

# MODERNIZÁCIA ONLINE SYSTÉMU GEOMONITOR NA PLAVEBNÝCH KOMORÁCH VD GABČÍKOVO

Vladimír Gróf<sup>1</sup>, Štefan Lukáč<sup>2</sup>

## Abstrakt

*Systém automatizovaného geotechnického monitoringu GeoMonitor bol na plavebných komorách v Gabčíkove nainštalovaný v roku 1997. Systém primárne slúžil na lokalizáciu netesných miest v konštrukciách plavebných komôr a rozpoznanie mechanizmov ich vzniku. Sekundárne bol systém využitý na kontrolu účinnosti sanačných prác počas ich realizácie. Nakoľko sa predmetný monitorovací systém osvedčil, bolo prijaté rozhodnutie, využívať ho na dlhodobý geotechnický monitoring. Za týmto účelom bol GeoMonitor v rokoch 2007 až 2010 inovovaný na systém GeoMonitor II. Príspevok popisuje prednosti nových meracích prístrojov a inovácie v oblasti zberu a spracovania údajov.*

## 1 ÚVOD

V apríli 1997 bol na plavebných komorách VD Gabčíkovo spoločnosťou GeoExperts v spolupráci so švajčiarskou firmou SOLEXPERS nainštalovaný automatizovaný systém geotechnického monitoringu GeoMonitor, pozostávajúci z nasledovných typov meraní:

- a) povrchové polohové meranie (x,y,h) posunov jednotlivých železobetónových (ŽB) blokov plavebných komôr (PK) prostredníctvom univerzálnych meracích staníc Leica TCA 1800,
- b) meranie hladín podzemnej vody vo vrtoch v okolí plavebných komôr (PK),
- c) meranie stláčania základovej pôdy v 4 vrtoch hĺbky 55 m pri oboch zhlaviach komôr,
- d) meranie vzájomných posunov jednotlivých blokov plavebných komôr na dne PK.

Systém bol inovatívnym produktom na úrovni vtedajšieho svetového poznania a techniky a zmyslom jeho aplikácie na PK bolo doplniť poznatky o správaní sa plavebných komôr pre návrh ich sanácie s dôrazom na zistenie primárnej príčiny priesakov z PK. Konceptia monitoringu vychádzala z potreby odlišiť krátkodobé deformácie PK vplyvom ich napúšťania a vypúšťania od dlhodobých deformácií vplyvom sadania komôr v čase. Stála prevádzka PK totiž vytvárala nestacionárne podmienky a tým porovnávanie výsledkov štandardných etapových meraní viedlo k nejednoznačnej interpretácii aktuálneho stavu ako aj prognózy sadania komôr. Popri zistení príčiny priesakov bolo úlohou monitoringu vytvoriť dostatočnú databázu vstupných údajov pre lokalizáciu priesakov matematickým modelovaním. V neposlednom rade mal budovaný systém automatizovaného geotechnického monitoringu za

---

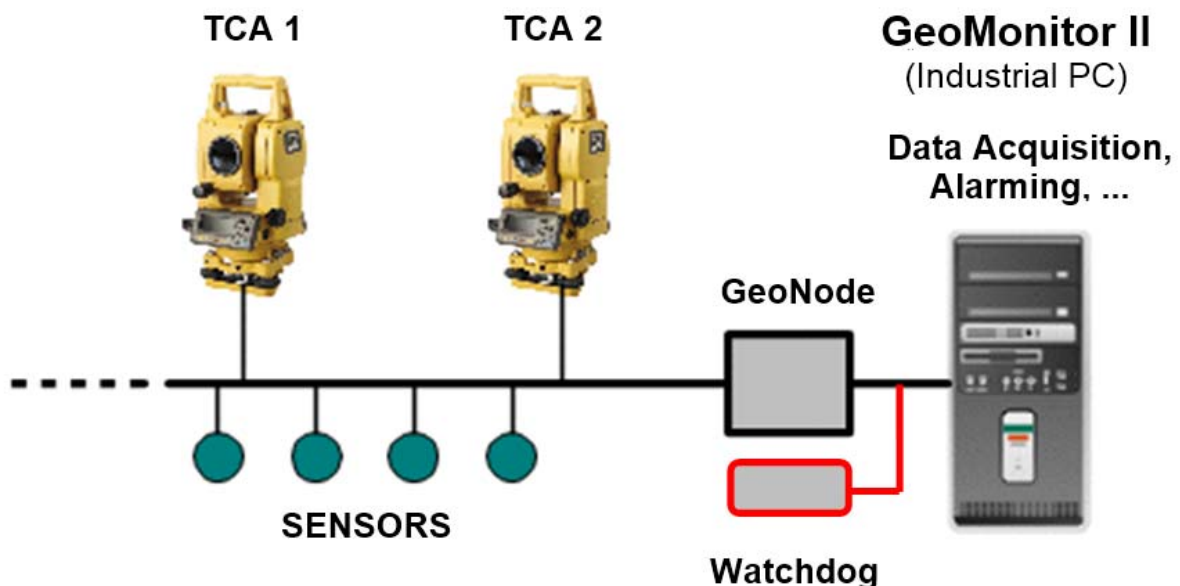
<sup>1</sup> Vladimír Gróf, Ing. PhD., Geoexperts, spol. s r.o., Smaragdová 3, 010 09 Žilina, contact@geoexperts.sk

