

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta stavební**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Brno, 2018**

**Ondřej Buchar**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV GEODÉZIE

INSTITUTE OF GEODESY

# GEODETICKÝ MONITORING TUBOSIDERU V LIBERCI POD LYŽAŘSKOU SJEZDOVKOU F10

GEODETIC MONITORING OF THE TUBOSIDER IN LIBEREC UNDER THE SKI SLOPE F10

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondřej Buchar

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RICHARD KRATOCHVÍL

BRNO 2018



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

## FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3646 Geodézie a kartografie
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3646R003 Geodézie, kartografie a geoinformatika
<b>Pracoviště</b>	Ústav geodézie

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Ondřej Buchar
<b>Název</b>	Geodetický monitoring tubosideru v Liberci pod lyžařskou sjezdovkou F10
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Richard Kratochvíl
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2017
<b>Datum odevzdání</b>	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

---

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

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## **ABSTRAKT**

Tato práce dokumentuje geodetický monitoring deformované ocelové konstrukce tubosideru v Liberci. Od roku 2015 probíhá periodické měření posunů a deformací na objektu. V rámci opatření na zabezpečení stability tunelu, byly průběžně provedeny různé zásahy do stavby, jejichž vlivy jsou též vyhodnocovány v rámci práce. Výsledkem jsou grafy, které charakterizují posuny nejvyšších bodů v tunelu. Tyto hodnoty slouží dále pro statika a projektanta, kteří navrhnou řešení problému.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

posun, přetvoření, deformace, tunel, tubosider, inženýrská geodézie, Liberec, Ještěd

## **ABSTRACT**

This thesis describes a geodetic monitoring of a deformed steel structure tubosider in Liberec. There have been made periodic measurements of displacements and deformations of the object since 2015. Various interventions have been made in order to ensure a stability of the tunnel, which are also evaluated in this thesis. The results are graphs that describes shifts of the highest points in the tunnel. These values are further used by structural engineers and architects to suggest a solution.

## **KEYWORDS**

shift, transformation, deformation, tunnel, tubosider, surveying for construction, Liberec, Ještěd

BUCHAR, Ondřej. *Geodetický monitoring tubosideru v Liberci pod lyžařskou sjezdovkou F10*. Brno, Rok, 48 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geodézie. Vedoucí práce: Ing. Richard Kratochvíl

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Geodetický monitoring tubosideru v Liberci pod lyžařskou sjezdovkou F10“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Richardu Kratochvílovi, za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Rovněž bych chtěl poděkovat mé rodině, za podporu při psaní této práce a za umožnění celého studia. Jmenovitě chci hlavně poděkovat mé matce Mgr. Ivaně Bucharové, za gramatickou kontrolu práce a mému bratranci Ing. Danielu Maděrovi, který mi pomáhal v těžkých začátcích tvořit práci v  $\text{\LaTeX}$ u a nenechal mě to vzdát.

Brno .....

.....

podpis autora



Valbek, spol. s r.o.  
středisko Liberec  
Vaňurova 505/17  
460 01 Liberec  
<http://www.valbek.cz>  
VALBEK-EU, a.s.  
<http://www.valbek.eu>

## PODĚKOVÁNÍ

Měření popsané v této bakalářské práci bylo realizováno jako zakázka firmy Valbek, spol. s r.o. vedená Ing. Ladislavem Jarůškem. Tímto bych mu chtěl poděkovat za důvěru, kterou ve mě měl, při svěřením měření a zpracování dat. Také za čas, který mi věnoval při psaní této práce. Jsem rád za spolupráci, kterou mi pan Jarůšek a firma Valbek umožnila. Přináší mi tak nové poznatky z praxe, které mohu využít při studiu.

Brno .....

.....

podpis autora

# Obsah

Úvod	10
<b>1 Měření posunů stavebních objektů</b>	<b>11</b>
1.1 Základní pojmy a požadavky	11
1.2 Měření posunů a přetvoření podzemních staveb	13
1.3 Projekt měření posunů	13
1.4 Přesnost a frekvence měření	14
1.5 Vyhodnocení měřické dokumentace	16
1.6 Geodetické metody	17
1.6.1 Metody měření svislých posunů	17
1.6.2 Metody měření vodorovných posunů	18
1.7 Negeodetické metody	19
<b>2 Informace o stavbě</b>	<b>21</b>
2.1 Objekt pozorování	21
2.1.1 Tubosider	22
2.2 Lokalizace stavby	23
2.3 Historie stavby	23
2.3.1 Vybudování areálu Ještěd	23
2.3.2 Tragická nehoda	23
2.3.3 Pronajmutí areálu	24
2.3.4 Odtěžení části zeminy	24
2.3.5 Současnost	24
2.4 Zakázka monitoringu tunelu	25
2.4.1 Valbek Liberec	25
<b>3 Geodetické zaměření</b>	<b>27</b>
3.1 Metody měření	27
3.1.1 Polární metoda	27
3.1.2 Laserové skenování	27
3.1.3 Technologie GNSS	28
3.1.4 Trigonometrické výškové měření	29
3.2 Použité pomůcky a přesnost měření	30
3.2.1 Rozbor přesnost	31
3.3 Body vztažné soustavy	32
3.4 Volba profilů	33
3.5 Pozorované body	34



3.5.1	Poškozené body . . . . .	35
3.6	Vliv vnějších podmínek . . . . .	36
<b>4</b>	<b>Zpracování dat</b>	<b>37</b>
4.1	Transformace . . . . .	37
4.2	Tabulka s posuny a grafy . . . . .	37
4.3	Předání výsledků . . . . .	38
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>39</b>
	<b>Literatura</b>	<b>40</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>42</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>43</b>
<b>A</b>	<b>Tabulky posunů</b>	<b>44</b>
<b>B</b>	<b>Ukázka tabulky zapisování dat</b>	<b>47</b>
<b>C</b>	<b>Obsah přiloženého CD</b>	<b>48</b>

# Seznam obrázků

1.1	Graf svislých posunů (sedání) [1]	18
1.2	Axonometrické znázornění vodorovných posunů přehradní hráze [1]	19
1.3	Princip optické interferometrie [6]	20
2.1	fotografie zaměřovaného tubosideru [14]	21
3.1	Model tubusu z laserového skenování [14]	28
3.2	Trigonometrické měření posunů [1]	30
3.3	Přehledka rozložení vztažných bodů [14]	33
3.4	Znázornění profilů [14]	34
3.5	Zaměřovaný šroub montované konstrukce [ <i>autor</i> ]	35
3.6	Masa sněhu působící na tunel [14]	36
B.1	Ukázka Tabulky	47

# Úvod

V této práci je popsána a prezentována pracovní zakázka liberecké projekční firmy Valbek, spol. s r. o., Geodetický monitoring tubosideru. Geodetické sledování tunelu, který se nachází nedaleko od Liberce a je součástí Skiareálu Ještěd, si vyžádal magistrát města Liberec, který je majitelem stavby. Během mé brigády v této firmě od léta 2017, jsem se zapojil do zaměřování jednotlivých etap, a následně mi byla téměř celá práce na tomto projektu svěřena. Navázal jsem tak na předchozí měření pana inženýra Ladislava Jarůška, které probíhalo již od roku 2015. V tu dobu se na tunelu objevily viditelné známky deformace.

Na začátku této práce je shrnuto obecné názvosloví spojené s měřením posunů. Zmíněna je zde i Česká státní norma, která se touto problematikou zabývá. V té je popsána metodika měření, která se ale v reálné praxi upravuje dle potřeb zákazníka nebo zeměměřiče. Dále jsou v této práci představené geodetické metody, které se pro tato měření dají využít.

Kapitola 2 se zabývá konstrukcí tubosider a jaké jsou možné příčiny jejich deformací. Rovněž jsou zde uvedeny detailní informace k objektu - umístění, jeho historie, jaká vlastnická situace a stav tunelu měření předcházely a jaké zásahy byly provedeny na zajištění stability konstrukce.

Druhá část práce se zabývá samotným geodetickým zaměřením. Zde jsou přiblíženy konkrétní metody měření, které byly použity pro realizaci této zakázky a proč se po třech etapách nakonec od laserového skenování ustoupilo. Kapitola zahrnuje i rozbor přesnosti před měřením a souhrn použité měřické techniky tomu odpovídající. Je tu popsána vztažná síť a její vznik, úvaha nad zvolenými měřenými profily a proč byly za pozorované body zvoleny šrouby na montované konstrukci tunelu.

Závěr práce obsahuje způsob zpracování dat. Bylo vyhodnoceno celkem 25 etap měření. V přílohách jsou k nalezení grafy, které interpretují výsledky měření za celé sledování. Z nich se pak dá vyhodnotit rizikovost stavby a vliv ročních období na konstrukci.

# 1 Měření posunů stavebních objektů

*Teorie v této kapitole je čerpána převážně ze zdrojů [1] a [2], pokud není uvedeno jinak.*

Sledování posunů či přetvoření jednotlivých konstrukčních částí nebo komplexně celého objektu v dnešní době zasahuje do široké škály geodetických úkonů, k které vznikají při výstavbě, provozu nebo poškození stavby. Měření lze uskutečnit metodami různého druhu, které dělíme na geodetické a negeodetické. Měření posunů a přetvoření geodetickými metodami je velmi časově a odbornostně náročné, jelikož se klade vysoký důraz na spolehlivost výsledků a požadovanou přesnost. S tím souvisí i nároky na kvalitní měřickou techniku.

Důležité požadavky a zásady na takové měření posunů a deformací definuje *česká státní norma (ČSN) 73 0405 Měření posunů stavebních objektů*.

Negeodetickými metodami obvykle určujeme pouze relativní posuny. To znamená posuny jednotlivých segmentů konstrukce nebo stavby v rámci nejbližšího okolí či jednotlivých částí mezi sebou. Zatímco absolutní posuny a s nimi i posuny relativní lze určit metodami geodetickými. Absolutní posuny sledovaného objektu nebo jeho částí se váží k vnější nezávislé soustavě. [5] Body vztažné sítě jsou umístěny tak, aby stálost jejich polohy nebyla ohrožena vzniklými sledovanými posuny. Tato vztažná síť by měla být vždy před měřením další etapy ověřena.

Doporučuje se uspořádat polohové body vztažné sítě rovnoměrně po celém zájmovém území a výškové body vztažné soustavy na jednu plochu k sobě do skupiny, mimo působení vnějších vlivů a vlivu samotné stavby. Body vztažné sítě lze rozdělit na přípojovací, stanoviskové, ověřovací a orientační. [3]

Působením vnějších vlivů na přírodní nebo stavební objekty se jejich prostorová poloha může měnit. Tyto vlivy jsou například: změny v konzistenci a tlaku v základové půdě, působení vody, jak spodní, tak dešťové, účinky vnějšího provozu okolo stavby a tím způsobené vibrace, a další vlivy. Na přehradní zdi působí tlak zadržené vody, na stavby v podzemí působí tlaky zeminy nad ní. Výškové budovy a stožáry ovlivňují nárazy větru nebo intenzita slunečního záření.

## 1.1 Základní pojmy a požadavky

Dle ČSN 73 0405 je prostorová změna polohy konstrukce nebo objektu vzhledem k poloze základní (nulté) etapy nebo etapy předchozího měření **posun**. Směr a velikost posunů celého objektu nebo jeho částí se vyhodnocuje opakovaným (etapovým)

zaměřováním značek, které jsou na charakteristických místech konstrukce vhodně umístěny. Z těch se určuje celkový objektový posun nebo tvarová změna. Takovou změnu tvaru nazveme **přetvořením**<sup>1</sup>. Přetvoření se neměří, ale pouze vyhodnocuje na základně naměřených individuálních posunů. [5]

Stavba se může přemísťovat jako celek (posun) nebo mění svůj tvar (přetvoření). Může dojít i ke kombinaci obou jevů. Takové změny nejsou u konstrukcí žádoucí a můžou narušit bezpečnou funkci staveb. Je nezbytné tyto změny a jejich časový vývoj sledovat opakovaným měřením.

Zjišťování těchto posunů a přetvoření konstrukcí, stavebních objektů či objektů přírodního rázu má velký technický i ekonomický význam. Při porovnání výsledků měření s očekávanými posuny, můžeme tyto informace dále využít u projektování v podobných podmínkách další stavby. Také lze díky těmto výsledkům zabránit závadě na provozu budovy nebo dokonce následnému zřícení sledovaných objektů.

