

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  
DŘEVĚNÉ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE VELKÉHO ROZPĚTÍ  
GEODETIC DEFORMATION MEASUREMENT OF WIDE-SPAN TIMBER ROOF STRUCTURES

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. JINDŘICH KARAS

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ BUREŠ, Ph.D.

BRNO 2013



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. JINDŘICH KARAS
<b>Název</b>	Geodetické měření posunů a deformací dřevěné střešní konstrukce velkého rozpětí
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	Ing. Jiří Bureš, Ph.D.
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	30. 11. 2012
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	24. 5. 2013
V Brně dne 30. 11. 2012	

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

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.  
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] DUBIŠAR 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**

Prostudujte s využitím odborné literatury problematiku měření posunů a deformací stavebních konstrukcí. Podílejte se na zaměření etapy posunů a deformací některé ze střešních konstrukcí velkého rozpětí. 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.

## **Předepsané přílohy**

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

**Abstrakt**

Cílem této diplomové práce je měření posunů a deformací dřevěné střešní konstrukce velkého rozpětí bazénové haly aquaparku v Brně - Kohoutovicích. Vlastní práce se zabývá měřením další etapy, zpracováním naměřených dat, vyhodnocením zjištěných posunů a deformací a jejich interpretací. Výsledky měření navazují na dvě měřené etapy z let 2009 a 2010. Součástí je testování přístrojového vybavení a použitých pomůcek při měření.

**Klíčová slova**

Kalibrační měření, deformace, posun, vyrovnání, etapové měření, interpretace

**Abstract**

The aim of this thesis is deformation measurement of wide-span timber roof structures of swimming pool in Brno - Kohoutovice. The thesis deals with measuring of other stage, processing of surveying data, evaluation of deformation and graphic interpretation. Results of measurements follows up two stages in years 2009 and 2010. The part of the thesis is calibration measurement of surveying instruments and used measuring accessories.

**Keywords**

Calibration measurement, deformation, displacement, adjustment, stage measurement, interpretation

## **Bibliografická citace VŠKP**

KARAS, Jindřich. *Geodetické měření posunů a deformací dřevěné střešní konstrukce velkého rozpětí*. Brno, 2013. 36 s., 3 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce Ing. Jiří Bureš, Ph.D..

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24.5.2013

.....  
podpis autora  
Jindřich Karas

**Poděkování:**

Tímto způsobem bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Jiřímu Burešovi, Ph.D. za teoretické rady a připomínky při realizaci a zpracování tématu práce.

V Brně dne 24.5.2013

## OBSAH

1. Úvod .....	9
2. Měření posunů a deformací stavebních objektů .....	10
3. Objekt zájmu .....	12
3.1. Střešní konstrukce .....	13
4. Přístrojové vybavení .....	15
4.1. Totální stanice Topcon GTS-300 .....	15
4.2. Testování přístrojového vybavení .....	15
4.2.1. Testování úhlooměru totální stanice .....	15
4.2.2. Testování dálkoměru .....	16
4.2.2.1. Určení adiční konstanty .....	16
4.2.2.2. Rozdíl délky měřené na odrazný hranol a odrazný terč .....	17
4.2.2.3. Zjištění vlivu úhlu dopadu na měřenou vzdálenost .....	18
4.2.2.4. Určení nulové a cyklické chyby .....	18
4.2.3. Ověření správnosti korekcí z cyklické chyby .....	19
5. Etapy měření .....	20
5.1. Měření posunů a deformací střešní konstrukce .....	20
5.2. Etapa č. 1 .....	20
5.3. Etapa č. 2 .....	21
5.4. Etapa č. 3 .....	22
6. Zpracování měřených dat .....	23
6.1. Korekce délek o cyklickou chybu .....	23
6.2. Korekce délek o úhel dopadajícího paprsku .....	23
6.3. Analýza naměřených dat .....	24
6.4. Vyrovnání měřených dat .....	25
7. Vyhodnocení a interpretace posunů a deformací .....	27
7.1. Teorie vyhodnocení posunů .....	27
7.2. Vyhodnocení posunů střešní konstrukce .....	27



7.3.	Grafické znázornění posunů.....	28
7.4.	Vyhodnocení posunů mezi etapami č. 1 a č. 2.....	28
7.5.	Vyhodnocení posunů mezi etapami č. 2 a č. 3.....	29
7.6.	Vyhodnocení posunů mezi etapami č. 1 a č. 3.....	30
8.	Závěr.....	31
9.	Seznam použité literatury.....	33
10.	Seznam použitých zkratk.....	34
11.	Seznam obrázků a tabulek.....	35
11.1.	Seznam obrázků.....	35
11.2.	Seznam tabulek.....	35
12.	Seznam příloh.....	36

## 1. ÚVOD

Dřevo jako stavební materiál má nezastupitelné místo v architektuře. Jeho hlavními výhodami jsou jeho dostupnost, vysoká pevnost v poměru k hmotnosti, dobré tepelně izolační vlastnosti. Kombinace dřeva s ocelovými spojovacími prvky umožňuje překlenout větší rozpětí a odlehčit konstrukci. Dřevo jako přírodní materiál má příznivý architektonický vzhled a je obecně dobře vnímáno člověkem.

Pro zjištění stability prostorové polohy stavebních konstrukcí se provádí měření posunů a deformací. Vlivy působící na konstrukce jsou: změny zatížení základové půdy, dynamické provozní účinky, kolísání hladiny spodní vody. U dřevěných konstrukcí má navíc na deformace vliv vlastní dosedávání a dotvarování konstrukce, teplota, vlhkost, působící vítr a přetížením sněhovou pokrývkou.

Cílem této diplomové práce je měření a vyhodnocení posunů a deformací dřevěné střešní konstrukce velkého rozpětí bazénové haly aquaparku v Brně - Kohoutovicích. Stavba byla zahájena v dubnu roku 2008 a dokončena byla v březnu roku 2010. Geodetické měření pro sledování posunů a deformací střešní konstrukce bylo provedeno trojicí etapových měření. Koncem roku 2009, kdy se výstavba komplexu blížila k závěru, bylo provedeno zaměření základní etapy. Následující dvě etapová měření proběhla za přibližné stejné podmínky po dokončení výstavby a uvedení aquaparku do provozu s odstupem od základní etapy 11 a 39 měsíců.

Před měřením bylo provedeno množství testovacích a kalibračních měření přístrojového vybavení včetně pomůcek pro zjištění jejich správné funkčnosti. Naměřená data byla zpracována a byly vyhodnoceny posuny střešní konstrukce, které byly vhodným způsobem graficky znázorněny.

