzdialenejšie vrty od Hrona (3)

Lokalita	Vrt	Terén (m n.m.)	Piesok (m)	Štrk (m)	Hrúbka štrku (m)	Podklad	Dno (m)	HPV (m)	Max HPV (m n.m)	Poznámka
Farma	V-1	98,81	1,3-2,5	2,5-5	2,5	?	5	2,1		
kurčiat	V-2	98,62		2,0-5,0	3		5	2,1		Počas povodní
(Sit. 1)	V-3	98,43	2,3-2,9	2,9-5,0	2,1		5	1,7		zaplavované
	V-4	98,46		2,1-5,2	3,1		5,2	2,2		
	V-5	98,72		4,5-4,7	0,2		4,7	2		
	V-6	98,63	2,0-2,4	2,4-5,0	2,6		5	2,1		
	V-7	98,61		2,1-5	2,9		5	2,1		
	V-8	98,48		2,4-5	2,6		5	2,4		
	V-9	98,48		1,6-5,2	3,6		5,2	2,2		
	V-10	98,1		1,5-4,8	3,3		4,8	2,1		
	V-11	98,19		2,5-5	2,5		5	2,4		
	V-12	98,03		2-5,2	3,2		5,2	2,2		
	V-13	98,22		2,4-5	2,6		5	2,2		
	V-14	98,51		2,4-4,8	2,4		4,8	1,4		
	V-15	98,37		2,8-5,2	2,4		5,2	1,5		
	V-16	98,31		1,3-5	3,7		5	2,1		
	Priemer				2,7					
Byty										
(Sit. 2)		≈190		2,0-6,0	4	Andezit	15	1,5	188,5	Vítaná studňa
	Priemer				4				188,5	
Jednota										
(Sit. 4)	HVB-1			1,2-2,5	1,3	Andezit	30	4		
				5,5-13,0	7,5					
	Priemer				4,4					
Studňa	HA-3	> 201					45	9	192	spraše?
(Sit. 8)	Priemer								192	
Zdravotné	IGV-1	186,79		4,0-10	6			4,7	182,09	
stredisko	IGV-1A	186,53		4,6-10	5,4			5	181,53	
(Sit. 11)	IGV-2	186,93		4,5-10	5,5			5	181,93	
	IGV-2A	186,84		4,9-10	5,1			5,2	181,64	
	Priemer				5,5				181,8	
	Priemer pre všetky vrty				3,4					

V Geofonde bola získaná tiež geologická mapa, ktorá je uvedená na obr. 2.2 (3). Vyplýva z nej, že kvartérne, prevažne štrkovité zeminy, v ktorých bude prúdiť voda zo zdrže, majú v údolí Hrona nad Hronským Beňadikom pomerne veľkú šírku, vyše 600 m; ich hrúbka sa pohybuje v značnom rozsahu od 0,5 do 7,5 m. Pre zodpovedné posúdenie vplyvu stavby na podzemné vody sa nemožno uspokojiť s takýmito informáciami; bude potrebné získať dôležité informácie z nového geotechnického prieskumu



Obr. 2.2 Geologická mapa z Geofondu (3).

2.2 Návrh nových prieskumných a monitorovacích vrtov

Na posúdenie vplyvu MVE Hronský Beňadik na podzemné vody v okolí bude potrebné urobiť nové vrty, ktoré sa súčasne zabudujú ako pozorovacie objekty na sledovanie hladinových a rýchlostných režimov prúdenia podzemných vôd.

Návrh umiestnenia nových vrtov je znázornený v situácii na obr. 2.3. Jedná sa o 12 vrtov na pravej strane, 5 vrtov na ľavej strane a jeden vrt v strede zdrže pod elektrárnou a haťovými poľami.



Obr. 2.3 Návrh rozmiestnenia nových prieskumných a monitorovacích vrtov.

Celý monitorovací systém by bolo možné doplniť prístupnými studňami obyvateľov Hronského Beňadiku.

V každom novom vrte by sa odobrali porušené vzorky na stanovenie zrnitosti z pokryvnej vrstvy, piesočnatej vrstvy a štrkovitej vrstvy; každý vrt by siahal až na povrch skalného andezitového podkladu. Podľa požiadaviek projektanta treba z vrtov 6, 13 a 15 odobrať aj neporušené vzorky a stanoviť na nich všetky popisné a mechanické (pevnostné a deformačné) charakteristiky, ktoré budú potrebné pre zakladanie elektrárne a haťových polí.

Každý prieskumný vrt (okrem vrtu v koryte) by sa zabudoval ako monitorovací vrt. Jeho priepustná časť (perforovaná rúrka priemeru 60 až 100 mm s filtračným obsypom) by sa osadila v celej hrúbke štrkovitej vrstvy; nad ňou by bola časť vrtu nepriepustná – rúrka by nebola perforovaná, priestor medzi ňou a stenami vrtu by sa vyplnil jemnozrnnou zeminou. Pri povrchu terénu by bola osadená oceľová výpažnica, obetonovaná, chránená

uzamykateľným uzáverom. Stanovila by sa presná poloha a nadmorská výška hlavy každého monitorovacieho vrtu a zabezpečilo by sa v dohodnutých intervaloch meranie hladín a rýchlostí prúdenia podzemnej vody.

2.3 Poznatky z prieskumu a skutočného zabudovania monitorovacích vrtov

Podrobný prieskum v okolí hlavných objektov MVE bol vykonaný v apríli-máji 2015 (6). Skutočné polohy prieskumných a monitorovacích vrtov sú uvedené na obr. 2.4. V porovnaní s mojim návrhom bola zmenená poloha vrtu 4 a po dohode s Ing. Lobodášom vynechané vrty 12 a 13.



