

MONITORING PLAVEBNÝCH KOMÔR VD GABČÍKOVO SNÍMAČMI NAKLONENIA

Peter Kyrinovič¹, Ján Erdélyi², Imrich Lipták³

Abstrakt

Príspevok sa zaoberá meraním pretvorenia múrov plavebnej komory vodného diela Gabčíkovo – Nagymaros, stupeň Gabčíkovo, počas naplňania a vyprázdňovania plavebnej komory. Pretvorenie zvislých múrov je merané dvojjosími snímačmi naklonenia Leica Nivel 220. Obsahom príspevku je charakteristika plavebných komôr, merací systému a prenos údajov, návrh konfigurácie pozorovaných bodov a spracovanie meraných údajov.

1 ÚVOD

Súčasťou vodných diel sú plavebné komory, ktoré zabezpečujú plynulú, bezproblémovú a zároveň bezpečnú plavbu lodí. Navrhované a budované sú v miestach, kde dochádza k výškovým zmenám v profile vodného toku. Plavebná komora sa najčastejšie buduje ako jeden zo stavebných objektov vodného diela, ktorá plní vodohospodársku, ako aj energetickú funkciu. Dôležitou súčasťou prevádzky takýchto stavieb je technicko-bezpečnostný dohľad, ktorého cieľom je monitorovať a vyhodnocovať zmeny na jednotlivých objektoch vodného diela. Predkladaný príspevok uvádza postup a výsledky experimentálneho merania pretvorenia pravej plavebnej komory (PK) vodného diela Gabčíkovo – Nagymaros, stupeň Gabčíkovo počas naplňania a vyprázdňovania PK. Pretvorenie múru bolo určované elektronickými snímačmi naklonenia Leica Nivel 220. V príspevku sú uvedené základné informácie o parametroch plavebnej komory, charakteristika meracieho systému, postup merania a spracovania meraných údajov.

2 CHARAKTERISTIKA PLAVEBNÝCH KOMÔR

Plavebné komory vodného diela Gabčíkovo – Nagymaros, stupeň Gabčíkovo sú situované pri ľavom brehu (v smere toku Dunaja) prívodného kanála vedľa vodnej elektrárne (obr. 1). Na vodnom diele sú dve komory. Označujú sa ako pravá a ľavá PK, pričom každá z plavebných komôr pracuje samostatne.

Každá plavebná komora má rozmer 275 m (dĺžka) x 34 m (šírka) x 32 m (hĺbka). Celkový objem komory je 299 200 m³. Prevádzka plavebnej komory je možná pri výškovom rozdieli hladiny vody medzi hornou a dolnou rejdou v rozsahu 16 m až 21,6 m. Dolné zhlavie tvorí dvojica otočných vratní (vrát), ktoré sa opierajú na dne o spodný prah a v hornej časti

1 Peter Kyrinovič, Ing., PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave,
Stavebná fakulta, Katedra geodézie, Radlinského 11, 81368 Bratislava, peter.kyrinovic@stuba.sk

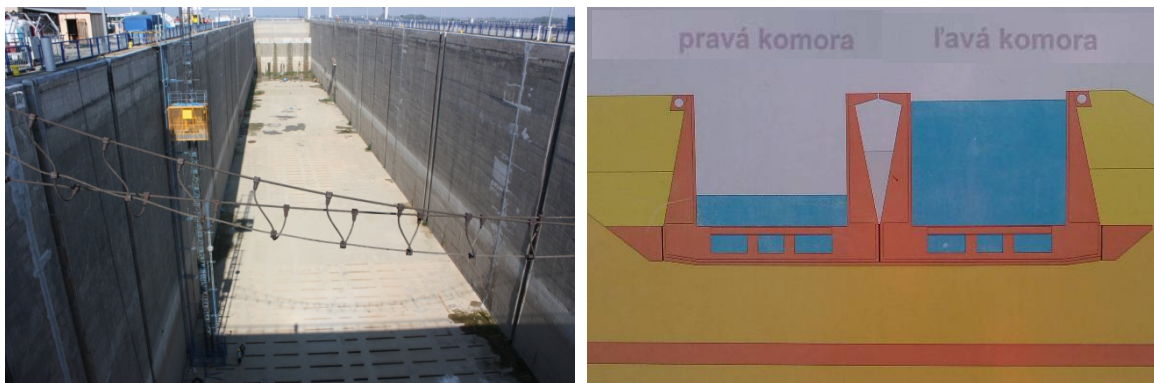
2 Ján Erdélyi, Ing., PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave,
Stavebná fakulta, Katedra geodézie, Radlinského 11, 81368 Bratislava, jan.erdelyi@stuba.sk

