



DLOUHODOBÉ SLEDOVÁNÍ DEFORMACÍ TUNELU

Ing. Zdeněk Veselý

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra Geomatiky
Praha, Kukelská 926/16, zdenek.vesely@fsv.cvut.cz

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce doc. Ing. Rudolfu Urbanovi, Ph.D. za jeho rady, připomínky a konzultace při této práci. Dále bych chtěl poděkovat firmě GEOPROGRES, spol. s r. o. za poskytnutá data a za pomoc s měřením Ing. Janu Šafářovi a Ing. Pavlu Kaválkovi.

ABSTRAKT

Práce se zabývá posouzením horizontálních a vertikálních posunů sledované části tunelů pražského metra linky A v mezistaničním úseku Muzeum – Můstek. Hlavní náplní práce bylo určení polohy pozorovaných bodů signalizovaných měřickými štítky a hřeby a vyhodnocení prostorových rozdílů mezi jednotlivými etapami měření. Poloha byla určována prostorovou polární metodou ve vlastním souřadnicovém systému a bylo měřeno 8 etap.

KLÍČOVÁ SLOVA

Pražské metro, tunel, horizontální posun, vertikální posun, prostorová polární metoda, totální stanice, mezní rozdíl.

ÚVOD

Monitoring posunů a přetvoření stavebních objektů nebo jejich částí je jedna ze základních, ale zároveň nejnáročnějších a nejsložitějších oblastí inženýrské geodézie. K posunům a deformacím dochází z mnoha různých důvodů. Na stavební objekty mají vliv vnitřní a vnější síly, které způsobují prozatímní nebo i trvalé změny. Příčinou sledování mohou být již existující stavby, u nichž v průběhu používání došlo k poruchám konstrukcí. Dalším důvodem monitoringu jsou stavební objekty, u kterých byly aplikovány nové nebo atypické konstrukce a v neposlední řadě jsou podnětem ke sledování objekty, které se nacházejí v blízkosti demolice starého nebo výstavby nového díla.

Předpokládané příčiny posunů a přetvoření jsou obvykle předem odhadovány a zaznamenány v projektu. Je však důležité zjistit skutečné hodnoty, které jsou vyhodnocovány z výsledků provedeného geodetického nebo jiného zaměření. V současné době se pro určení nejčastěji využívají standardní geodetické metody s použitím robotické totální stanice, metoda GNSS, velmi přesná nivelace, laserové skenování a digitální fotogrammetrie. Chování stavebních konstrukcí je ovlivňováno kromě působení vnějších a vnitřních sil i klimatickými podmínkami (např.: osvětlení, teplota a vlhkost). Tyto vlivy mohou mít krátkodobou (hodiny – týdny) ale i dlouhodobou (měsíce – roky) periodu. Proto je pro



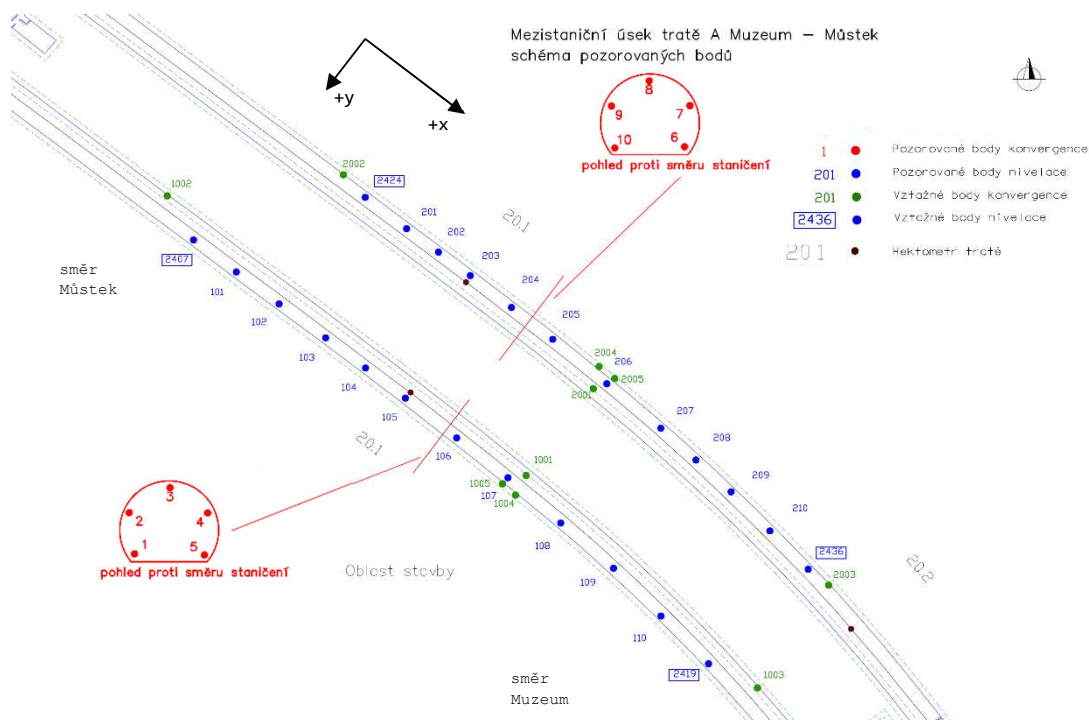
etapové sledování podstatné pokaždé měřit za stejných podmínek (což není v praxi vždy možné) nebo rozvrhnout etapové měření tak, aby bylo možné zachytit i tyto vlivy. [1] [2]