Obr. 2.4 Skutočné rozmiestnenie prieskumných a monitorovacích vrtov (6).

Podrobné výsledky prieskumu budú uvedené v súhrnnej správe, ktorá v súčasnosti nie je k dispozícii. V tabuľke 2.3 sú preto uvedené len vybrané údaje. Ide najmä o polohy vrtov a štrkovitých vrstiev, cez ktoré bude podzemná voda prúdiť do okolia zdrže, polohy perforácie a obsypu pozorovacích rúrok ako aj o ustálené hĺbky vody počas vrtných prác.

Tabuľka 2.3 Údaje o zabudovaní monitorovacích vrtov - podľa (6)

Vrt	Y	X	Z (terén)	Hĺbka štarky (m)	Hĺbka perforácie (m)	HPV pri vrtaní (m)
1	462919.907	1267326.075	185,17	0,2 - 5,8	1 - 5,5	2,05
2	462855.438	1267221.685	185,01	0,2 - 5,1	1,5 - 5	1,58
3	462950.720	1267200.144	186,01	1,7 - 7	2 - 7	2,42
4	462978.379	1267185.276	185,93	0,5 - 6,6	2 - 6,5	2,33

5	462825.413	1267111.699	185,87	0 - 6	2 - 6	2,34
6	462849.952	1266955.529	185,87	1,2 - 5,8	1 - 6	1,48
7	462892.829	1266997.238	187,04	2,4 - 7,3	2 - 7	2,70
8	463025.699	1266828.048	191,11	5,5 - 8,8	4 - 8	4,40
9	462844.865	1266775.812	189,29	3,6 - 8,9	3 - 8	4,00
10	462891.542	1266712.385	191,21	4,9 - 8,9	4 - 8,5	5,50
11	462781.510	1266637.381	190,67	0,2 - 6,8	4 - 8,5	5,20
14	462739.398	1267006.141	186,58	0,1 - 6,8	2 - 7	3,16
15	462735.297	1266955.976	186,81	0,5 - 7,1	2 - 7	2,81
16	462699.316	1266863.287	186,71	2 - 6,7	2 - 6	2,11
17	462718.585	1266788.876	186,54	1,8 - 5,9	1 - 6	1,67
18	462663.411	1266696.390	186,60	1,9 - 5,9	1,5 - 6	1,60

Poznámka: Všetky hĺbky sú merané od povrchu terénu.

Vrstvy štrkov sú pomerne hrubé, ich horná úroveň sa pohybuje medzi povrchom terénu a hĺbkou 5,5 m, dolná úroveň štrkov bola zistená v hĺbkach 5,1 až 8,9 m.

V tabuľke 2.3 sú žltou farbou zvýraznené polohy perforácií vo vrtoch, v ktorých je začiatok perforácie vyššie ako horná úroveň štrkov. V nich sa vyskytujú piesočnaté polohy, ktoré môžu spôsobovať zanášanie vrtoch.

V tabuľke 2.3 sú uvedené aj hĺbky podzemnej vody počas vrtných prác. Tieto hodnoty sú len orientačné, pretože boli získané pri rôznych prietokoch vody v Hrone. Nikde nebola zistená poloha hladina podzemnej vody nad povrchom územia. Najbližšie k povrchu sa vyskytovala podzemná voda vo vrtoch blízko rieky.

2.4 Prieskum stavu hrádzí a ich podložia dynamickými penetračnými skúškami

Odporúčam preveriť stav hrádzí a ich podložia dynamickými penetračnými skúškami. Navrhujem na obidvoch brehoch vykonať spolu 20 penetračných skúšok so vzájomnými vzdialenosťami približne 100 m do vzdialenosti 1000 m od hate a elektrárne do hĺbky až po povrch skalného podložia. Odporúčam tieto skúšky objednať od spoločnosti Ekogeos Bratislava.

3. STRUČNÉ INFORMÁCIE O PROJEKTE MVE

Situácia stavby MVE Hronský Beňadik je uvedená na obr. 3.1. Prevádzková hladina v zdrži bude 187,5 m n.m., v koryte pod elektrárnou 183,5 m n.m. s rozdielom hladín 4,0 m, inštalovaný výkon elektrárne je 1,5 MW. Niektoré informácie o projekte sú uvedené na obr. 3.1. Zaujímavo je riešený bazénový rybovod, ktorý bude možné používať aj pre splavovanie člnov.



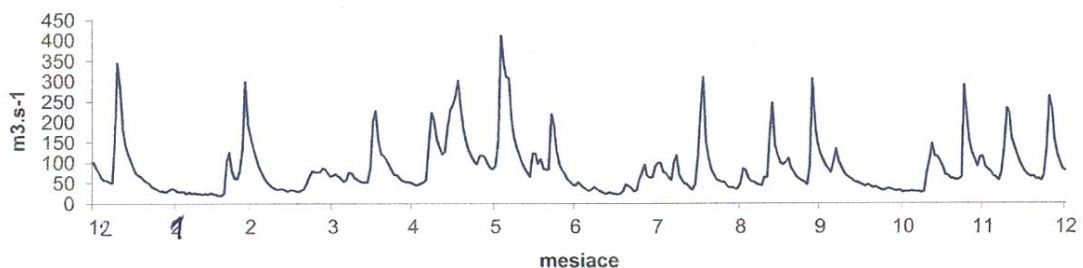
Obr. 3.1 Informácie o projekte (1).