<sup>2</sup> Štefan Lukáč, Ing., Katedra geodézie Stavebnej fakulty STU, e-mail: stefan.lukac@stuba.sk

cieľ umožniť operatívne sledovanie účinnosti plánovaných sanačných prác. Pretože systémom GeoMonitor sa podarilo uvedené úlohy zabezpečiť, vyvstala v roku 2007 od prevádzkovateľa Vodohospodárskej výstavby, š.p. požiadavka systém modernizovať tak, aby vytváral operatívny nástroj na kontrolu bezpečnosti deformačného správania sa PK z akéhokoľvek miesta. Ponúknutý a aj realizovaný upgrade - systém GeoMonitor II – implementoval predovšetkým pokrok v oblasti prenosu a spracovania údajov.

## 2 AUTOMATIZOVANÝ SYSTÉM GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU GEOMONITOR II

V porovnaní so systémom GeoMonitor je v systéme GeoMonitor II použitý priemyselný PC a rozhrania sú vybavené novými hardvérovými komponentami GeoNode ( dátovými uzlami), ktoré majú vlastné adresy. Tým je možné snímače (senzory) a meracie stanice prevádzkovať paralelne (v tom istom čase), t.j. riadiť ich individuálne – obr. 1.



Obr. 1 Automatizovaný systém GeoMonitor II na plavebných komorách VD Gabčíkovo

Systém GeoMonitor II bol navrhnutý ako flexibilný a robustný systém na merania v náročných podmienkach. O dodatočné zabezpečenie spoľahlivosti pri dlhodobej prevádzke sa stará "watchdog", ktorý izoluje hardware od vonkajších vplyvov (skraty, prepätie...), a ktorý v prípade potreby reinitializuje systém. Prístup k nastaveniam je chránený heslom, nastavenie sa realizuje priamo na mieste alebo vzdialeným prístupom (remote access). GeoMonitor II zároveň zabezpečuje transfer nameraných hodnôt na dátový server systému WebDAVIS. Overovanie údajov prebieha na dvoch úrovniach:

- meranie (GeoMonitor II): overenie zmysluplnosti údajov (sanity-check) - platnosť rozsahu; informácia o integrite; stav zariadení a chybové hlásenia,
- prenos (Data Server): konzistentnosť údajov, test na duplikáty, periodické overovanie aktuálnosti (úplnosť merania).

Softvér GeoMonitor II má užívateľské rozhranie vytvorené v dizajne "look-and-feel" MS Windows. Všetky údaje (projekt, nastavenia, namerané údaje, log-kniha) sú uložené v

databanke. Databanka sa kontinuálne zabezpečuje, aby sa zabránilo strate údajov pri poruchách systému. Namerané údaje sa ukladajú s časovým a kvalitatívnym kódom. Štandardne sa vytvára ASCII - súbor, ktorý každému balíčku údajov (Scan) prideli jeden riadok. Aplikovaná databanka umožňuje pracovať v prepojených tabuľkách (užívateľské nastavenia, systémové údaje, namerané údaje). Podstatne rozšírené boli grafické možnosti na vyhodnocovanie meraní a spracovávanie správ.

