

# MERANIE A MONITOROVANIE POSUNOV VS ŽILINA

Martin Prvý<sup>1</sup>, Milan Kubiš<sup>2</sup>

## Abstrakt

*Situovanie a priebeh výstavby vodného diela Žilina. Popis parametrov objektov diela. Geodetické merania zvislých a vodorovných posunov vodného diela. Spracovanie, znázornenie a zhodnotenie dosiahnutých výsledkov z hľadiska technicko-bezpečnostného dohľadu. Záverečné zhodnotenie.*

## 1 ÚVOD

Vodné dielo (VD) Žilina sa nachádza na okraji mesta v lokalite Šibenice. Hlavným účelom výstavby vodného diela je využitie toku na výrobu elektrickej energie. Okrem tohto hlavného účelu plní stavba aj mnoho ďalších významných úloh: sanácia aktívnych zosuvných území masívu Dubeň, ochrana mesta Žilina pred 100 a 1000 ročnou vodou, rekreačné a športové zázemie pre región Žiliny, perspektíva vodnej dopravy.

Stavba vodného diela sa začala realizovať koncom roka 1994. V priebehu výstavby a pred napustením vodnej nádrže bolo nutné presídliť obyvateľov 150-tich domov, väčšinou z Mojšovej Lúčky a Hruštína, do novovybudovaných sídiel v Novej Mojšovej Lúčke a v Rosinkách, ktorých lokality si vybrali sami občania. Celkový záber poľnohospodárskej pôdy predstavuje 272 ha pôdy III. a IV. bonity.

## 2 PARAMETRE VODNÉHO DIELA ŽILINA

### 2.1 HYDROUZOL

**Vodná elektrárň** – má dve vertikálne Kaplanove turbíny, priemer obežného kolesa 4850 mm, hĺtnosť turbín 2x150 m<sup>3</sup>/s, priemerný spád na turbíny 24,1 m. Inštalovaný výkon spolu 62 MW. Ročná výroba 173 GWh elektrickej energie. Prvý agregát vodnej elektrárne bol uvedený do skúšobnej prevádzky 17.12. 1997 a druhý agregát 31.3. 1998.

**Hať** – na prepúšťanie veľkých vôd slúži trojpoľová hať o šírke 3x12 m, hradiaca výška segmentu 11,4 m, klapky 3,3 m, celková výška uzáveru 14,7 m. Uzávěry sú ovládané hydraulicky.

---

<sup>1</sup> Ing. Martin Prvý, Vodohospodárska výstavba š.p., Nobelova 7, 831 02 Bratislava, Tel.: +421 906 31 1611  
Fax: +421 906 31 1599

<sup>2</sup> Ing. Milan Kubiš, Vodohospodárska výstavba š.p., Nobelova 7, 831 02 Bratislava, Tel.: +421 906 31 1611  
Fax: +421 906 31 1599

## 2.2 VODNÁ NÁDRŽ

Plní funkciu zásoby vody pre prevádzku vodnej elektrárne a zároveň zvyšuje energetický spád a tým aj výrobu elektrickej energie. Dĺžka nádrže je 7,5 km a šírka 250-600 m. Celkový objem nádrže je 17,9 mil. m<sup>3</sup>, zásobný objem 8,0 mil.m<sup>3</sup>. Kóta max. hladiny vody je 352,0 m n. m.

**Hrádza nádrže** – šírka koruny hrádze s komunikáciou je 9,5 m a 6,0 m, bez komunikácie 3,5 m, je tesnená fóliou naviazanou na podzemnú stenu.

## 3 GEODETICKÉ MERANIA POSUNOV

Merania vodorovných a zvislých posunov na vzťažných a pozorovaných bodoch vodného diela Žilina vykonávajú pracovníci Vodohospodárskej výstavby š.p. Bratislava, úseku Technicko-bezpečnostného dohľadu (TBD), odbor geodézie.

Presnosť geodetických meraní je posudzovaná podľa oborovej normy ON 73 6807 “Pozorovanie a meranie na vodných dielach“ a STN 73 0405 “Meranie posunov stavebných objektov“. Na meranie posunov a pretvorení (deformácii) na vodnom diele Žilina je požadovaná presnosť: výškové zmeny – na betónových a murovaných objektoch  $m_v$  max. 1 mm, polohové zmeny na betónových a murovaných objektoch  $m_{x,y}$  max. 2 mm.