Pri stavbe bude potrebné vytvoriť pre elektrárne i pre haťové polia pažené a tesnené jamy pravdepodobne z oceľových štetovnic, ktoré budú siahať až na povrch andezitového podkladu. Bude potrebné utesniť aj podložie haťových polí a pravdepodobne tiež hrádze zdrže nad hlavnými objektmi. Pri päte ľavostrannej hrádze sa uvažuje s vytvorením drénu na odvedenie priesakov do koryta pod haťou. Na pravej strane bude odvedenie priesakov potrebné riešiť v súvislosti s rybovodom, rigolom pre napúšťanie vody do jazierok i so zaústením potoka Klíč do zdrže.

4. PRIETOKY V HRONE

Zatiaľ sa podarilo z internetu získať informácie o vývoji prietokov v Hrone zo stanice Brehy za rok 2010 (obr. 4.1). V tom čase priemerné denné prietoky kolísali medzi 23 až 412 m³/s. Bolo by vhodné získať zo SHMÚ vývoj prietokov v rokoch 2012 až 2014, ako aj konzumčnú krivku. Rovnako odporúčam získať tiež údaje o vývoji hladín vo vrte HMÚ 786, ktorý je zabudovaný v lokalite benzínky.

Čiara priemerných denných prietokov



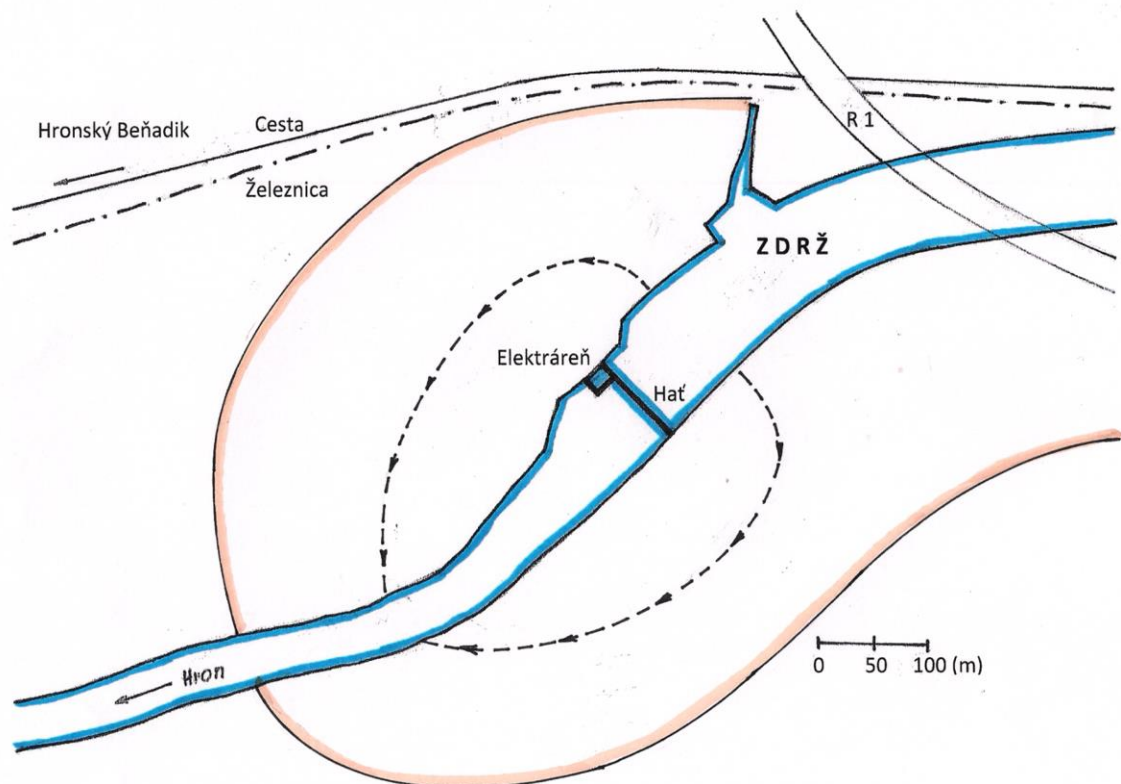
Obr. 4.1 Priemerné denné prietoky v Hrone zo stanice Brehy v roku 2010 (SHMÚ).

5. ORIENTAČNÝ VPLYV ZDRŽE NA PODZEMNÉ VODY

Nakoľko v štádiu spracovávania predloženej správy neboli (okrem poznatkov z Geofondu) k dispozícii žiadne iné výsledky z geotechnického prieskumu, predkladám predstavy o vplyve zdrže na podzemné vody, ktoré majú len orientačný charakter. Vychádzajú najmä z poznatkov o starostlivo prešetrovanom vplyve MVE Nový Tekov na podzemné vody v jej okolí. Pri takomto postupe sa vychádzalo z rozmerov zdrže a z poznatkov o jej podloží. Predložené sú dve alternatívy: pri prvej nie sú v hrádzach zdrže a v jej podloží zabudované žiadne protipriesakové opatrenia, pri druhej sa predpokladá utesnenie podložia hrádzí do vzdialenosti približne 100 m od elektrárne a haťových polí. Predpokladá sa normálna prevádzka MVE s hladinou vody v zdrži na úrovni 187,5 m n.m.

