

Meranie pretvorení vrát plavebnej komory vodného diela Gabčíkovo technológiou laserového skenovania

Zámečnicková Miriam¹ a Kopáčik Alojz²

Deformation Measurement of Tail Bay Gate of Gabčíkovo Water Work by Laser Scanning Technology

Tail bays (TB) of Gabčíkovo Water Work belong to the biggest in Europe. They enable to overcome the altitude difference of water levels between the incoming and outlet channel in the range of 16 – 23,3 m. On the above heading are installed segment shutters; the bottom heading is locked with rotating gates. With a huge amount of water, one tail bay is filled up in 18 – 22 minutes to the high of 20 m. The rising water pressure affects the deformations of gates, whose width is 2 metres and weight is 435 tons (<http://mesto.sk>, 2004). The previous gate deformation measurements were determined only in some discrete points on the gate. But, no method of deformation measurement on the whole area of the gate at many points was used so far.

In the engineering surveying was used a laser scanning technology for the purpose of documentations. In a range of international projects between the Geodesy Institute of Technical University in Munich and the Department of Surveying of Slovak University of Technology in Bratislava, an initial practical knowledge the gate deformation measurement of the right tail bay at the Gabčíkovo Water Work was obtained by using the laser scanning technology (LST). The new laser scanning technology, characterized with the area data acquisition of high density, satisfied the accuracy and the short time of acquisition was used for the first time for a purpose of the gate deformation measurement of TB. The HDS 2500 laser terrestrial scanner by Leica Geosystems was used with the variation of the point position determination of 6 mm for the 50 m distance (<http://www.cyra.com>, 2004).

Measurements with LST were carried out on the airy side of the bottom TB. According to the time influence of individual water level altitudes two types of measurements were carried out. At static conditions, the measurements were scanned at a constant water level altitude (19,3m, 13,0 m, 9,4 m a 4,4 m). Whole gates were scanned by two scans with a raster of 10×10 cm per 150 seconds. The significant transverse deformations of the bottom TB gate are at 9,4 m in the range of 1,5 cm – 2,5 cm – they are shown first of all in a bottom half of gate by the water level altitude of 13,0 m in the range of 1,5 cm – 3,0 cm. By a state of maximal loading of TB gate are deformations in a range of 3,0 to 3,7 cm in a bottom part.

Dynamical measurements are carried out with a repeated scanning of a part of gate during the process of filling and emptying of TB, i.e. rising and lowering of water level altitude. The velocity of rising or sinking of water level altitude in TB is ca 1,6 m per minute. To have a constant ratio of gate loading in the time of one scan, the scanning was with a raster of 8×8 cm per 30 seconds for only one selected part of the right gate (a tight vertical strip in a middle of TB), in which the biggest deformations were predicted. Dynamical deformations of a part of TB during the process of filling and emptying is presented by the animation from the 49 stages (loading states). The water level altitude difference between two stages is 80 cm for 30 seconds.

The laser scanning technology introduces a new method of deformation measurements. Its advantage is the measurement velocity and the determination of deformations in the whole area of the measured object by static as well as dynamical measurements.

Key words: Tail bay, terrestrial laser scanner (TLS), static measurements by TLS, dynamic measurements by TLS, deformation

Úvod

V inžinierskej geodézii sa technológia laserového skenovania uplatňovala najmä pre dokumentačné účely. V rámci medzinárodného projektu katedier geodézie Technickej univerzity v Mníchove a Slovenskej technickej univerzity v Bratislave boli získané prvé praktické skúsenosti z merania pretvorení dolných vrát pravej plavebnej komory PK vodného diela Gabčíkovo technológiou laserového skenovania.

Vodné dielo Gabčíkovo

Vodné dielo Gabčíkovo je najväčšie vodné dielo na Slovensku. Stupeň Gabčíkovo (*obr. 1*) zabezpečuje využitie hydroenergetického spádu a medzinárodnú plavbu prekonaním rozdielu hladín medzi prívodným a odvodným kanálom.