Priemyselný počítač a dátový bus-systém (Watchdog, GeoNode) umožňuje aplikovať rôzne typy snímačov a rôzne nastavenia, aby bol signál zo snímačov premenený na fyzikálnu veličinu. Namerané hodnoty je následne možno použiť ako premenné na ďalšie výpočty. Pre každý snímač (aj vypočítaný) možno definovať krajné hodnoty, pri prekročení ktorých sa vyvolá alarm a s ním spojená predefinovaná akcia. Akcia môže mať podobu optických a akustických signálov, správ faxových, SMS alebo e-mailových, zmeny meracieho intervalu alebo zápisov do log-knihy. Na vedenie protokolu a zaznamenávanie poznámok, ktoré sa neregistrujú automaticky možno využiť textový editor. Ten uloží zápis do log-knihy s udaním času a menom užívateľa. Priebeh meraní možno sledovať v okne - obr. 2, objaví sa zoznam snímačov s údajom o pripojení k hardvéru a údajoch o snímači (názov, jednotka, skupina), ako aj namerané hodnoty a popis merania. Pre každý snímač sa zobrazí postupujúci obdĺžnik, ktorý zachytáva status merania podľa jeho stavu v rôznych farbách. Existujúce snímače možno usporiadať do zoznamov podľa rôznych kritérií. Ku každému meraniu sa vedie popis, tzv. kvalitatívny kód. Popis môže byť: kód chyby, ak meranie nebolo úspešné; vyvolaný alarm a typ alarmu; prekročenie oboru platnosti meranej veličiny alebo meranie v poriadku.

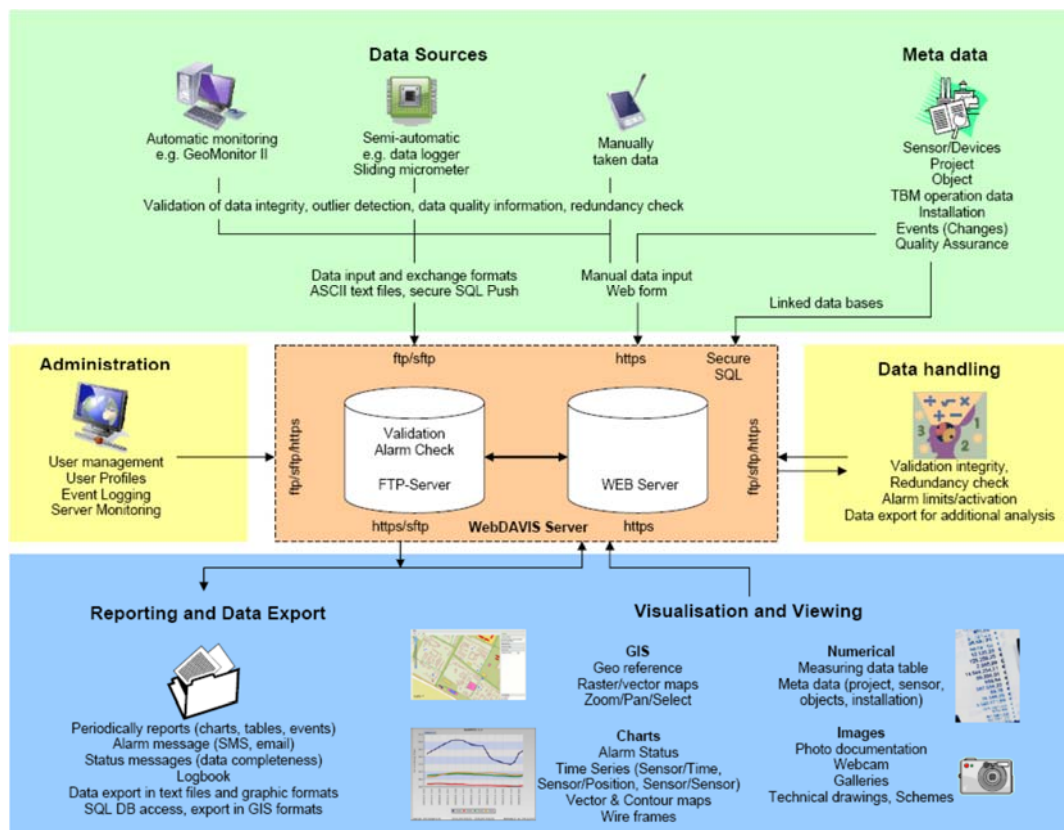
Scan Order	Progress	Sensor Name	Sensor Units	Sensor Group	Measurement	Event description
Source : N48 - Logger/Mux(Neigung2)						
4	[Progress bar]	NMS_1	mm/m	Tilt	-0.24	Measurement OK
5	[Progress bar]	G3958	mm/m		-0.05	Measurement OK
6	[Progress bar]	G3960	mm/m		0.19	Measurement OK
7	[Progress bar]	G3592	mm/m		0.03	Measurement OK
21	[Progress bar]	Wegaufnehmer	mm		0.00	Measurement OK
22	[Progress bar]	DMS-X	mm/m		0.23	Measurement OK
23	[Progress bar]	DMS-Y	mm/m		-0.26	Measurement OK
25	[Progress bar]	Temp_	°C		13.7	Measurement OK
Source : N60 - Logger/Mux(Hydrost)						
10	[Progress bar]	Batterie	Volt		9.11	Measurement OK
11	[Progress bar]	Teststecker	mm		0.0	Measurement OK
12	[Progress bar]	Sensor frei	mm	Schlauchwaage	5.6	Measurement OK
13	[Progress bar]	Testrohr	mm	Schlauchwaage	-2.7	Measurement OK
14	[Progress bar]	Temperatur	°C	Temperature	26.52	Measurement OK
Source : N9 - Logger/Mux(DLS)						
1	[Progress bar]	DLS-Distanz	mm		15289.0	Measurement OK
2	[Progress bar]	DLS-Temp	°C		17.6	Measurement OK
Source : Calculated						
Source : Statistical						
-	[Progress bar]	Distanz_Max	mm		15289.80	Measurement OK
-	[Progress bar]	Distanz_Median	mm	Average	15288.6	Measurement OK
-	[Progress bar]	Distanz_Min	mm		6.00	Measurement OK
-	[Progress bar]	K1_Avg	mm/m	Average	0.20	Incomplete/Too few samples
-	[Progress bar]	K2_Avg	mm/m	Average	0.84	Incomplete/Too few samples
-	[Progress bar]	Mittelwert	mm	Schlauchwaage	-2.53	Measurement OK

