

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEODÉZIE

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEODESY

**GEODETICKÉ MĚŘENÍ POSUNŮ A DEFORMACÍ
STŘEŠNÍ KONSTRUKCE AQUAPARKU V BRNĚ**
GEODETIC DEFORMATION MEASUREMENT OF ROOF STRUCTURES OF BRNO AQUAPARK

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MÁRIA CHUPÁČOVÁ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ BUREŠ, Ph.D.

BRNO 2014



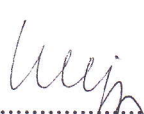
VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

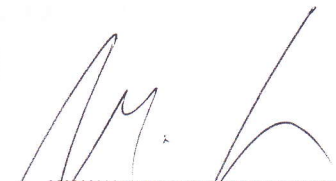
Studijní program N3646 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3646T003 Geodézie a kartografie
Pracoviště Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Chupáčová Mária
Název Geodetické měření posunů a deformací střešní konstrukce Aquaparku v Brně
Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Bureš, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce 30. 11. 2013
Datum odevzdání diplomové práce 30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013


.....
doc. Ing. Josef Weigel, CSc.
Vedoucí ústavu


.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT



Podklady a literatura

- [1] ANDĚL J. – Matematická statistika, SNTL, Praha 1978
- [2] BÖHM J., RADOUCH V., HAMPACHER M. – Teorie chyb a vyrovnávací počet, GKP Praha, 1990
- [3] BITTERER, L. - Vyrovnávací počet, ŽU v Žilině, EDIS, 2006, ISBN 80-8070-517-8
- [4] BUREŠ J., SLÁMA J. - Měření deformací ocelových střešních vazníků výrobní haly výhybkárny Prostějov. Sborník přednášek z 38. geodetických dnů v Brně, Spolek zeměměřičů Brno, 2002
- [5] DUBÍŠAR P. – Charakteristiky vnitřní spolehlivosti polohové sítě, GaKO 39/81, Praha 1993
- [6] INGEDULD M., JANDOUREK J., RATIBORSKÝ J., BLAŽEK R. – Metody výpočtu a vyrovnání geodetických sítí, skriptum, ČVUT Praha 1993
- [7] KRUMPHANZL V., MICHALČÁK O. – Inženýrská geodézie II, Kartografia, n.p., Praha 1975
- [8] BUREŠ J., STRAKA B. - Geodetické metody při měření přetvoření dřevěných konstrukcí velkých rozpětí. Sborník z Česko- Slovenské konference EXPERIMENT'04, VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004, ISBN 80-7204-354-4
- [9] ŠVÁBENSKÝ O., VITULA A. – Inženýrská geodézie – Návody ke cvičením II, VUT v Brně, 1994
- [10] SEDLÁČEK S. – Programový systém GNET, uživatelská příručka, Brno 1996

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Prostudujte s využitím odborné literatury problematiku měření posunů a deformací stavebních konstrukcí. Podílejte se na zaměření etapy posunů a deformací střešní konstrukce brněnského Aquaparku. Soustřeďte se zejména na trigonometrickou metodu s využitím elektronických přístrojů. Zpracujte naměřená data, vyhodnoťte posuny konstrukce vzhledem k předchozí a základní etapě a graficky je znázorněte. Analyzujte výsledky z hlediska přesnosti a interpretujte je geometricky.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



.....
Ing. Jiří Bureš, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Cieľom diplomovej práce je meranie posunov a deformácií drevenej strešnej konštrukcie Aquaparku v Brne. Úvodná časť práce je venovaná vysvetleniu základných pojmov z oblasti merania posunov a deformácií stavebných objektov a na vybraných objektoch popisuje metódy používané v tejto oblasti v súčasnosti. Hlavná časť práce sa v rámci prípravy zaoberá kontrolou použitých prístrojov a pomôcok, popisuje meranú konštrukciu, metódu merania a spracovanie nameraných dát. Ďalej sú v práci vzhľadom k predchádzajúcej a základnej etape vyhodnotené a graficky interpretované horizontálne a zvislé posuny strešnej konštrukcie.

Abstract

Diploma thesis is focused on deformation measurement of wooden roof structure of Brno Aquapark. Introductory part of the thesis is devoted to explanation of basic terms of civil constructions deformation measurement and describes methods which are used in this field nowadays. Main part of this thesis deals with testing of measuring equipment, describes measured construction, measuring method and data processing. Horizontal and vertical shifts of the roof structure are evaluated and graphically interpreted in comparison with the previous and fundamental epoch.

Klíčové slová

Aquapark, drevená strešná konštrukcia, posun, deformácia, etapa, vyrovnanie, interpretácia

Keywords

Aquapark, wooden roof structure, shift, deformation, epoch, adjustment, interpretation

Bibliografická citácia VŠKP

CHUPÁČOVÁ, Mária. *Geodetické měření posunů a deformací střešní konstrukce Aquaparku v Brně*. Brno, 2014. 44 s., 10 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedúci bakalárskej práce Ing. Bureš Jiří, Ph.D.

Prehlásenie:

Prehlasujem, že som diplomovú prácu spracovala samostatne a že som uviedla všetky použité informačné zdroje.

V Brne dňa

podpis autora

PodĎakovanie:

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce Ing. Jiřimu Burešovi, Ph.D. za odborné vedenie, konzultácie a cenné rady pri spracovaní práce.

Taktiež chcem poďakovať mojej mame, ktorá mi umožnila štúdium na tejto škole, hlavne za inšpiráciu a motiváciu k štúdiu.

V neposlednom rade chcem poďakovať môjmu priateľovi za skvelú podporu a toleranciu počas vytvárania tejto práce.

V Brne dňa

podpis autora

Obsah

1	Úvod	7
2	Meranie posunov a deformácií stavebných objektov	8
2.1	Základné pojmy.....	9
2.2	Metódy merania posunov a deformácií.....	9
2.2.1	Geodetické metódy merania zvislých posunov	10
2.2.2	Geodetické metódy merania vodorovných posunov.....	11
3	Prehľad o súčasnom stave problematiky.....	14
3.1	Využitie moderných metód pri monitoringu stavebných konštrukcií.....	15
3.2	Monitoring strešných konštrukcií	17
3.3	Testovanie robotizovaných totálnych staníc	19
4	Príprava merania.....	20
4.1	Použité prístrojové vybavenie	20
4.2	Kontrola presnosti prístrojov.....	20
4.2.1	Kontrola uhlovej presnosti.....	21
4.2.2	Kontrola dĺžkovej presnosti	24
4.3	Vyrovnanie sprostredkujúcich meraní	26
5	Meranie strešnej konštrukcie	29
5.1	Lokalizácia a popis strešnej konštrukcie Aquaparku	29
5.2	Pozorované časti konštrukcie, rozmiestnenie meračských značiek	30
5.3	Prehľad etáp meraní	31
5.4	Meračské práce.....	31
5.5	Spracovanie meraných dát	32
5.5.1	Vyhodnotenie stability úložných ložísk.....	32
5.5.1	Vyrovnanie aktuálnej etapy a predchádzajúcich etáp.....	33
5.5.2	Výsledky vyrovnania	34
5.5.3	Spôsob vyhodnotenia posunov	35
5.5.4	Vyhodnotenie posunov	36
5.5.5	Grafické znázornenie posunov.....	37
6	Záver	39
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	40
	ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK	43
	ZOZNAM PRÍLOH.....	43
	ZOZNAM TABULIEK	44
	ZOZNAM OBRÁZKOV	44
	PRÍLOHY	45

1 Úvod

Drevo sa pre svoje technologické vlastnosti a estetický vzhľad tradične používa pri stavbe rôznych typov strešných konštrukcií. Stále viac však nachádza svoje uplatnenie aj pri stavbe konštrukcií veľkých rozpätí.

Súčasná moderná technológia sa uplatňuje vo všetkých fázach výstavby – pri projektovaní, výrobe, montáži aj pri údržbe konštrukcií. Použitím moderných softvérov na navrhovanie a modelovanie je umožnené navrhovať stále zložitejšie konštrukcie. Tieto modely vychádzajú z veľkého počtu vstupných dát, parametrov konštrukcie a teoretických vlastností materiálov.

Taktiež použitím modernej technológie výroby a nových stavebných materiálov je zaručená kvalita a veľká únosnosť konštrukcie a preto je možné projektovanie zložitejších konštrukcií ako kedykoľvek predtým.

Tieto konštrukcie je nutné v priebehu a po dokončení výstavby monitorovať, aby sa overilo ich skutočné správanie v daných podmienkach, keďže vplyvom pôsobenia vonkajších podmienok dochádza hlavne k dosadnutiu, dotvarovaniu a ďalším zmenám priestorových vzťahov častí konštrukcie. [18]

Cieľom práce je vyhodnotenie posunov a deformácií drevenej strešnej konštrukcie bazénovej haly Aquaparku v Brne – Kohoutovicích. Jedná sa o členitú konštrukciu veľkého rozpätia, ktorá bola dokončená v roku 2010.

Náplňou praktickej časti tejto práce je v prípravnej časti kontrola použitých prístrojov a pomôcok, ďalej zmeranie aktuálnej etapy a vyhodnotenie posunov a deformácií vzhľadom k základnej a predchádzajúcej etape, ktoré boli merané po dokončení a uvedení objektu do prevádzky.

Výsledkom práce je číselné vyhodnotenie a vhodne zvolené grafické znázornenie zistených posunov a deformácií vyhodnocovanej konštrukcie.

2 Meranie posunov a deformácií stavebných objektov

Stavebné objekty môžu v dôsledku pôsobenia vonkajších vplyvov vykazovať nestabilitu priestorovej polohy. Medzi tieto vplyvy patria najčastejšie zmeny zaťaženia základovej pôdy (normou predpísaný postup pre navrhovanie základov stavebných objektov závisí na zložitosti základových pomerov a náročnosti stavebnej konštrukcie – tzv. geotechnickej kategórie objektu), dynamické účinky prevádzky, kolísanie hladiny spodnej vody, seizmická činnosť a ďalšie. Z týchto dôvodov sa objekt premiestňuje ako celok (posun), mení tvar (pretvorenie), alebo dochádza ku kombinácii oboch javov. Keďže takéto zmeny sú vždy nežiaduce a môžu narušiť alebo úplne znemožniť bezpečné fungovanie stavby, je potrebné ich veľkosť a vývoj určovať opakovaným meraním.

Meranie posunov a deformácií sa uskutočňuje v rôznych fázach stavebného procesu:

- pri laboratórnych skúškach a testovaní vlastností konštrukčných prvkov
- pri zakladaní stav. objektov
- v priebehu výstavby stav. objektov
- pri odovzdávaní objektov prevádzky (zaťažovacie skúšky)
- v priebehu prevádzky objektov (funkčné a bezpečnostné skúšky)

Účelom merania posunov je určenie veľkosti a časového vývoja zmien v takom rozsahu, aby mohli byť prijaté opatrenia pre zamedzenie pokračovania posunov a deformácií objektu, prípadnej havárie a pre obnovenie bezpečnej prevádzky objektu. Hlavné zásady a požiadavky na tieto merania upravuje norma ČSN 73 0405.

Dôležitá je voľba časového odstupu medzi jednotlivými etapami tak, aby bol plynule zachytený priebeh zmien tvaru a polohy objektu vrátane okolností, ktoré ich spôsobili. Zvýšenú pozornosť treba venovať zameraniu základnej etapy, vzhľadom ku ktorej sa vyhodnocujú posuny pozorovaných bodov v nasledujúcich etapách. Táto etapa sa zvyčajne meria z vyššou presnosťou ako nasledujúce.

Pri meraní posunov a deformácií stavebných objektov sa zaznamenávajú aj podmienky v dobe merania (teplota, tlak, vlhkosť vzduchu a pod.), stav objektu, prevádzkové podmienky a ďalšie faktory, ktoré môžu ovplyvniť výsledky merania.

Poloha a hustota pozorovaných bodov sa volí tak, aby bolo možné na základe zmien ich polohy určiť zmeny pozorovaného stavebného objektu. Meračské značky a spôsob ich osadenia musí byť vhodný pre daný účel, musí jednoznačne určovať pozorované a vzťažné body a zaručovať ich trvanlivosť po dobu merania. Stabilita vzťažnej sústavy medzi jednotlivými etapami musí byť overovaná, aby boli výsledky získavané s dostatočnou presnosťou. [1][4]

2.1 Základné pojmy

Posun – priestorová zmena polohy stavebného objektu, alebo jeho časti oproti polohe v základnej alebo predchádzajúcej etape merania

Posun relatívny – zmena detegovaná v sústave pozorovaných bodov

Posun absolútny – zmena vzhľadom k sústave vzťažných bodov

Pretvorenie (deformácia) – zmena tvaru stavebného objektu, alebo jeho časti oproti polohe k základnému alebo predchádzajúcemu etapovému meraniu

Zosun – posun na zosuvnom území (k novej polohe pôdy došlo zmenou nerovnovážneho stavu zeminy na rovnovážny stav)

Sadanie (zdvih) – zvislý posun smerom dole (hore)

Priehyb – pretvorenie horizontálnej konštrukcie vo zvislom smere

Náklon – odchýlenie od zvislice

Pootočenie – otočenie okolo obecne položenej osi

Pozorovaný bod – bod osadený na sledovanom objekte

Vzťažná sústava – súbor vzťažných bodov stabilizovaných mimo sledovaný objekt a zónu jeho pôsobenia, ktorého prostredníctvom sa realizuje súradnicová vzťažná sústava pre vyhodnocovanie posunov

Vzťažný bod – bod vzťažnej sústavy stabilizovaný mimo sledovaný objekt a jeho vplyv

Pripojovací bod – vzťažný bod slúžiaci k polohovému alebo výškovému pripojeniu, volí sa pokiaľ možno čo najbližšie k meranému objektu

Stanoviskový bod – vzťažný bod, ktorý je stanoviskom meracích prístrojov

Overovací bod – vzťažný bod, ktorým sa overuje stálosť polohy pripojovacieho alebo stanoviskového bodu

Orientačný bod – bod slúžiaci k orientácii osnov smerov, volí sa čo najďalej od pozorovaného objektu

Etapové merania – opakované zameranie siete vzťažných bodov a pozorovaných bodov v určenom časovom intervale

Základná (nultá) etapa – počiatočná etapa merania, vzhľadom ku ktorej sú počítané posuny, obvykle je zameraná s vyššou presnosťou.