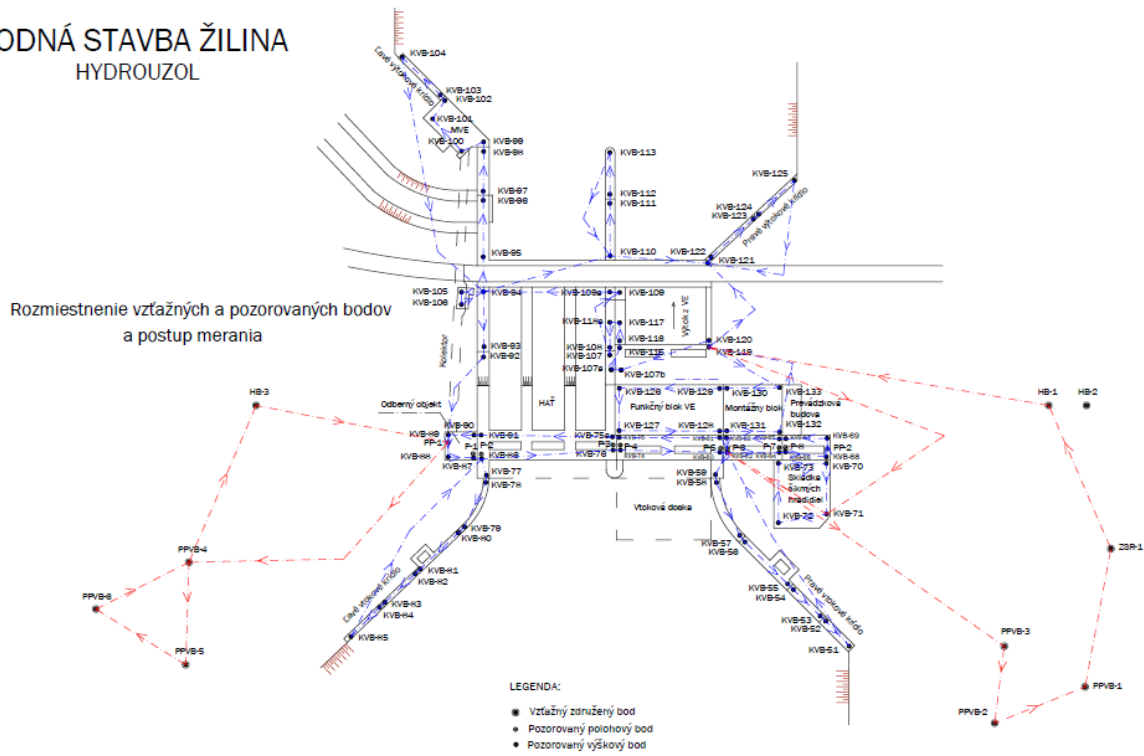
Meranie bolo realizované metódou veľmi presnej nivelácie (VPN). Ide o geometrickú niveláciu zo stredu. Meranie sa vykonávalo vo výškovom systéme Baltskom po vyrovnaní (Bpv). Na meranie boli použité digitálne nivelačné prístroje Leica DNA 003, kódové invarové nivelačné laty a príslušný meračský inventár. Nivelračný prístroj Leica DNA 003 je charakterizovaný jednotkovou strednou chybou 0,3 mm/km.

### 3.1 MERANIE ZVISLÝCH POSUNOV NA HYDROUZLE

Meranie zvislých posunov sa začalo vo februári 1997. Základné meranie bolo vykonané pred začatím napúšťania vodnej nádrže v septembri 1997. Do septembra 2013 bolo vykonaných 42 etapových meraní. Výsledky merania boli ovplyvnené priebehom výstavby objektov, výškou vody v nádrži, teplotou a presnosťou merania.

