

REALIZACE VÝTAHŮ DO STANIC MŮSTEK A, B PRAŽSKÉHO METRA Z POHLEDU GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU

CONSTRUCTION OF LIFTS TO THE PRAGUE METRO STATION MŮSTEK A AND B FROM THE PERSPECTIVE OF GEOTECHNICAL MONITORING

Martin VINTER, Martin ČERMÁK¹

Abstract:

The capital city of Prague has been constantly adding accessed means of vertical transport to the existing metro stations – lifts. One of three projects started in 2014 and mostly carried out in 2015 was a system of lifts, corridors and a staircase to the Můstek Metro station where lines A and B intersect. Mining three shafts and tunnelling two perpendicular corridors below four collector tunnels, two sewers, above two Metro lines requiring keeping their existing tunnel lining segments open at full operation demanded a very high grade of monitoring of construction safety and affected surroundings. The tool used to obtain complete and sufficiently good results for monitoring and maintaining perfect safety during construction was ample instrumentation of the affected space by a broad range of sensors and different monitoring methods. All data were made available to authorized representatives of all partners on the SAHURE web information system.

Abstrakt:

Hlavní město Praha postupně doplňuje stanice stávajících tras metra bezbariérovými přístupy – výtahy. Jednou ze tří takových staveb zahájených v roce 2014 a převážně prováděných v roce 2015 byla i realizace systému výtahů, chodeb a schodiště do stanic Můstek na křížení tras A a B. Hloubení tří šachet a ražba dvou kolmých chodeb v prostoru pod čtyřmi kolektorovými tunely, dvěma kanalizačními stokami, nade dvěma trasami metra s nutností otevření jejich stávajícího ostění za plného provozu kladlo na sledování bezpečnosti budovaného díla i ovlivněného okolí mimořádné nároky. Prostředkem pro získání dat pro řízení a udržení bezpečnosti výstavby byla instrumentace dotčeného prostoru širokým spektrem snímačů a různých metodik monitoringu. Všechna data měli pověřeni zástupci k dispozici ve webovém informačním systému SAHURE.

1 ÚVOD - ÚČEL, UMÍSTĚNÍ A USPOŘÁDÁNÍ STAVBY

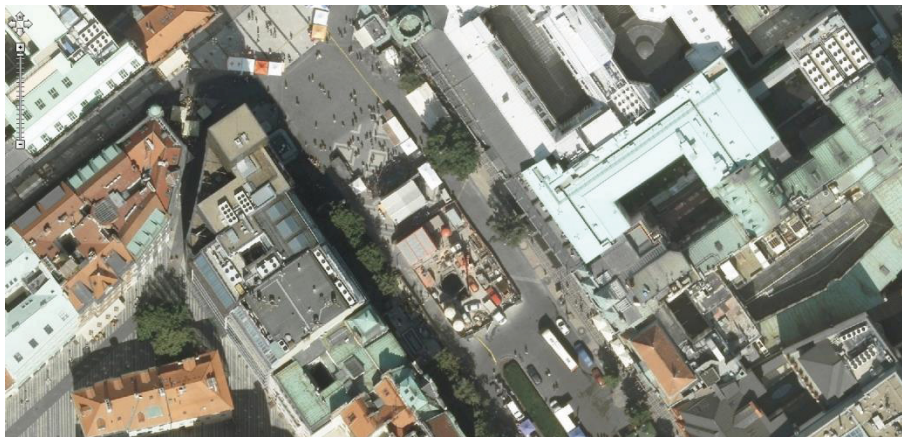
Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Můstek (Obr. 1) je nevelká, ale členitá podzemní liniová stavba (Obr. 2) s výrazným vertikálním rozměrem (Obr. 3). Jedná se o soustavu spojených objektů - kaskádu osobních výtahů s chodbami a schodištěm. Úroveň chodníku na severozápadní straně Václavského náměstí je dvěma osobními výtahy v šachtě Š1 propojena s novou podzemní přestupní chodbou. Chodba ve tvaru kříže je vedena v úrovni nad klenbami tunelů stanice „A“. Její příčná, dvakrát lomená větev, při realizaci označovaná jako F1, převádí cestující mezi výtahem v chodníku a prostorem ve středu náměstí, kde se kolmo kříží s větví chodby F2, situovanou podélně nad osou nástupiště. Vlevo vede větev F2 směrem k Můstku k šachtě Š3 s druhým stupněm výtahové kaskády zajišťujícím spojení

¹ Vinter Martin, Ing., Čermák Martin, Ing., INSET s.r.o., Lucemburská 7, Praha 3, +420 606641114, vinter.martin@inset.com, +420 606711966, cermak.martin@inset.com

s nástupištěm „A“ a nejnižší úrovní stanice „B“ s výstupem a nástupem v propojovací chodbě mezi oběma stanicemi. Vpravo od křížení F1 a F2 přístupní chodby výtahů, směrem k Muzeu, je zřízen velký otvor v klenbě stanice a v něm zbudováno bezpečnostní a únikové tříramenné schodiště na nástupiště „A“. Jako hlavní logistická trasa pro spojení podzemní stavby s povrchem sloužila dočasná těžní šachta Š2 umístěná nad chodbou F1 mezi Š1 a křížením. Vystrojení chodeb bylo prováděno rámy typu Bretex, ocelovými sítěmi a stříkaným betonem aplikovaným jako primární ostění. Zadávací dokumentace předpokládala kombinaci mechanizovaného rozpojování horniny s trhacími pracemi, které však stavební úřad nepovolil.