### **Souhrn základních pojmů:**

- **pozorovaný bod** – bod osazený na sledovaném objektu
- **vztažná soustava** – soubor vztažných bodů stabilizovaných mimo sledovaný objekt a zónu jeho působení, jejím prostřednictvím se realizuje souřadnicová vztažná soustava pro vyhodnocování posunů
- **vztažný bod** – bod vztažné soustavy stabilizovaný mimo sledovaný objekt a jeho vliv
- **připojovací bod** – vztažný bod sloužící k polohovému nebo výškovému připojení, volí se pokud možno co nejbližší měřenému objektu
- **stanoviskový bod** – vztažný bod, který je stanoviskem měřících přístrojů
- **ověřovací bod** – vztažný bod, kterým se ověřuje stálost polohy připojovacího nebo stanoviskového bodu
- **orientační bod** – bod sloužící k orientaci směrových osnov, volí se co nejdále od pozorovaného objektu
- **posun relativní** – změna detekovaná v soustavě pozorovaných bodů
- **posun absolutní** – změna vzhledem k soustavě vztažných bodů
- **sedání, zdvih** – svislý posun směrem dolů, nahoru
- **průhyb** – přetvoření ve svislém směru
- **náklon** – odchýlení od svislice
- **pootočení** – otočení kolem obecně položené osy
- **průhyb** – přetvoření horizontální konstrukce ve svislém směru
- **etapová měření** – opakovaná zaměření sítě vztažných a pozorovaných bodů v určeném časovém intervalu

---

<sup>1</sup>Ve starší literatuře deformací.

- **základní (nultá) etapa** – počáteční (výchozí) etapa měření, vzhledem k níž jsou počítány posuny, obvykle je zaměřena s vyšší přesností

## 1.2 Měření posunů a přetvoření podzemních staveb

Při sledování staveb pod povrchem země, se měří jednak posuny vlastního tělesa a následná přetvoření, tak se zároveň zjišťují i posuny objektů nad samotnou stavbou na povrchu. Ty vznikají budováním nebo provozem podzemního objektu. Už samotná výstavba tunelu ovlivňuje své okolí, a i stavba je okolím ovlivňována. Stavbou je narušena stabilita geologických vrstev. Také se mohou narušit hydrologické podmínky. Odčerpáváním vody a snižování její hladiny vznikají poklesy. Naopak injektáží dochází často ke zvedání základů stavby. Posuny mohou vzniknout při zahájení provozu postupně i dlouhodobým provozem. Změny se obvykle stabilizují po uběhnutí určité doby od spuštění provozu. Velikost těchto změn je závislá na rozsahu prací, hloubce tunelu, včasnosti injektáže a celkovými hydrologickými a geologickými podmínkami. [4]

## 1.3 Projekt měření posunů

Měření posunů a přetvoření již stojících staveb stanovuje předpisem stavební úřad, který určuje měření pro jednotlivé etapy. Zaměření probíhá při testování konstrukčních vlastností montážních segmentů již při vývoji a výrobě v podnikových výzkumných centrech. Dále při založení stavebních objektů a průběhu jejich výstavby. Nakonec i při předávání ke kolaudaci, kdy proběhnou zároveň i zátěžové zkoušky na nosnou konstrukci. Toto měření je zásadní pro uvedení stavby do běžného provozu. Někdy je nutné i průběžné zaměřování při provozu pro kontrolu funkcí a bezpečí.

Zjišťování posunů nových staveb stanovuje hlavní projektant, v rámci celého návrhu, jehož součástí je i vypracovaný projekt těchto měření. Již postavená, tak i nová konstrukce či stavba má svůj projekt měření posunů, jestliže má být provedeno geodetické zaměření posunů či přetvoření. Takovýto projekt nejprve projektant vytvoří, následně ho geodet zaměří a výsledky vyhodnotí statik projektu.

### **Projekt obvykle obsahuje:**

- účel a význam měření
- údaje o geologických a hydrogeologických vlastnostech základové půdy, a další hydrologické údaje (převzaté z projektové dokumentace stavby)
- údaje o způsobu založení objektu, popis funkce a zatěžovací postup stavební konstrukce

- hodnoty očekávaných teoretických posunů a deformací v závislosti na čase
- specifikace potřebné přesnosti měření
- navržená metodika měření se stručným rozbohem přesnosti
- druh, počet a rozmístění měřických značek pozorovaných bodů spolu s harmonogramem jejich osazení a jejich ochranou proti poškození
- časový plán měření (rozvržení jednotlivých etap)
- způsob zpracování výsledků měření, lhůty předávání předběžných zpráv a závěrečné zprávy
- rozpočet nákladů na vybudování měřících zařízení, na stavbu pomocných konstrukcí (jsou-li potřebné), materiálové náklady a náklady na uskutečnění a vyhodnocení měření posunů

## 1.4 Přesnost a frekvence měření

Opakování jednotlivých měření (etap) se uskutečňuje s ohledem na předpokládané posuny. Do rozboru přesnosti se projevuje zvolený postup zaměření a vybrání správného přístrojového vybavení s odpovídající přesností. V souvislosti s těmito parametry se stanovuje po nulté etapě frekvence měření. Ta se ale může z důvodu rychlých nebo naopak pomalých posunů upravovat. Měla by se ale zachovat na nějakou dobu kontinuita intervalu, aby se daly výsledky správně interpretovat.

Je podstatné provést velmi pečlivě základní (nultou) měření etapu (nultou výchozí etapu), jelikož k tomu se vypočítávají hodnoty posunů či přetvoření monitorovaných pozorovaných bodů v následujících etapách. Zpravidla se první zaměření provede oproti dalším etapám s dvojnásobným počtem měřených veličin. Nejideálnější pak je, když se při tom změni různé podmínky, které ovlivňují měření.

Doporučuje se uspořádat měření tak, aby (pokud je to možné) se změny polohy pozorovaných bodů určovaly z rozdílu přímo měřených veličin. V dalších etapách se měří veličiny (pokud možno tytéž a za stejných podmínek) určující změnu polohy. [3]

Etapy zaměření se stanoví v takových periodách, které by plynule zachytily průběžné změny stavby zahrnující i vlivy, jejichž důsledkem vznikly tyto posuny. U výstavby objektu se zpravidla sleduje stabilita minimálně v obdobích nultého (brzy po založení), čtvrtinového, polovičního, tříčtvrtěčního a plného působení tíhy objektu na základové spáry. Výjimkou jsou případy zjištění extrémně velkých posunů v krátkém intervalu.

Po ukončení výstavby a zahájení provozu se posuny měří frekvencí dle typu a lokace objektu. V závislosti na geologických poměrech a jiných vlivech na stabilitu objektu. Velmi významné stavby a stavby s bezpečnostním rizikem jako je metro,

výškové věže, přehradní hráze, mostní konstrukce a jiné, se kontrolují nepřetržitě v pravidelně stanovených intervalech. Bývá zvykem půlroční nebo roční interval.

U měření posunů a přetvoření staveb se mimo jiné evidují i hodnoty atmosférických veličin, provozní a stavební podmínky a další možné faktory, které mohou způsobit ovlivnění přesnosti měřených výsledků.

Přesnost měření posunů a přetvoření definuje ČSN 73 0405, ve které se rozlišuje, jestli se jedná o novou stavbu nebo již stojící objekt. Při měření posunů novostaveb je přípustná mezní odchylka měření  $\delta_1$  závislá na hodnotě  $p$  souhrnného potenciálního očekávaného posunu

$$\delta_1 \leq \frac{2}{15} p \quad (1.1)$$

U speciálních budov, kde je kladen velký důraz na bezpečnost, spolehlivost, stálost a ekonomický provoz, jako jsou například výškové stavby převyšující 100 metrů nebo turbíny náchylné na vibrace, se hodnota mezní odchylky  $\delta_1$  upraví na 2/3 původní hodnoty, pokud není projektem určeno jinak. [3]

Při výskytu více druhů základových půd, popř. při různém charakteru užívání objektů, se přesnost měření posuzuje podle nejmenší hodnoty delta. Stanovené mezní odchylky pro měření vertikálních posunů u nově projektovaných staveb jsou různé pro druhy zemin určitého charakteru.[3]

$\delta \leq 1mm$  pro skalní a poloskalní horniny

$\delta \leq 2mm$  pro hlinité, písčité nebo jiné stlačitelné horniny a ztuhlé násypy

$\delta \leq 5mm$  pro neztuhlé násypy a silně stlačitelné zeminy

Požadovaná mezní odchylka  $\delta_2$  měření posunů již postavených objektů je definována vztahem

$$\delta_2 \leq \frac{2}{5} p_k \quad (1.2)$$

který závisí na hodnotě  $p_k$  kritického posunu. Pokud by došlo k dosažení této hodnoty, může dojít k ohrožení funkce monitorovaného objektu.

Přesnost určení posunů se prověřuje dosaženou hodnotou úplné výběrové směrodatné odchylky  $s_s$ , která se testuje mezní hodnotou výběrové směrodatné odchylky  $s_m$ , když  $n$  je počet nadbytečných měření a  $\sigma$  základní směrodatná odchylka, pak odchylku získáme vzorcem

$$s_m \leq \sigma \left( 1 + \left( \frac{2}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \right) \quad (1.3)$$

Úplná výběrová směrodatná odchylka měřeného posunu  $s_s$ , zahrnující náhodné odchylky  $s_n$  i systematické odchylky  $s_c$  určeného posunu, se stanoví podle vzorce obecně



$$s_s = (s_n^2 + s_c^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1.4)$$

Ověřování stability jednotlivých vztažných bodů je nezbytné pro naměření spolehlivých výsledků posunů a přetvoření. Neměnnost vztažné soustavy mezi nultým a plánovaným měřením se prověřuje u posunů menšího rozsahu měření na minimálně dva přebytečné body ve vztažné soustavě. Objekty rozsáhlejšího rázu nebo objekty s velkou mírou důležitosti, se ověřují testem vztažných bodů síťovým vyrovnáním.

Metody měření, měřicí zařízení, způsob záznamu měřených hodnot a vyhodnocení výsledků se volí tak, aby se dosáhlo požadované přesnosti ve všech etapách měření a při dodržování zásady hospodárnosti z hlediska úprav stavební konstrukce, nákladů na měření, popř. přerušení stavebních prací nebo provozu, výroby apod. K měření je dovoleno používat jen kalibrovaná, popř. ověřená měřidla a měřicí zařízení.[3]

## 1.5 Vyhodnocení měřické dokumentace

Výsledný výstup z jednotlivých etap se rozděluje na číselný a grafický. Ve výsledném elaborátu je potřeba uvést údaje o pozorovaném objektu, popis zvolené měřické techniky pro měření a zvolených postupů, vzhledem k rozboru přesnosti před měřením. Ve výstupu je též definován vztažný systém a konkrétní připojovací body. Dále se uvádí rozložení jednotlivých etap podle času a celkové dosavadní zhodnocení naměřených dat. Numerická interpretace výsledných hodnot se znázorní obvykle v tabulce. Ta je navržena v časové posloupnosti v pořadí, jak byly uskutečňovány jednotlivé etapy.[2]

Grafická část výstupní dokumentace má na závěr přiložené i grafy, které znázorňují individuální změny polohy monitorovaného bodu zanesené v časové linii. Také je možné vytvořit jednoduchý prostorový model výsledného přetvoření. Grafiku je vhodné vytvářet v upraveném měřítku tak, aby výsledky byly jasně patrné. Pro interpretaci výsledků se často uplatňuje statistické testování zjednodušeným způsobem pomocí intervalu spolehlivosti podle následujících vztahů kde  $\Delta x$  je naměřený posun a kde  $2 m_{\Delta x}$  je jeho úplná střední chyba:

$\Delta x < m_{\Delta x}$  posun nenastal

$m_{\Delta x} \leq \Delta x \leq 2 m_{\Delta x}$  posun mohl nastat, ale nebyl prokázán

$2 m_{\Delta x} < \Delta x$  posun nastal (s pravděpodobností 95 %)

## 1.6 Geodetické metody

U stavebních objektů se měří posuny vertikálního směru (svislé posuny) a horizontálního směru (vodorovné posuny). Ve vertikálním směru se určují zdvihy a poklesy. V horizontálním pak posuny ve vodorovné hladině. Některé metody zvládnou měření těchto dvou druhů posunů naráz. Pak je můžeme nazvat prostorové posuny. Touto problematikou se zabývá inženýrská geodézie. [5]

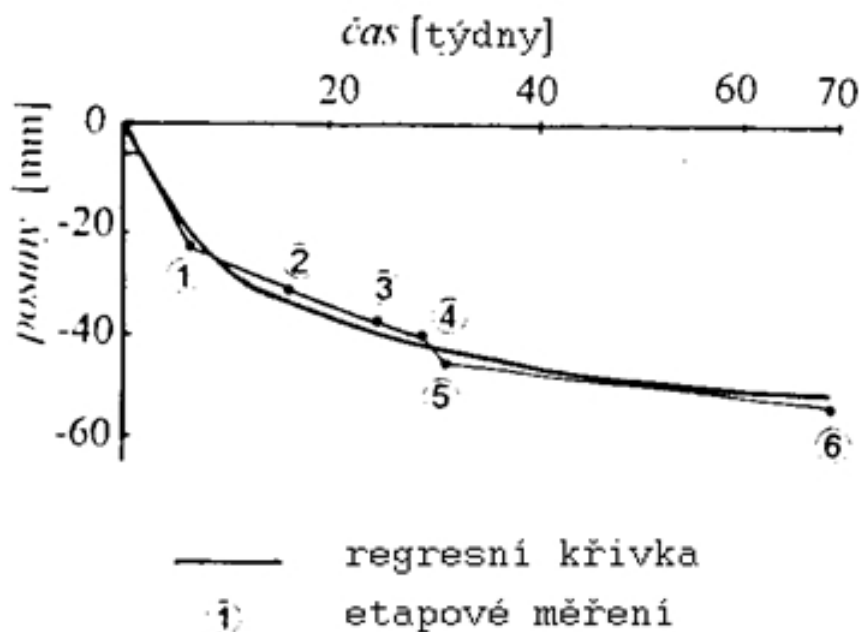
### 1.6.1 Metody měření svislých posunů

Geometrická nivelace je nejčastější metoda na zjištění svislých posunů. Dále se dají tyto posuny měřit trigonometrickým měřením výšek. Také je tu možnost využití fotogrammetrie, která zachycuje okamžitý stav sledovaných objektů v rámci krátkého časového intervalu. Tím se stává fotogrammetrie výhodná oproti zbytku běžných geodetických měřických metod. Má ale také značnou nevýhodou. Tou je menší přesnost a nemožnost nasnímané body vyhodnotit na místě.