Tato práce se zabývá problematikou měření posunů u stávající stavby, v jejímž okolí je prováděna výstavba. Konkrétně se jedná o tunely pražského metra, nad kterými docházelo k demolici staré a stavbě nové budovy. Hlavní cíle práce jsou tedy posouzení velikosti posunů určené dvěma různými metodami (jednou stávající a jednou nově navrženou) a porovnání těchto postupů. Dílčí cíle jsou pak ověření přesnosti totální stanice a rozbory přesnosti před, při a po měření.

METODIKA URČENÍ POSUNŮ

METROPROJEKT Praha předpokládal, že by v zájmové oblasti tunelů mohlo docházet k již zmiňovaným změnám nadmořské výšky tunelů, tvaru tunelů a nivelety kolejí. Následně byl však vzat v úvahu závěr, že posuny mohou nastat pouze ve dvou směrech. První možný posun byl definován v příčném směru osy tunelů (později označovaný jako horizontální posun). Druhý pravděpodobný posun byl určen ve vertikálním směru (dále nazýván vertikální posun). Podélný posun v ose tunelů byl vzhledem ke konstrukci tunelu zamítnut.

Díky hypotéze, kde by mohlo u tunelů docházet k horizontálním a vertikálním posunům, byla v dané lokalitě (Obr. 1) stabilizována měřická stanoviště (body 1001 a 2001), identické body (body 1002-1005 a 2002-2005) a pozorované body (body 1-10, 101-110, 201-210, 2407, 2419, 2424 a 2436). Identické body byly stabilizovány měřickými štítky. Pozorované body byly rozděleny do dvou částí. Jedna část podrobných bodů (body 1-10) byla stabilizována pomocí měřických štítků v prstencích tunelů a druhá část bodů (body 101-110, 201-210, 2407, 2419, 2424 a 2436) byla stabilizována pomocí měřických hřebů v počvách tunelů.



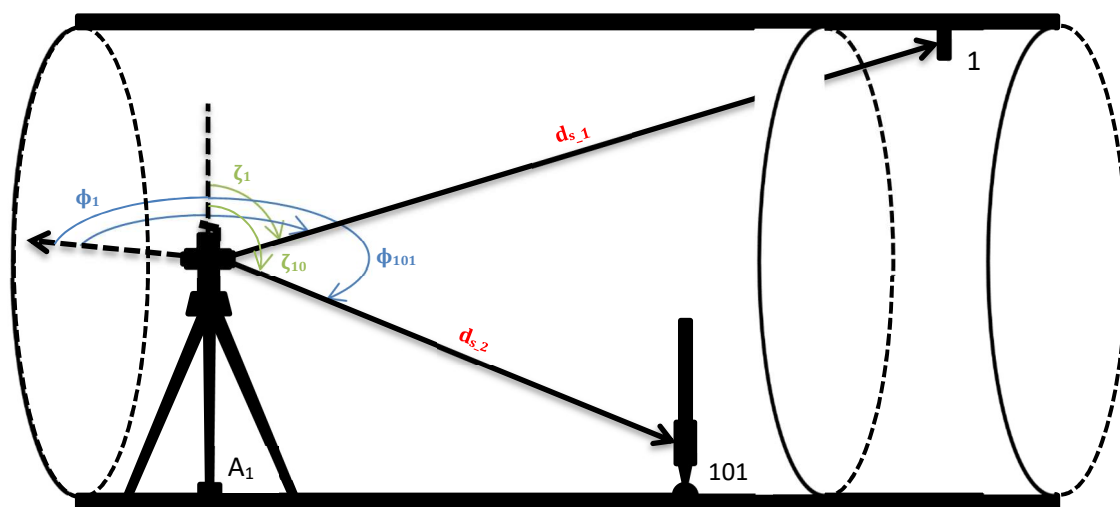
Obr. 1: Schéma identických a pozorovaných bodů v mezistaničním úseku (vlastní zdroj)



