



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

MĚŘENÍ SVISLÝCH POSUNŮ A PŘETVOŘENÍ MOSTU PŘES ŘEKU POPRAD

MEASUREMENT OF VERTICAL DISPLACEMENTS AND DEFORMATION OF THE BRIDGE
OVER THE RIVER POPRAD

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

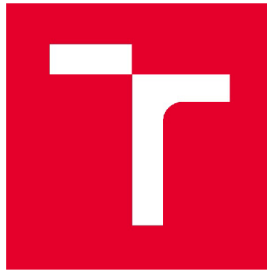
Bc. Maroš Horochonič

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ BUREŠ, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N0532A260001 Geodézie a kartografie
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Specializace	bez specializace
Pracoviště	Ústav geodézie

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Maroš Horochonič
Název	Měření svislých posunů a přetvoření mostu přes řeku Poprad
Vedoucí práce	doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

doc. Ing. Radovan Machotka, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, 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] BÖHM J., SVOBODA J. – Geometrická nivelace, SNTL Praha, 1960
- [4] BUREŠ, J.; ŠVÁBENSKÝ, O.; VITULA, A., Vybraná realizovaná technologická řešení speciálních inženýrsko-geodetických měření v oblasti zkušebnictví stavebních konstrukcí a materiálů., příspěvek na konferenci XII. International Scientific Conference - Geodesy and Cartography, ISBN 978-80-7204-629-4, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno, 2009
- [5] BUREŠ, J., SLÁMA, J., SLAVATA, J., Verifikace a interpretace skutečného chování velkých mostních konstrukcí s využitím výsledků geodetických měření., příspěvek na konferenci EXPERIMENT07, ISBN 978-80-7204-543-3, CERM, s.r.o. Brno, Brno, 2007
- [6] BÁRTA, L. - Dlouhodobý geodetický monitoring mostních konstrukcí. Sborník referátů ze semináře Vliv vnějších podmínek na výsledky geodetických měření při použití současných technologií, str. 86-93, Český svaz geodetů a kartografů, ISBN: 978-80-02-02876-5
- [7] SEDLÁČEK S. – Programový systém GNET, uživatelská příručka , Brno 1996

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Podílejte se na geodetickém zaměření jedné etapy dlouhodobého sledování mostu přes řeku Poprad v Mníšku nad Popradom. Zpracujte výsledky posledního měření v návaznosti na převzaté předchozí etapy měření, analyzujte přesnost, vyhodnoťte posuny a deformace a vhodně je graficky znázorněte a geometricky interpretujte.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

ABSTRAKT

Náplňou diplomovej práce je geodetické zameranie zvislých posunov a pretvorenie nosnej konštrukcie stavby cestného mostu ponad rieku Poprad v 4. etape s následným spracovaním nameraných dát, výpočtom a vyhodnotením posunov vzhľadom na predošlé etapy. Práca zahŕňa aj kontrolu prístrojov a pomôcok použitých pri zameraní mostnej stavby a správanie zámery prístroja počas temperácie. Výsledkom tejto práce sú hodnoty zistených posunov a ich grafická interpretácia.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

geodetické meranie, posun, pretvorenie, most, presná nivelácia

ABSTRACT

The content of this master's thesis is a geodetic survey of vertical displacements and transformation of the supporting structure of the road bridge over the river Poprad in the 4th period with subsequent processing of measured data, calculation and evaluation of displacements with respect to previous stages. The work also includes the control of devices and aids used in the survey of the bridge construction and the behavior of the device's intentions during tempering. The result of this work are the values of the detected displacements and their graphical interpretation.

KEYWORDS

geodetic measuring, displacements, deformations, bridge, precise leveling,

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Maroš Horochonič *Měření svislých posunů a přetvoření mostu přes řeku Poprad*.
Brno, 2022. 68 s., 13 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta
stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Bureš, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Měření svislých posunů a přetvoření mostu přes řeku Poprad* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 5. 2022

Bc. Maroš Horochonič

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Měření svislých posunů a přetvoření mostu přes řeku Poprad* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2022

Bc. Maroš Horochonič

autor práce

POĎAKOVANIE:

Ďakujem vedúcemu mojej diplomovej práce doc. Ing. Jiřímu Burešovi Ph.D. za cenné rady, pripomienky a odborné vedenie pri tvorbe tejto práce. Ďalej by som chcel poďakovať firme Geodézia Bardejov s.r.o. za požičiavanie prístrojov. Moja veľká vďaka patrí aj mojej rodine a priateľom, ktorí mi pomáhali a podporovali ma v priebehu spracovania diplomovej práce, ako aj počas celého štúdia.

V Brně, dňa 24.5.2022

Bc. Maroš Horochonič

autor práce

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	VYBRANÉ POJMY Z TERMINOLÓGIE	11
2.1	Názvoslovie mostného staviteľstva.....	11
2.2	Názvoslovie posunov a pretvorenia stavieb	15
3	PROBLEMATIKA MERANIA POSUNOV A PRETVORENIA.....	16
3.1	Účel, druhy a presnosť meraní posunov a pretvorenia.....	17
3.2	Metódy merania zvislých posunov a pretvorenia.....	20
3.3	Príklady merania posunov a pretvorenia z praxe	26
4	SLEDOVANIE MOSTNEJ KONŠTRUKCIÍ CEZ RIEKU POPRAD	28
4.1	Základné údaje o sledovanej konštrukcii	28
4.2	Výstavba nového mosta	29
4.3	Monitorovanie posunov a pretvorenia mostovky.....	30
5	POŽIADAVKY NA PRESNOSŤ MERANIA.....	33
6	KONTROLA PRESNOSTI POUŽITÝCH MERADIEL.....	34
6.1	Špecifikácia použitých meradiel	34
6.2	Kontrola vodorovnosti pätky nivelačných lát	36
6.3	Kontrola vodorovnosti zámernej priamky	37
6.4	Vyhodnotenie presnosti prevýšenia závislosti na dĺžke nivelačnej zostavy	38
6.5	Vplyv teploty prístroja na zámernú priamku	40
7	MERAČSKÉ PRÁCE, ANALÝZA DÁT A POSÚDENIE STABILITY VZŤAŽNEJ SÚSTAVY.....	43
7.1	Zameranie 4. etapy (6/2021) posunov a pretvorenia mostovky.....	43
7.2	Predošlé etapy merania 3 (2020), 2 (2019), 1 (2018), 0 (2015),.....	44
7.3	Spracovanie dát a analýza presnosti etapových meraní	45
7.4	Posúdenie stability vzťažnej sústavy porovnaním prevýšení.....	47
7.5	Porovnanie výsledku výpočtu realizovaných rôznym softvérom	50

7.5.1	Program Nivelácia	50
7.5.2	Program Groma.....	50
7.5.3	Program G-Net.....	52
7.5.4	Porovnanie výsledkov vyrovnania.....	52
8	VÝPOČET A VYHODNOTENIE POSUNOV A PRETVORENIA STAVEBNÉHO OBJEKTU	54
8.1	Vyhodnotenie posunov medzi etapami 4 (2021) a 3 (2020).....	55
8.2	Vyhodnotenie posunov medzi predošlými etapami a vyhodnotenie k 0. etape.....	56
8.3	Grafické znázornenie zvislých posunov a pretvorenia v pozdĺžnom reze	57
8.4	Interpretácia výsledkov	57
9	ZÁVER	59
	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	61
	ZOZNAM SKRATIEK.....	66
	ZOZNAM OBRÁZKOV, TABULIEK A GRAFOV.....	67
	ZOZNAM PRÍLOH.....	68

1 ÚVOD

Obsahom tejto práce je geodetické zameranie jednej etapy monitoringu mostu cez rieku Poprad v obci Mníšek nad Popradom. Práca je zameraná na vyhodnotenie poslednej etapy geodetického zamerania mostovky v roku 2021. Dôvodom monitoringu mostovky mostného objektu je jeho výstavba v roku 2015 a následným sledovaním zmien priebehu prevádzky.

Náplňou tejto diplomovej práce je geodetické zameranie aktuálneho stavu vozovky v roku 2021, ktoré činí 4. etapu a vyhodnotenie zamerania mostovky vzhľadom na minulé etapy. V úvodných kapitolách sa práca zaoberá problematikou merania posunov a pretvorenia, vhodnými meračskými metódami a postupmi používanými pre tento účel s dôrazom na aktuálny stav danej problematiky v súčasnosti. Ďalšiu časť práce tvorí praktická časť, ktorá sa zaoberá vlastnými meračskými prácami zahrňujúcimi zameranie objektu, súčasťou je stručný popis metódy, technológia zamerania objektu a použitého prístrojového vybavenia. Dôležitou súčasťou je aj overenie presnosti použitých prístrojov a pomôcok a zistenie vplyvu teploty prístroja na zámernú priamku. Nasleduje popis spracovania nameraných údajov, ktorý spočíva vo výpočte nameraných údajov. Spracované údaje boli prevedené do formátu, aby bol umožnený ich import a vyrovnanie s pomocou počítačového softvéru. Posledná kapitola je venovaná výpočtu jednotlivých posunov a pretovrením mostovky a ich vhodnou interpretáciou. Posudzovaný je stav aktuálnej 4. etapy (2021) vzhľadom na predchádzajúcu východiskovú 0. etapu (2015). Hodnotili sa aj posuny uskutočniteľných etáp k jej predošlej a 0. etape.

2 VYBRANÉ POJMY Z TERMINOLÓGIE

Táto kapitola obsahuje prehľad pojmov z terminológie mostného staviteľstva, a posunov stavieb, ktoré sú používané v tejto práci. Použité pojmy sú v súlade s normou ČSN (STN) 73 6200 o mostnom názvosloví.

2.1 Názvoslovie mostného staviteľstva

Základné pojmy z terminológie merania posunov stavieb: [1]

Mostný objekt: súčasť jednej alebo viacerých komunikácií nahradzujúce jej zemné teleso v mieste, kde je potrebné prekonať prírodnú alebo umelú prekážku premostením, poprípade zvolit' iné riešenie z vodohospodárskych, ekonomických, alebo estetických dôvodov. Je tvorený jedným alebo aj viacerými vedľa postavenými mostami, priepustkami, lávkami vrátane všetkých stavebných diel a úprav potrebných k zaisteniu jeho funkcie a životnosti. Podľa druhu premostenia sa mostné objekty delia na mosty, priepustky a lávky.

Mostná konštrukcia: časť mostu tvorená spodnou stavbou a nosnou konštrukciou. Tento termín sa uplatňuje hlavne v prípadoch, kedy oddelenie hlavnej nosnej konštrukcie od spodnej stavby nie je konštrukčne dosť výrazne ako u niektorých rámových, alebo klenbových konštrukcií.

Uloženie: spôsob, ktorým určitá nosná konštrukcia alebo jej súčasť dosadá na podperu, popr. inú časť nosnej konštrukcie.

Most v smerovom oblúku: most umiestnený v úseku trasy prebiehajúcej celkovo alebo čiastočne v smerovom oblúku s nemenným pozdĺžnym sklonom. U železničných mostov je možné používať i obmeny názvu – most v oblúku, most v prechodnici. Podľa smerového prispôsobenia hlavnej nosnej konštrukcie sa rozoznáva most priamy, lomený a zakrivený.

Most s normovanou zaťažovateľnosťou: most navrhnutý na náhodné zaťaženie odpovedajúce zaťažovacím podmienkam predpísaným v projektovej norme platnej toho času a na danom štátnom území.

Betónový most: masívny most, ktorého hlavná nosná konštrukcia je aspoň v hlavných nosných poliach vyrobená z prostého betónu, oceľobetónu, predpätého betónu, alebo iného staviva pripraveného podľa betonárskeho princípu. Podľa použitého technologického postupu sa rozoznáva betónový most na monolitický a montovaný. Podľa základnej charakteristiky staviva mosty delíme na: z prostého betónu, železobetónu, oceľobetónový a most z predpätého betónu.

Monolitický most: betónový most, pri stavbe ktorého sa nosná konštrukcia aspoň v hlavných alebo vedľajších mostných poliach betónuje v celku, alebo po častiach tak, že po dokončení betonáže tvorí hlavná nosná konštrukcia s ostatnými časťami nosnej konštrukcie jednoliaty celok bez nutnosti dodatočného spájania jednotlivých častí.

Montovaný betónový most: betónový most, pri stavbe ktorého je nosná konštrukcia aspoň v hlavnom, alebo v hlavných nosných poliach zostavovaná z prefabrikátov – železobetónových, alebo z predpätého betónu.

Oceľobetónový most: most s oceľovou hlavnou konštrukciou aspoň v hlavnom alebo v hlavných mostných poliach.

Mostné pole: úsek hlavnej nosnej konštrukcie, ktorý premostuje priestor medzi dvomi susednými mostnými podperami, alebo ktorý tvorí hlavnú nosnú konštrukciu za krajinou podperou. U rámových mostov sa používa tiež spresňujúci názov rámové pole, u klenbových mostov klenbové pole, u oblúkových mostov oblúkové pole.

Os mostu: čiara totožná s osou prevádzanej komunikácie, u združených mostov pôdorysná čiara určovaná individuálne.

Os nosnej konštrukcie: pôdorysný priemet zvislej roviny rozpoľujúci najväčšiu šírku jednotlivých priečných rezov hlavnou nosnou konštrukciou a totožný spravidla s pôdorysným priemetom jej zvislej roviny súmernosti.

Dĺžka premostenia: vodorovná vzdialenosť lícov krajných podpier, koncov krakorcových mostných polí, poprípade krajných vnútorných lícov potrubných mostov meraná v osi mostu, a to pri hornej hrane uložených prahov, blokov alebo kvádrov pod pätkami klenieb alebo oblúkov pod nábehmi rámov v mieste najväčšej svetlosti krajných trúb.

Dĺžka mostu: priemerná pozdĺžna vzdialenosť medzi koncami mostných krídel alebo medzi inými ukončeniami mostu, meraná v osi mostu.

Výška mostu: najväčší výškový rozdiel medzi niveletou mostu a medzi povrchom premostovanej pozemnej komunikácie, niveletou premostňovanej pozemnej komunikácie, niveletou premostňovanej dráhy, dnom vodného toku alebo nádrže, terénom, atď.

Rozpätie: vzájomná vzdialenosť dvoch susedných teoretických podporových bodov nosnej konštrukcie alebo konštrukčného dielu. U vložených oblúkov sa za rozpätie považuje vzájomná vzdialenosť strednice.

Spodná stavba mostu: časť mostu tvorená základom, podperami kotviacimi blokmi, mostnými krídlami, závernými múrami.

Základ mostu: súhrn základov jednotlivých podpier, poprípade zvislý základ celého mostu.

Podpera: zvislá alebo naklonená súčasť mostu, ktorá prenáša podporové tlaky nosnej konštrukcie na základ mostu. U oblúkových a klenbových mostov sa týmto názvom označuje i vlastný základový blok, nahrádzajúci nevybudovanú päťovú podperu. Tento termín nesmie byť zamieňaný s výrazom podpora (teoretické miesto uloženia) alebo používaný pre pomocné podoprenie.

Opora: krajná podpera, ktorá zachytáva také tlaky zeminy a uzatvára krajný mostný otvor voči zemnému telesu alebo terénu.

Nosná konštrukcia mostu: časť mostu, ktorá prenáša účinky náhodného zaťaženia z mostného zvršku na spodnú stavbu. Je tvorená buď všetkými, alebo len niektorými z konštrukčných zložiek zvaných: hlavná nosná konštrukcia, mostovka, stuženie, ložiska, mostné uzávery.

Mostovka: zložka nosnej konštrukcie mostu, ktorej účelom je prenášať predovšetkým účinky zaťaženia z mostného zvršku na jeho hlavnú nosnú konštrukciu. Podľa polohy voči hlavnej nosnej konštrukcii sa rozoznáva mostovka dolná, horná, medziľahlá, zapustená. Podľa konštrukčnej povahy mostovka prvková a dosková.

Ložisko: súčasť nosnej konštrukcie mostu, ktorá prenáša podporový tlak na podperu, poprípade inú časť nosnej konštrukcie. Ložisko zaisťuje určitú polohu popr. len smer

tohto podporového tlaku a umožňuje žiadúcu pohybovú voľnosť jednotlivých konštrukčných častí v oblasti ich uloženia. Podľa poskytovanej miery pohybových možností sa rozoznáva ložisko pevné, pohyblivé. Podľa teoretického rozsahu dotyku ložisko plošné, priamkové a bodové. Podľa materiálu oceľové, železobetónové, gumové teflonové. Ak plní ložisko funkciu kĺbu, označuje sa názvom kĺbové ložisko.

Mostný zvršok: časť mostu uložená priamo na jeho nosnej konštrukcii a skladajúca sa zo všetkých, alebo niektorých súčastí zvaných: u železničného mostného zvršku: koľajnica, upevňovadlá, pražce, štrkové lôžko, mostnicu, poistný uholník, ukončenie poistného uholníku, zaisťovací uholník, mostná podlaha, obrubnica, káblový kanál, a pod. Mimo toho sa medzi mostný zvršok a nosnú konštrukciu umiestňuje v prípade potreby presypávka. U cestného mostného zvršku: vozovka, chodníkové, krajnicové alebo cyklistické spevnenie, odvodňovací pruh, odrazný pruh, obruba, deliaci pás, dopravný ostrovček, presypávka, mostná výplň, vyrovnávacia vrstva, izolácia, rímsa, mostná podlaha, obrubnica a pod..

Zaťaženie: súhrn tiaží a vplyvov vyvolávajúce vnútorné napätie v mostnej konštrukcii.

Stále zaťaženie: zaťaženie tvorené vlastnou tiažou mostnej konštrukcie, mostného zvršku, mostného vybavenia a cudzieho zariadenia a vplyvov plynúcich z povahy materiálu, okolitej zeminy a vody.

Náhodné zaťaženie: zaťaženie tvorené tiažami a základnými sprievodnými javmi plynúcimi z dopravného používania mostného objektu.

Únosnosť: horná medzná hodnota vnútorných síl v rozhodujúcom priereze, pri prekročení ktorej dôjde k narušeniu mostnej konštrukcie alebo jej stability vylučujúca jej ďalšie používanie bez rekonštrukčných zásahov.

Životnosť: doba, počas ktorej je pôvodná mostná konštrukcia schopná slúžiť k požadovaným účelom bez ohľadu na eventuálne na nej prevedené opravy alebo úpravy ako zosilnenie, rozšírenie, predĺženie, skrátenie, podoprenie, a pod.. Životnosť mostu končí teda jeho zrušením, nahradením nových mostným objektom, poprípade násypom. Podľa dôvodu jej ukončenia sa rozlišuje životnosť na fyzickú a morálnu.

2.2 Názvoslovie posunov a pretvorenia stavieb

Základné pojmy z terminológie merania posunov a pretvorenia stavieb: [2]

Sadanie: zvislá zložka posunu smerom dole. Je vyvolané stlačením základovej pôdy.

Zdvíhanie: zvislá zložka posunu smerom hore.

Naklonenie: odchylenie zvislej osi objektu od zvislice.

