



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra krajinného managementu

Diplomová práce

Vybrané geodetické činnosti při monitoringu a realizaci dálničních mostů

Autor práce: Bc. Josef Urban

Vedoucí práce: Ing. Pavel Hánek, Ph.D.

České Budějovice
2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....
Podpis

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá monitoringem mostního objektu SO211 na dálnici D3 0310/II Hodějovice – Třebonín. Pozorovaná mostní konstrukce se měřila přesnou nivelací v etapách v rámci jednoho roku zhruba každé dva měsíce, přičemž se zjišťovalo, zda nedošlo k mezním odchylkám, tudíž ke změně polohy.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V části teoretické jsou popsány základní informace o geodetických přístrojích a dále jsou vysvětleny metody měření. Praktická část obsahuje popis sledovaného objektu včetně toho, jak byla vytvořena jeho lokální měřičská síť. Hlavní částí je pak zpracování naměřených hodnot, které se vzájemně porovnají v programu Microsoft Excel, kde jsou vytvořeny grafy pro jednotlivé dřívky. V závěru pak dojde k vyhodnocení všech měřených bodů a k jejich porovnání s ostatními a s normami pro mezní odchylky.

Klíčová slova: mostní objekt, nivelace, nivelační přístroj, lokální měřičská síť, deformace, mezní odchylky, monitoring, inženýrská geodézie

Abstract

This thesis deals with the monitoring of the bridge object SO211 on the D3 0310/II Hodějovice - Třebonín highway. The observed bridge structure was measured by precise levelling in stages within one year approximately every two months, while it was determined whether there were any limit deviations, therefore a change of position.

The work is divided into theoretical and practical parts. In the theoretical part there are described basic information about geodetic devices and there are also explained the measuring methods. The practical part contains a description of the object including how its local measurement network was created. The main part is then the processing of the measured values, which are compared with each other in program Microsoft Excel, where graphs are created for individual stems. Finally, all measured points are evaluated and compared with each other and with the standards for limit deviations.

Keywords: bridge object, levelling, levelling device, local measuring network, deformation, limit deviations, monitoring, engineering geodesy

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Hánkovi, Ph.D. za jeho rady, trpělivost, vstřícnost, ochotu a především za odborné vedení práce. Zároveň děkuji i firmě Angermeier Engineers s.r.o. za poskytnuté podklady a cenné rady. Velký dík patří i mé rodině, která mi byla při studiu vždy oporou.

Obsah

Úvod.....	8
1 Literární řešerše.....	9
1.1 Nivelace.....	9
1.1.1 Typy nivelací.....	9
1.2 GNSS metody.....	11
1.3 Přístroje využívané k monitorování	13
1.3.1 Niveláční přístroje.....	14
1.3.2 Totální stanice	17
1.3.3 RPAS (Remotely Piloted Aircraft System).....	18
1.4 Vytvoření a popis měřičských sítí	20
1.5 Základní terminologie pro spodní stavbu mostních konstrukcí	22
2 Metodika	23
2.1 Cíl práce	23
2.2 Popis sledovaného objektu	23
2.3 Lokální (místní) měřičská síť sledovaného objektu	24
2.4 Způsob měření bodů	30
2.4.1 Polohové uspořádání zaměřovaných bodů.....	30
2.5 Četnost a způsob měření.....	31
2.5.1 Značení měřičských bodů	31
2.6 Vztažné sítě a možné odchylky	33
2.6.1 Technologie měření.....	34
2.7 Sledované údaje.....	35
2.7.1 Teplota nosné konstrukce a vzduchu	35
2.7.2 Funkční způsobilost měřičských značek.....	36
3 Výsledky a diskuze	38

Závěr	49
Seznam použité literatury.....	51
Seznam obrázků	56
Seznam tabulek	57
4 Přílohy	58

Úvod

Mostní objekty jsou na dálnici D3 0310/II Hodějovice – Třebonín nedílnou součástí stavby a geodetické práce jsou po celou dobu výstavby mostů důležitým prvkem. Jedná se o různé vytyčovací práce pro výkopy, základové desky, piloty, dřívky, ale i zaměřování hloubky výkopů, kubatur spotřebního materiálu. V průběhu výstavby, ale i po dokončení probíhá geodetické nivelační monitorování jednotlivých pilířů a opěr, což je hlavním cílem této diplomové práce.

Geodetické sledování měřené přesnou nivelací má za úkol kontrolovat a pozorovat pohyby a sedání mostní konstrukce v rámci doby, která je stanovena ještě před zahájením samotné stavby. Měření se provádí z lokální měřičské sítě. Každý jednotlivý mostní objekt má vytvořenou svoji vlastní síť. Při měření přesnou nivelací se vychází a uzavírá na stejném nivelačním čepu, v případě námi zkoumané mostní konstrukce se jedná o bod 3043, přičemž se v lokální měřičské síti nacházejí ještě další tři body - 3044, 3045 a 3046.

S realizací monitoringu jsou také mimo jiné spojeny geodetické práce při vytváření lokální měřičské sítě včetně způsobu jejího zaměřování a zpracování. Výše zmíněné činnosti budou zpracovány v jednotlivých kapitolách.

Pro tuto práci byl vybrán mostní objekt Otmanka na 146,225 km s označením SO2011, neboť jeho hodnoty deformace byly vhodné ke zkoumání. Z jednotlivých měřičských etap, které probíhaly v rozmezí zhruba měsíců od 1. 6. 2020 do 7. 7. 2021, budou výsledná data zpracována a graficky vyhodnocena v Microsoft Excel. Dále budou mezi sebou porovnány, slovně popsány a vyhodnoceny rozdíly v hodnotách deformace.

1 Literární rešerše

V této části práce budou nejdříve představeny obecné principy a zásady metod používaných pro monitoring staveb. Po tomto přehledu bude následovat popis přístrojů, které se používají právě při monitoringu.

1.1 Nivelace

1.1.1 Typy nivelací

Technická nivelace

Tento typ nivelace se udává směrnicí vztahující se k technické nivelaci. Využívá se k měření prostých technických účelů, určování nadmořských výšek a výšky bodů v podrobném výškovém bodovém poli. Technická nivelace se rozlišuje na podtypy se základní přesností a se zvýšenou přesností (Vitásek et al., 1998).

Základní souprava pro měření se skládá z nivelačního přístroje s parametry minimálně odpovídajícími 16ti násobnému zvětšení, dále z libely se senzitivitou alespoň 60''/2mm (koincidenční libela 80''/2 mm), nebo z kompenzátoru schopného nahradit vypovídající přesnost. Nivelační lať by měla být jasně čitelná a doplněná pevnou patkou. Pokud bychom chtěli dosáhnout přesnějších výsledků, je lepší měřit s kompaktní latí z jednoho kusu doplněnou o urovnávací libelu a nivelační podložku (Maršík a Maršíková, 2002).

Stručný popis měření: Měříme jednotlivé záměry s různými vzdálenostmi přizpůsobené aktuálnímu počasí a úrovni terénu. Pokud máme rovinatý povrch za příznivého počasí, může být záměra dlouhá až 80 m. V opačném případě, to znamená ve svahovitém terénu a za lehkého deště, je lepší chodit mnohem kratší záměry. Vše by se mělo odvíjet od těchto faktorů, jestliže máme v úmyslu měřit co nejpresněji. Soubor sestav, nebo také nivelační oddíl se měří vždy jedenkrát, pouze u volných pořadů to je dvakrát. Sestavy se kontrolují nitkovým dálkoměrem, nebo se půlí krokováním. Záměra nad terénem by měla odpovídat výšce minimálně 0,3 m. Pokud k měření využíváme dvě nivelační latě, vycházíme ze sudého počtu sestav, abychom zabránili indexové chybě latě (Ratiborský, 2000).

Mezní odchylka mezi daným a měřeným převýšením je kritérium přesnosti, které se určuje na základě vzorce:

$$^1\Delta_{\max} = 40 * \sqrt{L} \text{ [mm]}$$

pro přesnější měření

$$^1\Delta_{\max} = 20 * \sqrt{L} \text{ [mm]}$$

kde L je délka nivelačního pořadu v kilometrech.

Přesná nivelace

Využití přesné nivelace je vhodné při výpočtu nadmořských výšek ve výškovém bodovém poli v PNS (plošná nivelační síť) a převážně v pořadech III. a IV. řádu a v oblasti inženýrské geodézie, kde se pracuje s vysokou přesností při specifických činnostech. Československá jednotná nivelační síť (ČSJNS) dohlíží a stanovuje nivelační postupy měření (Vitásek et al., 1998).

Nivelační měřené pořady IV. řádu a PNS se řadí do PVBP a měřená nivelace III. řádu spadá do ZVBP. Na základě těchto informací je řadíme do kategorie přesné nivelace. Nivelační souprava je vybavena odlišnými funkcemi a vlastnostmi, než tomu bylo u výše popsané technické nivelace. Tato souprava je tvořena přístrojem s minimálním 24ti násobným zvětšením, nivelační libelou s citlivostí 20,6''/2 mm (koincidenční libela 41''/2 mm) nebo kompenzátorem odpovídající přesnosti. V případě měření slunečником je chráněn přístroj s optickým mikrometrem. Měří se na pevných stativích s těžkými litinovými podložkami. Nivelační lať by měla být opět z jednotného kusu a je doplněna krabicovou libelou. Pro vysokou přesnost měření nivelačních pořadů III. řádu je podmínkou, aby lať byla potažena invarovou páskou, což je páska, která zabraňuje teplotní roztažnosti. Latě mají dvě stupnicové hodnoty a ty jsou navzájem posunuty o laťovou konstantu (Bárta a Soukup, 2005).

Postup měření: Postup se opět malinko odlišuje od ostatních nivelací, alespoň co se parametrů týká. Jelikož se jedná o přesnou nivelaci, dochází tak i k pečlivějšímu způsobu měření záměr. Záměry se nivelují dvakrát, a to tam a zpět. Délky záměr se měří pásmem na přesnost 1 dm a vzdálenost je maximálně 50 m. Nad terénem by měla být výška záměry minimálně 50 cm, pokud měříme v těžko přístupném terénu, tak 25 cm. Pokud pracujeme s dvoustupnicovou latí, nemělo by dojít k překročení záměry 1 mm a 1,5 mm v sestavě mezi konstanty. Latě se porovnávají ve zkušebně, nebo na nivelační základně. Na začátku nivelačního pořadu se vychází z pevného kontrolního bodu a kontrola se provádí na dalším nejbližším bodě (www.kgm.zcu.cz).

Pokud nivelujeme pořad III. řádu, liší se v délce záměry z 50 m na maximálních 40. Výška záměry nad terénem je 80 cm a v těžkém terénu 40 cm. Konstantní rozdíl

latí nesmí přesáhnout záměry o velikosti 0,1 mm a v sestavě 0,2 mm. Zahajovací a kontrolní body musejí být od sebe vzdáleny minimálně 1 km. Polní etalon je vhodný pro srovnání latí prováděné přímo v poli.

Hlavním kritériem přesnosti je mezní odchylka mezi nivelovaným převýšením tam a zpět.

Ta se určuje dle vzoru:

$${}^1\Delta_{\max} = 5 * \sqrt{R} \text{ [mm]}$$

Při měření nivelačních pořadů III. řádu, kdy R je vzdálenost nivelačního oddílu v jednotkách kilometru (www.kgm.zcu.cz).

$${}^1\Delta_{\max} = 3 * \sqrt{R} \text{ [mm]}$$

1.2 GNSS metody

GNSS (Globální navigační satelitní systémy) jsou v současné době známé díky automobilovým průmyslům, kde jsou auta vybavena navigací GPS a mapovými podklady, nebo jako součást mobilních zařízení. První zmínka o takto vytvořeném systému je z roku 1973. Systém pracuje na stejném základu, pouze se přizpůsobuje technickým inovacím (Rapant, 2002).

Vůbec první vývojářský systém nesl název NAVSTAR GPS (Navigation Signal Timing and Ranging Global Positioning System) a byl pro vojenské účely, aby sloužil k navádění lodí, raket, letadel a vojáků k cíli. Funkce těchto systémů se s postupem času rozvíjela až do geodetického odvětví, kde se nyní využívá v technické a inženýrské geodézii (Královič, 2013).

Principem GNSS je fungování dálkoměrného systému, kdy satelitní družice vysílají navigační zprávu obsahující kromě svého označení také polohu a čas vysílání. Přijímač, jehož poloha je určována musí přijmout tyto signály od čtyř různých družic. Na základě rozdílu času odeslání signálu z družic a příjmu přijímače lze vypočítat vzájemnou vzdálenost, což ve spojení se znalostí polohy družice tvoří kulovou plochu. V jejím průsečíku je situovaný přijímač, díky čemuž se zjistí souřadnice X, Y, Z. Z teoretického hlediska by se dalo vycházet pouze ze tří družic, ale přijímač nemá tak přesné hodiny, jak je potřeba, a proto se počítá se čtyřmi. Jedná se o protínání délek. Čím více družic je zachyceno přístrojem, tím přesnější je měření (Kaplan a Hegarty, 2006).



Obrázek 1.1: Vizualizace GNSS (www.spirent.com)

Geodetické zpracování dat

Přesnost měření se rozlišuje podle délky a způsobu měření. Ty se následně dělí na různé metody (www.fsv.cvut.cz):

- Statická metoda (3 – 5 mm)
- Rychlá statická (5 mm – 10 mm + 1 ppm)
- Stop and go (10 mm – 20 mm + 1 ppm)
- Kinematická (20 mm – 30 mm + 3 ppm)
- RTK – Real Time Kinematic (25 mm – 50 mm)

K měření v geodézii se využívá převážně RTK v síti referenčních stanic a výjimečně rychlá statická metoda. V průběhu měření se registrují data do přístroje a následně se vypočítají. Pro vytyčení jsou tak výsledky poskytnuty okamžitě (Kaplan a Hegarty, 2006).

Metoda RTK

Rapant (2002) uvádí, že se měřicí aparatura v základním nastavení sestavuje ze dvou přijímačů. První přijímač (tzv. base) je umístěn na známém pevném bodě po dobu celého měření a s druhým (tzv. rover) se zaměřují nebo vytyčují konkrétní body. Měření probíhá v aktuálním čase a přijímače musejí být neustále spojeny datovým připojením, např. radiomodemy nebo permanentním internetovým připojením pomocí GPRS. Tímto způsobem je možné dosáhnout přesnosti měření až na 10 mm (www.fsv.cvut.cz).

Na základě pracovních zkušeností v oblasti inženýrské geodézie jsme tuto metodu využívali pro přesnější měření v těžko dostupných místech. Dále se tato metoda

využívala při výstavbě železniční přeložky nebo na základě požadavků na přesnější měření, který zadal odpovědný stavbyvedoucí. Většinu měřičských prací a vytyčování provádíme s jedním přijímačem, který využívá síť virtuálních stanic, a internetovým připojením, který zajišťuje přístup ke korekcím. S přesností 25 – 50 mm není tento způsob tak precizní jako při použití rychlé statické metody, ale je rychlý, efektivní a na zaměrování terénu, nebo výkopu dostačující.



Obrázek 1.3: GNSS sestava s kontrolerem (vlastní)



Obrázek 1.2: GNSS sestava s kontrolerem (vlastní)

Rychlá statická metoda

Metoda vychází z průběžného měření dvou či více aparatur. Doba měření se může lišit v rozmezí desítek minut až několika hodin dle požadované přesnosti. Po dokončení měření se zpracovávají veškeré výsledky a tento postup je označen termínem postprocessing (www.fsv.cvut.cz).

1.3 Přístroje využívané k monitorování

Přístroje, které se využívají ke geodetickému měření na inženýrských stavbách rozdělujeme do několika skupin. První skupinou jsou nivelační přístroje, jejichž důležitou součástí je nivelační lať, dále to jsou totální stanice a dnes velmi moderní RPAS (Remotely Piloted Aircraft System). V našem prostředí jsou ale známy jako drony.