Návrh i realizace popisovaného stavebního díla se vyznačoval několika dalšími specifickými rysy:

- umístění a uspořádání dílčích částí stavby muselo respektovat prostorovou polohu stávajících podzemních objektů – tří kolektorů a dvojice kanalizačních stok,
- zkušenosti a poznatky získané při budování předešlých podzemních děl v místě nebo blízkosti realizace, tj. podchodů, obou tras metra i kolektorů znamenaly výjimečně dobré znalosti komplikovaného prostředí plánovaných ražeb [1],
- rozsáhlá předchozí činnost v podzemí na místě díla znamená značné vyčerpání statické i dynamické odolnosti ovlivněných objektů,
- výjimečné je vedení nové chodby podélně na temeni stávajícího staničního tubusu i otevírání rozměrného prostupu pro nové schodiště na nástupiště „A“ stávajícím litinovým ostěním,
- všechny práce byly prováděny za provozu obou dotčených linek metra.

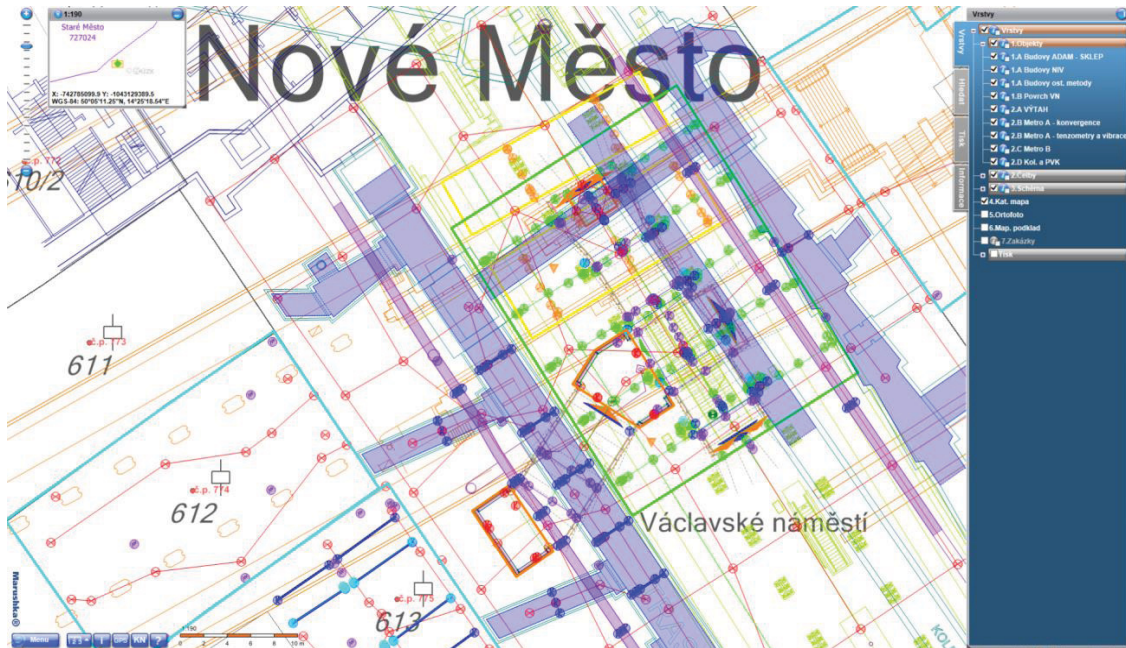


Obr. 1 Václavské náměstí se zařízením staveniště a těžní jámou uprostřed (2015)

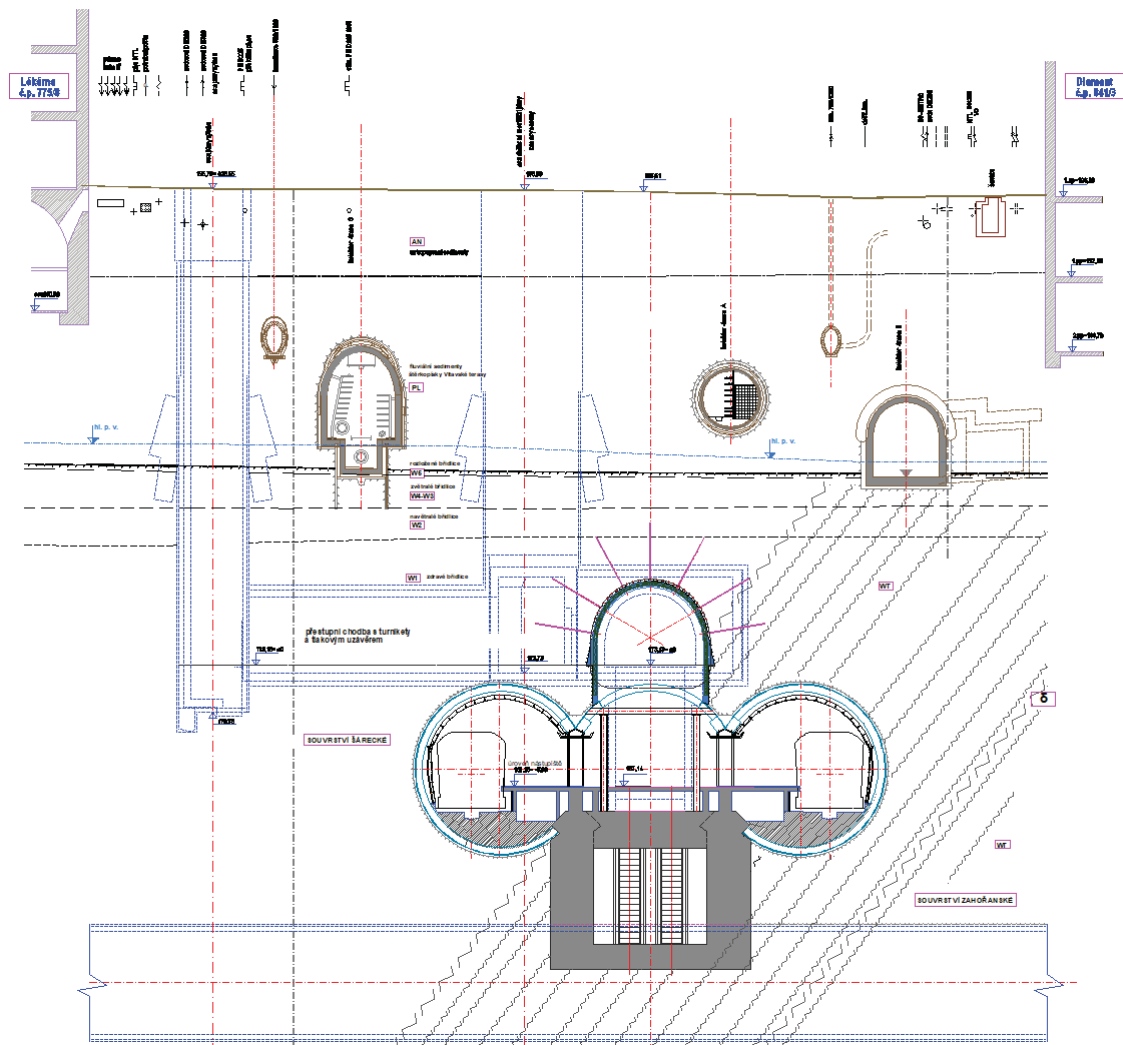
Naprostou výjimečnou byla vysoká koncentrace měřicích míst na malé ploše v šesti základních výškových hladinách, lépe řečeno výškových vrstvách:

- nadzemní objekty v celé instrumentované výšce,
- komunikace a chodníky, parter, suterény resp. sklepy budov,
- kolektory a stoky,
- horizontální ražby,
- metro „A“,
- metro „B“.

přičemž monitorovány byly rovněž šachty Š1 a Š2, které propojovaly úrovně a) až d) a Š3, spojující úrovně d) až f).



Obr. 2 Půdorys (situace) geotechnického a geodetického monitoringu



Obr. 3 příčný řez v pohledu od Muzea k Můstku

2 ZADÁNÍ GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU (GTM)

Výchozí dokumenty zadání [2], [3], [4] i projekt GTM [5] vycházely z principu observační metody a stanovily rámec pro jeho provádění. Ve všech dokumentech bylo navrženo sledování pomocí obvyklých postupů:

- a) pasportizace, stavebně technický průzkum a prohlídky během výstavby,
- b) geometrická nivelace,
- c) měření deformací na trhlinách,
- d) extenzometrické měření,
- e) konvergenční měření,
- f) měření tlaků na styku konstrukcí
- g) měření hluku a vibrací,
- h) kontrolní měření bludných proudů, hodnocení agresivity podzemní vody,
- i) provádění geologického, geotechnického a hydrogeologického sledu.

3 PRŮBĚH MONITORINGU, VÝSLEDKY MĚŘENÍ

3.1 ZAHÁJENÍ MONITORINGU

V předstihu, před zahájením stavebních prací, byly provedeny pasportizace s vytipováním pozic měřicích míst na ovlivněných objektech. Byly vytyčeny nivelační body nad poklesovou kotlinou, realizován extenzometrický vrt. Stoky, kolektory i budovy byly osazeny dle projektu GTM a provedeny výchozí etapy měření.

3.2 POSTUPY HLOUBENÍ A RAŽEB

Stavební práce byly zahájeny hloubením dvou šachet na přelomu října a listopadu 2014 a po přerušení z důvodu provádění archeologického průzkumu pokračovaly v prosinci. Obě vertikální díla bylo nutno utěsnit proti pronikání podzemní vody pomocí plánované tryskové injektáže. Na dolní hranici fluvialních terasových sedimentů byly zastiženy nepříznivé geologické podmínky, které způsobily velké obtíže při zřizování injektážních vrtů. Díky zdržení s archeology a při hloubení šachet začaly ražby chodeb opožděně. Původně plánované rozdělení razicích prací na dvě etapy bylo změněno a ražby byly prováděny ze všech zpřístupněných čeleb současně. To znamenalo nepříznivé zvýšení vlivu stavby na okolní prostředí a z toho vyplývající zvýšení nároků na jeho monitoring a to až do úplného dokončení díla.