3 Imrich Lipták, Ing., PhD., Slovenská technická univerzita v Bratislave,
Stavebná fakulta, Katedra geodézie, Radlinského 11, 81368 Bratislava, imrich.liptak@stuba.sk

o konštrukciu premostenia komôr. Horné zhlavie pozostáva z oblúkového segmentu, ktorý sa zasúva do železobetónového bloku komory. Plavebná komora pozostáva z ôsmich navzájom dilatovaných blokov tvaru písmena „U“ (obr. 2). Naplnenie, resp. vyprázdňovanie PK trvá 15 až 20 minút.



Obr. 1. Plavebné komory vodného diela Gabčíkovo – Nagymaros, stupeň Gabčíkovo



Obr. 2. Pravá plavebná komora počas údržby a priečny rez plavebnými komorami

Pri naplňaní alebo vyprázdňovaní sa využíva systém spojených nádob. Počas naplňania priteká voda z hornej úrovne (prívodného kanála) cez vtokové kanály do komory. Pri vyprázdňovaní odteká voda cez výpustný kanál do odpadového kanála. Doterajšie geodetické a geotechnické merania preukázali, že prevádzkou komory (naplňaním a vyprázdňovaním vody) dochádza k pretvoreniu priehradových múrov. Pretvorenie sa prejavuje okrem iného aj rozpínaním koruny komory (obr. 2). Rozpínanie je spôsobené zmenou hydrostatického tlaku v komore. V priečnom smere komory dochádza počas naplňania k odklonu zvislých stien a k vodorovnému posunu horných hrán komory v smere von z komory. Pri vyprázdňovaní je tento jav opačný. Stredný priehradový múr pozostáva z dvoch samostatných múrov, ktoré sú pozdĺžnom smere dilatované. Priestor medzi dvojicou zvislých múrov je vyplnený štrkom približne do polovice výšky múra. Okrajové múry sú z vonkajšej strany zasypané až po úroveň hornej hrany. Zemný val vytvára záťaž a protitlak na pôsobiaci hydrostatický tlak. Z toho dôvodu nastáva väčšie pretvorenie na strednom múre, ako na okrajových múroch.