1.3.1 Nivelační přístroje

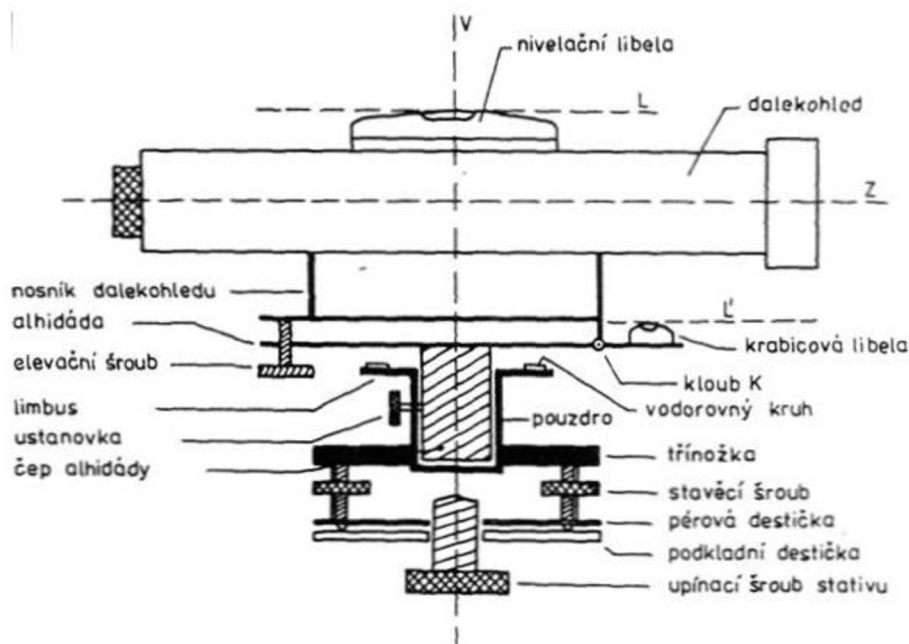
Libelové nivelační přístroje

Jedná se o vůbec jedny z nejstarších nivelačních přístrojů, které byly uvedeny na trh v první polovině 20. století (Pokora, 1984). V dnešní době se již téměř nevyužívají.

ČSN 73 0401 (1990) popisuje nivelační přístroj tímto způsobem - jedná se o pevně posazený dalekohled vyrobený ze železa a jeho další součástí je nivelační libela, která slouží k držení rovnosti mezi trojnožkou a dalekohledem.

Přístroj je složen z následujících částí:

1. trojnožka T se stavěcími šrouby Š
2. alhidáda A se svislým čepem Č a vidlicí pro dalekohled
3. dalekohled D pohyblivě spojený s alhidádou kloubem K a elevačním šroubem E (slouží k nastavení záměrné přímky do žádané vodorovné roviny)
4. nivelační libela NL
5. ustanovka U ovládající otáčivý pohyb alhidády kolem svislé osy V
6. krabicová libela KL pro přibližné uvedení osy V do svislé polohy



Obrázek 1.4: Popis nivelačního přístroje (www.slideplayer.cz)

Dalekohled s vnitřním zaostřováním je uložen ve vidlici a je na jedné straně pohyblivě spojen s podložkou kloubem a na druhé straně s elevačním šroubem. Otáčením tohoto šroubu lze v určitém rozmezí měnit polohu záměrné přímky Z ve svislé rovině a nastavit ji za pomoci nivelační libely (její osy) do žádané vodorovné polohy. Pro rychlé (avšak pouze přibližné) uvedení osy V do svislé polohy (a tím osy Z do přibližně vodorovné polohy) je alhidáda vybavena pomocnou krabicovou libelou s nižší citlivostí. U většiny přesnějších přístrojů tohoto typu se nivelační libela urovnává tzv. koincidenčním způsobem, kdy obrazy obou konců libely jsou opticky převedeny tak, aby je bylo možno pozorovat od okuláru nebo přímo v zorném poli dalekohledu (Ratiborský, 2000).

Kvalitu těchto nivelačních přístrojů určuje jak zpracování jednotlivých mechanických částí, tak zvětšení dalekohledu větší než 20x (www.kgm.zcu.cz).

Automatické kompenzátorové nivelační přístroje

Snahou konstruktérů bylo odstranit pracné nastavování záměrné přímky do vodorovné polohy prostřednictvím ručního urovnávání nivelační libely a tím podstatně zrychlit a zpřesnit měřický úkon. Tato snaha o vytvoření nového typu nivelačního přístroje byla úspěšně vyřešena počátkem 50. let konstrukcí tzv. automatického nivelačního přístroje se zcela novým konstrukčním prvkem – kompenzátořem (kyvadlem) (Blažek et al., 1997).

Tento kompenzátor nahradil a převzal funkci nivelační libely, elevačního šroubu a lidské ruky. Kompenzátor po hrubém urovnání přístroje podle krabicové libely nastaví samočinně (v tzv. kompenzačním intervalu, který je zpravidla menší než 0,6 g) záměrnou Z do vodorovné polohy a to bez nutnosti urovnání nivelační libely podle působení zemské gravitace (Ratiborský, 2000).

Mezi kompenzátorové přístroje patří i digitální nivelační přístroj.



Obrázek 1.5: Nivelační sada (vlastní)



Obrázek 1.6: Nivelační sada (vlastní)

Laserové nivelační přístroje

V poslední době se pokusila řada výrobců nahradit světelný paprsek realizující záměrnou přímku viditelným laserovým paprskem.

Nejčastěji užívaným zdrojem je zde červená laserová dioda. Po rozložení laserového paprsku do roviny lze pozorovat viditelnou záměrnou rovinu. Při delších záměrech je součástí přístroje i odečítací zařízení na lati (čidlo), které umožní určit střed paprsku (divergence je 20-30mm/200m) s přesností 0,5-2,5mm podle délky záměry (www.kgm.zcu.cz).

Tyto druhy přístrojů nachází své využití především ve stavebnictví a inženýrské geodezii.

Z konstrukčního hlediska dělíme laserové nivelační přístroje na:

- a) kompaktní (laserový zdroj a dalekohled tvoří jediný celek)
- b) aditivní (do běžných typů nivelačního přístroje se laserové světlo přivádí světlovody)
- c) rotující (po rozložení laserového paprsku do roviny lze sledovat viditelný paprsek na více laticích, které jsou vybaveny detektory, najednou). Přesnost je

0,8 -3,0 mm/100 m podle délky záměry. Efektivní je zejména využití při stavebních pracích, např. v tubusech mostů (www.kgm.zcu.cz).

1.3.2 Totální stanice

Jedná se o jedny z nejčastěji používaných geodetických přístrojů, které jsou v současnosti v geodetickém oboru k dispozici. Slouží k zaměření nebo vytyčování vodorovných a svislých úhlů, měření délek a ukládání naměřených hodnot k dalšímu matematickému zpracování. Název totální stanice je odvozen od jejich komplexnosti a všestrannosti (www.vugtk.cz).

Měření s totálními stanicemi se začalo využívat v 90. letech 20. století. Mezi nejznámější světové výrobce těchto přístrojů patří firma LEICA Geosystems, jež je zaměřená na geodetické přístroje a optiku a pochází ze Švýcarska. Prodej totálních stanic díky jejich jednoduchosti, přesnosti a rychlosti tvoří přibližně 20% jejich příjmu. Ostatní příjmy tvoří další činnosti společnosti. Mezi další světové značky můžeme zařadit americkou firmu Trimble nebo TOPCON, SOKKIA, které sídlí v Japonsku. V Evropě fungovaly firmy Carl Zeiss Jena z Německa a Spectra Precision ze Švédska, které se v současné době staly součástí výše zmíněné americké firmy Trimble (www.is.muni.cz).

Říha (2014) uvádí, že princip fungování přístroje je na bázi koaxiálního sjednocení elektronického teodolitu s elektrooptickým světelným dálkoměrem. Úhlové a délkové hodnoty je možné odečítat rovnou z displeje, který byl dříve tvořen tekutými krystaly, nyní se používají již displeje dotykové. Další způsob je uložení dat do vnitřní paměti, nebo na jiné externí záznamové úložiště jako je flash disk a externí disk. Odtud se mohou v geodetických programech dále zpracovávat. Můžeme například vypočítat převýšení, převádět šikmé délky na vodorovné nebo měnit polárních souřadnic na pravoúhlé.

V současné době mají totální stanice barevné dotykové displeje s vysokým rozlišením, které usnadňují a umožňují pokročilejší práci s daty. Stroje jsou vybaveny vnitřními paměti o velikosti až několika GB (podobně jako u mobilních telefonů), takže je možné naměřit i několik tisíců bodů (www.vugtk.cz).

K změření délek slouží světelné dálkoměry s přesností středních chyb od 1mm + 1ppm s až 5mm + 5ppm v rozmezí 500 m až 5 km (Nevosád et al. 1999). Dnešní nejpresnější dálkoměry v TS dosahují přesnosti 0,5 mm + 1 ppm.

Všechny totální stanice využívají k měření analaktický dalekohled stálé délky. U okuláru se nachází zaostřovací kroužek, který pomáhá k seřízení nitkového kříže.

Ten je potřeba před každým měřením, stejně jako u teodolitu, zaostřit. Při cílení na odrazný hranol se nejprve využije kolimátor (hledáček na dalekohledu), který se nachází na vrchu a spodu dalekohledu, a poté použijeme zaostřovací prsteneček. Pro přesné polohové zaměření cíle se používají dvě ustanovky, a to horizontální a vertikální. Dražší modely v sobě mají zabudovány servomotorky, díky nimž je přístroj schopný se sám otáčet. To se využívá při vytyčování a zaměřování jednou osobou, tzv. one man systémem (Říha, 2014).



Obrázek 1.8: Totální stanice (vlastní)



Obrázek 1.7: Totální stanice (vlastní)

Funkce totální stanice

V moderních totálních stanicích jsou zabudovány mikropočítače a operační systémy, které umožňují základní výpočetní úlohy ihned na místě měření. Zobrazení grafiky, připojení k internetu, datové přenosy jsou tak jedny z mnoha funkcí, které jsou u moderních přístrojů již téměř samozřejmostí. Tyto funkce umožňují zasílat získaná data rovnou do kanceláře k okamžitému zpracování, což velmi urychluje a usnadňuje práci geodeta (Říha, 2014).

1.3.3 RPAS (Remotely Piloted Aircraft System)

V současné době budí na poli moderního monitorování poměrně značnou pozornost RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), v překladu systém dálkově řízeného letadla (Líkař, 2016). V českém prostředí jsou také běžně označovány jako drony.

Digitální model terénu se zaměřuje nejběžnější metodou, což je fotogrammetrie. RPAS vytváří model velice obdobným způsobem a stejnou technikou. Rozdíl je pouze v tom, že se na dálkové letadlo připevňuje obyčejný kompaktní fotoaparát, ten pak snímá povrch malého území s nižším vzletovým horizontem. To se pak odráží v konečném výstupu, neboť kvalita snímků není příliš vysoká. Monitorovaný úsek je zachycen na stovkách fotografií, které se navzájem překrývají, což není vhodné pro výslednou ortofotomapu, a proto se využijí pouze středové části snímků, které nejsou tolik zkreslené (www.skybrary.aero).

Pavelka (2016) uvádí, že v porovnání s profesionálními leteckými snímky se snímky z dronů mohou výrazně lišit, a to až k rozlišení 1 pixel na 1 cm. Důležitým faktorem pro přesnost zaměření je rychlost přeletu nad měřeným územím a rychlost ukládání snímků. To vše záleží na typu jednotlivých dronů. Například multikoptéra, což je dron s vícero rotory, má nízkou rychlost pohybu, která jí umožňuje zůstat na jednom místě, a proto jsou snímky z ní poměrně kvalitní. Při monitorování terénu ve výškách pod 100 m je nezbytné udržovat rovnoměrnou rychlost překrytu snímkování na vysoké frekvenci. Tyto nižší nálety navíc mohou způsobit špatné rozlišení snímků, protože se dron pohybuje poměrně rychle, a snímky jsou proto často neostře.

Z těchto výše zmiňovaných důvodů se geometrické rozlišení okřídlených systémů limituje cca 3 cm.

Pavelka (2016) dále uvádí, že nižší geometrické rozlišení avšak nevyovídá o polohové přesnosti vzniklého ortofota. Důležité je samotné umístění pixelu v souřadnicové soustavě. Kvalitní referenční datová zobrazení vykazují chybu pod 2/3 velikosti pixelu. Hodnota se odvíjí od výše zmiňovaných faktorů, jako jsou překryty snímků, kvalita a znalost vnitřní orientační komory, distorze objektu, vhodný – případně nevhodný zpracovatelský software a v neposlední řadě zpracováním a kvalitou zaměřeného modelu povrchu. Na základě těchto vlivů může být měření levnějšími typy RPAS nedostačující. Obraz i polohová přesnost tak povětšinou neodpovídají očekáváním.



Obrázek 1.9: RPAS vizualizace (www.aircosmosinternational.com)

1.4 Vytvoření a popis měřičských sítí

Česká státní trigonometrická síť (ČSTS) je hlavní připojovací sítí pro ostatní měřické sítě a měří se zde v souřadnicovém systému S-JTSK. Česká státní nivelační síť (ČSNS) je využívána pro výškové připojení vycházející z Bpv (Balt po vyrovnání). A z toho důvodu se mapové podklady projektové dokumentace vyhotovují v těchto systémech. V případě nevyhovujících přesností těchto sítí se na místo toho budují místní (lokální) měřičské sítě (Novák a Procházka, 2006).

Výhodné je využívat místní souřadnicový systém pouze v případě, kdy se jedná o méně důležité a velikostně malé objekty.

V ČSN ISO 4463-1 (1999) se uvádí, že kromě lokální sítě se využívá také polohová vytyčovací síť, která je dělena na primární vytyčovací síť (prvotní název je základní vytyčovací síť) a sekundární vytyčovací síť (prvotní název je podrobná vytyčovací síť).

Primární vytyčovací síť je tvořena při výstavbě prostorových stavebních objektů. Na základě typu stavby, složitosti a rozsahu je odvozen tvar a rozměr primární sítě. Při tvoření sítě je třeba dbát na její co největší ochranu. Při vytyčování jednotlivých bodů bychom si proto měli dát pozor na jejich umístění, stabilizaci a označení. Je třeba prvně zmapovat terén, to znamená svahovitost, členitost, dále stav okolní krajiny, nejedná-li se o lesní oblast a v neposlední řadě původní zástavbu.

Sekundární vytyčovací síť vychází z té primární. Jedná se pouze o její napojení. Využívá se pro vytyčení rozměru a tvaru objektu (www.vugtk.cz).

Typy polohových vytyčovacích sítí dle tvaru (www.vugtk.cz)

1) liniové

- vytyčovací osa
- polygonový pořad
- trojúhelníkový řetězec
- metoda GNSS

Tyto typy se využívají pro liniové druhy staveb všech typů, ale i pro pozemní stavební objekty s prostorovou skladbou.

2) plošné

- pravidelné sítě (pravoúhelníkové sítě)
- nepravidelné sítě (z přímé návaznosti)
- metoda přechodných stanovisek
- trojúhelníkové sítě

Způsob stabilizace bodů

Na úvod bychom měli zmínit, že stabilizace je rozdělena na těžkou a lehkou v závislosti na obtížnosti a významu stavby (www.vugtk.cz).

Těžká stabilizace

Švábenský et. al. (2006) uvádí, že prvním úkolem je vytyčit bod, kterým určíme polohu pevného bodu. Následně se v daném místě vykope díra o hloubce 1 až 2 m. Zde je zapuštěn betonový blok o rozměrech 0,5 x 0,5 x 1-3 m. Nemusí se jednat pouze o betonový blok, ale známe i betonový tvar cilinderu.

Výslednému bodu se pak také říká pilíř. Vrchní část pilíře je vyhotovena dle potřeby terénu a viditelnosti, ale většinou to je okolo 1,5 m. Do horní části je zasazen centrační talíř se závitem pro upevnění trojnožek. Na šroub se umísťují jak geodetické přístroje, tak i cíle (značky), které mají sjednocenou velikost závitu. Výška se vztahuje k hřbové (nivelační) značce, která se nachází v boku betonového bloku. Hřbová značka má tu výhodu, že v případě nepřesně vytyčované polohy bodu může sloužit jako orientační bod. Pilíře pak bývají chráněné plastovými obaly a na vrchu plastovým krytem (Novák a Procházka, 2006).