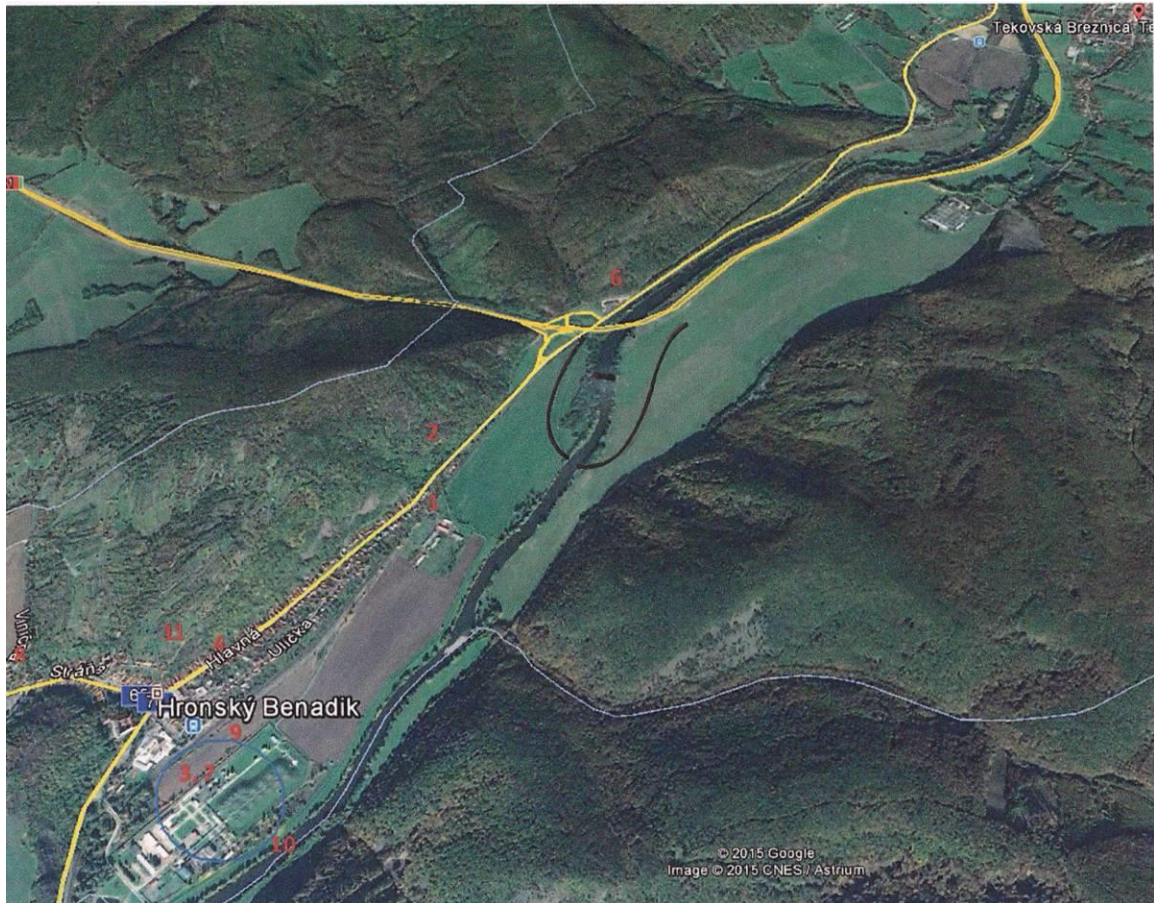
5.1 Vplyv zdrže bez tesniacich stien

Na obr. 5.1 je znázornený vplyv priesakov vody zo zdrže bez tesniacich stien v telesách a podložiach hrádzí. Zvýšené hladiny budú siahať až po železničnú trať a do vzdialenosti približne 400 m pod elektráreň a haťové polia. Čiarkovane sú znázornené aj smery prúdenia podzemnej a priesakovej vody.



Obr. 5.1 Dosah zvýšených hladín a smery prúdenia podzemnej vody zo zdrže bez tesniacich stien v telesách a podložiach hrádzí.

Na obr. 5.2 je znázornený dosah zvýšených hladín v mape s menšou mierkou; zvýšené hladiny podzemnej vody budú siahať približne do polovičnej vzdialenosti medzi MVE a najvyššie položenými stavebnými objektmi Hronského Beňadika.



Obr. 5.2 Dosah zvýšených hladín pri prúdení vody zo zdrže bez tesniacich stien v telesách a podložiach hrádzí.