Pojmy v tejto podkapitole sú čerpané z literatúry [1] a [3].

2.2 Metódy merania posunov a deformácií

Metódy merania posunov a deformácií môžeme rozdeliť na geodetické a negeodetické metódy.

Medzi negeodetické metódy patrí napríklad tenzometria, inklinometria, ďalej sa na meranie náklonov objektov používajú snímače náklonu (digitálne libely), reverzné kyvadlá a pendometre (použité napr. na meranie náklonu jadrových reaktorov atómových elektrární Jaslovské Bohunice a Mochovce). Negeodetickými metódami sa

zistujú predovšetkým relatívne zmeny jednej časti konštrukcie voči druhej, resp. priehyby, dĺžkové zmeny, posun alebo naklonenie konštrukcie, atď.

Geodetické metódy môžeme rozdeliť na metódy používané pre meranie zvislých posunov a metódy merania vodorovných posunov. Voľba vhodnej geodetickej metódy a odpovedajúceho prístrojového vybavenia závisí hlavne od požadovanej presnosti merania posunov a pretvorení.[2]

2.2.1 Geodetické metódy merania zvislých posunov

Geometrická nivelácia

Geometrická nivelácia je najbežnejšou metódou na zisťovanie zvislej zložky posunov. Najčastejšie sa používa vo variante veľmi presnej nivelácie (VPN) alebo presnej nivelácie (PN). Dôležité je dodržiavať technologický postup geometrickej nivelácie (nivelácie zo stredu). Ak je nutné nivelovať s použitím nerovnako dlhých zámer v rámci zostavy, musia sa zavádzať korekcie zo sklonu horizontu prístroja. Pri dodržaní všetkých zásad je touto metódou možné pracovať s presnosťou v desatinách milimetrov. [2]

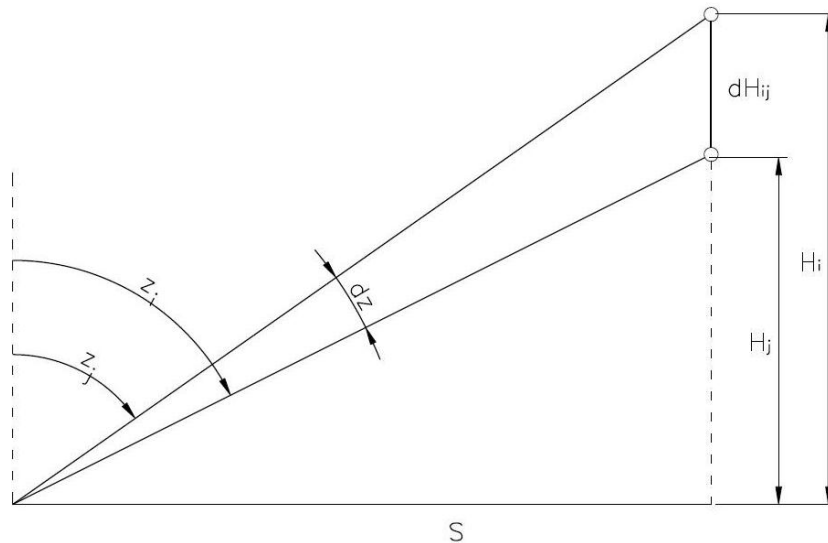
Hydrostatická nivelácia

Princíp určenia prevýšenia hydrostatickými vodováhami je vo využití fyzikálnych vlastností tekutiny, umiestnenej v dvoch od seba vzdialených spojených nádobách, v ktorých povrch tekutiny vytvorí spoločnú hladinovú plochu. Metóda sa používa na určovanie výškových zmien ťažko prístupných bodov, sadania základov podpôr atď. Výhody metódy sú v tom, že meranie viacerých bodov sa dá vykonať z jedného stanoviska, meranie sa dá automatizovať a sústrediť sa na kontinuálne meranie prevýšenia medzi vzťažnými a pozorovanými bodmi. Z podstaty metódy vyplýva nevýhoda v tom, že je možné merať len malý rozsah prevýšenia (cca $h < 100$ mm) a taktiež je obmedzená vzdialenosť bodov (max. cca 30 m). Pri eliminácii systematických chýb je možné dosiahnuť presnosť v určení prevýšenia 0,05 až 0,1 mm. [7]

Trigonometrická metóda merania zvislých posunov

Táto metóda je založená na opakovanom meraní vodorovnej vzdialenosti a zvislých uhlov z pevných stanovísk (pilierov). Zvislé posuny sa odvodzujú z algebraických rozdielov zvislých uhlov medzi etapami merania.

$$dH_{i,j} = -sd_{ij}(1 + \cot g^2 z)$$
$$m_{dH_{i,j}}^2 = 2s^2(1 + \cot g^2 z)^2 m_z^2$$



Obr. 2.1: princíp trigonometrickej metódy [autor]

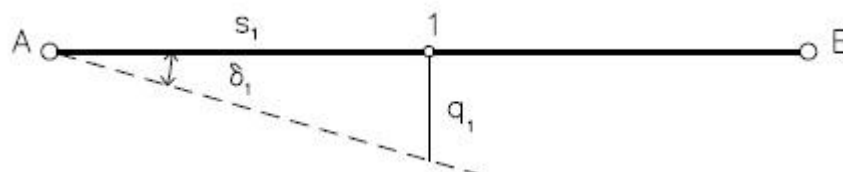
Pri určovaní posunov týmto spôsobom sa predpokladá, že prevýšenie a vzdialenosť stanoviska a pozorovaného bodu sa medzi etapami nezmenili. Pri presných meraniach je nutné počítať so zmenou horizontu teodolitu a zmenou vodorovnej vzdialenosti oboch bodov a zavádzať k nameranému zvislému posunu príslušné korekcie.

Trigonometrická metóda sa používa spravidla tam, kde nie sú vhodné podmienky resp. nie je možné použitie nivelácie, pretože metóda nedosahuje presnosť nivelácie. Pri dĺžkach zámer do 150 m je možné s touto metódou dosiahnuť presnosti okolo 0,5 mm. [2]

2.2.2 Geodetické metódy merania vodorovných posunov

Metóda zámernej priamky

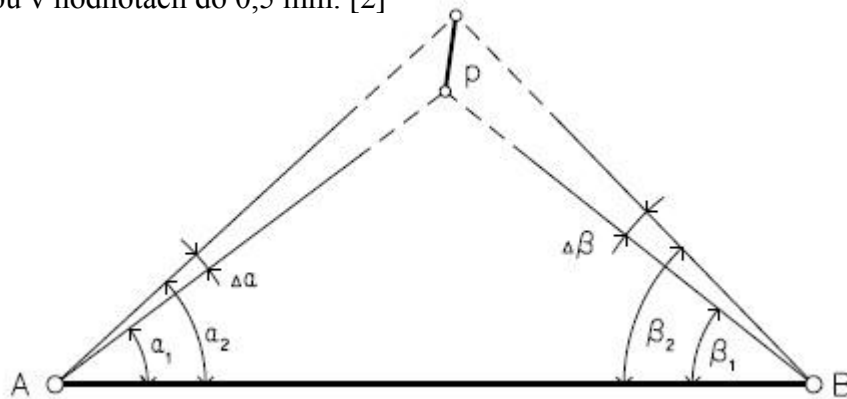
Táto metóda umožňuje určiť len jednu zložku vodorovného posunu – v smere kolmom k zámernej priamke. Princípom je priame alebo nepriame určovanie priečných odchýlok pozorovaných bodov od zámernej priamky. Odchýlky sa určujú buď priamym odčítaním odchýlky na priečnej stupnici (pravítku) s pevným alebo posuvným zámerným terčom, alebo pomocou paralakticky meraného uhlu medzi smerom zámernej priamky a smerom na pozorovaný bod, ktorého vzdialenosť je známa. Priečný posun je daný rozdielom priečných odchýlok zistených v jednotlivých etapách. [2]



Obr. 2.2: metóda zámernej priamky [autor]

Trigonometrická metóda

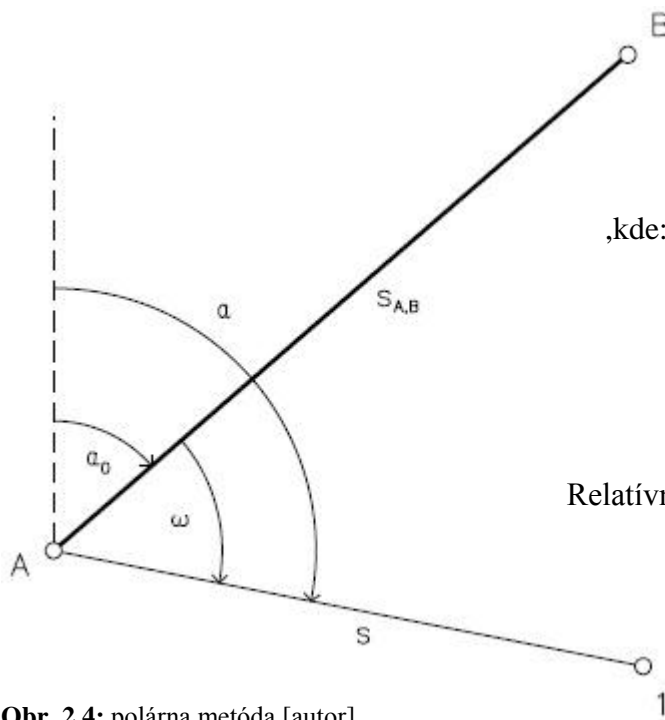
Trigonometrická metóda umožňuje meranie vodorovných aj zvislých posunov. Princípom metódy je pretínanie vpred so smerov, orientovaných k miestnej účelovej geodetickej sieti. Posuny sa určia s rozdielov vypočítaných súradníc z meraných veličín v jednotlivých etapách. Väčšinou sa používa miestny súradnicový systém, ktorého osi sú orientované zhodne s osami sledovaného objektu. Metóda umožňuje určenie posunov s presnosťou v hodnotách do 0,5 mm. [2]



Obr. 2.3: trigonometrická metóda [autor]

Priestorová polárna metóda

Metóda umožňuje určovanie vodorovných aj zvislých posunov a je založená na opakovanom meraní dĺžok a uhlov. Používa sa ako alternatíva, ak nie je možné pozorované body určovať pomocou pretínania vpred, napr. kvôli stiesneným podmienkam. [2]



$$\begin{aligned} X_1 &= X_A + s \cdot \cos \alpha \\ Y_1 &= Y_A + s \cdot \sin \alpha \\ Z_1 &= Z_A + s \cdot \cot g z \end{aligned}$$

,kde: s.... vodorovná vzdialenosť
od stanoviska k určovanému bodu
 α ... smerník určovaného bodu
z... zenitový uhol zo stanoviska na
určovaný bod

Relatívna presnosť polohy určovaného bodu:

$$\begin{aligned} m_x^2 &= \cos^2 \alpha m_s^2 + s^2 \sin^2 \alpha m_\omega^2 \\ m_y^2 &= \sin^2 \alpha m_s^2 + s^2 \cos^2 \alpha m_\omega^2 \\ m_z^2 &= \cot g^2 z m_s^2 + \frac{s^2}{\sin^4 z} m_z^2 \end{aligned}$$

Obr. 2.4: polárna metóda [autor]

Pozemné laserové skenovanie

Laserové skenovacie systémy umožňujú bezkontaktné určenie priestorových súradníc z meraných priestorových polárnych súradníc (vodorovného, výškového uhlu a vzdialenosti pomocou pulznej laserovej technológie). Skenované body sú získavané v pravidelnom uhlovom kroku a tvoria tzv. mračno bodov. Charakteristické prvky objektu (hrany a pod.) sú získavané až pri spracovaní. Hlavnou výhodou je rýchlosť skenovania a možnosť využitia metódy pre monitoring nedostupných alebo veľmi zložitých konštrukcií, keďže je nutná signalizácia len tzv. vlčiacich bodov. Dosah skenerov je závislý na odrazivosti objektu. Pri použití skenerov s dosahom do 80 m je možné dosiahnuť presnosť 1 až 3 mm. [8]

Fotogrametrická metóda

Výhodou fotogrametrie oproti klasickým geodetickým metódam je to, že umožňuje zachytiť stav objektov v jedinom časovom okamžiku, čo má význam pre homogenitu výsledkov. Nevýhodou je, že presnosť klesá so vzdialenosťou od fotografovaného objektu. Taktiež je nutné snímky spracovať v laboratóriu, takže nie je možné okamžité poskytovanie výsledkov. Pri meraní posunov sa využíva jednosnímková metóda s časovou základňou, pri ktorej sa snímkuje z jedného stanoviska v dvoch časových okamžikoch, a ktorá umožňuje určovať posuny len v rovine snímky. Druhou metódou je pozemná stereofotogrametria s reálnou základňou, pri ktorej sa snímkuje z dvoch koncových bodov fotogrametrickej základne, a ktorá umožňuje určiť všetky tri zložky posunu. [8]

Metóda GNSS

Pri meraní posunov a deformácií z využitím metód globálnych navigačných systémov sa používa hlavne statická metóda. V súčasnosti sa pohybuje maximálna dosahovaná presnosť v určení horizontálnej polohy touto metódou v rozmedzí 1-3 mm. Výhodou tejto metódy je, že aparatúry po inštalácii nepotrebujú ľudskú obsluhu a výsledky sú teda nezávislé od skúsenosti merača. Pre určenie krátkodobých deformácií v reálnom čase sa využíva technológia RTK, ktorá umožňuje meranie s presnosťou 10-15 mm, v závislosti na vzdialenosti od referenčnej stanice. [1]

3 Prehľad o súčasnom stave problematiky

Deformačné štúdie v inžinierskej geodézii sú v súčasnosti založené na rozsiahlych znalostiach vhodného prístrojového vybavenia, moderných možnostiach uchovania dát a komunikácie, vyspelých metódach spracovania, analýzy a interpretácie dát. Pre voľbu optimálneho postupu je taktiež nevyhnutné komplexné porozumenie charakteru monitorovaných objektov (v súčasnej dobe často objekty veľkého rozsahu alebo rozsiahle oblasti ovplyvnené zosuvmi).