Speciální metodou je hydrostatická nivelace. Tento druh nivelace vyplývá z fyzikálního principu spojených nádob. Zdlouhavost a potřeba jednoúčelových přístrojů na tuto metodu nivelace z ní dělá méně běžnou v praxi. Avšak tato metoda skýtá i neodepřítelná pozitiva. Tím je velmi vysoká přesnost, kterou můžeme dosáhnout. Ta je srovnatelná s velmi přesnou geometrickou nivelací (VPN). Další nespornou výhodou je, že se dá tato metoda dobře využít v těžko přístupných prostorách. Například v jeskyních.

V závislosti na požadované přesnosti měření se volí daná metoda. Pro dosažení deklarované přesnosti se musí dodržet technologický postup měření. Množství vztažených bodů k zaměření svislých posunů by mělo být minimálně 3. Při měření svislých posunů se zřizují sledované body co nejnižší nad základovou desku, aby tak bylo možné zaznamenat celkový průběh postupného vlivu zatížení. [3]

Hlavní důvod svislého posunu stavebních objektů bývá často nesouměrné sedání základu stavby. Dalšími důvody mohou být chyby na materiálu nebo špatně nadefinované parametry komponentů konstrukce stavby. Pokud se základová půda zatíží vybudováním objektu, nastane komprese a objekt sedá (klesá), přičemž rychlost a velikost poklesu závisí na druhu základové půdy a také na podzemní vodě. Ukázka grafu sedání na obrázku 1.1. Jsou určité typy zemin, které mají vlastnost malé stlačitelnosti (např. štěrkopísk) na nichž stavby klesají relativně málo, zatímco jiné typy půd (hlinité půdy, jemné písky) jsou více kompresní. Zde pak můžeme na budovách sledovat větší poklesy. Také platí, že některé půdy se při zatížení stlačují větší rychlostí než jiné. To se projevuje na některých projektech tím, že při kolaudaci nejsou viditelné známky žádné poruchy, ovšem po určité době se začnou vyskytovat pukliny



Obr. 1.1: Graf svislých posunů (sedání) [1]

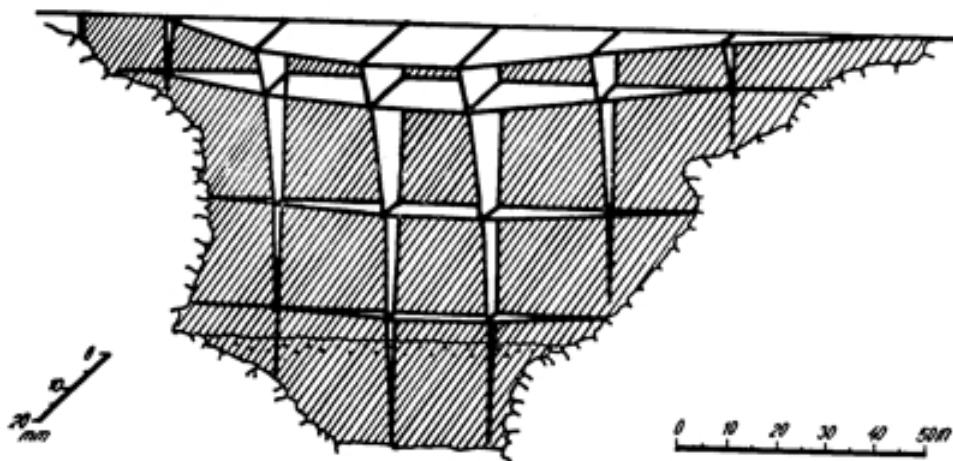
a praskliny, které se časem rozšiřují. Velikost svislých změn se odvíjí od dané hmotnosti celého objektu, také od tvaru a plošné velikosti konstrukce a od charakteristiky základové zeminy.

### 1.6.2 Metody měření vodorovných posunů

Mimo svislých posunů a přetvoření, které se vyskytují čteněji a jejich hodnoty většinou dominují nad vodorovnými posuny a přetvoření. Důvody těchto posunů se různí. Obvykle je to důsledek poklesu nebo zdvihu hladiny podzemní vody. Nebo také působení horizontálních sil vytvořených okolními objekty, narušené stability základů a půdy pod nimi, vlivem větru nebo celkové eroze. U přehrad to ovlivňuje také masa působící vody na hráz. (obrázek 3.2)

Množství vztažných bodů k zaměření pro měření horizontálních posunů by mělo být minimálně 6.

Pro zjištění horizontálních posunů a přetvoření existuje řada metod. Od klasické přesné trigonometrické metody jak u svislých posunů, tak dále metody jako polygonový pořad nebo záměrná přímka. Je možná i kombinace těchto metod. V dnešní době je také časté využití technologie GNSS.



Obr. 1.2: Axonometrické znázornění vodorovných posunů přehradní hráze [1]

## 1.7 Negeodetické metody

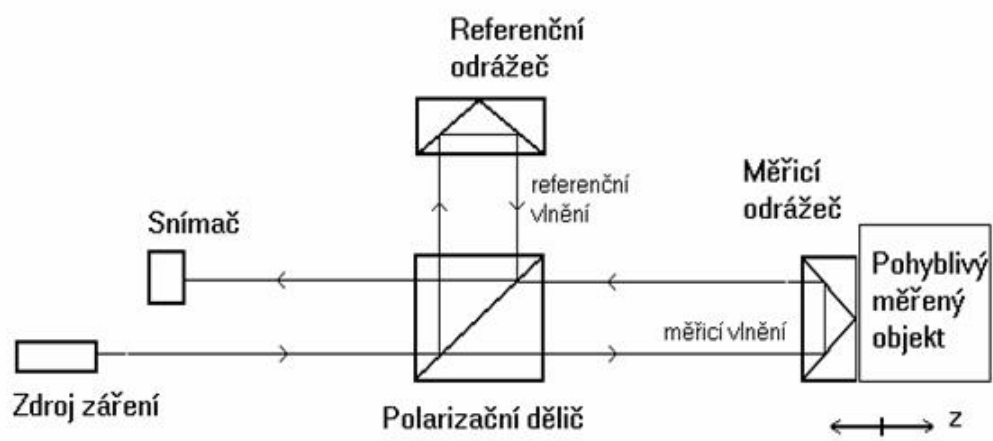
Negeodetické<sup>2</sup> metody nám obvykle poskytují pouze relativní hodnoty posunů a přetvoření. Ovšem lze jimi dosáhnout velmi vysoké přesnosti. Do výčtu těchto negeodetických metod lze zahrnout elektronické digitální libely a sklonoměry (klinometry). Ty slouží ke zjištění relativní změny sklonu s přesností okolo 0,01 – 0,05 mm na 1 metr vzdálenosti. S mechanickým principem fungují také rozšířené číselníkové úchylkoměry (indikátorové hodinky), které zaznamenávají délkové změny s přesností až jedné setiny milimetru.

Detektory nazývané tenzometry fungují na elektronickém, optickém, mechanickém nebo elektrickém principu. Ty využijeme při sledování relativních torzních přetvoření stavebních konstrukcí. Dále pro detekci drobných délkových odchylek jsou na trhu tyčová měřidla nebo deformmetry. Odklon od svislice se detekuje pomocí speciálních kyvadel či optických provažovacích přístrojů. Ty se hojně využívají ve výškových budovách nebo uvnitř těles vodních děl.

Za nejpreciznější metodu je považována laserová interferometrie (obrázek 1.3). S tou je možné dosáhnout přesnost při měření v atmosféře v řádech  $10^{-7}$  m.

---

<sup>2</sup>těž fyzikální



Obr. 1.3: Princip optické interferometrie [6]

## 2 Informace o stavbě

### 2.1 Objekt pozorování

Předmětem firemní zakázky, na jejíž realizaci jsem se podílel a kterou se má bakalářská práce zabývat, je tunel (obrázek 2.1), který má délku 65 metrů. Využívá se pro zásobování a technické zabezpečení restaurace a přilehlých budov, které jsou součástí lyžařského střediska Ski areál Ještěd. Tunel slouží k podjezdu pod lyžařskou sjezdovkou, aby zde docházelo k mimoúrovňovému křížení a nemohlo dojít ke střetu aut s lyžaři. Tomuto typu řešení tunelové konstrukce, která je montovaná z kovových plátů, se též nazývá *tubosider*. Tento *tubosider* je jedinou podzemní nebo mostní konstrukcí na takzvané *Televizní cestě* dlouhé 1 kilometr. Ta spojuje budovy uvnitř ski areálu se silnicí III. třídy, která vede z Liberce jihozápadně přes Ještědsko-kozákovský hřbet na Českolipsko.



Obr. 2.1: fotografie zaměřovaného tubosideru [14]

### 2.1.1 Tubosider

*Tubosider* je název pro typ přesypané konstrukce nebo trouby vyrobené z galvanicky<sup>1</sup> pokovené oceli a polyethylenu s vysokou hustotou, anglicky nazývaný High density polyethylene (HDPE)<sup>2</sup>. Jednotlivé lisované prefabrikáty jsou k sobě smontovány šrouby až na místě. Konstrukce tohoto typu jsou určeny ke stavbě propustků, mostů překlenujících vzdálenost až 25 m, tunelů, podchodů a ekoduktů a objektů či zařízení k odvádění přívalových vod. Tyto objekty se nejčastěji objevují v náspech pozemních nebo drážních liniových stavbách.

Předností *tubosiderových* konstrukcí je úspora pořizovacích nákladů, jednoduchost montáže, a zejména minimální časová náročnost instalace. Mezi další klady patří téměř nulové náklady na následnou údržbu a životnost těchto konstrukcí přesahující 100 let.[7].

Před několika lety nastala s užitím *tubosiderů* revoluce, která výrazně ovlivnila způsob řešení ekonomických, logistických a environmentálních problémů spojených s inženýrstvím malých a středních staveb. Jednotlivé dílce, ohnuté k požadovanému poloměru, jsou namontovány na místě pomocí šroubů s vysokou pevností a přesností do požadované finální konstrukce.

Kvůli zamezení změn plánovaného tvaru *tubosideru* během zásypu, jsou použity žebra na vyztužení po celém obvodu konstrukce. Z výsledků geodetických měření konstrukcí při průběhu stavby i po ukončení zásypových prací se vyhodnocuje, jestli je tvar konstrukce velmi blízký původnímu tvaru. Tedy jestli se neobjevily nestandardní deformace. Pro zabránění průniku srážkové vody, která bývá hlavně v zimních měsících znečištěna rozmrazovacími směsmi, se nad konstrukcí umísťuje geomembrána. Po montáži *tubosideru* se na vnitřní povrch konstrukce nastříká pololesklá polyuretanová barva obvykle se světle šedým odstínem. Tento odstín je volen pro co největší prosvětlení mostního otvoru, který může být například zastíněný okolním lesním porostem.

Montáž konstrukce trvá několik pár dnů. Díky nízké hmotnosti jednotlivých dílců postačí použít běžný jeřáb s nosností 20 tun. Společnosti, která stavbu zhotovuje, tak postačí přichystat pouze ekonomicky nenáročný malý prostor pro pohyb relativně lehké techniky a pro uskladnění navezených plechů. [8]

---

<sup>1</sup>Při galvanizaci dochází k procesu pokovování předmětu za pomoci stejnosměrného proudu. Zinek se hojně využívá jako materiál k ochraně proti korozi.