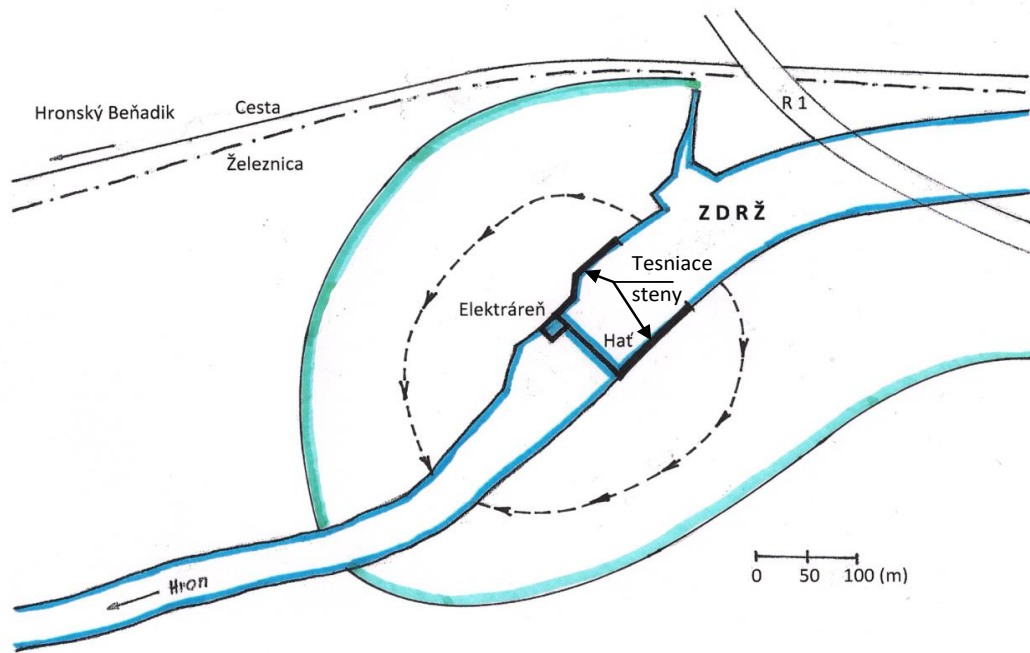
5.2 Vplyv zdrže s tesniacimi stenami

Pre tento prípad sa uvažuje s tesniacimi stenami v telesách a podložiach hrádzí siahajúcimi až na povrch nepriepustného skalného podkladu, pričom takéto steny budú zabudované do vzdialenosti 100 m nad elektrárňou a haťovými poľami. Možno oprávnené predpokladať, že z tejto utesnenej časti zdrže nebude voda presakovať do okolitého prostredia.

Na obr. 5.3 je znázornený dosah zvýšených hladín podzemných vôd, ktorý sa prejaví v okolí MVE vtedy, keď telesá a podložia hrádzí zdrže budú utesnené podzemnými stenami. Dosah zvýšených hladín sa pod hlavnými objektmi prejaví do vzdialenosti 300 m. Bude teda približne o 100 m kratší ako v prípade neutesneného podložia hrádzí.

Na obr. 5.4 je opäť na mape v menšej mierke naznačený dosah zvýšených hladín pod elektrárňou a haťovými poľami s tesnenými hrádzami zdrže, ktorý sa prejaví vo väčšej vzdialenosti nad krajnými stavbami Hronského Beňadika ako v predchádzajúcom prípade bez tesniacich stien.

Dosah zvýšených hladín podzemných vôd z hľadiska nepriaznivého vplyvu na obec Hronský Beňadik si nevyžaduje zabudovať drahé tesniace steny. Bude ich však potrebné zabudovať tam, kde sa pomocou nich bude musieť zabezpečiť stabilita hrádzí zdrže.



Obr. 5.3 Dosah zvýšených hladín a smery prúdenia podzemnej vody zo zdrže s tesniacimi stenami.



Obr. 5.4 Dosah zvýšených hladín pri prúdení vody zo zdrže s tesniacimi stenami.

5.3 Vplyv zdrže s odvodňovacím ľavobrežným drénom

Pre posúdenie tohoto vplyvu sú dôležité informácie z vrtov 15 a 17, ktoré sú zabudované v profile MVE (vrt 15) a približne 150 m vyššie (vrt 17).

Vrt 15 je zabudovaný v bezprostrednej blízkosti súčasného koryta Hrona. Kóta terénu v tomto mieste je 186,81 m n.m. Pri meraniach Kanderu 18.5.2015 bola v ňom hladina na kóte 184 m n.m., teda 2,81 m pod povrchom územia. Možno predpokladať, že pri plnej zdrži by v týchto miestach dosiahla hladina úroveň 187,5 m n.m., vystúpila by teda nad povrch územia o 0,69 m.

Vrt 17 je tiež zabudovaný v blízkosti súčasného koryta Hrona. Kóta terénu tam je 186,54 m n.m. Pri meraniach 18.5.2015 bola v ňom hladina na kóte 184,87 m n.m., teda 1,67 m pod povrchom územia. Pri plnej zdrži s hladinou 187,5 m n.m. by vystúpila hladina 0,96 m nad povrch územia.

Na ľavej strane zdrže pod cestným mostom bude potrebné vytvoriť ochrannú hrádzu, pričom o výške koruny bude rozhodovať aj ochrana územia pred povodňami.

Pri vzdušnej päte hrádze bude potrebné vytvoriť drén, ktorý umožní počas prevádzky držať hladinu podzemnej vody približne 1 m pod povrchom územia. Na týchto miestach siahajú do hĺbky 1,8 až 2,0 m jemnozrné, prakticky nepriepustné pokryvné zeminy. Pod nimi sú uložené štrkovité zeminy siahajúce do hĺbky 6 – 7 m. Ak bude drén uložený v menšej hĺbke (približne 1,5 m pod povrchom), bude potrebné umožniť prítok vody zo štrku do drénu vrtmi vyplnenými štrkom (pri hrubšom pokryve), alebo odstránením jemnozrného pokryvu a jeho nahradením štrkom (pri tenšom pokryve).

Počas prevádzky MVE sa zvýšia hladiny podzemnej vody v území na ľavej strane zdrže oproti súčasnému stavu, kedy úrovne podzemných vôd závisia na prietokoch v Hrone.

Dobre zabudovaným drénom pri vzdušnej päte hrádze je možné stabilizovať hladiny podzemných vôd a držať ich približne 1 m pod povrchom územia.

Je možné predpokladať, že vplyvom účinnosti drénu sa skráti dosah zvýšenia hladín na ľavom brehu aj bez tesniacich stien približne o 100 m a dosiahne vzdialenosť cca 300 m pod MVE.