## 2. MĚŘENÍ POSUNŮ A DEFORMACÍ STAVEBNÍCH OBJEKTŮ

Stavební objekty a konstrukce obecně podléhají různým vlivům, které působí na jejich stabilitu a tvar. Stavby ovlivňuje různé složení a změny zatížení základové půdy, různé stavy hladin podzemních vod, na konstrukce působí dynamické provozní účinky, výškové objekty jsou vystaveny vlivům slunečního záření a nárazům větru a na konstrukce působí změny vnitřního napětí vlivem dotvarování materiálu změnou teploty a vlhkosti vzduchu. Z tohoto důvodu dochází k posunům jednotlivých částí objektů a ke změně jejich tvaru. Měření posunů a deformací střešních konstrukcí se provádí pro zjištění stability její prostorové polohy. [1]

Problematikou měření posunů a deformací se zabývá technická norma ČSN 73 0405 *Měření posunů stavebních objektů*, kde je popsán účel a projekt měření. Dále jsou v normě uvedeny požadavky na přesnost a vlastní měření a v závěru je řešen způsob interpretace výsledků. [2]

Posun je dán prostorovou změnou polohy objektu nebo konstrukce vzhledem k základní poloze objektu popř. k poloze v předchozím měření. Velikost a směr posunů jednotlivých částí se určuje etapovým měřením vhodně stabilizovaných a osazených měřických značek na pozorovaném objektu, které musí zaručovat jejich trvanlivost po celou dobu měření. Z naměřených hodnot lze určit celkový posun objektu, případně změnu jeho tvaru. Frekvence opakování etapových měření se volí podle velikosti očekávaných posunů, kterým se v rámci rozborů přesnosti musí přizpůsobit přístrojové vybavení a technologický postup měření.

Měření lze určovat posuny relativní, které charakterizují změny v soustavě pozorovaných bodů, a absolutní, které charakterizují změny vzhledem k soustavě vztažných bodů. Posuny stavebních objektů se měří ve směru vertikálním a horizontálním. Ve směru vertikálním určujeme sedání a zdvih objektu, jeho průhyb nebo náklon. V horizontálním směru určujeme posuny ve vodorovné rovině, pootočení objektu nebo průhyb. Některými metodami měření lze určovat oba tyto posuny současně a určit tak prostorový posun. Změny tvaru neměříme přímo, ale odvozujeme je z vyhodnocených naměřených posunů.

Volbě míst osazení měřickými značkami pozorovaných bodů na konstrukci musí být věnována zvláštní pozornost a měla by být prokonzultována s projektantem a statikem, aby naměřené posuny správně charakterizovaly vlastní chování pozorovaného objektu.

Pozorované body je možné stabilizovat běžně používanými značkami, nebo lze využít jednoznačně identifikovatelné a pevné součásti konstrukcí, jako jsou hlavy šroubů popř. nýtů. V současné době, kdy se pro měření posunů využívají elektronické dálkoměry, bývají pozorované body stabilizovány pomocí odrazných nalepovacích terčů. Tyto terče jsou levné, nenápadné, lehce nahraditelné. Z tohoto důvodu bývají tyto terče aplikovány na zájmové body konstrukce za účelem sledování posunů a deformací, přičemž na konstrukci mohou zůstat připevněné trvale po dobu měření všech etap a dokonce po celou dobu provozu objektu. [1]

### 3. OBJEKT ZÁJMU

Zájmovou stavbou pro tuto práci je objekt aquaparku, který se nachází v Brně, v městské části Kohoutovice. Tento relativně nový plavecký areál patří mezi největší stavby svého druhu v Brně. Jeho provoz byl zahájen dne 14. dubna 2010. Stavba bazénového komplexu se nachází ve východní části Kohoutovic a její přibližné souřadnice jsou 49°11'36"N, 16°32'29"E. Lokalita je ohraničena ze severu ulicí Libušina třída, na západě ulicí Vaňhalova a z východu ji vymezuje ulice Chabalova. Autory projektu tohoto areálu jsou architekti z ateliéru K4. Stavba má svým organickým tvarem záměrně představovat kontrast k okolní betonové kvadratické zástavbě sídliště. [5]

Stavba areálu byla zahájena v roce 2008. Vlastní montáž dřevěné konstrukce byla započata v dubnu 2009. Po dokončení montáže nosné konstrukce spolu s opláštěním a s prosklenými stěnami v listopadu 2009 následovala montáž ocelové konstrukce tobogánové věže, spojovacích lávek a schodišť. [8]

Objekt zahrnuje plavecký bazén se šesti drahami, relaxační bazén s vodními atrakcemi, dětské brouzdaliště a v případě letních dnů je k dispozici menší střešní venkovní bazén. Dále se v areálu nachází tobogán, whirlpool, sauna a pára a také je tu k dispozici posilovna a občerstvení. Dispozičně je komplex rozdělen na dvě části. Provozní prostory zahrnující vstupní halu, šatny a prostory pro doplňkové pohybové aktivity. Druhou část tvoří samotné bazénové prostory. [5]



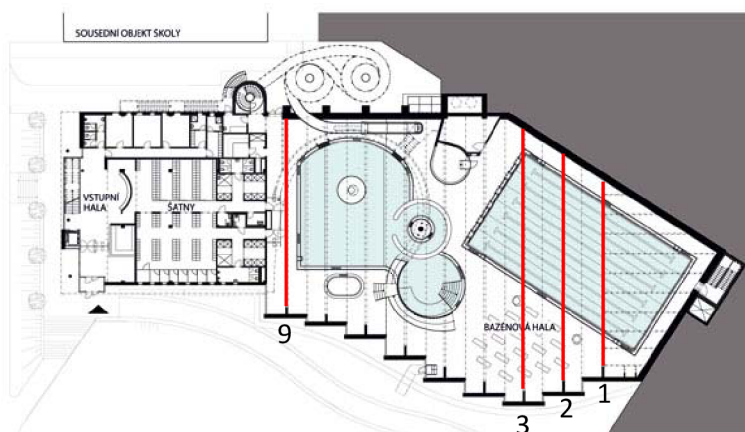
**Obr. 1 Pohled na bazénový komplex [11]**

Vlastní stavba bazénového komplexu svým tvarem připomíná ležícího "amorfního pásovce" (Obr. 1). Základní objemy obou částí jsou materiálově a výrazově odlišeny. Vstupní a provozní objekt je opatřen fasádou z dřevěných obkladů. Krycí vrstva střešního a stěnového pláště bazénové haly je z tmavě šedého títanzinkového plechu. Jižní fasáda haly je plně prosklená a opatřená hliníkovými lamelami, které slouží jako protisluneční ochrana. Stěna vstupního přízemí je také z velké části prosklená. Rovnoměrné přirozené osvětlení v bazénové hale je zajištěno právě pomocí prosklených pruhů, které jsou rovněž mezi jednotlivými segmenty haly. [7] [8]

Jako základní konstrukční materiál bylo architekty zvoleno lepené lamelové dřevo. Předností tohoto materiálu je využití moderní technologie při výrobě lepených prvků, která umožňuje navrhovat konstrukce velkých rozpětí a požadovaných tvarů. Základní prvky a dílce nosné konstrukce jsou vyrobeny z lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti SA (GL 24). Bazénová hala představuje ojedinělou konstrukci, která se odlišuje od obvyklých dřevěných konstrukčních systémů. Je to dáno především specifickým uspořádáním lepených prvků v nosném systému a velkou dimenzí hlavní rámu segmentů, kdy výška lepeného průřezu v oblasti zakřivených rámových rohů dosahuje téměř tří metrů. [8]

### **3.1. Střešní konstrukce**

Nosná střešní konstrukce je tvořena lepenými lamelovými dřevěnými nosníky, které jsou schopny odolávat vlhkostně a tepelně náročným podmínkám, které panují právě v prostředí bazénové haly. Nosná konstrukce je tvořena celkem 9-ti nosníky, které mají specifické uspořádání a každý nosník má proměnné rozpětí od 25 do 35 m (viz Obr. 2).