Geodetické práce spojené so sledovaním posunov a deformácií stavebných objektov sú dôležitým podkladom pre statické posúdenie stavu stavebných konštrukcií. Tieto práce sa vyznačujú vysokými požiadavkami na zvolené meračské technológie a presnosť. Je teda nutné poznať presnosť použitého prístrojového vybavenia a príslušenstva. V snahe zefektívniť a zrýchliť meranie sa v súčasnej dobe meračské procesy automatizujú.

Voľba vhodnej metódy závisí predovšetkým na type, členitosti a celkovom charaktere stavebného objektu, na požadovanej presnosti určovania posunov a časovej náročnosti vykonávaných meračských prác. Používajú sa rôzne geodetické a negeodetické metódy a ich kombinácie. Okrem využitia klasických metód vzrastá v súčasnosti význam využitia automatizovaných meracích systémov (AMS), používaných hlavne pri monitoringu počas výstavby a prevádzky rozsiahlych inžinierskych stavieb (tunely, mosty, vodné diela a pod.).

Súčasťou AMS sú robotizované totálne stanice, ktoré sa pri monitoringu stavebných objektov používajú s ďalšími meracími zariadeniami a senzormi a tak poskytujú komplexné informácie o sledovanom objekte. Tieto systémy umožňujú automatický kontinuálny zber dát, ich spracovanie a analyzovanie v reálnom čase, čím umožňujú okamžité vyhodnocovanie zmien stavebných konštrukcií.

V súčasnosti veľmi vzrastá význam použitia pozemných laser skenerov pri monitoringu deformácií stavebných objektov. Hlavnou výhodou laserového skenovania je získanie obrovského množstva veľmi presných 3D bodov v krátkom časovom rozsahu, čo robí túto metódu výhodnou alternatívou alebo doplnujúcou technikou ku klasickým metódam s použitím totálnych staníc alebo digitálnej fotogrametrii. Používa sa hlavne pri určovaní priestorových vzťahoch nedostupných alebo zložitých stavebných konštrukcií. Dôležitým faktorom pre výber tejto metódy je však stále vysoká cena vybavenia a stále sa vyvíjajúce algoritmy pre automatické spracovanie mračien bodov.

Pozornosť meraniu posunov a deformácií venuje aj medzinárodná mimovládna organizácia FIG (Fédération Internationale des Géomètres), ktorá vznikla za účelom zlepšenia a podpory medzinárodnej spolupráce a napredovania geodézie vo všetkých odboroch v roku 1878 v Paríži. Dnes zastupuje záujmy organizácií z viac ako 120 štátov sveta a je medzinárodným fórom pre diskusie a vývoj v oblasti geodézie. Jednotlivé oblasti geodézie sú rozdelené do 10 komisií, z ktorých komisia č.6 zastrešuje odbor

inžinierska geodézia. V rámci tejto komisie fungujú v aktuálnom pracovnom pláne tri pracovné skupiny (working groups).

Meraním a analýzou deformácií sa v rámci komisie 6 zaoberá WG1, ktorej hlavným cieľom je podporovať odborníkov v riešeníach problematiky deformácií na najvyššej možnej úrovni a poskytnúť najnovšie poznatky a trendy. [9]

V ďalších častiach budú ukázané spôsoby riešenia súčasných úloh v oblasti merania posunov a deformácii stavebných objektov.

3.1 Využitie moderných metód pri monitoringu stavebných konštrukcií

Príkladom využitia terestrického laserového skenovania pri určovaní posunov stavebného objektu je použitie tejto metódy ako alternatívy k metóde presnej nivelácie pri určovaní zvislých posunov mostného objektu v Bratislave. Táto metóda má oproti nivelácii výhody v tom, že umožňuje meranie počas prevádzky mostu a určiť posuny v ľubovoľnom mieste konštrukcie, kde kvôli premávke nie je možné stabilizovať body pre niveláciu. Porovnaním výsledkov oboch metód boli zistené rozdiely medzi metódami do hodnoty 2 mm, ktorú udáva výrobca ako presnosť modelovania povrchov s použitým skenovacím systémom (Leica ScanStation2). Z toho vyplýva, že táto metóda je pri dodržaní zásad pri meraní a modelovaní povrchov vhodná aj na určovanie posunov a deformácií stavebných objektov, kde je táto presnosť dostačujúca. [10]

Katedra geodézie na Stavebnej fakulte Žilinskej univerzity využila metódy GNSS v rokoch 2001 – 2004 ako jednu z metód (primárne bola použitá trigonometrická metóda) pre monitorovanie geodynamiky vodného diela Liptovská Mara - Bešeňová. Dĺžka zemnej hrádze, ktorej pretvorenie bolo skúmané, je 1225 m, výška nad údolím je 43 m a nad základmi 52,5 m. Orientácia hrádze je v severo-južnom smere. Meranie bolo uskutočnené dvoma rovnakými dvojfrekvenčnými aparatúrami Trimble 4000SSi a anténami Microcenter L1/L2 GP.

Použitá bola statická metóda určovania polohy, kde bol ako referenčný zvolený bod nachádzajúci sa uprostred vzťažnej siete, a ktorý následne slúžil pre určenie priestorovej polohy ostatných pozorovaných bodov. Na vzťažnom bode bola uskutočnená 12 hodinová observácia počas merania celej kampane, na podrobných bodoch boli potom observované intervaly o dĺžke cca 15 min s intervalom záznamu 15 s. Celkovo bolo meraní 35 bodov. Pre určenie vonkajších charakteristík presnosti boli výsledky získané metódami GNSS porovnané s terestrickými meraniami. Konkrétne zhodnosťou transformáciou týchto dvoch lokálnych súradnicových sústav. Presnosť GNSS metódy bola teda odhadnutá na $m_p = \pm 3,6$ mm. [11]

V prípade [12] je na monitoring výškových zmien sledovaných bodov mostu v Litoměřicích s najväčším rozpätím hlavného poľa v Českej republike použitá robotizovaná totálna stanica Trimble S6 HP. Vzhľadom k charakteru konštrukcie a z toho vyplývajúcich značných meraných vzdialeností, požadovanej presnosti ($m_H = 2$ mm) a rýchlosti merania bola zvolená metóda trigonometrického určenia výšok s použitím automatického cielenia na 360° odrazný hranol Trimble. Z rozboru presnosti pred meraním vyplývalo, že zvolená metóda spĺňa požiadavky na presnosť výšky, čo sa potvrdilo rozborom presnosti pri meraní, ktorý potvrdil dosiahnutie požadovanej presnosti. Pri meraní bola vždy meraná teplota vzduchu a samotnej konštrukcie, ktorá významne ovplyvňuje deformácie mostnej konštrukcie. Hlavným sledovaným parametrom je časový vývoj priehybu stredu hlavného poľa. Monitoring bude spolu s ďalšími meranými etapami slúžiť hlavne k vytvoreniu metodiky predikcie dlhodobého chovania predpätých betónových konštrukcií veľkých rozpätí.

Dlhodobý monitoring mostných konštrukcií je jednou z najdôležitejších činností, ktoré zabezpečujú ich stabilitu a funkčnosť. V súčasnosti sa pre tento účel s výhodou používajú AMS.

Príkladom použitia AMS pri monitoringu mostných konštrukcií sú [13][14]. V týchto prípadoch je jedným z hlavných komponentov systému robotizovaná totálna stanica Leica TS30. Tento AMS na kontrolu stability mostných objektov bol vyvinutý a testovaný na STU v Bratislave a bol použitý pri monitoringu ocelevej konštrukcie mostu Apollo a Nového mostu v Bratislave. AMS bol navrhnutý tak, aby poskytoval informácie o chovaní mostnej konštrukcie počas plnej prevádzky mostu. Predmetom monitoringu bolo zistenie priestorových posunov pozorovaných bodov (použitie priestorovej polárnej metódy a v prípade určenia vodorovného posunu vrcholu oblúka konštrukcie mostu Apollo použitie metódy GNSS), priečny a pozdĺžny náklon nosnej konštrukcie (inklinometria) a jej dynamické pretvorenie (akcelerometria). Časový priebeh posunov ovplyvňovali vonkajšie faktory ako teplota, slnečné žiarenie a intenzita dopravy na moste. V rámci 24hodinového monitoringu bol systém testovaný a bola overená vhodnosť použitia jednotlivých súčastí a zvolených technológií pre daný účel.

V [15] je ukázané, ako bolo pomocou AMS možné meranie a okamžité vyhodnocovanie posunov a deformácií objektov v deformačnej zóne tunelu Dobrovského v Brne. Na základe výsledkov monitoringu bola na kompenzáciu sadania a náklonov budov použitá technológia kompenzačných injektáží. Pri meraní bolo v rámci AMS použitých 9 robotizovaných totálnych staníc Trimble rady S6 a S8, čím boli zaistené výsledky merania po vyrovnaní so submilimetrovou presnosťou pre celé monitorované územie.

Skúsenosti z monitorovania stavby retenčnej nádrže sú uvedené v [16]. Cieľom geodetického monitoringu bola kontrola tvarovej stálosti a stability kruhovej konštrukcie podzemných stien nádrže v priebehu výstavby. Úloha sa vyznačovala vysokými požiadavkami na presnosť, na základe ktorých bola na monitoring navrhnutá technológia konvergenčného merania na báze presného merania uhlov a meranie zvislých posunov pomocou metódy presnej nivelácie. Pri meraní vodorovných posunov

boli použité robotizované totálne stanice Trimble S6 3 DR Plus a Trimble 5602, pri meraní zvislých posunov bol použitý elektronický nivelačný prístroj Trimble DiNi 03. Výsledky ukázali, že sa v teréne týmito metódami podarilo dosiahnuť požadovanú presnosť určenia posunu (medzná odchýlka určenia posunu bola stanovená na ± 1 mm) a výsledky monitoringu mali požadovanú výpovednú schopnosť.

3.2 Monitoring strešných konštrukcií

Súčasná technológia umožňuje navrhovať stále zložitejšie konštrukcie, pri stavbe ktorých sa používajú nové technológie a stavebné materiály. Monitoring týchto konštrukcií poskytuje spätnú väzbu ohľadne správania konštrukcie v konkrétnych podmienkach a odchýlok oproti teoretickému modelu. Iným prípadom je monitoring konštrukcií, ktoré sú už nejakú dobu (napr. niekoľko desaťročí) v prevádzke a dôvodom monitoringu môže byť získanie podkladov pre posúdenie stability objektov a včasné prijatie potrebných opatrení tak, aby sa zamedzilo poruchám konštrukcie vznikajúcim vplyvom dlhodobej prevádzky, alebo skúmanie správania konštrukcie pri záťaži, ktorú spôsobí rekonštrukcia.

Príkladom sledovania strešnej konštrukcie veľkého rozpätia je monitoring viacúčelovej športovej haly v Bílovci, ktorá bola postavená v r. 2001. Drevená strešná konštrukcia je zložená z deviatich priehradových oblúkov s rozpätím 59 m. Meranie prebiehalo zo siete tvorenej prechodnými stanoviskami metódou priestorového pretínania z uhlav . Použitím tejto technológie je možné preukázať posuny už od hodnoty 1,4 mm ($t = 2, \alpha = 5\%$).



Obr. 3.1: športová hala Bílovec [17]

Z časového vývoja zvislých deformácií vyplýva, že v priebehu prvých cca 15 mesiacov dochádzalo k postupnému dosadaniu a dotvarovaniu konštrukcie a dotlačovaniu spojov (trvalá zvislá deformácia vo vrchole oblúku dosiahla cca 12 mm).

Následne sa chovanie konštrukcie ustálilo a konštrukcia je ovplyvnená hlavne pôsobením teploty vonkajšieho prostredia. [18]

Poznatky a špecifiká merania deformácií oceľových strešných väzníkov sú v [19]. Predmetom merania bolo určenie existujúcich deformácií strešných väzníkov priemyselnej haly, ktoré vznikli v dôsledku dlhodobej prevádzky žeriavových dráh a vplyvom extrémnych vonkajších podmienok. Ďalej boli meraním určované zmeny deformácií strešnej konštrukcie v extrémnych zimných a letných podmienkach. Na meranie bola použitá robotizovaná totálna stanica Geodimeter 620S a polárna metóda s využitím poloautomatického režimu s ručným cielením. Kvôli vysokým požiadavkám na presnosť merania bolo nutné uvážiť množstvo faktorov (napr. počet, rozmiestnenie a tvar meračských značiek, zavedenie korekcií súčtových konštánt rôznych typov hranolov, zavedenie fyzikálnych redukcií atď.).