Obr. 2 Ukážka okna o priebehu meraní systémom GeoMonitor II

### 3 SYSTÉM NA VIZUALIZÁCIU ÚDAJOV CEZ WEB ROZHRIANIE WebDAVIS

Automatizovaný zber údajov z kontinuálnych meraní sa z dôvodu veľkého množstva informácií etabloval ako štandard v mnohých geotechnických a hydrogeologických aplikáciách. Pre projektantov, vedenie stavby ako aj investorov sú namerané údaje a z nich vypracované výsledky podkladom pre ich rozhodovanie. Tieto informácie musia byť nielen spoľahlivé, ale aj rýchlo prístupné a prehľadné. WebDAVIS 2.0 je informačná platforma na zobrazovanie georeferenčných údajov v reálnom čase a pre správu dodatočných informácií o projekte cez Internet.

WebDAVIS 2.0 je integrálna súčasť dátového manažmentu meraných a projektových dát. Srdce systému tvorí server WebDavis, ktorý prijíma, kontroluje a spracováva údaje - obr. 3. Tieto následne poskytuje používateľovi v rôznej forme. Prístup k portálu projektu je chránený heslom a dovoľuje prístup iba povolaným osobám. Údaje sú prenášané na FTP server. Formát a zdroj údajov je takmer ľubovoľný, od manuálne vykonaných meraní po sofistikované meracie systémy akým je GeoMonitor. Merané údaje sú pretransformované cez import-filter a uložené do databázy. Úplnosť údajov je kontrolovaná pri ukladaní do databázy, a v prípade chýbajúcich údajov je automaticky zaslaný e-mail alebo SMS-správa užívateľovi v závislosti od meracieho intervalu. Manuálne merania môžu byť uložené do databázy priamo cez WebDAVIS.