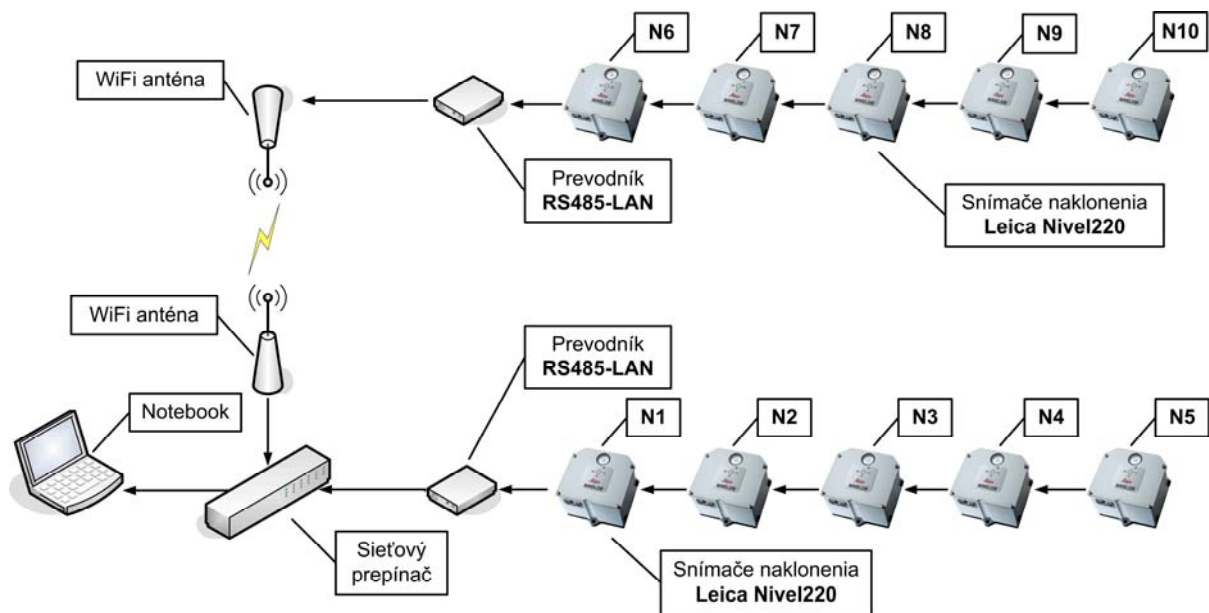
3 CHARAKTERISTIKA MERACIEHO SYSTÉMU

Elektronický merací systém (MS) predstavuje súbor snímačov, prístrojov a zariadení, ktoré umožňujú merať pozorovaný objekt alebo jeho vlastnosti, namerané údaje upravovať, následne registrovať a vyhodnocovať. Výstupný signál elektronických snímačov môže byť analógový alebo digitálny [1]. Meranie, úprava a registrácia musí pritom prebiehať súčasne v reálnom čase. Spracovanie a vyhodnotenie údajov sa môže vykonávať kontinuálne počas merania alebo po skončení merania, tzv. post-processingovým spracovaním.

Elektronický merací systém použitý na meranie pretvorenia plavebnej komory (obr. 3) tvorí:

- registračné zariadenie – notebook,
- sieťový prepínač (switch) pre LAN sieť,
- WiFi antény,
- prevodníky RS485/LAN,
- dvojosové snímače naklonenia Leica Nivel 220.

Ostatné komponenty meracieho systému tvoria napájacie a prepojovacie FTP/LAN a Lemo káble a urovnávacie podložky pod snímače naklonenia.



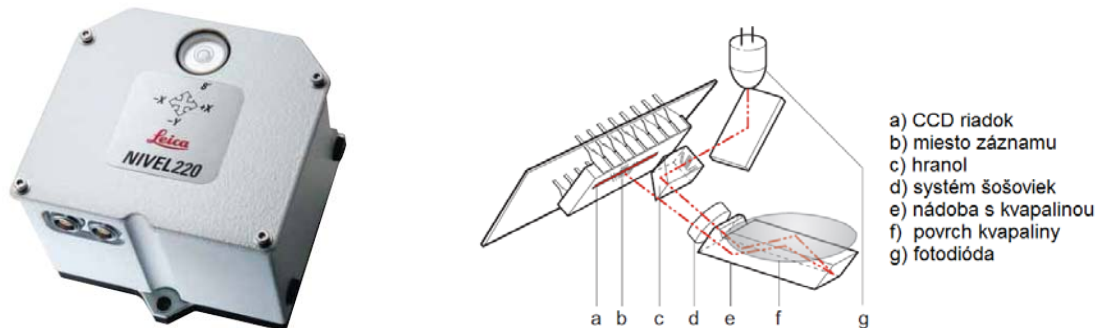
Obr. 3. Komponenty meracieho systému a schéma zapojenia a prenosu údajov

Plavebná komora je rozdelená na osem dilatačných blokov. Na komplexný monitoring pretvorenia by sme potrebovali celkovo 16 snímačov naklonenia. Vzhľadom na obmedzený počet vlastných, resp. zapožičaných snímačov bolo na experimentálne meranie použitých len 10 snímačov.

Snímač naklonenia Leica Nivel 220

Snímač Leica Nivel 220 je kvapalinový snímač naklonenia (obr. 4). Základom snímača je dvojosový senzor, ktorý umožňuje simultánne meranie veľkostí sklonu a teploty na elektrooptickom princípe [2]. Snímač meria naklonenie v dvoch na seba kolmých smeroch

v rozsahu ± 3 mrad (miliradián)/m. Presnosť merania uhla naklonenia je rozdelená do troch skupín (A, B a C) v závislosti od hodnoty meraného náklonu. Presnosť meraného naklonenia je $\pm 0,0047$ mrad/m až $\pm 0,0471$ mrad/m. Maximálna frekvencia záznamu meraných údajov je 1 Hz.