Pootočenie: uhlová odchýlka objektu od jeho pôvodnej polohy, pričom os otáčania je všeobecne položená.

Priehyb, ohyb: pretvorenie konštrukcie objektu v smere kolmom na prevládajúci smer.

Zosuv: jav vznikajúci účinkom zemskej tiaže pri porušení stability svahov.

Vzťažný bod: polohovo alebo výškovo určený bod, ku ktorému sa vyjadrujú projektované parametre, alebo merané posuny a deformácie konštrukcií stavebného objektu.

Vzťažná sústava: súbor vybraných pevných bodov, ktoré sú vo vzájomnom matematickom vzťahu, ku ktorým sa vyjadrujú priestorové zmeny v polohe a výške meraných bodov.

Pevný bod: v prírode trvalo stabilizovaný bod mimo meraného objektu a jeho vplyvov, ktorého priestorová poloha sa počas merania nemení.

Pozorovaný bod: bod na objekte alebo jeho časti, ktorým sa určujú posuny a deformácie konštrukcií objektu.

Overovací bod: pevný bod na overovanie stálosti iných pevných bodov, napr. pripájacích bodov.

Pripájací bod: pevný bod, z ktorého sa vychádza pri určovaní smerov, dĺžky, alebo výšky.

3 PROBLEMATIKA MERANIA POSUNOV A PRETVORENIA

Dôležitou súčasťou hospodárskeho rozvoja krajiny, regiónu je doprava, v ktorej nezastupiteľné miesto má pozemná doprava, najmä cesty a železnice. Medzi základné limitujúce faktory výstavby cestnej siete patria mostné objekty. Mosty ako inžinierske diela slúžia nielen na prekonávanie prekážok nad povrchom terénu, ale pomáhajú skracovať cestné trasy, zabezpečujú plynulosť a bezpečnosť dopravy a architektonicky dotvárajú krajinu. Výstavba mostných objektov v súčasnosti vedie k používaniu zložitých a atypických konštrukcií veľkých rozmerov alebo výšok. Technické predpisy na výstavbu a prevádzku stavebných objektov preto zakotvujú požiadavky na systematické meranie posunov a pretvorení objektov a technologických zariadení. [3]

Povinnosť prevádzkovateľov mostov realizovať dlhodobé sledovanie posunov a pretvorení mostného objektu nie je v právnych predpisoch Slovenskej republiky ukotvená. Problematiku realizácie týchto činností upravujú len vybrané technické predpisy na celoštátnej úrovni (Slovenské technické normy) a rezortné technické predpisy vydané ministerstvom dopravy a výstavby SR. Vybrané geodetické činnosti v tejto oblasti všeobecne upravuje Vyhláška ÚGKK SR č. 75/2011 Z. z., ktorou sa mení a dopĺňa Vyhláška ÚGKK SR č. 300/2009, v znení Zákona NR SR č. 215/2009 Z. z. a neskorších predpisov. [29]

Meranie posunov a deformácií je možné rozličnými fyzikálnymi metódami, medzi ktoré patria aj geodetické metódy. Výhodou geodetických metód je to, že poskytujú informácie o správaní sa objektov a ich konštrukčných častí v každom smere v danom čase a to ako aj relatívnych, tak aj v absolútnych hodnotách. Ďalšou výhodou je fakt, že v tejto oblasti zaznamenávame rýchly technologický a metodický rozvoj. Okrem klasických geodetických metód sa v súčasnej dobe používajú aj metódy družicovej geodézie a moderné 3D laserové skenovacie systémy. [2]

3.1 Účel, druhy a presnosť meraní posunov a pretvorenia

Účel merania posunov a deformácií stavebných objektov:

Každý, aj správne založený a vybudovaný stavebný objekt, zaznamenáva nielen počas stavby, ale aj počas prevádzky určité priestorové zmeny, ktoré pôsobia na geometrické parametre konštrukcie objektu alebo technických zariadení, a tým narušujú ich statickú funkciu a spoľahlivosť. Veľmi často dochádza k sadaniu základov objektov a k pretvoreniu nosných konštrukcií. Tieto zmeny prebiehajú rôzne podľa druhu, rozmerov a tvaru základov, priebehu vnútorných a vonkajších síl a iných faktorov najmä prostredia, ktoré rušivo pôsobia na stabilitu a geometrický tvar základových a nosných konštrukcií objektu. Nerovnomernosť sadania základov zvyčajne spôsobuje vážne poruchy stability základových konštrukcií, ktoré môžu viesť k statickým poruchám konštrukcií, prípadne aj k havárii objektu. [4]

Z hľadiska bezpečnosti, bezporuchovej výstavby a prevádzky objektov sú potrebné pravidelné merania, ktorými sa overuje tvarové a rozmerové parametre základových a nosných konštrukcií objektov. Hneď ako by zmeny presahovali v týchto parametroch určitú, vopred definovanú hodnotu, treba vykonať opatrenia za účelom odstránenia chýb, aby sa predišlo vážnym tragédiám. Diagnostikou konštrukcie stavebných objektov sa získavajú objektívne informácie o procese ich pretvorenia a tvoria tak podklady na:

- posudzovanie správania sa základových pôd zaťažených objektov, prehĺbovanie teoretických vedomostí o vlastnostiach podložia a o pôsobení objektu na okolie.
- porovnávanie skutočných posunov a pretvorení konštrukcií objektov s teoretickými hodnotami a overovať správnosť teoretických hodnôt
- sledovanie stavu, funkčnú spoľahlivosť a bezpečnosť konštrukcií stavebného objektu,
- sledovať vplyv rozličných fyzikálnych faktorov prostredia na zmeny v správaní konštrukcií objektu. [4] [2]

Veľké rozdiely medzi meranými a teoretickými hodnotami tvoria nedostatky v zakladaní, zlú kvalitu stavebných prác, nepresný matematický model použitý na výpočet teoretických hodnôt, nepresné údaje o prvkoch použitých pri výpočte teoretických hodnôt alebo nespoľahlivé výsledky merania spôsobené chybami merania.

Výsledky diagnostiky možno využiť nielen na posudzovanie bezpečnosti a správania sa základových a nosných konštrukcií objektu, ale aj na prognostické účely, pre podklady na plánovanie údržby a ako podnety na predlžovanie životnosti a prevádzky objektov alebo technologických zariadení. [4]

Poznanie skutočných posunov konštrukcií v rozsahu celej stavby umožňuje projektantom, statikom stanoviť deformačný model a z toho vyplývajúce namáhanie základových pôd v daných podmienkach pri navrhnutom spôsobe zakladania.

Merania posunov nových stavebných objektov vyžaduje projektant po dohode s investorom v zmysle technických noriem, a to spravidla na základe vyhodnotených prieskumov o základovej pôde, resp. ak sa jedná o objekty nezvyčajnej konštrukcie alebo o objekty nové neoverené konštrukčné systémy. [4]

Meranie posunov existujúcich objektov predpisujú vybrané technické predpisy alebo to vyžiada majiteľ, na základe posudku statika v zmysle stavebného zákona obvykle vtedy, keď sa objavia trhliny alebo sa predvídajú posuny vplyvom priťaženia základovej pôdy v okolí, zmenou hladiny podzemnej vody, podkopávaním a podobne. Zameriavanie posunov objektov môže mať charakter dlhodobého periodického merania alebo charakter krátkodobého merania. [4]

Posuny stavebných objektov sa merajú hlavne u stavieb, ktoré by mohli spôsobiť porušenie stability, bezpečnosti alebo funkčnosti stavby. Posun je definovaný ako zmena priestorovej polohy objektu alebo jeho časti. Merajú sa posuny absolútne (vzhľadom k vzťažnej sústave, nezávislej na pozorovanom objekte) alebo relatívne (v sústave spojenjej s objektom – zisťuje sa vzájomná poloha časti objektu). Dôsledok posunu je niekedy pretvorenie objektu – zmena jeho tvaru a geometrie. Meranie posunov vychádza z pevných bodov, ktorých hustota je závislá na rozsahu objektu. Body sú dôsledne stabilizované vo vzdialenosti od pozorovaného objektu mimo jeho deformačnej zóny. Jeden z nich, ktorý vykazuje najlepšiu dlhodobú stabilizáciu sa volí ako východiskový pripojovací bod. Ostatné body sú overovacie, ktorými sa kontroluje stabilita pripojovacieho bodu. Sledovanie posunov sa realizuje prostredníctvom sústavy pozorovacích bodov umiestnených podľa projektu na vhodných charakteristických miestach objektu určených prevažne statikom. [5]

Druhy meraných posunov

Posuny stavieb všeobecne rozdeľujeme na vodorovné a zvislé, prípadne na priestorové posuny pozorovaných bodov. Vodorovný posun znamená zložku posunu pozorovaného bodu v pravouhlej vzťažnej sústave a udáva sa zložkami ΔY a ΔX . Zvislý posun vyjadruje zvislú zložku posunu pozorovaného bodu, označuje sa ΔZ alebo ΔH . Pri meraní deformácií konštrukcií inžinierskych stavieb a pri meraní dynamiky zosuvov pozorované body obyčajne zaznamenávajú zmenu v priestorovej polohe, ktorú označujeme zložkami ΔY , ΔX a ΔZ . [2]

Etapy merania posunov

Posuny sa merajú podľa potreby buď v etapách alebo kontinuálne. Etapy sa volia v intervaloch, aby bol pravidelne zachytený priebeh zmien geometrie objektu vrátane okolností, ktoré ich spôsobili. Po dobu výstavby sa zvyčajne meria minimálne v obdobiach nulového, štvrtinového, polovičného, trojštvrťového a plného zaťaženia základu. Výnimkou sú prípady, ktoré prejavujú veľké posuny v krátkom časovom rozpätí. Po ukončení výstavby a uvedení objektu do prevádzky sa posuny merajú v určitých intervaloch, podľa druhu a charakteru objektu. Veľmi dôležité je precízne vykonať meranie základnej (nulte) etapy, vzhľadom ku ktorej sa počítajú hodnoty posunov pozorovacích bodov v jednotlivých etapách. Spravidla sa toto meranie vykoná s dvojnásobným počtom meraných veličín oproti bežnej etape, najlepšie s vystriedaním rôznych podmienok prostredia. Pri meraní posunov je potreba okrem vlastných meraní zaznamenávať i hodnoty fyzikálnych faktorov (poveternostné podmienky), stavebné podmienky a ďalšie eventuálne faktory, ktoré môžu mať vplyv na presnosť merania. [6]

Presnosť merania posunov a deformácií:

Presnosť merania posunov a deformácií stavieb závisí od veľkosti a charakteru posunov za určitý čas. Za dostatočnú presnosť merania posunov možno považovať takú presnosť, ktorá zaručí dosiahnutie cieľa pri mufňaných nákladoch na meranie. Na analýzu tohto problému možno použiť pomer medzi očakávanou celkovou hodnotou posunu $p(s)$ a základnou strednou chybou merania σ_p . Norma STN 73 0405 - Meranie posunov stavebných objektov určuje podmienky na stanovenie presnosti merania posunov. Podľa normy je presnosť merania nových stavebných objektov charakterizovaná základnou strednou chybou určenia dĺžky výsledného vektoru posunu alebo jeho zložky, základná stredná chyba m_1 v mm, keď nie je stanovené inak, stanoví

sa hodnotou:

$$m_1 = \frac{1}{15} s_s \dots \text{ je o\u010d\u00e1van\u00fd posun}$$

Hodnota \u00e1kladnej strednej chyby merania zvisl\u00e9ho posunu u nových stavebn\u00fdch objektov nem\u00e1 podl\u00e1 charakteru \u00e1kladovej p\u00f4dy prekro\u010di\u0165 hodnoty:

- a) $m_2 = 0,5 \text{ mm}$, pre skaln\u00e9 a poloskaln\u00e9 horniny,
- b) $m_3 = 1,0 \text{ mm}$, pre pies\u00e1it\u00e9, hlinit\u00e9 a in\u00e9 stla\u00e1iteľn\u00e9 zeminy a zhutnen\u00e9 n\u00e1sypy
- c) $m_4 = 2,5 \text{ mm}$, pre nezhutnen\u00e9 n\u00e1sypy a silno stla\u00e1iteľn\u00e9 zeminy.

Hodnota \u00e1kladnej strednej chyby merania zvisl\u00e9ho posunu u u\u00edvan\u00fdch stavebn\u00fdch objektov nem\u00e1 prekro\u010di\u0165 hodnotu:

$$m_5 = \frac{1}{5} s_k \quad s_k \dots \text{ je kritick\u00e1 hodnota posunu v mm}$$

Pri dosiahnut\u00ed kritickej hodnoty posunu doch\u00e1dza k ohrozeniu sledovan\u00e9ho objektu. [7]

3.2 Met\u00f3dy merania zvisl\u00fdch posunov a pretvorenia

Geometrick\u00e1 nivel\u00e1cia

Naj\u00e1astej\u00e1 sa na meranie zvisl\u00fdch posunov pou\u00e1\u00edva geometrick\u00e1 nivel\u00e1cia. Pri meran\u00ed posunov sa pou\u00e1\u00edva najviac met\u00f3da ve\u0132mi presnej nivel\u00e1cie (VPN) alebo presnej nivel\u00e1cie (PN). Nivel\u00e1cia sa ve\u0132mi zhospod\u00e1rn\u00edla zaveden\u00edm kompenz\u00e1torov\u00fdch nivela\u00e1n\u00fdch pr\u00edstrojov, a nesk\u00f4r elektronick\u00fdm od\u00e1\u00edtan\u00edm hodnoty z laty a jej zaregistrovanie do pam\u00e1ti pr\u00edstroja. Nivel\u00e1cia je zalo\u00e1en\u00e1 na princ\u00edpe merania pod vodorovnou z\u00e1mernou priamkou s vyu\u00e1it\u00edm nivela\u00e1n\u00fdch pr\u00edstroja a nivela\u00e1nej laty. Prev\u00fd\u00e1\u00e1enie medzi 2 bodmi je ur\u00e1en\u00e9 ako rozdiel od\u00e1\u00edtan\u00fdch hodn\u00f4t z laty pri z\u00e1mer vzad a vpred. Met\u00f3da poskytuje absol\u00fatne hodnoty posunov sledovanej zna\u00e1ky vo\u00e1i vz\u0161a\u00e1nej sieti. Pri\u00e1om sa v\u00e1\u00e1\u00e1\u00ednou jedn\u00e1 o ve\u0132mi presn\u00e9 pr\u00e1ce, je potrebn\u00e9 dodr\u00e1\u00edava\u0165 pri meran\u00ed metodick\u00fd postup nivel\u00e1cie zo stred\u00fa. V \u00e1peci\u00e1ln\u00fdch pr\u00edpadoch ako napr. v priemyseln\u00fdch z\u00e1vodoch, kde sa objavuj\u00fa osobitn\u00e9 klimatick\u00e9 podmienky, alebo nedostato\u00e1n\u00e9 priestorov\u00e9 pomery je treba pou\u00e1\u00ed\u0165 ne\u00e1\u00e1ndardn\u00e9 postupy (z\u00e1mery stranou, rozdielne dl\u00e1\u00e1ky z\u00e1mer, ...). V t\u00fdchto pr\u00edpadoch mus\u00edme do v\u00fdsledkov merania zav\u00e1dza\u0165 rozli\u00e1n\u00e9 korekcie. Pre zvy\u00e1\u00e1\u00e1enie spo\u0132ahlivosti v\u00fdsledkov je snaha v\u00fdd\u00fdy mera\u0165 nadbyto\u00e1n\u00e9 prev\u00fd\u00e1\u00e1enia v sieti nivelovan\u00fdch bodov, tak aby mohlo d\u00f4js\u0165 k vyrovnaniu. \u00c1kladnou charakteristikou presnosti geometrickej nivel\u00e1cie je stredn\u00e1 kilometrov\u00e1

chyba m_o , ktorej hodnota sa za normálnych podmienok pohybuje v rozmedzí 0,3 až 0,5 mm. [2], [6]

Hydrostatická nivelácia

Táto metóda sa používa na meranie zvislých posunov. Metóda využíva fyzikálny zákon spojených nádob navzájom prepojených hadičkou. Nevýhodou metódy je malý rozsah meraných prevýšení, z čoho vyplýva že výškové značky pozorovaných bodov musia byť osadené približne v rovnakom horizonte. Metóda je zdĺhavá a vyžaduje zvláštne jednoúčelové prístrojové vybavenie. Na druhej strane výhodou tejto metódy je vysoká dosiahnuteľná presnosť na úrovni veľmi presnej nivelácie. t. j. 0,1 až 0,01 mm. Táto metóda je vhodná aj na meranie výškových zmien na ťažko prístupných bodov. Za pomoci automatizácie tejto metódy je možné meranie posunov aj v priestoroch, kde by to bolo ohrozené zdravie človeka (napr. reaktorové haly jadrových elektrární). Tieto prístroje umožňujú pravidelné sledovanie posunov s registráciou hodnôt v ľubovoľných intervaloch. [2]

Trigonometrické meranie posunov

Trigonometrickou metódou sa je možné určovať priestorové zmeny v polohe pozorovaných bodov, t. j. zmeny v smere ΔY , ΔX , ΔZ v relatívnych a v absolútnych hodnotách. Metóda je založená na meraní vodorovných, zvislých uhlov a dĺžok z jedného, dvoch a alebo troch pevných bodov (stanovísk prístroja). Podľa konfigurácie a meraných veličín možno špecifikovať viacero variant určenia polohy body pomocou trigonometrickej metódy. Medzi základné varianty patria pretínanie vpred z uhlov, pretínania z dĺžok, určenie polohy bodov pomocou polárnych súradníc, určenie prevýšenia z meraných zenitových uhlov a šikmých dĺžok. Trigonometrická metóda je výhodná v prípade väčších prevýšení medzi sledovanými bodmi a umožňuje meranie posunov aj za okolností nevhodných pre niveláciu. Používa sa napríklad pre meranie posunov bodov umiestnených na neprístupných miestach, napr.: na mostovke mostu. Mnohokrát sa s výhodou používa metóda merania na voľnom stanovisku, kedy je meranie pripojené zámerami na vzťažné body. Takto je možné určovať relatívne a absolútne posuny. Nevýhodou merania je výrazné ovplyvnenie presnosti meraných veličín refrakciou. Presnosť merania závisí na prostredí, presnosť prístroja a kvalitate meračských značiek. Pri dodržovaní zásad presného merania uhlov je možné pri dĺžke

zámery 100 m dosiahnuť presnosť výšky charakterizovanú strednou chybou o hodnote 0,3 mm. [2]

Fotogrametrické meranie posunov

Z fotogrametrických metód do úvahy prichádza najmä metóda pozemnej fotogrametrie s časovou alebo reálnou priestorovou základňou. Presnosťou fotogrametrickej metódy je možnosť rýchlo, prakticky súčasne zaregistrovať veľkú množinu pozorovaných bodov objektu na snímke v analógovej alebo digitálnej podobe. Nevýhodou fotogrametrickej metódy je, že výsledky merania nie sú hneď k dispozícii, ale až po laboratórnom spracovaní a vyhodnotení snímok. Jej presnosť závisí hlavne od snímkovej mierky, kvality použitých kamier a snímkového materiálu. Keďže je digitálna doba, tak sa núka využitie metód digitálnej fotogrametrie. [4]