Vodná elektráreň pozostáva zo štyroch dvojblokov, v ktorých je inštalovaných 8 hydroagregátov. Hydroagregáty tvoria vertikálne Kaplanové turbíny s priemerom obežného kola 9,3 m, ktorým sú na spoločnej osi spojené generátory. Inštalovaný výkon jedného hydroagregátu je 90 MW.

Plavebné komory vodného diela Gabčíkovo patria k najväčším v Európe. Umožňujú prekonanie výškového rozdielu hladín medzi prívodným a odvodným kanálom v rozmedzí od 16 - 23,3 m. Každá plavebná komora má šírku 34 m, dĺžku 275 m a hĺbku 32 m. Na hornom záhlaví komôr sú inštalované segmentové uzávery, dolné záhlavie je hradené otočnými vrátami. Obrovským objemom vody sa naplní plavebná komora za 18 – 22 minút

¹ Ing. Miriam Zámečnicková, department of Surveying, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel: 02-5927 4310, miriam.zamecnikova@stuba

² prof. Ing. Alojz Kopáčik, PhD., department of Surveying, Faculty of Civil Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, tel: 02-5927 4559, alozj.kopacik@stuba.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 29. 4. 2005)



do výšky vodného stĺpca asi 20 m. Vznikajúci tlak vody spôsobuje pretvorenia dva metre širokých a 435 ton vážiacich dolných vrát (http://mesto.sk, 2004).

Obr. 1. Vodný stupeň Gabčíkovo
Fig. 1. Gabčíkovo Water Work

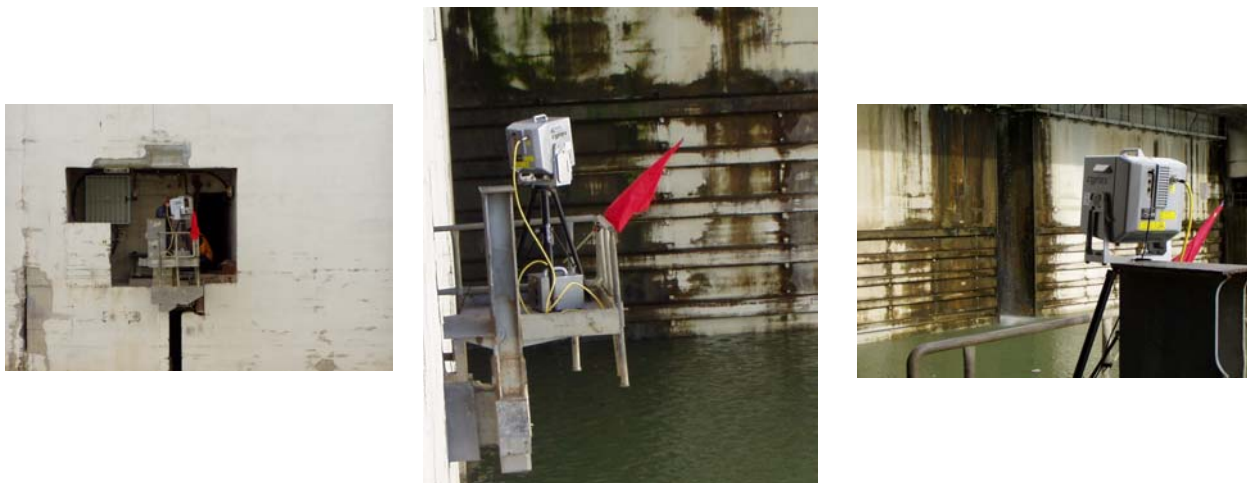
Realizované merania pretvorenia vrát PK

Doteraz vykonané merania pretvorenia vrát PK boli realizované fotogrametrickou, geodetickou a fyzikálnou metódou. Tieto 3 metódy určujú pretvorenia len v niekoľkých diskretných bodoch vrát a zatiaľ nebola využitá metóda plošného merania pretvorenia s rozsiahlym počtom bodov. Z výsledkov doterajších meraní vrát PK boli zistené deformácie v polohe do 4 cm a vo zdvihnutí 1-2cm.