<sup>2</sup>HDPE je jedním z nejdůležitějších plastových materiálů, které se dnes používají. HDPE lze použít například pro celou řadu každodenních domácích potřeb: kartáče, lahve, nádoby, může být použit pro výrobu velmi tenkých plastových folií používaných pro balení potravin. Dále pro vodovodní potrubí nebo palivové nádrže do aut. V Československu byla vyráběna HDPE fólie pod obchodní značkou MIKROTEN.[9]

## 2.2 Lokalizace stavby

Ski areál Ještěd, jehož je pozorovaná stavba součástí, se nachází na území statutárního města Liberec na severu Čech, které je krajské město Libereckého kraje a má přes 104 tisíc obyvatel. Je to 5. největší město v České republice. Jihozápadně od centra města se rozprostírá městská čtvrť Horní Hanychov. Ve stejnojmenném katastrálním území je stavba evidována. Tunel je zakopán v severním svahu hory Ještěd. Ta je, se svoji nadmořskou výškou 1 012 metrů nad mořem nejvyšším vrcholem Ještědsko-kozákovského hřbetu, který se táhne od Jičina až k Hrádku nad Nisou, kde je trojmezí hranic s Německem a Polskem. Toto pohoří tvoří přírodní bariéru táhnoucí se podél jižního a západního okraje Liberce a výrazně ovlivňuje počasí na tomto území.

## 2.3 Historie stavby

### 2.3.1 Vybudování areálu Ještěd

Skokanské můstky na Ještědu byly vybudovány v 70. letech 20. století. K nim vede zmiňovaná *Televizní cesta*.

První lanovka spojující město Liberec s vrcholem Ještěd, kde již stál kamenný horský hotel, vystavěný českými turisty, byla vybudována v roce 1933. [10] V současné době trať této kabinkové lanové dráhy kříží vzdušně *Televizní cestu* přímo nad tunelem. V průběhu času se kolem skokanského areálu začaly tvořit vykácením okolních jehličnatých lesů první sjezdové tratě. První lyžařská oblast se zde začala rozvíjet okolo nedaleké Šámalovy chaty, která patřila většinu času Klubu československých turistů. Již na přelomu 19. a 20. století zde probíhaly závody ve sjezdu i běhu na lyžích a skocích na můstcích. V průběhu 20. století se areál různě formoval. Vznikaly a zanikaly sjezdovky, stejně tak i jednoduché lyžařské vleky. V blízkosti postavena bobová dráha, která již ale zanikla Zbyly po ni jen betonové pilíře v lese.

### 2.3.2 Tragická nehoda

V únoru 2005 se stala v areálu smrtelná nehoda. Došlo zde ke srážce mladé lyžařky s osobním automobilem. Nehoda se udála na *Televizní cestě* právě v místě, kde komunikace kříží sjezdovou trať. V té době zde nebylo řešeno mimoúrovňové křížení. Byla to pouze technická cesta, zabezpečena závorou a značkou zákazu vjezdu. Jezdit po ni směla pouze obsluha areálu.

V důsledku této tragické události, začalo město hledat řešení této nebezpečné části areálu, které má ve správě. Výsledkem řešení bylo vybudování silničního pod-



jezdu *tubosider*, který byl zahrnut do komplexních příprav na mistrovství světa pořádané v Liberci roku 2009.

### 2.3.3 Pronajmutí areálu

V současnosti město Liberec, kterému lyžařský a skokanský areál patří, upřednostňuje pronajímání areálu soukromým lyžařským holdingům před vlastní správou. Od roku 2006 byl areál pronajat společnosti Snowhill, která ho měla spravovat po dobu 25 let. Nájemce měl platit městu roční nájem a procentuální podíl z každé prodané jízdenky. Společnost nakonec ale dohodu na 25 let vypověděla a v únoru roku 2009 byl areál navrácen městu.

Snowhill v oblasti provedl značné investice. V rámci nich byly vybudovány další sedačkové lanovky a veky. Jeden z těchto vleků typu dvoukotva vede nad zaměřovaným tunelem podél lyžařské sjezdovky F10. Přímo u násypu mostu je umístěna konečná stanice s budkou pro obsluhu a sloupem s vratným kolem kotvy. To značně omezuje možnosti zásahu to stávající stavby tunelu. Nelze odtěžit celá masa zeminy ani tunel strhnout a znovu postavit. Proto se hledají alternativní řešení pro zajištění stability *tubosideru*.

### 2.3.4 Odtěžení části zeminy

V roce 2015 byla vizuálně odhalena konstrukční deformace *tubosideru*. Na žádost města, jako majitele objektu, za jehož stav a rizika odpovídá, bylo zahájeno geodetické zaměření tunelu. Preventivně byla situace řešena odtěžením zeminy nad jižní částí konstrukce. V tento rok bylo odvezeno téměř tisíc metrů krychlových zeminy, aby se snížilo zatížení tubusu. Zároveň sjezdovka dostala lepší profil pro zimní provoz. [11]

Tubus byl tehdy deformován po celé délce. Nejvíce průhyb dosahoval až 49 centimetrů v první třetině tunelu při vjezdu od skokanských můstků. Hrozilo tak, že se konstrukce zřítí. Oprava stála víc než 800 tisíc korun, problém ale nevyřešila. Podle geodetických měření ale deformace pokračovala. K největším deformacím dochází v zimním období, kdy na konstrukci *tubosideru* působí velká váha sněhu. V ostatních ročních obdobích se konstrukce vrací skoro do původní polohy.[12]

### 2.3.5 Současnost

Od března roku 2009, kdy z Ještědu firma Snowhill odešla, se město Liberec snažilo spravovat areál samo. Na podzim roku 2017 byl Ski areál Ještěd opět městem pronajat. Získal ho na 10 let holding Tatry Mountain Resorts, který má slovenské majitele. Firma chtěla areál původně na 25 let, ale byla domluvena pouze následná obce na

dalších 10 let. Aby mohlo k dohodě dojít, musel být areál, jako objekt pronájmu, provozuschopný. S tím souviselo i zajištění stability deformujícího se tunelu.

“Geodetická měření, která průběžně monitorují havarijní stav tubusu, ukázala, že deformace je na mezních hodnotách. Po konzultaci s odborníky na statiku a po prověření všech možností první fázi oprav. To znamená zajištění funkčnosti tubusu pro následující zimní období” (náměstek primátora pro technickou správu majetku města, Tomáš Kysela, říjen 2017)

Následně byla na oba konce tunelu nainstalovaná mříž s tabulkou zákazu vstupu. Také byl na sjezdovce v oblasti tunelu instalovaný mobilní kovový plot, aby nebylo ohroženo zdravý turistů, kteří hojně stoupají na Ještěd přes tunel pod lany kabinkové dráhy. Konstrukci *tubosideru* na podzim 2017 zpevnilo 56 hajcmanů<sup>3</sup> v části největší deformace. Po namontování vzpěr byl tunel opět otevřen k provozu. Instalace přišla město na 20 milionů korun. Magistrát chce mít ale stavbu stabilizovanou, aby mohlo dojít k předání areálu novému nájemci a aby problém nenarušil zahájení a průběh zimní sezóny. [11]

## 2.4 Zakázka monitoringu tunelu

Zakázku od města na geodetické sledování deformujícího se *tubosideru* získala liberecká projekční firma Valbek, spol. s r.o.. 14. 8. 2015 proběhla nultá etapa, označená 00, měření posunů a deformací objektu. V intervalu čtrnácti dní, bylo měření opakováno v etapách 01 a 02. Při porovnání posunů nulté etapy s nově naměřenými hodnotami nebyly zjištěny žádné významné posuny a deformace. Proto se přistoupilo na prodloužení intervalu sledování na jeden měsíc. Z důvodu časové náročnosti laserového skenování se od této původně zvolené metody upustilo. Pro zjištění potřebných posunů a deformací postačovala polární metoda. Protože byla změněna metoda zaměřování, zvolila se etapa 03 jako výchozí etapa pro srovnávání a vyhodnocování s následujícími etapami. Na jaře roku 2016 bylo sledování *tubosideru* na žádost města přerušeno.

Před zimou 2016 město opět žádalo sledování stavby. Obávalo se, že pokrývka sněhu by mohla narušit statiku konstrukce tubusu. Proto dne 31. 10. 2016 proběhla etapa 11. Další následovaly vždy s měsíčním intervalem až do současnosti. Objekt je nadále sledován.

### 2.4.1 Valbek Liberec

Firma Valbek, spol. s r.o., která má mimo jiné své působící středisko v Liberci, je projektová kancelář se zaměřením na projektování pozemních komunikací, mostů,

---

<sup>3</sup>Ocelová výztuž k zajištění podzemních staveb a důlních štol.

tunelů, kolejové dopravy, vodohospodářských staveb, pozemních staveb. Dále se zaměřuje na vizualizace, inženýring, geodézii, posuzování vlivu staveb na životní prostředí a dopravní inženýrství. V České republice má tři pobočky – v Liberci, v Ústí nad Labem a v Plzni. Byla založena roku 1990. Společnost Valbek, spol. s r.o. spadá pod koncern VALBEK-EU, a.s. se sídlem též v Liberci. Tento holding pod sebou zahrnuje nejen projekční kanceláře po České republice, ale také firmy na Slovensku nebo v Rusku. Více jak polovina zakázek společnosti se týká pozemních komunikací nebo kolejové dopravy. [13]

## 3 Geodetické zaměření

Dne 14. 8. 2015 proběhlo v Horním Hanychově ve Sportovním areálu Ještěd první geodetické zaměření deformujícího se *tubosideru* pro majitele areálu město Liberec. Tato etapa 00 zahrnovala vybudování sítě vztažných bodů okolo objektu. Samotný monitoring byl proveden metodami laserového skenování a polární metodou, které se navzájem doplňovaly. Výsledkem bylo grafické znázornění přetvoření celé konstrukce tunelu pro prezentaci obecného problému a lepší vizualizace problematkové situace.

### 3.1 Metody měření

#### 3.1.1 Polární metoda

Zaměřování bodů polární metodou bylo prováděno v každé měřené etapě od základní 00 až do zatím poslední 26. Touto metodou byly sledovány podrobné body v profilech, ze kterých se následně vyhodnocovaly jejich posuny. Každý bod byl zaměřen ve dvou polohách dalekohledu. Stanoviska pro měření byla volena v rovině profilu tak, aby v každém bylo vidět na všechny body profilu. Poloha a výška volných stanovisek byla spočtena metodou protínání zpět z bodů vztažné sítě 20154103 na severu a 20154104 na jihu vně tunelu.

U těchto bodů byla vždy před měřením ověřena jejich stabilita. Připojení volných stanovisek je pouze na dva body, z důvodu viditelnosti z tunelu. Při přidání dalších bodů ze vztažné sítě by byly další body pouze na přímce či by úly mezi nimi dosahovaly velmi malých hodnot, a tak by byly prakticky nevyužitelné.

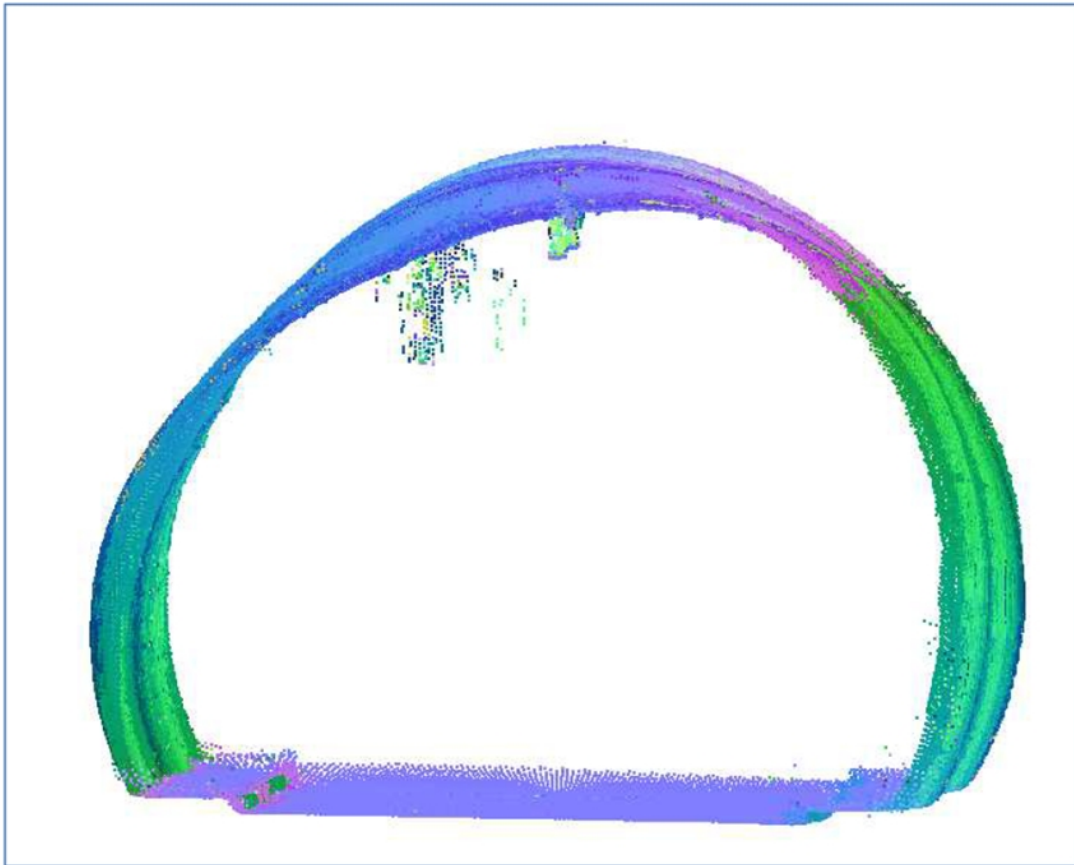
Touto metodou bylo možné sdělit nastalý posun od nulté etapy ihned na místě. Vytyčením bodu o souřadnicích z výchozí etapy, při cílení na střed šroubu, se dala z totální stanice vyčíst polohová a výšková změna.