Laserové skenovanie

Zaujímavou možnosťou, ktorá je v ponuke v oblasti merania deformácií, je technológia laserového skenovania, ktorá umožňuje meranie výškových i vodorovných posunov. Táto technológia nedosahuje pre jednotlivé body takej presnosti ako dlhodobá observácia GNSS alebo presnej totálna stanica, ale tento nedostatok prekonáva v rýchlosti merania, hustota bodov a komplexnosti zachytenia povrchu. Vďaka vysokej rýchlosti zberu dát je možné využitie tejto technológie i pre meranie dynamických procesov, akým je napríklad pretvorenie mostu pri zaťažovacej skúške. Základnou metódou vyhodnotenia deformácií je rozdielový digitálny model terénu alebo digitálny model posunov. Preto je najprv nutné pretransformovať všetky namerané dáta do takého súradnicového systému, ktorý má osi orientované identicky s vyznačenými smermi očakávaných posunov. Zaujímavou možnosťou ako prezentovať namerané dáta je tzv. metóda priemerných posunov. Táto metóda je založená na spriemerovaní výsledkov z rozdielového modelu v oblastiach, v ktorých sa predpokladá posun. Táto metóda umožňuje jednoduchšiu interpretáciu výsledkov a taktiež ich vyššiu presnosť (niekedy až trojnásobne). [8]

Laserové skenovanie využíva princíp pulzného bezodrazového diaľkomera, ktorý pracuje s vysokou frekvenciou, rádovo v desiatkach a stovkách tisíc hertzov. Dosah metódy je približne do 200 m, podľa použitého typu skenera. Výsledkom merania je mračno bodov s trojrozmernými priestorovými súradnicami. Presnosť

určovaných priestorových vzťahov sa pohybuje rádovo v milimetroch. Metóda sa používa hlavne pre dokumentáciu veľmi zložitých konštrukcií. [9]

GNSS

Metódy GNSS sú vhodné na meranie posunov v prípade, že treba určiť posuny s presnosťou $\sigma_p=5$ mm a časový interval medzi jednotlivými etapami nie je kratší ako 15 až 30 minút. Vzťažné aj pozorované body musia byť umiestnené tak, aby umožňovali observáciu satelitov (vyžaduje sa elevačný uhol 15°). Splnenie tejto podmienky kladie vo väčšine prípadov najväčšie nároky na realizáciu meraní. Na druhej strane metóda nevyžaduje viditeľnosti medzi bodmi. Vypracovaním postupu využívajúceho rádiového spojenia medzi aparáturami je možné skrátiť interval medzi dvomi observáciami na 1 až 2 minúty. Doba merania je potom závislá na počte meraných bodov, počte aparátur, ktoré sú k dispozícii a na čase potrebnom na presun medzi meranými bodmi. [4]

Fyzikálne metódy merania posunov a deformácií:

Tieto metódy nepatria medzi geodetické metódy. Využívajú sa pri meraní relatívnych posunov s vysokou presnosťou. Veľmi často sa používajú na kontinuálne merania s automatickou registráciou nameraných dát vo zvolenom časovom intervale. Často sa jedná o extenzometrické merania. Pri meraní sa často využívajú aj tenzometre. Sú to prístroje pracujúce na mechanickom, optickom, elektrickom princípe a slúžia k meraniu relatívnych deformácií stavebných konštrukcií. Často bývajú zabudované do sledovanej konštrukcie.

Pre určenie malých dĺžkových zmien sa podobne používa deformetre či tyčové meradlá. Medzi ďalšie fyzikálne meradlá patria aj elektronické digitálne libely a sklonometry (klinometre), ktorými je možné merať relatívne zmeny sklonu s presnosťou rádovo 0,01-0,05 mm na 1 m dĺžky. Na mechanickom princípe pracujú aj v praxi rozšírené číselníkové uchýlkomery (indikátorové hodinky) merajúce dĺžkové zmeny s presnosťou 0,01 mm. Zmeny zvislosti (náklon) sa merajú pomocou špeciálnych kyvadiel alebo optických prevažovacích prístrojov. Medzi najpresnejšie metódy patrí laserová interferometria (dosahujúca presnosť pri meraní v atmosfére cca $10^{-7}m$). [10]

Automatizované meracie systémy na kontrolu stability mostov

Automatizované meracie systémy (AMS) na dlhodobý geodetický monitoring posunov a pretvorení sú čoraz častejšie nasadzované na investičné náročných stavebných objektoch. Umožňuje sledovať stav objektov v reálnom čase v relatívne vysokom časovom rozlíšení. Katedra geodézie Stavebnej fakulty STU v Bratislave si navrhla vlastný tento systém, ktorej inštalácia a testovacia prevádzka je realizovaná na moste Apollo cez rieku Dunaj v Bratislave. Tento systém na kontrolu mostov je založený na integrácii geodetických a negeodetických technológií na meranie posunov a pretvorení do jedného celku. Systém pracuje na princípe viacerých metód, ktoré umožňujú kontinuálne meranie a registráciu meraných údajov. Je navrhnutý tak, aby poskytoval užívateľovi (správcovi mosta) údaje o správaní sa mostnej konštrukcie počas plnej prevádzky mosta. AMS pozostáva z: univerzálnej meracej stanice Leica TS30 so systémom ATR, multifrekvenčnej GNSS aparatúry Leica Viva GS15, dvojsových snímačov naklonenia Leica Nivel 210 a Nivel 220, jednoosového snímača zrýchlenia HBM B12/200, A/D prevodníka HBM Spider 8, meteorologických staníc, časového servera, prenosných počítačov. Systém je umiestnený na moste, resp. v blízkosti mosta Apollo v Bratislave, kde sa realizujú pravidelné testovacie 24-hodinové merania, niekoľkokrát v roku. Predmetom geodetického monitoringu hlavnej ocelevej konštrukcie mosta sú: priestorové 3D posuny pozorovaných bodov umiestené v oblasti spodných nosných trémov, vrátane kontroly stability vzťažných bodov; vodorovné posuny pozorovaných bodov v úrovni vrcholu oblúka nosnej konštrukcie; priečne a pozdĺžne naklonenia nosnej konštrukcie; dynamické pretvorenie nosnej konštrukcie v spodnej úrovni trémov. [11]

Inerciálne merania

Táto metóda je novinkou v oblasti geodetických aplikácií. Princíp inerciálnych meraní spočíva v kontinuálnom meraní zrýchlení a uhlových rýchlostí. Inerciálne meracie systémy boli vyvinuté z inerciálnych navigačných systémov, používaných na navigáciu lodí, ponoriek, lietadiel, umelých družíc a riadených striel. V súčasnosti sa využívajú spoločne s prístrojmi GPS aj pri navigácii motorových vozidiel. Na meranie posunov sú vhodné v prípade, že sa jedná o rozsiahlejšie objekty a vyžadovaná presnosť určenia posunov nepresiahne hodnotu $\sigma_p = 5 \text{ mm}$. Oproti metóde GPS má inerciálne

merania výhodu v tom, že nie je viazané na žiadny príjem zo satelitov ani na prírodné alebo umelé osvetlenie, ani na počasie. [4]

Zaťažovacie skúšky

Zaťažovacie skúšky stavebných konštrukcií tvoria osobitnú skupinu kontrolných meraní. Zaťažovacie skúšky stavebných konštrukcií, najmä mostov, majú predovšetkým kontrolný charakter a slúžia na overenie celkovej statickej a dynamickej funkcie a kvality skúšanej konštrukcie. Z geodetického hľadiska sú predmetom merania zvyčajne zvislé posuny základových konštrukcií, zvislé a vodorovné posuny a náklon nosných konštrukcií. Podrobnosti o projekte, realizácii a vyhodnocovaní zaťažovacích skúšok uvádzajú technické normy pre zaťažovacie skúšky alebo literatúra. [4]

Pred odovzdaním mostnej stavby do užívania je nutné preveriť spoľahlivosť celej konštrukcie zaťažovacou skúškou podľa STN 73 6209 Zaťažovacie skúšky mostov. Preveruje sa ňou statická a aj dynamická funkcia odolávať účinkom skúšobného zaťaženia. Pri statických zaťažovacích skúškach sa sleduje pôsobenie skúšobného zaťaženia na mostný objekt, merajú sa pretvárané silové a deformačné veličiny (priehyb, pootočenie, posun, osová a priečna sila, ohybný moment), veľkosť trhlín a zisťujú sa poruchy a ďalšie vlastnosti. Namerané a zistené účinky sa porovnávajú s príslušnými hodnotami veličín z teoretického výpočtu a podľa kritérií normy sa vyhodnocuje, či mostná stavba vyhovuje a splňa predpokladané podmienky použitia. Statické zaťažovacie skúšky sa delia na základné, zistené a mimoriadne. Dynamické skúšky sú normou vyžadované predovšetkým pre mosty pozemných komunikácií s rozpätím väčším než 45 m. [12]

Predstavujú veľmi efektívny spôsob vyšetřovania správania sa konštrukcie, nakoľko pri nich pôsobí na konštrukciu presne definované vonkajšie zaťaženie. Podľa druhu zaťaženia rozoznávame zaťažovacie skúšky statické a dynamické. Pri statických skúškach je zaťaženie (spravidla štrkopieskom naložené nákladné automobily), umiestnené v určitej polohe počas stanoveného časového intervalu. Počas pôsobenia zaťaženia sa realizuje súbor meraní. Na most sa inštalujú meracie zariadenia a využívajú sa tiež (ak sú inštalované) snímače a prístroje pre dlhodobé sledovanie mosta. Zvyčajne sa štandardne vykonávajú merania: priehybov nosnej konštrukcie, sadania a nakláňanie opôr, posun a pootočení nosnej konštrukcie, širok trhlín. Pri

dynamických skúškach sa na nosnej konštrukcie vyvodzuje dynamický impulz (prejazd vozidla cez prekážku, krátky ťah reaktívneho motora). Jeho odozva (kontinuálne zaznamenávané amplitúdy a frekvencie kmitania vybraných bodov konštrukcie) sa sledujú snímačmi. Z meraní sa buď vyhodnocuje splnenie kritérií normy, alebo sa overujú vlastnosti konštrukcie. V druhom prípade musí byť vypracovaná dynamická analýza konštrukcie a výsledky sa musia spoľahlivo interpretovať z hľadiska skutočných vlastností konštrukcie alebo vzniknutých porúch. [13]

3.3 Príklady merania posunov a pretvorenia z praxe

Meranie zvislých posunov vybraných objektov jadrovej elektrárne v Jaslovských Bohuniciach, kde bola dosiahnutá štandardná odchýlka posunu 0,506 mm. [14]

Meranie zvislých posunov mostného objektu Apollo v Bratislave metódou veľmi presnej nivelácie. Pri použití nivelačného prístroja Trimble DiNi 12 bola dosiahnutá presnosť určenia posunu charakterizovaná priemernou smerodajnou odchýlkou hodnoty 0,4 mm. [3]

Zisťovanie zvislých posunov pri dlhodobom geodetickom monitoringu mostnej konštrukcie na Rýchlostnej komunikácii R1 na úseku Selenec – Beladica pri použití metódy presnej nivelácie. S použitím prístroja Trimble DiNi sa dosiahla smerodajná odchýlka zvislých posunov po prevode na referenčný stav konštrukcie na 0,4 mm. [15]

Pri objasňovaní problémov stability turbosústroje Jadrovej elektrárne Dukovany v období výstavby chyba určenia prevýšenia hydrostatickou niveláciou nepresiahla hodnotu 0,03 mm. [16]

Meranie priehybu čiary na moste generála Chábery v Litoměřicih za použitia totálnej stanice Trimble S6 HP bola, kde testovanie merania určilo smerodajnú odchýlku určenia výšky bodu o veľkosti 0,67 mm. [17]

Fotografické určovanie deformácií hradiacich telies na vodných tokoch pomocou časovej základne, boli určované vodorovné a zvislé posuny konštrukcie spôsobené tlakom vody na teleso po napustení zdrže. Očakávaná presnosť posunov podľa rozboru presnosti sa mala pohybovať v rozmedzí 0,5 až 2,8 mm. [18]

Geodetický monitoring PVE Čierny Váh s využitím laserového skenovania použitím skenerov Trimble GX a Leica Scanstation 2. Presnosť modelu získaný

pomocou skeneru Trimble GX má presnosť 2-4 cm a za použitia skenera Leica Scanstaion 2 má presnosť 1-2 cm. [19]

Metóda Stop & Go bola použitá pri meraní posunov a deformácií železničného zvršku Ivančického viaduktu, kde bola pri použití dvojfrekvenčných aparatúr Leica SR299 a SR399 dosiahnutá horizontálna presnosť 5-7 mm a presnosť výšky dosahovala 10-15mm. [6]

Pri experimentálnom testovaní presnosti merania dosahovanej metódy GPS-RTK bolo zistené, že pri použití optimalizovaných meracích postupov (napr. doba observácie 5 min) je možné dosiahnuť presnosť charakterizovanú hodnotu rozšírenej neistoty ($P=0,95$) 5 mm u polohy a 10 mm u výšky. [20]

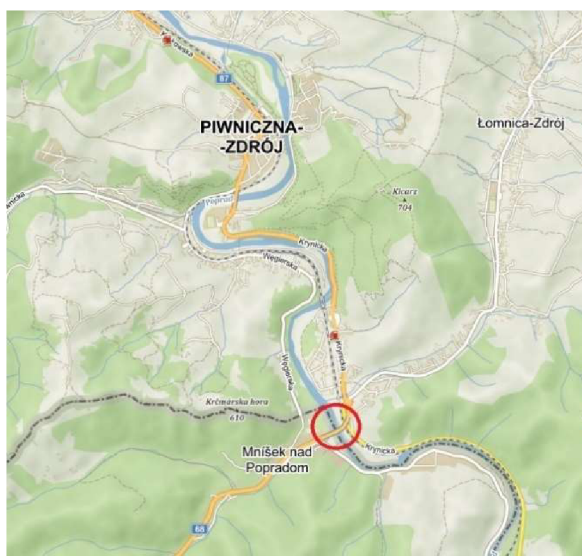
Pri vyrovnaní siete je možné použiť samostatne iba signály z družíc GPS, alebo GPS s GLONASS. Rozdiely medzi spracovaným GPS signálom a GPS kombinovaným s GLONASS boli na pozorovaných bodoch na Veľkomarskom zosuve do 1 mm. Presnosť určených priestorových základníc bola do 1 mm. Presnosť jednotlivých bodov po vyrovnaní siete sa pohybovala v rozpätí 0,6 až 3,1 mm. [21]

Monitoring mostných konštrukcií by malo byť pravidelné, pretože časom sa doprava zhusťuje a tým konštrukcia mosta viac pretvára. Meranie posunov by sa malo vykonávať za rovnakých podmienok, aby sa obmedzil vplyv poveternostných podmienok, pretože pri rôznych podmienok sa stavba správa rôzne (naťahuje sa, ohýba sa, krúti sa, ...). Nároky a požiadavky na rozsah, obsah a kvalitu merania posunov konštrukcií sa zvyšujú. Čím je potrebné vyvíjať nové technológie a aplikácie, ktoré tieto požiadavky budú spĺňať. Do popredia v oblasti merania posunov dostávajú automatizované meracie systémy, ktoré sú hlavne nainštalované na dôležitých mostoch, automaticky dokážu monitorovať pohyb mostnej konštrukcie v daných podmienkach. Významným aspektom na meraní posunov má rozvoj metrológie, ktorá tvorí základne predpoklady na plnenie úloh v oblasti merania posunov s požadovanou kvalitou a efektívnosťou merania. Dôležitým faktorom je aj zisťovanie príčin posunov a vyvíjať nové technológie, aby sa posuny zminimalizovali.

4 SLEDOVANIE MOSTNEJ KONŠTRUKCIÍ CEZ RIEKU POPRAD

4.1 Základné údaje o sledovanej konštrukcii

Most sa nachádza v obci Mníšek nad Popradom, tvorí hraničný prechod na hlavnej ceste I/68 medzi Starou Ľubovňou a poľským mestom Nowy Sacz. V dĺžke 324 m ponad rieku Poprad spája slovenskú obec s poľskou obcou Piwniczna. Most je súčasťou cyklomagistrály až do poľského mesta Nowy Sacz.