Lehká stabilizace

Jako příklad lehké stabilizace můžeme uvést mezník tvořený z žuly. Jestliže je zapotřebí větší přesnosti, usazuje se proto spolu s mosazným válečkem s dírkou. Také

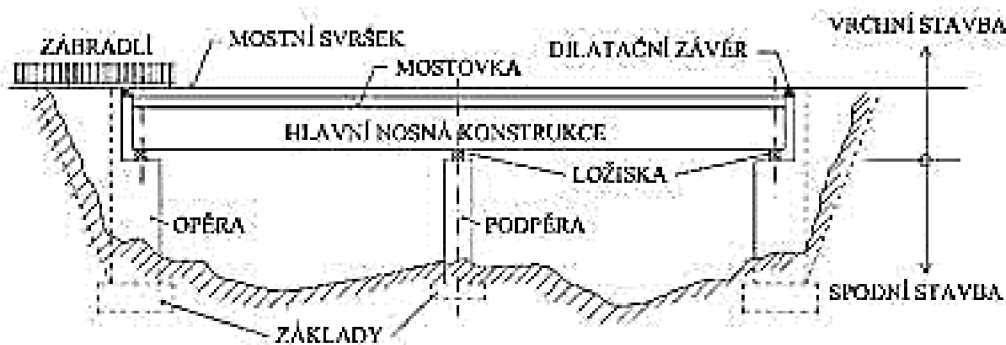
se může jednat o trubku v bloku, která se zabetonuje do hloubky 0,5 m a má průměr 0,6 m. Pro snadnější přístup a vyhledávání bodu se používají delší trubky, jejichž konce se nabarví černobíle. Nevýhodou je nebezpečí poškození.

Celková ochrana stabilizovaných bodů může být tvořena různým barevným oplocením, betonovými kanalizačními skružemi nebo ochrannými tyči (Švábenský et. al.,2006).

1.5 Základní terminologie pro spodní stavbu mostních konstrukcí

Každý mostní objekt se primárně dělí na spodní a vrchní stavbu a to včetně mostního vybavení. Spodní stavba zahrnuje mostní podpěry spolu s celou základovou konstrukcí. Opěra je název pro první a poslední (koncovou) podpěru. Vnitřní podpěry jsou nazývány podle tvaru a typu, například bárky, pilíře, stojky, stěny, sloupy. Základovou konstrukcí se pak rozumí ta, která přenáší veškerou tíhu a zatížení z podpěr do základů a základové půdy. Tyto základy pak následně dělíme na hlubinné a plošné (Matoušková, 1994).

Vrchní stavba je tvořena mostním vrškem a nosnou konstrukcí. Nosná konstrukce je složena z částí: hlavní nosná konstrukce, mostovka, ložiska, klouby a mostní závěry. V případě, že je mostní objekt deskový, hlavní nosná konstrukce slouží zároveň i jako mostovka. Z toho vyplývá, že některé části konstrukce mohou mít i vícero využití. Mostní svršek se rozděluje dle typu dopravy. Jedná-li se o vlakový typ dopravy, mluvíme o svršku železničního mostu, v případě automobilové se může jednat o dálniční. Mostní vybavení je pak shrnující název pro revizní, odvodňovací zařízení, svodidla, zábradlí, značení a jiné nezbytné prvky (Karmazínová, online). Pro vizuální přehled slouží níže uvedený obrázek.



Obrázek 1.10: Popis mostního objektu (Drbohlav, 2014)

2 Metodika

2.1 Cíl práce

Hlavním cílem této diplomové práce je seznámení širší veřejnosti s principem fungování nivelačního zaměřování mostních objektů na dálnici. K přesnějšímu zkoumání byl vybrán mostní objekt SO 211 Otmanka v 146,880 km na dálnici D3 v úseku 0310/II Hodějovice – Třebonín.

Úkolem bylo zpracovat nivelační hodnoty 0. etapy měření – N. etapy měření pro jednotlivé opěry a podpěry mostu a následně graficky vyobrazit, porovnat a slovně popsat dosažené naměřené odchylky (deformace) a porovnat je s kritérii přesnosti.

Vedlejším cílem je pak popis základních geodetických prací včetně vytváření měřičských sítí.

2.2 Popis sledovaného objektu

Jedná se o mostní objekt na dálnici D3 v úseku 0310/II Hodějovice – Třebonín.

Číslo objektu: SO211

Název objektu: Most Otmanka 146,225 km

Most se nachází na rozhraní vesnic Borek, Otmanka, Plavnice.



Obrázek 2.1: Most Otmanka (vlastní)

Základní charakteristika mostu

Mostní objekt je tvořen dvěma samostatnými nosnými konstrukcemi, to znamená jedna pro každý pás (směr) dálnice. Konstrukce je složená ze šesti polí s dvoutrámovým příčným řezem. To vše uloženo na kalotových ložiscích. Opěry této mostní konstrukce jsou masivní (tízné) s rovnoběžnými křídly. Podpěry se základovou deskou jsou sloupové a mají rozšířenou hlavici. Pro tento typ mostní konstrukce je hlubinné založení nutností.

Základní parametry mostu

Délka přemostění 186,6 m

Délka mostu - pravý most 195,59 m, levý most - 197,28 m

Délka nosné konstrukce - pravý most - 189,27 m, levý most - 189,93 m

Rozpětí jednotlivých - polí 26,0+4*34,0+26,0 m - oba mosty (v ose dálnice D3)

Šikmost mostu - kolmý

Volná šířka mostu - 27,50 m

Šířka mezi zábradlími (svodidly) - 12,50 m (oba mosty)

Šířka průjezdního prostoru - 12,50 m (oba mosty)

Šířka průchozího prostoru - bez chodníků

Šířka nosné konstrukce - 13,60 m (oba mosty)

Celková šířka mostu (včetně říms) - 29,10 m

Výška mostu nad terénem - 8,30 m

Stavební výška - 2,335 m

Plocha nosné konstrukce mostu - $2 \times 189,60 \times 13,60 = 5.157,1 \text{ m}^2$ - oba mosty

2.3 Lokální (místní) měřičská síť sledovaného objektu

Postup realizace

Lokální měřičská síť je tvořena 6 body, přičemž 4 z nich jsou nově zbudované pilíře a zbylé dva jsou stávající pilotní body základní měřičské sítě (ZMS). Lokální měřičská síť (LMS) pro řešený objekt se nazývá LMS211 a body jsou číselně označeny 30xx a 31xx. Pilíře mají nucenou centraci, a proto jsou založeny do pevného podloží. Hloubka vrtů se odvíjí od geologického průzkumu, který provedl geolog. Může ovšem dojít k mírné úpravě hodnot, pokud by vrt přinesl nové informace.

V této tabulce můžeme vidět, do jaké hloubky byly jednotlivé pilíře LMS na dálnici D3 v úseku 0310/II Hodějovice – Třebonín umístěny.

Tabulka 2.1: Tabulka LMS s hloubkou vrtu (vlastní)

pilíř	hloubka vrtu (m)
3043	4,0
3044	5,0
3045	5,0
3046	12,0

V místě bodu se provede vrt o \varnothing 500 mm, do kterého se následně zapustí ocelová zárubnice s vnějším \varnothing 200mm. Tato zárubnice se zabetonuje jak na vnitřní, tak vnější stěně a musí se kvůli totální stanici vyvést 150 cm nad terén. Na horní část zárubnice se nainstaluje stabilizační kotva s nerezovou centrační deskou, na jejíž závit W 5/8“ bude usazována totální stanice. Závit je chráněn plastovou krytkou, aby nedocházelo k jeho zašpinění nebo poškození.

Pilíř bude před mechanickým poškozením a teplotními změnami chráněn polypropylenovou trubkou s vloženou tepelnou izolací o velikosti 50 mm. Polypropylenová trubka musí být připevněna vruty nebo ocelovými hřebky, aby se zabránilo jejímu násilnému vytažení a současně se tím zamezilo jejímu excentrickému usazení vzhledem k zárubnici. Jakmile bude trubka usazena a obsypána pískem, zbytek vzniklého prostoru mezi ní a zárubnicí se vyplní izolační pěnou.

Pro nivelační značku se vytvoří cca 80 cm dlouhý a 5 cm široký pás odříznutím od spodní podstavy trubky. Čepová nivelační značka má délku 300 mm a vkládá se do obou stěn zárubnice. Nivelační značka se bude nacházet ve výšce 50 cm od terénu.

Okolo bodu se umístí betonová skruž DN1500 o výšce 50 cm s červeným pruhem pro ochranu tohoto bodu, který bude označen tyčovým znakem (OTZ).

Pilíř LMS na obrázku 2.3 níže je ve stavu, kdy je vhodné z něho měřit. Každý pilíř je doplněn samolepícím odrazným štítkem, má své číselné označení a je vyznačen nivelačním čepem, který lze na sledujícím obrázku také vidět.



Obrázek 2.2: Nivelační značka VL4 509.01 (vlastní)



Obrázek 2.3: Fotografie LMS (vlastní)

Na dalších fotografiích je zachycen pilíř, který byl poškozen. Z takového pilíře se již dále neměří a ani nevychází. Zjistí se míra poškození a v případě potřeby se vybuduje nový bod dle popisu uvedeného v této kapitole výše.



Obrázek 2.5: Fotografie poškozené LMS (vlastní)



Obrázek 2.4: Fotografie poškozené LMS (vlastní)

Tabulka seznamu souřadnic pro lokální měřičskou síť

V této tabulce jsou uvedeny geodetické polohové souřadnice s nadmořskou výškou a specifickým číselným označením pro připojovací piliře.

Tabulka 2.2: Tabulka seznamu souřadnic bodů LMS211 (vlastní)

Seznam souřadnic bodů LMS211					
Číslo bodu	Y [m]	X [m]	Z [m]	Poznámka	Umístění na D3
3043	757994,591	1176306,689	462,796	pilíř centrační deska	km 146,150 vlevo
3043N	757994,591	1176306,689	461,904	pilíř nivelační čep	
3044	758085,847	1176429,599	461,726	pilíř centrační deska	km 146,301 vlevo
3044N	758085,847	1176429,599	460,834	pilíř nivelační čep	
3045	758063,682	1176235,456	461,978	pilíř centrační deska	km 146,135 vpravo
3045N	758063,682	1176235,456	461,088	pilíř nivelační čep	
3046	758168,971	1176355,222	464,374	pilíř centrační deska	km 146,297 vpravo
3046N	758168,971	1176355,222	463,481	pilíř nivelační čep	
3272	757894,163	1176125,015	467,825	PVS 2032	km 145,946 vlevo
3113				zrušen	
3114	758094,962	1176433,048	460,876	HVB 1014	km 146,310 vlevo
3273	758229,384	1176560,597	470,972	PVS 2033	km 146,492 vlevo

Zaměření a výpočet

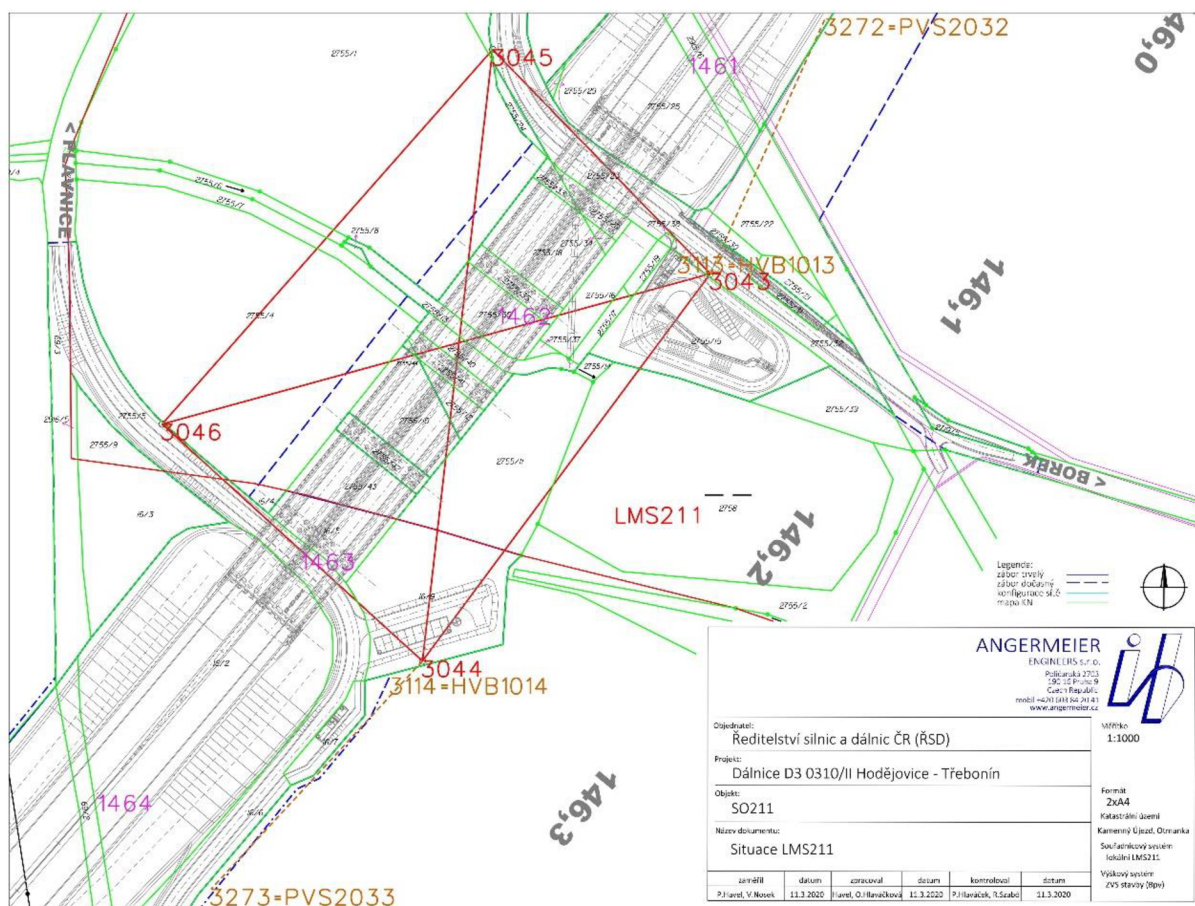
Polohový a souřadnicový systém je samostatný, vychází z bodů ZMS. Síť má měřítko $m = 1,0000$ a je blízká S-JSTK. Výškový systém je Bpv, totožný s ZMS. Spojení se systémem S-JSTK je provedeno u jednoho bodu ve středu mikrosítě. LMS body mají souřadnice určené se směrodatnou odchylkou $\sigma_{xy} = 0,005$ m.

Mikrosíť musí mít výrazně vyšší přesnost než základní vytyčovací síť, proto se pro zaměření používá totální stanice s úhlovou přesností 0.1 mgon (1cc) a dálkoměrem 1+1ppm. Úhlové měření probíhá ve třech skupinách. Měří se všechny směry a délky a neřeší se redukce zobrazení nadmořské výšky. Je avšak potřeba pozorně pracovat s korekcí venkovní teploty a evidovat atmosférický tlak.

Sledování objektu je předepsáno v dokumentaci jednotlivých stavebních objektů před zahájením a v průběhu stavby odpovědným statikem nebo projektantem.

Výšky se připojují na ZMS a ověřují dle České státní nivelační sítě ČSNS (Bpv). Výšky bodů (včetně bodů s nucenou centrací) se měří metodou přesné nivelace, kde je pro nivelační oddíl předepsána mezní odchylka $^1\Delta_{max} = 5 \sqrt{R}$, kde R je délka oddílu v kilometrech a pro nivelační úsek $^2\Delta_{max} = 5 \sqrt[3]{L^2}$, kde L je délka úseku (všech měřených oddílů) v km. Stabilita a výšky připojovacích bodů budou ověřeny přesnou nivelací.

Situační výkres lokální měřičské sítě



Obrázek 2.6: Situační výkres LMS211 na 146 km dálnice D3 (Havel a Hlaváčková, 2020)

Ochranná pásma a omezení

Před provedením realizačních prací musí být dle dokumentace ověřeno, zda se nejedná o jakékoliv narušení inženýrské sítě. V případě rozporu je vytyčení provedeno správcem této sítě. U bodů, které se umísťují mimo trvalý zábor na pozemek jiného

vlastníka než je Ředitelství silnic a dálnic (dále jen ŘSD), musí být doložen písemný souhlas vlastníka daného pozemku a povolení k umístění pilíře a souhlas s přístupem k tomuto pilíři.

V případě mostu SO211 je navrženo trvalé monitorování během výstavby i po dokončení, proto jsou všechny body navrženy jako trvalé.

Majetkoprávní souhrn

Tabulka 2.3: Tabulka majetkoprávního souhrnu (vlastní)

Pilíř	SO	Zábor	KÚ	PPČ	Vlastník
3043	211	Trvalý	Kamenný Újezd	2755/23	ŘSD
3044	211	Trvalý	Otmanka	16/9	ŘSD
3045	211	Trvalý	Kamenný Újezd	2755/23	ŘSD
3046	211	Trvalý	Kamenný Újezd	2755/5	ŘSD

Z tohoto přehledu můžeme vidět, že vlastníkem pozemků, kde se nachází pilíře lokální měřičské sítě, jsou v majetku ŘSD.