Pozorované body v prstencích tunelů (konvergenční body) byly zvoleny pro určení změny tvaru a nadmořské výšky tunelů. Proto byl u těchto bodů určován horizontální a vertikální posun. Důvodem stabilizace bodů v počvách (nivelační body) bylo určení změny výšky kolejnic. V tomto případě byl posuzován pouze vertikální posun.

Pro zakázku byl zvolen vlastní souřadnicový systém. Soustava byla definována tak, aby rovnoběžka s osou X procházela osou tunelu, a tedy osa Y byla rovnoběžná s pozorovanými body konvergenčních profilů (Obr. 1). Rovnoběžnosti bylo dosaženo záměrně, aby bylo možné z rozdílů y-nových souřadnic snadno určit horizontální posuny. Souřadnice identických bodů byly určeny z měření v 0. etapě. Pro výpočty v této diplomové práci byly souřadnice převzaty od firmy GEOPROGRES.

Při volbě, co nejefektivnější měřické metody pro detekování polohových posunů pozorovaných bodů, bylo důležité vzít v potaz několik faktorů. Důležitými kritérii pro hodnocení byly požadovaná přesnost určení pozorovaných bodů, přístrojové vybavení, prostor, ve kterém se mělo měření odehrávat, tvar měřické sítě a časový limit, za jaký bylo nutné měření dokončit. Zadavatelem definovaná přesnost určení polohy bodu byla stanovena na hodnotu 1 mm. Pro určování posunů byla dostupná totální stanice Trimble S9. Měření probíhalo v tunelech pražského metra v mezistaničním úseku tratě A Muzeum – Můstek. Tvar měřické sítě byl protáhlý a ovlivněn prostorovými možnostmi (viz. Obr. 1). Měření bylo možné vždy provádět v časovém rozmezí od 1:15 do 3:40. Po zvážení všech těchto faktorů byla za měřickou metodu vybrána prostorová polární metoda (Obr. 2), při které je měřen vodorovný směr φ , zenitový úhel ζ a šikmá vzdálenost d_s .



Obr. 2: Prostorová polární metoda (vlastní zdroj)

3) Měřické práce

Po vstupu do kolejiště a příchodu na místo měření, byla nejprve provedena rekognoskace stanoviště, identických a pozorovaných bodů. Když nebyl při rekognoskaci odhalen žádný problém, bylo zapotřebí určit polohu stanoviště. I přesto, že byla použita metoda volného stanoviště, bylo stanoviště v počvě stabilizováno měřickým hřebem, na který se stroj pečlivě zcentroval, zhorizontoval a postavil do výšky 1,6 m. Při tomto postupu dochází k podobným vlastnostem jako při boční stabilizaci.



Stanovisko bylo určeno za pomoci čtyř identických bodů v jedné měřické skupině a ve dvou polohách dalekohledu. Po dokončení určení volného stanoviska bylo překročeno k měření pozorovaných bodů. Veškeré sledované body byly opět měřeny v jedné skupině a v obou polohách dalekohledu. Při měření bodů konvergenčního profilu bylo nutné použít ruční cílení, jelikož byly stabilizovány měřickými štítky. U nivelačních bodů pak byla díky měřickému hranolu využita funkce totální stanice „autolock“.