Obr. 1: Lokalizácia mostu [mapy.cz]



Obr. 2: Pohľad na most [22]

4.2 Výstavba nového mosta

Starý most nemal dostatočnú nosnosť a neumožňoval nákladnú dopravu. Pôvodný hraničný prechod Mníšek nad Popradom – Piwniczna na ceste I/68 bol určený len pre vozidlá do 3,5 tony. Preťažký terén, geologickú stavbu a zosuvy na viacerých miestach, musela byť urobená preložka cesty I/68 do novej trasy, s novým hraničným prechodom. Nový most tak prepája nielen možnosti pre turistov a návštevníkov oboch regiónov, ale aj pre podnikateľov, keďže už neumožňuje aj nákladnú dopravu. [23]

Vybudovaním nového hraničného prechodu sa eliminovali nebezpečné úseky cesty I/68. Zvýšila sa bezpečnosť a plynulosť cestnej dopravy v novom úseku I/68. Podľa územného plánu vyššieho územného celku prešovského kraja, je v trase nového hraničného mosta vedená medzinárodná cyklomagistrála tzv. Toryšská cyklomagistrála, ktorá vedie až do poľského mesta Nowy Sacz. Dotknuté územie Prešovského kraja má veľmi dobré urbanizačné predpoklady rozvoja cestovného ruchu a patrí medzi hlavné cestné komunikácie turistických koridorov medzinárodnej úrovne št. hranica PR/S. [28]

Cesta I/68 na území Slovenskej republiky patrí do siete štátnych ciest I. triedy. Na území Poľskej republiky pokračuje cesta pod označením „štátna cesta č. 87“. Cestná komunikácia je zaradená do funkčnej skupiny B a funkčnej triedy B2. Šírkové usporiadanie navrhovanej preložky cesty I/68 vychádza zo základnej kategórie podľa STN 73 61110 – MZ 8,5/50, ale je upravená o jazdný pruh v strede komunikácie, podľa požiadavky poľskej strany na šírku 3,5 m. V pridruženom priestore cesty je vedená pešia a cyklistická doprava v jednosmerných pruhoch o šírke 1,5 m. Zrealizovaná preložka cesty III/54112 do obcí Kače a Medzibrodie je funkčnej skupiny C - obslužná komunikácia a funkčnej triedy C3. Šírkové usporiadanie cesty II/54112 zodpovedá MOK 7/30. Táto komunikácia je napojená na cestu I/68 v stykovej križovatke. Mostný objekt, ako súčasť cesty I/68 slúži cestnej doprave. Je hraničný most medzi Slovenskou a Poľskou republikou. Jeho účelom je premostiť hraničnú rieku Poprad, jednokoľajovú železničnú trať, krajskú cestu č. 971 na Poľskej strane, potok Hraničná na Slovenskej strane. Komunikácia na moste je trojpruhová, obojsmerná. V mieste mostného objektu je komunikácia v smerovo v priamej, v prechodnici a v oblúku s polomerom $R=160,0$ m, výškovo vo vrcholovom oblúku s polomerom $R=2500$ m. Vozovka na moste má strechovitý sklon 2,5%- 4%. Na oporách a podperách je nosná konštrukcia uložená na hrncových ložiskách. Súčasťou tohto projektu bolo vybudovanie verejného osvetlenia

na ceste I/68 a cesty III/54112, úprava jestvujúceho vzdušného telefónneho vedenia, preložka vzdušného NN vedenia, preložka stožiarovej trafostanice, ochrana brehov rieky Poprad, oplotenie, cestná kanalizácia a spätná rekultivácia dočasne zabratých plôch. Tento projekt splnil svoj cieľ a zlepšil dopravné spojenie medzi oboma krajinami. Vytvoril priaznivé podmienky pre rozvoj turistiky, domácich a zahraničných podnikateľských aktivít a hlavne zvýšil bezpečnosť motorovej i nemotorovej dopravy. [24]



Obr. 3: Výstavba mostu [25]

4.3 Monitorovanie posunov a pretvorenia mostovky

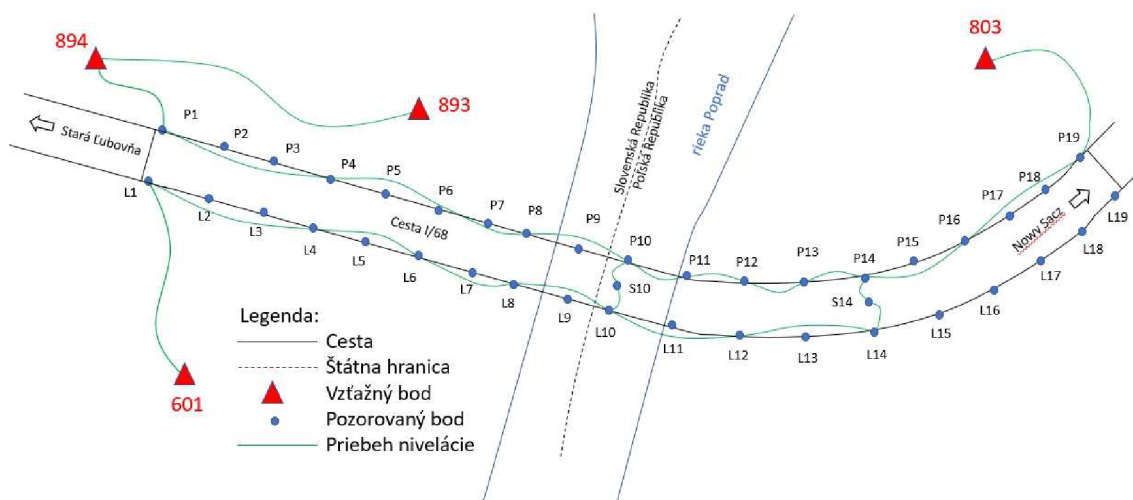
Dôraz je kladený na geodetické metódy monitorovania posunov, ktoré sú schopné poskytovať absolútne hodnoty posunov, zatiaľ čo iné použiteľné metódy poskytujú len relatívne posuny. Systém je tvorený vhodne rozmiestnených meračských značiek osadených na mostovke, vzťahnou sieťou umiestnenou mimo deformačnej zóny objektu, čím je možné sledovať relatívne a absolútne vzťahy.

Veľmi dôležitým aspektom je rozmiestenie a počet meračských značiek na sledovanom objekte, ktorý je navrhovaný statikom v spolupráci s geodetom na miestach kde dochádza k významným posunom.

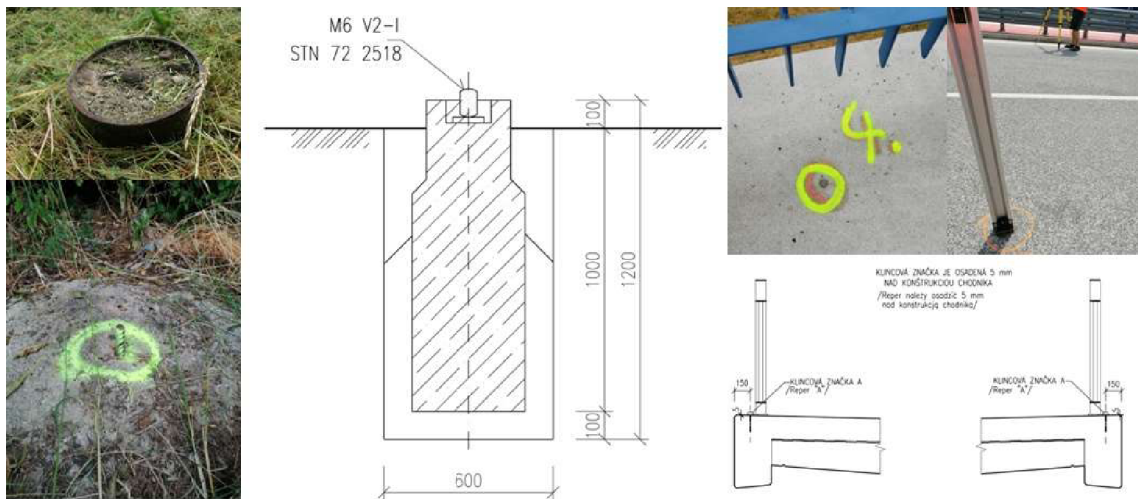
Pre potrebu dlhodobého sledovania posunov bola vybudovaná sieť vzťažných a pozorovaných bodov.

Ako vzťažné body boli použité body lokálnej vytyčovacej siete pre mostný objekt SO 200-00. Body vzťažnej siete na slovenskej strane boli stabilizované pred výstavbou a na poľskej strane sa stabilizovali počas výstavby. Bod č. 601 je stabilizovaný zabetónovaným roxorom, bod č. 803 je stabilizovaný oceľovou šrubou umiestnenou v konštrukcii železničného stožiaru. Body č. 893 a 894 sú stabilizované pažnicou, ktorej spodok je umiestnený pod nezamrzajúcu hĺbku pôdy. Počas výstavby vzťažná sieť obsahovala viac bodov ale časom sa zničili. Na slovenskej strane sú umiestnené 3 body a na poľskej strane 1 bod.

Pozorovacie body v nosnej konštrukcii sú stabilizované skrutkou s pologulatou hlavou. Na mostovke je stabilizovaných 38 pozorovacích bodov. Objednávateľ si prial stabilizovať a zamerať 2 nové pozorovacie body v strede vozovky s označením S10 a S14. Pozorovacie body sa nachádzali nad každou podperou aj medzi podperami mosta.



Obr. 4: Schéma rozmiestenia vzťažných a pozorovacích bodov



Obr. 5: Stabilizácia vzťažného pozorovacích bodov

Pred odovzdaním mosta do prevádzky sa uskutočnilo zameranie 0. Etapy metódou presnej nivelácie vykonanou firmou Geodeticca a. s.. Pre určenie posunov a deformácií mostovky bola použitá metóda presnej nivelácie s použitím elektronického prístroja a invarových lát.

5 POŽIADAVKY NA PRESNOŠŤ MERANIA

Je nevyhnutným pred meračskými prácami vykonať rozbor presnosti, čím sa následne zisťuje prevedenie merania s dostatočnou presnosťou, tak ako vyžaduje daná úloha. Danou veličinou vstupujúca do rozboru presnosti je väčšinou medzná hodnota zisťovaného geometrického parametru, ktorá musí byť dosiahnutá z požiadaviek objednávateľa, projektanta alebo z legislatívneho predpisu alebo normy. V našom prípade merania posunov a pretvorenia objektu nie je hodnota stanovená statikom s ohľadom na typ, pevnosť a stabilitu konštrukcie s prihliadnutím na geologické pomery podložia objektu. Vo veľkom množstve prípadov požadovaná hodnota na minimálnu presnosť stanovenia posunu meraním nebýva daná medznou hodnotou, ale hodnotami očakávaných posunov, v rádoch milimetra alebo desiatin milimetra. Týmto spôsobom bola požadovaná presnosť zamerania vyjadrená pri riešenom moste ponad rieku Poprad.

Dôraz na presnosť sa kládol na nosnú časť konštrukcie, kde bolo objednané zisťovanie zvislých posunov s vysokou presnosťou, tak aby bolo možné zistiť aj minimálne posuny. Očakávali sa vertikálne posuny mostovky v hodnotách desiatin milimetra až v milimetroch. Z takéhoto dôvodu bola zvolená metóda presnej nivelácie, ktorá je schopná poskytovať spoľahlivé výsledky pre práce tohto typu. Pre dosiahnutie požadovanej presnosti bol zvolený elektronický nivelačný prístroj Sokkia SDL1X s použitím kódových invarových lát Topcon BIS30. Minimálna rozlišovacia schopnosť prístroja predstavuje 0,01 mm. Výrobcom udávaná smerodajná odchýlka na 1 km obojstrannej nivelácie podľa normy ISO 17123-2 činí 0,2 mm. Na základe experimentálne vykonaných testov (viď. nasledujúca kapitola) bolo dokázané, že pri zostave do 80 m (najdlhšia meraná zostava) sme schopní s príslušným vybavením dosiahnuť smerodajnú odchýlku v rozmedzí 0,01 až 0,07 mm. Ak k meraným dátam pripočítame chyby ako nevodorovnosť pätiiek nivelačných lát, nevodorovnosť zámernej priamky a ďalších chýb sme schopní vertikálne posuny interpretovať v rozsahu $\pm 0,1$ až $\pm 0,2$ mm. S takouto presnosťou je plne dostačujúce zameranie vertikálnych posunov mostovky.

6 KONTROLA PRESNOSTI POUŽITÝCH MERADIEL

Keďže ide o práce, ktoré vyžadujú vysokú presnosť, bolo nutné previesť niekoľko testov prístroja a pomôcok. Účelom kontroly bolo overenie presnosti použitých prístrojov a pomôcok udávaným výrobcom, so zistením príslušných korekcií za účelom eliminácie systematických chýb. Náplňou kontroly bolo zistenie nevodorovnosti zámernej priamky a stanovenie závislosti presnosti prevýšenia na dĺžke zostavy u elektronického nivelačného prístroja Sokkia SDL1X, overenie vodorovnosti pätky nivelačných kódových invarových lát a vplyv teploty prístroja na zámernú priamku.

6.1 Špecifikácia použitých meradiel



Obr. 6: Prístroj Sokkia SDL1X [27]

Nivelačný prístroj Sokkia SDL1X [26]

Presnosť: (kompatibilní s ISO17123-2)

Výška (Štandardná odchýlka na 1 km obojsmernej nivelácie)

Elektronické čítanie 0,3mm (s BIS20/BIS30)

Vzdialenosť (Elektronické čítanie)

$\pm 10\text{mm}$ alebo menej (10m nebo menej)

$\pm(0,1\% \times D)$ alebo menej (nad 10 a menej než 50m)

$\pm(0,2\% \times D)$ alebo menej (50 až 100m)

(D: meraná vzdialenosť, jednotka: m)

Režimy merania: Jednoduchý/Opakovaný/Priemerný/Rýchly (voliteľný)

Doba merania:

Jednoduchý/Opakovaný menej ako 2,5 sec

Priemerný Počet sad merania x menej než 2,5 sec

Rýchly/opakovaný menej ako 1 sec

Zakrivenie Zeme a oprava na lom lúčov:

Nie/Áno K=0,142/Áno K=0,20 (voliteľné)

Nivelačné late Topcon BIS30 [26]



Obr. 7: Nivelačná lata Topcon BIS30

Pri meraní boli použité 2 nivelačné invarové lavy BIS30 v. č. 66788, 65767.

Invar: kontatibilný s ISO 12858-1:1999.

Súčiniteľ dĺžkovej rozťažnosti: $1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Rozsah mierky: 37,5 až 2972,5 mm

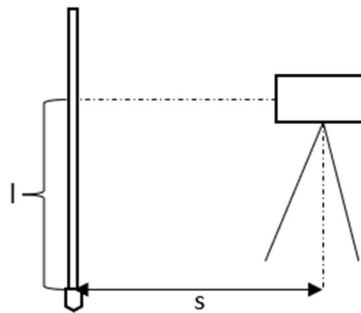
Rozmery: 85 (š) x 40 (h) x 3038 (v) mm

Hmotnosť: 5,5 kg

Kód: RAB (RANdom Bi-directional code – náhodný obojsmerný kód)

6.2 Kontrola vodorovnosti pätky nivelačných lát

Vodorovnosť pätky nivelačnej late má dôležitú podstatu pri takýchto presných prácach, z dôvodu častého postavenia nivelačnej late na rôzne časti pätky. Takéto postavenie si vyžaduje rôzne postavenie late na jednotlivých nivelačných značkách. Test vodorovnosti bol vykonaný na použitých dvoch 3 m nivelačných lát Topcon BIS30 (v. č.65767 a 66788). Postup testu bol vykonaný nasledovne: dĺžka zámery počas testu bola 4 m, nivelačná lata bola postavená na nivelačnej podložke, lata bola postupne postavená na všetky charakteristické miesta jej pätky. Poradie postavenia late bolo vykonané pomocou schémy 1, 2, 3, 4, 5, 1 z pohľadu osoby merača. Vysvetlenie označení postavenia: 1 znamená stred pätky, 2 ľavá predná, 3 ľavá zadná, 4 pravá zadná, 5 pravá predná časť pätky. Pre kontrolu testu bolo meranie vykonané 2-krát. Výsledok testu je stanovenie vertikálnych odchýlok jednotlivých častí pätky od jej stredu.



Obr. 8: Schéma kontroly vodorovnosti pätky

Prvým krokom spracovania testu bolo určenie priemeru prevýšenia meraného na stred pätky. Výsledné hodnoty odchýlok boli vypočítané ako rozdiel výsledného prevýšenia meraného na stred a na jednotlivé časti pätky a sú uvedené v tabuľke č. 1.

Pri výpočte boli použité tieto vzorce:

Aritmetický priemer:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Výberová smerodajná odchýlka z dvojice merania:

$$\sigma_{OX} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n dd}{2n}}$$

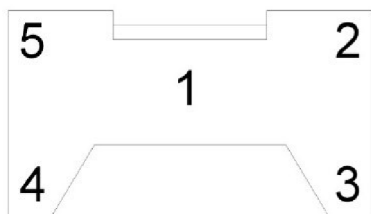
Smerodajná odchýlka aritmetického priemeru:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_{OX}}{\sqrt{n}}$$

x_i ... nameraná hodnota
 v_i ... oprava nameranej hodnoty
 n ... počet opakovaní

Prehľad výsledku testu:

Namerané hodnoty odchýlok od stredu pätky v mm:



Obr. 9: Poloha umiestnenia lát

Tab. 1: Odchýlky vodorovnosti pätiiek

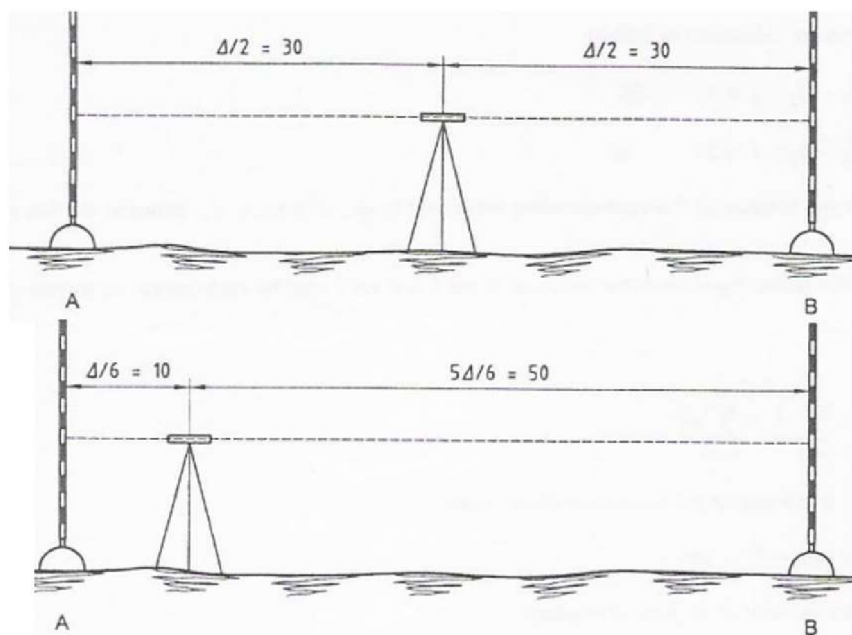
Poloha late	Lata č. 66788 Odchýlka [mm]	Lata č. 65767 Odchýlka [mm]
1	0,00	0,00
2	0,02	-0,02
3	-0,01	-0,01
4	0,01	0,02
5	0,02	-0,02

Smerodajná odchýlka zistených hodnôt je **0,01 mm** s pravdepodobnosťou $P=0,68$.

6.3 Kontrola vodorovnosti zámernej priamky

Princíp metódy nivelácie je založený na vodorovnej zámere nivelačného prístroja a odčítaní hodnoty prevýšenia na late, nevodorovnosť zámernej priamky nivelačného prístroja priamo ovplyvňuje správnosť nameraných údajov najmä pri odlišných dĺžkach zámer v zostave. Na tento dôvod sa prikladá testu najväčšia priorita. Chyba nevodorovnosti zámernej priamky na systematický charakter a jej vplyv možno eliminovať zavedením korekcie získanej ako výsledok tohto testu. Ak je dodržaná podmienka rovnakých dĺžok zámer, vplyv chyby sa automaticky vylúči. Ak je táto podmienka nie je možné dodržať, je nutné zaviesť korekcie, ktoré sa zavádza na rozdielne dĺžky zámer nivelačnej zostavy. Test je nutné vykonať pred začatím a aj po ukončení merania, čím sa zaistí správnosť nameraných údajov a zavedených korekcií počas celej doby merania úlohy. Experimentálne testovanie bolo vykonané podľa STN ISO 17 123-2 zjednodušeným postupom.

Pre zaistenie maximálnej presnosti bola vykonaná kalibrácia použitého nivelačného prístroja Sokkia SLX1D, ktorá zahŕňa prevedenie tohto testu v 10 opakovaníach a tým stanovenie hodnoty korekcie z nevodorovnosti zámernej priamky z rozsiahleho súboru meraných dát.