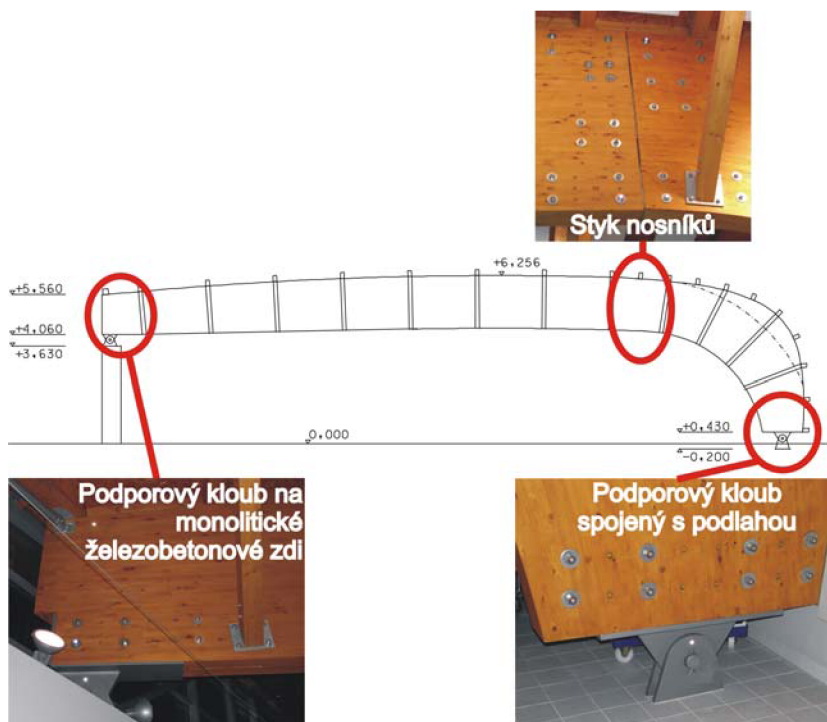
**Obr. 2 Sledované nosníky střešní konstrukce [13]**

Pro sledování posunů a deformací střešní konstrukce byly vybrány 4 nosníky. Po konzultaci s projektantem byl zvolen počet a rozmístění pozorovaných bodů tak, aby byl co nejlépe vystihnout celkový průběh posunů a deformací a aby z výsledků měření bylo možné určit chování celé střešní konstrukce. Pozorované body byly signalizovány nalepovacími odraznými terči Sokkia RS30N o standardním rozměru 30 x 30 mm, který byl před nalepením na nosnou střešní konstrukci upraven.



**Obr. 3 Nalepovací odrazný terč Sokkia [autor]**

Odrasné terče byly osazeny na horním i dolním podporovém kloubu, v místě nad kotevním ložiskem. Dále byly značky osazeny vždy ve dvojicích v horní a dolní části nosníku, nad horním podporovým kloubem, v polovině rozpětí a v místě montážního spoje zakřivení nosníku, kde byly značky osazeny po obou stranách spoje. Navíc byly na nosníku č. 9 nalepovací terče osazeny po dvojici nad spodním podporovým kloubem na levé a pravé straně. Dřevěná střešní konstrukce, její ukotvení a styk obou částí nosníku je znázorněn na Obr. 4.



**Obr. 4 Ukázka ukotvení a styku nosníku č. 1 [autor]**

## 4. PŘÍSTROJOVÉ VYBAVENÍ

### 4.1. Totální stanice Topcon GTS-300

Pro měření posunů a deformací střešní konstrukce byla použita totální stanice Topcon GTS - 300, která je vybavena fázovým elektronickým dálkoměrem s přesností  $m_s = 2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ . Směrodatná odchylka ve vodorovném směru měřeného ve dvou polohách dalekohledu přístroje je  $m_r = 0,4 \text{ mgon}$  (1,3").

Tab. 1 Tech. parametry Topcon GPT-300

Topcon GTS-300	
Přesnost dálkoměru	$2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$
Přesnost měření směru	0,4 mgon
Zvětšení dalekohledu	30 x
Délka jednot. vlny EDM	10 m
Frekvence EDM	15 MHz



Obr. 5 Topcon GPT-300 [autor]

### 4.2. Testování přístrojového vybavení

Geodetické metody měření posunů a deformací představují jedny z nejnáročnějších aplikací klasických a moderních měřických postupů s ohledem na požadovanou vysokou přesnost a spolehlivost výsledků [9]. Z tohoto důvodu bylo nutné před zahájením vlastního měření dřevěné střešní konstrukce provést množství testovacích a kalibračních měření přístrojového vybavení včetně pomůcek pro zjištění jeho správné funkčnosti, popřípadě určení korekcí pro zpřesnění určitých měřených veličin. Testována byla totální stanice Topcon GTS-300 a odrazný systém nalepovacího odrazného terče Sokkia RS30N.

#### 4.2.1. Testování úhloměru totální stanice

Zkouška přesnosti měření vodorovného a zenitového úhlu totální stanicí Topcon GTS-300 byla provedena dle normy ČSN ISO 8322-4 *Určování přesnosti měřících*



*přístrojů část 4: Teodolity.* [15] Kalibrační měření proběhlo v laboratorních podmínkách učebny B150, VUT FAST.

V místnosti byly z pevného stanoviska vytyčeny čtyři cíle A, B, C, D přibližně po 90° tak, aby bylo zajištěno pravidelné pokrytí celého vodorovného kruhu. Poloha přístroje a cílů byla po celou dobu měření neměnná, díky nucené centraci na pilíři a dobře viditelných nalepovacích terčů. Celkem byla tato osnova zaměřena v 5-ti skupinách. Vyhodnocením byla zjištěna směrodatná odchylka ve vodorovném směru a úhlu měřeného ve dvou polohách a směrodatná odchylka svislého úhlu měřeného ve dvou polohách. Získané výsledky (viz Tab. 2) odpovídají hodnotám udávaných výrobcem.

**Tab. 2 Směrodatné odchylky úhloměru totální stanice**

<b>Hodnoty směrodatných odchylek</b>	
ve vodorovném směru	0,4 mgon
ve vodorovném úhlu	0,5 mgon
v zenitovém úhlu	0,3 mgon

#### **4.2.2. Testování dálkoměru**

Přesnost elektronických dálkoměrů je obecně definována výrobcem pomocí vztahu  $m_s = a \text{ mm} + b \text{ ppm}$ , kde  $a$  je složka konstantní a složka  $b$  je závislá na měřené vzdálenosti. [11] V našem případě budeme složku  $b$  zanedbávat, neboť námi měřené vzdálenosti nepřesahují hodnotu 100 m. Konstantní složka  $a$  v sobě zahrnuje vliv nulové a cyklické chyby.