Príkladom použitia priestorovej polárnej metódy je meranie deformácií kruhovej oceľovej strešnej konštrukcie pavilónu „Z“ na Brnenskom výstavisku. Etapové meranie tejto konštrukcie prebehlo v spojitosti s rekonštrukciou v roku 2005. Predmetom merania bolo zistiť odozvu nosnej konštrukcie strechy na premenlivé zaťaženie spojené s rekonštrukciou, na zaťaženie snehom a zmeny spôsobené zmenami teploty. Pri meraní bola použitá totálna stanica Topcon GPT-2006. Meranie prebiehalo v bezhranolovom móde. Výsledky potvrdili dominantný vplyv teploty na tvar konštrukcie. Bola preukázaná dobrá tuhosť konštrukcie aj pri väčšom zaťažení snehom a teplotných zmenách. Použitá metóda sa ukázala ako vhodná pre obdobné práce (pri správnej eliminácii systematických chýb závislých na bezprostrednom okolí cieľa).[20]

Metóda 3D laserového skenovania systémom CYRA bola použitá napr. pri kontrole priestorových vzťahov a tvorbu 3D modelu oceľovej strešnej konštrukcie viacúčelovej haly Sazka Aréna v Prahe.[21]

Príkladom použitia negeodetických metód pri monitoringu strešných konštrukcií je použitie tenzometrie pri sledovaní oceľovej strešnej konštrukcie Steel Arény v Košiciach pred uvedením do prevádzky. Hala bola otvorená v roku 2006. Hlavný pozdĺžny nosný oblúk má rozpätie 120 m. Cieľom bolo určiť prírastky napätia najviac namáhaných prvkov pri niekoľkých zaťažovacích stavoch a porovnať ich s teoreticky určenými hodnotami. [22]



Obr. 3.2: oceľové strešné konštrukcie – Sazka Aréna Praha (vľavo), Steel Aréna Košice (vpravo)

3.3 Testovanie robotizovaných totálnych staníc

Integrácia nových systémov v automatizovaných meracích staniciach sa prejavuje v čoraz väčšej pasivite merača. Predpokladom pre správne použitie týchto technológií je znalosť funkčného princípu a schopnosť overiť ich presnosť a spoľahlivosť pomocou testovacích meraní.

Poznatky z testovania funkcie ATR robotizovanej totálnej stanice Leica TCRA 1201 sú uvedené v [23]. Predmetom testovania bolo určiť presnosť zvislého posunu meraného pomocou tohto systému. Pri teste bola totálna stanica aj odrazné hranoly (štandardný a 360° odrazný hranol Leica) umiestnené na meračských pilieroch. Z rozdielov súradníc v základnej a pootočenej polohe hranolu boli vypočítané priečne, pozdĺžne a výškové odchýlky, ktoré vykazovali cyklický priebeh v závislosti na natočení hranolu.

Výsledky testovania systému ATR prístroja Leica TS30 sú uvedené v [24]. Predmetom testovania bolo rovnako ako v predchádzajúcom prípade vplyv natočenia odrazného hranola na určenie polohy bodu a presnosť zmeny výšky odrazného hranola, pričom bolo ako etalón použité prevýšenie určené niveláciou (prístrojom Zeiss Ni007) meraním na nivelačnú stupnicu, na ktorej bol pripevnený hranol.

Kontrolou uhlovej a dĺžkovej presnosti totálnych staníc TCRP 1201, TCRP 1202 od firmy Leica a GPT 7001, GPT 8203M od firmy Topcon sa zaoberá [25]. S výnimkou totálnej stanice GPT 7001 ide o motorizované totálne stanice. V príspevku sú vyhodnotené rozdiely v presnosti merania dĺžok na odrazné hranoly príslušných firiem a bezhranolovým meraním dĺžok na farebné terče s rôznou odrazivosťou. Test prebehol na dĺžkovej základni IGDM v Ostrave (základňa dĺžky 250,620 m, rozdelená na 6 rôznych dlhých úsekov) meraním dĺžok vo všetkých kombináciách. Testom sa zistilo, že odrazivosť terčov neovplyvnila výrazne presnosť, ale vzdialenosti na tmavé terče neboli niektorými prístrojmi zmerané vôbec. Zvýšenie počtu meraní jednotlivých vzdialeností nevedlo k zlepšeniu presnosti meraných dĺžok, naopak, zväčšil sa rozptyl meraných hodnôt. Žiadne z meraní neprekročilo presnosť uvádzanú výrobcami na matný biely povrch Kodak grey card.

4 Príprava merania

4.1 Použité prístrojové vybavenie

V práci bola testovaná automatická pulzná totálna stanica Topcon GPT – 9001A, ktorej presnosť smeru v dvoch polohách udávaná výrobcom je $m_r^{\text{II}} = 1''$ (0,3 mgon) a presnosť dĺžok je $m_s = 2\text{mm} + 2\text{ppm}$ (v presnom hranolovom móde). Pri meraní posunov a deformácií strešnej konštrukcie bola použitá totálna stanica Topcon GTS-300. Presnosť smeru meraného v dvoch polohách ďalekohľadu je charakterizovaná strednou chybou $m_r^{\text{II}} = 5^{\text{cc}}$ a presnosť dĺžok $m_s = 2\text{mm} + 2\text{ppm}$.



Obr. 4.1: Topcon GPT – 9001 A (vľavo), Topcon GTS – 300 (vpravo)

4.2 Kontrola presnosti prístrojov

Pred samotným meraním strešnej konštrukcie bola vykonaná kontrola prístrojov. Hlavným cieľom bola kontrola uhlovej a dĺžkovej presnosti, zoznámenie sa s programovým vybavením robotizovanej totálnej stanice a overenie jeho správnej funkčnosti, určenie súčtovej konštanty systému prístroj – hranol (resp. odrazná fólia) a cyklickej chyby, o ktorú je nutné korigovať merané dĺžky tak, aby bolo možné vyhodnotiť meranie posunov s požadovanou presnosťou.

Bližší popis jednotlivých testov a ich výsledky sú zhrnuté v nasledujúcich podkapitolách.

4.2.1 Kontrola uhlovej presnosti

Jednotlivé testy boli zamerané na kontrolu uhlovej presnosti totálnej stanice Topcon GPT – 9001A a totálnej stanice Topcon GTS – 300.

Oba prístroje boli testované postupom podľa normy ČSN ISO 17123-3 [26]. Cieľom tohto testu je určiť strednú chybu smeru a zenitového uhlu meraného v dvoch polohách a štatisticky otestovať či odpovedá základnej strednej chybe, ktorú stanovuje výrobca.

Tieto testy prebiehali v laboratóriu (učebňa B150 FAST VUT), s využitím nútenej centrácie pri postavení totálnych staníc na pilieri. Princípom testu je opakované meranie osnovy smerov na päť cieľov, ktoré sú rovnomerne rozložené približne v horizonte prístroja. Výsledky týchto testov pre obe totálne stanice sú zostavené v nasledujúcej tabuľke.

Prístroj Topcon	Mód	Cieľ	Dĺžka zámer	Str. chyba smeru (dve polohy ďalekohľadu)	Str. chyba zenitového uhlu (dve polohy ďalekohľadu)	Kritická hodnota	VYHOVUJE (YES/NO)	
			[m]	[cc]	[cc]	[cc]		
GPT-9001A	TopSURV v.7.2 AUTO	Odrazný hranol	5,2 - 10,9	5,8*	8,0*	3,6	N	N
GPT-9001A	TopSURV v.7.2 MANUAL	Merač. terč	5,2 - 10,9	3,4	4,7		Y	N
GTS-300	MANUAL	Merač. terč	5,2 - 10,9	3,9	4,9	6,6	Y	Y

* zistená softvérová chyba automatického cielenia v programe TopSURV v.7.2

Tab. 1: výsledky testu (postup podľa normy ČSN ISO 71123-3)

Pri testovaní totálnej stanice Topcon GTS – 300 bol použitý modifikovaný postup a bola zameraná osnova piatich smerov v štyroch skupinách. Výsledky tohto testu potvrdili údaje poskytované výrobcom. Výsledky sú uvedené v kalibračnom liste v *Prílohe č.1*.

V prípade testovania totálnej stanice Topcon GPT – 9001A podľa normy ČSN ISO 71123-3 bol použitý tzv. úplný postup podľa tejto normy. V rámci jednej série bola zameraná trikrát osnova piatich smerov. Celkovo boli zmerané štyri série pomocou funkcie automatického monitoringu (cielené na odrazné hranoly Topcon) a štyri série s manuálnym docieľovaním (cielené na nalepovacie meračské terče). Totálna stanica bola taktiež postavená na pilieri.

Hodnoty stredných chýb získané výpočtom z merania pomocou plne automatického monitoringu ukazujú na možnú nižšiu presnosť merania uhlov ako udáva výrobca, čo bolo overované ďalšími testami (viď. *Tab. 1*).

Pre štatistické testovanie výsledkov bol použitý test strednej chyby (χ^2 -test) na hladine významnosti $\alpha = 5\%$, ktorým sa overovalo, že výberová stredná chyba (ozn. s) horizontálneho smeru resp. vertikálneho uhlu meraného v dvoch polohách ďalekohľadu je menšia ako stredná chyba (ozn. σ) udávaná výrobcom. Testuje sa teda nulová hypotéza $s \leq \sigma$ proti alternatívnej hypotéze $s > \sigma$. Nulová hypotéza sa na hladine významnosti $\alpha = 5\%$ prijíma, ak je splnená podmienka [26]:

$$s \leq \sigma \sqrt{\frac{\chi_{1-\alpha}^2(v)}{v}}, \text{ kde } v \text{ je počet stupňov voľnosti.}$$

Pri kontrole uhlovej presnosti totálnej stanice Topcon GPT – 9001A bol využitý softvér TopSURV OnBoard a funkcia „Monitor“, keďže táto funkcia mala byť využitá pri meraní posunov a deformácií strešnej konštrukcie. Funkcia umožňuje dva typy merania. Úplne automatický monitoring, kedy sa totálna stanica sama nasmeruje na monitorovaný bod, automaticky zacieli a uloží výsledky a monitoring, kedy je užívateľovi umožnené overenie alebo opravenie presného zacielenia pred samotným zmeraním a uložením výsledkov.

Týmto testom bolo taktiež zistený problém s využitím funkcie monitoringu s manuálnym docieľovaním v softvéri TopSURV v7.2, ktorá mala umožňovať kontrolu resp. presné manuálne docielenie pred samotným meraním a zaregistrovaním hodnôt. Funkcia síce umožňovala manuálne docielenie, avšak registrovaná dĺžka sa vzťahovala k miestu, kam totálna stanica zacielila automaticky, po precielení už ďalšie meranie vzdialenosti neprebehlo.

Nasledujúce testy boli založené na princípe 10x opakovanej zámery na jeden cieľ vždy v dvoch polohách. Testy boli zamerané na určenie relatívnej uhlovej presnosti po aktualizáciách firmvéru a softvéru totálnej stanice a kontrolách a adjustáciách, ktoré odporúča výrobca v manuáli. Bola skontrolovaná súososť optickej osy teodolitu a diaľkomeru a skontrolovaná a adjustovaná optická os automatického sledovania. [27]

Cieľom testov bolo určiť a porovnať presnosť manuálneho a automatického cielenia, v oboch prípadoch s využitím funkcie „Monitor“ takže s využitím motorizovaného pohybu totálnej stanice. Pri týchto testoch bola totálna stanica postavená na statíve. Aby bola zaručená najvyššia možná stabilita totálnej stanice, boli využívané statívy najvyššej kvality určené pre presné práce.

Využitím vyššej verzie softvéru bol odstránený vyššie popísaný problém s použitím manuálneho docieľovania funkcie monitoringu. Novšia verzia softvéru meria po spustení monitoringu dĺžky kontinuálne, tzn. aj po manuálnom docielení.

Testy prebiehali pri vhodných podmienkach v priestoroch Ústavu geodézie, pre dĺžky zámer 13m a cielené bolo na odrazný hranol Topcon. Stredné chyby vypočítané z jednotlivých testov sa pri použití automatického cielenia pohybujú v rozmedzí $6,3''$ až $12,3''$ pre vodorovný smer meraný v dvoch polohách a presnosť zenitového uhlu meraného v dvoch polohách $8,3''$ až $10,8''$. Pri využití

poloautomatického monitoringu resp. manuálneho docieľovania sa potvrdila presnosť udávaná výrobcom.

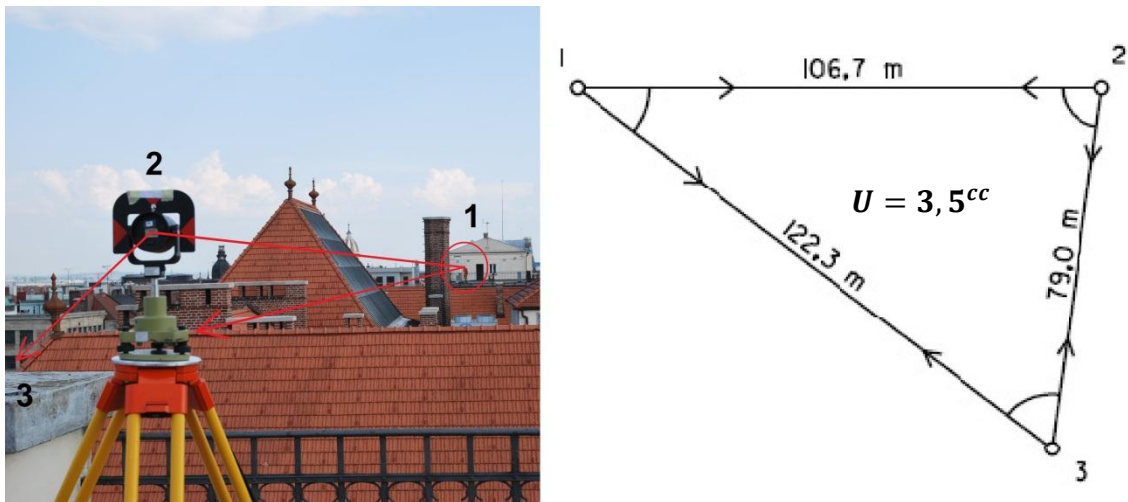
Zhoršená presnosť pri použití automatického monitoringu bola pravdepodobne spôsobená softvérovou chybou. Pri meraní posunov a deformácií záujmového objektu preto nemohol byť použitý automatický monitoring a bola zvolená alternatíva použitia totálnej stanice Topcon GTS – 300, ktorá bola využitá aj pri predchádzajúcich etapových meraniach tejto konštrukcie.