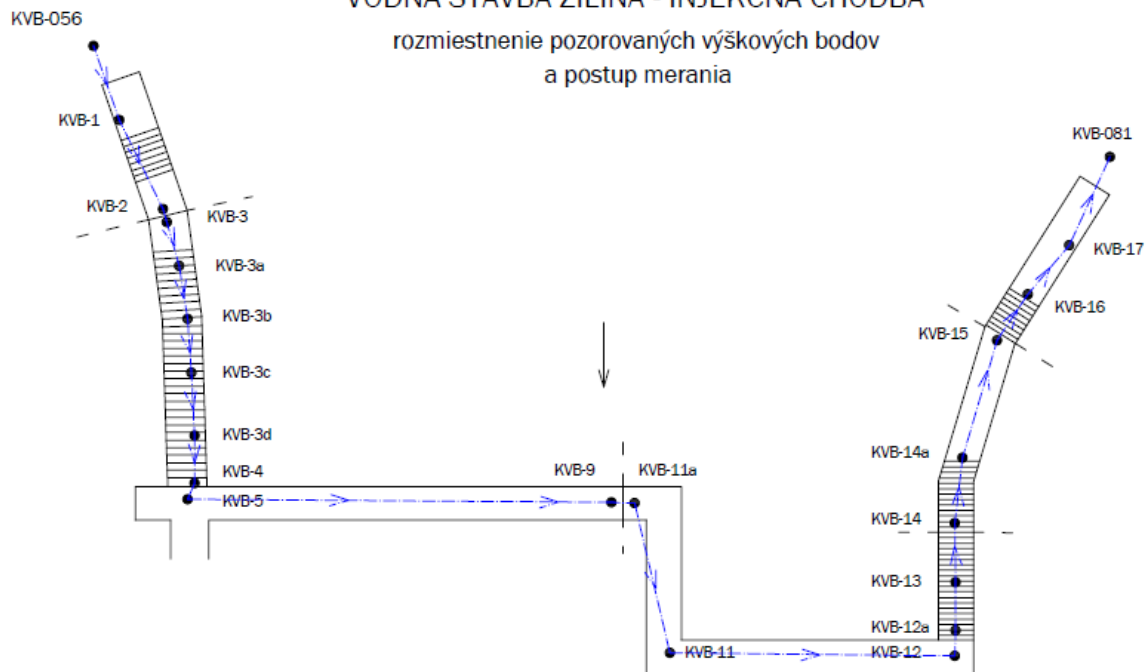
Sieť vzťažných a pozorovaných výškových bodov na Hydrouzle tvorí v súčasnosti 6 združených vzťažných bodov (PPVB-1 až PPVB- 6), 2 body vytyčovacej siete (HB-1 a HB-2), 1 združený bod (ZSR-1), ktorý bol dobudovaný v roku 2012 pri výstavbe železnice v blízkosti vodného diela, 82 pozorovaných výškových bodov (KVB-51 až KVB-133) na objektoch vodnej elektrárne, hate a budove strojovne, 20 pozorovaných výškových bodov v injekčnej chodbe (KVB-1 až KVB-17) a 25 pozorovaných výškových bodov na kolektore malej vodnej elektrárne (KVB-18a, KVB-18 až KVB-39).

VODNÁ STAVBA ŽILINA  
HYDROUZOL



Obr. 1 Sieť vzťažných a pozorovaných bodov na Hydrouzle

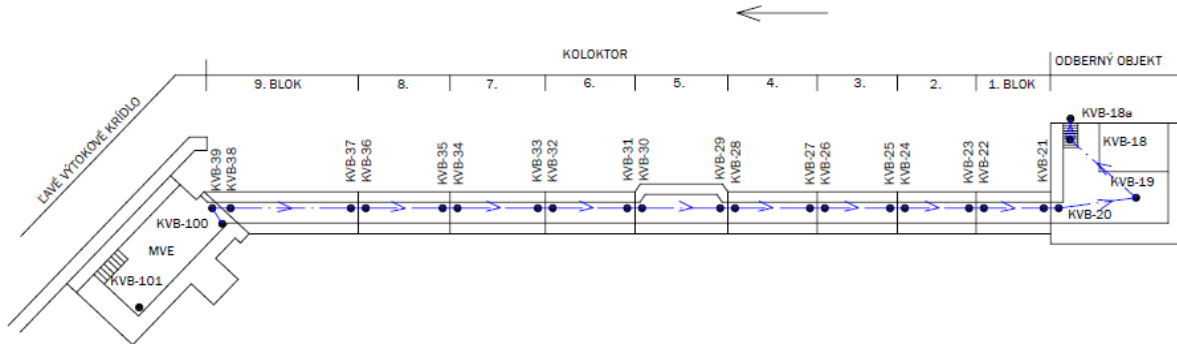
VODNÁ STAVBA ŽILINA - INJEKČNÁ CHODBA  
rozmiestnenie pozorovaných výškových bodov  
a postup merania