##### **4.2.2.1. Určení adiční konstanty**

Mezi nejvýznamnější chyby elektronického dálkoměru patří nulová chyba, která ovlivňuje konstantně všechny měřené vzdálenosti bez ohledu na jejich velikost. Tato chyba je způsobena netotožností elektronického a mechanického středu přístroje. Nulová chyba se projevuje stejným způsobem jako adiční konstanta a je nutné ji určit vždy bez ohledu na vlastní využití dálkoměru. [11]

Adiční (součtová) konstanta elektronického dálkoměru byla určena trojicí různě dlouhých úseků měřených na referenční hranol Leica GPH1P a minihranol Nikon, z nichž každý úsek byl postupně realizován trojpodstavcovou soupravou. Zkouška dálkoměru proběhla na chodbě 4. NP Ústavu automatizace inženýrských úloh a informatiky (dále jen

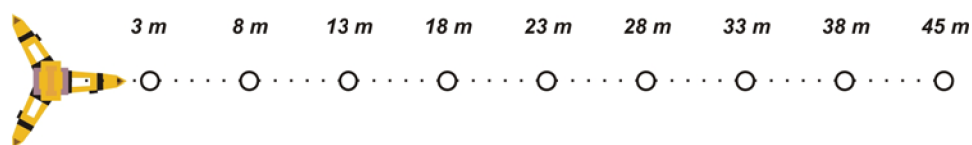
AIU) budovy B, VUT FAST. Při měření byl kladen důraz na to, aby byly stativy zařazeny do přímky a aby byly přibližně ve stejné výšce. Před měřením byly v totální stanici nastaveny atmosférické podmínky teplota, tlak při měření a hodnota součtové konstanty PSM byla nastavena 0,0 mm. Hodnota součtové konstanty byla určena vztahem  $PSM_i = c_i - (a_i + b_i)$  [12]. Výsledné součtové konstanty odrazných hranolů byly získány aritmetickým průměrem z výsledků tří úseků.

#### 4.2.2.2. Rozdíl délky měřené na odrazný hranol a odrazný terč

Odrazné nalepovací terče jsou levné, nenápadné, lehce nahraditelné. Z tohoto důvodu bývají aplikovány na zájmové body konstrukce za účelem sledování posunů a deformací, přičemž na konstrukci mohou zůstat připevněné trvale po dobu měření všech etap a dokonce po celou dobu provozu objektu. Nicméně jejich odrazné vlastnosti nejsou tak dokonalé jako u přesných odrazných hranolů, a proto bylo potřeba provést testovací měření.

Testovací měření mělo za úkol určit rozdíl měřené vzdálenosti na referenční hranol Leica GPH1P a na nalepovací odrazný terč Sokkia RS30N. Měření opět proběhlo na chodbě 4. NP ústavu AIU, budovy B, VUT FAST dle [13].

Na jedné straně chodby bylo zvoleno stanoviště pro přístroj. Směrem od přístroje byl ve vzdálenosti cca 3m postaven stativ a bylo provedeno 10 měření na odrazný hranol a 10 měření na odrazný terč vždy v obou polohách dalekohledu. Při dalším měření byl stativ vždy posunut o 5 metrů směrem od přístroje (viz Obr. 6). Pro porovnání odrazného terče a hranolu byla využita nucená centrace, kdy byl nalepovací terč nalepen na terči Zeiss, který byl s pomocí redukce zaměněn v trojnožce za odrazný hranol (viz Obr. 7).



**Obr. 6 Schéma testování odrazných systémů [autor]**

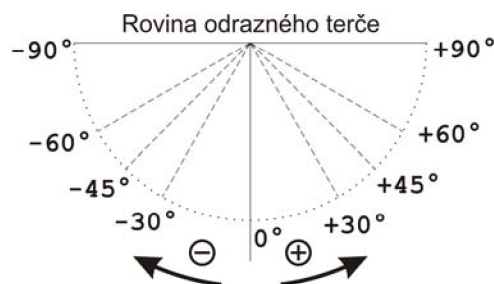


**Obr. 7 Testovaný odrazný systém [autor]**

#### **4.2.2.3. Zjištění vlivu úhlu dopadu na měřenou vzdálenost**

V praxi bývají nalepovací odrazné terče pevně připevněny ke konstrukci a při měření vzdálenosti dopadá signál z dálkoměru na rovinu odrazného terče pod různým úhlem. Cílem testování bylo určit vliv úhlu dopadajícího signálu do roviny odrazného terče na měřenou vzdálenost.

Testovací měření proběhlo souběžně s určováním odchylky měřené vzdálenosti na hranol a terč. Bylo provedeno vždy 10 měření vzdálenosti na odrazný terč Sokkia nalepený na terči Zeiss, přičemž byl měněn úhel stočení terče vzhledem ke směru totální stanice od  $-60^\circ$  do  $+60^\circ$ , kdy hodnota stočení  $0^\circ$  byla považována za referenční. (viz Obr. 8) Výsledkem testování byla tabulka korekcí pro úhly dopadu paprsku do roviny odrazného terče.



**Obr. 8 Schéma určení úhlu dopadu [autor]**

#### **4.2.2.4. Určení nulové a cyklické chyby**

Při zpracování testovacích měření odrazných hranolů a nalepovacího terče byly zjištěny různé odchylky na různé vzdálenosti, které dosahovaly hodnot  $\pm 2$  mm. Z tohoto důvodu byla v rámci testování přístroje ověřena cyklická chyba elektronického dálkoměru.

Tato chyba se objevuje v měřených hodnotách jako periodická funkce jednotkové vlny a její průběh je obvykle sinusový s vlnovou délkou rovné jednotkové délce EDM. Obecně je cyklická chyba funkcí vnitřního měřiče cyklů elektronického dálkoměru [11].

Kalibrační měření bylo provedeno pro odrazný hranol Nikon a nalepovací odrazný terč Sokkia na chodbě 4. NP AIU budovy B, VUT FAST. Před zahájením testovacího měření bylo z jedné strany chodby napnuto 30 m komparované ocelové pásmo, přičemž byl kladen důraz na napínací sílu a byla měřena teplota stuhu pásma, aby bylo možné zavést korekce z teplotní roztažnosti stuhu pásma.

Nad pásmem v nominální hodnotě 30 m byl opticky zcentrován přístroj. Délka jednotkové vlny elektronického dálkoměru činí 10 m. Cyklická chyba byla určována po vzdálenosti 1/10 délky jednotkové vlny. Z tohoto důvodu byl odrazný systém opticky centrován vždy po jednom metru směrem od přístroje do konce pásma. Následně byl přístroj přenesen na druhou stranu základny a celé pásmo bylo opět proměřeno. Optická centrace byla na jednotlivých bodech prováděna pomocí optického provažovače teodolitu Zeiss THEO 015B. Bylo předpokládáno, že cyklická chyba bude dosahovat hodnot  $\pm 2$  mm, a proto byla optická centrace dostatečně přesná pro zjištění jejího průběhu.

Výsledkem testování byly korekční tabulky v kalibračních listech pro měření na odrazný hranol Nikon a terč Sokkia. Hodnoty korekcí cyklické chyby byly vyneseny do grafu, z kterého je patrná periodicitu chyby, jejíž vlnová délka je dle výrobce 10 m.

#### **4.2.3. Ověření správnosti korekcí z cyklické chyby**

Ověření, zda zavedení korekcí z cyklické chyby zpřesní měřenou vzdálenost, bylo provedeno zkušebním zavedením korekcí z vytvořených korekčních tabulek do naměřených dat.

## 5. ETAPY MĚŘENÍ

Dřevěná střešní konstrukce bazénové haly je sledována od roku 2009, kdy byla střešní konstrukce dokončena. Celkem byly provedeny 3 etapová měření střešní konstrukce, kdy byly pro měření vybrány 4 z celkových 9 dřevěných nosníků.