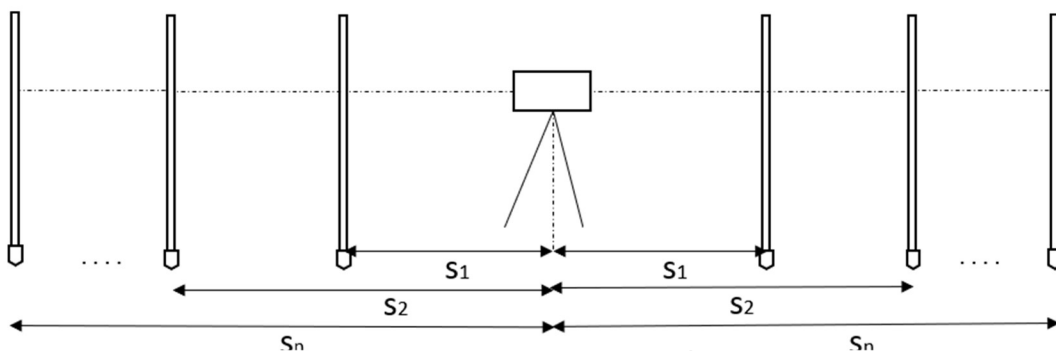


Obr. 10: Schéma testovacej priamky [30]

Výsledok testu bola hodnota sklonu zámernej priamky na jeden meter, ktorá predstavuje **-0,003 mm/m** s neistotou **0,001 mm/m** ($P=0,95 \alpha=5\%$).

6.4 Vyhodnotenie presnosti prevýšenia závislosti na dĺžke nivelačnej zostavy

Týmto testom sa zistila miera vzrastajúcej smerodajnej odchýlky meraného prevýšenia v závislosti od dĺžky zámer nivelačnej zostavy. Je očakávané, že pri vzrastajúcej dĺžke zostave bude smerodajná odchýlka plynule rásť. Postup testu spočíval v opakovanom meraní prevýšenia pre každú dĺžku zostavy. Počet opakovaní bol 10, tým sme dostali 10 prevýšení pre každú testovanú dĺžku zostavy. Dĺžky zostáv prestavovali 6, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 m z čoho vyplýva, že pri centrickom postavení prístroja sú dĺžky zámer rovné polovici týchto hodnôt. Ukážka meraných dát je uvedená v tabuľke č. 2, výsledok tohto testu sa nachádza v tabuľke č. 3 a v grafe č. 1.



Obr. 11: Schéma testu presnosti prevýšenia závislosti na dĺžke nivelačnej zostavy

Spracovanie nameraných hodnôt pozostáva z výpočtu aritmetického priemeru prevýšenia pre každú dĺžku zostavy, výpočet opráv jednotlivých meraní a napokon výpočet výberovej smerodajnej odchýlky jedného meraného prevýšenia pre jednotlivé dĺžky zostáv.

Postup výpočtu pre dĺžku zostavy 30 m (dĺžka zostavy 15 m):

Tab. 2: Ukážka výpočtu testu

	vzad [m]	vpred [m]	prevýšenie [m]	oprava [mm]
1	0,99169	1,84125	-0,84956	0,013
2	0,99170	1,84127	-0,84957	0,023
3	0,99173	1,84128	-0,84955	0,003
4	0,99172	1,84128	-0,84956	0,013
5	0,99174	1,84121	-0,84947	-0,077
6	0,99175	1,84126	-0,84951	-0,037
7	0,99174	1,84126	-0,84952	-0,027
8	0,99172	1,84129	-0,84957	0,023
9	0,99170	1,84128	-0,84958	0,033
10	0,99169	1,84127	-0,84958	0,033

Priemerná hodnota:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = -0,84955 \text{ m}$$

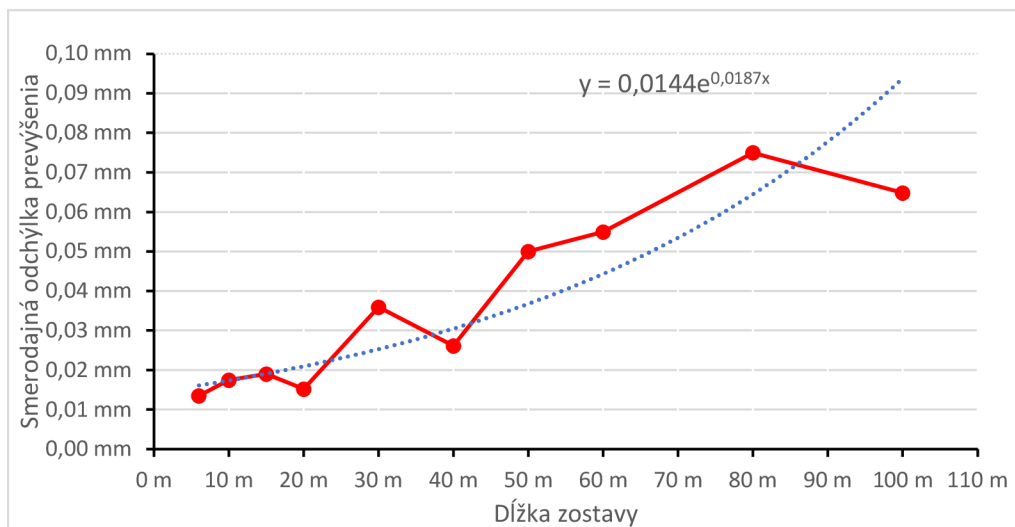
Smerodajná odchýlka jedného merania:

$$\sigma_h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} = 0,036 \text{ mm}$$

Výsledné hodnoty zistených smerodajných odchýlok na všetky dĺžky zostáv a graf závislosti smerodajnej odchýlky prevýšenia na dĺžke zostavy.

Tab. 3: Výsledok testu

Dĺžka zost. [m]	6	10	15	20	30	40	50	60	80	100
Smer. odch. [mm]	0,014	0,018	0,019	0,015	0,036	0,026	0,05	0,055	0,075	0,065

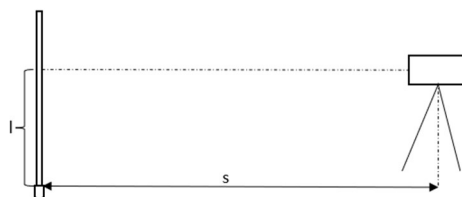


Graf 1: Závislosť presnosti meraného prevýšenia od dĺžky zostavy

Nakoľko dĺžka zostavy pri meraní posunov mostovky nepresiahla 80 m, je možné skonštatovať, že prístroj plne vyhovuje požadovanej presnosti, a zároveň výsledky testu presnosti korešpondujú s presnosťou udávanou výrobcom.

6.5 Vplyv teploty prístroja na zámernú priamku

Experimentálny pokus bol vykonaný 4.1.2022 v čase od 11:58 do 14:00. Cieľom experimentu bolo zistiť ako sa chová zámerná priamka počas teplotných zmien prístroja. Na meranie bol použitý nivelačný prístroj Sokkia SDL1X, invarová nivelačná lata BIS30 s v. č. 65788, kontaktný teplomer Commeter D0121 s dvoma sondami. Pred začatím bolo potrebné nechať stemperovať statív a stabilizovať nivelačnú latu. Lata bola stabilizovaná na preklade dverí zrútenej stavby. Statív bol postavený na hlinenno-štrkovom podlaží, pretože bolo problematické uchytiť pevne nivelačnú latu v lokalite a z dôvodu, aby som niekomu neprekážal počas testu Výsledok testu je znázornení v grafe č. 2.



Obr. 14: Schéma testu vplyvu teploty prístroja na zámernú priamku

Meranie začalo približne po 5 minútach od prenesenia prístroja z kancelárie na statív, kde sa teplota kancelárie pohybovala okolo 20°C. Po primontovaní nivelačného prístroja na statív, pripevnenie sond teplomera nasledovalo už samotné meranie, ktoré spočívalo z odčítania hodnoty na late a odčítaní hodnôt teploty prístroja a vzduchu. Odčítavanie hodnôt bolo vykonané každú minútu, až do 13:20 boli odčítavané hodnoty každé 2 minúty.



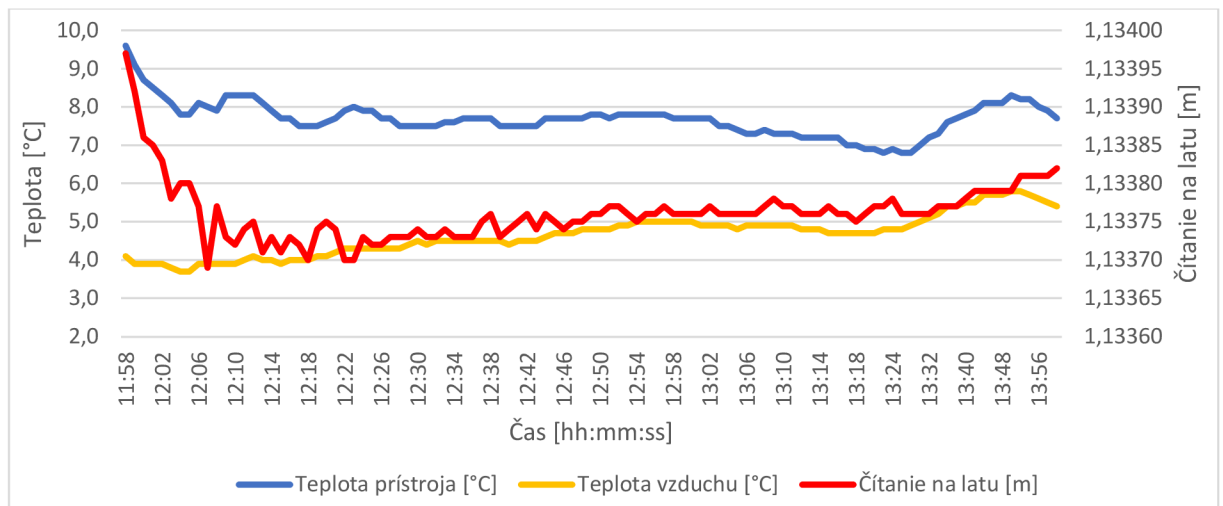
Obr. 15: Temperácia prístroja



Obr. 17.:Stabilizácia late



Obr. 16: Napojenie teplomera



Graf 2: Závislosť zámernej priamky pri temperácií

Spracovaním sa zistilo, že najväčšia zmena poklesu teploty prístroja bola pred začatím testu, pri presune a pripevnení prístroja na statív. Pokles teploty bol 10°C za 5 minút. Pri prvých 12 minútach merania pokusu, sa rýchlo zmenila teplota prístroja, kde zmena sklonu zámernej priamky predstavovala $-0,19\text{mm}/^{\circ}\text{C}$ na dĺžku 16,7 m. Najmenší zistený rozdiel počas merania medzi teplotou prístroja a vzduchu predstavoval $1,9^{\circ}\text{C}$ po uplynutí 90 minút, čo predstavuje $32\text{ min}/^{\circ}\text{C}$ pre zmenu teploty prístroja. Ďalším zistením je, že sklon zámery klesá pri ochladení a pri oteplení zámery stúpa. Z experimentálneho pokusu vyplýva to, čo už je známe, že pred každým meraním je potrebné prístroje dôkladne temperovať.

7 MERAČSKÉ PRÁCE, ANALÝZA DÁT A POSÚDENIE STABILITY VZŤAŽNEJ SÚSTAVY

Meračské práce pre zameranie 4. etapy boli realizované 23.6.2021, kedy boli realizované zameranie zvislých posunov a pretvorenie mostovky a zároveň kontrolné zameranie vzťažnej sústavy. Neskôr boli vykonané kontrolné merania za účelom testovania presnosti použitého nivelačného prístroja a príslušných pomôcok.

7.1 Zameranie 4. etapy (6/2021) posunov a pretvorenia mostovky

Na zameranie posunov nosnej stavby mostného objektu sa použila metóda presnej geometrickej nivelácie zo stredu. Zvolenie použitia tejto metódy bolo podmienené faktorom, že táto metóda poskytuje výsledky s dostatočnou presnosťou pre interpretáciu výsledných posunov a deformácií v rade desatinách mm. Aby bola dosiahnutá presnosť výsledkov, bolo potrebné neustále dodržiavať správnosť technologického postupu metódy. Meranie bolo realizované pomocou elektronického nivelačného prístroja Sokkia SDL1X s v. č. 100299 a dvoch kódových, invarových nivelačných lát s dĺžkou 3 m s typom Topcon BIS30 s v. č. 65767 a 66788. Meranie posunov mostovky bolo zrealizované 23.6.2021 v čase od 7:20 do 11:45. Pred a po meraní nivelačného oddielu sa do prístroja vkladali odhadované teploty, teplota sa pohybovala v rozsahu 20 až 26 °C.

Pred začatím merania za účelom eliminácie vplyvu počasia bola vykonaná temperácia prístroja a pomôcok. Počas merania nebol prístroj chránený pred slnečným žiarením, v dôsledku minimálneho počtu členov skupiny, pretože každému členovi bola pridelená úloha. Z tohto dôvodu sa zvolil namiesto slnečníka prístup, kde sa postupne otáčali nohy statívu voči slnku, aby sa zachovalo rovnomerné ovplyvnenie slnečným žiarením.

Meranie bolo realizované klasickým postupom geometrickej nivelácie zo stredu, pričom pre merané prevýšenia medzi susednými pozorovacími nivelačnými značkami postačovala väčšinou jedna nivelačná zostava. Prevýšenia boli merané tam aj späť a vytvoril sa uzáver, čím vznikla previazaná sieť, čo umožňuje spoľahlivú kontrolu

a odhalenie možných chýb meraných dát. Na body, ktoré boli vzdialené sa použila ako prestavový bod nivelačná podložka.

Keďže pozorovacie body sú stabilizované na kraji vozovky v blízkosti zábradlia, stabilita nivelačnej late nebola uskutočnená podperami. Mechanické poškodenia sa nezistilo na žiadnom z pozorovaných bodov a bodov vzťažnej siete. Pozorovacie body sú označené systematicky, kde každý bod má označenie strany a poradové číslo v smere staničenia.

Merané dáta boli zaznamenávané automatickou registráciou do pamäti nivelačného prístroja. Registrované hodnoty sú číslo lavy v zostave, číslo bodu, vzdialenosť lavy, prvá odčítaná hodnota, druhá odčítaná hodnota, prevýšenie. Počet opakovaných odčítaní prevýšenia z nivelačnej lavy bol nastavený na 1-krát pri každom zameraní. Hodnota odčítania prevýšenia z lavy bola nastavená na stotiny milimetra. Záznam z meraných dát je uložený vo formáte Sokkia CS2.

Ukážka záznamu nameraných dát použitého nivelačného prístroja vo formáte CS2:

```

|A01,01,SDL1X Adv,1056-31-25,,,
A20,68-001-23062021,0,,0,,,,
A10,,,
B01,1,1,1,SDL1X Adv,100299,,,,,,
B02,TAH1,1,,0.00000,,0.00000,1,,,,,,
B20,1,2,2,9,+20.0,07:21:32,06/23/2021,,,,,,
B21,1,601,19.996,1.72790,1.72783,,,0.00000,,,,,
B21,2,1,20.237,1.26903,1.26904,0.45887,0.45879,0.45883,,,,,
B21,1,1,20.980,1.54276,1.54276,,,0.45883,,,,,
B21,2,2,20.951,0.69602,0.69605,0.84674,0.84671,1.30556,,,,,

```

zámera (1-vzad, 2-vpred)

7.2 Predošlé etapy merania 3 (2020), 2 (2019), 1 (2018), 0 (2015),

Zameranie predošlých etáp bolo uskutočnené 6/2015 (0. etapa), 11/2018 (1. etapa), 11/2019 (2. etapa), 6/2020 (3. etapa). 0. etapa bola realizovaná firmou, ktorá

vykonávala meračské práce počas výstavby mosta. Od merania 1. etapy boli použité identické prístroje a pomôcky, pričom zameranie bolo vykonané za použitia tých istých metód a postupov ako pri 4. etape v roku 2021. V 0. a 1. etape boli zamerané všetky pozorované body, a pri 2., 3. a 4. etape bolo zameraných 18 bodov z dôvodu toho, že objednávateľ si objednal vyhodnotenie len niekoľkých bodov na moste. Dôkazom tohto je aj podobná dosiahnuteľná presnosť merania charakterizovaná smerodajnou odchýlkou vyrovnanej výšky bodu, ktorej hodnoty sú uvedené v nasledujúcej kapitole spracovania nameraných dát. Faktorom ovplyvňujúcim možnú zmenu presnosti meraných veličín sú rôzne poveternostné podmienky počas merania jednotlivých etáp.

Z týchto predošlých etáp boli prevzaté merané dáta a výsledky z vyrovnania.

7.3 Spracovanie dát a analýza presnosti etapových meraní

Prvý krok pri práci s nameranými dátami je ich export z meracích prístrojov. V mojom prípade pri použití nivelačného prístroja Sokkia SDL1X ide o prekopírovanie dát vo formáte CS2 z pamäťovej karty do počítača. Pri prenose dát neboli nastavované žiadne korekcie.

Importované dáta boli otvorené v poznámkovom bloku, kde prebehla kontrola a oprava dát. Po oprave záznamu z merania nasledovalo ďalšie spracovanie nameraných dát.

Pred manipuláciou s nameranými dátami je potrebné previesť ich kontrolu, aby sa zabezpečilo odhaleniu vzniknutých chýb pri meraní. Ďalší dôvod je ten, aby sa otestovalo, či bolo meranie prevedené s dostatočnou presnosťou. Kontrola nameraných prevýšení bola uskutočnená zo získaných rozdielov merania smerom tam a späť a výpočtom uzáveru a porovnanie ich s hodnotou rozšírenej neistoty. Vyhodnotenie rozdielov tam a späť je uvedený v tabuľke č. 4. Hodnota uzáveru by mala byť blízka nule. Ak je meranie prevedené s dostatočnou presnosťou musí byť hodnota uzáveru menšia alebo rovná rozšírenej neistoty. Výpočet uzáveru spočíva v súčte prevýšení medzi bodmi vybraného uzavretého nivelačného ťahu v sieti. Zhodnotenie uzáveru v tejto 4. etape sa nachádza v tabuľke č. 4. Vyhodnotenie uzáverov a rozdielov merania tam a späť v predošlých etapách sa nachádza v prílohe č. 1.

Výpočet smerodajnej odchýlky rozdielu:

$$\sigma_{\Delta} \leq \sigma_{hi} \sqrt{n} \sqrt{2}$$

σ_{hi} ... presnosť zostavy ($\sigma_{hi} = 0,036 \text{ mm}$)
 n ... počet zostáv

Rozšírená neistota smerodajnej odchýlky rozdielu:

$$\delta_{\Delta} = \sigma_{\Delta} \cdot t \quad \begin{array}{l} \sigma_{\Delta} \dots \text{smerodajná odchýlka rozdielu} \\ t \dots \text{koeficient konfidencie, } t = 2 \end{array}$$

Rozdiely sa pohybovali od 0,01 až 0,25 mm. Hodnoty rozdielov meraných oddielov tam a späť neprekročili rozšírenú neistotu pre dané oddiely. Z tohto vyplýva, že do merania nezasiahli chyby, ktoré by znehodnotili ďalšie spracovanie.