Presnosť automatického monitoringu s využitím softvéru TopSURV v.8.2 bola porovnaná s presnosťou dosiahnutou využitím monitoringu v softvéri NetSURV v 1.06, ktorý bol k dispozícii až po etapovom meraní posunov strešnej konštrukcie.

Testovaná bola opäť 10x opakovaná zámera dĺžky 8 m na odrazný hranol. Výsledky testu potvrdili presnosť udávanú výrobcom a tým bola potvrdená softvérová chyba.

4.2.1.1 Testovanie presnosti automatizovaného merania uhlov v geodetickej sieti

Využitím softvéru NetSURV v 1.06 bola testovaná aj uhlová presnosť na väčšie vzdialenosti. Pre tento účel bola vybudovaná trojuholníková sieť so stranami 79,0 m až 122,3 m. Bola využitá trojpodstavcová sústava a postavenie prístroja a odrazných hranolov na statívoch. Dva body boli stabilizované na terasách B a C budovy FAST VUT, tretí bod trojuholníka bol stabilizovaný na parkovisku pred budovami vid'. Obr. 4.2.



Obr. 4.2: schéma testovacieho merania [autor]

Všetky smery boli monitorované v dvoch polohách a troch skupinách. Z tohto súboru bola vypočítaná výberová stredná chyba smeru meraného v dvoch polohách ďalekohľadu podľa vzťahu:

$$m_r^{II} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n - k}} = 3,4^{cc}$$

, kde $k = 6$ (počet nutne meraných smerov pre určenie 3 uhlov trojuholníku).
Rovnako bola určená stredná chyba zenitového uhlu meraného v dvoch polohách ďalekohľadu $m_z^{II} = 2,9^{cc}$.

Rovnako ako pri predchádzajúcich testoch boli výsledky štatisticky testované pomocou testu strednej chyby. Z výsledkov testu vyplýva, že výberové stredné chyby odpovedajú hodnotám udávaným výrobcom. (Tab. 2)

Prístroj Topcon	Mód	Cieľ	Dĺžka zámer	Str. chyba smeru (dve polohy ďalekohľadu)	Str. chyba zenitového uhlu (dve polohy ďalekohľadu)	Kritická hodnota	VYHOVUJE (YES/NO)	
			[m]	[cc]	[cc]	[cc]		
GPT-9001A	NetSURV v.1.06 AUTO	Odrazný hranol	79,0 - 122,3	3,4	2,9	4,0	Y	Y

Tab. 2: výsledky automatizovaného merania uhlov na dlhšie zámery

Kontrolne bola vypočítaná hodnota uhlového uzáveru trojuholníku $U = 3,5^{cc}$ a jej medzná hodnota ako:

$$\delta_U = t \cdot (\sqrt{3}\sqrt{2}\bar{m}_r^{II}) = 14,7^{cc} \quad (t = 2, \bar{m}_r^{II} = 3^{cc})$$

4.2.2 Kontrola dĺžkovej presnosti

Prístroj Topcon GPT - 9001A je vybavený impulzovým diaľkomerom. Meranie dĺžok pomocou tohto typu diaľkomerov funguje na základe známej rýchlosti šírenia laserového lúča emitovaného pulznou laserovou diódou. Meraný je priamo tranzitný čas, za ktorý prejde laserový lúč vzdialenosť k cieľu a späť.

Prístroj Topcon GTS – 300 je vybavený fázovým diaľkomerom, takže dĺžka je určovaná na základe meraného fázového rozdielu vyslanej a prijatej vhodne modulovanej nosnej vlny.

Presnosť diaľkomeru sa udáva ako $m_d = \pm(a[mm] + b[ppm])$, kde a je zložka, ktorá nezávisí na veľkosti meranej dĺžky a b je zložka závislá na veľkosti meranej dĺžky. Zložka a predstavuje hlavne zvyškovú chybu určenia súčtovej konštanty a cyklickú chybu, zložka b zahŕňa zvyškové chyby merania atmosférických podmienok a meracej modulačnej frekvencie. [5]

Súčtová konštantka je systematická chyba resp. zvyškový rozdiel dĺžky, ktorý je spôsobený tým, že elektronický a optický počiatok svetelného signálu nie je totožný so stredom prístroja (bodom centrácie). Obdobná je situácia aj pre odrazný systém. Súčtová konštantka je teda vždy viazaná na sústavu prístroj – odrazný systém. Súčtovú konštantu PSM tvorí premenlivá elektronická časť ϑ a geometrická časť C , ktorú je

možné rozložiť na prístrojovú časť C_1 a časť odrazného systému C_2 . Hodnota súčtovej konštanty teda závisí od druhu použitého odrazného systému.[6]

$$PSM = \vartheta + c_1 + c_2 = \vartheta + C$$

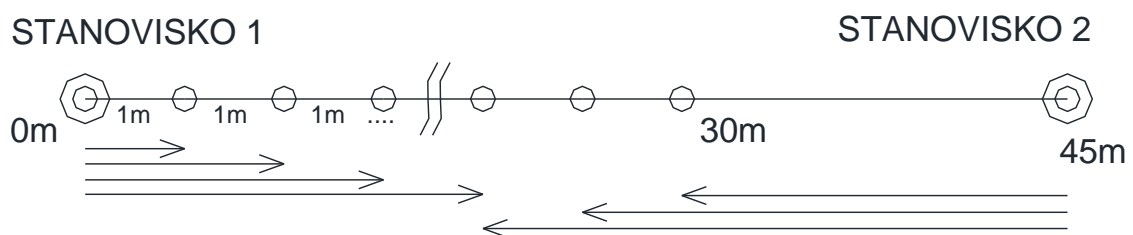
Hodnota súčtovej konštanty sa určuje zmeraním kalibračnej základne rozdelenej na úseky. Zanedbanie, neoverenie alebo nesprávne určenie a zavedenie tejto konštanty vedie k hrubým chybám v meranej dĺžke, pretože hodnota konštanty môže nadobúdať až niekoľko centimetrov.

Cyklická chyba je chyba prejavujúca sa periodicky v rámci jednej vlnovej dĺžky. Hodnota cyklickej chyby dosahuje max. niekoľko milimetrov.[5]

Dĺžková presnosť prístroja bola vyhodnotená so súčasným určením súčtovej konštanty a cyklickej chyby.

Určenie súčtovej konštanty a cyklickej chyby prebiehalo na kalibračnej základni vybudovanej pomocou 30 m kalibrovaného meračského pásma vid'. Obr. 4.3. Pri meraní bol použitý odrazný hranol Leica W1 a odrazná fólia Sokkia RS30N (štvorec).

Meranie prebiehalo v budove FAST v priestoroch chodby 4. poschodia. Úseky pásma boli volené s ohľadom na frekvenciu použitej totálnej stanice po $0,1\lambda/2$, teda po 1m a boli realizované statívmi opticky centrovanými nad stupnicou napnutého pásma. V prvej sérii boli merané dĺžky 0-30 m, v druhej sérii dĺžky 15-45 m (totálna stanica bola postavená na priamke vo vzdialenosti 15m od pásma) vid'.(Obr. 4.3). Totálnou stanicou Topcon GPT -9001A bol každý úsek meraný 3x (v druhej sérii 2x). Prístrojom Topcon GTS – 300 bol každý úsek meraný 2x.



Obr. 4.3: schéma merania [autor]

Príslušné úseky etalónu (pásma) boli opravené o korekciu z komparácie, teplotnej rozťažnosti a pretiahnutia pásma. Súčtová konštanty (PSM) a hodnoty cyklickej chyby (c_i) boli vypočítané zo vzťahov:

$$PSM = \frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i}{n} \quad c_i = \varepsilon_i - PSM ,$$

kde n je počet meraných úsekov a ε_i sú jednotlivé odchýlky meranej dĺžky od nominálnej dĺžky pásma. Stredná chyba súčtovej konštanty bola vypočítaná

zo vzťahu pre výpočet strednej chyby dvojíc meraní rovnakej presnosti, kde d_i sú diferencie určené z prekrytovej časti úsekov pásma, tzn. úsekov 15 – 30 m.

$$m_{PSM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{2n}}$$

Prístroj Topcon	Odrazný systém	PSM [m]	Str. chyba [mm]	Rozsah dodnôt cykl. odchýliek
GPT - 9001A	Odr. hranol Leica W1	-0,0340	0,23	1,9 mm
	Odr. fólia Sokkia RS30N	-0,0001	0,27	2,4 mm
GTS - 300	Odr. fólia Sokkia RS30N	0,0021	0,61	5,8 mm

Tab. 3: výsledné súčtové konštanty a ich stredné chyby

Výsledné hodnoty súčtovej konštanty a ich presnosť sú súčasťou *Tab. 3*. Priebeh cyklických chýb pre jednotlivé systémy je znázornený v grafoch a prehľadne zostavený v korekčných tabuľkách *Prílohy č.1*. Priebeh cyklických odchýlok je pre jednotlivé systémy odlišný. Pri použití pulzného dialkometru v hranolovom móde je rozsah odchýlok pre odrazný hranol v rozmedzí 1,9 mm, pre odrazný terč 2,4 mm. Pri použití fázového dialkometru a odraznej fólie je rozsah cyklických odchýlok 2,5násobný.

Pre jednotlivé systémy prístroj-odrazný systém bola z rozptylu vypočítaná stredná chyba opakovaného merania dĺžok do 45 m. Vo všetkých prípadoch je táto hodnota $m_s = 0,2 \text{ mm}$, čo je hodnota rozlišovacej schopnosti dialkometrov.

4.3 Vyrovnanie sprostredkujúcich meraní

Ak opakujeme meranie neznámej veličiny, alebo meriame ďalšie veličiny, ktoré sú s neznámymi veličinami v známom vzájomnom vzťahu, umožňuje nám to vylúčenie hrubých chýb resp. kontrolu merania a zvýšenie presnosti výsledkov merania. Pri spoločnom spracovaní väčšieho počtu veličín, než je nutný pre jednoznačné určenie výsledkov hovoríme o tzv. vyrovnaní výsledkov merania. Ide teda o riešenie tzv. preurčeného problému, kedy počet meraných veličín (ozn. n) je väčší ako počet nutných veličín (ozn. k). Pri riešení definuje $r = n - k$ tzv. počet nadbytočných veličín, ktoré podmieňujú nejednoznačnosť, resp. nekonečné množstvo riešení úlohy. Pri riešení tohto problému sa najčastejšie používa podmienka metódy najmenších štvorcov (MNS):

$$\sum pvv = \min.$$

, kde p sú váhy a v sú opravy (vyrovnaná mínus meraná hodnota). Táto podmienka vedie k jednoznačnému riešeniu úlohy. Metóda umožňuje vypočítať najspoľahlivejší odhad neznámych hodnôt meraných veličín a okrem vyrovnaných veličín poskytuje aj ich charakteristiky presnosti.

Vyrovnanie sprostredkujúcich meraní sa používa v prípadoch, keď nie sú hľadané neznáme veličiny merané priamo, ale určujú sa prostredníctvom iných meraných veličín, ktoré sú z neznámymi v známom alebo aproximovanom vzťahu. Tieto merania sa nazývajú nepriame, resp. sprostredkujúce.

Ak zostavíme n sprostredkujúcich funkcií, definujeme tak matematický vzťah medzi meranými L_i a určenými X_j parametrami (kde $i = 1, 2, \dots, n$ a $j = 1, 2, \dots, k$). [26][29]

$$L_i = f_i(X_1, X_2, \dots, X_k)$$

Tento matematický model popisuje vzťah pravých hodnôt meraných a určených veličín. Keďže merané hodnoty sú náhodné veličiny, definujeme stochastický model obdobný matematickému, ktorý určuje vzťah náhodných veličín L_i a X_i . Nahradením týchto náhodných veličín zatiaľ neurčenými vyrovnanými hodnotami \bar{l}_i a x_j dostávame tzv. rovnice opráv. Vyrovnané hodnoty merania dostaneme pripočítaním opráv v_i k meraným veličinám l_i . Pomocou maticového zápisu vyjadríme rovnice opráv ako:

$$\bar{l} = l + v = f(x^T), \quad v = f(x^T) - l$$

Ak je systém sprostredkujúcich funkcií nelineárny, je nutné ho linearizovať. Pre tento účel sa určia približné hodnoty neznámych x_j^0 , kedy je každá neznáma veličina x rozdelená na približnú (známu) hodnotu x^0 a jej prírastok (neznámy) δx . Ak sú prírastky dostatočne malé, môžeme systém rovníc linearizovať pomocou Taylorovho polynómu, v ktorom zanedbáme členy vyšších rádov.

$$v = f(x_0^T) + \left(\frac{\partial f(x^T)}{\partial x^T} \right)_{x_0} \delta x - l$$

Linearizáciou prejdú rovnice opráv na tzv. pretvorené rovnice opráv.

$$v = A\delta x + l' \quad l' = f(x_0^T) - l$$

$$A \text{ (matica plánov)} = \begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1/x_1^0} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_k/x_k^0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1/x_1^0} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_k/x_k^0} \end{pmatrix}$$

V rovniciach opráv sú neznámymi prírastky δx_j aj zatiaľ neurčené opravy v_i . Riešením je použitie MNŠ, ktorá nájde množinu všetkých riešení, pre ktoré bude platiť $\sum pvv = \min$. Podmienka bude splnená ak parciálne derivácie podľa jednotlivých premenných položíme rovné nule.

$$\frac{\partial v^T P v}{\partial \delta x} = \left(\frac{\delta v}{\partial \delta x^T} \right)^T 2 P v = A^T 2 P v = 0$$