3.3 ODEZVA BUDOVANÉHO DÍLA

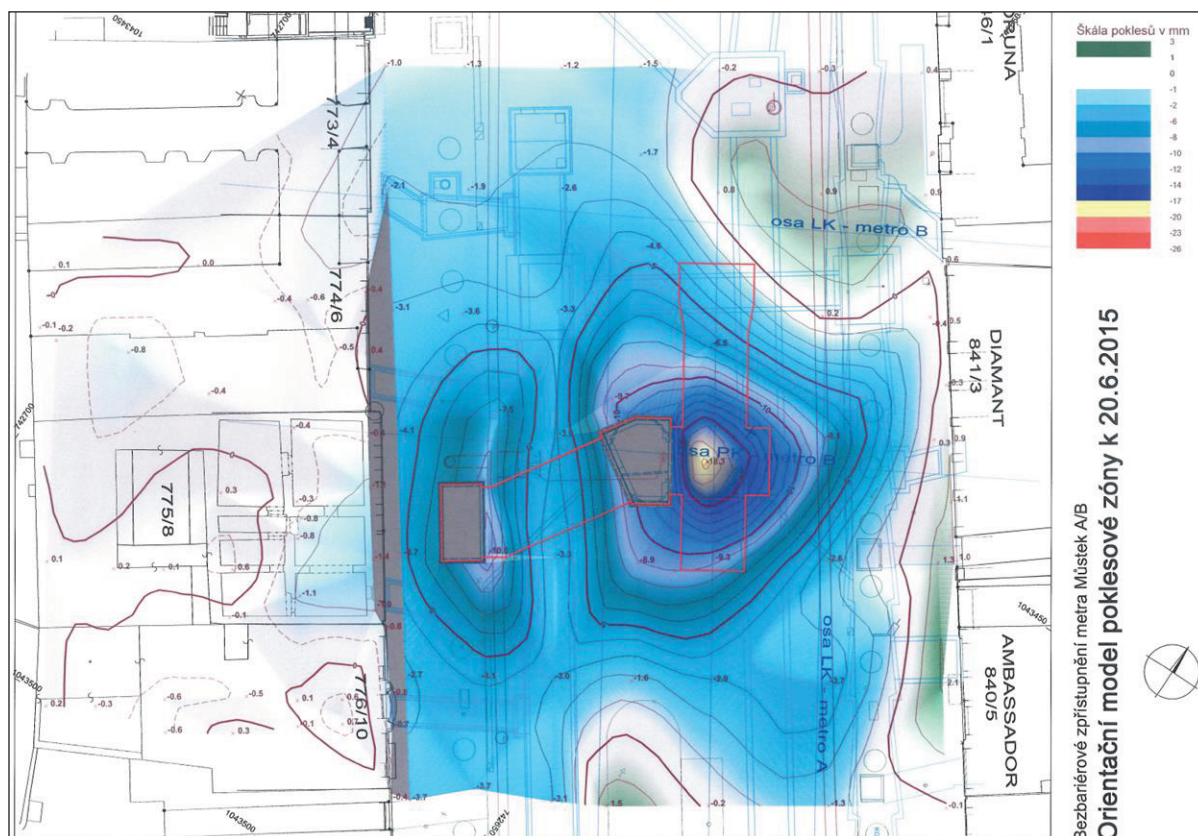
Vlastní budované části nového díla sledované především měření konvergencí pažení šachet a primárního ostění v chodbách, se v celém průběhu sledování chovaly v souladu s očekáváním. Naši pracovníci se zde při měření potýkali pouze se stísněností prostor, se zajištěním neovlivněných „připojovacích“ bodů a s extrémně rušným provozem. Pouze v okamžiku provádění rozrážek z F1 do F2 bylo potřebné doplnit nové konvergenční body v místě křížení.

3.4 NADLOŽÍ A POKLESOVÁ KOTLINA

Poklesová kotlina se formovala v přímé reakci na prováděnou důlní činnost s markantní depresí nad křížením nových chodeb F1 a F2. K velikosti a rychlosti klesání tohoto místa přispěla i skutečnost, že na povrchu zde byla situována nejzatěžovanější část - zařízení staveniště. Z grafického znázornění (Obr. 4) je rovněž patrný vliv částečného odclonění

poklesů povrchu náměstí konstrukcemi kolektorových chodeb a rozvoj kotliny pod budovy na jihozápadní uliční frontě.

Souhrnně lze konstatovat, že zaznamenaný vývoj poklesové kotliny i pohyby kotev extenzometru byly v souladu s předpoklady.



Obr. 4 Stav poklesové kotliny k 20. 6. 2015 vyjádřený izoliniemi s intervalem 1 mm.

3.5 OVLIVNĚNÉ BUDOVY, „ADAMOVA LÉKÁRNA“

Asymetrická podzemní stavba ovlivňovala přilehlé budovy na Václavském náměstí nerovnoměrně. V severovýchodní frontě bylo očekáváno ovlivnění téměř nového objektu č. p. 841 „Diamant“. Na jihozápadě zahrnul projekt tři budovy různého stáří a charakteru. U krajních objektů č. p. 776 „Kavárna Praha“ a č. p. 774 „OD Baťa“ nedosáhl průběžný vývoj poklesů i deformací varovných stavů.

Šachta Š1 je situována v chodníku před prostředním sledovaným objektem č. p. 775. Tento secesní dům s kubistickými prvky, navržený architektem Emilem Králíčkem byl dokončen v roce 1913. Je chráněn jako kulturní památka. Z jeho pasportizace vyplynulo, že je částečně založen na historickém zdivu. Navíc byly „nové“ sklepy v prvním a druhém poli partie přilehlé k náměstí v nedávné minulosti patrně prohloubeny. Statik zhotovitele monitoringu ve svém znaleckém posudku vyslovil vážné obavy z rozpadu historických opukových stěn a odhalených částí základů vlivem případného dynamického namáhání nebo nerovnoměrného sedání. Nejprve do sklepů navrhl vestavěnou dřevěnou podpurnou konstrukci, ale po vyloučení předpokladu využití trhacích prací doporučil rozšířit a zpřesnit monitoring sklepů se zajištěním zvýšené frekvence měření.