Tab. 4: Zhodnotenie rozdielov oddielov meraných tam a späť
mh= 0,036 mm (stredná chyba pre zostavu 30m)

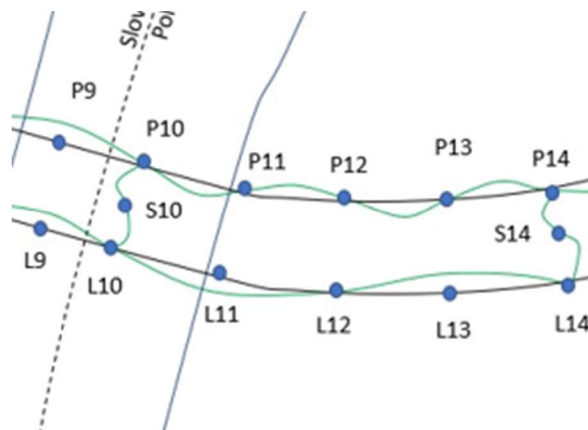
Oddiel	Rozdiel Tam-Späť [mm]	Počet zostáv	mh [mm]	δh [mm]	Posúdenie presnosti merania
601-L14	0,01	10	0,16	0,32	splňuje
P1-P19	0,20	10	0,16	0,32	splňuje
893-P1	0,23	5	0,11	0,23	splňuje
P19-803	0,25	6	0,12	0,25	splňuje
P10-L10	-0,08	2	0,07	0,14	splňuje
P14-L14	-0,01	2	0,07	0,14	splňuje

Výpočet smerodajnej odchýlky uzáveru:

$$\sigma_U \leq \sigma_{hi} \sqrt{n} / \sqrt{2} \quad \begin{array}{l} \sigma_{hi} \dots \text{smerodajná odchýlka jednej zostavy } (\sigma_{hi} = 0,036 \text{ mm}) \\ n \dots \text{počet zostáv} \end{array}$$

Rozšírená neistota uzáveru:

$$\delta_U = \sigma_U \cdot t \quad \begin{array}{l} \sigma_U \dots \text{smerodajná odchýlka uzáveru} \\ t \dots \text{koeficient konfidencie, } t = 2 \end{array}$$



Obr. 18: Schéma zisťovaného uzáveru

Tab. 5: Zhodnotenie uzáveru

Uzáver cez body	Hodnota uzáveru [m]	Počet zostáv	mh [mm]	δh [mm]	Posúdenie presnosti
P10-P14-L14-L10-P10	0,00015	10	0,08	0,16	splňuje

Hodnota vypočítaného uzáveru bola 0,15 mm. Uzáver neprekročil hodnotu rozšírenej neistoty, z čoho je možné usúdiť, že meranie bolo vykonané s dostatočnou presnosťou.

7.4 Posúdenie stability vzťahnej sústavy porovnaním prevýšení

Sústavu vzťahných bodov tvorí sústava zo 4 bodov, kde 2 body sú stabilizované pažnicou, jeden bod zabetónovaným roxorom a jeden stabilizovaný na stožiar trahčného vedenia. Body sú umiestené v blízkosti objektu mimo jeho deformačnej zóny. Pretože v tomto momente ešte nevieme, ktorý z týchto bodov je najstabilnejší, bolo prvotné vyrovnanie v predošlých etapách riešené ako voľné vyrovnanie okrem 2. etapy, pretože táto etapa bola vyrovnaná ako voľná a väzbová sieť (výšky pripájacích bodov sú nemenné, ich nepresnosť sa pre určované body rešpektuje).

Ako prvé sa stabilita vzťahných bodov posudzovala porovnávaním ich výškových rozdielov medzi jednotlivými etapami a posúdením vzhľadom k hodnote rozšírenej neistoty merania posunu. Táto hodnota bola vypočítaná ako súčin koeficientu konfidencie a odmocniny zo súčtu kvadrátov stredných chýb meraných prevýšení medzi vzťahnými bodmi. Bola použitá hodnota koeficientu konfidencie $t = 2$, čo predstavuje mieru istoty s pravdepodobnosťou $P = 0,95$. Ak zistená hodnota rozdielu prevýšenia medzi vzťahnými bodmi je menšia ako hodnota rozšírenej neistoty, posun bodu nie je preukázateľný a považujeme ho za stabilný. Posúdenie stability vzťahných bodov medzi 4. a 3. etapou je v tabuľke. 6. Posúdenie vzťahnej sústavy s predošlých etáp sa nachádza v prílohe č. 1 (čísla v zátvorke predstavuje uzlový bod, cez ktorý sa počítalo prevýšenie).

Tab. 6: Posúdenie stability vzťahných bodov

Porovnanie 4. a 3. etapy				
Prevýšenie medzi bodmi	Rozdiel prevýšení [mm]	mh [mm]	δh [mm]	Posúdenie stability
894-601 (P8)	-0,03	0,27	0,55	nepreukázaná
894-601 (P14)	0,00	0,33	0,67	nepreukázaná
601-803 (P8)	1,00	0,33	0,67	preukázaná
601-803 (P14)	0,97	0,31	0,62	preukázaná
894-893	0,69	0,11	0,23	preukázaná
894-803	0,97	0,31	0,61	preukázaná

Zmeny nameraných prevýšení medzi jednotlivými bodmi vzťahnej sústavy oproti predchádzajúcej etape dosahujú hodnoty do 1 mm. Táto zmena môže byť

spôsobená rôznym typom stabilizácie vzťažných bodov (pažnica, zabetónovaný roxor, stabilizácia na trakčnom vedení), a tým rôznu stabilitu postupom času. Pretože nie je možné s dostatočnou kvalitou povedať, ktorý bod je najstabilnejší, z tohto dôvodu nebol zvolený žiaden bod ako východiskový vzťažný bod pre výpočet posunu sledovaného objektu. Keďže meranie bolo vykonané s nadbytočným počtom meraných veličín, je možné pre získanie výsledných výšok previesť vyrovnanie riešené ako voľná sieť. Vyrovnaním dostávame okrem hodnôt konečných výšok aj ich charakteristiky presnosti, reprezentované smerodajnými odchýlkami vyrovnaných hodnôt. Vyrovnanie bolo prevedené v programe Nivelácia (z dôvodu jeho použitia v predošlých etapách), kde výpočet prebehol metódou najmenších štvorcov (MNŠ) ako vyrovnanie sprostredkujúcich meraní.

Software Nivelácia spracováva výsledky nivelačných meraní prostredníctvom druhého regresného lineárneho modelu. Metóda spracovania je založená na združene efektívnom a nevychýlenom odhade parametrov nivelačnej siete generujúcom, v zmysle teórie metódy najmenších štvorcov, optimálne výsledky. Pre zaručenie optimálnych a správnych výsledkov sa odporúča používať pri spracovaní metódu voľnej siete, kde výšky vzťažných bodov sú náhodné veličiny, môžu sa zmeniť a ich nepresnosť sa pre určované body rešpektuje. Samotný protokol vyrovnania obsahuje základné parametre vyrovnania (smerodajná odchýlka úlohy, jednotkovú strednú chybu merania, počet kritických meraní, počet hrubých chýb a omylov atď.), odhad normálnych výšok nivelačných bodov a vyrovnané hodnoty meraných prevýšení, ktoré nám poskytujú kvalitatívne informácie o samotnom meraní. [21]

Finálne hodnoty výšok a charakteristík presnosti pochádzajúce z vyrovnania sú obsahom protokolu a výškovom vyrovnaní siete. Tento protokol je automaticky vygenerovaný softwarom Nivelácia, jeho obsahom sú hodnoty výpočtu vyrovnania a výsledné hodnoty. Protokol má výhodu v tom, že slúži ako kontrola vstupných meraných dát a zároveň aj na odhalenie eventuálnych chýb.

Výsledok prvotného vyrovnania vyhodnotil, že na bodoch č. 893 a 894 sa zmenila výška (bod č. 893 +0,2 mm, bod č. 894 -0,3 mm). Ďalšie postupy výpočtov a vyhodnocovania už pokračovalo s preurčenými výškami.

Tab. 1 Základné parametre vyrovnania

Parametre úlohy vyrovnania	Hodnoty
Smerodajná odchýlka úlohy	0,741 [mm/1 km]
Smerodajná odchýlka systematickej chyby J	0 [mikro m/1 km]
Smerodajná odchýlka systematickej chyby E	3 [mikro m/1 km]
Počet bodov nivelačnej siete	24
Počet pripojovacích bodov	4
Počet nameraných prevýšení	48
Počet stupňov voľnosti	28
Defekt úlohy	0
Konfidencia t_{α}	3
Počet kritických meraní	0 *
Počet hrubých chýb a omylov	0 !
Počet vylúčených hrubých chýb a omylov	0 #
Kritérium na hrubú chybu	6,000 [mm]
Váha merania	dĺžka oddielu vyjadrená v 1 km
Jednotková stredná chyba merania	0,392 [mm/km]

Obr. 19: Protokol zo software Nivelácia 1.

Tab. 2 Odhad normálnych výšok nivelačných bodov

i	Bod	H°	dH	H^{\wedge}	$\sigma(H^{\wedge})$	n	$norm(dH)$	$P\%$	J^{\wedge}	$\sigma(J^{\wedge})$	E^{\wedge}	$\sigma(E^{\wedge})$	Poznámka
1	601	386,036900	-0,000079	386,036821	0,231	2	0,3	5,66	0,000	0,000	-0,002	0,001	Pripojovací bod, H° sa môže zmeniť
2	893	384,172300	0,000248	384,172548	0,125	2	2,0	83,88	0,000	0,000	0,001	0,000	Pripojovací bod, H° sa môže zmeniť
3	894	385,714100	-0,000305	385,713795	0,120	4	2,5	94,51	0,000	0,000	0,000	0,000	Pripojovací bod, H° sa môže zmeniť
4	803	386,163600	0,000309	386,163909	0,236	2	1,3	56,31	0,000	0,000	0,000	0,001	Pripojovací bod, H° sa môže zmeniť
5	L1		388,949714	388,949714	0,236	4			0,000	0,000	-0,002	0,001	
6	L4		390,157785	390,157785	0,233	4			0,000	0,000	-0,003	0,001	
7	L6		391,336637	391,336637	0,229	4			0,000	0,000	-0,003	0,001	
8	L8		392,766338	392,766338	0,222	4			0,000	0,000	-0,002	0,001	
9	L10		394,516325	394,516325	0,208	6			0,000	0,000	-0,003	0,001	
10	L12		395,479016	395,479016	0,223	4			0,000	0,000	-0,004	0,001	
11	L14		395,247456	395,247456	0,222	4			0,000	0,000	-0,004	0,001	
12	P1		388,944034	388,944034	0,164	4			0,000	0,000	-0,001	0,001	
13	P4		390,157953	390,157953	0,180	4			0,000	0,000	-0,001	0,001	
14	P6		391,350781	391,350781	0,190	4			0,000	0,000	-0,001	0,001	
15	P8		392,764936	392,764936	0,198	4			0,000	0,000	-0,001	0,001	
16	P10		394,421585	394,421585	0,204	6			0,000	0,000	-0,003	0,001	
17	P11		394,938694	394,938694	0,215	4			0,000	0,000	-0,003	0,001	
18	P12		395,004849	395,004849	0,219	4			0,000	0,000	-0,003	0,001	
19	P13		394,895100	394,895100	0,220	4			0,000	0,000	-0,003	0,001	
20	P14		394,713741	394,713741	0,219	6			0,000	0,000	-0,004	0,001	
21	P16		394,099234	394,099234	0,226	4			0,000	0,000	-0,003	0,001	
22	P19		392,827644	392,827644	0,233	4			0,000	0,000	-0,002	0,001	
23	S10		394,300482	394,300482	0,206	4			0,000	0,000	-0,003	0,001	
24	S14		394,730896	394,730896	0,221	4			0,000	0,000	-0,004	0,001	

Obr. 20: Protokol zo software Nivelácia 2.

kde znamená :

i - poradové číslo nivelačného bodu,

Bod - označenie nivelačného bodu,

H° - pripojovacia, alebo približná normálna výška bodu v [m],

dH - odhad výškového prírastku k približnej hodnote H° v [m],

H^{\wedge} - odhad výšky nivelačného bodu v [m],

$\sigma(H^{\wedge})$ - smerodajná odchýlka odhadu výšky H^{\wedge} v [mm]

n - počet zameraní bodu,

$norm(dH)$ - normovaný prírastok výšky bodu,

$P\%$ - pravdepodobnosť významnosti zmeny výšky bodu,

J^{\wedge} - odhad korekcie výšky z pôsobenia systematickej chyby rozdielu dvojice čítaní v [mm],

E^{\wedge} - odhad korekcie výšky z pôsobenia systematickej chyby excentrického postavenia prístroja v [mm].

Poznámka : Hodnota H^{\wedge} nie je korigovaná o účinok J^{\wedge} a E^{\wedge} . Ich uplatnenie vo výslednej výške $H^ = H^{\wedge} + J^{\wedge} + E^{\wedge}$ je na rozhodnutí spracovateľa. Hodnoty J a E nájdu uplatnenie pri analýze opakovaných meraní.*

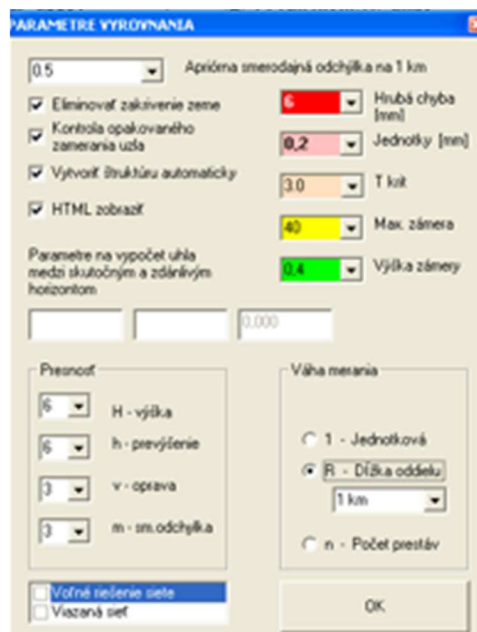
Obr. 21: Vysvetlenie hodnôt z protokolu Nivelácie

7.5 Porovnanie výsledku výpočtu realizovaných rôznym softvérom

V tejto časti sa budem zaoberať porovnávaním procesu výpočtu medzi softvérom Nivelácia, G-Net, Groma a porovnaním výsledkov vyrovnania.

7.5.1 Program Nivelácia

Program Nivelácia vie priamo načítať merané veličiny nameraných prístrojmi Leica, DiNi, Topcon, Sokkia alebo importovať, konvertovať XML súbory. Program vie farebne vyznačiť polia meraných dát, ktoré presahujú nastavené kritéria ako napríklad: hrubé chyby menia, presiahnutá dĺžka zámery, presiahnutá minimálna výška čítania na late atď. Váha merania sa dá nastaviť podľa dĺžky oddielu alebo počtu zostáv, alebo váha každého merania bude 1. Pred vyrovnaním je potrebné nastaviť apriórnu smerodajnú odchýlku na 1 km.



Obr. 20: Nivelácia - Nastavenia parametrov vyrovnania

7.5.2 Program Groma

Program Groma pred výpočtom je potrebné merané dáta prekonvertovať do požadovaného formátu. Do tohto formátu sa merané dáta previedli pomocou textového programu Notepad++. Pre uskutočnenie výpočtu vyrovnania potrebuje vedieť dostatok bodov s približnými výškami, obojsmerné prevýšenie medzi rovnakými bodmi nezoberie do úvahy, takže toto prevýšenie je potrebné spriemerovať. Váha prevýšenia

má dve možnosti a to buď podľa podielu dĺžky zámery, alebo podľa podielu z odmocniny dĺžky v km. Do programu sa udáva jednotková smerodajná chyba na 1 km.

```
Groma_4_etapa.net - Poznámkový blok
Súbor Úpravy Formát Zobrazíť Pomocník
[Header]
Application=Groma
Module=Grmnet
File=Network
Type=3D
FileVersion=1

[Settings]
Name=
Date=
Stage=
StdErr=0.1
StdDirErr=0.60
DirMeasCount=1
StdDistErr=2.00,2.00
StdErr_h=0.0005
WeightType_h=0
Alpha=10.0
Beta=20.0
DirErrFrame=0.10000
DstErrFrame=0.2000
HeightErrFrame=0.2000
AdjustXY=0
AdjustZ=1
UseDetailPoints=0

[Approx Coordinates]
NUM=601,Z=386.0369,TYPE=-1,HTYPE=2,STATE=1
NUM=803,Z=386.1636,TYPE=-1,HTYPE=2,STATE=1
NUM=893,Z=384.1725,TYPE=-1,HTYPE=2,STATE=1
NUM=894,Z=385.7138,TYPE=-1,HTYPE=2,STATE=1
NUM=P1,Z=388.943717,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=P4,Z=390.158430,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=P6,Z=391.350594,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=P8,Z=392.764618,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=P10,Z=394.424547,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=P11,Z=394.938854,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=P12,Z=395.004525,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=P13,Z=394.895081,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=P14,Z=394.713480,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=P16,Z=394.099256,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=P19,Z=392.827361,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1

Groma_4_etapa.net - Poznámkový blok
Súbor Úpravy Formát Zobrazíť Pomocník
NUM=7,Z=384.59079,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=8,Z=385.11043,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=9,Z=387.85911,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=13,Z=391.64486,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=14,Z=389.64569,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=15,Z=388.24315,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=16,Z=387.55015,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1
NUM=17,Z=386.10645,TYPE=-1,HTYPE=1,STATE=1

[Heights]
NUM1=601,NUM2=1,DH=0.45883,DIST=40.233,STATE=1
NUM1=1,NUM2=2,DH=0.84673,DIST=41.931,STATE=1
NUM1=2,NUM2=3,DH=0.82415,DIST=15.438,STATE=1
NUM1=3,NUM2=L1,DH=0.78337,DIST=32.566,STATE=1
NUM1=L1,NUM2=L4,DH=1.20809,DIST=37.036,STATE=1
NUM1=L4,NUM2=L6,DH=1.17892,DIST=29.778,STATE=1
NUM1=L6,NUM2=L8,DH=1.42971,DIST=36.076,STATE=1
NUM1=L8,NUM2=L10,DH=1.74992,DIST=52.951,STATE=1
NUM1=L10,NUM2=L12,DH=0.96265,DIST=53.57,STATE=1
NUM1=L12,NUM2=L14,DH=-0.23155,DIST=37.393,STATE=1
NUM1=L14,NUM2=L12,DH=0.23156,DIST=37.392,STATE=1
NUM1=L12,NUM2=L10,DH=-0.96273,DIST=53.566,STATE=1
NUM1=L10,NUM2=L8,DH=-1.7501,DIST=52.946,STATE=1
NUM1=L8,NUM2=L6,DH=-1.42978,DIST=36.057,STATE=1
NUM1=L6,NUM2=L4,DH=-1.17884,DIST=29.771,STATE=1
NUM1=L4,NUM2=L1,DH=-1.20809,DIST=37.023,STATE=1
NUM1=L1,NUM2=4,DH=-0.78361,DIST=32.591,STATE=1
NUM1=4,NUM2=5,DH=-0.82401,DIST=15.432,STATE=1
NUM1=5,NUM2=6,DH=-0.84624,DIST=41.93,STATE=1
NUM1=6,NUM2=601,DH=-0.45897,DIST=40.256,STATE=1
NUM1=P1,NUM2=P4,DH=1.21399,DIST=36.968,STATE=1
NUM1=P4,NUM2=P6,DH=1.19281,DIST=29.962,STATE=1
NUM1=P6,NUM2=P8,DH=1.41423,DIST=35.955,STATE=1
NUM1=P8,NUM2=P10,DH=1.65668,DIST=52.958,STATE=1
NUM1=P10,NUM2=P11,DH=0.51715,DIST=31.952,STATE=1
NUM1=P11,NUM2=P12,DH=0.06636,DIST=20.359,STATE=1
NUM1=P12,NUM2=P13,DH=-0.10972,DIST=20.289,STATE=1
NUM1=P13,NUM2=P14,DH=-0.18134,DIST=14.09,STATE=1
NUM1=P14,NUM2=P16,DH=-0.61448,DIST=28.211,STATE=1
NUM1=P16,NUM2=P19,DH=-1.27153,DIST=34.794,STATE=1
NUM1=P19,NUM2=P16,DH=1.2715,DIST=34.792,STATE=1
```

Obr. 221: Groma - Vstupný formát súboru meraných dát

Obr. 232: Groma - Nastavenie parametrov vyrovnania

7.5.3 Program G-Net

G-Net na rozdiel od Gromy vie pracovať aj s obojsmernými prevýšeniami, nepotrebuje približné výšky pozorovaných bodov. Má možnosť k danému prevýšeniu priradiť aj presnosť meraného prevýšenia. Merané dáta bolo potrebné prekonvertovať do požadovaného formátu. Surové merané dáta sa upravili v MS Excel, a cez textový editor Notepad++ som dáta upravil do požadovaného formátu, ktorý program G-Net má prísne daný.