#### 3.1.2 Laserové skenování

Metoda laserového skenování je vhodná pro získání velkého množství dat. Využívá se například u objektů, které mají velmi nemonolitickou strukturu, například fasády historických budov. Dále se dají z výsledků skenování jednoduše tvořit trojrozměrné modely, které následně slouží k efektnímu prezentování výsledků.

Samotná metoda laserového skenování je ale časově náročná. Nejen na místě měření, kdy se musí počkat, než přístroj naskenuje tisíce bodů, ale také nemálo času zabere čišění a zpracovávání mračna bodů v kanceláři. Proto je potřeba vždy zvážit, zda se tato metoda na danou problematiku hodí. U monitoringu *tubosideru* bylo od této metody po etapě 02 upuštěno. Zaměřování sledovaných bodů polární

metodou bylo pro vyhodnocení posunů a deformací dostačující. Laserové zaměření stavby v nulté etapě (obrázek 3.1) bylo provedeno a použito pro lepší zobrazení nastalé deformace a vyhodnocení závažnosti situace.



Obr. 3.1: Model tubusu z laserového skenování [14]

### 3.1.3 Technologie GNSS

Zjišťování polohy a výšky bodů metodou globálních navigačních satelitních systémů (GNSS) se v posledních letech široce rozšířilo. Tento postup měření má řadu nesmírných výhod, ale obnáší i některá úskalí.

Spolehlivost naměřených hodnot se odvíjí od mnoha faktorů. Na atmosférických podmínkách, na poloze satelitů na obloze a dalších. Pro odstranění těchto problémů a odhalení potenciálních chyb je potřeba provádět minimálně 2 měření s hodinovým rozestupem. Ten zajistí změnu podmínek pro měření. Při dodržení předepsaného postupu pro měření jsme schopni dosáhnout přesnosti okolo 2-3 cm v poloze a do 5 cm ve výšce. U měření pomocí technologie GNSS se v dnešní době dokážeme dostat

maximální dosahovanou přesnost v určení relativní horizontální polohy statickou metodou na 1 – 3 mm. Přesnost se výrazně odvíjí na distanci od antény k referenční stanici a času přijímání signálů z družic.

Služby a možnosti GNSS se rozvíjí mimo jiné i na státní úrovni, protože tento systém měření postupně přebírá mnoho úloh. Nelze ji však použít na vše a jiné metody ve specifických prostorech dosahují nesrovnatelně vyšší přesnosti. V České republice se buduje již od roku 2005 síť Sítě permanentních stanic České republiky (CZEPOS), která má dosah po celém státě a nabízí stále přesnější možnosti určování. Díky této síti lze zjišťovat i krátkodobé posuny a přetvoření v reálném čase využitím technologie Real time kinematic (RTK). Touto metodou lze za krátký čas evidovat změny polohy s přesností dosahující 1 – 1,5 cm.

Měření pomocí GNSS má obrovskou výhodu v tom, že měřicí anténu, lze umístit na neomezenou dobu na sledovanou konstrukci. V takovém případě není vůbec potřeba lidská obsluha a data se dají snímat nepřetržitě. GNSS se ale nedá využít všude. Podmínka nutnosti viditelnosti dostatečného množství satelitů se dá ne vždy na všech místech splnit. Problém nastává v husté městské zástavbě, kdy dochází k odstínění některých satelitů vysokými budovami a sekundárním odrazem signálu<sup>1</sup> nebo v podzemních prostorech. Právě *tubosider*, který je pod několikametrovou vrstvou zeminy, činí zde tuto metodu nepoužitelnou.

V rámci této zakázky bylo měření s pomocí globálních navigačních satelitních systémů (GNSS) použito jen při budování vztažné bodové sítě a měření vrstvy sněhu nad tubusem.

### 3.1.4 Trigonometrické výškové měření

Svislé posuny, které jsou měřeny touto metodou, jsou zjišťovány principem opakovaného zaměřování svislých úhlů  $\alpha$  a měření délek  $L$  z fixních míst jako jsou například pilíře, které zajišťují nucenou centraci stroje. U tohoto způsobu se uvažuje, že převýšení ani vzdálenost zaměřovaného bodu mezi oběma etapami od stanoviska je stále stejná. Z rozdílů vertikálních úhlů mezi jednotlivými měřeními získáme hodnotu svislého posunu. Princip ukázán na obrázku .

To, že se mezi etapami nezměnilo převýšení ani vzdálenost můžeme vzít jako fakt u záměr málo skloněných, kdy trigonometrické převýšení neprojevuje významnou změnu vzdálenosti. Také je nutné zajištění stejné výšky točné osy dalekohledu. U přesnějších měření posunů a deformací se při více skloněných záměrech musí počítat i se změnou horizontu přístroje, také i se změnou vodorovné délky dvou bodů. Vzhledem k tomu se musí zavádět korekce k svislému posunu.

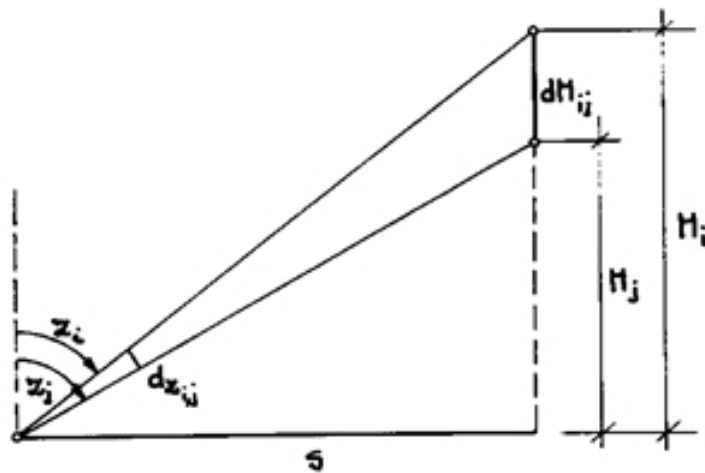
<sup>1</sup>V literatuře také uváděno jako vícecestné šíření signálu.

Trigonometrická výškové měření<sup>2</sup> nedosahuje nivelační přesnosti. Tato metoda se aplikuje na místech, kde nejsou ideální podmínky vhodné pro nivelaci. U délek záměr do 150 m lze dosáhnou přesnosti posunu trigonometrickou metodou až k půl milimetru.

Svislý posun a jeho střední chyba se spočítá z následujících vzorců.

$$dH_{i,j} = -s dz_{i,j}(1 + \cot g^2 z) \quad (3.1)$$

$$m_{dH_{i,j}}^2 = 2s^2(1 + \cot g^2 z)^2 m_z^2 \quad (3.2)$$



Obr. 3.2: Trigonometrické měření posunů [1]

Trigonometrická nivelace byla použita pouze na začátku celého měření v nulté etapě. Sloužila k určení výšek pevných bodů sítě v Bpv. Výškové zaměření bylo provedeno obousměrně a vztahovalo se k výšce bodu číslo 20154104.

## 3.2 Použité pomůcky a přesnost měření

Totální stanice pro terestrické metody a laserové skenování:

Multistanice Leica MS50, výrobní číslo: 370044 (Parametry přesnosti přístroje: úhlová přesnost  $m_\omega = 0,0006^g$ , délková přesnost  $m_d = 1mm + 1,5ppm$ , standardní odchylky dle výrobce podle ISO 17123-3 a ISO 17123-4)

Přijímací anténa pro měření pomocí GNSS:

Leica GS14, (výrobní číslo: 287 256 5)

Další využití pomůcky: dřevěný stativ Leica GST 120-9, stojan s výtyčkou Leica GLS11, odrazný hranol 360° GRZ4.

<sup>2</sup>Nazývané také trigonometrická nivelace.

### 3.2.1 Rozbor přesnost

Před začátkem každého geodetického měření nové zakázky je potřeba ověřit, zda přesnost přístroje zvoleného pro tuto činnost, je dostačující na přesnost zadanou zákazníkem. V případě této zakázky monitoringu *tubosideru* byla potřebná přesnost stanovena statikem stavby na 5 mm. Pokud tedy mezní odchylka posunu je  $\delta_p = 5mm$ , pak střední hodnota posunu je  $m_p = 2,5mm$ . Posun je rozdíl dvou měření. Měření z výchozí nulté etapy porovnané s aktuálním měřením. Proto ze zákona hromadění chyb lze spočítat potřebnou přesnost jednoho měření v jedné etapě vzorcem

$$m_0 = \frac{m_p}{\sqrt{2}} = 1,77mm. \quad (3.3)$$

Je tedy potřeba pro měření vybrat takový přístroj, aby dosáhl přesnosti  $m_0$ . Pro realizaci této zakázky byla zvolena firemní Multistanice Leica MS50. Ta má deklarovanou úhlovou přesnost  $m_\omega = 0,0006^g$  a délkovou přesnost  $m_d = 1mm + 1,5ppm$ .

Pro rozbor přesnosti můžeme posun bodu charakterizovat dvěma složkami. Délkovým posunem  $d$ , který nastane ve směru záměrné přímky dalekohledu a posunem k této přímce kolmém  $q$ .

Délkový posun je ve směru vyslaného paprsku dálkoměru, kde zjištěná délka má střední chybu  $m_d$ . V zaměřovaném tunelu nebyly délky záměr  $s$  na sledované body větší jak 10 m. Proto střední chyba těchto délek je

$$m_d = 1 + 1,5 * \frac{10}{1000} = 1,015mm < m_0 \quad (3.4)$$

Střední chyba příčného posunu  $q$  je ovlivněna střední úhlovou chybou  $m_\omega$ , která je dána přístrojem. Převodem podle následujícího vztahu získáme  $m_q$ .

$$m_q = \frac{m_\omega}{\rho} * s = 0,9mm < m_0 \quad (3.5)$$

Protože hodnoty  $m_d$  a  $m_q$  nepřekročily střední chybu jednoho měření  $m_0$ , lze zvolený přístroj Multistanice Leica MS50 pro měření použít.