Postup prací

Ze situačního výkresu a seznamu souřadnic bude určeno umístění jednotlivých bodů. Finální umístění se nicméně rozhodne těsně před vytyčením a daná informace se předá pracovníkům vrtné soupravy. Případné odchylky budou zapsány v technické zprávě.

Kroky nutné k umístění bodů:

- před vrtáním musí být uzavřeny smlouvy týkající se pozemků a věcných břemen (pokud je to nutné)
- hloubka vrtu se určuje na základě výsledných zpráv od geologa
- pilíře jsou postaveny dle projektu a předpisu ŘSD
- aby se zamezilo vlivu sedání a tvarování, musí se pilíře ponechat v klidovém režimu, než začne první měření
- měření probíhá za vhodných klimatických podmínek

2.4 Způsob měření bodů

2.4.1 Polohové uspořádání zaměřovaných bodů

Konstantní sledování mostní konstrukce má za úkol informovat o celkovém chování objektu.

Měřičské značky jsou osazeny v podélném směru vrchní stavby tímto způsobem:

- nad každou podpěrou
- v polovině rozpětí polí
- v případě, že je pole s rozpětím 50 m a více je to ve čtvrtinách

Značky se osazují s přesností do výše uvedené polohy $\pm 1,0$ m.

Monitorované značky se osazují na všechny podpěry a do všech polí mostu. Za podpěru se nepovažuje závěs zavěšeného nebo visutého mostu.

Ve svislém směru vrchní stavby jsou měřičské značky osazeny takto:

- na římsách vlevo a vpravo, případně na střední římsě po jedné značce. Umístění by mělo být co nejbližší k nosnému prvku (stěna, trám atd.) nosné konstrukce, ale zároveň aby nezasahovala do obruby římsy.
- v ose nosné konstrukce, to znamená vlevo, nebo vpravo vespodu a na boku nosného prvku po jedné značce. V ose pouze v případě projednání technické náročnosti na měření a osazení, nebo v případě velkého vyložení konzol.

Prioritně jsou osazovány měřičské značky na vrchní stavbě pouze na římsách mostu. Tím se zvedá efektivita měření tj. rychlejší zaměřování, jednoduchost a snadnější přístup na pozemky. Nosná konstrukce musí vysoce upevňovat římsy mostu. Pokud se vyskytuje situace s neobvyklým uspořádáním mostního vršku, případ se musí upravit individuálně dle požadavků. Nedoporučuje se instalovat body do vozovky.

Spodní stavba vozovky se osazuje:

- ve výšce 0,5-1,0 m od přilehlého terénu
- pokud se jedná o sdružené pilíře, lepíme měřičskou značku po jednom kusu na levý okraj levé stojky a na pravý okraj pravé stojky
- na jednotlivých pilířích se měří okraj dřívku vlevo a vpravo. Jedná-li se o úzký pilíř, stačí pouze jedna měřičská značka

-
- na opěrách po jednom kusu a na kraji dříku vlevo a vpravo

Na základě technických vlastností a tvaru mostní konstrukce se blíže specifikuje přesnější počet a poloha měřičských značek.

U již hotových mostů, kde jsou již značky nainstalovány, se tyto značky využívají i pro pozdější měření. Ty mohou být dále doplněny novými, pokud je potřeba.

2.5 Četnost a způsob měření

V této části budeme vycházet z normy ČSN 73 6221 Prohlídky mostů pozemních komunikací (2019). Před první prohlídkou se provádí první zaměření a poté pokaždé před další prohlídkou.

U mostních objektů, kde se zaměření neprovádí, bude také zahájeno před první prohlídkou.

Časové rozestupy mezi jednotlivými hlavními prohlídkami se odvozují na základě klasifikační úrovně stavebního stavu mostu a dělíme je na:

- klas. stupeň I-III v intervalech nejdéle 6 let
- klas. stupeň IV v intervalech nejdéle 4 roky
- klas. stupeň V-VII v intervalech nejdéle 2 roky

Speciálně se zaměření provádí před mimořádnou hlavní prohlídkou v době, kdy se ukončuje záruční doba mostu, tj. po dokončení celkové výstavby, nebo v rámci významné rekonstrukce.

Měření by se nemělo provádět dříve než 8 měsíců před danou prohlídkou.

Míra zaměřování se dělí na:

- vrchní stavba – při měření se zaměřují všechny měřičské značky
- spodní stavba – při nultém (prvním) zaměřování se opět zaměřují všechny body

Další zaměřování vychází pouze z požadavku:

- správce majetkového mostu
- poslední hlavní, nebo mimořádné prohlídky mostu
- profesně zaměřené, způsobilé firmy zpracovávající současné zaměřování

2.5.1 Značení měřičských bodů

V Metodickém pokynu pro sledování výškového přetvoření mostů (2014) se uvádí, jak se jednotlivé body označují. Každý jednotlivě měřený bod má svoji unikátní

identifikaci, která vychází z osmimístného číselného kódu ve tvaru AABBCDD. Ten je předepsán takto:

- AA = 01 – vrchní stavba
- AA = 02 – spodní stavba
- BB – číselné označení pole, nebo podpěry
- CC = 01 – řez nad podpěrrou
- CC = 02 – řez v $\frac{1}{4}$ rozpětí pole
- CC = 03 – řez v $\frac{1}{2}$ rozpětí pole
- CC = 04 – řez v $\frac{3}{4}$ rozpětí pole
- DD – podrobné číslování po příčném řezu

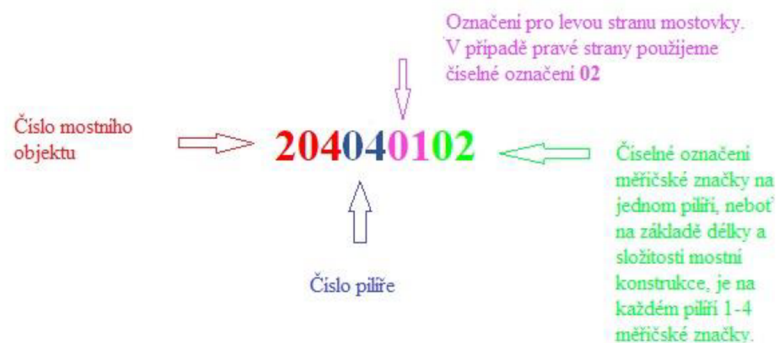
Takto vytvořený číselný kód se pro daný bod po celou dobu (životnost) nemění. Mosty, u kterých zaměřování již probíhá, zůstává jejich původní označení zaměřovaných bodů. Pouze v případě, že by se ukázalo jako výhodnější změnit číselné označení kódem výše uvedeným, k této změně dochází.

Praxe na D3 v úseku 0310/II Hodějovice – Třebonín

Výše zmíněná podkapitola sice vychází z normy, ale dle mých současných zkušeností se bodové značení liší v závislosti na tom, jaký systém si sama stavba odhlasuje. Na dálnici D3 jsou jednotlivé stavební objekty a práce číselně rozděleny na:

- mostní objekty
- výkopové práce
- inženýrské sítě
- komunikace
- ostatní značení

Všechny tyto výše zmíněné body mají svá předčíslí. Například na úseku dálnice od Starých Hodějovic až do Dolního Třebonína je 24 mostních objektů a tyto objekty jsou číselně označeny od 201 do 224. V případě monitoringu mostní konstrukce se poté přidávají další specifická číselná označení.



Obrázek 2.7: Schéma značení mostních objektů na D3 v úseku 0310/II Hodějovice – Třebonín (Havel a Hlaváčková, 2020)

2.6 Vztažné sítě a možné odchylky

O tom, s jakou přesností se mostní konstrukce zaměřují a jak jsou určovány výškové odchylky, rozhoduje osoba způsobilá ve svém oboru. Odpovídající technologie měření bude důležitým aspektem pro požadovanou přesnost.

V Metodickém pokynu pro sledování výškového přetvoření mostů (2014) je pro vypovídající nivelační přesnost stanovena minimální požadovaná přesnost při měření nadmořské výšky vztažných a pozorovaných bodů během jedné etapy na $m_h = 0,35$ mm. Přihlíží se k výškovému horizontu odvozeného z množiny připojovacích bodů.

Odpovídající výškové posuny a deformace již výše zmíněné přesnosti:

- průhyby mostních polí – vykazující hodnoty od 1,3 mm
- svislé posuny – vykazující hodnoty od 1,0 mm

Jako hlavní systém, ze kterého bychom měli vždy vycházet, se doporučuje:

- dlouhodobě monitorovaná síť
- obdobná síť nacházející se v blízkosti objektu. V našem případě LMS (lokální měřičská síť)

Jako pomocné body lze poté využít:

- měřičské body či značky na spodní stavbě
- měřičské body či značky na římsách opěr

Pokud se určují výškové horizonty podle prvních dvou možností, dochází k určení absolutních poklesů na celém sledovaném objektu. V opačném případě, když se vychází ze dvou posledních možností, informuje nás výsledné měření pouze o relativních změnách ve výšce, což je ale pro změnu v průhybu stále ještě vyhovující.

Ve výjimečných situacích, kdy se most nachází v prostředí, které je ohrožené sesuvem, nebo na poddolovaném území, může dojít k vytvoření nových stabilizačních bodů vztažného systému, aby mohlo být provedeno relevantní zaměření mostu. V takovém případě má totiž velký význam pozorovat most a jeho chování ve spojitosti s jeho okolím. Minimální počet vztažných bodů pro určení výškových změn je v tomto případě tři.

Udávané výsledné hodnoty jednotlivých měření musejí být u nadmořské výšky vyhodnoceny v metrech a na čtyři desetinná místa. Pro změny mostních polí a svislých posunů se určují v milimetrech na jedno desetinné místo.

Praxe na D3 v úseku 0310/II Hodějovice – Třebonín

V porovnání s mojí praxí jsou odchylky stanoveny na začátku stavby po dohodě majitelů a stavbyvedoucích, kteří o tom rozhodují, a musejí se dodržovat.

Může se stát, že se při monitorování mostní konstrukce zjistí v rámci porovnání s předchozími měření, že odchylka je větší, než je uváděna. V takovém případě se provede měření znovu, jestli není chyba na straně geodetů. Jestliže není, tak se obeznámí stavbyvedoucí, který má průběh stavby mostu na starost, a řeší se to operativně na místě. V případě větších problémů se kontaktuje hlavní stavbyvedoucí, který dohlíží na chod výstavby veškerých mostních konstrukcí, a ten následně provede potřebné kroky k odstranění vzniklého problému.

2.6.1 Technologie měření

ČSN ISO 4463-2 (1999) uvádí, že obvyklým předpokladem pro metodické měření je geometrická nivelace ze středu. To odpovídá technologii přesné nivelace. Zaměřuje se v oddílech nivelačními pořady. Kilometrová střední výchylka ustanovená převýšením oboustranné nivelace bude odpovídat hodnotě $m = 0,7 \text{ mm/km}$. Pokud se jedná o mostní konstrukci přesahující 250 m, musí být nadmořské výšky bodů a výsledná technologie měření úměrná a vhodně upravena vícenásobným měřením. Toho dosáhneme pouze při vhodných klimatických podmínkách. Je avšak třeba uvážit, jaký vliv má doprava na mostě - tj. chvění či lehké otřesy.

Jako kontrola přesnosti, zda byla použita vhodná technologie měření, slouží:

- nepřesáhnout kritéria pro mezní odchylky uzavřených obrazců tvořenými nivelačními pořady
- nepřesáhnout kritéria mezních odchylek mezi záměry tam a zpět v nivelačních pořadech

-
- z výsledného měřičského souboru se vykalkuluje střední kilometrová chyba, která se porovná s mezní hodnotou

Pokud zaměřujeme v nepřístupných podmínkách na terčové signály na mostní konstrukci, bude pro určování výšek použita trigonometrická metoda. Určení výšek za pomoci trigonometrické metody musí splňovat individuální postup přesnosti pro specifické podmínky.

2.7 Sledované údaje

2.7.1 Teplota nosné konstrukce a vzduchu

Teplota nosné konstrukce je zjišťována na povrchu podhledu nosné konstrukce, která je zastíněna. Měření se vyhodnocuje vrtem o hloubce 10-15 cm a průměru v rozmezí jednoho až dvou centimetrů. Jako rychlou alternativu lze použít bezdotykový teploměr přiložený na konstrukci v různých místech, kdy výsledná teplota bude vyhodnocena průměrem teplot naměřených.

Tak jako teplotu nosné konstrukce, tak i teplotu vzduchu je nutné vždy sledovat na stinném místě, aby šlo ke znehodnocení dat.

Teplota podpěrné konstrukce a vzduchu se měří s maximální přesností na 0,5 °C.

Měření teploty se provádí minimálně 1x před zahájením každého měření a 1x každou další hodinu, kterou měříme pozorovaný objekt.

Měření teploty by se mělo dodržovat velice striktně a to následujícím způsobem:

- teplota ovzduší by se v průběhu měření nosné konstrukce neměla lišit každou hodinu o více než 1 °C
- rozdíl průměrné naměřené hodnoty nosné konstrukce se nemá lišit o více než 5 °C od předchozí teplotní hodnoty z posledního měření

Proto by pro monitoring sledovaného objektu bylo nejpříjemnější měřit v jarních a zimních měsících, kdy nedochází k příliš nápadným teplotním výkyvům. Ve všední den je pak nejlépe zahájit měření při východu slunce, to znamená v ranních hodinách, kdy je teplota nejstálejší. Důležitým faktorem je také to, aby konstrukce nebyla většinu měření přímo osvětlována sluncem. Senzitivita nosné konstrukce reaguje na teplotní změny v závislosti na typu materiálu a tvaru konstrukce. Znamená to, že každý sledovaný objekt si vyžaduje specifický a individuální postup měření.

Mimo teplotu vzduchu se pozorují i další faktory. Jedná se hlavně o oblačnost a srážky, které mohou zapříčinit zkreslené výsledné hodnoty měření. Obecně není doporučováno měřit geodetickými přístroji v dešti. Nyní již neplatí, že by oblačnost byla příčinou nízké kvality satelitního připojení, například na GNSS, jak tomu bylo dříve. Jednou z možností, jak může být kvalita připojení zhoršena, je výskyt vysokého lesního porostu nebo jiných výškových objektů.

Praxe na D3 v úseku 0310/II Hodějovice – Třebonín

V praxi se teplota mostní konstrukce před začátkem každého měření neměří. Na druhou stranu jsme vždy seznámeni s podmínkami měření a víme, že bychom neměli provádět měření ve vysokých teplotách v období léta. V takových případech se nosná konstrukce musí měřit v ranních hodinách, ihned po východu slunce.

Dalším problémem je také horký vzduch, který se vlní, a přístroj proto může zaznamenávat větší odchylky.

Současné moderní přístroje jsou již na teplotní rozdíly přizpůsobeny, proto s nimi lze měřit i při vyšších teplotách. Praxe ale stále ukazuje, že je lepší měřit v ranních hodinách.

2.7.2 Funkční způsobilost měřičských značek

Prvním krokem, než se vůbec začne měřit, by mělo dojít opět v souladu normy ČSN 73 6221 Prohlídky mostů pozemních komunikací (2019) k posouzení stavu měřičských značek.

Vyhodnocení způsobilosti se provádí ve dvou krocích. Tím prvním je vizuální kontrola. Při vizuální kontrole se zjišťuje a pozoruje jakákoliv změna, nebo stav měřičské značky, která by ovlivnila její vlastnosti. Je sledována nestabilita a případné uvolnění, dále koroze a její stav a v neposlední řadě je třeba zkontrolovat deformaci.

V případě, že se zjistí typ závady některých z výše zmíněných kritérií, musí se neprodleně provést její kontrolní zaměření. Toto je druhý krok při vyhodnocování způsobilosti, jedná se tedy o kontrolu měření.

Poškození zjistíme tím, že porovnáme naměřená data s posledními měřeními. Pokud se bude zaměření lišit například v její výšce nebo úhlu, znamená to, že je měřičská značka poškozená.

Následně se nevhodná značka vymění za novou. Pokud se tak učiní, musí se před jejím odstraněním zaměřit současné a nové značky tak, aby došlo k jejich sjednocení. Dnes se pro snadnější porovnání stavu značek mezi etapami měření používá pro jejich dokumentaci tvorba fotografií.

Praxe na D3 v úseku 0310/II Hodějovice – Třebonín

V porovnání s výše uvedenou kapitolou se v případě poškozené měřičské značky zhotoví dokumentace, která se následně pošle osobě zodpovědné za měřičské značky. V mém pracovním prostředí spravuje měřičské značky hlavní stavební firma Doprastav a.s., nikoliv geodetická firma pracující pro ně. Doprastav následně měřičskou značku vhodně opraví, nebo ji vymění tak, aby byla co nejdříve provozuschopná.