Obr. 4. Snímač naklonenia Leica Nivel 220

Hlavnou súčasťou systému je nádoba s kvapalinou a uložená vo vodorovnej rovine. Systém šošoviek premieťa svetelný lúč generovaný svetelnou diódou na povrch kvapaliny a na povrch líniového CCD snímača, kde sa zaznamená zmena polohy [2]. Uhol medzi rovinou nádoby a hladinou kvapaliny je meraným uhlom sklonu. Tento uhol je registrovaný a premenený na digitálny výstupný signál. Snímače sú zapojené do série pomocou FTP/LAN a Lemo káblov. Spojenie s počítačom je zabezpečené prostredníctvom prevodníka RS485/LAN a sieťových komponentov (obr. 3). Nastavenie a ovládanie procesu merania, ako aj registrácie, sa vykonáva pomocou on-line pripojeného počítača s nainštalovaným programom Nivel Tool a Leica GNSS QC, ktorý obsahuje modul pre snímače naklonenia [2].

4 MERANIE PRETVORENIA PLAVEBNEJ KOMORY

Počas naplňania alebo vyprázdňovania plavebnej komory dochádza vplyvom hydrostatického tlaku vody k pretvoreniu múrov komory. Železobetónová konštrukcia plavebnej komory pozostáva z ôsmich dilatačných celkov (blokov) tvaru písmena „U“. V oblasti horného a dolného zhlavia (blok č. 1 a 8) je konštrukcia navzájom prepojená a vystužená (obr. 5). Z toho dôvodu sa pretvorenie múrov prejavuje v maximálnej miere v strednej časti dĺžky plavebnej komory (bloky č. 4, 5 a 6). Jednou z možností ako určiť hodnotu pretvorenia koruny PK, je použitie snímačov naklonenia. Na základe zmeny hodnoty naklonenia, určenej snímačom, a známej výšky múru PK môžeme vypočítať polohovú zmenu koruny (vodorovný posun) v smere súradnicových osí snímačov.

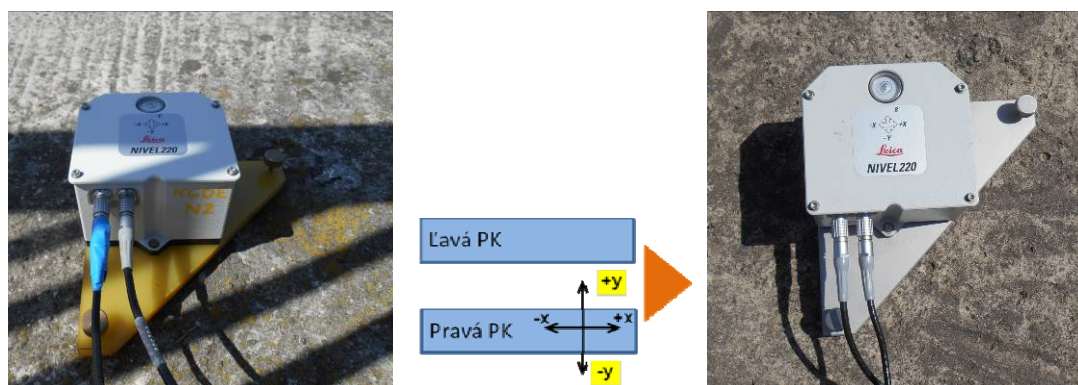
Meranie pretvorenia múrov plavebnej komory bolo realizované dňa 10.06.2014 na pravej PK. Ľavá PK bola v čase merania mimo prevádzky z dôvodu údržby, pričom komora bola úplne vypustená. Ako už bolo uvedené, na meranie sme mali k dispozícii len 10 snímačov naklonenia, preto merania pretvorenia boli realizované celkovo v troch sériách. Snímače naklonenia boli umiestnené na ľavom a pravom múre pravej plavebnej komory v troch rôznych konfiguráciách na jednotlivých blokoch PK. V príspevku je uvedený postup merania, spracovanie meraných údajov a dosiahnuté výsledky len z druhej série merania.

Snímače naklonenia boli umiestnené v strede bloku č. 1 až 5, pri okraji plavebnej komory za ochranné zábradlie. Snímače s označením N1 až N5 sme stabilizovali na ľavom múre a snímače s označením N6 až N10 na pravom múre (obr. 5). Snímače boli osadené do urovnávacích podložiek. Orientácia snímačov naklonenia bola zvolená tak, aby os x bola rovnobežná s pozdĺžnou osou komory a os y bola v smere priečnom na plavebnú komoru (obr. 6).