Obr. 2. Rozmiestnenie pozorovaných bodov v injekčnej chodbe

## VODNÁ STAVBA ŽILINA KOLEKTOR

Rozmiestnenie pozorovaných bodov a postup merania



Obr. 3 Rozmiestnenie pozorovaných bodov na kolektore

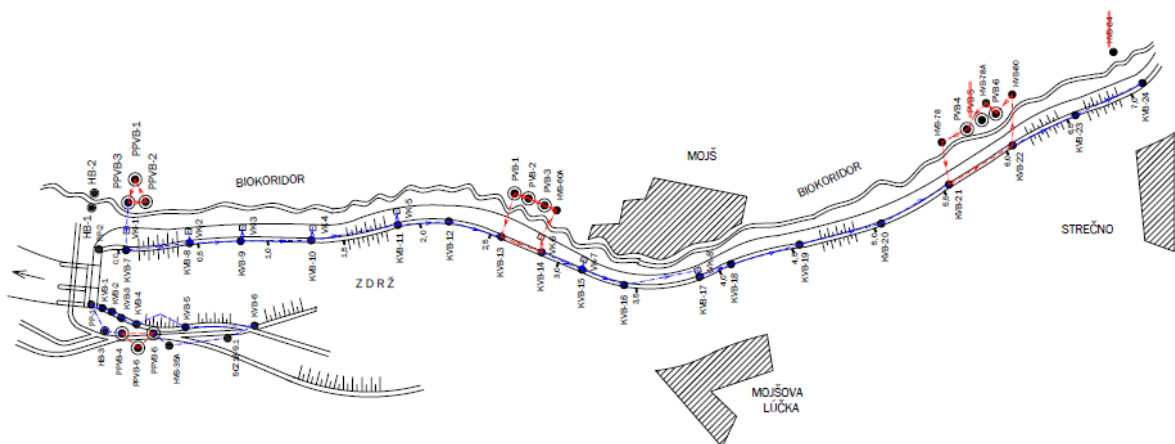
### 3.2 MERANIE ZVISLÝCH POSUNOV NA OCHRANNÝCH HRÁDZACH ZDRŽE

Meranie hrádze zdrže pozostáva z merania ľavostrannej a pravostrannej časti ochrannej hrádze. Ľavostrannú časť tvorí sieť 3 vzťažných bodov (PPVB-4 až PPVB-6), 3 bodov vytyčovacej siete (HB-3, HB-35A, SCZ1991) a 6 pozorovaných bodov (KVB-1 až KVB-6). Pravostranná časť je tvorená 8 vzťažnými bodmi (PPVB-1 až PPVB-3, PVB-1 až PVB-6), 4 bodmi vytyčovacej siete (HVB-60A, HVB-78, HVB-78A, HVB-80), 18 pozorovaných bodov (KVB-7 až KVB-24) a 8 bodov na výškomerných krabiciach (VK-1 až VK-8).