Systém $A^T P A \delta x + A^T P l' = 0$ je systémom normálnych rovníc a zaisťuje splnenie podmienky MNS. Je to systém lineárnych rovníc, ktorých riešením je:

$$\delta x = -(A^T P A)^{-1} A^T P l'$$

Neznáme hodnoty, opravy meraní a hodnoty vyrovnaných meraní určíme zo vzťahov:

$$x = x^0 + \delta x \quad v = A \delta x + l' \quad \bar{l} = l + v$$

Vyrovnanie MNS umožňuje určiť presnosť merania a presnosť výsledkov vyrovnaní. Pomocou opráv sa vypočíta výberová aposteriorna jednotková stredná chyba podľa vzťahu:

$${}^{APOST}m_0 = \sqrt{\frac{v^T P v}{n - k}}$$

Stredné chyby meraných veličín sa vypočítajú zo vzťahov:

$$C_{ll} = {}^{APOST}m_0^2 Q_{ll} = \begin{pmatrix} m_{l_1}^2 & \dots & 0 \\ \vdots & m_{l_2}^2 & \vdots \\ 0 & \dots & m_{l_n}^2 \end{pmatrix}, \text{ kde } Q_{ll} = P^{-1}$$

Stredné chyby vyrovnaných meraní sa vypočítajú zo vzťahov:

$$C_{\bar{l}\bar{l}} = {}^{APOST}m_0^2 Q_{\bar{l}\bar{l}} = \begin{pmatrix} m_{\bar{l}_1}^2 & \dots & 0 \\ \vdots & m_{\bar{l}_2}^2 & \vdots \\ 0 & \dots & m_{\bar{l}_n}^2 \end{pmatrix}, \text{ kde } Q_{\bar{l}\bar{l}} = A N^{-1} A^T$$

Stredné chyby neznámych sa vypočítajú zo vzťahov:

$$C_{xx} = {}^{APOST}m_0^2 N^{-1} = \begin{pmatrix} m_{x_1}^2 & \dots & m_{x_k} m_{x_1} \\ \vdots & m_{x_2}^2 & \vdots \\ m_{x_1} m_{x_k} & \dots & m_{x_k}^2 \end{pmatrix} \quad [29]$$

5 Meranie strešnej konštrukcie

5.1 Lokalizácia a popis strešnej konštrukcie Aquaparku

Predmetom práce je pretvorenie strešnej konštrukcie bazénovej haly Aquaparku, ktorý sa nachádza v mestskej časti Brno – Kohoutovice, konkrétne v katastrálnom území Kohoutovice (610313). Táto mestská časť, ktorá bola pôvodne samostatnou obcou, slúži dnes hlavne ako obytná zóna. Aquapark je umiestnený v zástavbe panelových domov pri Základnej škole na Chalabalovej ulici. Výstavba aquaparku prebiehala v rokoch 2008 až 2010.

Konštrukčne je objekt rozdelený na dva nezávislé dilatačné celky s rozdielnym konštrukčným usporiadaním – bazénovú halu a zázemie bazénu so slnečnou terasou a vonkajším bazénom.



Obr. 5.1: Objekt Aquaparku [26]

Bazénová hala je prízemný, v celej ploche podpivničený objekt nepravidelného tvaru s rozmermi cca 58 x 37,5 m. Z nepravidelného tvaru pôdorysu a výškového usporiadania objektu vyplýva zložitosť strešnej konštrukcie.

Hlavným konštrukčným prvkom nosného systému sú plnostenné rámy so zakriveným rámovým rohom, ktorých hlavným konštrukčným materiálom je lepené lamelové drevo vid'. Obr. 5.2. Väčšina stykov a prípojov je riešená pomocou kolíkových spojovacích prostriedkov a oceľových elementov. Celá konštrukcia sa skladá zo segmentov šírky 5 m. Základným prvkom jednotlivých segmentov sú lepené rámové rebrá umiestnené v ose segmentu. Rozpätie nosníkov je rôzne a pohybuje sa v rozmedzí 24,8 m až 34,5 m. Rebrá sú na betónovú konštrukciu uložené pomocou oceľových čapových ložísk.

Každý rám je tvorený dvomi časťami, ktoré boli pri montáži spojené pomocou montážneho styku. Tieto sú umiestnené na prechode plochej strešnej časti rebra a začínajúceho zakriveného rámového rohu. Ako spojovacie prostriedky sú použité kolíky a svorníky z oceli.

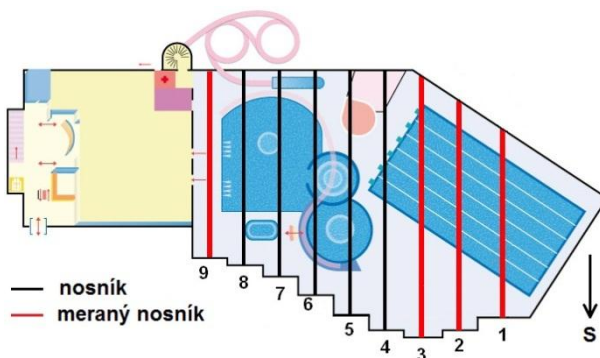
Lepené lamelové drevo bolo ako základný konštrukčný materiál zvolené preto, že technológia jeho výroby umožňuje navrhovať konštrukcie veľkých rozpätí a premennej výšky a zároveň je tento materiál vhodný pre použitie vo vlhkostne a teplotne náročnom bazénovom prostredí. [31][32]



Obr. 5.2: interiér bazénovej haly [26]

5.2 Pozorované časti konštrukcie, rozmiestnenie meračských značiek

Celkovo je súčasťou nosnej konštrukcie deväť nosníkov, z ktorých boli štyri vybrané pre etapové sledovanie posunov a deformácií strešnej konštrukcie vid'. Obr. 5.3.



Obr. 5.3: schéma nosníkov strešnej konštrukcie [33]

Posuny a deformácie strešnej konštrukcie sa vyhodnocujú z meraných diskretných bodov osadených na konštrukcii. Preto je pre vystihnutie procesov prebiehajúcich na konštrukcii dôležité rozloženie bodov na jednotlivých väzníkoch a vhodný tvar meračských značiek, ktoré tieto body reprezentujú. Rozloženie bodov býva spravidla konzultované s projektantom stavby.

V tomto prípade bolo na každom nosníku osadených celkovo 12 meračských značiek, ktoré sú umiestnené na oboch kotviacich ložiskách príslušného nosníku

a na nosníku v dvojiciach nad sebou (vždy v dolnej a hornej časti nosníku). Tieto dvojice sú umiestnené na okrajoch nosníku (nad ložiskami), v strednej časti nosníku a v mieste montážneho spoju.

Ako meračské značky slúžia upravené odrazové fólie typu Sokkia RS30N, ktoré sú nalepené buď priamo na drevo nosníku alebo na oceľové kolíky. V súčasnej 4. etape chýbajú body x19 a x20 (okrem nosníku č.9) a bod 116.

5.3 Prehľad etáp meraní

V súčasnosti bola meraná etapa č.4. Posuny a deformácie konštrukcie sú v tejto práci vyhodnocované vzhľadom 2. etape, ktorá je použitá ako základná (prvá etapa meraná po dokončení stavby) a vzhľadom k predchádzajúcej 3. etape.

Jednotlivé etapy boli merané v dobe, keď bol objekt v plnej prevádzke, vždy v nočných hodinách mimo otváracích hodín. Vo všetkých vyhodnocovaných etapách bola konštrukcia objektu úplne dokončená a všetky bazény (plavecký bazén, rekreačný bazén, vírivka a detský bazén) boli napustené. Základná etapa bola meraná 7 mesiacov po sprístupnení objektu verejnosti, 3. etapa bola meraná 27 mesiacov po základnej etape. Súčasťou tejto práce je zameranie 4. etapy, ktoré sa uskutočnilo 13 mesiacov po predchádzajúcej etape a 40 mesiacov po základnej etape. (viď. *Tab. 4*)

Podmienky vo vnútri bazénovej haly boli pre všetky etapy približne rovnaké, vonkajšie podmienky sa mierne líšia v závislosti na dobe, kedy merania prebiehali.

ETAPA	DÁTUM ČAS	Vnútorne podmienky			Vonkajšie podmienky			Stav konštrukcie
		Teplota [°C]	Tlak [hPa]	Vlhkosť [%]	Teplota [°C]	Tlak [hPa]	Vlhkosť [%]	
E2	16.-17.11.2010 22:00 - 04:00	28,1	971,8	54,1	9,0	972,0	86,6	dokončená, v prevádzke od 5/2010, bazény napustené
E3	15.-16.2.2013 22:55 - 03:15	28,0	978,6	61,6	0,7	977,5	85,4	2,5 roku po otvorení, bazény napustené
E4	21.-22.3.2014 22:30 - 04:30	29,5	970,5	56,6	12,8	970,3	50,2	3,5 roku po otvorení, bazény napustené

Tab. 4: prehľad etáp

5.4 Meračské práce

Pre geodetické meranie 4. etapy posunov a deformácií bola rovnako ako v predchádzajúcich etapách použitá polárna metóda s využitím prechodných stanovísk. Jednotlivé meračské značky osadené na konštrukcii boli merané v dvoch polohách a dvoch až troch skupinách. Pre zameranie podrobných bodov boli využité tri voľné stanoviská, ktorých poloha bola plánovaná s ohľadom na rozmiestnenie terčov na konštrukcii tak, aby boli zamerané všetky podrobné body a aby boli jednotlivé voľné

stanoviská vzájomne previazané duplicitným zameraním rovnakých bodov z viacerých stanovísk. Atmosférické korekcie boli počítané priamo v prístroji po zadaní nameraných hodnôt teploty a tlaku bezprostredne pred meraním.

Celé meranie prebiehalo v nočných hodinách v interiéri bazénovej haly. Pri meraní bolo nutné použiť dodatočné osvetlenie meračských značiek. Atmosférické podmienky (teplota, tlak, vlhkosť a rosný bod) boli snímané prístrojom Comet D4130. Vonkajšie podmienky boli zaznamenané pred začiatkom a po ukončení merania, podmienky v bazénovej hale boli snímané počas celého merania.

5.5 Spracovanie meraných dát

Pred výpočtom boli merané dĺžky vo všetkých vyhodnocovaných etapách opravené o hodnotu cyklickej korekcie. Zápisníky z meraní základnej a predchádzajúcej etapy boli prevzaté z predchádzajúcich etapových meraní. Určenie hodnôt cyklickej chyby prebiehalo v prípravnej fáze tejto práce na kalibračnej základni postupom, ktorý je popísaný v kapitole 4.2.2. Korekcie pre jednotlivé merané dĺžky boli získané pomocou lineárnej interpolácie z výsledných hodnôt, získaných kalibračným meraním (viď. *Príloha č.1*).

Pred výsledným vyhodnotením posunov a deformácií konštrukcie bolo taktiež nutné posúdiť relatívnu stabilitu nosnej konštrukcie, aby bolo možné určiť najstabilnejšie body konštrukcie, ktoré budú definovať vzťažnú súradnicovú sústavu pre vyhodnotenie posunov. Toto posúdenie prebiehalo pomocou vyhodnotenia relatívnych vzťahov medzi úložnými ložiskami jednotlivých nosníkov.

5.5.1 Vyhodnotenie stability úložných ložísk

Pre posúdenie stability úložných ložísk bola celá sieť predbežne vyrovnaná a boli určené súradnice jednotlivých bodov vo všetkých etapách v programe G-NET. Vyhodnocované boli zmeny v rozpätí ložísk nosníkov a vybočenie ložísk zo smeru (pozdĺžne a priečne posuny bodov). Os y je rovnobežná s pozdĺžnou osou nosníku, os x je na ňu kolmá, karteziánsky súradnicový systém je matematicky ľavotočivý.

Vybočenia ložísk zo smeru boli určované ako relatívne zmeny v ortogonálnych vytyčovacích prvkoch (staničeniach a kolmiciach) bodov osadených na kotviacich ložiskách. Vzťažné priamky pre toto vyhodnotenie boli volené rovnobežne so súradnicovou osou x , takže priečny posun (zmena staničenia) sa rozumie posun v smere osi x a pozdĺžny posun (zmena kolmice) je posun v smere osi y .

Z vyhodnotenia vybočení ložísk zo smeru vyplýva, že na bodoch osadených na horných ložiskách nosníkov, ktoré sú uložené na obvodovej stene objektu (južná strana konštrukcie), dochádza k väčším posunom ako na nižšie položených ložiskách, ktoré sú spojené s podlahou. Prejavujú sa hlavne vodorovné posuny bodov osadených na horných ložiskách, ktoré vzhľadom k základnej etape dosahujú hodnôt 2,4 až 5,0 mm

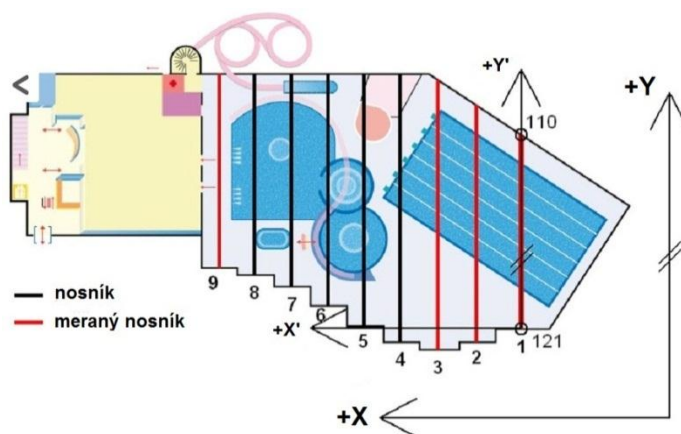
v pozdĺžnom smere a 1,0 až 3,7 mm v priečnom smere. Analýza teda jednoznačne potvrdila nižšie položené ložiská nosníkov sú stabilnejšie a preto je vhodné voliť fixný bod vzťažnej sústavy jeden z týchto bodov.

Po zhodnotení výsledkov boli pre definíciu vzťažnej sústavy ložiská nosníku č. 1.

5.5.1 Vyrovnanie aktuálnej etapy a predchádzajúcich etáp

Predmetom vyrovnania boli namerané dáta v 2. etape (základnej), predchádzajúcej 3. etape a v aktuálnej 4. etape.