Obr. 5. Pôdorys pravej plavebnej komory s vyznačením blokov a polohou snímačov

Pretvorenie bloku č. 1 až 5 bolo merané počas jedného cyklu naplňania a následného vyprázdňovania komory. Výškový rozdiel hladiny v komore je závislý na výške hladiny v dolnej a hornej rejde (tab. 1). V čase merania bol rozdiel hladín 20,25 m (naplňanie komory), resp. 20,27 m (vyprázdňovanie komory).



Obr. 6. Umiestnenie snímačov naklonenia na bloku plavebnej komory.

Výška hladiny vody bola určovaná meracím systémom inštalovaným na plavebných komorách. Údaje o čase a výške hladiny vody boli kontinuálne registrované do počítača a následne vyexportované vo formáte *.csv. Údaje o čase a výške hladiny vody boli poskytnuté firmou Regotrans-Rittmeyer, ktorá merací systém prevádzkuje.

Tab. 1. Časový harmonogram merania.

Fáza merania	Čas [hh:mm:ss]	Výška hladiny [m]	Poznámka
Napĺňanie	13:50:42	110,60	zatvorenie dolných vrát PK
	13:54:48	110,60	otvorenie vtokov
	14:09:45	130,85	zatvorenie vtokov
	14:13:27	130,85	otvorenie horných vrát PK
Vyprázdňovanie	14:32:20	130,86	zatvorenie horných vrát PK
	14:35:34	130,86	otvorenie výtokov
	14:49:57	110,59	zatvorenie výtokov
	14:55:20	110,59	otvorenie dolných vrát PK

Merané údaje boli on-line registrované pomocou programu Leica GNSS QC do počítača. Na začiatku merania bol čas v počítači synchronizovaný s časom riadiaceho systému prevádzky plavebnej komory, ktorý je na velíne plavebnej správy a plavebných komôr. Tak isto bolo potrebné in-situ nakonfigurovať všetky snímače, ktorých údaje sa registrovali. Interval záznamu údajov bol nastavený na hodnotu 1 sekunda (1 Hz). Merané hodnoty naklonenia boli registrované do samostatných súborov pre každý snímač. Súbor s meranými údajmi obsahuje dátum a čas meraného údaje, naklonenie v smere osi x, naklonenie v smere osi y a teplotu snímača.

5 SPRACOVANIE A ANALÝZA MERANÝCH ÚDAJOV

Z meraných údajov boli vybrané časové intervaly, ktoré odpovedajú začiatku a koncu merania druhej série. Začiatok intervalu je čas otvorenia vtokových otvorov (napĺňanie komory), resp. výtokových otvorov (vyprázdňovanie komory). Koniec intervalu je čas po otvorení horných, resp. dolných vrát a vyrovnaní hladiny vody v plavebnej komore s hladinou v hornej, resp. dolnej rejde. Z údajov snímačov naklonení boli vybrané len údaje o čase registrácie a hodnote naklonenia v smere osi y (naklonenie merané v priečnom smere). Z priamo meraných údajov boli interpoláciou vypočítané naklonenia v smere osi y pre snímače N1 až N10 a výška hladiny vody v plavebnej komore pre časový interval 1 sekunda (tab. 2).

Tab. 2. Počet meraných údajov.

Fáza merania	Začiatok merania	Koniec merania	Počet záznamov
Napĺňanie	13:54:48	14:09:45	898
Vyprázdňovanie	14:35:34	14:49:57	864

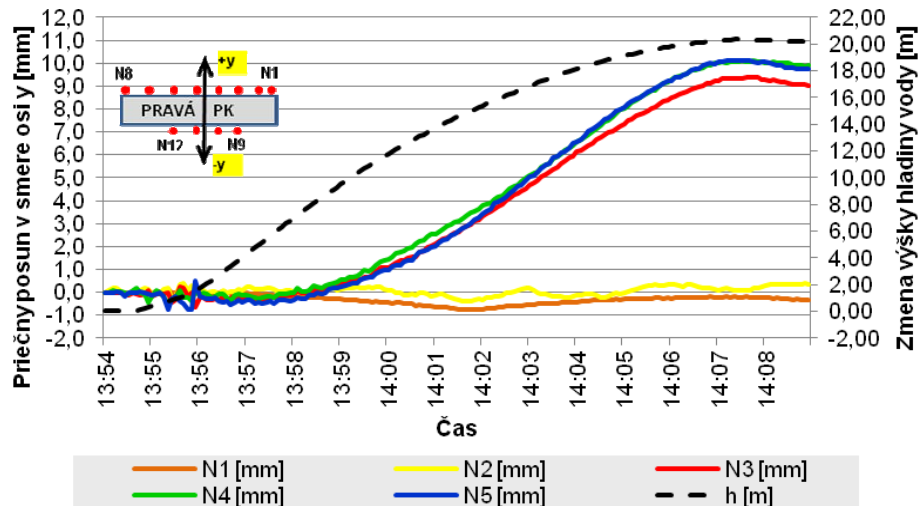
Následne boli z časových radov vybrané záznamy, ktoré odpovedajú časovému záznamu každej piatej sekundy (napr. 14:03:10, 14:03:15 atď.).