Nová technológia laserového skenovania vyznačujúca sa plošným zberom bodov s vysokou hustotou, vyhovujúcou presnosťou a krátkou dobou zberu údajov bola prvýkrát nasadená za účelom určenia deformácií vrát PK. Skenovanie prebiehalo s terestrickým laserovým systémom HDS 2500 firmy Leica Geosystems s presnosťou určenia bodu ± 6 mm pri vzdialenosti do 50 m (http://www.cyra.com, 2004).

Proces merania

Merania s terestrickým laserovým systémom TLS boli vykonávané na vzdušnej strane dolných vrát PK. Stanovisko TLS bolo na výklopnom zariadení – na tuhej montážnej plošine (využíva sa na ukotvenie hradiacej konštrukcie pri vytvorení suchého doku) (obr. 2). Pri jeho voľbe boli zohľadnené obmedzujúce miestne podmienky postavenia prístroja, maximálna odporúčaná vzdialenosť 50 m TLS od skenovaného objektu a veľkosť zorného poľa, tak aby celé vráta boli zachytené s malým počtom skenov.



Obr. 2. Situácia umiestnenia TLS v procese merania
Fig. 2. TLS location in the measuring process

Proces napúšťania i vypúšťania PK riadi manipulant na riadiacej veži pomocou ovládacieho softvéru. Vďaka ochote a spolupráci personálu Povodia Dunaja, manipulant nastavil rôzne zaťažovacie (deformačné) stavy vrát reprezentované výškou hladiny vodného stĺpca v PK. Maximálny rozdiel výšky hladiny vodného stĺpca voči minimálnemu stavu hladiny bol 19,3 m, ďalšie nastavené výšky hladín vodného stĺpca boli 13,0 m, 9,4 m a 4,4 m.

Podľa časového pôsobenia jednotlivých výšok hladín vodného stĺpca boli vykonané dva druhy meraní.

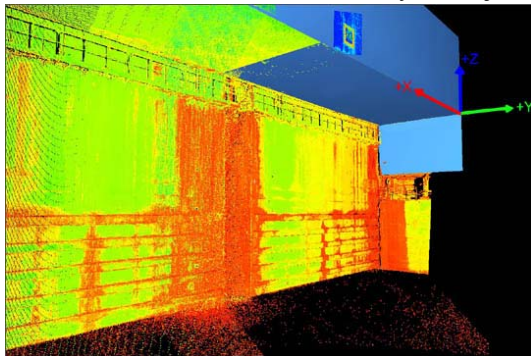
Pri statických meraniach skenovanie prebiehalo pri konštantnej výške hladiny vodného stĺpca. Celé vráta boli zachytené dvoma skenmi s rastrom 10×10 cm za 150 sekúnd.

Dynamické merania boli vykonávané opakujúcim sa skenovaním časti vrát počas procesu napúšťania a vypúšťania, resp. stúpania a klesania výšky hladiny vodného stĺpca. Vzhľadom na rýchlosť stúpania, resp. klesania výšky vodnej hladiny cca 1,6 m za minútu v PK, aby sa dosiahli konštantné pomery zaťaženia vrát v čase vyhotovenia jedného skenu, skenovala sa len oblasť pravej vratne, v ktorej boli predpokladané najväčšie deformácie s rastrom 8×8 cm za 30 sekúnd.

Umiestnenie vlicovacích bodov nebolo možné z technických dôvodov. Táto skutočnosť zapríčinila prácnejšie spájanie skenov do výsledného mračna bodov a obtiažnejšie definovanie vzťažného súradnicového systému.