**Tab. 3 Přehled etapových měření**

Etapa	Datum	Čas	Meteodata uvnitř objektu		Meteodata vně objektu	
			Teplota [°C]	Vlhkost [%]	Teplota [°C]	Vlhkost [%]
č. 1	4.12.2009	11:00 -14:00	6,0	74,3	3,6	86,1
č. 2	16. – 17.11.2010	22:10 - 03:40	27,8	52,9	9,1	86,9
č. 3	15. – 16.2.2013	22:55 - 03:15	27,7	63,7	0,1	81,8

### 5.1. *Měření posunů a deformací střešní konstrukce*

Etapová měření posunů a deformací dřevěné střešní konstrukce byla provedena prostorovou polární metodou s měřením viditelných zájmových bodů z několika volných stanovisek. Během měření byla snaha o vzájemné provázání volných stanovisek v rámci etapy tak, že byly měřeny stejné podrobné body z více stanovisek. Poloha volných stanovisek byla vybírána s ohledem na množství viditelných zájmových bodů. Měření osnovy směřů na volném stanovišti proběhlo ve dvou až čtyřech skupinách a v obou polohách přístroje.

Současně s měřením podrobných bodů byla prováděna registrace atmosférických podmínek uvnitř i vně bazénové haly, jako jsou teplota, tlak, vlhkost vzduchu a rosný bod. Data byla automaticky registrována do paměti přístroje Comet D4130 a zaváděla se do přístroje pro fyzikální korekci měřené délky (viz Tab. 3).

### 5.2. *Etapa č. 1*

Základní etapa (etapa č. 1) byla měřena v prosinci roku 2009, kdy se výstavba aquaparku blížila ke konci. V této etapě byla dokončena střešní konstrukce, plavecký a rekreační bazén nebyly napuštěny, přičemž byl napuštěn pouze whirlpool. V listopadu téhož roku, tedy přibližně měsíc před měřenou etapou byl napuštěn plavecký bazén, kde proběhla testovací měření těsnosti izolace bazénu (viz Obr. 9) a následně byl vypuštěn.

Rekreační bazén zatím nebyl napuštěn. V této etapě nebyla bazénová hala vytápěná a teploty při měření se pohybovaly okolo 6 °C.



**Obr. 9** Pohled zevnitř bazénové haly před dokončením

### **5.3. Etapa č. 2**

Etapa č. 2 proběhla v listopadu roku 2010 s odstupem 11-ti měsíců od základní etapy. V této době byl bazén již 7 měsíců v plném provozu a měření proběhlo v nočních hodinách mimo otevírací dobu aquaparku. Podmínky této etapy byly odlišné od základní etapy. (Viz Tab. 3).



**Obr. 10** Pohled zevnitř bazénové haly

#### **5.4.      *Etapa č. 3***

Etapa č. 3 byla měřena v únoru roku 2013 s odstupem 39-ti měsíců od základní etapy a 28 měsíců od předchozí etapy č. 2. Měření této etapy proběhlo za provozu bazénového komplexu v nočních hodinách mimo otevírací dobu aquaparku za podobných podmínek jako etapa č. 2.

## 6. ZPRACOVÁNÍ MĚŘENÝCH DAT

Naměřená data byla opravena o korekce z cyklické chyby a o vliv úhlu dopadajícího paprsku do roviny odrazného terče. Korekce byly získány z vytvořených korekčních tabulek uvedených v kalibračních listech.

### 6.1. *Korekce délek o cyklickou chybu*

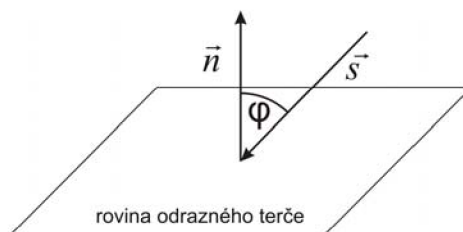
Z testování přístrojového vybavení byly získány korekční tabulky pro eliminaci vlivu cyklické chyby elektronického dálkoměru při použití odrazného systému nalepovacího terče Sokkia. Naměřená data byla redukována v závislosti na hodnotě měřené vzdálenosti, kdy konkrétní hodnota korekce z korekční tabulky byla získána pomocí lineární interpolace.

### 6.2. *Korekce délek o úhel dopadajícího paprsku*

Zavedení korekcí měřených délek způsobené vlivem úhlu dopadajícího paprsku do roviny odrazného terče proběhlo s pomocí lineární interpolace z korekční tabulky pro úhly stočení od  $-60^\circ$  do  $+60^\circ$ . Dále byla pro určení korekcí využita analytická geometrie, kdy byl pro každou měřenou vzdálenost určen prostorový vektor.

Před zavedením těchto korekcí byl proveden výpočet přibližných souřadnic všech podrobných bodů včetně stanovisek. Počátek každého vektoru byl tvořen polohou stanoviště a směrem na měřený bod. Rovina všech odrazných terčů byla určena normálovým vektorem kolmým k jejich rovině, kdy byl předpoklad nalepení všech odrazných terčů v rovnoběžných rovinách.

Úhel dopadajícího paprsku elektronického dálkoměru do roviny odrazného terče byl určen vztahem  $\sin \varphi = \frac{|\vec{n} \cdot \vec{s}|}{\|\vec{n}\| \cdot \|\vec{s}\|}$ , kde v čitateli uvažujeme absolutní hodnotu, abychom počítali s ostrým úhlem  $\varphi$ . [20]



Obr. 11 Úhel dopadu paprsku do roviny odrazného terče [autor]

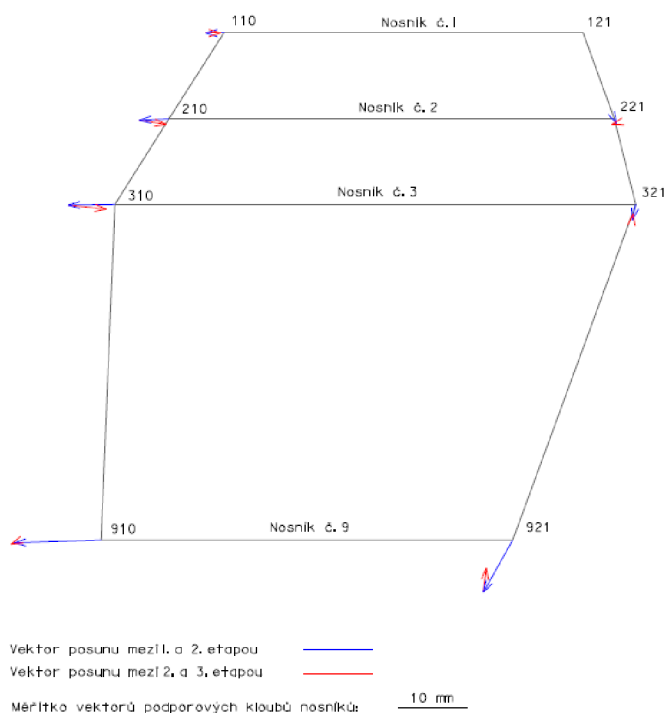


Zkušební vyrovnání s korekcemi vlivu úhlu dopadajícího paprsku do roviny odrazného terče nebylo jednoznačné a ani nepřineslo zpřesnění vyrovnání, ale naopak došlo k mírnému zhoršení, proto tato korekce nevstupovala do následných vyrovnání.