Naklonenie je vyjadrené uhlom v jednotkách miliradián (1 mrad = 1 mm/m). Hodnoty priečného posunu pozorovaného bloku plavebnej komory boli počítané podľa vzťahu

$$p_y = \varphi_{NIV} \cdot h, \quad (1)$$

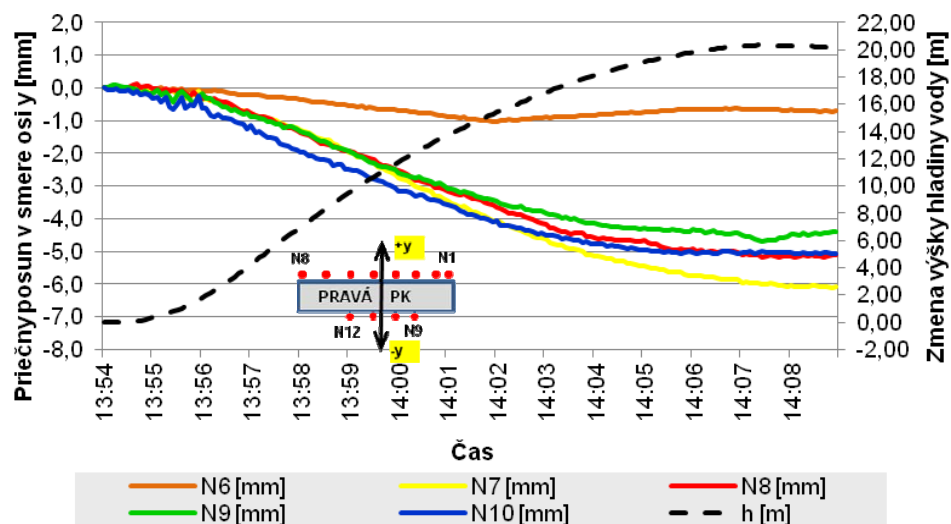
kde φ_{NIV} je uhol naklonenia v miliradiánoch,
 h je výška múru plavebnej komory ($h = 32,0$ m).

Merané údaje boli samostatne spracované a graficky znázornené pre fázu naplňania a vyprázdňovania komory. Na obrázku 7 sú graficky znázornené priečne posuny ľavého múru blokov č. 1 až 5 (snímače N1 až N5).



Obr. 7. Priečne posuny ľavého múru pravej PK počas naplňania komory

Na obrázku 8 sú hodnoty priečných posunov pravého múru blokov č. 1 až 5 (snímače N6 až N10). Grafické znázornenie posunov je v závislosti od času naplňania komory.