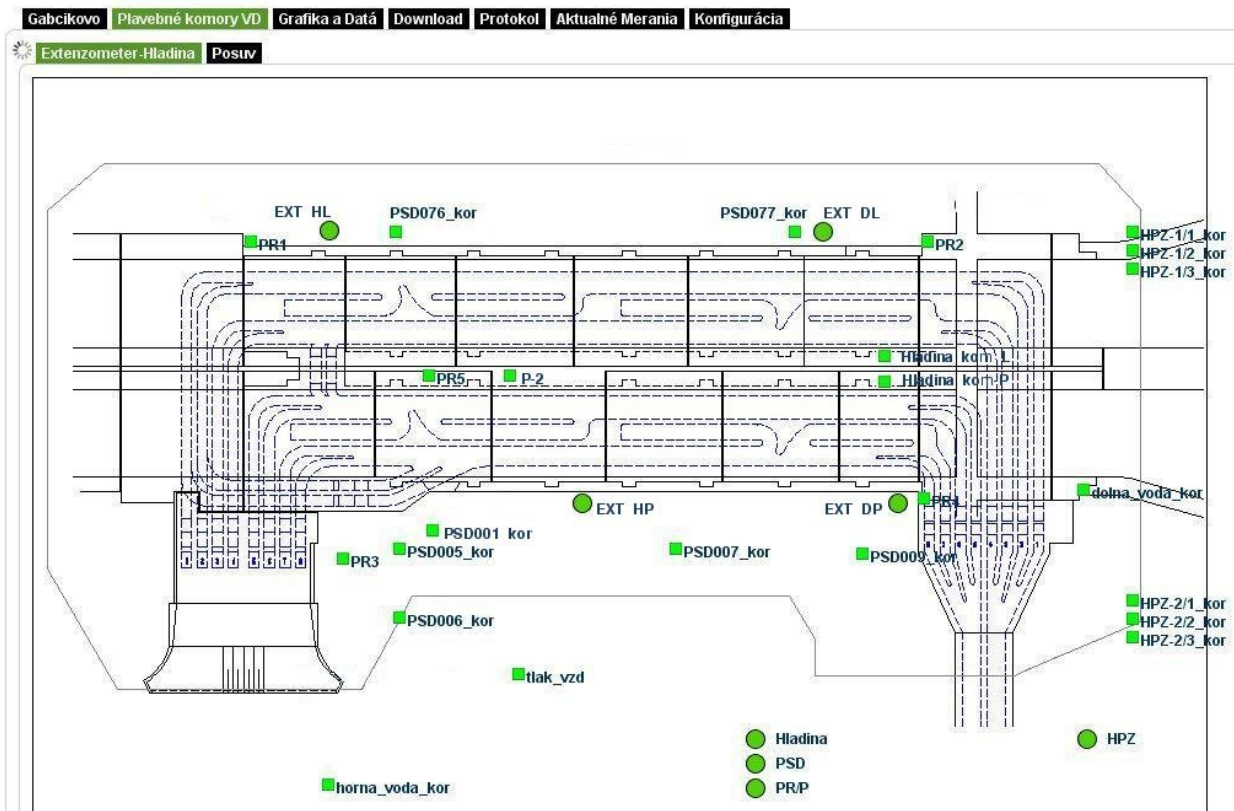


Obr. 3 Dátový koncept systému WebDavis

Prístup k údajom systému cez internet pomocou protokolu https je prehľadný, flexibilný, a bezpečný. Algoritmy spracovania sú presunuté od používateľa na stranu servera. Jednotlivé grafy sú generované dynamicky "on-the-fly". WebDAVIS (Web Data Visualisation) je na rozdiel od pôvodného programu DAVIS aplikovaného na plavebných komorách Vodného diela Gabčíkovo v roku 2007 rozšírený a doplnený o tieto nové funkcie:

- štruktúra klient-server,
- profesionálny server-hosting,

- platforma OS GNU Linux Debian,
  - široká podpora open-source štandardov (Perl, AJAX, PHP),
  - rýchla a stabilná RDBMS databáza MySQL,
  - flexibilný export údajov,
  - zabezpečenie prenosu HTTPS-SSL (AES-256bit),
  - redundantný systém zálohovania.
- Systémové požiadavky pre klienta:
- PC s prístupom na Internet,
  - Web browser, napr. Mozilla Firefox 1.5+, Opera 9+, ...,
  - prístupové informácie k projektu.



Obr. 4 Situácia meracích miest na PK VD Gabčíkovo na platforme systému WebDavis

Situácia monitoringu je zobrazená na výreze mapy (plánu), na ktorom sú zobrazené jednotlivé merané body v závislosti na ich pozícii - obr. 4. Ako podklad pre zobrazenie priestorovej závislosti medzi senzorm a miestom jeho inštalácie možno použiť aj fotografie. Aktuálna meraná hodnota každého senzora sa zobrazí priamo kliknutím na zodpovedajúci symbol na mape. Pre senzory, ktoré spolu logicky súvisia, sú vytvorené definície multigrafov. Tieto sú zobrazované pre všetkých používateľov rovnako. Farba symbolu slúži zároveň ako indikátor prekročenia limitných hodnôt. Pri prekročení preddefinovanej hodnoty varovania alebo alarmu sa zmení farba symbolu na mape na oranžovú alebo červenú. Tabuľka zobrazuje aktuálne merania v číselnej forme. Pomocou nástroja „Grafika a Dáta“ môžu byť vytvárané individuálne grafy a údaje môžu byť exportované vo formátoch HTML alebo CSV. Tieto exportované súbory sú vhodné na ďalšie spracovanie v programoch ako napr. OpenOffice alebo MS Excel. Dodatočné grafické vyhodnotenia ako napr. vektorové zobrazenie môžu byť zobrazené priamo na mape v novej vrstve. Sekcia “Protokol” ponúka možnosť automaticky zaznamenať udalosti, ktoré sú súčasťou meraní, alebo môžu byť doplnené priamo cez