## VODNÁ STAVBA ŽILINA

ĽAVOSTRANNÁ A PRAVOSTRANNÁ HRÁDZA ZDRŽE

Rozmiestnenie vzťažných a pozorovaných bodov



Obr. 4 Rozmiestnenie bodov na ochranných hrádzach zdrže

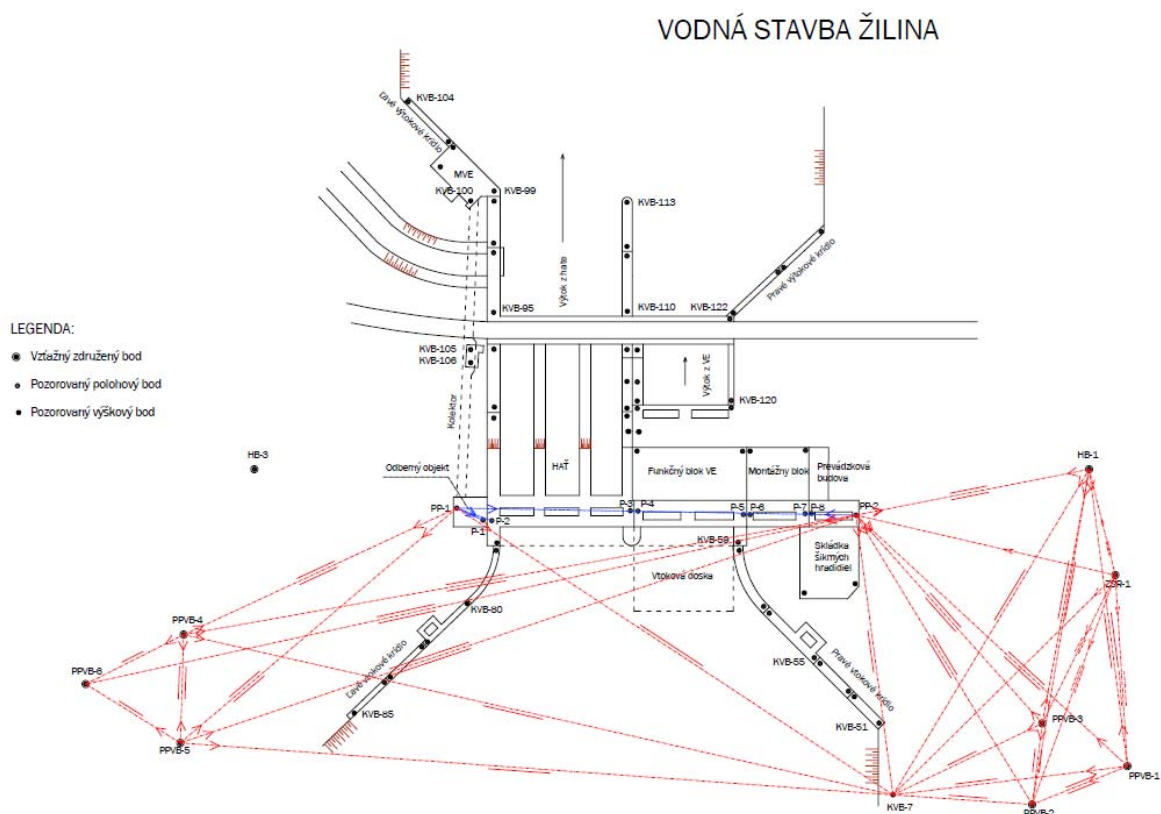
### 3.3 MERANIE VODOROVNÝCH POSUNOV NA HYDROUZLE

Meranie vodorovných posunov sa začalo po vybudovaní vzťažných a pozorovaných združených bodov v septembri 1997. Do septembra 2013 bolo na VD Žilina vykonaných 41. Meraní vodorovných posunov.

Polohová sieť pozostáva zo 6 združených vzťažných bodov (PPVB-1 až PPVB-6), 2 pozorované polohové body na vtokoch VE (P-4 a P-5), 4 pozorované polohové body na hati (P-1 až P-3, PP-1), 4 pozorované polohové body na skládke hradidiel pre VE a hať (PP-2, P-6 až P-8) a 1 pozorovaný bod na korune pravostrannej hrádze (KVB-7) Obr. 5.

Vodorovné posuny boli merané v súradnicovom systéme "Miestnom", os Y súradnicového systému je rovnobežná s osou VD Žilina (spojnica bodov P1, P2) a narastá zľava doprava. Os X je na ňu kolmá a narastá v smere toku vody.

Merania boli vykonané terestrickou metódou (meraním smerov a dĺžok). Na meranie bola použitá univerzálna meracia stanica Leica TDM 5000 a odrazové hranoly Leica.



Obr. 5 Sieť vzťažných a pozorovaných bodov

### 3.4 MERANIE NÁKLONU VODNEJ ELEKTRÁRNE

Meranie náklonu VE sa vykonáva optickým prevažovačom Zeiss PZL 100 z observačného piliera s centračnou doskou osadeného na kóte 322,30 m n.m. na terč umiestnený na kóte 354,00 m n.m.. Základné meranie bolo vykonané v decembri roku 1998. Počas sledovaného obdobia do septembra 2013 bolo vykonaných 33. kontrolných meraní.

Hodnota náklonu v poslednom 33. kontrolnom meraní vykazala v smere toku vody hodnotu 3,9 mm a v smere kolmom 1,9 mm. Tieto hodnoty sú v medziach pružných deformácií objektu. Presnosť takto určeného naklonenia je daná presnosťou prístroja Zeiss PZL 100, ktorá je 1 mm/100 m dĺžky zámery.

#### 4 SPRACOVANIE MERANÍ

Spracovanie meraní sme realizovali samostatne pre meranie zvislých posunov a meranie vodorovných posunov.