Z výsledkov vyhodnotenia stability úložných ložísk konštrukcie vyplynula definitívna voľba vzťažnej súradnicovej sústavy s počiatkom v bode 121, umiestnenom na spodnom kotviacom ložisku nosníku č.1. Os y bola vložená do spojnice bodov 121 a 110, teda do spojnice kotviacich ložísk nosníku č.1. Orientácia osi x je smerom dovnútra konštrukcie (vid' Obr. 5.4)



Obr. 5.4: orientácia súradnicovej sústavy [18]

Pre jednoznačné umiestnenie siete v rovinnom súradnicovom systéme je pre siete so súčasným meraním uhlov a dĺžok nutné poznať alebo zvoliť minimálne 3 súradnice, alebo súradnice jedného bodu a smerník jednej strany z tohto bodu vychádzajúceho.

Vyrovnanie sietí prebiehalo v softvéri G-NET.

5.5.1.1 Vyrovnanie v programe G-NET

Program využíva vyrovnanie sprostredkujúcich veličín, výpočet prebieha zvlášť pre polohové a zvlášť pre výškové vyrovnanie siete.

Po importe zápisníku boli najskôr vyhladané hrubé chyby v meraní, resp. v číslovaní bodov pomocou prehliadnutia odchýlok viacnásobne meraných dĺžok a prevýšení. Potom boli vypočítané približné súradnice všetkých bodov siete, ktoré spolu s meranými veličinami pre vyrovnanie tvoria tzv. model vyrovnania. Nastavenie apriórnych stredných chýb meraných veličín vychádzalo s presnosťou udávanej výrobcom ($m_r^{\text{II}} = 5^{\text{cc}}$, $m_s = 2 + 2\text{ppm}$). Pred polohovým vyrovnaním bol nastavený ako fixný bod 121 a fixná súradnica x bodu 110.

Z vyrovnania je v softvéri dostupný protokol, v ktorom sú uvedené základné informácie ako celkový počet veličín, počet nadbytočných veličín, jednotková stredná chyba z vyrovnania, výsledok testu jednotkovej strednej chyby, zoznam vyrovnaných súradníc určených bodov s charakteristikami presnosti (stredné súradnicové chyby a parametre elíps chýb). Ďalej môže byť obsahom protokolu zoznam meraných veličín s ich opravami, normovanými opravami, vyrovnanými hodnotami a ďalšími údajmi.

Program umožňuje štatistické testovanie, pri ktorom je testovaný odhad jednotkovej strednej chyby pomocou jednostranného χ^2 -testu na zvolenej hladine významnosti 5%. V tomto teste sa testuje len prekročenie kritickej hodnoty. Ďalej môžu byť testované normalizované opravy z vyrovnania, ktoré sú testované obojstranným testom na normované normálne rozdelenie, taktiež na hladine významnosti 5%. Prekročenie kritickej hodnoty tohto testu je dôkazom toho, že veličina, ku ktorej sa oprava viaže, nezapadá do súboru odpovedajúceho základnej presnosti, ktorá je definovaná apriórnu strednou chybou danej veličiny.

Pri testovaní dodržania presnosti a posudzovaní vypovedacej schopnosti výsledkov vyrovnania je dôležitá informácia o počte nadbytočných veličín vo vyrovaní. Pri malom počte nadbytočných meraní majú chybové charakteristiky a tiež testovanie presnosti nízku vypovedaciu schopnosť. Počet nadbytočných meraní tiež rozhoduje o použití aposteriórnej jednotkovej strednej chyby ako štandardnej odchýlky pre výpočet charakteristík presnosti. Ak je ich počet vyšší ako medzný počet, ktorý je nastavený v programe (v tomto prípade 5), použije sa pre výpočet charakteristík presnosti vypočítaná hodnota aposteriórnej jednotkovej strednej chyby. V opačnom prípade by bola pre výpočet chybových charakteristík použitá definične daná hodnota 1. [34]

5.5.2 Výsledky vyrovnania

Najdôležitejšími výstupmi z vyrovnania sú výsledné vyrované súradnice bodov a ich charakteristiky presnosti. Presnosť výsledných súradníc je charakterizovaná strednými chybami jednotlivých súradníc (m_x , m_y , m_z), ktoré charakterizujú presnosť určenia polohy v smere súradnicových osí. Úplnú informáciu o polohovej presnosti bodu poskytuje stredná elipsa chýb, ktorá je daná veľkosťou svojich poloosí, ktoré sú dané veľkosťou extrémnych chýb m_{\max} , m_{\min} , a uhlom stočenia φ smeru hlavnej poloosi vzhľadom k osi x súradnicovej sústavy. Pre výpočet parametrov stredných elíps chýb je nutné poznať kovarianciu m_{xy} , ktorá charakterizuje mieru vzájomnej závislosti oboch súradníc.

O správnom priebehu vyrovnania a dodržaní apriórnej presnosti informujú výsledky štatistických testov.

Grafické znázornenie stredných elíps chýb v jednotlivých etapách je súčasťou *Prílohy č.2*.

5.5.3 Spôsob vyhodnotenia posunov

Hodnoty posunov resp. zmeny priestorovej polohy jednotlivých bodov boli získané porovnaním výsledných vyrovnaných súradníc bodov v jednotlivých etapách. Vyhodnotené boli posuny v 4. etape, ktorá bola meraná v rámci tejto práce, vzhľadom k predchádzajúcej a základnej etape. Vyhodnotenie zahŕňa určenie vodorovných a zvislých posunov jednotlivých bodov, určenie zvislých náklonov a vyhodnotenie mechaniky konštrukčných stykov jednotlivých nosníkov.

Zmeny v jednotlivých súradniciach medzi príslušnými etapami boli určené ako:

$$\Delta x = x_i - x_j$$

$$\Delta y = y_i - y_j$$

$$\Delta z = z_i - z_j$$

,kde i a j sú merané etapy, medzi ktorými je zmena vyhodnocovaná.

Vyhodnotenie výsledkov merania je číselné a grafické. Hodnoty zistené porovnaním etáp nie je možné automaticky prehlásiť za posuny. Pri rozhodovaní či nastal posun alebo sú namerané hodnoty produktom meračských chýb sa používa štatistické testovanie pomocou intervalov spoľahlivosti podľa nasledujúcich vzťahov:

$ \Delta x < m_{\Delta x}$... posun nenastal
$m_{\Delta x} < \Delta x < 2m_{\Delta x}$... posun mohol nastať, ale nebol preukázaný
$2m_{\Delta x} < \Delta x $... posun nastal (s pravdepodobnosťou 95%)[1]

,kde $m_{\Delta x}$ je úplná stredná chyba posunu $m_{\Delta x} = \sqrt{m_{x_i}^2 + m_{x_j}^2}$, určená ako odmocnina zo súčtu kvadrátov stredných chýb v jednotlivých porovnávaných etapách.

Ak je teda absolútna hodnota posunu väčšia ako dvojnásobok úplnej strednej chyby posunu, môžeme na zvolenej hladine významnosti $\alpha = 5\%$ (s 5% rizikom mylného zamietnutia) prehlásiť, že nastal posun.

Okrem pozdĺžnych, priečnych a zvislých posunov jednotlivých pozorovaných bodov boli vyhodnotené aj zvislé náklony mechanika konštrukčných stykov jednotlivých nosníkov.

Pre vyhodnotenie zvislých náklonov boli použité dvojice body umiestnené nad sebou v hornej a spodnej časti nosníku. Zvislé náklony určujú priečny náklon (náklon v smere osi x) hornej časti nosníku voči spodnej časti vzhľadom k predchádzajúcej resp. základnej etape. Keďže zvislá vzdialenosť medzi dvojicami bodov je rôzna, bola hodnota náklonu vždy prepočítaná na zvislú vzdialenosť 1m tak, aby boli hodnoty náklonov porovnateľné.

Pre vyhodnotenie mechaniky styku nosníkov boli vypočítané pozdĺžne a zvislé posuny bodov osadených na oboch stranách v blízkosti montážneho styku nosníkov. Ďalej bola vypočítaná a posudzovaná zmena pozdĺžnej vzdialenosti medzi dvojicami bodov osadených vedľa seba na oboch stranách montážneho spoju. Cieľom bolo zistiť

či dochádza k dotlačovaniu alebo roztáhovaniu v mieste spoju. Tiež boli určované etapové zmeny v zvislej vzdialenosti bodov umiestnených nad sebou v blízkosti styku.

Z rozboru presnosti vyhodnotenia posunov vyplýva, že priemerná medzná chyba pozdĺžnej a priečnej zložky posunu je $\delta_{\Delta Y} = \delta_{\Delta X} = 1,3 \text{ mm}$ a zvislej zložky $\delta_{\Delta Z} = 0,6 \text{ mm}$. Od týchto hodnôt je možné s pravdepodobnosťou 95% preukázať posuny jednotlivých bodov v pozdĺžnom, priečnom a zvislom smere.

5.5.4 Vyhodnotenie posunov

Posuny boli vyhodnotené porovnaním výsledných súradníc a výšok z vyrovnania MNS v programe G-NET. Porovnávaná bola aktuálna etapa s etapou predchádzajúcou a základnou. Všetky vyhodnocované etapy boli merané po dokončení výstavby objektu v jeho plnej prevádzke. Meranie všetkých etáp prebiehalo v nočných hodinách mimo otváracích hodín aquaparku, z čoho plynú takmer zhodné atmosférické podmienky vo vnútri bazénovej haly v dobe merania všetkých etáp.

Spoločnými faktormi, ktoré ovplyvňujú etapové zmeny strešnej konštrukcie sú vplyvy spolupôsobenia strešnej konštrukcie s nosnou konštrukciou haly. S tým súvisí uloženie nosníkov strešnej konštrukcie na nosných prvkoch haly. Všetky nosníky sú dvojklbové, nižšie položené ložiská jednotlivých nosníkov sú spojené s podlahou 1.NP a ich zvislou nosnou konštrukciou je stĺp uložený v 1.PP. Vyššie položené ložiská sú uložené na monolitickom železobetónovom nosnom múre objektu, ktorého celková výška je 7,2 m. V mieste nosníku č. 9 na obvodový múr nadväzuje stĺp, takže kotviace ložisko je na tejto strane uložené vo výške 9,3 m.

Ďalším faktorom, ktorý ovplyvňuje vývoj etapových zmien je rozmiestnenie bazénov a prítlač spôsobená naplnením bazénov vodou. Plavecký bazén je umiestnený pod vyhodnocovanými nosníkmi č. 1, 2 a 3 excentricky, bližšie k vyššie položeným ložiskám nosníkov. Jeho približná kubatúra činí 646 m^3 vody. Umiestnenie rekreačného bazénu a jeho kubatúra 335 m^3 najviac ovplyvňuje časť strešnej konštrukcie, kde sa nachádza sledovaný nosník č. 9.

Vplyvom zmeny vonkajších podmienok (teploty, vlhkosti, vplyv oslnenia konštrukcie) sa prejavuje tiež tepelná rozťažnosť materiálov.

5.5.4.1 Vyhodnotenie posunov vzhľadom k základnej etape

Zmeny v jednotlivých súradniciach v 4. etape vzhľadom k základnej etape boli vyhodnotené ako:

$$\Delta x = x_4 - x_2$$

$$\Delta y = y_4 - y_2$$

$$\Delta z = z_4 - z_2$$

Základná etapa bola meraná 7 mesiacov po dokončení výstavby objektu a pri porovnaní s aktuálnou etapou boli očakávané zistené väčšie hodnoty posunov a deformácií ako vzhľadom k etape predchádzajúcej. Keďže podmienky pri meraní týchto etáp boli takmer zhodné, sú etapové zmeny spôsobené predovšetkým vlastným dosadaním a dotvarovaním konštrukcie.

Štatistickým testovaním sa podarilo preukázať, že zo všetkých vyhodnocovaných posunov v smere jednotlivých súradnicových osí, u 71% posun nastal. ($t = 2, \alpha = 5\%$)

5.5.4.2 Vyhodnotenie posunov vzhľadom k predchádzajúcej etape

Zmeny v jednotlivých súradniciach v 4. etape vzhľadom k predchádzajúcej etape boli vyhodnotené ako:

$$\Delta x = x_4 - x_3$$

$$\Delta y = y_4 - y_3$$

$$\Delta z = z_4 - z_3$$

Predchádzajúca etapa bola približne 2,5 roku po dokončení objektu a približne rok pred aktuálnou etapou. Podmienky pri meraní týchto etáp vo vnútri bazénovej haly boli približne rovnaké, rozdiel medzi teplotou vonkajšieho prostredia pri meraní týchto etáp bol približne 10 °C. Zistené deformácie majú podobný charakter ako vzhľadom k základnej etape avšak ich hodnoty sú menšie.

Štatistickým testovaním sa podarilo preukázať, že zo všetkých vyhodnocovaných posunov v smere jednotlivých súradnicových osí, u 53% posun nastal. ($t = 2, \alpha = 5\%$)

5.5.5 Grafické znázornenie posunov

Dôležitou súčasťou vyhodnotenia posunov je ich grafické znázornenie. Zvolené spôsoby grafického znázornenia musia zachytávať a prehľadne zobrazovať všetky sledované zmeny danej konštrukcie.

V rámci tejto práce boli použité niekoľko spôsobov grafického znázornenia. V pôdoryse boli znázornené vektory horizontálnych posunov jednotlivých bodov. Taktiež bola pomocou vektorov pozdĺžneho a zvislého posunu znázornená mechanika styku jednotlivých nosníkov.

Najdôležitejšou časťou grafickej dokumentácie je znázornenie posunov bodov na jednotlivých nosníkoch v rezoch, ktoré okrem príslušného nosníku vyhodnocovanej strešnej konštrukcie obsahujú aj rez objektom bazénovej haly. Cieľom tohto znázornenia bolo podať informáciu o uložení nosníkov na zvislých a vodorovných nosných konštrukciách haly a tiež umiestnení plaveckého bazénu, pretože samozrejme dochádza k spolupôsobeniu strešnej konštrukcie a samotnej konštrukcie haly. V rezoch sú znázornené vektory pozdĺžneho a zvislého posunu jednotlivých bodov a zvislé náklony nosníkov.