Uvedené problémy budú podrobne vyriešené v projekte na základe všetkých potrebných podkladov a informácií, ktoré v súčasnosti nie sú k dispozícii. Pripravujú sa napríklad merania rýchlostí prúdenia podzemnej vody vo vrtoch, ktoré umožnia určiť prítoky vody do drénu počas prevádzky MVE.

6. MONITORING HYDRODYNAMICKÝCH PROCESOV

Odporučil som už v stati 2.2 zabudovať prieskumné vrty súčasne ako monitorovacie a tieto objekty vytvoriť čo najskôr, aby bolo možné sledovať vývoj hydrodynamických procesov počas výstavby (resp. pred začatím výstavby) i počas prevádzky MVE. Na základe môjho odporúčania boli už monitorovacie vrty zabudované a boli v nich vykonané základné merania hladín pre analýzu prírodného režimu prúdenia podzemných vôd. Takto sa najspoľahlivejšie zistia zmeny v prúdení podzemnej vody spôsobené výstavbou a prevádzkou MVE. V monitorovacích vrtoch sa bude v okolí zdrže sledovať vývoj hladinových režimov, rýchlostných režimov a bude sa sledovať aj filtračná stabilita zameraná hlavne na telesá a podložia hrádzi zdrže. Pred a počas výstavby bude potrebné sledovať pri každom meraní aj vývoj hladín v Hrone nad i pod haťou a MVE.

6.1 Hladinové režimy

Odporúčam **jedenkrát týždenne** merať polohy hladín vo všetkých monitorovacích vrtoch a v toku (resp. v zdrži a pod ňou). Merať sa budú hĺbky hladiny pod hlavami vrto, pričom pre každý vrt už bola stanovená aj nadmorská výška hlavy. Rovnako musia byť stanovené nadmorské výšky hladín v zdrži a pod ňou.

Z výsledkov meraní sa bude tabelárne i graficky dokumentovať časový vývoj hladín, budú sa graficky znázorňovať pre podzemné vody prúdové polia, ktoré umožnia sledovať polohy hladín a smery prúdenia podzemných vôd. Prúdové polia sa budú vytvárať pre všetky charakteristické situácie: pred a počas výstavby pri minimálnych a maximálnych prietokoch, počas prevádzky sa bude sledovať najmä vývoj prúdenia počas prvého napúšťania vody do zdrže, po vyprázdnení zdrže a po všetkých zásahoch do priesakového režimu.

Budú sa vytvárať tiež izolínie zvýšených hladín v porovnaní s režimom prúdenia pred výstavbou MVE pri minimálnych a povodňových hladinách v Hrone. Tým sa jednoznačne určí dosah zvýšených hladín podzemnej vody vplyvom prevádzky MVE.

6.2 Hladinový režim po zabudovaní monitorovacích vrto

Spomenul som už, že v mesiacoch apríl – máj 2015 boli vyhlbené prieskumné vrty, ktoré boli zabudované ako monitorovacie vrty (6). Základné informácie sú uvedené v stati 2.3. V tabuľke 2.3 sú údaje o polohách vrto, hĺbkach štrkovitých vrstiev, perforácií pozorovacích rúrok a o najvyšších hladinách zistených počas vrtných prác. Pri nich sa však menili prietoky v Hrone. Preto boli dňa 18.5.2015 zamerané polohy hladín vo všetkých monitorovacích vrtoch (6); v tabuľke 6.1 sú zopakované súradnice monitorovacích vrto a údaje o zistených hladinách podzemných vôd v nich.

**Tabuľka 6.1 Údaje o polohách monitorovacích vrtov a hladinách pri meraniach
18.5.2015 – podľa (6)**

Vrt	Y	X	Z (terén)	HPV (m n.m.)	HPV od terénu (m)	HPV od okraja pažnice (m)	Výška pažnice (m)
1	462919.907	1267326.075	185,17	183,12	2,05	2,59	0,54
2	462855.438	1267221.685	185,01	183,43	1,58	2,11	0,53
3	462950.720	1267200.144	186,01	183,59	2,42	2,9	0,48
4	462978.379	1267185.276	185,93	183,60	2,33	2,81	0,48
5	462825.413	1267111.699	185,87	183,53	2,34	2,87	0,53
6	462849.952	1266955.529	185,87	184,39	1,48	1,97	0,49
7	462892.829	1266997.238	187,04	184,34	2,70	3,19	0,49
8	463025.699	1266828.048	191,11	186,71	4,40	4,86	0,46
9	462844.865	1266775.812	189,29	185,29	4,00	4,48	0,48
10	462891.542	1266712.385	191,21	185,71	5,50	6,03	0,53
11	462781.510	1266637.381	190,67	185,47	5,20	5,62	0,42
14	462739.398	1267006.141	186,58	183,42	3,16	3,67	0,51
15	462735.297	1266955.976	186,81	184,00	2,81	3,36	0,55
16	462699.316	1266863.287	186,71	184,60	2,11	2,61	0,5
17	462718.585	1266788.876	186,54	184,87	1,67	2,14	0,47
18	462663.411	1266696.390	186,60	185,00	1,60	2,15	0,55

Na základe nadmorských výšok hladín v monitorovacích vrtoch sú na obr. 6.1 skonštruované hydroizohypsy a naznačené zodpovedajúce smery prúdenia podzemnej vody v okolí hlavných objektov MVE. Z nich možno usúdiť, že v mieste projektovaného profilu elektrárne a hate bola v koryte Hrona hladina na úrovni približne 164 až 164,5 m n.m. Z pravej strany vtekala podzemná voda z okolitého územia do rieky, na pravej strane sa prejavil odtok vody z rieky do okolitého územia.