Spracovanie mračna bodov

Miestny súradnicový systém je definovaný pomocou betónových plôch, ktoré sa nachádzajú mimo oblasti pretvorenia. Počiatok súradnicového systému je daný ako priesečník troch vymodelovaných betónových plôch



(obr. 3). Orientácia súradnicového systému bola vykonaná pomocou normálových vektorov vymodelovaných vyrovnávacích rovín. Os Z predstavuje výšku, os Y zodpovedá priečnemu smeru horizontálnych deformácií (približne kolmá na rovinu vrát) a os X dopĺňa pravotočivý súradnicový systém.

Obr. 3. Mračno bodov vrát plavebnej komory v miestnom súradnicovom systéme

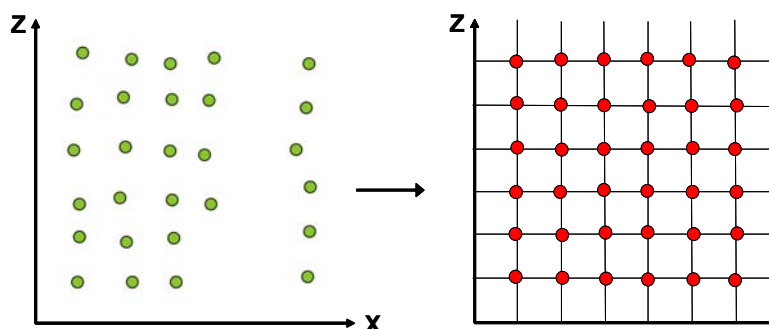
Fig. 3. Point cloud of tail bay gate in a local coordinate system

Mračno bodov vrát PK obsahuje okrem záujmovej oblasti pretvorenia aj rušiacie elementy ako betónovú konštrukciu, vodnú hladinu, zábradlie a padajúci prúd vody z nedokonale tesniacich vratní. Časti mračna bodov, ktoré nie sú predmetom určenia deformácií boli manuálne odstránené. Pretvorenie, resp. deformácia vyjadruje zmenu tvaru konštrukcie objektu oproti tvaru pri základnej alebo prechádzajúcej etape (Michalčák, 1975).

Deformácie klasickými metódami sa určujú rozdielom súradníc X, Y, Z diskretných signalizovaných bodov objektu. Laserovým skenovaním je snímaný objekt bez signalizácie skenovaných bodov. Z toho vyplýva, že deformácie vyššie uvedeným spôsobom sa nedajú určiť.

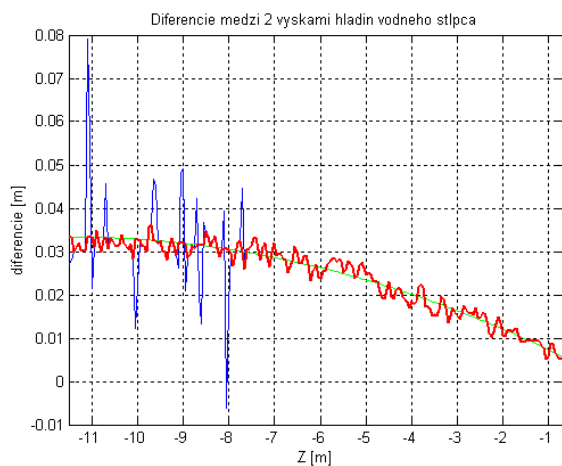
Pre výpočet deformácií je potrebné „prvotné“ mračno bodov ďalej spracovať. Dve súradnicové osi tvoria referenčnú rovinu a v smere tretej súradnicovej osi sa určujú deformácie.

V predmetnom prípade referenčná rovina XZ, ktorá je približne rovnobežne s rovinou vrát obsahuje body nepravidelne usporiadaného mračna bodov. Referenčnou rovinou je potrebné preložiť pravidelnú mriežku bodov 5×5 cm a Y-súradnicu nových bodov pravidelnej mriežky linerárne vyinterpolovať z okolitých bodov trojuholníkovej siete tvorenej meranými bodmi (obr. 4). Priečne deformácie dolných vrát, t. j. v smere osi Y sú vypočítané zo súradnicových rozdielov ΔY medzi dvoma zaťažovacími stavmi vrát.