používateľské rozhranie WebDavis manuálne. "Download" slúži ako rozšírenie na výmenu ďalších projektových informácií (protokoly, nákresy) medzi všetkými zúčastnenými. Je možné nastaviť rôzne prístupové práva pre jednotlivé osoby. Za účelom dokumentácie môže byť vytvorená obrazová galéria, rovnako je možné zobrazit' plány a štruktúry projektu.

#### **4 SKÚSENOSTI S PREVÁDZKOU SYSTÉMU GEOMONITOR II NA PLAVEBNÝCH KOMORÁCH VD GABČÍKOVO**

Upgrade systému GeoMonitor na systém GeoMonitor II bol vykonaný v septembri 2007. V roku 2010 sa do systému integrovali všetky funkčné strunové tenzometre a snímače teploty inštalované počas výstavby do železobetónových konštrukcií plavebných komôr a elektrárne a boli aj vymenené automatizované meracie stanice Leica TCA 1800 za modernejšie motorizované meracie stanice Leica TM30.

V súčasnosti je do systému GeoMonitor II zapojená nasledovná meracia technika:

- 2 ks Leica TM 30, merajúce 67 pozorovaných a 5 referenčných bodov,
- 17 snímačov tlaku na meranie hladiny podzemnej vody,
- 4 snímače na meranie piezometrického tlaku vody,
- 13 snímačov dráhy pre extenzometrické meranie sadania,
- 288 strunových (vibračných) snímačov pre meranie tlaku v betóne, vztlaku a teploty.

Interval automatizovaných meraní je nastavený nasledovne:

- 6 hod pre robotizované geodetické merania,
- 5 min pre meranie tlakov a dráhy snímačmi.

Polohové a výškové meranie posunov a pretvorení na povrchu železobetónových konštrukcií plavebných komôr je realizované automatizovane prostredníctvom dvoch motorizovaných meracích staníc Leica TM 30, ktoré predstavujú v súčasnosti najvyššiu technickú aj presnostnú úroveň meracej techniky v odbore geodézia a kartografia – obr. 5.



*Obr. 5 Motorizovaná meracia stanica Leica TC1800 a odrazový hranol na plavebných komorách*

Predmetná motorizovaná meracia stanica Leica TM30 sa tak stáva jedným z komponentov unikátneho monitorovacieho systému, ktorý efektívnym spôsobom integruje schopnosti teodolitu, dĺžkomera, digitálneho nivelačného prístroja, technológie GNSS, geotechnických senzorov, softvéru a komunikačnej infraštruktúry informačných technológií.