3 Výsledky a diskuze

V této části diplomové práce budeme sledovat proces deformace u celkově 7 dříků, přičemž z těchto 7 dříků je 5 pilířů a 2 opěry. Obě opěry jsou osazeny čtyřmi nivelačními značkami. Nivelační značka se také nachází na každém ze čtyř pilířů dříku. 28 nivelačních značek bylo osazeno dle VL4 509.01. Každá z těchto značek je v grafu znázorněna odlišnou barvou a svým specifickým číselným kódem (např. 211 201 102).

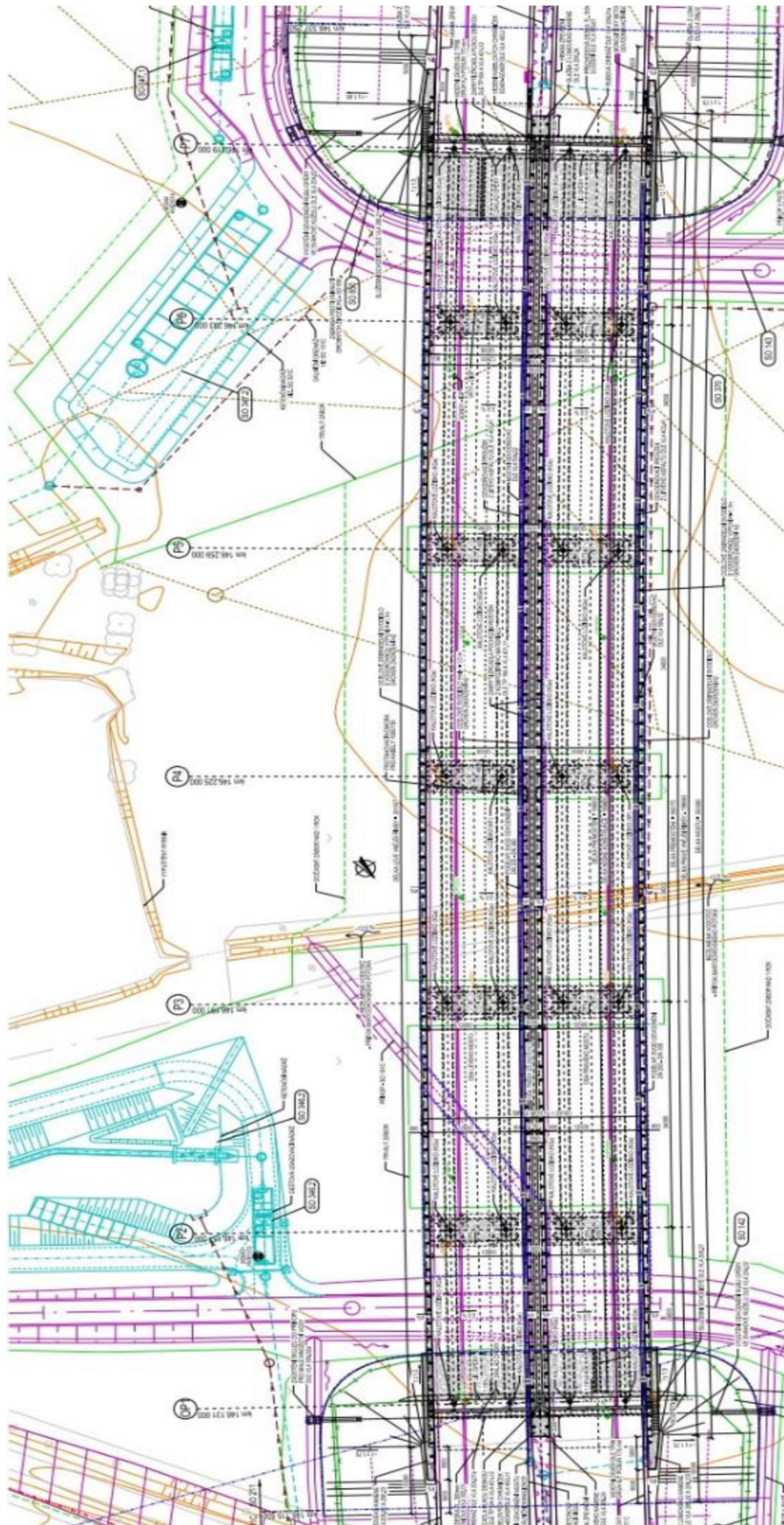
Výška osazení značek byla určena přesnou nivelací z bodů LMS211, pilířů 3043, 3044, 3045, 3046 (viz Situační výkres lokální měřičské sítě v kapitole 2.3) a bodů ZMS 1013, 1014.

Pro měření byl použit nivelační přístroj Leica LS15 a invarová lať Leica. Jednotlivá měření se uskutečnila za konstantních klimatických podmínek.

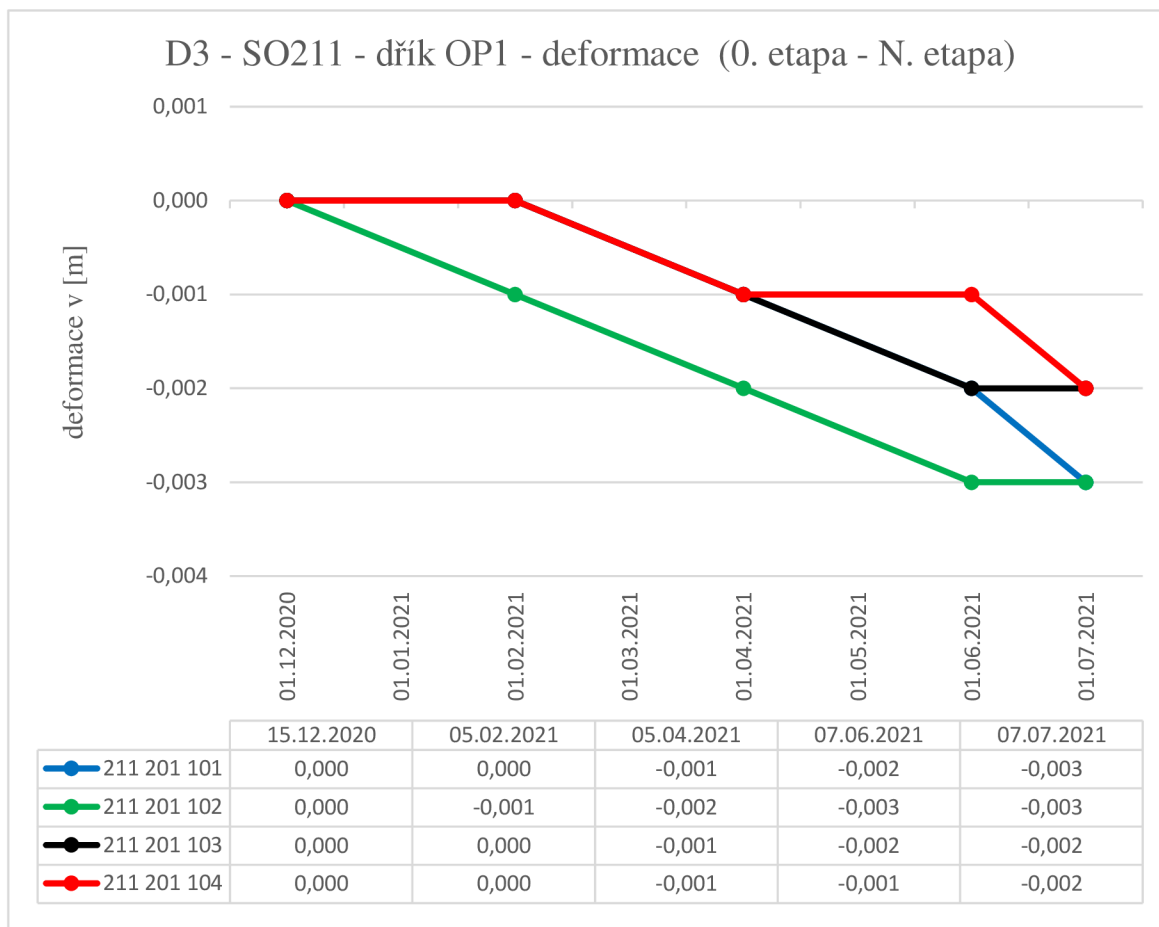
Hlavní důraz v této kapitole je kladen na vyhodnocení naměřených dat. Jejich konkrétní hodnoty se nachází v kapitole Příloha. Zde nalezneme údaje k souřadnicím jednotlivých dříků včetně nadmořské výšky. Tyto naměřené hodnoty jsem následně vložil do Excelu, kde byly porovnány a vyhodnoceny. Poté byl vypočten rozdíl mezi nultou etapou a každým dalším měřením. S tímto rozdílem jsem pracoval při tvorbě spojnicových grafů.

K dispozici jsem měl hodnoty z měření, které většinou probíhalo po dobu jednoho roku. Pouze u opěrných zdí (OP1 a OP7) je sledované období kratší, což bylo dáno jejich pozdějším dokončením.

Na obrázku 3.1 je situační výkres mostní konstrukce SO211, kde můžeme sledovat umístění jednotlivých dříků.



Obrázek 3.1: Situační výkres mostní konstrukce SO211 (Havel a Hlaváčková, 2020)



Obrázek 3.2: Zobrazení deformace na dříku OP1 (vlastní)

První graf popisuje deformace dříku OP1 na dálnici D3 v úseku 0310/II Hodějovice – Třebonín. Pilíře se nacházejí na staničení 146,131 km a tvoří první vnitřní podpěry mostu.

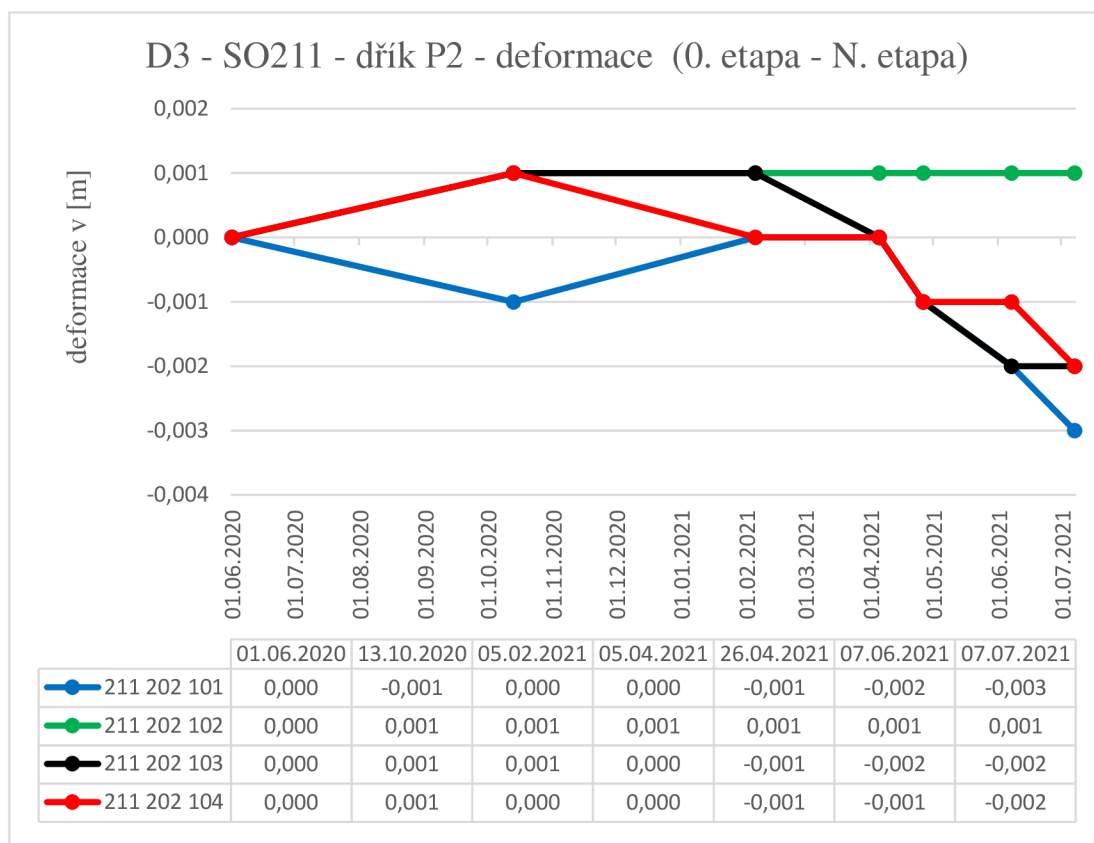
Nulté měření je poprvé provedeno až 15. 12. 2020. Důvodem byla ztížená přístupnost k pilířům v rámci jiných stavebních povinností. Ostatní dříky jsou poprvé měřeny již 1. 6. 2020, což znamená, že na dříku OP1 pracujeme pouze s pěti etapami zaznamenaných měření. U ostatních dříků bylo měření prováděno četněji.

Po dvou měsících od prvního měření se hodnoty nezměnily, nedošlo tedy k žádné deformaci. Pouze bod číslo 211 201 102 (zelená linie) vykazuje záporné znaménko posunu.

Rovnoměrnou změnu poklesu (odchylek) zaznamenáváme k datu 5. 4. 2021, kdy všechny body klesly o stejnou hodnotu -0,001 m. Obdobné klesání nastává v další etapě měření, kdy deformace na všech pilířích mimo bodu 211 101 104 (červená linie) klesly o dalších - 0,001 m.

Hodnoty z poslední etapy měření mají stejné znaménko a prakticky i velikost, kdy se pohybují mezi -2 a -3 mm, přičemž i tyto hodnoty odpovídají očekávaným změnám.

Všechny naměřené hodnoty jsou v povolených mezních odchylkách, proto nebylo třeba řešit žádné dodatečné stavební úpravy nebo nápravná opatření.



Obrázek 3.3: Zobrazení deformace na dříku P2 (vlastní)

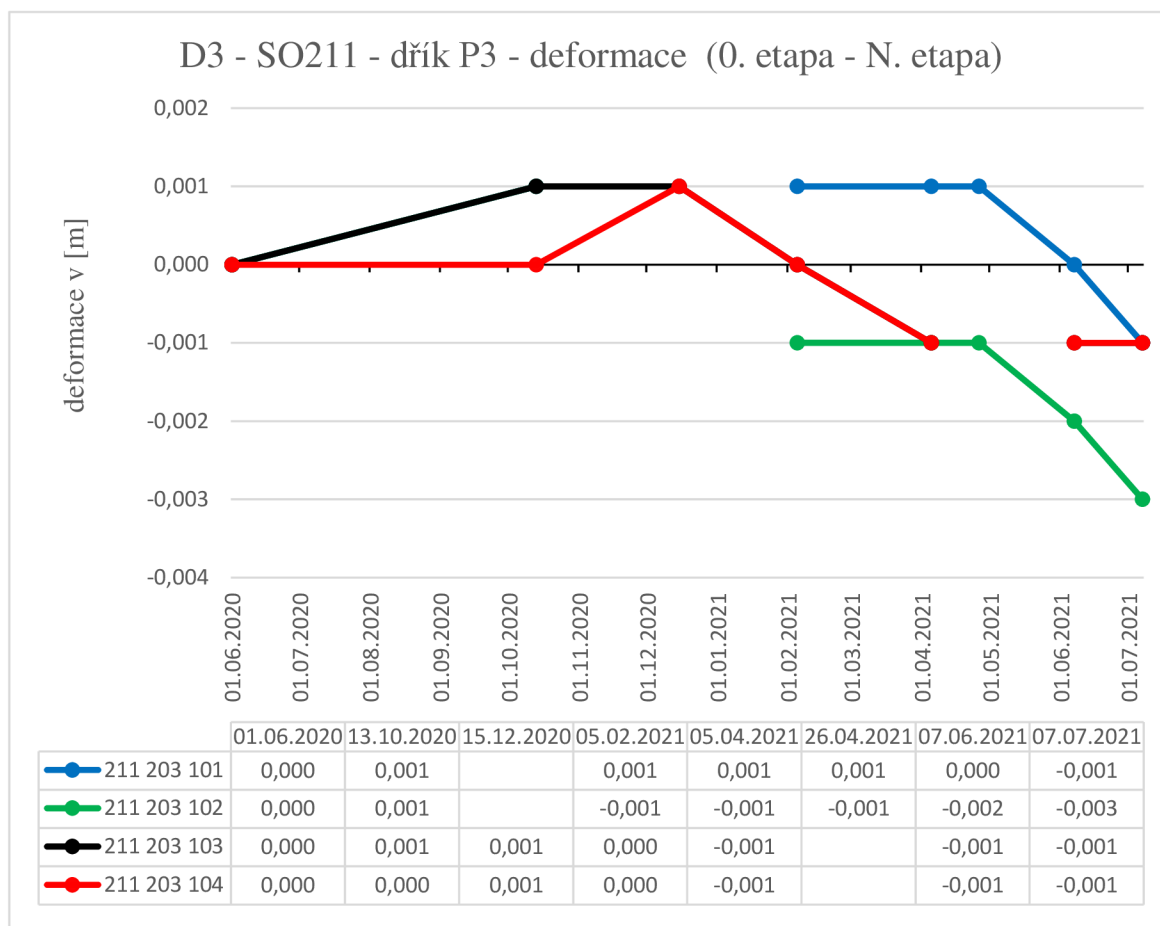
Druhý graf zaznamenává deformaci dříku P2 na mostní konstrukci SO211 ve staničení 146,157 km, která se nachází na dálnici D3 v úseku Hodějovice – Třebonín.