Z tohoto popudu byly postupně instalovány a ve sklepech doplněny další prvky monitoringu zahrnující:

- měření svislých spár v mezilehlé opukové stěně, zjištěných v jednom z prostupů mezi sklepy,
- konvergenční měření mezi mezilehlou a krajními stěnami rovnoběžnými s uliční frontou,
- automatické snímače změn náklonu s přepočtem na horizontální pohyb pomocí virtuální nebo fyzicky definované vertikální základny.

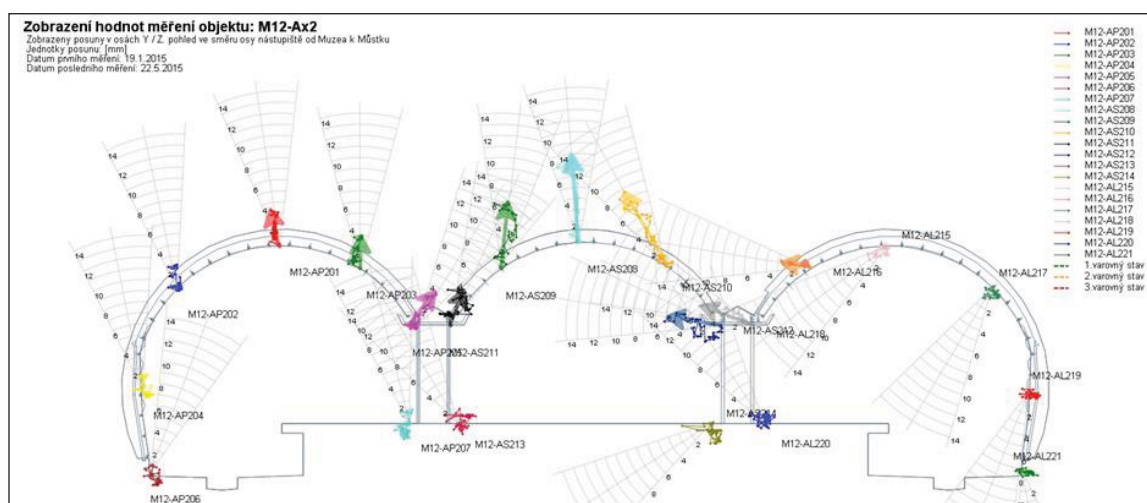
Ke sledování poklesů ve sklepech byly využity všechny stávající nivelační body. Geodetická měření poklesů a konvergenční měření poskytovala informace v diskrétních krocích o chování sklepů jako celku.

Data z automatických náklonoměrů s dálkovým přenosem a s mimořádnou citlivostí použitých jednosložkových snímačů, která je dána hodnotou rozšířené nejistoty měření (pro $k=2$) 0,01 mm/m poskytovala velmi podrobnou, téměř kontinuální a okamžitou on-line informaci o pohybech dílčích partií sledovaného zdiva.

3.6 TUNELY METRA

3.6.1 STANICE METRA „A“

V přímé souvislosti s prováděním ražeb chodby F2 postupně došlo k nástupu velmi výrazných pohybů konvergenčních bodů v klenbách (Obr. 5) a na sloupech stanice „A“ s netlumenými trendy.



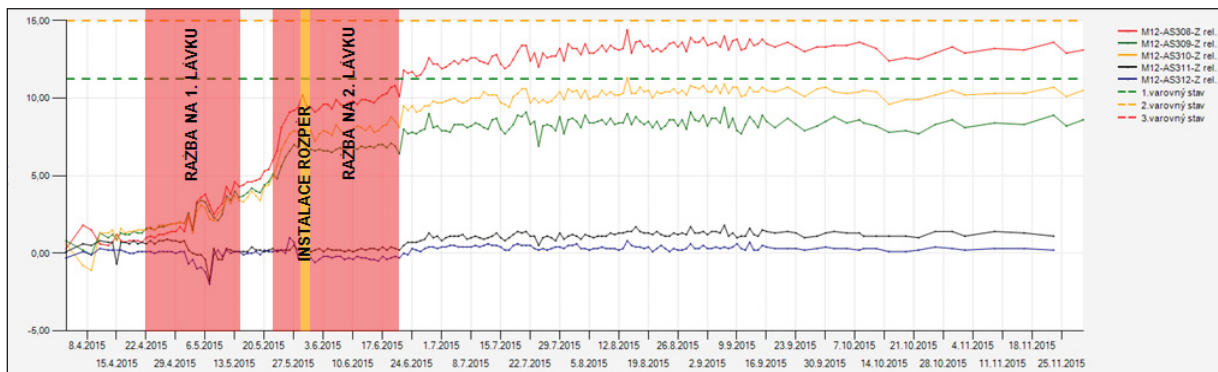
Obr. 5 Vektory celkových posunů na 2. konvergenčním profilu ke dni 22. 5. 2015

Tato zjištění byla v rozporu s očekáváním a vedla k postupnému zavedení opatření v rámci realizace stavby i organizace monitoringu:

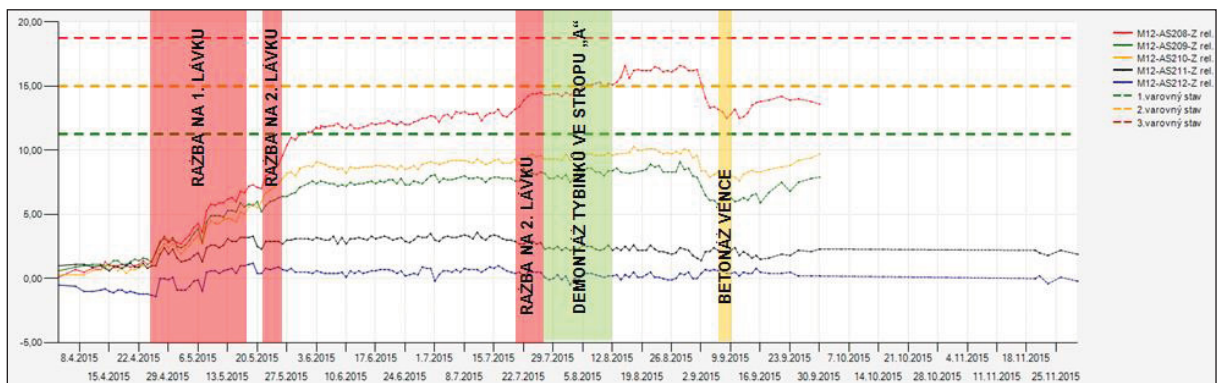
- příčné vyztužení čtyř párů staničních sloupů nástupiště „A“ dvojicemi ocelových rozpěr,
- přímé informování členů RAMO (Rady monitoringu) o denním hodnocení výsledků GTM elektronickou poštou,
- osazením rozpěr automatickými snímači změn napětí,
- přímé měření příčných vodorovných konvergencí mezi hlavami sloupů,
- přerušování ražeb chodeb F2 nad klenbou stanice.

Následné geodetické i přímé měření konvergencí ostění a mezi sloupy prokázalo, že osazení rozpěr bylo účinné a zamezilo nebezpečnému rozvoji deformací ostění do dokončení

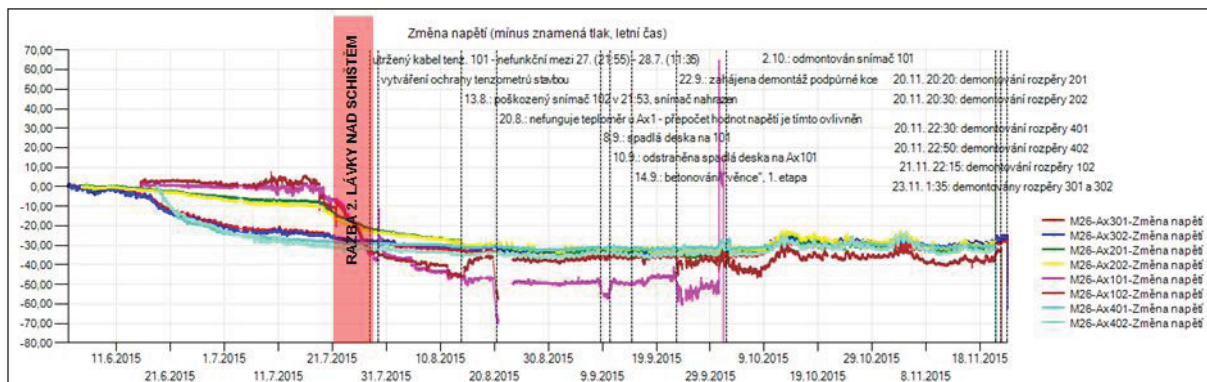
ražeb (Graf 1). Vliv ražeb a otevření stropu nad nástupištěm stanice „A“ jsou dokumentovány na dalších grafech (Graf 2, Graf 3).



Graf 1 Vývoj svislé složky deformace ostění na 3. konvergenčním profilu středového tubusu stanice „A“ před a po instalaci rozpěr mezi staničními sloupy



Graf 2 Vzestupná reakce na 2. konvergenčním profilu při ražbách postupů ražeb, otevření stropu stanice „A“ a betonáž věnce schodiště v milimetrech



Graf 3 Nárůst napětí na příčných vzpěrách mezi sloupy stanice „A“ ovlivem ražeb [MPa]

3.6.2 METRO „B“

Zde byly sledovány prostory levého traťového tunelu a přestupní chodba. Na základě výsledků byly instalovány provizorní rozpěry v komoře tlakového uzávěru u dolní stanice výtahu.

3.6.3 DALŠÍ MĚŘENÍ V PROSTORÁCH METRA

Pod nástupištěm stanice „A“ byla sledována dynamická odezva na stavební práce a v souvislosti s deformacemi ostění této stanice byly provedeny defektoskopické zkoušky demontovaných litinových tybinků.

3.7 AUTOMATICKÝ MONITORING

S využitím automatizace měření včetně publikování výsledků prostřednictvím webového publikačního portálu (informačního systému monitoringu) máme dobré zkušenosti. Proto jsme se snažili ji efektivně uplatnit zejména na exponovaná místa s vysokými nároky na kvalitu a včasnost informace. V době přípravy zakázky jsme uvažovali o využití automatizace především při sledování ostění obou stanic metra. Záhy jsme došli k závěru, že je to nemožné a následná reálná zkušenost z průběhu prací to dokonale potvrdila. Nepřehledný pracovní prostor rozčleněný na těsné zábory a prostor mezi nimi, neustálý ruch a změny v nich, opakované zakrývání a poškozování bodů vyžadovaly nesmírné úsilí, invenci a nekonečnou improvizaci při standardním geodetickém měření. Automat bez přítomnosti měřické skupiny by znamenal neustálé výpadky, vynucené opravy a neúměrné náklady. Na rozdíl od této metodiky se na celé stavbě uplatnilo a velmi dobře osvědčilo automatické měření v mnoha jiných případech.