### 6.3. *Analýza naměřených dat*

Před vyhodnocením posunů bylo potřeba ověřit relativní stabilitu a chování nosné konstrukce mezi měřenými etapami. Na počátku bylo nutné určit, které podporové klouby nosníků jsou nejstabilnější a budou brány jako výchozí, tedy budou definovat průběh souřadnicového systému.

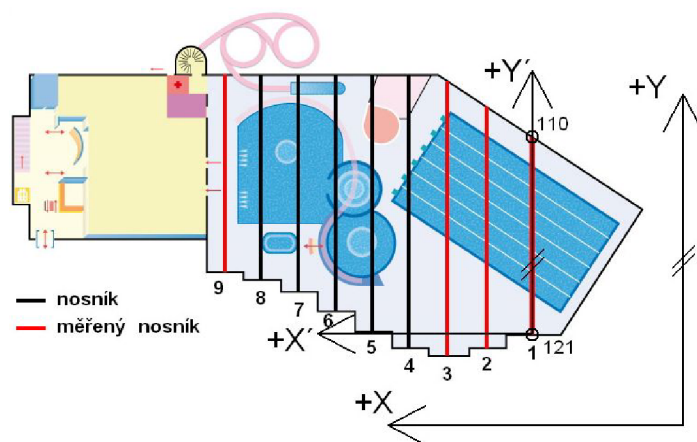
Předběžným vyrovnáním byly určeny souřadnice všech podrobných bodů. Analýza byla provedena v příčném směru porovnáním vodorovných vzdáleností a převýšení dvojic bodů na podporových kloubech na jednotlivých nosnících v jednotlivých etapách. Ve směru podélném byla analýza provedena srovnáním vodorovných spojnic a převýšení bodů po obou stranách bazénové haly. Na závěr analýzy byly schematicky vyneseny vektory polohových posunů mezi jednotlivými etapami (viz Obr. 12). Z výsledků analýzy bylo zjištěno, že k největším deformacím dochází na nosníku číslo 9. K nejmenším deformacím dochází na nosníku číslo 1.



**Obr. 12 Analýza stability podporových kloubů [autor]**

## 6.4. Vyrovnání měřených dat

Z výsledků analýzy bylo zjištěno, že nejstabilnější částí nosné střešní konstrukce bazénové haly jsou horní a dolní podporový kloub nosníku č. 1. Z tohoto důvodu byla zvolena orientace a poloha souřadnicové soustavy tak, že osa Y byla rovnoběžně odsazena od spojnice bodů č. 121 a 110 na podporových kloubech nosníku č. 1 a osa X směřovala směrem do haly (viz Obr. 13). Vyrovnání naměřených dat bylo provedeno v softwaru G-NET. Síť byla vyrovnána s jedním fixním bodem č. 121 a pevným směrničkem z bodu č. 121 na bod č. 110.



**Obr. 13 Volba umístění souřadnicové soustavy [11]**

Vyrovnání je obecně proces, při kterém se hledá nejlepší řešení pro přeurčenou úlohu. Přeurčeností se rozumí skutečnost, že bylo naměřeno více údajů (veličin), než je nezbytně nutné pro prostý výpočet. Pro vyrovnání se vyžadují tzv. nadbytečné veličiny, které umožňují hledání nejlepšího řešení [16].

Metoda nejmenších čtverců (MNČ) je metoda vyrovnání, kde kritériem optimálnosti řešení je součet čtverců oprav měřených veličin, tedy musí platit podmínka  $v^T P v = \min$  [17].

Apriorní střední chyba je předpokládaná střední chyba určité měřené veličiny, jejíž hodnota je závislá na metodě měření a použitých přístrojích, popř. na osobní chybě měřiče.

Jednotková střední chyba je střední chyba jednotkové váhy. Ve vyrovnávacích modelech systému G-NET se bere jako předpoklad, že její hodnota je rovna 1. To je výchozím předpokladem pro testování dodržení uvedené přesnosti měření použitím

aposteriorní jednotkové střední chyby. Ta je odvozena při vyrovnání ze součtu čtverců oprav. [16]

Počet nadbytečných veličin úzce souvisí s vyrovnáním MNČ a s testováním dodržení přesnosti. Vyjadřuje, o kolik počet měřených veličin překračuje počet veličin nutných. Přitom počtem veličin nutných rozumíme takový nejmenší počet veličin, který postačuje k jednoduchému výpočtu souřadnic (výšek) bodů sítě. Lze tvrdit, že čím více je nadbytečných veličin ve vyrovnání, tím více může být vlastní vyrovnání kvalitnější a chybové charakteristicky spolehlivější.

Apriorní přesnost měření byla v programu G-NET nastavena následovně:

$m_{dkm} = 2 \text{ mm}$	Střední km chyba délky v mm
$m_{dabs} = 2 \text{ mm}$	Absolutní střední chyba délky v mm
$m_{SMER} = 0,0004^g$	Střední chyba směru
$m_{ZENIT} = 0,0003^g$	Střední chyba zenitového uhlu
$m_{DZ3} = 0,0001 \text{ m}$	Střední chyba převýšení

## 7. VYHODNOCENÍ A INTERPRETACE POSUNŮ A DEFORMACÍ

### 7.1. *Teorie vyhodnocení posunů*

Vyhodnocení výsledků měření je číselné a grafické. Číselné výsledky se uvádí ve formě přehledných tabulek seřazených v časovém sledu jednotlivých etap měření posunů. Při malých hodnotách zjištěných posunů je někdy problematické rozhodnout, zda nastal posun či zda jsou naměřené hodnoty pouze produktem měřických chyb. Zde se často uplatňuje statistické testování pomocí intervalů spolehlivosti podle následujících vztahů. [18]

Naměřený posun  $\Delta x_{i,j}$  je určený vztahem  $\Delta x_{i,j} = x_j - x_i$ , kde  $x_j$ , resp.  $x_i$  jsou výsledné souřadnice získané měřením v  $j$ -té, resp.  $i$ -té etapě. Pro statistickou analýzu je nezbytné znát charakteristicky přesnosti pozorovaných bodů z měřených etap. Úplná střední chyba posunu  $m_{\Delta x_{i,j}}$  je určena vztahem  $m_{\Delta x_{i,j}} = \sqrt{m_{x_i}^2 + m_{x_j}^2}$ , kde  $m_{x_i}$ , resp.  $m_{x_j}$  jsou střední chyby sledovaných bodů měřených v  $j$ -té, resp.  $i$ -té etapě. Statistické testování se provádí pomocí intervalů spolehlivosti podle následujících vztahů:

$$\begin{aligned} |\Delta x_{i,j}| < m_{\Delta x_{i,j}} & \quad \text{posun nenastal} \\ m_{\Delta x_{i,j}} \leq |\Delta x_{i,j}| \leq t \cdot m_{\Delta x_{i,j}} & \quad \text{posun mohl nastat, ale nebyl prokázán} \\ t \cdot m_{\Delta x_{i,j}} < |\Delta x_{i,j}| & \quad \text{posun nastal na hladině významnosti } \alpha \text{ [18]} \end{aligned}$$

Koeficient spolehlivosti pro statistické testování volíme  $t = 2$ , kde je hladina významnosti  $\alpha = 5\%$ , což představuje 5% riziko nesprávného vyhodnocení. Obdobně lze provést statistické testování pro posuny  $\Delta y_{i,j}$  a  $\Delta z_{i,j}$ .