##### 4.1 SPRACOVANIE MERANIA ZVISLÝCH POSUNOV

Spracovanie merania pozostávalo z niekoľkých krokov. Namerané údaje sa spracovali v programe na vyrovnanie nivelačnej siete Nivelácia. Spracovanie je založené na efektívnom a nevychýlenom odhade parametrov nivelačnej siete, generujúcom v zmysle metódy najmenších štvorcov optimálne výsledky. Váha jednotlivým meraným prevýšeniam bola pridelená na základe dĺžky nivelačného oddielu. Pri vyrovnaní bol použitý model voľnej siete, na základe ktorého sú výšky vzťažných bodov náhodné veličiny a tým sa môžu meniť, pričom ich nepresnosť sa pre určované body rešpektuje. Po takomto výpočte nadmorských výšok bodov a ich charakteristík presnosti nasledoval výpočet zvislých posunov medzi jednotlivými etapovými meraniami realizovaný v programe Microsoft Excel.

Presnosť jednotlivých etapových meraní je posudzovaná jednotkovou strednou kvadratickou chybou, vypočítanou z rozdielov merania tam a späť " $m_0$ " a jednotkovou strednou kvadratickou chybou vypočítanou z uzáverov nivelačných okruhov " $M_0$ ". Hodnoty týchto stredných chýb za posledné roky sú uvedené v Tab. 1. V Tabuľke 2 sú uvedené zvislé posuny na vzťažných výškových bodoch na ľavej aj pravej strane za posledné tri etapové merania a zvislé posuny od základného merania (ZM).

Tab. 1 Prehľad stredných chýb za posledných päť etapových meraní

Meranie	Dátum merania	Stredná chyba v mm	
38. meranie	05.10.2011	$m_0 = 0,29$	$M_0 = 0,91$
39. meranie	12.04.2012	$m_0 = 0,31$	$M_0 = 0,57$
40. meranie	03.10.2012	$m_0 = 0,89$	$M_0 = 1,12$
41. meranie	04.04.2013	$m_0 = 0,47$	$M_0 = 0,72$
42. meranie	24.09.2013	$m_0 = 0,31$	$M_0 = 0,69$

Tab.2 Zvislé posuny vzťažných bodov

Vzťažné body OBDOBIE:	Rozpätie zvislých posunov od ... do ... v mm			
	Pravá strana stupňa		Ľavá strana stupňa	
04. 2012 - 10. 2012	-0,4	0,2	-2,7	0,1
10. 2012 - 04. 2013	-0,3	0,3	-0,3	1,4
04. 2013 - 09. 2013	-0,2	0,9	-2,7	0,1
ZM - 09. 2013	-13,3	1,1	-25,8	-2,0

Všetky vzťažné výškové body vykazujú ustálené hodnoty zvislých posunov, až na bod PPVB-5, ktorý ako jediný vykazuje väčšie hodnoty zvislých posunov (v poslednom meraní dosiahol posun  $p=-2,7$  mm). Vzhľadom na túto skutočnosť nemožno bod považovať za výškovo stály.

Zvislé posuny na vybraných objektoch VD sú uvedené v Tab. 3 a Tab. 4. Väčšie hodnoty zvislých posunov objektov VD Žilina vznikli pri výstavbe a následnom napustení nádrže vodou.

Tab. 3 Zvislé posuny na objektoch VD Žilina

OBDOBIE:	Rozpätie zvislých posunov od ... do ... v mm					
	Injekčná chodba		Vtoky VE		Výtoky VE	
04. 2012 - 10. 2012	-1,0	1,0	1,5	3,6	0,8	2,4
10. 2012 - 04. 2013	-2,1	0,0	-3,8	-2,3	-2,6	-1,2
04. 2013 - 09. 2013	-0,5	1,1	1,8	3,3	0,8	2,1
ZM - 09. 2013	-56,5	-13,8	-7,7	-4,2	-2,5	2,4