Nulté měření proběhlo 1. 6. 2020. Další měření probíhala v rozmezí jednoho až čtyř měsíců. Poslední naměřená data jsou k 7. 7. 2021.

Bod číslo 211 202 101 (modrá linie) vykazuje největší deformace. Během jednoho roku byl zaznamenán pokles o -0,003 m. Jako jediný ze všech čtyř bodů již při prvním měření 13. 10. 2020 vykazoval záporné hodnoty. Zbylé tři body vykazovaly naopak posuny v kladných hodnotách. Bod číslo 211 202 102 (zelená linie) vykazuje po celou dobu měření stabilní hodnoty, kdy se drží na 0,001 m od 0. etapy (1. měření). U bodu číslo 211 202 203 (černá linie) a bodu číslo 211 202 204 (červená linie) můžeme po dobu sledování pozorovat poměrně totožné hodnoty deformace, kdy vykazovaly

kladné znaménko posunu, a na konci sledovaného obdobia však byla naměřena pro oba body záporná hodnota.

Všechny naměřené hodnoty jsou v povolených mezních odchylkách.



Obrázek 3.4: Zobrazení deformace na dříku P3 (vlastní)

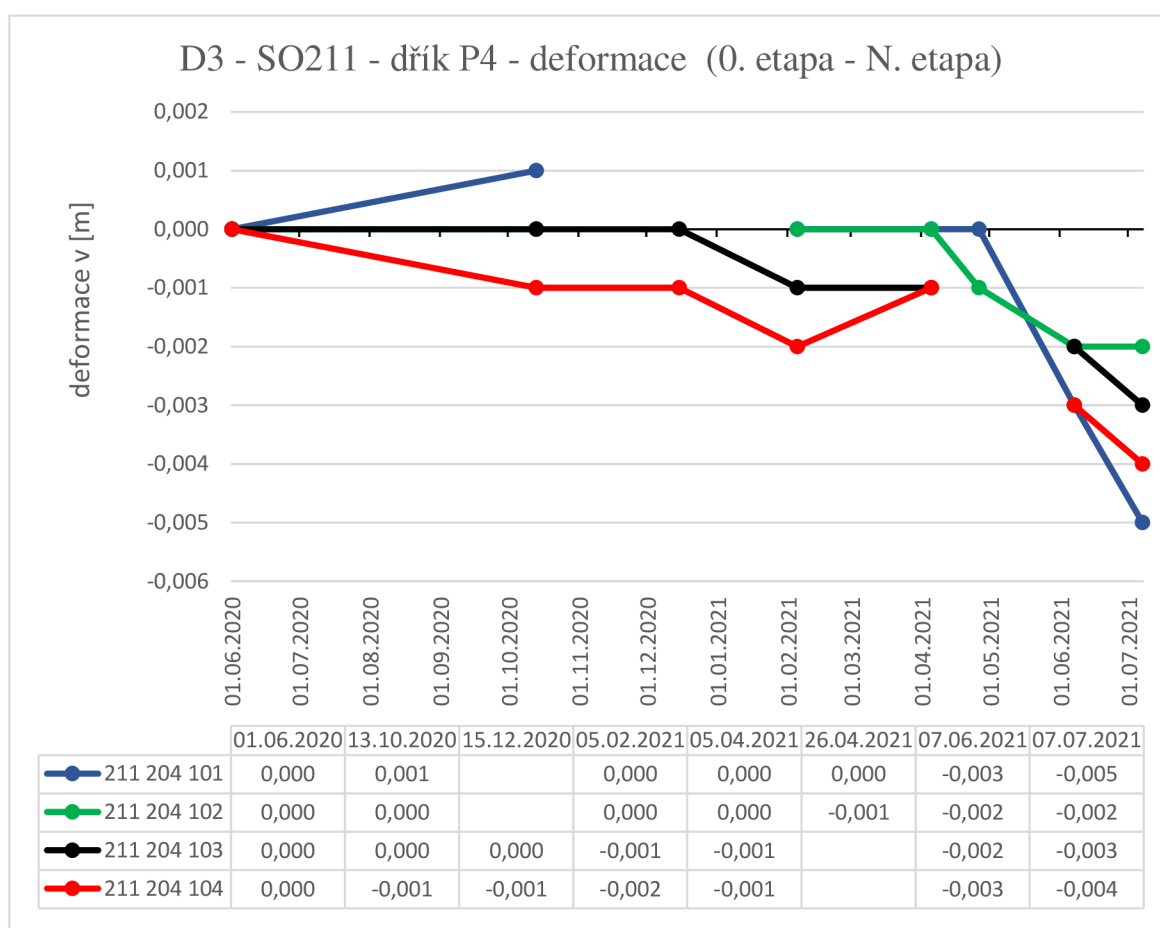
Tento graf znázorňuje odchylky dříku P3 ve staničení 146,191 km. Všechny 4 body byly sledovány od 1. 6. 2020. Průběh deformace 211 203 101 (modrá linie) a 211 203 102 (zelená linie) jsou v prvních dvou měření shodné s bodem 211 203 103 (černá linie). Chybějící hodnoty k datu 15. 12. 2020 u bodů číslo 211 203 101 a 211 203 102 jsou způsobeny tím, že v okolí pilířů bylo postaveno lešení, a proto bylo provedeno ještě dodatečné měření 26. 4. 2021, aby byl u jednotlivých bodů zkoumán stejný počet měření.

V další etapě po nultém měření můžeme pozorovat mírný nárůst všech hodnot o 0,001 m u většiny bodů, mimo bodu 211 203 104 (červená linie), který zůstává neměnný. Tyto kladné hodnoty jsou vykazovány i 15. 12. 2020.

Největší pokles sledujeme u zelené křivky, kdy se výsledná deformace dostává až na hodnotu -0,003 m. Rozdíl mezi nejvyšším a nejnižší zaznamenanou hodnotou deformace je celkově 0,0004 m. Naopak bod 211 203 201 (modrá linie) se ve všech krom posledního měření z data 7. 7. 2021 nacházel na nulových nebo kladných hodnotách.

Body 211 203 103 a 211 203 104 zaznamenávají identické výsledky v šesti měřených případech ze sedmi. Jedná se o mostní pilíře na pravé straně mostu podporující pravou část vozovky.

Hodnoty zde jsou si velmi podobné (až na bod 211 203 202) a všechny bodu splňují stanovená kritéria přesnosti a nepřekračují mezní odchylku.

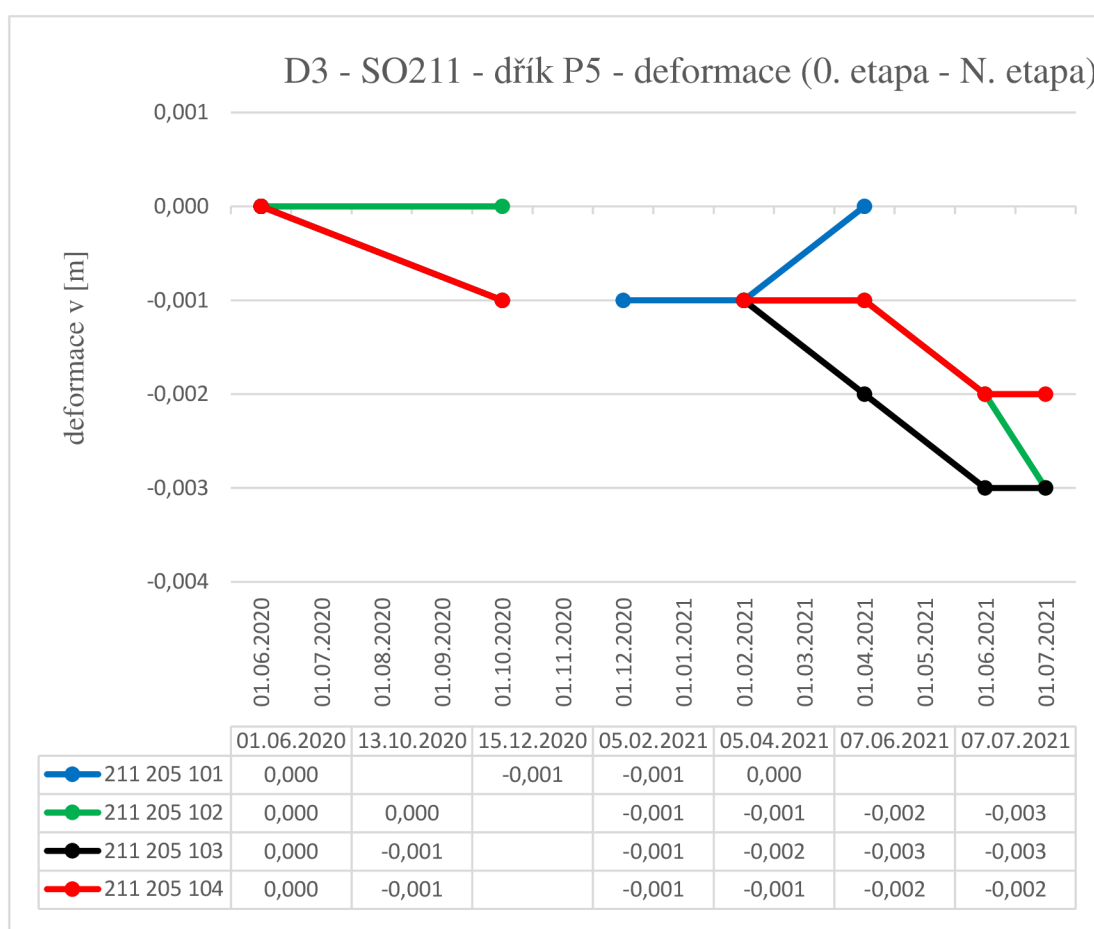


Obrázek 3.5: Zobrazení deformace na dříku P4 (vlastní)

V grafické vyobrazení dříku P4, úsek 146,225 km je stejně tak jako v grafu pro dřík P3 vynecháno měření ze dne 15. 12. 2020, protože měření nemohlo být provedeno z důvodu nepřístupnosti dříku.

Na první pohled je znatelné, že poslední měřená data ze 7. 7. 2021 vykazují zatím vůbec největší odchylky v porovnání s ostatními pozorovanými dříky v této měřené etapě. Poprvé se dostáváme na hodnoty -0,005 m u bodu 211 204 101 (modrá linie) a -0,004 m u bodu 211 204 104 (červená linie).

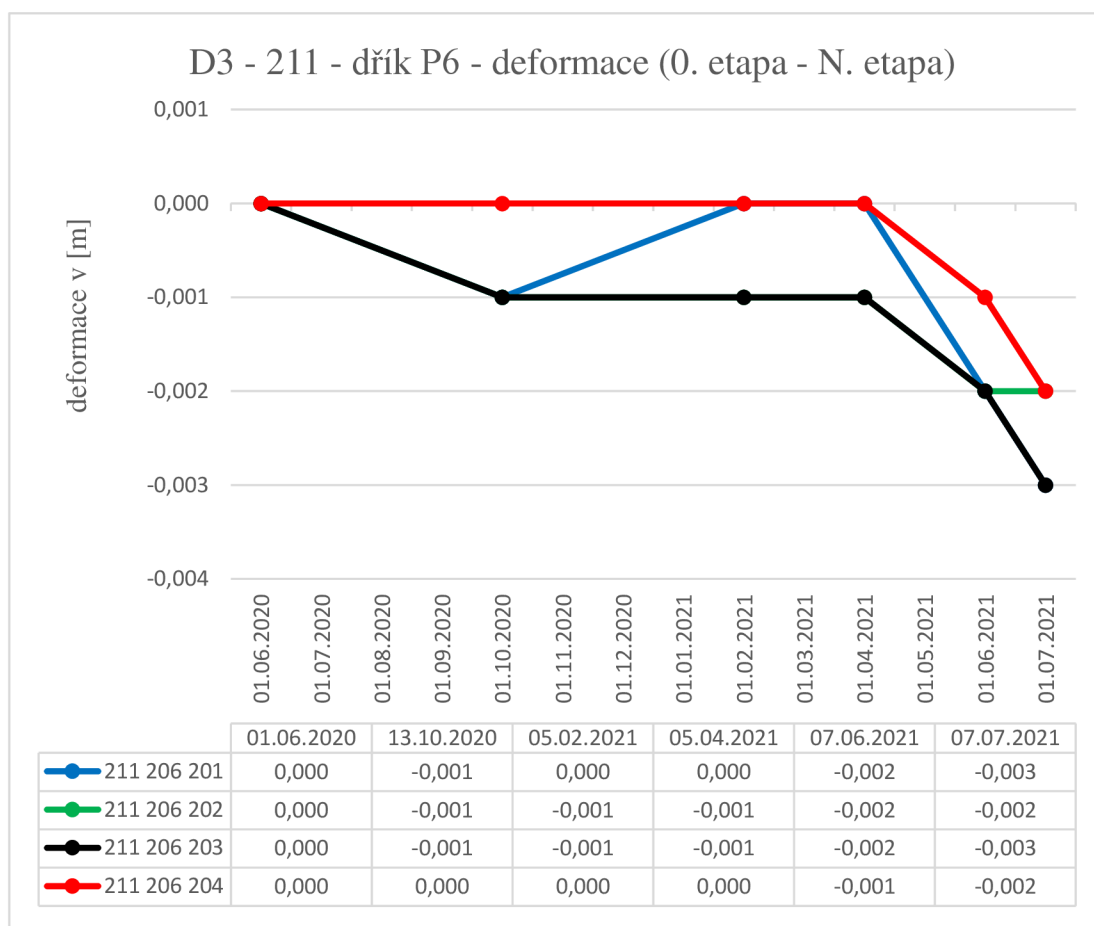
V průběhu necelého jednoho roku měření od 1. 6. 2020 – 26. 4. 2021 jsou odchylky většinou konstantní a pohybují se okolo nuly. Zlom přichází 7. 6. 2021 v posledních dvou pozorovaných etapách. V tomto období se totiž instalovala nosná konstrukce mostu, a proto došlo k tzv. „sedání“. S tímto poklesem se ovšem počítalo. Žádné posuny nepřekračují stanovené mezní odchylky.



Obrázek 3.6: Zobrazení deformace na dříku P5 (vlastní)

Pátý graf se zaměřuje na dřík P5 v úseku 146,259 km na dálnici D3. Zde se poprvé setkáváme pouze se čtyřmi výsledky měřeného bodu 211 205 101 (modrá linie). Na poslední dvě měřené etapy nám nebyl umožněn přístup k bodům, proto se měření muselo vynechat.

Ani v jedné z pozorovaných hodnot měření se odchylka nedostala nad nulovou hodnotu, naopak od počátku zaznamenáváme mírný pokles o -0,001 m. Ve čtvrté etapě 5. 2. 2021 si můžeme všimnout, že jsou všechny body na stejné hodnotě -0,001 m. V tomto grafu se nevyskytují žádné neobvyklé výchylky hodnot a jejich pokles je pozvolný, jak je očekáváno. Pro dřík P5 rovněž platí, že nedošlo k překročení stanovených mezních odchylek.