Obr. 4. Pretvorenie nepravidelného mračna bodov do pravidelnej mriežky bodov v referenčnej rovine XZ s interpoláciou Y-súradnice
Fig. 4. Transformation of irregular point cloud into the regular grid of points in the XZ reference plane with the interpolation of Y coordinate

Prvé znázornené diferencie ukázali, že mračno bodov nie je dostatočne vyčistené od rušiacich elementov, najmä od kvapiek vody a chýb interpolácie bodov pravidelnej mriežky na rozhraní plôch (výstuha a plocha vrát) medzi dvoma zaťažovacími stavmi, pretože neboli snímané tie isté body. Z tohto dôvodu bola vykonaná analýza rozdielov ΔY (obr. 5). Každým stĺpcom rozdielov ΔY v rovine YZ bol preložený polynóm druhého stupňa.



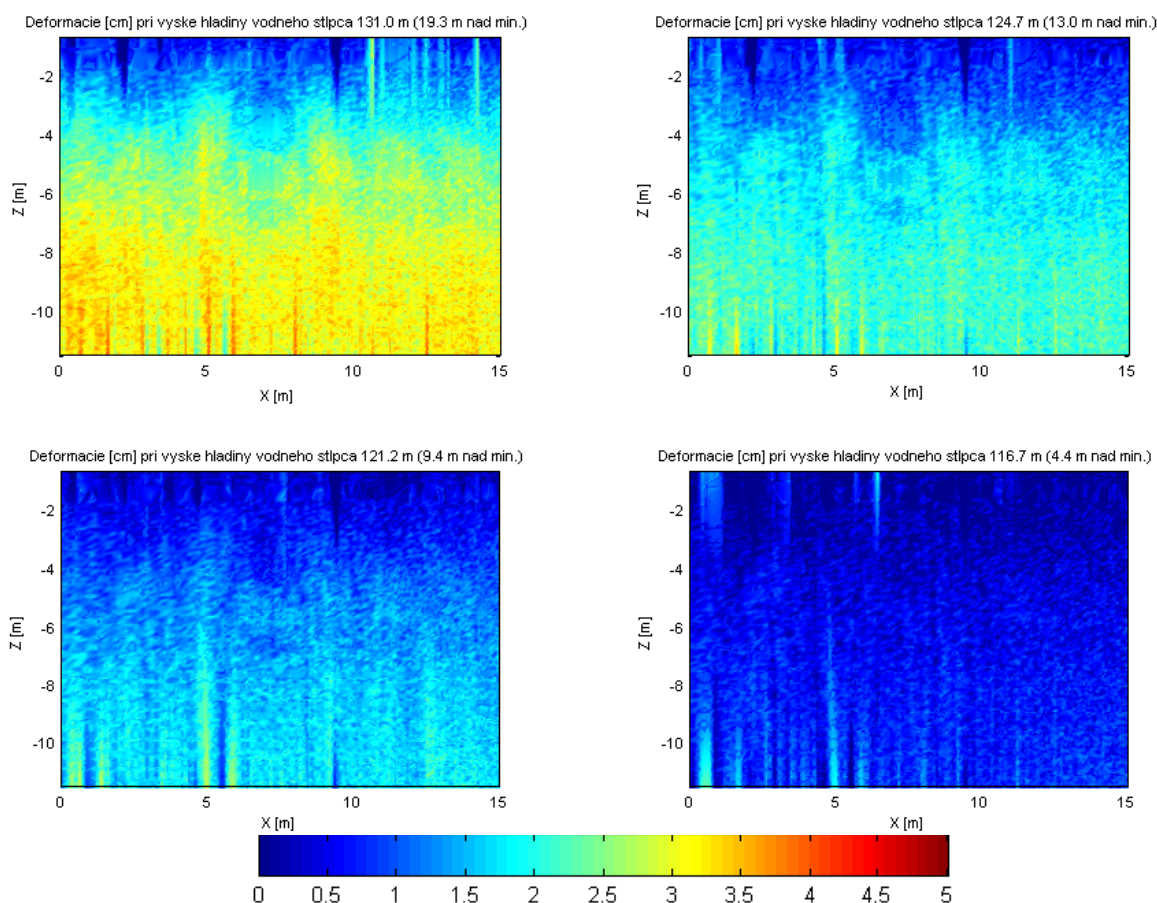
Maximálna odchýlka rozdielov (1σ) od tohoto polynómu, vypočítaná zo strednej chyby súradnicového rozdielu ΔY na základe zákona o prenášaní a hromadení chýb má hodnotu $\pm 4,9$ mm. Hodnoty rozdielov v smere osi Y nachádzajúce sa mimo intervalu spoľahlivosti boli nahradené prislúchajúcou hodnotou polynómu.