Prevádzková hladina v zdrži bude na úrovni 187,5 m n.m. Na pravej strane bude zvýšená hladina podzemnej vody siahať približne až po železničnú trať; dosah zvýšených hladín je orientačne znázornený na obr. 5.1 a 5.2 (platí pre telesá a podložia hrádzí bez tesniacich prvkov).

6.3 Rýchlostné režimy

Rýchlostné režimy prúdenia podzemnej vody vo všetkých monitorovacích vrtoch odporúčam určovať **tri**krát. Prvý krát sa bude charakterizovať prírodné prúdenie podzemnej vody krátko po zabudovaní monitorovacích vrtov. Druhý krát sa merania rýchlostí vykonajú vo vhodnom čase pred napúšťaním vody do zdrže, tretí krát sa bude charakterizovať prúdenie podzemnej vody v začiatocnom štádiu prevádzky MVE, po ustálení prúdenia podzemnej vody po prvom napustení vody do zdrže. Ďalšie merania by sa realizovali len vo vybratých monitorovacích vrtoch v súvislosti s riešením konkrétnych problémov.

Na merania rýchlostí prúdenia podzemnej vody odporúčam použiť osvedčenú jednovrtovú indikátorovú metódu založenú na sledovaní vertikálneho prúdenia vody v priepustných častiach vrtov. Podrobnejšie informácie o nej sú uvedené napríklad v práci (4).



Obr. 6.1 Hydroizohypsy a smery prúdenia podzemnej vody z meraní dňa 18.5.2015 (6).

Priepustné časti vrtovej sú polohy s perforovanými rúrkami a filtračnými obsypmi v štrkovitých vrstvách.

Vertikálne prúdenie vody v priepustných častiach vrtovej je spôsobené prepojením rôznych tlakových horizontov. V pravidelných hĺbkových intervaloch sa merajú vertikálne rýchlosti, z nich sa vypočítajú vertikálne prietoky.

Z konkrétnych hodnôt vertikálnych prietokov sa graficky stanoví ich hĺbková závislosť. Ak sa v určitom úseku vrtovej v smere prúdenia zväčšuje vertikálny prietok, voda do vrtovej priteká z okolitej zeminy. Ak sa v určitom úseku vrtovej v smere prúdenia znižuje vertikálny prietok, voda z vrtovej odteká do okolitej zeminy. V úsekoch vrtovej s konštantnou hodnotou vertikálneho prietoku je okolitá zemina relatívne nepriepustná.

Z meraní vertikálneho prúdenia vody v priepustných častiach vrtovej sa ďalej určujú charakteristiky prúdenia podzemnej vody v okolí vrtovej, platné pre približne horizontálnu zložku prúdenia podzemnej vody. Takouto charakteristikou je filtračná rýchlosť prúdenia podzemnej vody. Z výsledkov meraní sa pre každý vrt stanovuje hĺbková závislosť filtračných rýchlostí a ich priemerná hodnota. Veľmi jednoducho sa dá zistiť aj hodnota a poloha maximálnej filtračnej rýchlosti, ktorá je dôležitým podkladom pre posudzovanie filtračnej stability.

Pre praktické účely sú vhodné graficky znázornené maximálne filtračné rýchlosti pre každý vrt. Výsledky meraní zo všetkých vrtovej sa dajú vyjadriť tzv. empirickou distribučnou funkciou, ktorá umožňuje stanoviť pravdepodobnosť výskytu, alebo prekročenia určitej hodnoty filtračnej rýchlosti. Obvykle sa ako charakteristické sledujú minimálne hodnoty, maximálne hodnoty, mediány a priemerné hodnoty filtračných rýchlostí.

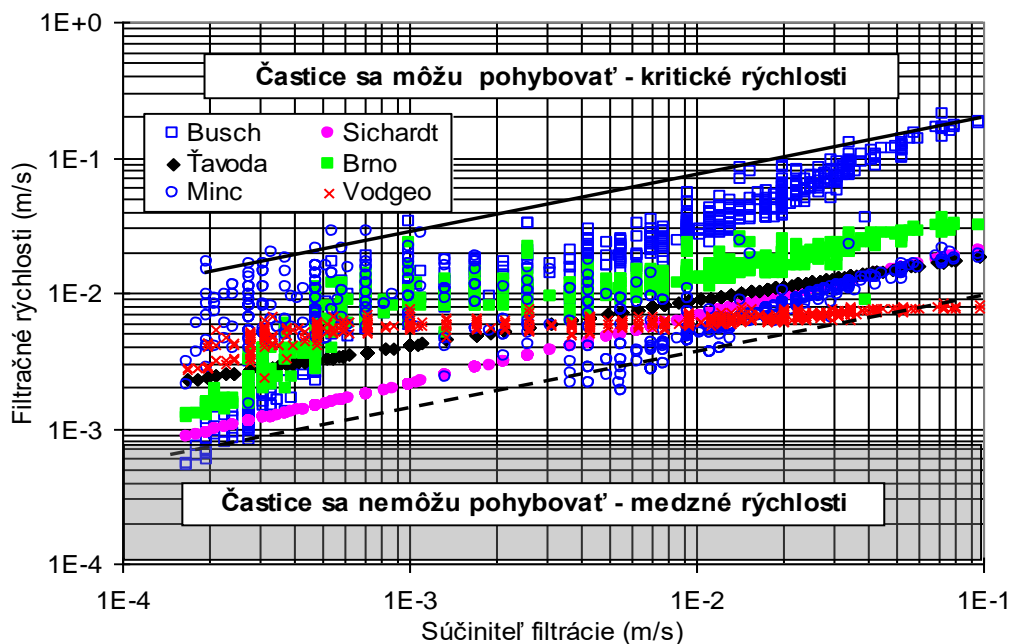
Empirické distribučné funkcie zo súborov údajov ktoré boli zistené pri prírodnom prúdení podzemnej vody (pri prázdnej zdrži) a pri prúdení ovplyvnenom prevádzkou zdrže, umožňujú posúdiť zmeny všetkých charakteristických hodnôt.