Celková přesnost geodetického sledování *tubosideru* vychází z přesnosti použité techniky, zvolené metody měření, přístupnosti a tvaru ocelové konstrukce tunelu. S přihlédnutím k těmto faktorům a výsledkům ze zaměřených etap je stanovena přesnost hodnotou 5 mm v poloze a 5 mm ve výšce sledovaného bodu. Vzhledem k této přesnosti, je při zjištěné hodnotě změny větší jak 0,5 cm možné, považovat posun za prokázaný. [14]



### 3.3 Body vztažné soustavy

Pro zjištění posunů ne příliš složitých objektů a konstrukcí malé rozlohy je třeba v soustavě vztažných bodů mít nejméně dvě nadbytečné hodnoty. Pro měření rozsáhlejších objektů se vybudovává soustava geodetických bodů tvořící síť, která se následně vyrovnává. [3]

Pro zajištění porovnatelnosti výsledků průběžných geodetických zaměření byla vybudována síť pevných bodů. Přehledka na obrázku 3.3 V okolí *tubosideru* bylo stabilizováno celkem 8 bodů. Tyto body jsou umístěny mimo prostor a vliv stavby. Číslování těchto bodů je 20154101–20154108. Stabilizace pevných bodů je provedena v komunikaci ocelovým hřebem (u bodů 20154101–20154106) a na ocelových sloupech osvětlení odrazným štítkem (u bodů 20154107–20154108). Síť pevných bodů byla v základní (nulté) etapě zaměřena a poté bylo provedeno její vyrovnání. Vztažné body se souřadnicemi v Systému jednotné trigonometrické sítě katastrální (S-JTSK) byly určeny metodou GNSS s využitím služby CZEPOS. Síť pevných bodů nebyla při měření a výpočtu redukována do zobrazení. Výškové zaměření bylo provedeno obousměrnou trigonometrickou nivelací a vztaženo k výšce bodu číslo 20154104, tak aby byla zaručena přesnost a homogenita mezi body. Výšky vztažných bodů jsou určeny ve státním závazném výškovém systému Balt po vyrovnání (Bpv). [14]

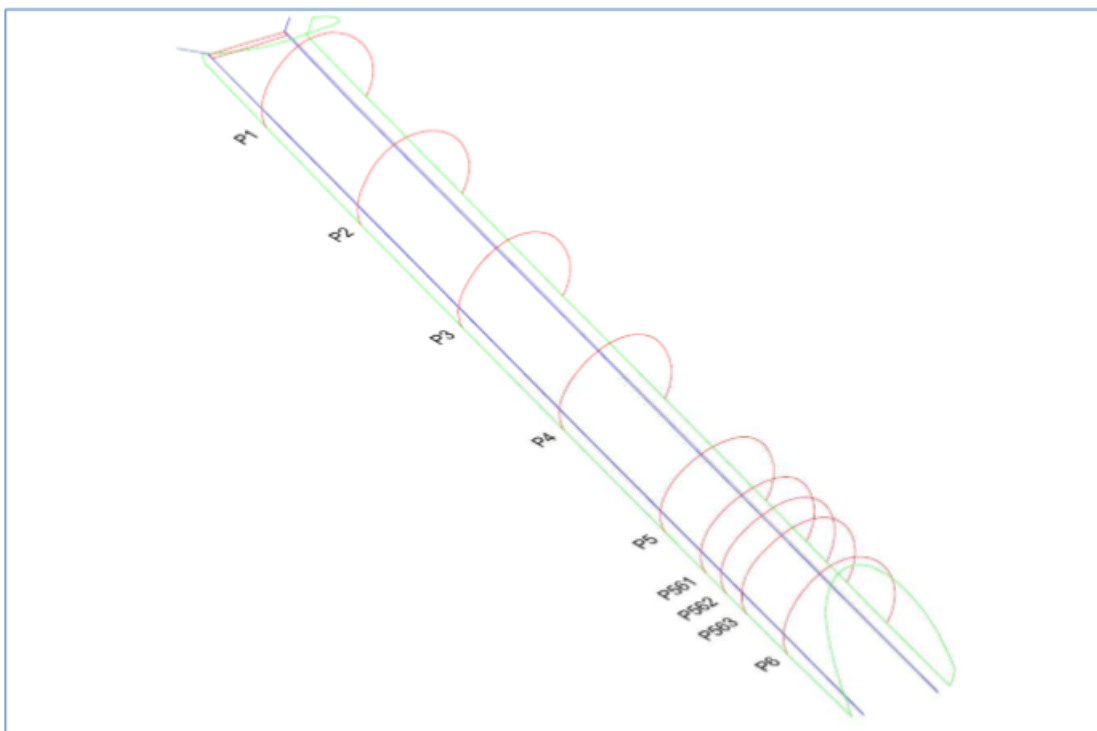
Ke každému bodu ze vztažné sítě byly v rámci práce vyhotoveny geodetické údaje. Ty naleznete v elektronické podobě na příložením CD - příloha C.



Obr. 3.3: Přehledka rozložení vztažných bodů [14]

### 3.4 Volba profilů

Pro dobrou interpretaci výsledků byly v *tubosideru* body k pozorování stanoveny ve zvolených profilech tunelu. Schéma na obrázku 3.4. Profily charakterizují průřezy tunelovým tělesem, které jsou ještě navíc v místě největší deformace zhuštěny. Zaměřuje se tedy celkem 9 profilů s označením P1 – P6. V inkriminovaném místě průhybu jsou změřeny mezi profily P5 a P6 navíc 3 profily s označením P561, P562 a P563. V každém z těchto 9 profilů bylo stanoveno 10 až 13 bodů ke sledování posunů a deformací.



Obr. 3.4: Znázornění profilů [14]

### 3.5 Pozorované body

Podle ČSN 73 0405 by se měly pozorované body signalizovat měřickou značkou vhodného tvaru – obvykle to bývá realizováno cílovými terčičky ve tvaru černobílých mezikruží, anebo soustředných kroužků různého poloměru. V tomto případě se ale za pozorované body v jednotlivých profilech tunelu zvolily šrouby, kterými jsou plechy, tvořící konstrukci *tubosideru*, spojeny k sobě. Fotografie šroubu 3.5.

Tyto šrouby ideálně nahradily potřebu osadit sledovaný tunel měřickými značkami. To by bylo velice nákladné a problematické, protože by to vyžadovalo dopravení zvedací plošiny až na místo do objektu. Jejich průměr dvou centimetrů se dal dobře použít jako náhrada za cílový terčik pro zamíření na střed šroubu.

Jelikož v samotném tunelu je tma, bylo nutné na zaměřované body cílit laserovou stopou totální stanice. Už ta samotná vytváří na šroubu čtyřúhelník o velikosti několika milimetrů. K přesnějšímu nasměrování se použila ještě ruční svítilna.

Každý bod byl zaměřen ve dvou polohách dalekohledu. Volná stanoviska byla určena protínáním zpět z bodů vztažné sítě. Každému pozorovanému bodu byly tedy určeny souřadnice v S-JTSK a výšky v systému Bpv v každé etapě měření.

V rámci měření se zaznamenávaly atmosférické podmínky jako je teplota vzduchu v tunelu a na povrchu a atmosférický tlak vzduchu. Teplota bývá v *tubosideru*

v průběhu měření stálá. Při monitoringu se zavádějí atmosférické korekce. Pro měření byl vždy použit přístroj GTD 1100 (výrobce Greisinger electronic GmbH).



Obr. 3.5: Zaměřovaný šroub montované konstrukce [autor]

### 3.5.1 Poškozené body

Po uzavření tunelu v roce 2017 kvůli jeho havarijnímu stavu se přistoupilo k realizaci jeho stabilizace. Aby se *tubosider* nezřítil, byly uvnitř tělesa namontovány ocelové podpírající konstrukce. Těchto 56 žebér tunel zajistilo a opět umožnilo průjezd aut kvůli zásobování a obsluze areálu. Také byl odstraněn kovový plot, který zabraňoval turistům, vypravovat se na vrchol Ještědu přímo pod lany kabinkové dráhy.

Tento zásah, který byl proveden na půlce celého tunelu však zakryl některé šrouby, které sloužily právě ke geodetickému monitorování stavby. Proto bylo na těchto zakrytých šroubech sledování ukončeno po namontování žebroví. Od ledna 2018, kdy už bylo jisté, že zakázka bude pokračovat, byly sledované body v profilech doplněny novými body sledování, které nahradily ty zaniklé z podzimu 2017.

Ty už ale nejsou součástí této práce, protože prozatím nemají žádnou vypovídající hodnotu posunů a deformací.

### 3.6 Vliv vnějších podmínek

V zimním období byl také vznesen od města požadavek, na zjištění mocnosti sněhu, který leží nad deformujícím se tunelem. Protože nad tunelem vede lyžařská sjezdovka F 10, často zde dochází k úpravám sněhové masy pomocí rolby. (obrázek 3.6) Proto, pokud byl nad *tubosiderem* sníh, probíhalo v rámci každé etapy i zjištění jeho mocnosti. Při měření byly vytyčovány body na terénu v místech profilů. Nad každým profilem 3 body. Jeden nad nejvyšším místem profilu a dva po stranách.

Výšky těchto bodů byly nejprve určeny bez sněhu jako výchozí etapa. Tyto body byly pak v každé další etapě vytyčeny a následně zaměřeny. Z rozdílů výšek se pak dala zjistit výška sněhové pokrývky.

Protože je sníh na lyžařské sjezdovce stejně nestálý jako nezpevněný terén, byla výška sněhové pokrývky měřena na decimetry. To umožňovalo měřit využitím technologie GNSS pouze jednou za etapu.

V etapách, které probíhaly v jarních měsících bylo také na konstrukci pozorováno prosakování vody. Ta nejspíše vznikala táním sněhu nad *tubosiderem*. Tento průsak byl v oblasti profilů P562 a P563. Tato skutečnost naznačuje, že geomembrána je v tomto místě poškozena. Voda, která se zde hromadí, může mít po zamrznutí za následek další posun a deformaci již značně poškozeného tunelu.



Obr. 3.6: Masa sněhu působící na tunel [14]

## 4 Zpracování dat

Podle normy výpočty výsledků a přetvoření sledovaných bodů musí proběhnout ihned po měření. Pakliže se při výpočtech detekují nestandardní hodnoty posunů, uvědomí o tom pracovník odpovědný za měření ihned investora a dodavatele stavby nebo uživatele či majitele objektu. [3]

Po naměření dat v terénu následovalo po každé etapě, v ten den nebo den následující, zpracování zjištěných dat. To obnášelo export zápisníku z paměti totální stanice do stolního počítače. Z tohoto zápisníku jsme získali souřadnice sledovaných bodů v S-JTSK, které se zaznamenaly při kontrolním zaměření v tunelu.

### 4.1 Transformace

Souřadnice pozorovaných bodů v S-JTSK byly po každé etapě transformovány do místní souřadnicové soustavy. Ta má jednu osu vedenou v ose tunelu a druhou osu na ni kolmou v rovině silnice procházející tunelem. Byla užitá shodnostní transformace. Transformační klíč je pak uložen na přiloženém CD. Transformace bodů proběhla při výpočtech v programu Groma. Naměřené výšky, které jsou v jiném systému transformovány nebyly.

Díky transformaci souřadnic polohy bodů do místní souřadnicové soustavy je možné lépe vyhodnocovat nastalé posuny a deformace.

### 4.2 Tabulka s posuny a grafy

Hodnoty všech etap jsou zaneseny do přehledných tabulek. Pro každý profil sloužící jedna. V tabulce je pak každý sledovaný bod charakterizován trojřádkem, který obsahuje hodnoty transformovaných souřadnic a naměřené výšky.

Bod, který je v profilu umístěn nejvýše, tedy na něj působí největší deformační síly, je v tabulce ještě navíc zvýrazněn.

Ukázka části jedné tabulky v příloze B. Celý soubor s tabulkou je pak přiložen na CD.

Z bodu, který je v každém profilu umístěn nejvýše, tedy na něj působí největší deformační síly, je vytvořen graf (příloha B), který znázorňuje posun bodu v osách tunelu X, Y a H. Osa X je vedena v ose tunelu, osa Y je na ni kolmá v rovině silnice. Osa H charakterizuje výškový posun bodu.

Osy grafu tvoří míra posunu a časová osa. Posuny mohou dosahovat jak kladných, tak i záporných hodnot. Tyto posuny jsou vztaženy k nulté etapě. Posuny jsou uváděny v milimetrech. Pokud hodnota posunu překročí stanovenou mez  $\pm 0,5$  cm, je tato hodnota považována za prokázanou. Osa s posuny je u každého profilu různá,

podle míry výkyvu naměřených odchylek. Proto nelze grafy porovnávat mezi sebou absolutně.

Vodorovná osa charakterizuje časový průběh měření. Pro snazší znázornění vlivu okolních podmínek na stav *tubosideru* jsou etapy nazývány počátečními dvěma písmeny daného měsíce a příslušný rok. Etapy v období od května 2016 až do září 2016 a květen 2017 nebyly měřené. Proto je nutné při čtení grafu brát toto v potaz, kvůli návaznosti jednotlivých etap na sebe.

Od října 2017 byla do části *tubosideru* namontovány ocelové hajcmany. Období je v grafu naznačeno nazelenalou plochou.

### 4.3 Předání výsledků

Takto souhrnně zpracovaná data se za určité období, či podle požadavku objednatele zakázky města Liberec, předávají pověřené osobě magistrátu. Tato geodetická zpráva následně putuje ke statikovi stavby, který na základě naměřených výsledků rozhodne o dalším osudu stavby.

Geodetická dokumentace ocelové konstrukce *tubosideru* je pouze jednou ze složek prováděnou při komplexním vyhodnocování stavu stavby. Má za úkol poskytnout dílčí data pro posouzení celkového stavu a chování tunelu za sledované období.

V archívu firmy Valbek, spol. s r.o. je uložena geodetická dokumentace ze zaměření jednotlivých etap.

## 5 Závěr

Výsledkem této bakalářské práce je tabulka se všemi naměřenými posuny. Tyto výsledky se pak odevzdávají statikovi, který posoudí závažnost problému a navrhne další opatření a řešení. Pro zákazníka měření, magistrát statutárního města Liberec, byly vytvořeny přehledné grafy, které ukazují pohyb nejvýše sledovaného bodu profilu v osách tunelu a ve výšce tunelu. Grafy jsou v přílohách popsány dle jednotlivých profilů.