Súbory	Úpravy	Formát	Zobrazit'	Pomocník
DZ	601	1		0.45883 0.000036
DZ	1	2		0.84673 0.000036
DZ	2	3		0.82415 0.000036
DZ	3	L1		0.78337 0.000036
DZ	L1	L4		1.20809 0.000036
DZ	L4	L6		1.17892 0.000036
DZ	L6	L8		1.42971 0.000036
DZ	L8	L10		1.74992 0.000036
DZ	L10	L12		0.96265 0.000036

Obr. 23: G-Net - Vstupný formát meraných dát

Zápisník a jeho zpracování	Uyrovnaní polohové	Uyrovnaní výškové
Ext. formát: MapaZ	Uvaž přesnost DB: Ne	Uvaž přesnost DB: Ne
Impl. kódy: +G-E	Uyřadit váz. vel: Ano	Uyřadit váz. vel: Ano
Zdroj bodů pro PBPP: Kokeš:ZAZSS	Mez počtu nadbyt: 20	Mez počtu nadbyt: 15
Zdroj bodů pro dávku: G-NET: ,e,ks	Hlad.1 (test m0): 5.0	Hlad.1 (test m0): 5.0
Implic. typ délky: 0	Test 1 (test m0): Ano	Test 1 (test m0): Ano
Implic. tř. přesnosti: 3	Hlad.2 (test mxy): 5.0	Hlad.2 (test v): 5.0
Implic. sk. číslo: 100001	Test 2 (tříd. př.): Ano	Hlad.3 (test v): 5.0
Technologie: 1	Hlad.3 (test v): 5.0	Spec informace: Ano
Typ výšk. úhlu: 0	Spec informace: Ano	Legenda: Ano
Povinná výška cíle: Ne	Uyř. or. p. s.: Ne	Zhodnocení: Ano
Počítat MXYZ: Ne	Test přesnosti: Ano	Potlačit dané: Ne
Uvaž refrakci na délky: Ano	Legenda: Ano	Zobrazení údajů
Uvaž výšku pro délky: Ano	Zhodnocení: Ano	DesYX: 3
Kart. korekce délky: Ne	Potlačit dané: Ne	DesZ: 5
Uvaž refrakci na výšky: Ne	MXYI11: 0.02	DesD: 3
Konstanty pro odvození: MDABS=15 MDRM=5 MODECT=>	MXYI21: 0.04	DesU: 4
	MXYI31: 0.06	PorYX: YX
	MXYI41: 0.10	Úh. jedn: Grad
	MXYI51: 0.15	

Počet desetinných míst u souřadnice Z-ové.
 Pohyb v okně ↑↓←→, <Enter> Potvrzení volby, <F10> Pomocné menu
 <CtrlEnter> Uložení zadaných hodnot, <Esc> Konec bez uložení.

Obr. 24: G-Net - Nastavenie parametrov

7.5.4 Porovnanie výsledkov vyrovnania

Výsledkom porovnania vyrovnání rôznych softvérov sú vypočítané hodnoty rozdielov vyrovnaných výšok a stredných chýb výšok od softvéru Nivelácia. Merané dáta sa vyrovnávali ako voľná sieť metódou MNŠ. Hodnoty rozdielov medzi softvérm

sú uvedené v tabuľke č. 7. Ukážky z protokolov jednotlivých softvéroch sa nachádzajú v prílohe č. 2.

Tab. 7: Porovnanie vyrovnaných výšok a stredných chýb

Č. bodu	Program Nivelácia		Program G-Net				Groma			
	Vyrovnané hodnoty		Vyrovnané hodnoty		Rozdiel		Vyrovnané hodnoty		Rozdiel	
	H [m]	mh [mm]	H [m]	mh [mm]	H [mm]	mh [mm]	H [m]	mh [mm]	H [mm]	mh [mm]
803	386,1639	0,19	386,1645	0,11	-0,59	0,08	386,1645	0,17	-0,63	0,02
893	384,1726	0,10	384,1727	0,12	-0,11	-0,01	384,1725	0,13	0,12	-0,03
894	385,7136	0,10	385,7136	0,10	0,10	0,00	385,7134	0,10	0,25	0,00
601	386,0368	0,19	386,0367	0,11	0,13	0,08	386,0364	0,16	0,38	0,03
P1	388,9439	0,13	388,9438	0,08	0,07	0,05	388,9437	0,10	0,20	0,03
P4	390,1578	0,15	390,1578	0,08	0,04	0,07	390,1577	0,10	0,13	0,05
P6	391,3507	0,15	391,3506	0,07	0,03	0,08	391,3505	0,10	0,17	0,05
P8	392,7648	0,16	392,7649	0,07	-0,02	0,10	392,7648	0,10	0,03	0,06
P10	394,4215	0,17	394,4215	0,06	-0,03	0,11	394,4214	0,10	0,10	0,07
P11	394,9386	0,18	394,9387	0,06	-0,05	0,11	394,9386	0,11	0,01	0,07
P12	395,0048	0,18	395,0049	0,06	-0,14	0,11	395,0048	0,11	-0,03	0,07
P13	394,895	0,18	394,8952	0,06	-0,17	0,11	394,8951	0,11	-0,08	0,07
P14	394,7137	0,18	394,7138	0,06	-0,16	0,12	394,7137	0,11	-0,04	0,07
P16	394,0992	0,18	394,0993	0,07	-0,18	0,12	394,0992	0,12	-0,04	0,06
P19	392,8276	0,19	392,8278	0,07	-0,25	0,12	392,8277	0,12	-0,13	0,07
L1	388,9497	0,19	388,9496	0,09	0,04	0,11	388,9495	0,14	0,15	0,05
L4	390,1577	0,19	390,1577	0,08	0,02	0,11	390,1576	0,13	0,12	0,06
L6	391,3366	0,19	391,3366	0,07	-0,02	0,11	391,3365	0,12	0,07	0,07
L8	392,7663	0,18	392,7663	0,07	-0,06	0,11	392,7662	0,12	0,06	0,06
L10	394,5162	0,17	394,5163	0,06	-0,09	0,11	394,5162	0,10	0,04	0,07
L12	395,4789	0,18	395,4790	0,06	-0,11	0,12	395,4790	0,11	-0,07	0,07
L14	395,2474	0,18	395,2475	0,06	-0,13	0,12	395,2474	0,11	-0,03	0,07
S10	394,3004	0,17	394,3005	0,06	-0,05	0,11	394,3004	0,10	0,00	0,07
S14	394,7308	0,18	394,7310	0,06	-0,16	0,12	394,7309	0,11	-0,09	0,07

Najväčší rozdiel vo vyrovnaní je na vzťažnom bode č.803, kde hodnota rozdielu výšky je 0,6 mm. To môže mať za následok nerovnomerné rozloženie vzťažných bodov a rôzne podmienenie vyrovnanie programov. Z tabuľky si môžeme všimnúť pri pozorovacích bodov od P1 až P10 rozdiel výšok sa primerane znižuje a od P10 do P19 sa rozdiel zväčšuje. Spôsobené je to tým, že tieto body tvoria uzol medzi meranými oddielmi. Rozdiel medzi softvérom G-Net a Groma môžeme vidieť na pozorovacích bodoch od L1 do L14, kde rozdiely výšok majú opačný nárast.

8 VÝPOČET A VYHODNOTENIE POSUNOV A PRETVORENIA STAVEBNÉHO OBJEKTU

Vyhodnotenie posunov a deformácií mostnej konštrukcie a ich následne interpretovanie predstavuje hlavnú náplň tejto práce. Samotné vyhodnotenie posunov zahŕňa výpočet a vyhodnotenie vertikálnych posunov a deformácií nosnej konštrukcie mostu, ktorá bola zameraná metódou presnej nivelácie. Predmetom tejto časti je vyhodnotenie zvislých posunov pozorovaných bodov na mostovke. Posuny sú vyhodnocované z meraní všetkých etáp, kde napríklad stav 4. etapy sa posudzoval vzhľadom k predchádzajúcej etape a vypočítal sa celkový posun od východiskovej etapy. Takéto porovnávanie nám dáva možnosť sledovať okrem absolútnych hodnôt posunov a pretvorenia aj určitý časový vývoj stability mostnej konštrukcie. Hodnoty posunov sú vypočítané ako rozdiel príslušných vyrovnaných výšok aktuálnej a predošlej etapy. Pretože sa táto práca zaoberá vyhodnocovaním len vertikálnych posunov, uvediem postup výpočtu a vyhodnotenia vertikálnych posunov. Posuny sa vyhodnocovali z druhého vyrovnaní meraných dát (počítaná ako voľná sieť) v softvéri Nivelácia, pretože aj predošlé etapy sa vyhodnocovali v tom softvéri.

Výpočet vertikálneho posunu:

$$dH = H_i - H_0$$

dH ... vertikálny posun
 H_i ... výška bodu v aktuálnej etape
 H_0 ... výška bodu v predošlej etape

pozn.: záporné znamienko posunu znamená pokles

Smerodajná odchýlka posunu:

$$\sigma_{dH} = \sqrt{\sigma_{H_i}^2 + \sigma_{H_0}^2}$$

$\sigma_{H_i}, \sigma_{H_0}$... smerodajná odchýlka výšky

pozn.: smerodajná odchýlka posunu zahŕňa hodnotu veličiny s pravdepodobnosťou $P=0,68$

Rozšírená neistota posunu:

$$\delta_{dH} = t \cdot \sigma_{dH} t = 2$$

t ... koeficient konfidencie

pozn.: rozšírená neistota posunu zahŕňa hodnotu veličiny s pravdepodobnosťou $P=0,68$

Aby boli posuny preukázané a bolo možné posúdiť ich existenciu, sú posudzované vzhľadom k ich smerodajnej odchýlke a rozšírenej neistote. Výstupom

tejto analýzy je vyhodnotenie či posun pol preukázaný, alebo nie. Posun bol preukázaný vtedy, ak jeho hodnota bola väčšia ako rozšírená neistota. Keď sa hodnota posunu nachádza v rozmedzí smerodajnej odchýlky a rozšírenej neistote, predstavuje určitý predpoklad, že posun mohol, ale aj nemusel nastať. Ak hodnota bola menšia ako smerodajná odchýlka, posun nenastal. Rozšírená neistota bola vypočítaná ako súčin smerodajnej odchýlky a koeficientu konfidencie $t=2$ a zahŕňa hodnotu veličiny s pravdepodobnosťou $P=0,68$. Výber voľby hodnoty koeficientu konfidencie je závislý na možnosti odstránenia systematických vplyvov merania, ktorá bola v tomto prípade pomerne spoľahlivá.

8.1 Vyhodnotenie posunov medzi etapami 4 (2021) a 3 (2020)

Vyhodnotenie rozdielu etáp 4 (6/2021) a 3. etapa (6/2020) je v tabuľke. č. 8.

Tab. 8: Vyhodnotenie posunov

Č.bodu	3. etapa (6/2020)		4. etapa (6/2021)		Hodnota posunu [mm]	Medzná hodnota [mm]	Hodnotenie posunu
	H	mh	H	mh			
	[m]	[mm]	[m]	[mm]			
803	386,1636	0,1	386,1639	0,2	0,3	0,4	nenastal
893	384,1723	0,1	384,1726	0,1	0,3	0,2	nastal
894	385,7140	0,1	385,7136	0,1	-0,4	0,2	nastal
601	386,0369	0,1	386,0368	0,2	-0,1	0,5	nenastal
P1	388,9437	0,1	388,9439	0,1	0,2	0,3	nenastal
P4	390,1584	0,1	390,1578	0,1	-0,6	0,4	nastal
P6	391,3506	0,1	391,3507	0,2	0,1	0,4	nenastal
P8	392,7646	0,1	392,7648	0,2	0,2	0,4	nenastal
P10	394,4245	0,1	394,4215	0,2	-3,1	0,4	nastal
P11	394,9389	0,1	394,9386	0,2	-0,2	0,4	nenastal
P12	395,0045	0,1	395,0048	0,2	0,2	0,4	nenastal
P13	394,8951	0,1	394,8950	0,2	-0,1	0,4	nenastal
P14	394,7135	0,1	394,7137	0,2	0,2	0,4	nenastal
P16	394,0993	0,1	394,0992	0,2	-0,1	0,4	nenastal
P19	392,8274	0,1	392,8276	0,2	0,2	0,5	nenastal
L1	388,9499	0,1	388,9497	0,2	-0,2	0,5	nenastal
L4	390,1581	0,1	390,1577	0,2	-0,4	0,4	nenastal
L6	391,3369	0,1	391,3366	0,2	-0,3	0,4	nenastal
L8	392,7663	0,1	392,7663	0,2	0,0	0,4	nenastal
L10	394,5196	0,1	394,5162	0,2	-3,4	0,4	nastal
L12	395,4790	0,1	395,4789	0,2	0,0	0,4	nenastal
L14	395,2485	0,1	395,2474	0,2	-1,1	0,4	nastal

Hodnoty posunov boli vypočítané ako rozdiel výšok bodov v jednotlivých etapách, pričom od výšky v etape 4 bola odčítaná výška v 3. etape.

8.2 Vyhodnotenie posunov medzi predošlými etapami a vyhodnotenie k 0. etape

Vyhodnotenie rozdielu etáp 4. a 0. je v tabuľke č. 9. Zvyšné vyhodnotenie rozdielov etáp sú v prílohe č. 3. Hodnoty posunov sú vypočítané odčítaním výšky danej etapy od výšky v predchádzajúcej etape a aj od 0 etapy. Takýmto odčítaním získavame posuny pozorovaných bodov od predošlej etapy a celkové posuny od 0. etapy pre každú etapu. Takto získavame prehľad o správaní mostovky v čase.

Tab. 9: Vyhodnotenie posunu 4. etapy vzhľadom k 0. etape

Č.bodu	0.etapa (8/2015)		4. etapa (6/2021)		Hodnota posunu [mm]	Medzná hodnota [mm]	Hodnotenie posunu
	H	mh	H	mh			
	[m]	[mm]	[m]	[mm]			
803	386,1630	0,3	386,1639	0,2	0,9	0,7	nastal
893	384,1721	0,2	384,1726	0,1	0,5	0,5	nastal
894	385,7143	0,2	385,7136	0,1	-0,7	0,4	nastal
601	386,0435	0,2	386,0368	0,2	-6,7	0,6	nastal
P1	388,9447	0,2	388,9439	0,1	-0,8	0,5	nastal
P4	390,1619	0,2	390,1578	0,1	-4,1	0,6	nastal
P6	391,3524	0,3	391,3507	0,2	-1,7	0,6	nastal
P8	392,7610	0,3	392,7648	0,2	3,8	0,6	nastal
P10	394,4453	0,3	394,4215	0,2	-23,8	0,6	nastal
P11	394,9396	0,3	394,9386	0,2	-1,0	0,6	nastal
P12	395,0005	0,3	395,0048	0,2	4,3	0,6	nastal
P13	394,8952	0,3	394,8950	0,2	-0,2	0,6	nenastal
P14	394,7119	0,3	394,7137	0,2	1,8	0,6	nastal
P16	394,0996	0,3	394,0992	0,2	-0,4	0,6	nenastal
P19	392,8318	0,2	392,8276	0,2	-4,2	0,6	nastal
L1	388,9532	0,2	388,9497	0,2	-3,5	0,5	nastal
L4	390,1611	0,2	390,1577	0,2	-3,4	0,6	nastal
L6	391,3429	0,3	391,3366	0,2	-6,3	0,6	nastal
L8	392,7629	0,3	392,7663	0,2	3,4	0,6	nastal
L10	394,5447	0,3	394,5162	0,2	-28,5	0,6	nastal
L12	395,4780	0,3	395,4789	0,2	0,9	0,7	nastal
L14	395,2570	0,3	395,2474	0,2	-9,6	0,7	nastal

8.3 Grafické znázornenie zvislých posunov a pretvorenia v pozdĺžnom reze

Účel grafického znázornenia vertikálnych posunov je ich jednoduchá, prehľadná interpretácia. Spôsob grafického znázornenia bol zvolený tak, aby bolo možné spoľahlivo interpretovať posuny na všetkých pozorovaných bodov a získať tak celistvú charakteristiku zmeny geometrie mostnej konštrukcie. Na znázornenie vertikálnych posunov mostovky bolo zvolené zobrazenie v pozdĺžnych rezoch konštrukcie mostu prevzatých z dokumentácie mostu. Grafické znázornenie je doplnené o číselné hodnoty jednotlivých posunov vzhľadom k 0. etape.

S pomocou posúdenia posunov a pretvorenia vo všetkých riešených etapách vieme perspektívne analyzovať priebeh zmeny tvaru mostovky za celkové časové obdobie od zamerania 0. etapy do 4. etapy, t. j. od roku 2015 do roku 2021. Hlavným cieľom tejto analýzy je zistiť, či sa vertikálne posuny pozorovaných bodov zväčšujú alebo znižujú. Takéto zistenie je dôležité z hľadiska odhalenia rizikových zmien, ktoré by v budúcnosti mohli viesť k oveľa horším zmenám, kde by bola výrazne ovplyvnená bezpečnosť. Vývoj zvislých posunov pozorovaných bodov počas všetkých etáp je interpretovaný číselne aj graficky. Číselné vyjadrenie predstavuje tabuľku s hodnotami posunov, obsahom grafického vyjadrenia je vývoj zmien výšok pozorovaných bodov počas jednotlivých etáp. Grafické znázornenie je znázornené v prílohe č. 4.