Tab. 4 Zvislé posuny na objektoch VD Žilina

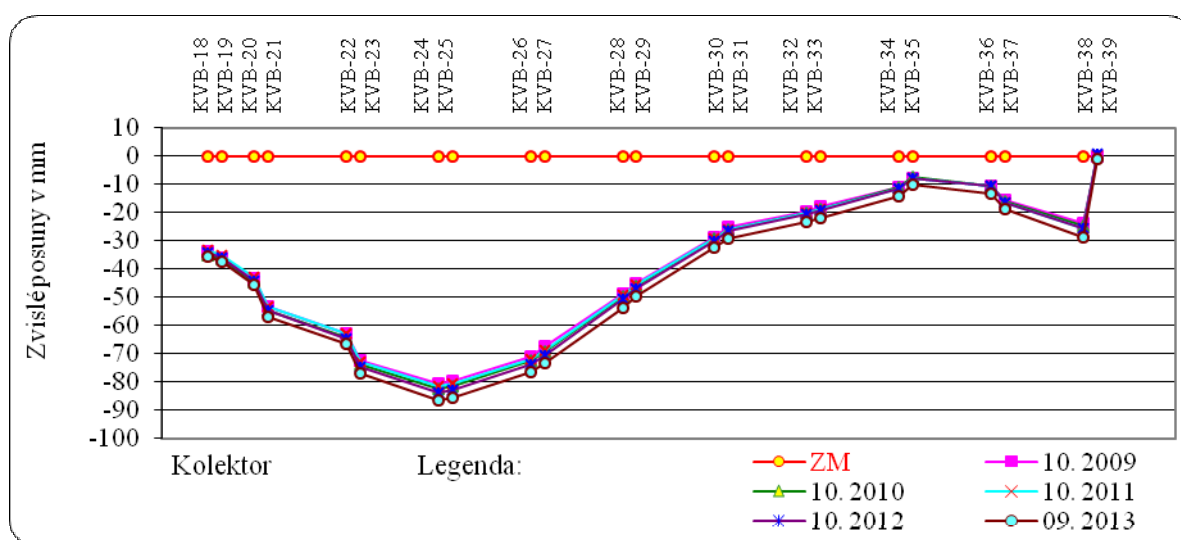
OBDOBIE:	Rozpätie zvislých posunov od ... do ... v mm			
	Hať		Kolektor	
04. 2012 - 10. 2012	-0,8	0,9	1,6	3,3
10. 2012 - 04. 2013	-1,4	0,5	-5,7	-3,2
04. 2013 - 09. 2013	-1,2	1,1	1,7	3,0
ZM - 09. 2013	-99,3	-17,0	-86,7	-1,1

V Tab. 5 sú uvedené zvislé posuny na bodoch ochranných hrádzí zdrže za posledné tri etapové merania a taktiež od základného merania. Väčšie hodnoty na ľavostrannej hrádzi sú spôsobené tým, že časť hrádzy je postavená na prehradení Váhu a bola vybudovaná počas napúšťania zdrže.

Tab. 5 Zvislé posuny hrádze

OBDOBIE:	Rozpätie zvislých posunov od ... do ... v mm			
	Ľavostranná hrádza		Pravostranná hrádza	
04. 2012 - 10. 2012	-2,7	-1,8	-1,3	1,2
10. 2012 - 04. 2013	-1,7	-0,4	-2,6	2,9
04. 2013 - 09. 2013	-1,5	-0,7	-2,5	2,7
ZM - 09. 2013	-165,8	-25,9	-46,9	-1,1

Pre grafickú ilustráciu pripájame v grafickom znázornení priebeh zvislých posunov na vybranom objekte (obr. 6).



Obr. 6 Zvislé posuny v pozdĺžnom reze na Kolektore

#### 4.2 SPRACOVANIE MERANIA VODOROVNÝCH POSUNOV

Výpočet súradníc bol vykonaný v programe “Výpočet súradníc lokálnej polohovej siete“. Výpočet je realizovaný vyrovnaním meraných smerov a dĺžok prostredníctvom sprostredkujúceho prostredia. Do výpočtu vstupujú merané smerníky a vodorovné dĺžky opravené o fyzikálne redukcie redukované na spoločný horizont 350,00 m n.m. Výpočet bol realizovaný v dvoch krokoch. V prvom boli vypočítané súradnice vzťažných bodov, observačných pilierov PP-1, PP-2 a bodu KVB-7. V druhom kroku boli vypočítané súradnice pozorovaných bodov metódou rajónu. Následne boli v programe Microsoft Excel vypočítané vodorovné posuny medzi jednotlivými etapovými meraniami.

Presnosť merania smerov a dĺžok je posudzovaná strednou kvadratickou chybou vypočítanou z vyrovnania súradníc v sieti vzťažných bodov a observačných pilierov. Maximálne hodnoty stredných chýb sú uvedené v Tab. 6. Hodnoty vodorovných posunov na vzťažných a pozorovaných bodoch VD sú uvedené v Tab. 7.