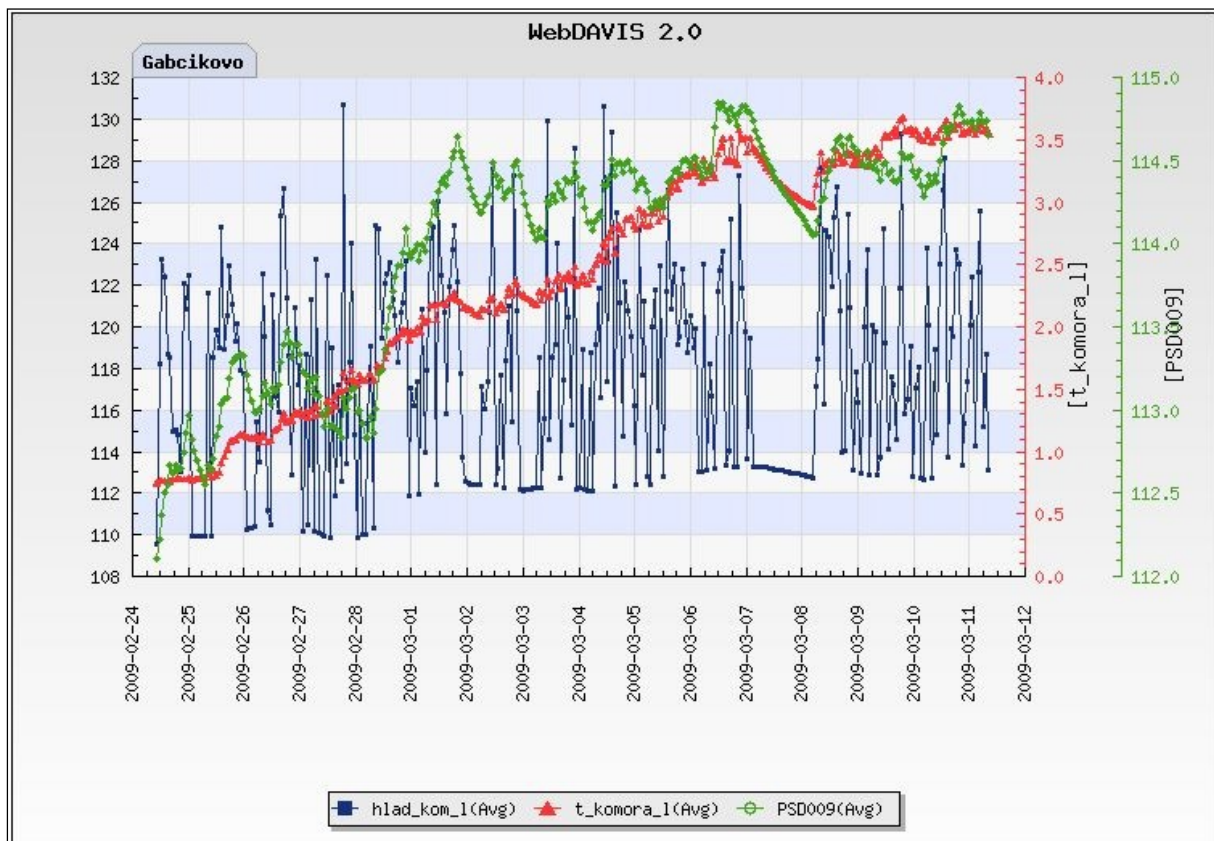
Leica TM30 používa ako svoju pohonnú motorizovanú jednotku novú patentovanú nanotechnológiu „Piezo drives“ s rýchlosťou pri meraní až 200 gon/s (max. 400 gon/s). Táto

pohonná jednotka nevyužíva na pohyb magnetické pole a umožňuje tak inštaláciu stanice aj v objektoch, ktoré produkujú magnetické pole, napr. elektrárne.

Funkcia „TargetView“ pomáha zase presnejšie definovať meranú oblasť, lokalitu, či objekt a zároveň umožňuje jednoznačnú detekciu polohy monitorovaných cieľových hranolov na pozorovaných a vzťažných bodoch aj v prípade ich vzájomne malej vzdialenosti.

System merania vodorovných a zvislých uhlov stanice pozostáva zo zberu údajov z kódovaných sklenených kruhov pomocou štyroch dekodérov, ktoré zabezpečujú štvornásobné snímanie príslušného kruhu. Snímanie prebieha 5 000 krát za sekundu. Použitie parabolickej reflexnej plochy pri snímaní umožňuje minimalizovať rozptyl svetelného lúča a teda jednoznačnejšie definovať kód na sklenenom kruhu. Vďaka týmto riešeniam je možné dosahovať uhlovú presnosť pri meraní uhlov  $0,5'' = 0,15$  mgon.

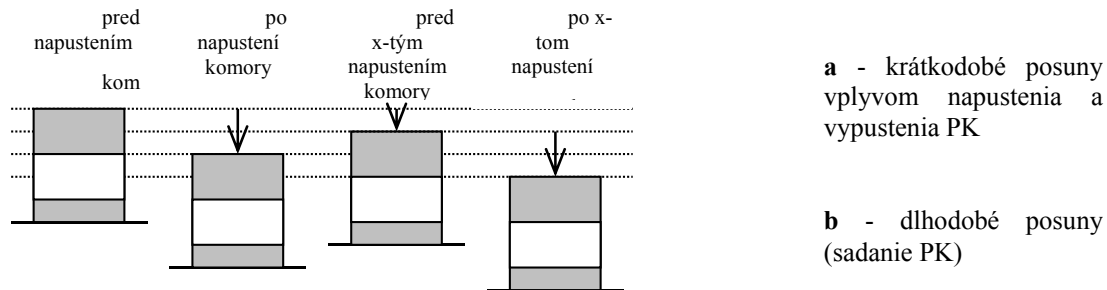
Technológia merania vzdialeností „PinPoint“ je pre stanicu Leica TM 30 upravená tak, aby dosahovala ešte vyššiu presnosť ako predošlá stanica Leica TCA 1800. Okrem vylepšenej elektroniky, analyzujúcej prichádzajúci signál, bola na predmetnej stanici zdokonalená stabilita a stopa laserového lúča. Popri zachovaní vysokej kvality a spoľahlivosti umožňuje odmeranie vzdialeností na hranol s presnosťou  $0,6 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$ .