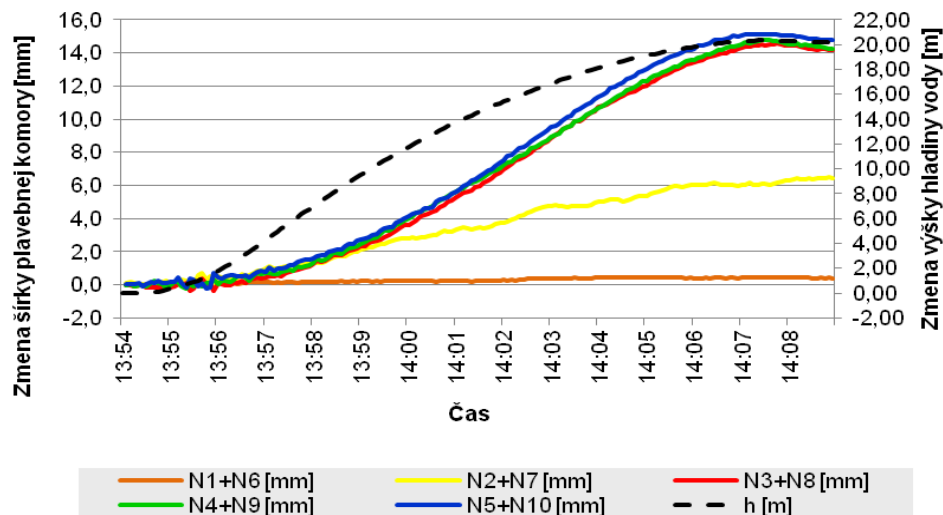


Obr. 8. Priečne posuny pravého múru pravej PK počas naplňania komory

Počas naplňania komory dochádza k zvýšeniu hydrostatického tlaku na steny plavebnej komory. Prejavuje sa to zmenou naklonenia múru a posunom hornej časti bloku komory.

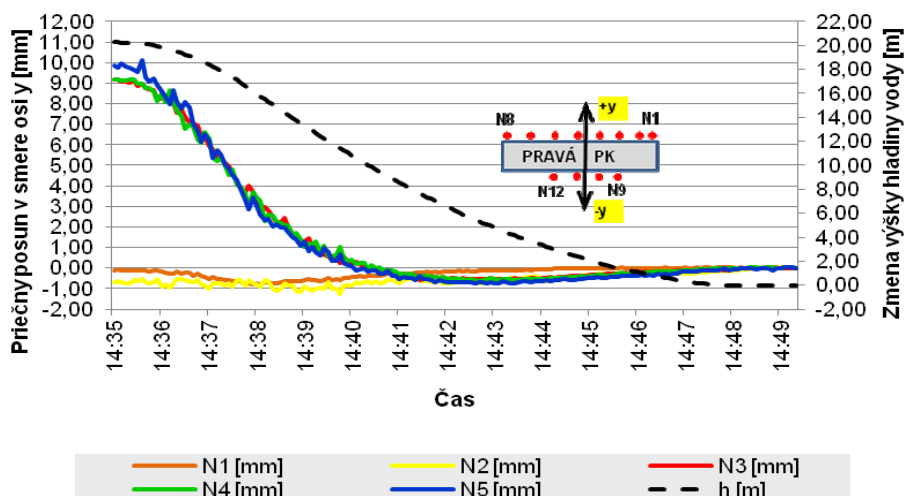
Ľavý aj pravý múr sa odkláňa od stredu plavebnej komory. Maximálna hodnota posunu ľavého múru je na blokoch č. 3, 4 a 5 a to 9,4 mm až 10,1 mm. Bloky č. 1 a 2 vykazujú posun 0,2 mm až 1,2 mm, čo je spôsobené konštrukčným spojením ľavého a pravého múru komory. Prične posuny na pravom múre sú menšie, ako na ľavom múre. Maximálna hodnota posunu je na bloku č. 2 (snímač N7) a to -6,1 mm. Na blokoch č. 3, 4 a 5 boli namerané menšie posuny ako na bloku č. 2.

Pretvorenie bloku môžeme vidieť na obrázku 9, kde sú znázornené zmeny šírky hornej hrany plavebnej komory. Maximálna hodnota zmeny šírky je v rozsahu 14,5 mm (blok 3) až 15,2 mm (blok 5).