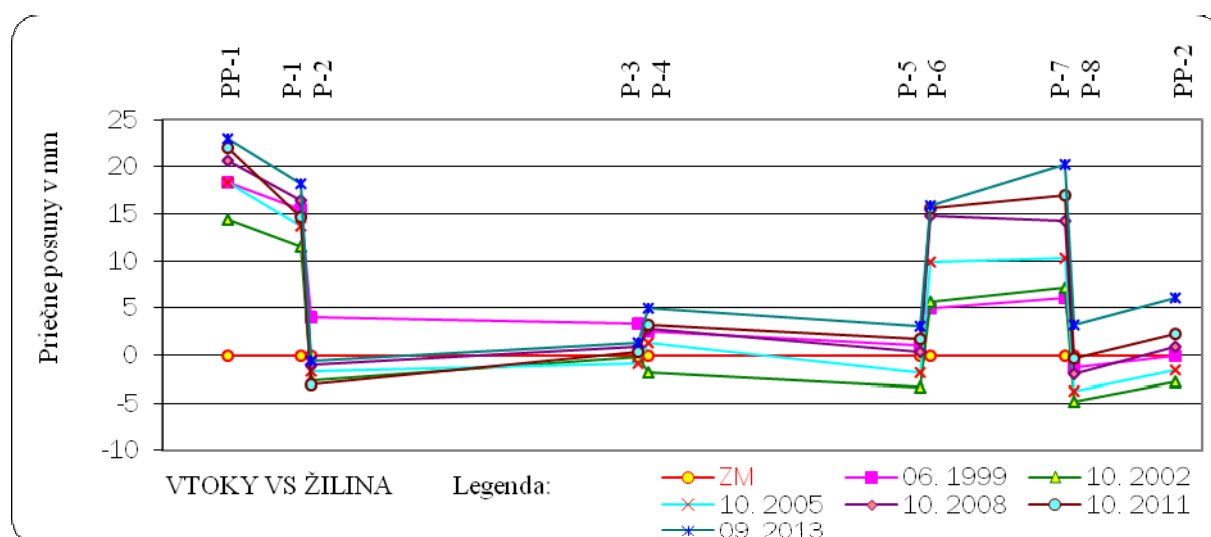


Tab. 6 Charakteristiky presnosti polohových meraní

Meranie	Dátum merania	Max. stredné chyby	
		my	mx
37. meranie	6. 10. 2011	1,8 mm	1,7 mm
38. meranie	18. 04. 2012	1,0 mm	2,6 mm
39. meranie	02. 10. 2012	2,0 mm	2,1 mm
40. meranie	16. 04. 2013	1,2 mm	1,2 mm
41. meranie	26. 09. 2013	1,7 mm	1,6 mm

Tab. 7 Vodorovné posuny vzťažných a pozorovaných bodov

OBDOBIE:		Vodorovné posuny od ... do ... v mm			
		Vzťažné body		Pozorované body	
04. 2012 - 10. 2012	dy	-2,1	5,0	-0,2	7,3
	dx	-1,6	4,0	-2,8	4,9
10. 2012 - 04. 2013	dy	-3,7	3,7	-11,9	-3,4
	dx	-2,4	4,5	0,8	6,9
04. 2013 - 09. 2013	dy	-7,9	2,1	-0,4	8,5
	dx	0,1	3,2	-6,7	2,7
ZM - 09. 2013	dy	-3,6	17,9	-25,7	4,7
	dx	-2,7	52,4	-0,7	23,0



Obr. 7 Grafické znázornenie pričných posunov v pozdĺžnom reze na vtokoch VD Žilina

## 5 ZÁVER

Výsledky merania zvislých a vodorovných posunov sú ovplyvňované metódou merania, metódami spracovania nameraných údajov, atmosférickými podmienkami,

samotnými posunmi vzťažných bodov, kvalitou stabilizácie meracieho zariadenia, pružnými deformáciami objektu a ďalšími. Presnosť merania výšok metódou veľmi presnej nivelácie prístrojmi Leica DNA 003 a polohy použitím prístroja Leica TDM 5000 je vysoká a len málo ovplyvňuje namerané hodnoty výškových a polohových zmien. Použitie elektronických teodolitov, diaľkometerov a modernej výpočtovej techniky rozšírilo možnosti geodetických metód merania, spracovania a vyhodnotenia meraní. Tieto skutočnosti sa prejavili aj v meraniach, ktoré boli vykonané na vodnom diele Žilina.

## LITERATÚRA

[1] Geodetická príloha do ES TBD nad VS Žilina za rok 2013, Ing. Juraj Kalivoda.

[2] <http://www.vvb.sk/cms/index.php?page=vd-zilina>

[3] [http://sk.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%A9\\_dielo\\_%C5%BDilina](http://sk.wikipedia.org/wiki/Vodn%C3%A9_dielo_%C5%BDilina)