6.4 Filtračná stabilita

Pri intenzívnejšom prúdení vody v štrkovitých zeminách sa môžu dostať do pohybu piesočnaté častice. Ak pohyblivé piesočnaté častice môžu byť odplavené do voľných priestorov, zväčší sa priepustnosť štrkovitých zemín, zintenzívnia sa hydrodynamické účinky a štrkovité zeminy môžu stratiť svoju stabilitu. Dôsledkom sú poruchy i havárie stavebných konštrukcií. Príkladom takýchto havárií sú prietrze ochranných hrádzi Dunaja pri povodni v roku 1965. Podrobnejšie sa analýzou kritérií pre filtračnú stabilitu zaoberá práca (5).

Na obr. 6.2 je uvedený graf na posudzovanie filtračnej stability štrkovitých zemín. Pri maximálnych hodnotách filtračných rýchlostí (ktoré sa získajú indikátorovou metódou) menších ako dolná čiarkovaná hranica sa piesočnaté nemôžu dostať do pohybu, štrkovité zeminy teda budú filtračne stabilné a nebudú ohrozené ani stavby nad nimi. Na zjednodušenie posudzovania bola stanovená tzv. medzná filtračná rýchlosť daná konštantnou hodnotou 7×10^{-4} m/s. Ak absolútne maximálna hodnota filtračnej rýchlosti, zistená na danej lokalite ako najväčšia hodnota zo všetkých sledovaných vrtov, bude menšia ako uvedená medzná hodnota, potom sa netreba obávať o ohrozenie filtračnej stability na celej lokalite.

Keby odmerané hodnoty filtračných rýchlostí prekročili závislosť znázornenú na obr. 6.1 súvislou čiarou, boli by prekročené tzv. kritické rýchlosti prúdenia. Pri kritických rýchlostiach prúdenia vody v štrkovitých zeminách sa dostávajú do pohybu piesočnaté častice a tieto zeminy strácajú svoju filtračnú stabilitu, pričom je ohrozená aj stabilita stavieb nad nimi.



Obr. 6.2 Medzné a kritické rýchlosti prúdenia podzemnej vody na posudzovanie filtračnej stability štrkovitých zemín.

7 ZÁVERY A ODPORÚČANIA

Poznatky zo starších prieskumných prác, archivovaných v Geofonde, majú len orientačný charakter. Podľa môjho návrhu už bol vykonaný nový - podrobný geotechnický prieskum; nové prieskumné vrty boli zabudované hneď ako monitorovacie. Bola tiež získaná základná predstava o prúde podzemnej vody v štádiu po zabudovaní monitorovacích vrtov. Súčasne je navrhnutý prieskum stavu hrádzí zdrže a ich podložia dynamickými penetračnými skúškami.

Na základe poznatkov o vplyve prevádzky realizovanej zdrže v podobných podmienkach je spracovaný **orientačný** vplyv zdrže na podzemné vody. **Pri hrádzach bez tesniacich prvkov budú siahať zvýšené hladiny do vzdialenosti približne 400 m pod MVE, s tesniacimi stenami sa dosah zvýšenia hladín podzemných vôd môže skrátiť na 300 m; v oboch prípadoch tento vplyv bude siahať do značných vzdialeností od objektov Hronského Beňadika vystavaných na jeho hornom konci.**

V stati o monitoringu hydrodynamických účinkov je uvedený návrh sledovania vývoja hladinových a rýchlostných režimov prúdenia podzemnej vody a filtračnej stability štrkovitých zemín, od ktorej závisí stabilita stavebných konštrukcií MVE. Z výsledkov získaných pred a počas výstavby je možné získať informácie, ktoré budú potrebné pre návrh realizácie ochranných prvkov. Počas prevádzky sa zistia zmeny, ktoré budú spôsobené trvalým zvýšením hladín v zdrži nad haťovými poľami a vodnou elektrárnou.

V Bratislave 19.6.2015

PODKLADY A LITERATÚRA

1. Druga, V.: Malá vodná elektráreň Hronský Beňadik – Zámer. Banská Bystrica – Malachov: Ekospol, 2014, 63 s. + 4 prílohy.
2. Duboš, B.: MVE Hronský Beňadik, predstavenie projektu. Opoj: Hydro Development, 2015, 28 ppt.
3. Kandra, K.: Vybraté časti 12 správ z Geofondu s informáciami o výsledkoch starších inžinierskogeologických prieskumných prác.
4. Hulla, J., Turček, P., Baliak, F., Klepsatel, F.: Predpoklady a skutočnosť v geotechnickom inžinierstve. Bratislava: Jaga group, 2002, 256 s.
5. Hulla, J., Cábel, J.: Analýza kritérií pre filtračnú stabilitu. Inžinierske stavby, roč. 45, 1997, č. 4-5, s. 145 - 149.
6. Kandra, K.: Zabudovanie, popis vrtov a koeficienty filtrácie (vybraté časti prieskumu). Žilina: Progeo, jún 2015.