Obr. 6 Grafický výstup z automatizovaných meraní v programe WebDavis

Dvojicou motorizovaných meracích staníc je celkove monitorovaných 67 pozorovaných bodov, ktoré tvoria minihranoly upevnené na ocelových konzolách, pevne nainštalovaných v pároch na všetkých dilatáciách železobetónových blokov plavebných komôr. Pri každom periodickom meraní sa nanovo preurčuje poloha oboch stanovísk motorizovaných meracích staníc (metódou prechodného stanoviska) a to na základe merania smerov a dĺžok na 5 vzťažných bodov, ktoré sa nachádzajú mimo objektu plavebných komôr a hrádzí. V rovnakom čase je meraná aj teplota a tlak, čo umožňuje realizovať on-line korekcie nameraných údajov.

Pre zhodnotenie stavu plavebných komôr sú najvýznamnejšie zvislé posuny v smere osi H. Priebeh zvislých posunov železobetónových blokov (múrov) plavebných komôr je výrazne ovplyvnený nestacionárnymi podmienkami pri prevádzke plavebných komôr. Preto pri zhodnotení, či analýze stavu je dôležité oddeliť krátkodobé zvislé posuny vplyvom napustenia a vypustenia plavebných komôr od dlhodobých sezónnych zvislých posunov, t.j. sadaní plavebných komôr – obr. 7.



Obr. 7 Krátkodobého a dlhodobé zvislé posuny plavebných komôr

Priemerné hodnoty krátkodobých zvislých posunov plavebných komôr sa v rokoch 2008 až 2011 pohybovali v rozmedzí 4-6 mm, pričom menšie boli na ľavom múre ľavej plavebnej komory a v oblasti horného zhlavlia. Pri analýze dlhodobých zvislých posunov plavebných komôr zaznamenávame aj vplyvy sezónne, resp. vplyvy ročných období na veľkosť zvislých posunov. Preto pri analýze a následnej interpretácii zvislých posunov je potrebné zvažovať aj ďalšie ovplyvňujúce faktory, t.j. predovšetkým teplotu konštrukcie, resp. teplotnú rozťažnosť betónu, vlhkosť železobetónovej konštrukcie, vlhkosť základovej pôdy, výšku hladiny vody v plavebných komorách, výšku hladiny podzemnej vody. Spravidla v zimnom období zaznamenávame sadanie plavebných komôr (namerané na povrchu múrov plavebných komôr) väčšie ako v letnom období, čo zrejme spôsobuje v prevažnej miere rozdielna teplotná rozťažnosť betónu, ktorá pri danej výške konštrukcie plavebných komôr a rozdielne teplôt 20° C spôsobí cca 10 mm. Záverom možno konštatovať, že dlhodobé prírastky zvislých posunov, či sadaní plavebných komôr sa v ostatných rokoch podstatne znížili. V roku 2011 neboli zaznamenané významné dlhodobé prírastky sadania ani v jednej z plavebných komôr.

## 5 ZÁVER

Výsledky dlhodobých periodických až prakticky kontinuálnych meraní posunov a pretvorení na plavebných komorách Vodného diela Gabčíkovo od roku 1997 doteraz, poukazujú na oprávnené využitie automatizovaných a neskôr motorizovaných meracích systémov Leica a zároveň potvrdzujú nevyhnutnosť využitia takýchto systémov na stavebných objektoch a technologických zariadeniach podobného charakteru, hlavne z hľadiska ich bezpečnej prevádzky. Komplexné spracovanie nameraných a rôznorodých geotechnických a geodetických údajov a následná interpretácia výsledkov kolektívom odborníkov na zakladanie stavieb, mechaniku zemín, statiku, geotechniku a inžiniersku geodéziu dáva záruku na vierohodné zhodnocovanie stavu plavebných komôr Vodného diela Gabčíkovo aj do budúcnosti.



## LITERATÚRA

[1] GRÓF,V.-HÁJEK,Z.-HARUŠTIAK,J.: Online geotechnický monitoring plavebných komôr VD Gabčíkovo. In: Geotechnický monitoring. Bratislava 2009.

[2] LUKÁČ,Š.-KOŽÁR,J.-GRÓF,V.: Deformation monitoring of objects of the Gabčíkovo dam by the terrestrial surveying methods and GPS methods. In: XII.International Congres FIG. Washington 2002.