8.4 Interpretácia výsledkov

Prvým sledovaným faktorom bol posun mostovky nad podperami. Druhým sledovaným faktorom bolo správanie mostovky medzi podperami. Posun v poslednej uskutočnenej etape nebol preukázaný u 78% pozorovaných bodoch. Hodnoty posunov sa pohybujú v rozsahu od 0 do 3,4 mm.

V etape 3 (6/2020) bol preukázaný posun v 72% pozorovaných bodoch. Posuny v tejto etape boli v rozsahu od 0,0 do 3,2 mm.

V 2. etape (11/2019) bol posun preukázaný v 72% pozorovaných bodoch, kde sa posuny pohybovali od 0,0 do 4,9 mm.

V 1. etape (11/2018) bol posun preukázaný v 71% pozorovaných bodoch.

Rozmedzie hodnôt posunov bolo od 0,00 až po 17,0 mm. V tejto etape boli zamerané všetky pozorované body na mostovke a zistilo sa, že posuny mostovky nad podperami sú nesúmerné, čo môže spôsobovať nerovnomerné sadanie podpier mostu.

Z tejto interpretácie výsledkov môžeme uviesť, že najväčšia miera pretvorenia bola pri 1. etape (2018) po 3 rokoch uvedenia mostu do prevádzky. Toto pretvorenie mohlo byť z dôvodu sadania mostnej konštrukcie vlastnou váhou a prevádzkou dopravy do základovej pôdy. V priebehu času sa miera pretvorenia zmierňuje, napriek tomu však budú stále na mostnú konštrukciu vplývať poveternostné podmienky, oslnenie, stabilita pôdy, doprava a mnoho ďalších faktorov.

9 ZÁVER

Úlohou tejto práce bolo zameranie, výpočet, vyhodnotenie a interpretácia posunov mostu ponad rieku Poprad. Posudzovanými etapami boli všetky uskutočnené etapy 0 (2015), 1 (2018), 2 (2019), 3 (2020), 4 (2021). Pre vykonanie zamerania zvislých posunov s požadovanou presnosťou bolo potrebné vykonať kontrolu použitých prístrojov a pomôcok, ktorá potvrdila ich vhodnosť na použitie. Zisťoval sa aj vplyv teploty prístroja na zámernú priamku, kde sa spracovaním sa zistilo, že najväčšia zmena poklesu teploty prístroja bola pred začatím testu, pri presune a pripevnení prístroja na statív. Pokles teploty bol 10°C na 5 minút. Pri prvých 12 minútach merania pokusu, sa rýchlo zmenila teplota prístroja, kde zmena sklonu zámernej priamky predstavovala $-0,19\text{mm}/^{\circ}\text{C}$ na dĺžku 16,7 m. Najmenší zistený rozdiel počas merania medzi teplotou prístroja a teplotou vzduchu predstavoval $1,9^{\circ}\text{C}$ po uplynutí 90 minút, čo predstavuje $32\text{ min}/^{\circ}\text{C}$ pre zmenu teploty prístroja. Meranie trvalo 122 minút.

Stabilita vzťažných bodov bola posudzovaná rozdielmi prevýšení medzi bodmi vzťažnej siete. Keďže nebolo jasné, ktorý bod vzťažnej siete bol najstabilnejší, merané dáta museli byť vyrovnané metódou voľnej siete. Výsledok vyrovnania vyhodnotil posun na bodoch č. 893 a 894. Výšky týchto bodov sa opravili a ďalšie kroky vyhodnocovania pokračovali s opravenými výškami. Porovnávanie výpočtu vyrovnania medzi softvéri preukázal maximálny rozdiel 0,6 mm na bode vzťažnej sústavy č. 803. Rozdiely výšok sa zmenšovali a zväčšovali vzhľadom vzdialenosti k uzlovým bodom a v pozdĺžnom smere mostu. Za následkami týchto rozdielov môže byť rôzne predspracovanie dát, podmienenie dát, stupeň riešenia úlohy a taktiež spôsob výpočtu vyrovnania a pravdepodobne aj nerovnomerné rozmiestnenie vzťažných bodov. Dôležitým faktorom pre meranie a spracovávanie dlhodobého monitoringu je, aby prebiehalo za rovnakých poveternostných podmienok, za rovnakého postupu výpočtov a použitia rovnakého softvéru.

Posuny nosnej konštrukcie boli vypočítané a posudzované vzhľadom k predošlým etapám a k východiskovej etape, čo vyjadruje celkový posun pozorovaného bodu. V 4. etape sa hodnoty posunov pohybovali od 0,0 do 3,4 mm, kde len na 4 pozorovacích bodoch bol preukázaný posun. Pri nosnej konštrukcii mostu dosahujú zistené zvislé posuny hodnoty, ktoré sa väčšinou pohybujú blízko hranice

presnosti a vypovedajúcej schopnosti merania, kde často dosahujú hodnotu blížiacu sa k ich rozšírenej neistote. Väčšie posuny sa hlavne na bodoch, ktoré sa nachádzajú medzi podperami, kde dochádza k väčšiemu pretvoreniu mostovky. A však najväčšie posuny sú v strede mosta, priamo nad riekou Poprad, z dôvodu najväčšieho rozpätia podpier a tým sa tvorí najväčší priehyb mostovky. Vyhodnotením posunov už pri 1. etape (2018) sú zreteľné odlišné posuny bodov nad podperami, čo znamená nejednaké sadanie podpier. Z grafického znázornenia a z interpretácie výsledkov posunov je možné usúdiť, že miera pretvorenia nosnej konštrukcie v priebehu času sa zmierňuje. Vplyvy, ktoré môžu spôsobovať pretvorenie sadanie mostnej konštrukcie prevádzkou do základovej pôdy, striedanie ročných období, oslnenie atď. Takýto spôsob vyhodnocovania posunov umožňuje sledovať vývoj zmien geometrie konštrukcie za určité časové obdobie.

ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] ČSN 76 6200 - *Mostní názvosloví., česká státní norma.* Účinnost od 1.1.1997. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1984.
- [2] MICHALČÁK, O., O. VOSIKA, M. VESELÝ a Z. NOVÁK. *Inžinierska geodézia I.* Asd. Bratislava: Alfa, 1985.
- [3] JEŽKO, Ján a Vlastimil STANĚK. Meranie zvislých posunov mostného objektu Apollo v Bratislave. *Acta Montanistica Slovaca* [online]. Košice, 2009, 142009(1), s. 1-8 [cit. 2022-04-09]. ISSN 1335-1788. Dostupné z: <https://actamont.tuke.sk/pdf/2009/s1/9jezko.pdf>
- [4] KOPÁČIK, Alojz. Meranie posunov a pretvorení stavebných objektov. In: *A.G.K 2016: Inžinierska geodézia - Zborník príspevkov.* Bratislava: Komora geodetov a kartografov, 2016, s. 99-109. ISBN 978-80-227-4609-0.
- [5] ŠVÁBENSKÝ, O., A. VITULA a J. BUREŠ. *Inženýrská geodézie II M02: M02- Praktické úlohy inženýrskej geodézie.* Brno, 2007. Studijní opora. FAST VUT v Brně.
- [6] ŠVABENSKÝ, O., A. VITULA a J. BUREŠ. *Inženýrská geodézie II: M03- Geodézie ve stavebních oborech.* Brno, 2007. Studijní opora. FAST VUT.
- [7] ČSN 73 0405 - *Měření posunů stavebních objektů., česká státní norma.* Účinnost od 12.2.1985. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1986.
- [8] KOSKA, B., T. KŘEMEN, J. POSPÍŠIL a M. ŠTRONER. *Laserové skenování ve speciálních průmyslových aplikacích.* Praha, 2007. Workshop fotogrammetrie, DZP a laserového skenování,. ČVUT v Praze a Společnost pro fotogrammetrii a DPZ. ISBN 978-80-01-03969-4.
- [9] KALINA, M. *Geodetické měření posunů a deformací dřevěné střešní konstrukce velkého rozpětí.* Brno, 2010. Práce studenstské vědecké a odborné činnosti. FAST VUT v Brně.

- [10] ŠVABENSKÝ, O., A. VITULA a J. BUREŠ. *Inženýrská geodézie I: M02-Geodézie ve stavebnictví*. Brno, 2006. Studijní opora. FAST VUT v Brně.
- [11] KYRINOVIČ, P., I. LIPTÁK, J. ERDÉLYI a A. KOPÁČIK. Automatizované meracie systémy na kontrolu stability mostov. *Dopravné stavby*. 2013, s. 1-4.
- [12] *Zaťažovacie skúšky mostov* [online]. Bratislava: Technický a skúšobný ústav stavebný, n. o., 2019, [cit. 2022-04-13]. Dostupné z: https://www.tsus.sk/na_stiahnutie/dokumenty/il_02-19_mosty.pdf
- [13] *TECHNICKÉ PODMIENKY: SYSTÉM HOSPODÁRENIA S MOSTAMI - TP 14/2013*. Bratislava: Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR, 2013. Dostupné také z: https://www.oan.sk/sites/default/files/attachments/tp_14_2013_system_hospodarenie_s_mostami_0.pdf
- [14] KOŽARÍK, Marek. Analýza výsledkov merania zvislých posunov vybraných objektov jadrovej elektrárne V-1 v Jaslovských Bohuniciach. *Acta Montanistica Slovaca* [online]. 2000, 5(2000), s. 1-11 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://actamont.tuke.sk/pdf/2000/n2/4kozarik.pdf>
- [15] BÁRTA, Ladislav. Dlouhodobý geodetický monitoring mostních konstrukcí. In: *Sborník přednášek: Vliv vnějších podmínek na výsledky geodetických měření při použití současných technologií*. Brno: Český svaz geodetů a kartografů o.s., 2019, s. 86-93. ISBN 978-80-02-02876-5. Sborník přednášek.
- [16] PAŽOUREK, J. a J. RINDA. Aktuální problémy geodetické kontroly stability turbosoustrojí Jaderné elektrárny Dukovany v období výstavby. *Geodetický a kartografický obzor* [online]. Praha: Český úřad geodetický a kartografický a Slovenský úrad geodézie a kartografie, 1985, 31(8), s. 194-195 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://uazk.cuzk.cz/mrimage/vademecum/proxy/cz/others/zeus/knih/dao/documents/0001/589b1676-daea-4aad-818b-5dd5164a8af4.pdf>

- [17] URBAN, R., M. ŠTRONER, L. VRÁBLIK a Z. MATOUŠ. Měření průhybové čáry na moste generála Chábery v Litoměřicích. In: *Geodézie ve stavebnictví a průmyslu*. Brno: Český svaz geodetů a kartografů o.s., 2012, s. 101-110. ISBN 978-80-02-02442-2. ISSN 978-80-02-02442-2.
- [18] JURÁŠKOVÁ, Renata. Fotogrammetrické určování deformací hradicích těles na vodních tocích. *Geodetický a kartografický obzor* [online]. Praha: Český úřad geodetický a kartografický a Slovenský úrad geodézie a kartografie, 1985, 3173(10), s. 252-256 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://uazk.cuzk.cz/mrimage/vademecum/proxy/cz/others/zeus/knih/dao/documents/0001/5d3d39ec-8256-4d4b-8537-406ea3737836.pdf>
- [19] LUŽÁK, P. a M. PRVÝ. VYUŽITIE LASEROVÉHO SKENOVANIA PRI GEODETICKOM MONITORINGU PVE ČIERNY VÁH. *Priehradné dni 2014* [online]. 2014, 2014(36), s. 1-8 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: http://www.emvizig.hu/Nemzetkozi/3_3_Luzak.pdf
- [20] BUREŠ, J. Analýza experimentálných měření GPS– RTK. *Časopis Geodetický a kartografický obzor*, [online]. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální a Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej republiky, 2009, 5597(4), s. 77-86 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://uazk.cuzk.cz/mrimage/vademecum/proxy/cz/others/zeus/knih/dao/documents/0001/fbf9165c-3311-430f-8eab-acb91839f02b.pdf>
- [21] KALIVODA, J. a M. HAMRÁK. Presné meranie posunov: Využitie modernej prístrojovej techniky a metód spracovania údajov pri meraní vodorovných a zvislých posunov. *Geotech Aktuál 2016: Informácia o geodetických riešeniach* [online]. Bratislava: GEOTECH Bratislava s.r.o., 2016, s. 7-9 [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: https://www.geotech.sk/downloads/Novinky/Geotech_aktual_2016_hs.pdf
- [22] I/68 Mníšek nad Popradom – state border SR/PR, relocation of the road. In: *COLAS Slovakia, a.s.* [online]. Trnava: COLAS Slovakia, a.s., 2015 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.colas-sk.sk/en/article/i68-mnisek-nad->

popradom-%E2%80%93state-border-srpr-relocation-of-the-road

- [23] Nový most pri Starej Ľubovni má prispieť k rozvoju celého regiónu. *Dobré noviny* [online]. 2015, [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.dobrenoviny.sk/c/55878/novy-most-pri-starej-lubovni-ma-prispiet-k-rozvoju-celeho-regionu>
- [24] I/68 MNÍŠEK NAD POPRADOM - ŠT.HR.SR/PR PREL.CESTY. In: *Slovenská správa ciest* [online]. Bratislava: Slovenská správa ciest, 2022 [cit. 2022-04-10]. Dostupné z: <https://www.ssc.sk/sk/cinnosti/vystavba-a-rekonstrukcia/ukoncene-projekty/Stavby-ukoncene-v-2015/I-68-Mnisek-n-P-st-hr-SR-PR-prel-cesty.ssc>
- [25] Hraničný most v Mníšku prešiel zaťažkavajúcou skúškou Čítajte viac: <https://spis.korzar.sme.sk/c/7856859/hranicny-most-v-mnisku-presiel-zatazkavajucou-skuskou.html>. *Korzár* [online]. Petit Press, a.s., 2015, [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://spis.korzar.sme.sk/c/7856859/hranicny-most-v-mnisku-presiel-zatazkavajucou-skuskou.html>
- [26] *Návod k obsluze: SOKKIA SDL1X*. 3. vydání 03-0944. BLABLABLA, 2008. SOKKIA TOPCON CO., LTD.
- [27] SOKKIA SDL1X. In: 3GON Slovakia [online]. Galanta: 3gon Positioning s.r.o., [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://sk.3gon.eu/digitlne-optick/sokkia-sdl1x>
- [28] Cesta I/68 Mníšek nad Popradom – štátna hranica SR/PR, preložka cesty. *Amberg Engineering Slovakia, s.r.o.* [online], [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.amberg.sk/cesta-i-68-mnisek-nad-popradom-statna-hranica-sr-pr-prelozka-cesty/>
- [29] LIPTÁK, I., T. PRIBUL, M. KOŽA, J. KOŽÁR a T. ŠALÁT, 2021. Automatizovaný monitoring mostných objektov cez rieku Dunaj v Bratislave. *Slovenský geodet a kartograf* [online]. 26(2021), (1) s. 5-13 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: https://www.kgk.sk/uploads/media/sgak_1_2021_web.pdf

- [30] JEŽKO, Ján, 2013. Testovanie nivelačných prístrojov pre potreby stavebníctva. TZB-info [online]. 1.7.2013, 2013(1), 1 [cit. 2022-05-04]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/merici-a-regulacni-technika/10102-testovanie-nivelacnych-pristrojov-pre-potreby-stavebnictva>

ZOZNAM SKRATIEK

GNSS	globálne navigačné satelitné systémy
GPS	globálny polohový systém
RTK	meranie GPS v reálnom čase (Real Time Kinematic)
ČSN	česká státní norma
STN	slovenská technická norma
Z. z.	zbierka zákonov
MNŠ	metóda najmenších štvorcov
STU	slovenská technická univerzita
PVE	prečerpávacia vodná elektrárň
PR/S	Poľská republika/Slovensko
ISO	medzinárodná organizácia pre štandardizáciu (angl. Organization for Standardization)
XML	značkovací jazyk extensible markup language
ÚGKK	úrad geodézie, kartografie a katastra
SR	Slovenská republika
NR	národná rada
PN	presná nivelácia
VPN	veľmi presná nivelácia

ZOZNAM OBRÁZKOV, TABULIEK A GRAFOV

Obr. 1: Lokalizácia mostu [mapy.cz].....	28
Obr. 2: Pohľad na most [22]	28
Obr. 3: Výstavba mostu	30
Obr. 4: Schéma rozmiestenia vzťažných a pozorovacích bodov	31
Obr. 5: Stabilizácia vzťažných a pozorovacích bodov	32
Obr. 6: Prístroj Sokkia SDL1X [27]	34
Obr. 7: Nivelačná lata Topcon BIS30.....	35
Obr. 8: Schéma kontroly vodorovnosti pätky	36
Obr. 9: Poloha umiestnenia lát.....	37
Obr. 10: Schéma testovacej priamky [30]	38
Obr. 11: Schéma testu presnosti prevýšenia závislosti na dĺžke nivelačnej zostavy	39
Obr. 12: Schéma testu	39
Obr. 11: Schéma testu	39
Obr. 12: Schéma testu vplyvu teploty prístroja na zámernú priamku	40
Obr. 13: Teplota prístroja	41
Obr. 14: Napojenie teplomera.....	41
Obr. 15.: Stabilizácia late.....	41
Obr. 16: Schéma zisťovaného uzáveru	46
Obr. 17: Protokol zo software Nivelácia 1	49
Obr. 18: Protokol zo software Nivelácia 2.	49
Obr. 19: Vysvetlenie hodnôt z protokolu Nivelácie	49
Obr. 20: Nivelácia - Nastavenia parametrov vyrovnania	50
Obr. 21: Groma - Vstupný formát súboru meraných dát	51
Obr. 22: Groma - Nastavenie parametrov vyrovnania.....	51
Obr. 23: G-Net - Vstupný formát meraných dát	52
Obr. 24: G-Net - Nastavenie parametrov	52
Tab. 1: Odchýlky vodorovnosti pätiiek	37
Tab. 2: Ukážka výpočtu testu	39
Tab. 3: Výsledok testu	40
Tab. 4: Zhodnotenie rozdielov oddielov meraných tam a späť	46
Tab. 5: Zhodnotenie uzáveru	46
Tab. 6: Posúdenie stability vzťažných bodov	47
Tab. 7: Porovnanie vyrovnaných výšok a stredných chýb	53
Tab. 8: Vyhodnotenie posunov	55
Tab. 9: Vyhodnotenie posunu 4. etapy vzhľadom k 0. etape	56
Graf 1: Závislosť presnosti meraného prevýšenia od dĺžky zostavy	40
Graf 2: Závislosť zámernej priamky pri teplotách	42

ZOZNAM PRÍLOH

- Príloha č. 1: Vyhodnotenie presnosti etapových meraní, posúdenie stability vzťažných bodov
- Príloha č. 2: Ukážky protokolov z vyrovnania
- Príloha č. 3: Vyhodnotenie etáp
- Príloha č. 4: Grafické znázornenie posunov