Když bylo takto dokončeno měření v prvním tunelu, bylo měřické vybavení přesunuto do druhého tunelu. V něm byl celý postup opakován. Byla provedena rekognoskace. Stroj byl zcentrován, zhorizontován a postaven do výšky 1,6 m. Bylo určeno volné stanovisko a změřeny pozorované body konvergenčního profilu a nivelační body. Takovýto proces se opakoval v každé etapě.

2) Kancelářské práce

Po příchodu do kanceláře byla z paměti přístroje získána surová data. Zpracování naměřených dat bylo v této práci provedeno dvěma způsoby. Při prvním způsobu výpočtu bylo postupováno zjednodušeným způsobem prováděným firmou GEOPROGRES. Tento postup byl označen jako metoda redukovaných měřených dat (Metoda I). Druhý postup výpočtu byl nově navržený, odlišný a byl pojmenován metoda neredukovaných měřených dat (Metoda II). V první metodě bylo volné stanovisko počítáno pouze z vodorovných směrů a zenitových úhlů. Vstupními hodnotami pro určení souřadnic konvergenčních bodů byly vodorovné směry, zenitové úhly a šikmé délky převzaté z nulté etapy redukované o centrační změnu v ose X. Pouze pro výpočet nivelačních bodů byla použita přímo naměřená data. GEOPROGRES prováděl vyrovnání v programu Kokeš. V této práci byl ale pro totožný postup použit software EasyNET. V metodě II byla pro výpočty použita všechna naměřená data. K určení volného stanoviska, konvergenčních i nivelačních bodů byly vždy využity vodorovné směry, zenitové úhly a šikmé vzdálenosti. Žádné hodnoty nebyly redukovány a pro vyrovnání byl opět použit program EasyNET.

Určování a vyhodnocování horizontálních a vertikálních posunů už bylo opět u obou metod shodné. Horizontální posuny byly definovány rozdíly z y-ových souřadnic (Znaménko "+" znamená posun bodu vpravo, znaménko "-" znamená posun bodu vlevo ve směru tratě Můstek – Muzeum.) a vertikální posuny z difference z-ových souřadnic (Znaménko "+" znamená zdvih bodu, znaménko "-" znamená pokles bodu).

3) Výsledky

Výstupem práce bylo zhodnocení horizontálních a vertikálních posunů a jejich grafické znázornění. K posouzení byly využity horizontální a vertikální rozdíly mezi sedmou (poslední) a nultou měřenou etapou. U žádného z třiceti čtyř bodů nebyl horizontální ani vertikální rozdíl překročen a nebyla u nich prokázána nestabilita. Rozsah horizontálních posunů vůči nulté etapě byl v obou metodách od 0,1 mm do 0,8 mm. Velikost vertikálních posunů vůči nulté etapě byl v první metodě od 0,0 mm do 2,2 mm a v druhé metodě od 0,0 mm do 2,1 mm.



ZÁVĚR

Cílem této práce bylo etapové měření pozorovaných bodů v pražském metru linky A v mezistaničním úseku Muzeum – Můstek pro definování horizontálních a vertikálních posunů tunelů. Důvodem sledování zájmové oblasti byla demolice staré a stavba nové budovy nad tunely metra. Měření bylo prováděno z volného stanoviska prostorovou polární metodou pomocí robotické totální stanice Trimble S9. Dohromady bylo zaměřeno osm etap v době od 23. 1. 2018 do 8. 1. 2020. Monitoring byl po celou dobu prováděn firmou GEOPROGRES. Autor této práce byl přítomen u měření šesté a sedmé etapy, ale vyhodnocení provedl u všech samostatně. Zpracování bylo prováděno metodou redukovaných (metoda I) a neredukovaných (metoda II) měřených dat. Výstupní hodnoty z jednotlivých metod se lišily maximálně o 0,2 mm. U žádného z pozorovaných bodů nebyl horizontální ani vertikální rozdíl překročen a nebyla u nich prokázána nestabilita. Vzhledem k tomu, že budova nad tunely ještě nebyla dostavěna a mohlo by tedy ještě stále docházet k posunům, bylo vhodné v monitoringu pokračovat.

REFERENCE

- [1] Urban, R.: Geodetické práce při měření posunů a deformací stavebních objektů. Česká technika – nakladatelství, 1. vydání. Praha, 2015. ISBN 978-80-01-05786-5.
- [2] ČSN 73 0405: Měření posunů stavebních objektů. Český normalizační institut, Praha, 1997.