Na grafech je patrné, že v období zimních měsíců, kdy je nad *tubosiderem* snůh a probíhá lyžařská sezóna, jsou poklesy na stropní konstrukci tunelu nejvíce patrné. Dosahují hodnot až 2,5 cm. Nejkritičtější jsou profily P562 a P563, které následně také ovlivňují změnu deformaci profilu P6 ve směru kolmém na osu tunelu směrem od svahu kopce.

Po namontování vnitřních ocelových hajcmanů do tunelu byl objekt opět otevřen. Geodetické sledování po provedení tohoto opatření probíhalo nadále. Zatím ale z výsledků není zřejmé, zda se posun zastavil. Za etapy říjen 2017 - prosinec 2017, které jsou ještě zaneseny do vyhodnocovaného období této práce, se zejména pokles ve výšce tunelu nezastavil. Odůvodnění tohoto jevu je nejspíše dosednutí a přizpůsobení pružné konstrukce na přimontované vzpěry. Je tedy nutné dále objekt sledovat.



# Literatura

- [1] ŠVÁBENSKÝ, Otakar, Alexej VITALU a Jiří BUREŠ. *Inženýrská geodézie I: geodézie ve stavebnictví* Brno: Vysoké učení technické, 2006.
- [2] BUDAY, Michal Meranie posunu a pretvorenie železničného objektu: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav Geodézie, 2012/2013. 72 s. Vedoucí práce byl prof. Ing. Otakar Švábenský, CSc.
- [3] ČSN 73 0405 (730405) N Měření posunů stavebních objektů. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1986
- [4] NOVÁK, Zdeněk a Pavel HÁNEK. *Geodézie v podzemních prostorách*. Praha: ČVUT, 1995, 117 s. ISBN 8001012557
- [5] HÁNEK, Pavel. *Stavební geodézie*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007, 133 s. ISBN 978-80-01-03707-2.
- [6] KALOVÁ, Ilona a Karel HORÁK. Optické metody měření 3D objektů: Metody optické interferometrie [online]. Ústav automatizace a měřicí techniky: Vysoké učení technické v Brně - Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/05023/index.html#kap2.2>
- [7] Viacon ČR s.r.o. [online]. [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <http://www.viacon.cz/o-firme>.
- [8] ŠANA, Marek. Ocelová přesypaná konstrukce. Silnice Železnice [online]. 25.5.2016 [cit. 2018-02-28].
- [9] Polyetylen s vysokou hustotou [online]. [cit. 2018-02-28]. Dostupné z: <http://tiefziehen.com/cz/HDPE/>.
- [10] Ski areál Ještěd [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.skijested.cz/>
- [11] VRABEC, Luboš. Město opravuje tunel na Ještědu. Deformace už byla na mezních hodnotách. Česká Drbna [online]. Liberec, čtvrtek, 26. října 2017, 10:50 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: [https://www.libereckadrbna.cz/zpravy/spolecnost/12629-mesto\\_opravuje-tunel-na-jestedu-deformace-uz-byla-na-meznich-hodnotach.html](https://www.libereckadrbna.cz/zpravy/spolecnost/12629-mesto_opravuje-tunel-na-jestedu-deformace-uz-byla-na-meznich-hodnotach.html)

- [12] Tunel pod sjezdovkou na Ještědu je uzavřen. ČTK [online]. 20.09.2017 08:00 [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: [https://www.tyden.cz/rubriky/relax/cestovani/tunel-pod-sjezdovkou-na-jestedu-je-uzavren\\_446918.html](https://www.tyden.cz/rubriky/relax/cestovani/tunel-pod-sjezdovkou-na-jestedu-je-uzavren_446918.html)
- [13] VALBEK-EU, A. S. 23 Profil společnosti 2013: 23. rok našeho podnikání. Liberec, 2014, 23 s.
- [14] JARŮŠEK, Ladislav. Geodetická zpráva – Monitoring turbosideru. Liberec, 2017.

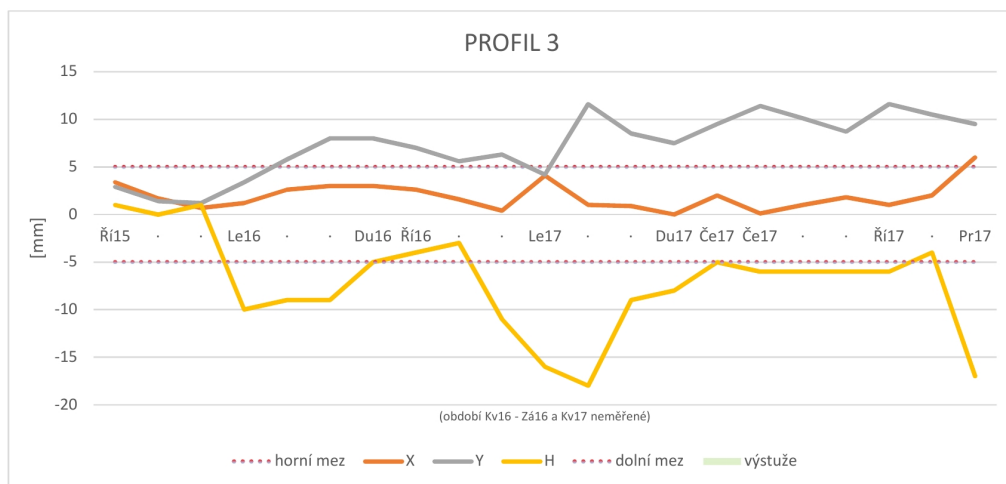
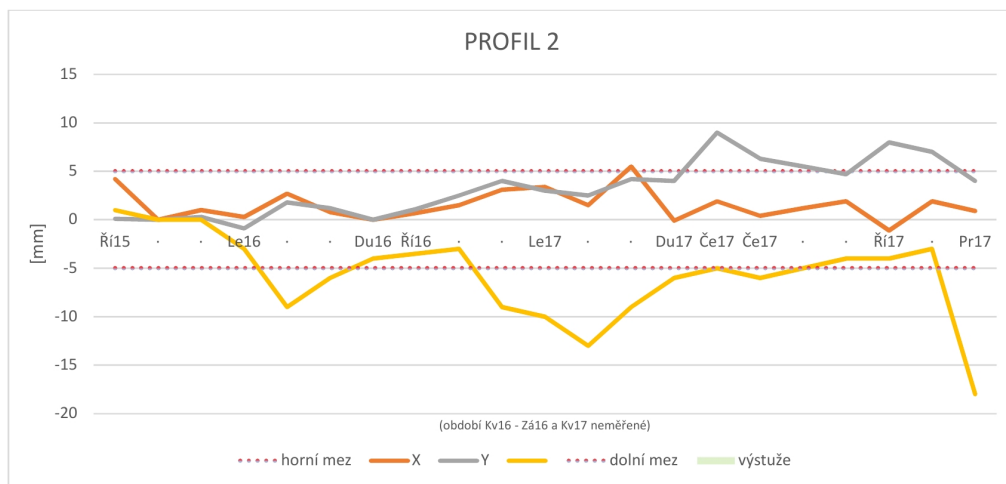
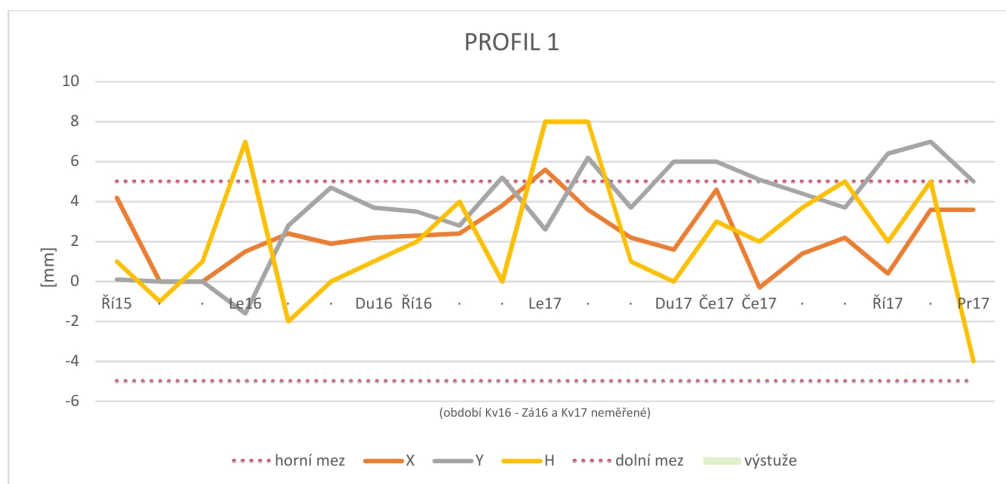
## Seznam symbolů, veličin a zkratek

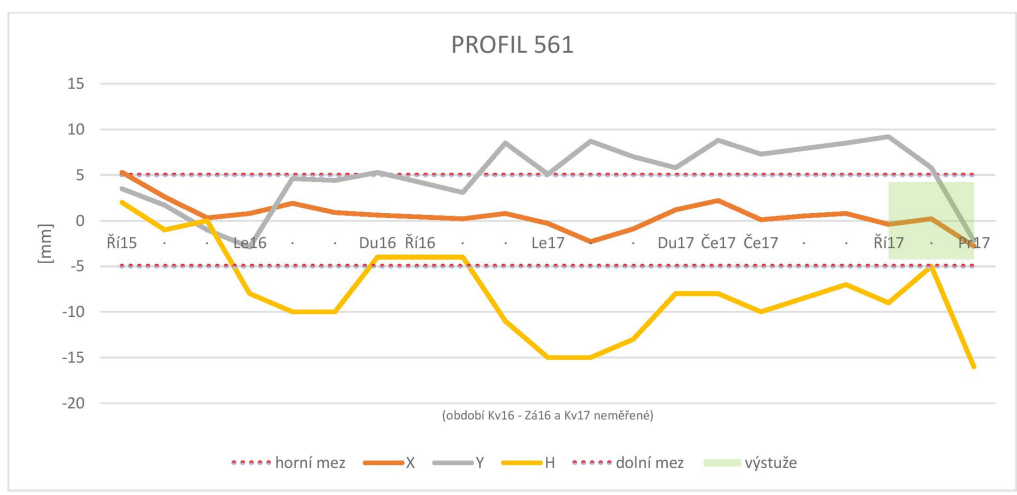
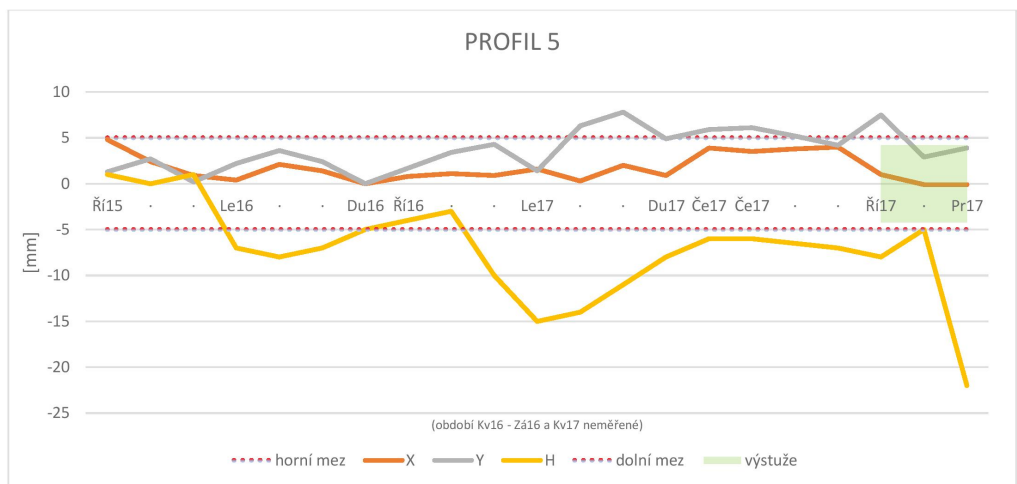
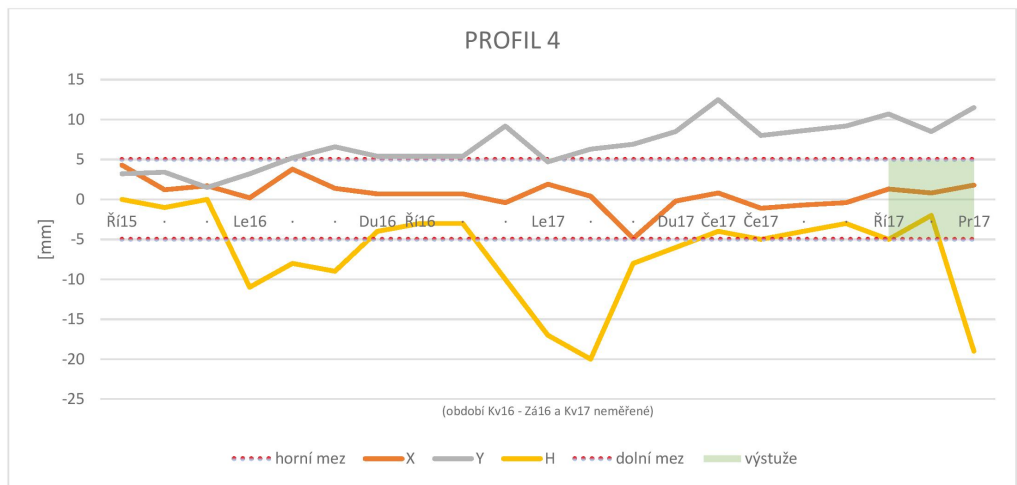
<b>ČSN</b>	česká státní norma
<b>HDPE</b>	Polyethylen s vysokou hustotou
<b>GNSS</b>	Globální navigační satelitní systémy
<b>CZEPOS</b>	Sít permanentních stanic České republiky
<b>RTK</b>	Real time kinematic Druh metody měření pomocí technologie GNSS. Rychlé získání informací o poloze s pomocí CZEPOS
<b>S-JTSK</b>	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
<b>Bpv</b>	Výškový systém Balt po vyrovnání