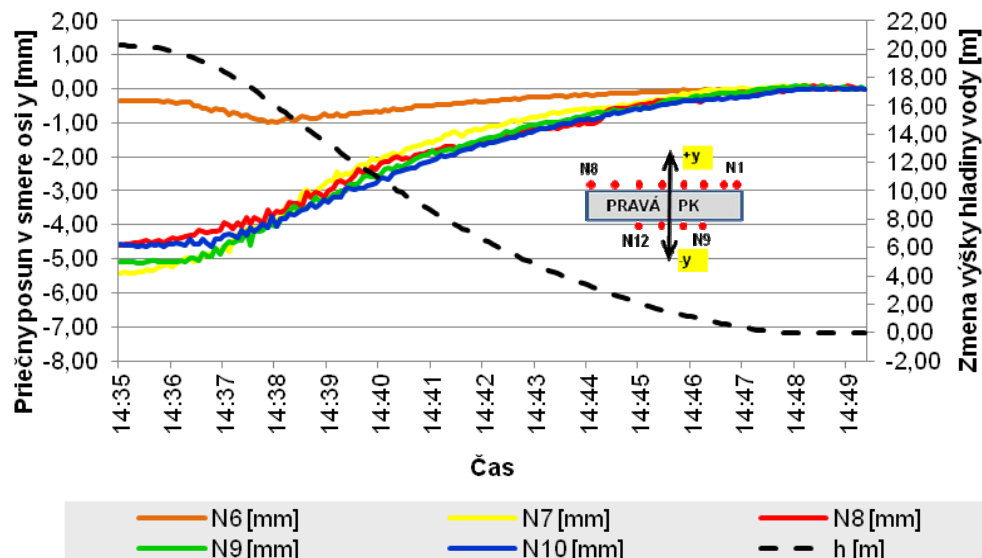


Obr. 9. Zmena šírky pravej plavebnej komory počas naplňovania komory.

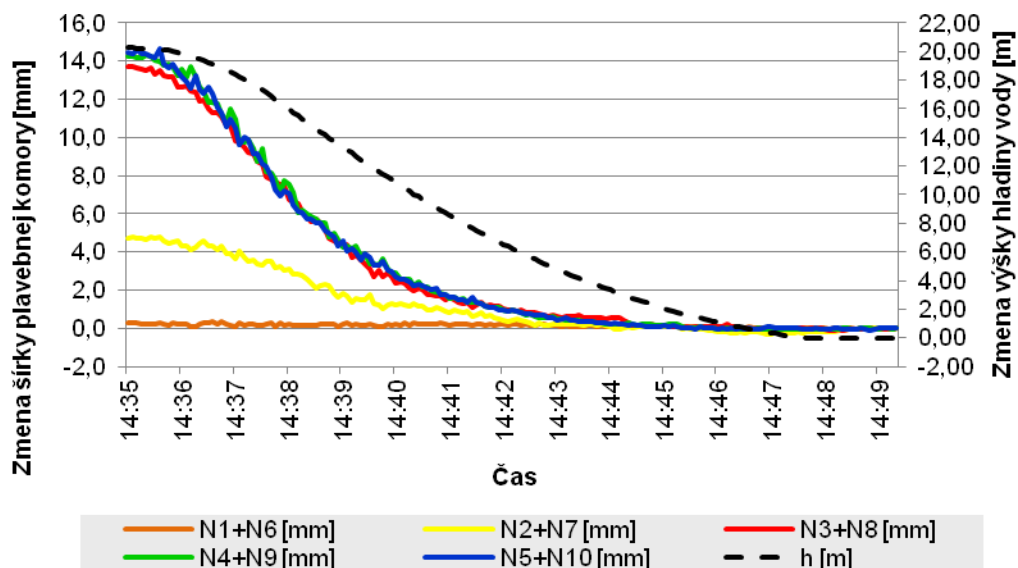
Počas vyprázdňovania plavebnej komory sa prejavil opačný jav, ako pri naplňaní. Klesajúci hydrostatický tlak spôsobuje odklon zvislej steny plavebnej komory v smere do stredu komory v priečnom smere. Maximálna hodnota posunu 9,2 mm až 9,8 mm nastala opäť na blokoch č. 3, 4 a 5 (obr. 10 až 12).



Obr. 10. Priečne posuny ľavého múru pravej PK počas vyprázdňovania komory



Obr. 11. Pričné posuny pravého múru pravej PK počas vyprázdňovania komory



Obr. 12. Zmena šírky pravej plavebnej komory počas vyprázdňovania komory.

6 ZÁVER

Realizovaný experiment prezentuje návrh meracieho systému, postup merania a výsledky pretvorenia plavebnej komory počas naplňania a vyprázdňovania komory. Kontrola stability blokov plavebnej komory pomocou elektronického meracieho systému, ktorého základ tvoria snímače naklonenia Leica Nivel 220, umožňuje kontinuálny monitoring všetkých blokov súčasne. Výhodou systému je, že nie je závislý na priamej viditeľnosti stanoviska prístroja a odrazového hranola, ako je tomu v prípade geodetického monitorovacieho systému, ktorý je inštalovaný na objekte plavebných komôr.

LITERATÚRA

- [1] KLEMENTEV, I. – KYŠKA, R. 1991: Elektrické meranie mechanických veličín. 1. vyd. Bratislava : Alfa, 1991, 328 s.
- [2] Leica Geosystems AG: Leica Nivel 220. Heerbrugg, Switzerland. 2006