4 ANALÝZA GEODETICKÝCH DAT

Práce v podzemních prostorách i na povrchu musejí být provedeny rychle. Co nejrychleji musejí být k dispozici i data z každé měřené etapy. To, spolu s kombinací se stísněnými a zejména proměnlivými podmínkami na staveništi a hlavně v podzemí, je v přímém rozporu s požadovanou kvalitou. Postup stavebních prací a souběh měření s nimi (navíc např. na provozovaném nástupišti) vyžaduje změny konfigurace sítě sledovaných a pevných bodů a klade mimořádné nároky na znalosti a důvtip geodetů v terénu i při zpracovávání dat. Dosažené výsledky geodetických měření, resp. jejich kvalitu lze považovat za vyhovující, nicméně podrobný rozbor celého kompletu nivelačních měření na povrchu provedený v diplomové práci [6] odhalil možnosti zkvalitnění výstupů vhodnou analýzou dílčích a celkových posunů při zpracovávání každé další etapy. Díky moderním výpočetním metodám je možné takovou analýzu bezpečně provést bez nežádoucího zdržení publikování výsledků. Konkrétní řešení je zapracováváno do interních směrnic naší společnosti INSET s.r.o.

5 ZASTIŽENÉ GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ PODMÍNKY

Zastižené podmínky odpovídaly očekávání s tím, že například velikost křemencových valounů s průměrem až 20 cm zastižených na dolní úrovni kvarterního pokryvu, předpoklady překročila a způsobila, podobně jako obtížně rozpojitelná tektonicky komprimovaná a fluidy zpevněná břidlice (křemen - karbonátové žíly), určité potíže a zdržení při realizaci těsnící injektáže v šachtách z povrchu, resp. ražbách a hloubení.

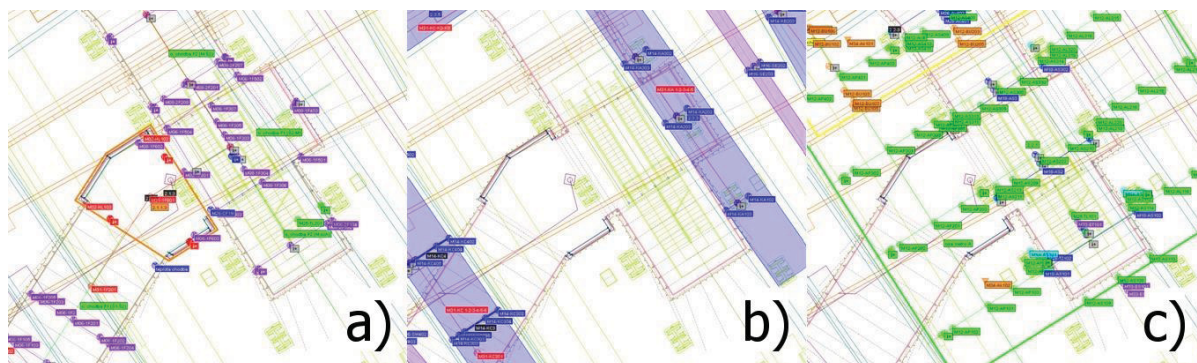
6 INFORMAČNÍ SYSTÉM MONITORINGU – SAHURE

Výchozím způsobem předávání výsledků monitoringu bylo publikování v databázovém mapovém informačním systému – speciálně vyvinutou obdobou geografického informačního systému (GIS), který funkčně propojuje grafické, textové a datové informace o průběhu GTM, jeho výsledcích a jejich interpretaci.

6.1 GRAFICKÉ ROZHRAŇÍ ISM

V grafickém okně se zobrazuje polohopisný podklad (katastrální nebo ortofotomapa). Situace sledovaných, stávajících i realizovaných, objektů je vložena do grafické databáze generované z dostupných digitálních výkresů, například z projektu.

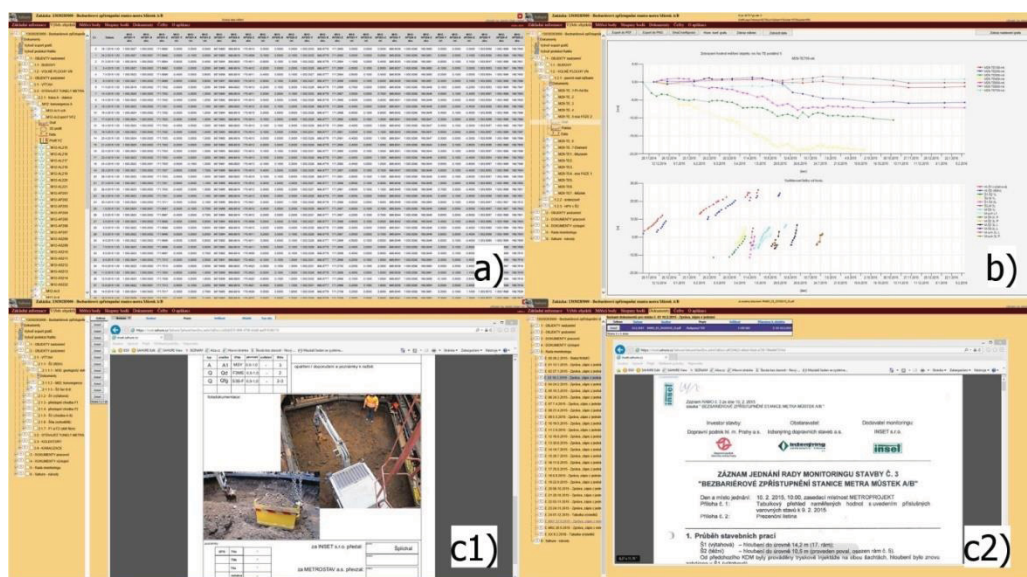
Vertikální uspořádání stavby a tedy i celého systému GTM způsobuje překrývání prvků situace, měřicích míst, zobrazení čeleb a jejich označení. V našem případě je na všech úrovních zobrazováno více než tisíc prvků z databáze GTM. Jejich společné zobrazení by bylo zcela nepřehledné (Obr. 6). Proto byly prvky monitoringu strukturovány do oddělených hladin, které je možné zobrazovat jednotlivě nebo v různých kombinacích.