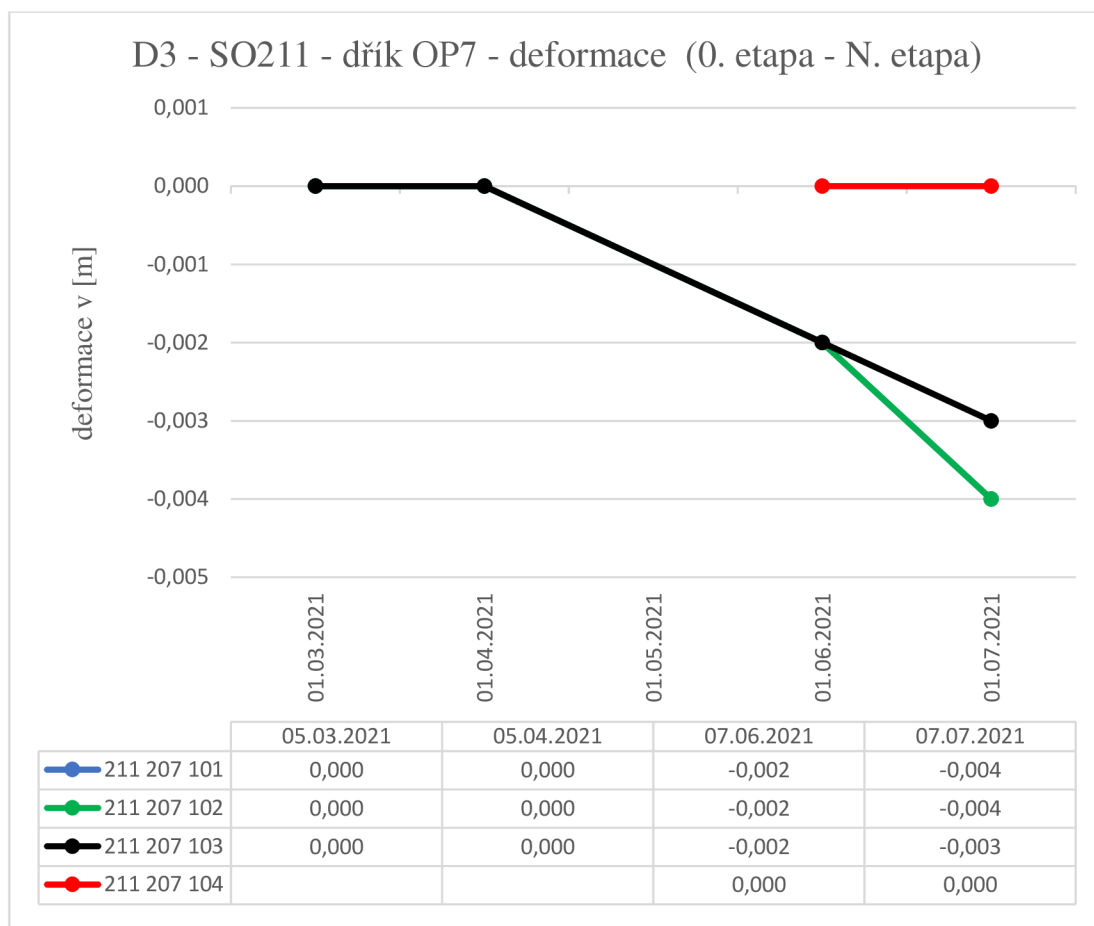


Obrázek 3.7: Zobrazení deformace na dříku P6 (vlastní)

Dřík P6 se nachází na úseku dálnice D3 0310/II Hodějovice – Třebonín v úseku 146,293 km.

Na první pohled je evidentní, že bod 211 206 204 (červená linie) a bod 211 206 203 (černá linie) mají identický průběh odchylky, jen s tím rozdílem, že údaje jsou vždy vyjma nultého měření 1. 6. 2020 o -0,001 m rozdílné. Od počátku měření bod 211 206 204 téměř rok udržoval stabilní nulovou hodnotu. Takovou stabilitu lze pozorovat pouze u tohoto bodu.

U bodu 211 206 202 (zelená linie) byly naměřeny shodné údaje jako u bodu 211 206 203 (černá linie) po téměř celý průběh měření. Pouze 7. 7. 2021 došlo u bodů k určení rozdílných hodnot deformací. Pro všechny body platí, že dosažené hodnoty nepřekračují stanovené mezní odchylky.



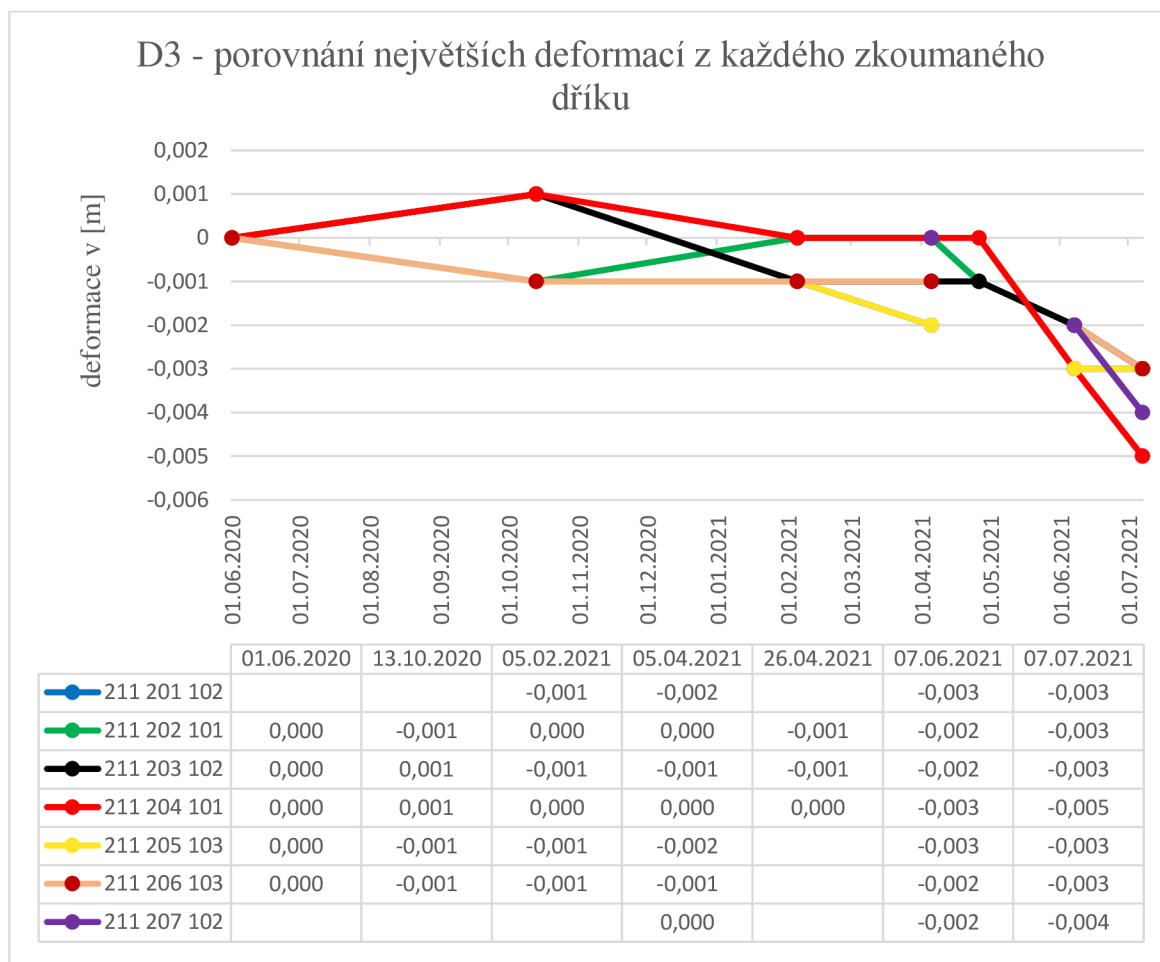
Obrázek 3.8: Zobrazení deformace na dříku OP7 (vlastní)

Poslední měřený dřík OP7 nacházející se na 146,319 km dálnice D3 v úseku 0310/II Hodějovice – Třebonín byl sledován od 5. 3. 2021. To bylo způsobeno tím, že se jedná o poslední vnitřní podpěru, jejíž výstavba byla zahájena nejpozději. Z tohoto důvodu pracujeme pouze se čtyřmi měřeními.

Od 5. 4. 2021 pozorujeme u tří bodů stabilní pokles, který pokračoval do 7. 7. 2021. Bod 211 207 104 (červená linie) začal být měřen jako poslední, protože jeho stavba byla dokončena nejpozději. Měřené hodnoty pro tento bod nevykazují žádné odchylky, bod v tomto období nebyl ovlivňován další stavbou a i časový

interval mezi měřeními je poměrně krátký, aby mohlo u bodu dojít k nějakým větším projevům posunů.

Všechny určené posuny nepřekračují stanovenou mezní odchylku.



Obrázek 3.9: Porovnání deformací na dřívících (vlastní)

Tento graf porovnává nejvyšší určené odchylky u jednotlivých dřívků. Pro lepší přehlednost a názornost grafu nebylo zohledněno u bodu 211 201 102 (modrá linie) nulté měření ze dne 15. 12. 2020 a u bodu 211 207 102 (fialová linie) taktéž nulté měření ze dne 5. 3. 2021.

Nejvyšší kolísání bylo zaměřeno u bodu 201 204 101 (červená linie), který se nachází na dřívku P4. Největší deformace se vyskytla od období 5. 4., respektive 26. 4. 2021 do 7. 6. 2021, kdy hodnoty v průměru klesly o 1,56 mm. Všechny zkoumané body mají klesající tendenci k hranici -0,003 až -0,005 m. Z grafu je patrné,

že body s maximálními posuny na jednotlivých dřících vykazují „společné“ chování a jejich hodnoty vykazují stejným trend vývoje.

Závěr

Monitoring mostních objektů je jednou z běžných prací v inženýrské geodézii. Pozorování těchto objektů je stanoveno v příkazu ředitele provozního úseku č. 3/2014 - Metodický pokyn pro sledování výškového přetvoření mostů. Zpravidla se jedná o kontrolu a zkoumání mezních odchylek, což znamená zaznamenávání veškerých výškových pohybů konstrukce a v případě vychýlení se ze stanovených hodnot řešení nastalé situace s odpovědnou osobou.

Měření deformace následuje až po vystavění mostních opěr a vnitřních podpěr (pilířů), kdy se do opěr, které tvoří začátek a konec mostu, navrtají z přední strany čtyři nivelační body. To samé se provede i u vnitřních podpěr, kde se potom v závislosti na složitosti mostního objektu a velikosti určuje počet nivelačních čepů usazených do jednoho pilíře.

Tato diplomová práce se zaměřuje konkrétně na mostní objekt SO211 na dálnici D3 0310/II Hodějovice – Třebonín v úseku od km 146,131 do 146,319 km. Objekt má dvacet osm usazených nivelačních čepů z toho čtyři na každé opěře a jeden na každém z dvaceti pilířů dle VL4 509.01. Měření se provádí zhruba každé dva měsíce po dobu, která je stanovena projektantem objektu. Deformace se pozorují nejenom při výstavbě mostu, ale i následně po dokončení stavby.

První tzv. nulté měření proběhlo 1. 6. 2020 na všech vnitřních podpěrách. Pouze u opěr se datum nultého měření lišil, protože jedna opěra nebyla dobře přístupná a s výstavbou druhé opěry se začalo později. V této diplomové práci pozorujeme odchylky, které vznikaly v rámci 13 měsíců. Každé další měření se vzájemně porovnávalo s předchozím. Zpracování naměřených hodnot bylo provedeno v programu Microsoft Excel. Při stavebních pracích se po uplynutí jednoho roku vždy vytvoří technická zpráva, která rekapituluje průběh měření a najdeme zde i grafické zobrazení naměřených hodnot a případné poklesy spodní stavby. V této diplomové práci bylo zkoumáno období 6/2020 – 7/2021.

Z našich měření vyplývá, že došlo k mírným deformacím na všech opěrách a podpěrách. Největší deformaci (posun) zaznamenáváme na dříku P4. V rámci stavby jsou deformace y přirozené, neboť dochází k sedání stavby a k výstavbě horní části mostní konstrukce. Dalším ovlivňujícím faktorem může být teplota a další atmosférické podmínky v den měření a samozřejmě samotná přesnost zaměření, byť

geodetická a inženýrská kancelář Angermeier Engineers, s. r. o. používala jedny z nejmodernějších přístrojů.

Z naměřených hodnot je zřejmé, že se tyto body musejí i nadále pozorovat a případné problémy ihned řešit s odpovědnou osobou. V žádné situaci však nedochází k překročení mezní výškové odchylky, a proto stavba může i nadále pokračovat.

Seznam použité literatury

Seznam literatury

Bárta, L. a Soukup, F. (2005). *Geodetické sítě modul 02 vyrovnávání geodetických sítí*. VUT, Fakulta stavební, Brno.

Blažek et al. (1997). *Geodézie 30. Výškopis*. Vydavatelství ČVUT, Praha.

Drbohlav, M. (2014). *Prohlídka a hodnocení železobetonových mostů*. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.

Hampacher, M. a Štroner, M. (2015). *Zpracování a analýza měření v inženýrské geodézii*. Česká technika – nakladatelství ČVUT, Praha. ISBN 978-80-01-05843-5.

Hánek, P. et al. (2008). *Geodézie pro obor pozemkové úpravy a převody nemovitostí*. Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, České Budějovice. ISBN 978-80-7040-971-8.

Kaplan, E. a Hegarty, C. (2006). *Understanding GPS: Principles and Applications*. 2. vydání. Artech House, New York. ISBN 1-58053-894-0.

Královič, J. (2013). *Testování lokální přesnosti GNSS přijímačů TRIMBLE GEOXR*. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Praha.

Líkař, P. (2016). *Využití RPAS v prostoru letiště*. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Praha.

Maršík, Z. a Maršíková, M. (2002). *Geodézie II*. JČU, Zemědělská fakulta, České Budějovice. ISBN 80-7040-546-5.

Matoušková, D. (1994). *Pozemní stavitelství II*. Akademické nakladatelství CERM, Brno. ISBN 80-248-0278-3.

Ministerstvo dopravy. (2016). Kapitola 18 – Betonové konstrukce a mosty. In: *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací*. Odbor silniční infrastruktury, Praha.

Ministerstvo dopravy. (2007). Kapitola 23 – Mostní závěry. In: *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací*. Odbor silniční infrastruktury, Pragoprojekt a.s., Praha.

Ministerstvo dopravy (2008). Kapitola 20 – Pylony a mostní závěsy. In: *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací*. Odbor silniční infrastruktury, Praha.

Ministerstvo dopravy. (2020). Kapitola 16 – Piloty a podzemní stěny. In: *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací*. Odbor pozemních komunikací, Praha.

Ministerstvo dopravy. (2007). Kapitola 1 – Všeobecně. In: *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací*. Odbor pozemních komunikací, Praha.

Nevosád, Z. et al. (1999). *Geodézie II*. Vutium, Brno. ISBN 80-214-1475-8.

Novák, Z. a Procházka, J. (2006). *Inženýrská geodézie 10*. Nakladatelství ČVUT v Praze, Praha. ISBN 80-01-02407-5.

Pokora, M. et al. (1984). *Geodézie pro stavební fakulty*. Geodet. a kartogr. podnik, Praha.

Ryal, M.J. et al. (2000). *Manual of Bridge Engineering*. Institute of Civil Engineers, Thomas Telford Ltd., London. ISBN 0 7277 2774 5.

Rapant, P. (2002). *Družicové polohové systémy*. VŠB-TU Ostrava, Ostrava. ISBN 80-248-0124-8.

Ratiborský, J. (2000). *Geodézie 10*. České vysoké učení technické v Praze, Praha. ISBN 80-01-02198-X.

Říha, J. (2014). *Moderní přístrojová technika*. Investice do rozvoje vzdělávání, Praha.

Skořepa, Z. (1999). *Geodezie 10, 20. (Návody na cvičení) Doplnkové skriptum*. Vydavatelství ČVUT, Praha.

Staněk, V. a Svoboda, J. (1973). *Měřické práce na stavbách II. díl – Měřická praxe*. SNTL, Praha.

Štroner, M. et al. (2017). *Manuál výuky v terénu z inženýrské geodézie. Katedra speciální geodézie*. Fakulta stavební ČVUT v Praze, Praha.

Švábenský, O. et al. (2006). *Inženýrská geodezie GE16 modul 02 geodezie ve stavebnictví*. VUT, Fakulta stavební, Brno.

Švábenský, O. et al. (2006). *Inženýrská geodézie I. M01 Základy inženýrské geodézie*. Studijní opora VUT Brno, Brno.

Urban, R. (2015). *Geodetické práce při měření posunů a deformací stavebních objektů*. České vysoké učení technické, Praha. ISBN 978-80-01-05786-5.

Vitásek, J. et al. (1998). *Vybrané geodetické práce ve stavebnictví*. Vysoké učení technické, Brno. ISBN 80-214-1114-7.