### 7.2. *Vyhodnocení posunů střešní konstrukce*

Vyhodnocení posunů a deformací dřevěné střešní konstrukce bylo provedeno srovnáním výsledných souřadnic a výšek s charakteristikami přesnosti pozorovaných bodů tří měřených etap získaných z vyrovnání MNČ programem G-NET. Měřená etapa byla vždy srovnána s etapou předcházející a etapou základní. Výsledné posuny byly vyhodnoceny statistickým testem na hladině významnosti  $\alpha = 5\%$ . Vyhodnocovány byly

posuny v příčném a podélném směru, dále ve svislém směru a náklony jednotlivých nosníků.

Z analýzy přesnosti jednotlivých etap měření činí průměrná hodnota rozšířené nejistoty etapové deformace  $\delta\Delta = 1,9$  mm (pro  $t = 2$ ,  $P = 0,95$ ,  $\alpha = 5$  %).

Pro určení svislých náklonů byly použity body umístěné na nosnících ve dvojicích nad sebou. Cílem bylo určit, jakých svislých náklonů dosahují nosníky při srovnání jednotlivých měřených etap. Hodnoty náklonů byly přepočteny na 1 m převýšení, aby byla tato hodnota vypovídající.

### **7.3. Grafické znázornění posunů**

Hlavním problémem interpretace trojrozměrných posunů a deformací konstrukce je jejich vhodné zobrazení v dvojrozměrné rovině výkresu, aby byla zachována čitelnost a přehlednost. Základním požadavkem kladeným na grafickou interpretaci je snadné vyčtení, jakým způsobem se konstrukce deformuje a popřípadě z vyobrazení predikovat její budoucí vývoj.

Pro grafickou interpretaci posunů a deformací dřevěné střešní konstrukce bylo zvoleno zobrazení pomocí vektorů ve směru příčném, podélném a svislém. Dále byly vyobrazeny svislé náklony jednotlivých nosníků. Pro jednoduchou čitelnost a pochopitelnost byla použita hypsometrie, kterou bylo zobrazeno chování bodů na horních částech nosníků a tedy znázorněn vývoj posunů vrchní části střešní konstrukce. Takto byly vyhotoveny posuny v podélném a příčném směru, polohové posuny a posuny ve směru svislém.

Na závěr byl experimentálně znázorněn vývoj deformací nosníku č. 3 pomocí trojrozměrného modelu, pro který jsou předpokládány největší posuny z důvodu jeho největšího rozpětí. Aby bylo snadné pochopit prostorové chování nosníku č. 3, byly tyto posuny měřítkově upraveny. Na grafickém znázornění je snadno identifikovatelný vývoj průhybu nosníku v jeho střední části a jeho příčný posun v rámci jednotlivých etap.

### **7.4. Vyhodnocení posunů mezi etapami č. 1 a č. 2**

Etapa č. 1 byla měřena během konečné fáze výstavby, kdy atmosférické podmínky byly odlišné od podmínek následně měřených etap č. 2 a č. 3. Teplotní rozdíl mezi etapami činil přes 20°C a deformace konstrukce jsou tedy pravděpodobně způsobeny teplotní

roztlačností materiálů. Další vliv působící mezi etapami na konstrukci je způsoben přitížením vody v bazénech a také dosedáním a dotvarováním nosné střešní konstrukce. Na střešní konstrukci mohlo také působit přitížení sněhovou pokrývkou. Z dat poskytnutých ČHMÚ bylo zjištěno možné zatížení střešní konstrukce v období ledna a února roku 2010, kdy průměrná výška sněhové pokrývky činila 21 cm.

K výrazným deformacím došlo na všech nosnicích ve svislém směru v jejich středních částech a v místě styků nosníků a tudíž došlo k průhybům všech sledovaných nosníků. Největším deformacím ve svislém směru podléhá nosník č. 3. Průhyb ve střední části nosníku dosahuje až 11 mm, což je dáno velkým rozpětím nosníku.

Nosník č. 1 má ze všech nosníků nejmenší rozpětí, ale i přes to u něj dochází k velkým průhybům, které jsou způsobeny napojením menších příčných střešních nosníků na jeho konstrukci pro zastřešení zbytku bazénové haly.

K velkým podélným posunům dochází u nosníku č. 9, což může být způsobeno pozicí nosníku, který se nachází na okraji bazénové haly s navázáním na samostatnou část komplexu s provozními prostory, na němž se nachází střešní bazén. Dalším vlivem působícím na podélné posuny nosníku č. 9 je umístění horního podporového kloubu na obvodové zdi a sloupu, kdy celková výška nosného sloupu je necelých 10 m. Případně můžeme uvažovat vliv přitížením vody ve střešním bazénu nacházejícího se na přilehlé straně střechy sousedního provozního objektu. Střešní bazén sice nebyl v době měření jednotlivých etap napuštěn, ale vzhledem k jeho umístění v blízkosti napojení provozní a bazénové části aquaparku mohl ovlivnit vývoj posunů nosníku č. 9, popř. části bazénové haly.

### **7.5. *Vyhodnocení posunů mezi etapami č. 2 a č. 3***

Etapy č. 2 a č. 3 byly měřeny za téměř shodných podmínek uvnitř bazénové haly, kdy obě etapy byly měřeny během noční odstávky bazénového komplexu. Posuny a deformace mezi těmito etapami byly způsobeny vlastním dosedáním a dotvarováním střešní konstrukce. Nosník č. 9 v porovnání těchto etap již nevykazuje podélné posuny, ale pouze sedání ve svislém směru. Svislé náklony nosníků opět není možné prokázat v rámci nejistot měření. Nosníky mezi těmito etapami dosahují posunů o přibližně stejných hodnotách a jejich chování vykazuje podobný charakter.

## **7.6.      *Vyhodnocení posunů mezi etapami č. 1 a č. 3***

Srovnáním 3. a 1. etapy dostáváme představu o vývoji deformací dřevěné střešní konstrukce získané během sledování s odstupem 39-ti měsíců od základní etapy. Je zde patrný vývoj posunů způsobený dosedáním a dotvarováním nosné konstrukce, změnou podmínek při měření a také aktuálním napuštěním bazénů.

## 8. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zpracovat a vyhodnotit výsledky etapových měření posunů a deformací dřevěné střešní konstrukce velkého rozpětí bazénové haly aquaparku v Brně - Kohoutovicích. Geodetická měření pro sledování vývoje posunů a deformací střešní konstrukce byla provedena trojicí etapových měření. Střešní konstrukce bazénové haly je sledována od roku 2009, kdy se výstavba komplexu blížila k závěru a kdy bylo provedeno měření základní etapy. Následovala dvě etapová měření, která proběhla za přibližně stejných podmínek po dokončení výstavby a uvedení aquaparku do provozu s odstupem od základní etapy 11 a 39 měsíců. Pro měření byly použity kalibrované měřické pomůcky. Naměřená data byla před zpracováním korigována o vliv cyklické chyby elektronického dálkoměru.