Súčasťou grafického znázornenia sú aj modely zvislých, pozdĺžnych a priečných posunov, ktoré boli vytvorené v softvéri Atlas. V týchto modeloch sú posuny vyjadrené hypsometricky a pomocou izočiar.

6 Záver

Cieľom tejto práce bolo meranie, spracovanie a vyhodnotenie posunov a deformácií z etapových meraní strešnej konštrukcie Aquaparku v Brne – Kohoutovicích.

V prípravnej fáze bola skontrolovaná uhlová a dĺžková presnosť prístrojového vybavenia. Z testovania vyplynula voľba prístroja pre zameranie ďalšej etapy. Taktiež boli testované vlastnosti automatického cielenia, ktoré môže byť použité pre automatický monitoring sledovaného objektu v ďalších etapách, keďže je vhodným ekvivalentom k manuálnemu cieleniu, pretože eliminuje chyby spôsobené ľudským faktorom.

V rámci práce bola zameraná ďalšia etapa merania posunov a deformácii a vyhodnotením boli posuny vzhľadom k predchádzajúcej a základnej etape. Vyhodnotením týchto meraní boli zistené prebiehajúce zmeny polohy a tvaru konštrukcie po dokončení stavby a uvedení celého objektu aquaparku do prevádzky. Základná etapa bola meraná zhruba šesť mesiacov po dokončení objektu, predchádzajúca etapa sa uskutočnila približne dva a pol roka po dokončení a aktuálna etapa s odstupom roka po predchádzajúcej etape.

Okrem pozdĺžnych, priečnych a zvislých posunov jednotlivých pozorovaných bodov boli vyhodnotené aj zvislé náklony a mechanika konštrukčných stykov jednotlivých nosníkov.

Z vyhodnotenia vyplýva, že najvýznamnejšími prebiehajúcimi zmenami tvaru a polohy nosnej konštrukcie sú priehyb v strednej časti nosníkov a pozdĺžny posun (zmena rozpätia) medzi ložiskami nosníku.

Vyhodnotením posunov meranej etapy vzhľadom k základnej etape bol zistený priehyb v strednej časti nosníkov dosahujúci 7,4 až 14,9 mm a zmena rozpätia medzi ložiskami v rozmedzí 3,7 až 6,4 mm (vzájomné priblíženie ložísk). Odlišné správanie vykazuje nosník č. 9, ktorého hlavnou zložkou vodorovného posunu je posun v priečnom smere s hodnotami 1,9 až 5,4 mm smerom dovnútra bazénovej haly.

Z vyhodnotenia posunov meranej etapy vzhľadom k predchádzajúcej etape boli zistené maximálne hodnoty priehybu 3,7 mm a zmena rozpätia do hodnoty 1,7 mm. Posun v priečnom smere bol preukázaný hlavne na nosníku č. 9 s maximálnymi hodnotami 2,8 mm.

Použitá polárna metóda s využitím prechodných stanovísk sa ukázala ako vhodná a efektívna. Z rozboru presnosti vyhodnotenia posunov vyplýva, že priemerná medzná chyba pozdĺžnej a priečnej zložky posunu je $\delta_{\Delta Y} = \delta_{\Delta X} = 1,3 \text{ mm}$ a zvislej zložky $\delta_{\Delta Z} = 0,6 \text{ mm}$. ($t = 2; \alpha = 95\%$). Vzhľadom k presnosti merania a veľkosti zistených posunov v jednotlivých etapách bolo štatistickým testovaním preukázané, že zo všetkých vyhodnocovaných zmien v smere jednotlivých súradnicových osí pri vyhodnotení vzhľadom k základnej etape u 71% posun nastal a pri vyhodnotení vzhľadom k predchádzajúcej etape nastal posun u 53%. ($t = 2, \alpha = 5\%$).

Takto získané výsledky môžu byť použité k diagnostike tejto drevenej strešnej konštrukcie a k porovnaniu správania konštrukcie v reálnych podmienkach oproti teoretickému modelu.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] ŠVÁBENSKÝ, O., A. VITULA a J. BUREŠ. *Inženýrska geodézie I: Geodézie ve stavebnictví*. Brno, 2006
- [2] ŠVÁBENSKÝ, O., A. VITULA a J. BUREŠ. *Inženýrska geodézie II: Geodézie ve stavebních oborech*. Brno, 2007
- [3] BITTERER, L. *Geodézia*. 3. vyd. ALFA, 1990. 440 s. ISBN 80-05-00495-8
- [4] ČSN 73 0405. Měření posunů stavebních objektů. Praha: Český normalizační institut, 1997
- [5] ŠVÁBENSKÝ, O., A. VITULA a J. BUREŠ. *Inženýrská geodézie I: Návod k cvičením*. Brno, 2006
- [6] ABELOVIČ, J. a kolektiv.: *Meranie v geodetických sieťach*. 1. vyd. Bratislava : Alfa, 1990. 280 s. ISBN 80-05-00548-2
- [7] SCHENK, J. Měření pohybů a deformací v poklesové kotlině. Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1059-X
- [8] HANZL, V. Fotogrammetrie: Teoretické základy fotogrammetrie. Brno, 2006
- [9] FIG Commission 6: Engineering Surveys. [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupné z: http://www.fig.net/commission6/wgroups/wg6_1_11-14.htm
- [10] ERDÉLYI, J. a I. LIPTÁK. Monitoring mostného objektu technológiou TLS. In: 47. Geodetické informační dny. Brno: Český svaz geodetů a kartografů, Spolek zeměměřičů Brno, 2011, s. 5. ISBN 978-80-02-02350-0
- [11] ŠTUBŇA, J. a V. KOVÁČ. Aplikácia technológie GPS pri meraní lokálnej geodetickej siete a monitorovanie geodynamiky vodného diela Liptovská Mara. [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: http://www.topu.mil.sk/data/att/15646_subor.pdf
- [12] URBAN, R., M. ŠTRONER, L. VRÁBLÍK a Z. MATOUŠ. Měření průhybové čáry na Moste generála Chábery v Litoměřicích. In: *Geodézie ve stavebnictví a průmyslu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2013, s. 10. ISBN 978-80-02-02442-2
- [13] LIPTÁK, I., J. ERDÉLYI, P. KYRINOVIČ a A. KOPÁČIK. Kontinuálny monitoring Nového mosta cez Dunaj v Bratislave. In: *Aktuální problémy inženýrské geodézie 2012*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2012, s. 8. ISBN 978-80-02-02365-4
- [14] LIPTÁK, I., J. ERDÉLYI, A. KOPÁČIK a P. KYRINOVIČ. Poznatky z testovania automatizovaného meracieho systému na kontrolu mostných konštrukcií. In: *47. geodetické informační dny*. Brno: Český svaz geodetů a kartografů, Spolek zeměměřičů Brno, 2011, s. 5. ISBN 978-80-02-02350-0
- [15] HLAVÁČEK, P. Doprovodná měření kompenzačních injektáží na tunelu Dobrovského - Automatizované měření deformací. In: *XII. mezinárodní vědecká konference: Geodézie a kartografie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2009, s. 6. ISBN 978-80-7204-629-4

- [16] HOREJŠ, M., M. CHLUP a J. BUREŠ. Geodetický monitoring stavby retenční nádrže Jeneweinova v Brně. In: *Geodézie ve stavebnictví a průmyslu*. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební, 2013, s. 10. ISBN 978-80-02-02442-2
- [17] STRAKA, B. a M. ŠMAK. Halové stavby s dřevěnými obloukovými, vazníkovými a rámovými nosnými dílci. [Http://www.casopisstavebnictvi.cz/halove-stavby-s-drevenymi-obloukovymi-vaznikovymi-a-ramovymi-nosnymi-dilci_N442](http://www.casopisstavebnictvi.cz/halove-stavby-s-drevenymi-obloukovymi-vaznikovymi-a-ramovymi-nosnymi-dilci_N442) [online]. 2007 [cit. 2014-04-15]
- [18] BUREŠ, J., B. STRAKA a M. ŠMAK. Závěry z měření deformací vybraných dřevěných konstrukcí geodetickými metodami. In: *DŘEVOSTAVBY*. první. Volyně: Vyšší odborná škola a Střední průmyslová škola, s. 9. ISBN 978-80-86837-36-9
- [19] BUREŠ, J. a J. SLÁMA. Měření deformací ocelových střešních vazníků výrobní haly Výhybkárny Prostějov. In: *38. Geodetické informační dny*. ECON Publishing, s.r.o., 2002, s. 6. ISBN 80-86433-13-7
- [20] WEIGL, J., O. ŠVÁBENSKÝ a F. SOUKUP. Měření deformací střechy pavilonu „Z“ na Brněnském výstavišti. In: *Sborník příspěvků z česko-slovenské konference „EXPERIMENT ' 07“*. první. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2007, s. 6. ISBN 978-80-7204-543-3
- [21] BUREŠ, J. a B. STRAKA. Geodetické metody při měření přetvoření dřevěných konstrukcí velkých rozpětí. In: *Experiment-významný zdroj poznání a verifikace metod navrhování nosných stavebních konstrukcí Sborník Česko-Slovenské konference*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2004, s. 7. ISBN 80-7204-354-4
- [22] KMEŤ, S., J. KANÓCZ a M. TOMKO. Monitoring nosnej koštrukcie Steel Arény v Košiciach. In: *Sborník příspěvků z česko-slovenské konference "EXPERIMENT 07"*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2007, s. 6. ISBN 978-80-7204-543-3
- [23] KYRINOVIČ, P. a A. KOPÁČIK. Poznatky z testovania univerzálnej meracej stanice Leica TCRA 1201. In: *XII. mezinárodní vědecká konference: Geodézie a kartografie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2009, s. 6. ISBN 978-80-7204-629-4
- [24] KYRINOVIČ, P. Výsledky testovania systému ATR prístroja Leica TS30. In: *Aktuální problémy inženýrské geodézie 2012*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2012, s. 9. ISBN 978-80-02-02365-4
- [25] MAZALOVÁ, J., K. VALENTOVÁ a L. VLČKOVÁ. Ověření přesnosti vybraných totálních stanic. In: *XII. mezinárodní vědecká konference: Geodézie a kartografie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2009, s. 4. ISBN 978-80-7204-629-4.
- [26] ČSN-ISO-17123-3. Optika a optické přístroje: Terénní postupy pro zkoušení geodetických a měřických přístrojů - Část 3: Teodolity. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [27] GEODIS BRNO, s.r.o. Topcon: Uživatelský manuál: Automatická pulsní totální stanice: Řada GPT-9000A. Brno, 2006

- [28] BÖHM, J. Vyrovnávací počet. 1. vyd. Praha, 1964. ISBN 04-042-64
- [29] WEIGL, J. Teorie chyb a vyrovnávací počet I: Základní druhy vyrovnání (1.část). Brno, 2004
- [30] Aquapark Kohoutovice [online] [cit. 2014-02-01]. Dostupné z: <http://www.aquapark-kohoutovice.cz/>
- [31] STRAKA, B., M. NOVOTNÝ, J. KRUPICOVÁ, M. ŠMAK, K. ŠUHAJDA a Z. VEJPUSTEK. Konstrukce šikmých střech [online]. [cit. 2014-04-07]. ISBN 978-80-247-4205-2
- [32] STRAKA, B. Některé možnosti využití dřeva v nosných konstrukcích. [online]. 2011 [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby-nove/7319-nektere-moznosti-vyuziti-dreva-v-nosnych-konstrukcich>
- [33] BUREŠ, J., B. STRAKA a M. ŠMAK. Závěry z měření deformací vybraných dřevěných konstrukcí geodetickými metodami. [Http://stavba.tzb-info.cz/drevene-a-ocelove-konstrukce/9106-zavery-z-mereni-deformaci-vybranych-drevenych-konstrukci-geodetickymi-metodami](http://stavba.tzb-info.cz/drevene-a-ocelove-konstrukce/9106-zavery-z-mereni-deformaci-vybranych-drevenych-konstrukci-geodetickymi-metodami) [online]. 2012 [cit. 2014-04-07]
- [34] SEDLÁČEK, S. Programový systém G-NET: Souřadnicové výpočty v geodetických sítích, uživatelská příručka. Brno, 1997

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

- AMS – automatizovaný merací systém
ATR – automatic target recognition (automatické rozpoznanie cieľa)
MNŠ – metóda najmenších štvorcov
ppm – parts per million
PSM – súčtová konštanta systému prístroj – odrazný systém

ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha č. 1: výsledky kalibračných meraní.....7
Príloha č. 2: stredné elipsy chýb – grafické znázornenie.....3

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1: výsledky testu (postup podľa normy ČSN ISO 71123-3).....	21
Tab. 2: výsledky automatizovaného merania uhlov na dlhšie zámery.....	24
Tab. 3: výsledné súčtové konštanty a ich stredné chyby.....	26
Tab. 4: prehľad etáp	31

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 2.1: princíp trigonometrickej metódy [autor].....	11
Obr. 2.2: metóda zámernej priamky [autor]	11
Obr. 2.3: trigonometrická metóda [autor]	12
Obr. 2.4: polárna metóda [autor].....	12
Obr. 3.1: športová hala Bílovec [17]	17
Obr. 3.2: oceľové strešné konštrukcie – Sazka Aréna Praha (vľavo), Steel Aréna Košice (vpravo)	18
Obr. 4.1: Topcon GPT – 9001 A (vľavo), Topcon GTS – 300 (vpravo)	20
Obr. 4.2: schéma testovacieho merania [autor].....	23
Obr. 4.3: schéma merania [autor].....	25
Obr. 5.1: Objekt Aquaparku [26]	29
Obr. 5.3: interiér bazénovej haly [26]	30
Obr. 5.4: schéma nosníkov strešnej konštrukcie [33]	30
Obr. 5.7: orientácia súradnicovej sústavy [18].....	33