Seznam legislativy

ČSN 73 0401. (1990). *Názvosloví v geodézii a kartografii*. Praha: Vydavatelství norem.

ČSN 73 0420-1. (2002). *Přesnost vytyčování staveb – Část 1: Základní požadavky*. Praha: Český normalizační institut.

ČSN 73 0420-2. (2002). *Přesnost vytyčování staveb - Část 2: Vytyčovací odchylky*. Praha: Český normalizační institut.

ČSN 73 0405. (1997). *Měření posunů stavebních objektů*. Praha: Český normalizační institut.

ČSN 73 6221. (2019). *Prohlídky mostů pozemních komunikací*. Česká Lípa.

ČSN ISO 4463-1. (1999). *Měřicí metody ve výstavbě - Vytyčování a měření - Část 1: Navrhování, organizace, postupy měření a přejímací podmínky*. Praha: Český normalizační institut.

ČSN ISO 4463-2. (1999). *Měřicí metody ve výstavbě - Vytyčování a měření – Část 2: Měřické značky*. Praha: Český normalizační institut.

ČSN P ISO 6707-1. (2018). *Pozemní a inženýrské stavby – Terminologie – Část 1: Obecné termíny*. Praha: Česká agentura pro standardizaci.

Nařízení vlády č. 430/2006 Sb., o stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl závazných na území státu a zásadách jejich používání.

Metodický pokyn pro sledování výškového přetvoření mostů. Příkaz ředitele provozního úseku č. 3/2014. Ředitelství silnic a dálnic České republiky.

Vyhláška č. 31/1995 Sb., Vyhláška Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, kterou se provádí zákon č. 200/1994 Sb., o zeměměřictví a o změně a doplnění některých zákonů souvisejících s jeho zavedením.

Seznam internetových zdrojů

Air & Cosmos - International. Tous droits réservés. (2022). *European MALE drone passes Preliminary Design Review*. [online]. [cit. 1.3.2022] Dostupné z: <https://www.aircosmosinternational.com/article/european-male-drone-passes-preliminary-design-review-442>.

Čada, V. (neuveďeno). *Přednáškové texty z Geodézie*. [online]. [cit. 27.2.2022] Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/studium/gen1/html/index.html>.

Informační systém Masarykovy univerzity. (2022). *Základy geodézie 4*. [online]. [cit. 25.2.2022] Dostupné z: https://is.muni.cz/el/phil/podzim2014/AEB_30/um/Zaklady_geodezie_4_cast.pdf.

Fakulta stavební, ČVUT v Praze. (neuveďeno). *Další geodetické metody*. [online]. [cit. 25.2.2022] Dostupné z: https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/SGE/pred_8_Geodeticke_technologie.pdf.

Karmazínová, M. et al. (neuveďeno). *Konstrukce a dopravní stavby*. [online]. [cit. 4.4.2022] Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BO01-Konstrukce%20a%20dopravni%20stavby/Konstrukce%20a%20dopravni%20stavby%20%20M02-Konstrukce%20II%20-%20zakladni%20typy%20konstrukci,%20konstrukcni%20reseni%20staveb,%20most.pdf>.

Leica Geosystems AG - Part of Hexagon. (2022). *Totální stanice Leica FlexLine TS06 PLUS*. [online]. Leica Geosystems AG ©2016 [cit. 7. 3. 2022]. Dostupné z: https://leica-geosystems.com/about-us/news-room/news-overview/2018/10/2018_10_17_flexline-series.

Marešová, J. (2019). *Geodetické výpočty II*. [online]. [cit. 12.3.2022] Dostupné z: https://stavarna.com/download2/3382_4086_cs_gev_dal_2_09_protinani_zpet.pdf.

Pavelka, K. (2016). *Využití RPAS pro mapování a monitoring*. [online]. [cit. 20.2.2022] Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/facility-management/14487-vyuziti-rpas-pro-mapovani-a-monitoring>.

SKYbrary Aviation Safety. (2022). *Introduction to Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS)*. [online]. [cit. 25.2.2022] Dostupné z: <https://skybrary.aero/articles/introduction-remotely-piloted-aircraft-systems-rpas>.

SlidePlayer.cz Inc. (2022). *Geodézie 3 (154GD3)*. [online]. [cit. 20.2.2022] Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2813358/>.

Štroner, M. (neuveďeno). *Geometrická nivelace*. [online]. [cit. 12.3.2022] Dostupné z: https://k154.fsv.cvut.cz/~stroner/GD3/gd3_pred_2.pdf.

Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i. (neuveďeno). *Seznámení s moderní přístrojovou technikou*. [online]. [cit. 25.2.2022] Dostupné z: http://www.vugtk.cz/OPVK/prezentace/01_03_TS%20a%20Niv.pdf.

Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, v.v.i. (neuveďeno). *Vytyčovací síť*. [online]. [cit. 27.2.2022] Dostupné z: http://www.vugtk.cz/OPVK/prezentace/04_Vyty%C4%8Dovac%C3%AD%20s%C3%ADt%C4%9B_3.pdf.

Seznam obrázků

Obrázek 1.1: Vizualizace GNSS (www.spirent.com).....	12
Obrázek 1.3: GNSS sestava s kontrolerem (vlastní).....	13
Obrázek 1.2: GNSS sestava s kontrolerem (vlastní).....	13
Obrázek 1.4: Popis nivelačního přístroje (www.slideplayer.cz).....	14
Obrázek 1.5: Nivelační sada (vlastní)	16
Obrázek 1.6: Nivelační sada (vlastní)	16
Obrázek 1.7: Totální stanice (vlastní)	18
Obrázek 1.8: Totální stanice (vlastní)	18
Obrázek 1.9: RPAS vizualizace (www.aircosmosinternational.com)	20
Obrázek 1.10: Popis mostního objektu (Drbohlav, 2014)	22
Obrázek 2.1: Most Otmanka (vlastní).....	23
Obrázek 2.2: Nivelační značka VL4 509.01 (vlastní).....	26
Obrázek 2.3: Fotografie LMS (vlastní).....	26
Obrázek 2.5: Fotografie poškozené LMS (vlastní)	26
Obrázek 2.4: Fotografie poškozené LMS (vlastní)	26
Obrázek 2.6: Situační výkres LMS211 na 146 km dálnice D3 (Havel a Hlaváčková, 2020)	28
Obrázek 2.7: Schéma značení mostních objektů na D3 v úseku 0310/II Hodějovice – Třebonín (Havel a Hlaváčková, 2020).....	33
Obrázek 3.1: Situační výkres mostní konstrukce SO211 (Havel a Hlaváčková, 2020)	39
Obrázek 3.2: Zobrazení deformace na dříku OP1 (vlastní)	40
Obrázek 3.3: Zobrazení deformace na dříku P2 (vlastní)	41
Obrázek 3.4: Zobrazení deformace na dříku P3 (vlastní)	42
Obrázek 3.5: Zobrazení deformace na dříku P4 (vlastní)	43
Obrázek 3.6: Zobrazení deformace na dříku P5 (vlastní)	44
Obrázek 3.7: Zobrazení deformace na dříku P6 (vlastní)	45
Obrázek 3.8: Zobrazení deformace na dříku OP7 (vlastní)	46
Obrázek 3.9: Porovnání deformací na dřících (vlastní).....	47

Seznam tabulek

Tabulka 2.1: Tabulka LMS s hloubkou vrtu (vlastní).....	25
Tabulka 2.2: Tabulka seznamu souřadnic bodů LMS211 (vlastní)	27
Tabulka 2.3: Tabulka majetkoprávního souhrnu (vlastní)	29
Tabulka 4.1: Souřadnice bodů nultého měření (vlastní)	58
Tabulka 4.2: Souřadnice 2. etapy měření (vlastní)	59
Tabulka 4.3: Souřadnice doplňujících bodů (vlastní)	59
Tabulka 4.4: Souřadnice 3. etapy měření (vlastní)	60
Tabulka 4.5: Souřadnice doplňujících bodů (vlastní)	61
Tabulka 4.6: Souřadnice 4. etapy měření (vlastní)	61
Tabulka 4.7: Souřadnice doplňujících bodů (vlastní)	62
Tabulka 4.8: Souřadnice 5. etapy měření (vlastní)	62
Tabulka 4.9: Souřadnice 6. etapy měření (vlastní)	63

4 Přílohy

Tabulka 4.1: Souřadnice bodů nultého měření (vlastní)

Číslo bodu	Souřadnice měřených bodů z 1. 6. 2020	
	X [m]	Y [m]
211 202 101	758026.026	1176290.842
211 202 102	758032.692	1176285.731
211 202 103	758037.930	1176281.716
211 202 104	758044.596	1176276.605
211 203 101	758046.876	1176317.816
211 203 102	758053.502	1176312.652
211 203 103	758058.707	1176308.595
211 203 104	758065.333	1176303.431
211 204 101	758067.939	1176344.623
211 204 102	758074.524	1176339.407
211 204 103	758079.697	1176335.309
211 204 104	758086.282	1176330.093
211 205 101	758089.213	1176371.263
211 205 102	758095.756	1176365.996
211 205 103	758100.897	1176361.857
211 205 104	758107.440	1176356.589
211 206 101	758110.698	1176397.734
211 206 102	758117.199	1176392.415
211 206 103	758122.307	1176388.236
211 206 104	758128.808	1176382.916

Tabulka 4.2: Souřadnice 2. etapy měření (vlastní)

Číslo bodu	Souřadnice měřených bodů z 13. 10. 2020	
	X [m]	Y [m]
211 202 101	758026.026	1176290.842
211 202 102	758032.692	1176285.731
211 202 103	758037.930	1176281.716
211 202 104	758044.596	1176276.605
211 203 101	758046.876	1176317.816
211 203 102	758053.502	1176312.652
211 203 103	758058.707	1176308.595
211 203 104	758065.333	1176303.431
211 204 101	758067.939	1176344.623
211 204 102	758074.524	1176339.407
211 204 103	758079.697	1176335.309
211 204 104	758086.282	1176330.093
211 205 101	758089.213	1176371.263
211 205 102	758095.756	1176365.996
211 205 103	758100.897	1176361.857
211 205 104	758107.440	1176356.589
211 206 101	758110.698	1176397.734
211 206 102	758117.199	1176392.415
211 206 103	758122.307	1176388.236
211 206 104	758128.808	1176382.916

Tabulka 4.3: Souřadnice doplňujících bodů (vlastní)

Číslo bodu	Souřadnice měřených bodů z 15. 12. 2020	
	X [m]	Y [m]
211 201 101	758008.758	1176272.972
211 201 102	758020.147	1176264.349
211 201 103	758020.678	1176263.947
211 201 104	758032.038	1176255.345
211 202 103	758037.930	1176281.716
211 202 104	758044.596	1176276.605
211 203 103	758058.707	1176308.595
211 203 104	758065.333	1176303.431
211 204 103	758079.697	1176335.309
211 204 104	758086.282	1176330.093

Tabulka 4.4: Souřadnice 3. etapy měření (vlastní)

Číslo bodu	Souřadnice měřených bodů z 5. 2. 2021	
	X [m]	Y [m]
211 201 101	758008.758	1176272.972
211 201 102	758020.147	1176264.349
211 201 103	758020.678	1176263.947
211 201 104	758032.038	1176255.345
211 202 101	758026.026	1176290.842
211 202 102	758032.692	1176285.731
211 202 103	758037.930	1176281.716
211 202 104	758044.596	1176276.605
211 203 101	758046.876	1176317.816
211 203 102	758053.502	1176312.652
211 203 103	758058.707	1176308.595
211 203 104	758065.333	1176303.431
211 204 101	758067.939	1176344.623
211 204 102	758074.524	1176339.407
211 204 103	758079.697	1176335.309
211 204 104	758086.282	1176330.093
211 205 101	758089.213	1176371.263
211 205 102	758095.756	1176365.996
211 205 103	758100.897	1176361.857
211 205 104	758107.440	1176356.589
211 206 101	758110.698	1176397.734
211 206 102	758117.199	1176392.415
211 206 103	758122.307	1176388.236
211 206 104	758128.808	1176382.916

Tabulka 4.5: Souřadnice doplňujících bodů (vlastní)

Číslo bodu	Souřadnice měřených bodů z 5. 3. 2021	
	X [m]	Y [m]
211 207 101	758124.141	1176418.634
211 207 102	758135.115	1176409.543
211 207 103	758135.655	1176409.097

Tabulka 4.6: Souřadnice 4. etapy měření (vlastní)

Číslo bodu	Souřadnice měřených bodů z 5. 4. 2021	
	X [m]	Y [m]
211 201 101	758008.758	1176272.972
211 201 102	758020.147	1176264.349
211 201 103	758020.678	1176263.947
211 201 104	758032.038	1176255.345
211 202 101	758026.026	1176290.842
211 202 102	758032.692	1176285.731
211 202 103	758037.930	1176281.716
211 202 104	758044.596	1176276.605
211 203 101	758046.876	1176317.816
211 203 102	758053.502	1176312.652
211 203 103	758058.707	1176308.595
211 203 104	758065.333	1176303.431
211 204 101	758067.939	1176344.623
211 204 102	758074.524	1176339.407
211 204 103	758079.697	1176335.309
211 204 104	758086.282	1176330.093
211 205 101	758089.213	1176371.263
211 205 102	758095.756	1176365.996
211 205 103	758100.897	1176361.857
211 205 104	758107.440	1176356.589
211 206 101	758110.698	1176397.734
211 206 102	758117.199	1176392.415
211 206 103	758122.307	1176388.236
211 206 104	758128.808	1176382.916
211 207 101	758124.141	1176418.634
211 207 102	758135.115	1176409.543
211 207 103	758135.655	1176409.097

Tabulka 4.7: Souřadnice doplňujících bodů (vlastní)

Číslo bodu	Souřadnice měřených bodů z 26. 4. 2021	
	X [m]	Y [m]
211 202 101	758026.026	1176290.842
211 202 102	758032.692	1176285.731
211 203 101	758046.876	1176317.816
211 203 102	758053.502	1176312.652
211 204 101	758067.939	1176344.623
211 204 102	758074.524	1176339.407

Tabulka 4.8: Souřadnice 5. etapy měření (vlastní)

Číslo bodu	Souřadnice měřených bodů z 7. 6. 2021	
	X [m]	Y [m]
211 201 101	758008.758	1176272.972
211 201 102	758020.147	1176264.349
211 201 103	758020.678	1176263.947
211 201 104	758032.038	1176255.345
211 202 101	758026.026	1176290.842
211 202 102	758032.692	1176285.731
211 202 103	758037.930	1176281.716
211 202 104	758044.596	1176276.605
211 203 101	758046.876	1176317.816
211 203 102	758053.502	1176312.652
211 203 103	758058.707	1176308.595
211 203 104	758065.333	1176303.431
211 204 101	758067.939	1176344.623
211 204 102	758074.524	1176339.407
211 204 103	758079.697	1176335.309
211 204 104	758086.282	1176330.093
211 205 102	758095.756	1176365.996
211 205 103	758100.897	1176361.857
211 205 104	758107.440	1176356.589
211 206 101	758110.698	1176397.734
211 206 102	758117.199	1176392.415
211 206 103	758122.307	1176388.236
211 206 104	758128.808	1176382.916
211 207 101	758124.141	1176418.634
211 207 102	758135.115	1176409.543
211 207 103	758135.655	1176409.097
211 207 104	758146.628	1176400.007

Tabulka 4.9: Souřadnice 6. etapy měření (vlastní)

Číslo bodu	Souřadnice měřených bodů z 7. 7. 2021	
	X [m]	Y [m]
211 201 101	758008.758	1176272.972
211 201 102	758020.147	1176264.349
211 201 103	758020.678	1176263.947
211 201 104	758032.038	1176255.345
211 202 101	758026.026	1176290.842
211 202 102	758032.692	1176285.731
211 202 103	758037.930	1176281.716
211 202 104	758044.596	1176276.605
211 203 101	758046.876	1176317.816
211 203 102	758053.502	1176312.652
211 203 103	758058.707	1176308.595
211 203 104	758065.333	1176303.431
211 204 101	758067.939	1176344.623
211 204 102	758074.524	1176339.407
211 204 103	758079.697	1176335.309
211 204 104	758086.282	1176330.093
211 205 102	758095.756	1176365.996
211 205 103	758100.897	1176361.857
211 205 104	758107.440	1176356.589
211 206 101	758110.698	1176397.734
211 206 102	758117.199	1176392.415
211 206 103	758122.307	1176388.236
211 206 104	758128.808	1176382.916
211 207 101	758124.141	1176418.634
211 207 102	758135.115	1176409.543
211 207 103	758135.655	1176409.097
211 207 104	758146.628	1176400.007