Byly sledovány vodorovné posuny v příčném směru a vodorovné posuny ve směru podélném a také svislé posuny. Ze získaných hodnot posunů a deformací dřevěné střešní konstrukce bazénové haly je patrné, že dochází k průhybu ve střední části nosníků a také k podélným posunům nosníků způsobených usazením horního podporového kloubu na obvodové zdi a podporových sloupech.

Posuny byly pravděpodobně způsobeny dosedáním a dotvarováním nosné střešní konstrukce, působením její vlastní hmotností a také přitížením vodou obsaženou v bazénech nacházejících se pod sledovanou konstrukcí. Dalšími faktory působícími na střešní konstrukci je změna atmosférických podmínek, jako je změna teploty, vlhkosti, působení větru a zatížení střešní konstrukce sněhovou pokrývkou.

Geodetická metoda prostorové polární metody se projevila při etapových měření dřevěné střešní konstrukce jako velmi efektivní. Výhodou výsledků získaných z dat naměřených geodetickými metodami je možnost vyhodnotit prostorové geometrické vztahy v absolutních i v libovolně volitelných relativních souvislostech dílčích konstrukčních částí.

Ačkoli jsou geodetické metody vhodné pro určení posunů a deformací stavebních objektů a to jak absolutních, tak i relativních, bylo by vhodné tato měření doplnit o měření negeodetickými metodami, které jsou schopny kontinuálně detekovat relativní posuny a deformace. Konkrétně by bylo vhodné osadit snímače náklonů na obvodovou stěnu,



popř. podporové sloupy, na kterých leží podporové klouby nosníků střešní konstrukce a následně tyto naměřené údaje srovnat s údaji získanými z geodetických metod.

## 9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HÁNEK, P. a kolektiv. *Stavební geodézie*. Praha: nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03707-2
- [1] ČSN 73 0405. *Měření posunů stavebních objektů*. Praha: Český normalizační institut, 1997
- [2] ŠVÁBENSKÝ, O.; VITULA, A.; BUREŠ, J., *Inženýrská geodézie II - Modul 03 Geodézie ve stavebních oborech*, VUT v Brně, Brno, 2007
- [3] KLUSÁČEK, L.; BUREŠ, J.; NEČAS, R., *Měřicí technologie při rekonstrukci předpjatého mostu Gagarin*, článek v *Silnice a železnice*, ISSN 1801-822X, KONSTRUKCE Media, s.r.o., Ostrava, 2011
- [4] BUREŠ, J.; STRAKA, B., *Geodetické metody při měření přetvoření dřevěných konstrukcí velkých rozpětí*, příspěvek na konferenci *EXPERIMENT '04*, ISBN 80-7204-354-4, Akademické nakladatelství CERM s.r.o., Brno, 2004
- [5] Aquapark Kohoutovice [online]. [cit. 2013-04-02]. Dostupné z: <http://www.aquapark-kohoutovice.cz/>
- [6] BUREŠ, J.; STRAKA, B.; ŠMAK, M., *Závěry z měření deformací vybraných dřevěných konstrukcí geodetickými metodami*. [online]. [cit. 2013-04-18]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/>
- [7] SUCHÁNEK, J., RHEINZINK ČR S.R.O. *Aquapark Brno - Kohoutovice*. [online]. [cit. 2013-04-06]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/>
- [8] KOTALOVÁ, K. *Aquapark Kohoutovice*. [online]. [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/>
- [9] ŠVÁBENSKÝ, O.; VITULA, A.; BUREŠ, J., *Inženýrská geodézie I - Modul 02 Geodézie ve stavebnictví*, VUT v Brně, Brno, 2006
- [10] ČSN ISO 8322-4 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Určování přesnosti měřicích přístrojů část 4: Teodolity*. Praha: Český normalizační institut, 1994
- [11] ČSN ISO 8322-8 *Geometrická přesnost ve výstavbě. Určování přesnosti měřicích přístrojů. Část 8: Elektronické dálkoměry do 150 m*. Praha: Český normalizační institut, 1994
- [12] ŠVÁBENSKÝ, O.; VITULA, A.; BUREŠ, J., *Inženýrská geodézie I - Modul 03 Návodů ke cvičení*, VUT v Brně, Brno, 2006
- [13] ČSN ISO 8322-10 *Pozemní stavby - Měřicí přístroje - Určování přesnosti během používání - Část 10: Rozdíl mezi odraznými terči a hranoly pro měření vzdálenosti do 150 m*. Praha: Český normalizační institut, 1998
- [14] KNOZOVÁ, G., Český hydrometeorologický ústav - pobočka Brno. *Údaje o sněhové pokrývce ze stanice Brno-Jundrov*. Na objednávku za účelem vypracování diplomové práce.
- [15] TRYHUK, V.; DLOUHÝ, O., *Matematika I, Modul 01 - Vybrané části a aplikace vektorového počtu*, 2004
- [16] SEDLÁČEK, Svatopluk. *G-NET ver. 02.09: Souřadnicové výpočty v geodetických sítích* [Uživatelská příručka], BRNO, 1997.
- [17] WEIGEL, J., *Teorie chyb a vyrovnávací počet I, Modul 02 - Základní druhy vyrovnání (1. část)*, VUT v Brně, Brno, 2004.
- [18] ŠVÁBENSKÝ, O.; VITULA, A.; BUREŠ, J., *Inženýrská geodézie II - Modul 03 Geodézie ve stavebních oborech*, VUT v Brně, Brno, 2007

## 10. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ČSN	Česká Státní Norma
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)
GNSS	Globální navigační satelitní systém
ppm	Parts per milion (dílů na milión)
PSM	Součtová konstanta hranolu
EDM	Electronic Distance Measurement (Elektronický dálkoměr)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
MNČ	metoda nejmenších čtverců

## 11. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

### 11.1. *Seznam obrázků*

Obr. 1 Pohled na bazénový komplex [11] .....	12
Obr. 2 Sledované nosníky střešní konstrukce [13] .....	13
Obr. 3 Nalepovací odrazný terč Sokkia [autor] .....	14
Obr. 4 Ukázka ukotvení a styku nosníku č. 1 [autor] .....	14
Obr. 5 Topcon GPT-300 [autor] .....	15
Obr. 6 Schéma testování odrazných systémů [autor] .....	17
Obr. 7 Testovaný odrazný systém [autor] .....	18
Obr. 8 Schéma určení úhlu dopadu [autor] .....	18
Obr. 9 Pohled zevnitř bazénové haly před dokončením .....	21
Obr. 10 Pohled zevnitř bazénové haly .....	21
Obr. 11 Úhel dopadu paprsku do roviny odrazného terče [autor] .....	23
Obr. 12 Analýza stability podporových kloubů [autor] .....	24
Obr. 13 Volba umístění souřadnicové soustavy [11] .....	25

### 11.2. *Seznam tabulek*

Tab. 1 Tech. parametry Topcon GPT-300 .....	15
Tab. 2 Směrodatné odchylky úhloměru totální stanice .....	16
Tab. 3 Přehled etapových měření .....	20

## **12. SEZNAM PŘÍLOH**

1. Výsledky kalibračních měření použitých měřických pomůcek (1 s.)
2. Grafické znázornění posunů sledovaných bodů - porovnání 2. od 1. etapy (2 s.)