Obr. 6 Výřezy zobrazení situace monitoringu v ISM SAHURE zleva: a) hloubení a ražby, b) kolektory a stoky, c) stanice metra „A“.

6.2 DATOVÉ ROZHRAŇÍ ISM

Datové okno slouží k prezentaci získaných výsledků a jejich interpretace. V návaznosti na přehledný strom objektů, měřicích míst, profilů a bodů lze snadno přivolat a zobrazit související číselné tabulky, různé grafy, hodnocení čeleb a další, v databázi uložené dokumenty (Obr. 7).



Obr. 7 a) Číselné hodnoty, b) graf a c1), c2) dokumenty GTM v datovém rozhraní SAHURE.

Systém umožňuje automatický import měřených údajů. Obsahuje řadu výpočetních funkcí, kontrolních a bezpečnostních mechanismů. Je schopen vyhodnotit vztah výsledků s varovnými stavy a zasílat výstrahy prostřednictvím elektronické pošty nebo SMS. Nastavení

všech potřebných parametrů a uživatelských oprávnění provádí administrátor zakázky na základě odpovídajícího pověření. Podobně, jako lze získat datové údaje z grafického prostředí ISM, lze naopak zobrazit umístění hodnoceného místa přímo z rozhraní datového.

7 ZÁVĚR

Na této ne velké, ale z řady hledisek nesmírně komplikované stavbě v samotném centru hlavního města a částečně i v provozovaných částech podzemní dráhy, byly kladeny mimořádné nároky na kvalitní, rychlé a zejména zcela bezpečné provedení díla. Monitoring prostředí ovlivněného stavbou prováděný observační metodou je nedílnou součástí realizace. Dokáže pohotově a s využitím automatizace téměř okamžitě reagovat na odchylky skutečného průběhu reakce okolí na postup výstavby od výchozích předpokladů. Díky úsilí všech partnerů a jejich souhře vedlo společné hodnocení výsledků komplexního monitoringu k neprodleným účinným a efektivním opatřením a úspěšnému dosažení plánovaného cíle. Nedílnou a nezastupitelnou součástí GTM jsou měření geodetická. Hlavním znakem geodeticky pořízených informací je vazba na celek a okolí v zásadě libovolně, dle potřeby volitelném rozsahu. Další předností je vysoká opakovatelnost (možnost opakování ve stejné kvalitě) v libovolném časovém odstupu. Nevýhodou je fyzikálně více omezená přesnost. Geotechnická a stavebně technická měření mohou dosáhnout přesností vyšších o více řádů. Poskytují však prostorově diskrétní informace. Kombinace všech metod ve spojení s aktuálními či budoucími inovacemi dílčími i principiálními, zaručují maximální efektivnost a bezpečnost jakkoliv rizikových stavebních a jim podobných prací a činností.

LITERATURA

- [1] CHMELÁŘ, R. a kolektiv; Geotechnická rešerše (číslo přílohy 005), stupeň DVZ, In: Zadávací dokumentace veřejné zakázky na služby ve smyslu zákona č. 137/2006 Sb., o veřejných zakázkách, ve znění pozdějších předpisů, název veřejné zakázky Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Můstek A/B – komplexní hydro a geomonitoring, pasportizace, stavebně technický průzkum, část D, PUDIS a.s., 2011.
- [2] BURIAN, P.; Souhrnná technická zpráva (číslo přílohy 001), stupeň DVZ, In: Zadávací dokumentace veřejné zakázky na služby ve smyslu zákona č. 137/2006 Sb., o veřejných zakázkách, ve znění pozdějších předpisů, název veřejné zakázky Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Můstek A/B – komplexní hydro a geomonitoring, pasportizace, stavebně technický průzkum, část B, Metroprojekt Praha, a.s., Praha 2012.
- [3] BURIAN, P.; Architektonické a stavebně technické řešení, Technická zpráva (číslo přílohy 001), stupeň DVZ, In: Zadávací dokumentace veřejné zakázky na služby ve smyslu zákona č. 137/2006 Sb., o veřejných zakázkách, ve znění pozdějších předpisů, název veřejné zakázky Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Můstek A/B, část F.1.1, Metroprojekt Praha, a.s., Praha 2012.
- [4] NOVOSAD, K.; Stavebně konstrukční, Technická zpráva (číslo přílohy 001), stupeň DVZ, In: Zadávací dokumentace veřejné zakázky na služby ve smyslu zákona č. 137/2006 Sb., o veřejných zakázkách, ve znění pozdějších předpisů, název veřejné zakázky Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Můstek A/B, část F.1.2, Metroprojekt Praha, a.s., 2012.
- [5] VINTER, M.; ČERMÁK, M.; Projekt geotechnického monitoringu, Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Můstek A/B – komplexní hydro a geomonitoring, pasportizace, stavebně technický průzkum, INSET s.r.o., 2014.
- [6] HOFMAN, D.; Geodetický monitoring při výstavbě bezbariérového přístupu do stanice metra Můstek, diplomová práce, ČVUT, FSv, GaK, 2017.

Lektoroval: *prof. Ing. Martin Štroner, Ph.D.*

České vysoké učení technické v Praze