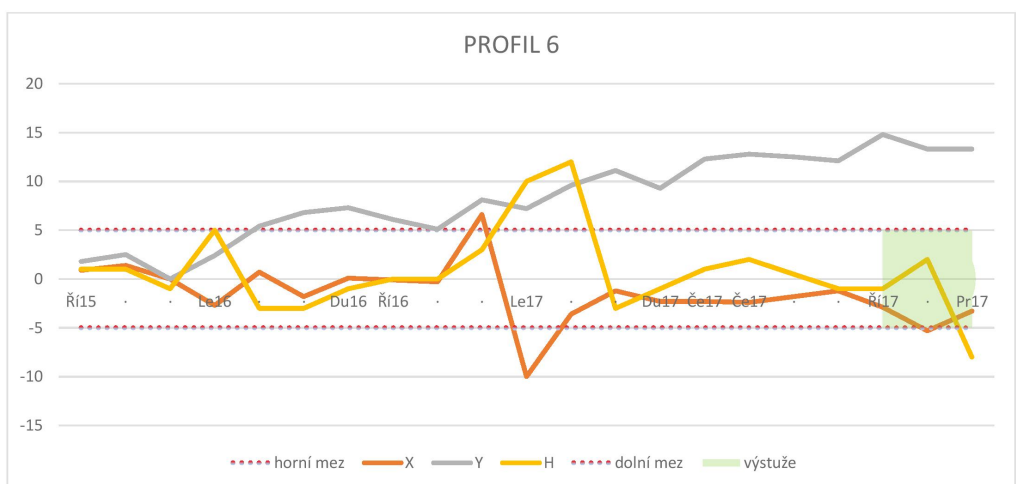
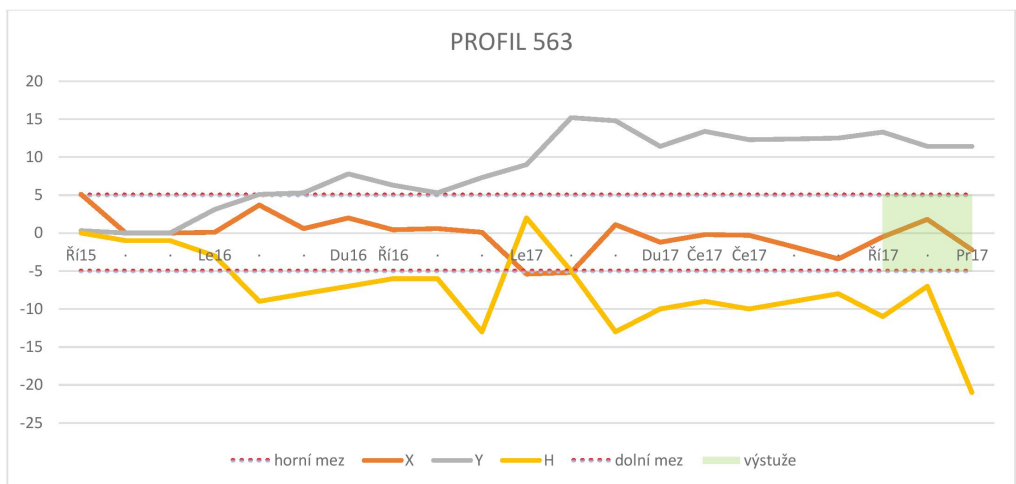
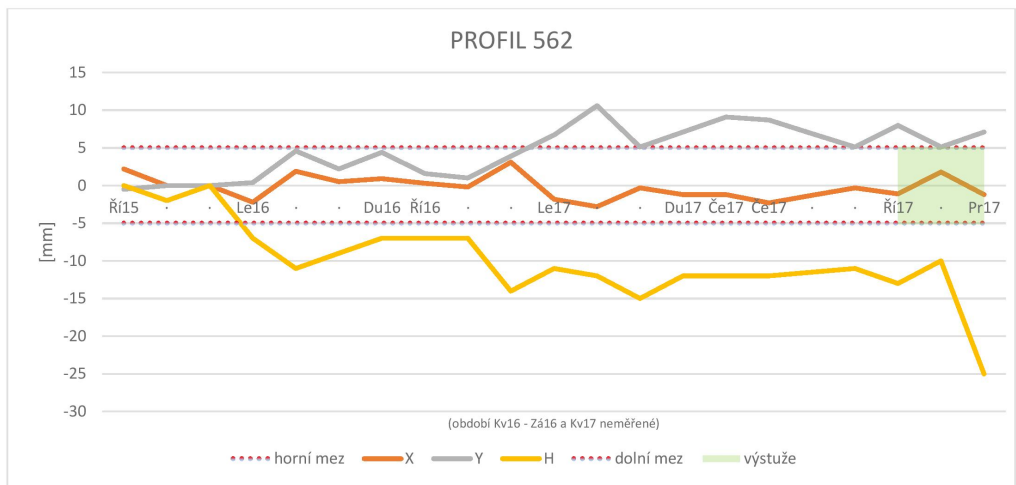
# Seznam příloh

A	Tabulky posunů	44
B	Ukázka tabulky zapisování dat	47
C	Obsah přiloženého CD	48

# A Tabulky posunů







## B Ukázka tabulky zapisování dat

PROFIL	Etapa 03		Etapa 04		Etapa 05		Etapa 06		Etapa 07		Etapa 08	
	13.10.2015	19.10.2015		2.11.2015		3.12.2015		6.1.2016		4.2.2016		
P001	Y	Y	Posun 04-03	Y	Posun 05-03	Y	Posun 06-03	Y	Posun 07-03	Y	Posun 08-03	
	X	X		X		X						
BOD	H	H		H		H		H		H		
	/m/	/m/	/mm/	/m/	/mm/	/m/	/mm/	/m/	/mm/	/m/	/mm/	
1	999,9925	999,9980	6	999,9926	0	999,9934	1	999,9923	0	999,9980	6	
	1000,0207	1000,0232	2	1000,0239	3	1000,0210	0	1000,0176	-3	1000,0232	2	
	687,4320	687,4330	1	687,4310	-1	687,4310	-1	687,4280	-4	687,4290	-3	
2	1000,0134	1000,0185	5	1000,0151	2	1000,0195	6	1000,0149	1	1000,0188	5	
	1000,4573	1000,4576	0	1000,4588	1	1000,4579	1	1000,4442	-13	1000,4566	-1	
	688,7360	688,7360	0	688,7360	0	688,7360	0	688,7320	-4	688,7320	-4	
3	1000,0393	1000,0444	5	1000,0390	0	1000,0446	5	1000,0412	2	1000,0466	7	
	1000,1235	1000,1238	0	1000,1244	1	1000,1228	-1	1000,1126	-11	1000,1234	0	
	690,5370	690,5380	1	690,5380	1	690,5380	1	690,5350	-2	690,5330	-4	
4	1000,0461	1000,0502	4	1000,0458	0	1000,0476	1	1000,0458	0	1000,0495	3	
	999,9140	999,9141	0	999,9150	1	999,9123	-2	999,9036	-10	999,9129	-1	
	690,9400	690,9420	2	690,9410	1	690,9420	2	690,9410	1	690,9390	-1	
5	1000,0583	1000,0637	5	1000,0593	1	1000,0605	2	1000,0601	2	1000,0624	4	
	999,3621	999,3615	-1	999,3624	0	999,3617	0	999,3554	-7	999,3622	0	
	691,6890	691,6910	2	691,6890	0	691,6900	1	691,6880	-1	691,6860	-3	
6	1000,0573	1000,0638	6	1000,0573	0	1000,0609	4	1000,0608	3	1000,0636	6	
	999,0283	999,0270	-1	999,0283	0	999,0262	-2	999,0231	-5	999,0280	0	
	692,0110	692,0120	1	692,0110	0	692,0120	1	692,0110	0	692,0070	-4	
7	1000,0712	1000,0770	6	1000,0712	0	1000,0724	1	1000,0741	3	1000,0756	4	
	998,2667	998,2682	1	998,2667	0	998,2659	-1	998,2674	1	998,2658	-1	
	692,5410	692,5410	0	692,5400	-1	692,5430	2	692,5420	1	692,5380	-3	
8	1000,0709	1000,0767	6	1000,0709	0	1000,0731	2	1000,0743	3	1000,0752	4	
	997,8419	997,8435	2	997,8419	0	997,8414	0	997,8407	-1	997,8451	3	
	692,7290	692,7300	1	692,7290	0	692,7310	2	692,7350	6	692,7270	-2	
9	1000,0714	1000,0756	4	1000,0714	0	1000,0714	0	1000,0729	1	1000,0738	2	
	996,4810	996,4811	0	996,4810	0	996,4810	0	996,4794	-2	996,4838	3	
	692,9420	692,9430	1	692,9410	-1	692,9430	1	692,9490	7	692,9400	-2	
10	1000,0605	1000,0641	4	1000,0616	1	1000,0631	3	1000,0622	2	1000,0665	6	
	995,1668	995,1688	2	995,1702	3	995,1685	2	995,1683	2	995,1715	5	
	692,5280	692,5280	0	692,5270	-1	692,5290	1	692,5310	3	692,5230	-5	
11	1000,0530	1000,0571	4	1000,0527	0	1000,0556	3	1000,0544	1	1000,0570	4	
	994,4118	994,4118	0	994,4127	1	994,4135	2	994,4142	2	994,4160	4	
	692,0010	692,0010	0	692,0000	-1	692,0030	2	692,0000	-1	691,9950	-6	
12	1000,0331	1000,0382	5	1000,0345	1	1000,0360	3	1000,0347	2	1000,0381	5	
	993,5374	993,5377	0	993,5398	2	993,5382	1	993,5430	6	993,5418	4	
	690,9250	690,9260	1	690,9240	-1	690,9250	0	690,9210	-4	690,9220	-3	
13	1000,0074	1000,0112	4	1000,0100	3	1000,0112	4	1000,0082	1	1000,0129	5	
	992,9380	992,9390	1	992,9397	2	992,9390	1	992,9465	9	992,9405	3	
	689,1910	689,1870	-4	689,1890	-2	689,1900	-1	689,1840	-7	689,1820	-9	

Obr. B.1: Ukázka znázornění naměřených dat do tabulky

Celý soubor s tabulkou pro všechny profily najdete na příloženém CD.



## C Obsah přiloženého CD

Na přiloženém CD je elektronická verze této práce. Dále disk obsahuje celou tabulku vyhodnocených posunů z naměřených hodnot ukázané v příloze B. Nahrán je i soubor, který sloužil k vytvoření grafů v příloze A. Dále na CD ve složce podklady jsou data, která v tištěné práci chybí. Jsou zde vypracovány geodetické údaje vztažné sítě, souřadnice těchto bodů, zápisníky z jednotlivých etap 18 - 24, na kterých jsem se osobně podílel a transformační klíč, který byl použit.

```
/
├── bakalářská práce Buchar 2018.pdf
├── LBT-PP-VP-00-24.xlsx..... tabulka naměřených dat
├── tvorba-grafu.xlsx..... soubor s vytvořenými grafy
├── podklady
│   ├── geodetické údaje
│   │   ├── GU.dgn
│   │   ├── GU1.pdf ..... body 20154101-20154103
│   │   ├── GU2.pdf ..... body 20154104-20154106
│   │   ├── GU3.pdf ..... body 20154107 a 20154108
│   │   └── body-site.txt ..... souřadnice bodů vztažné sítě
│   ├── zápisníky
│   │   ├── LBT0018z.txt
│   │   ├── LBT0019z.txt
│   │   ├── LBT0020z.txt
│   │   ├── LBT0021z.txt
│   │   ├── LBT0022z.txt
│   │   ├── LBT0023z.txt
│   │   └── LBT0024z.txt
│   └── LBT03-1370-6369.key ..... transformační klíč
```