Obr. 5. Analýza diferencii ΔY pomocou polynómu 2. stupňa
Fig. 5. Difference analysis of ΔY with the help of polynom of the 2nd rank

Analýza získaných výsledkov

Výsledky statických meraní

Deformácie vrát plavebnej komory v smere osi Y pri výškach hladín vodného stĺpca 19,3 13,0 9,4 a 4,4 m sú vyjadrené pomocou farebnej škály na obr. 6.



Obr. 6. Výsledky statických meraní pri výške hladiny vodného stĺpca 131,0 m (vľavo hore), 124,7 m (vpravo hore), 121,2 m (vľavo dole), 116,7 m (vpravo dole)
Fig. 6. Results of static measurements at the water level altitude of 131,0 m (left above), 124,7 m (right above), 121,2 m (left bottom), 116,7 m (right bottom)

Signifikantné deformácie vznikli pri stave 9,4 m a ich hodnoty sa pohybovali v rozsahu 1,5 – 2,5 cm. Prejavujú sa predovšetkým v spodnej polovici vrát.

Pri výške hladiny vodného stĺpca 13,0 m rozdiely v smere osi Y majú rozsah 1,5 – 3,0 cm. Pri stave maximálneho zaťaženia vrát PK, pri výške vodného stĺpca 19,3 m, sa deformácie pohybujú v rozmedzí od 3,0 do 3,7 cm v spodnej časti.

Výsledky dynamických meraní

Dynamický priebeh pretvorení časti vratne PK počas procesu napúšťania a vypúšťania zachytáva 49 etáp (zaťažovacích stavov). Rozdiel výšok hladín vodného stĺpca medzi dvoma etapami zodpovedá 80 cm a času 30 sekúnd. Účastníci medzinárodného projektu z Katedry geodézie Technickej univerzity v Mníchove vyhotovili animáciu zachytávajúcu priebeh pretvorení počas tohto dynamického procesu. Je prístupná na Internete na stránkách Katedry geodézie TU Mníchov (www.geo.bv.tum.de) v rubrike Forschung.

Záver

Technológia laserového skenovania predstavuje novú metódu merania pretvorení. Jej výhodou je rýchlosť merania a určenie pretvorení po celej ploche meraného objektu, a to nielen pri statických, ale aj pri dynamických meraniach.

Literatúra - References

- Schäfer, T.: Deformationsmessung mit Laserscanning am Beispiel eines Schleusentores des Donaukraftwerks Gabčíkovo. In: Luhmann, T.: Photogrammetrie Laserscanning Optische 3D-Messtechnik Beiträge der Oldenburger 3D - Tage 2004. *Heidelberg, Herbert Wichmann Verlag, 2004, s. 247-253.*
- Michalčák, O. et al.: Inžinierska geodézia I. *Bratislava, Alfa, 1975.*
- http://www.cyra.com/products/hds2500_specs.html špecifikácia HDS 2500
- http://mesto.sk/prispevky_velke/samorin/vodnedielogabcikov1038938004.phtml VD Gabčíkovo