

GEOTECHNICKÝ MONITORING PŘI VÝSTAVBĚ BEZBARIÉROVÉHO ZPŘÍSTUPNĚNÍ STANICE METRA JIŘÍHO Z PODĚBRAD

M. Čermák, B. Pavelková, R. Morávek

INSET s.r.o., Prague, Czech Republic

ABSTRAKT: Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Jiřího z Poděbrad na lince A je významným infrastrukturním projektem realizovaným v hustě zastavěné části Prahy. Výstavba nových výtahových šachet a podzemních chodeb navazovala na stávající konstrukci stanice metra a probíhala v blízkosti inženýrských sítí a staveb, zejména kostela Nejsvětějšího Srdce Páně od architekta Josipa Plečnika. Náročné podmínky výstavby si vyžádaly detailní geotechnický monitoring a jeho průběžné vyhodnocování.

Monitoring zahrnoval měření deformací ostění stanice, posunů a poklesů povrchu, sledování deformací přilehlých objektů i sledování napětově-deformačního stavu masivu v průběhu ražeb. Naměřené hodnoty byly průběžně porovnávány s predikcemi z numerických modelů a sloužily k ověřování předpokladů projektové dokumentace i k úpravám technologických postupů. Součástí prací bylo i sledování inženýrsko-geologických podmínek charakterizovaných rozpukanými letenskými břidlicemi v blízkosti stanice metra.

Príspevek shrnuje průběh a výsledky monitoringu, prezentuje dosažené hodnoty vybraných veličin a hodnotí jejich vztah k projektem stanoveným mezím. Zvláštní pozornost je věnována sledování deformací kostela Nejsvětějšího Srdce Páně, který představoval z hlediska kulturní hodnoty i statické citlivosti klíčový objekt celého území. Monitoring prokázal účinnost přijatých opatření a potvrdil vhodnost zvoleného technologického postupu při realizaci stavby v náročných městských podmínkách.

1. PŘEDMLUVA

Tento příspěvek volně navazuje na článek uvedený v časopisu *Tunel* (ČERMÁK, M., PAVELKOVÁ, B., MORÁVEK, R., 2014) který pojednával obecně o geotechnickém monitoringu při výstavbě bezbariérového zpřístupnění stanice metra Jiřího z Poděbrad a nebyly v něm uváděny konkrétní naměřené hodnoty. Kromě až učebnicového grafu z automatického extenzometrického měření (automatické měření vzdálenosti mezi zhlavím vrtu a jednotlivými kotevními úrovněmi doplněné o geodetické měření sedání zhlaví), nebyly uvedeny ani grafické výstupy naměřených dat.

Podrobněji pak bylo v tomto článku představeno měření dynamických účinků s ohledem na objekty a na osoby, rozdíly těchto měření a jejich vyhodnocení. Dále chtěl článek uvést určité zamyšlení nad tématem práce geotechnika podle vyhlášky č. 55/1996 Sb., o kterém je jen několik základních informací v samotné vyhlášce. Zatím v žádném relevantním dokumentu není o této činnosti ve smyslu uvedené vyhlášky podrobněji pojednáno. Obecné požadavky na práci geotechnika jsou velmi kvalitně uvedeny v TP-237 Ministerstva dopravy z května 2011, které ale vznikly ještě před novelizací č. 265/2012 Sb. vyhlášky č. 55/1996 Sb. v roce 2012 a činnost geotechnika dle vyhl. č. 55/1996 Sb. tedy neobsahují.

2. ÚVOD

Samotný projekt a zkušenosti z výstavby bezbariérového zpřístupnění stanice metra Jiřího z Poděbrad již byly představeny v časopisu *Tunel* ve dvou článcích (KOREJČÍK, J., ŽIŽKA, Z., KOLEVSKI, M., 2023) a (VELIČKA, P., PANUŠKA, J., 2025) a podrobné informace zde nejsou uváděny. V tomto článku rozšiřujeme dříve uvedené informace o monitoringu a k vybraným metodikám zveřejňujeme i konkrétní výsledky měření. Ke konci příspěvku je pak uveden zkrácený přehled naměřených hodnot i s varovnými stavy, které byly určeny projektantem nebo soudním znalcem, který je stanovoval i na základě provedených pasportizací.

3. GEOTECHNICKÝ MONITORING

Práce na geotechnickém monitoringu byly zahájeny v květnu 2021 pasportizací objektů v zóně ovlivnění a k těmto objektům byly postupně vypracovávány soudně znalecké posudky se stanovenými deformačními a dynamickými odolnostmi. Před zahájením hloubení a ražeb byly také zhotoveny pozorovací vrty pro extenzometrická, inklinometrická a hydrogeologická měření.

Během výstavby byla prováděna geologická a geotechnická dokumentace sledu hloubení a ražeb se zařazením jednotlivých dílčích výrubů ražeb do technologických tříd NRTM. A to dle inženýrskogeologické dokumentace, výsledků geomonitoringu a návštěv geotechnika ražeb primárně v době strojního rozpojování horniny. Bylo sledováno deformační chování tvarové stálosti primárního ostění, kanalizační stoky, staničních tunelů a střední staniční lodi metra (konvergence). Dále bylo pomocí tenzometrů monitorováno napětí v ocelovém rámu umístěném na rozhraní šachty a rozrážky v úrovni nástupiště. Také byly sledovány dynamické účinky trhacích prací a expanzního rozpojování, tj. použití pyrotechnických výrobků pro technické potřeby. Nivelace pak byly měřeny jak na objektech, tak na terénu nad ražbami a v rámci hloubení stavební jámy byl osazen jeden dynamometr. V průběhu stavebních prací byly také vypořádávány stížnosti vlastníků a obyvatel z okolní zástavby na vzniklá porušení – v drtivé většině se jednalo i s ohledem na provedené pasportizace o porušení stará. V jednom z objektů, který ležel mimo poklesovou kotlinu (stanovenou zónu ovlivnění) a izoseistu 5 mm/s byla po stížnosti nainstalována měřicí zařízení – z výsledků měření deformací byly patrné teplotní vlivy a nebyl zjištěn žádný vliv stavební činnosti. Měření celkových vibrací (vlivu na člověka) vedlo k tomu, že bylo možné provádět pouze troje rozpojování horniny denně.



Obrázek 1: Rozmístění měřicích bodů z různých metodik a zóna ovlivnění z projektové dokumentace (viz také situace v (ČERMÁK, M., PAVELKOVÁ, B., MORÁVEK, R., 2014))

3.1 KOSTEL NEJSVĚTĚJŠÍHO SRDCE PÁNĚ

Kostel Nejsvětějšího Srdce Páně (Obrázek 2) byl jako významná kulturní památka sledován řadou metodik.



Obrázek 2: Pohled na náměstí Jiřího z Poděbrad – v popředí stavba bezbariérového zpřístupnění a za ní kostel Nejsvětějšího Srdce Páně (zdroj: <https://earth.google.com>, stav k 11. 6. 2023)

V souladu s návrhem geotechnického monitoringu bylo prováděno měření:

- sedání na 11 nivelačních bodech umístěných po obvodu kostela (Obrázky 3 a 4),
- polohových deformací na celkem 20 bodech osazených z vysokozdvizné plošiny a lezecky na plášti objektu a především věži (vždy dva body nad sebou),
- změny šířky trhlin na celkem 35 místech (převážně jako jednoosé měření mezi dvěma body),
- dynamických účinků od provádění trhacích prací a expanzního rozpojování (použití pyrotechnických výrobků pro technické potřeby).

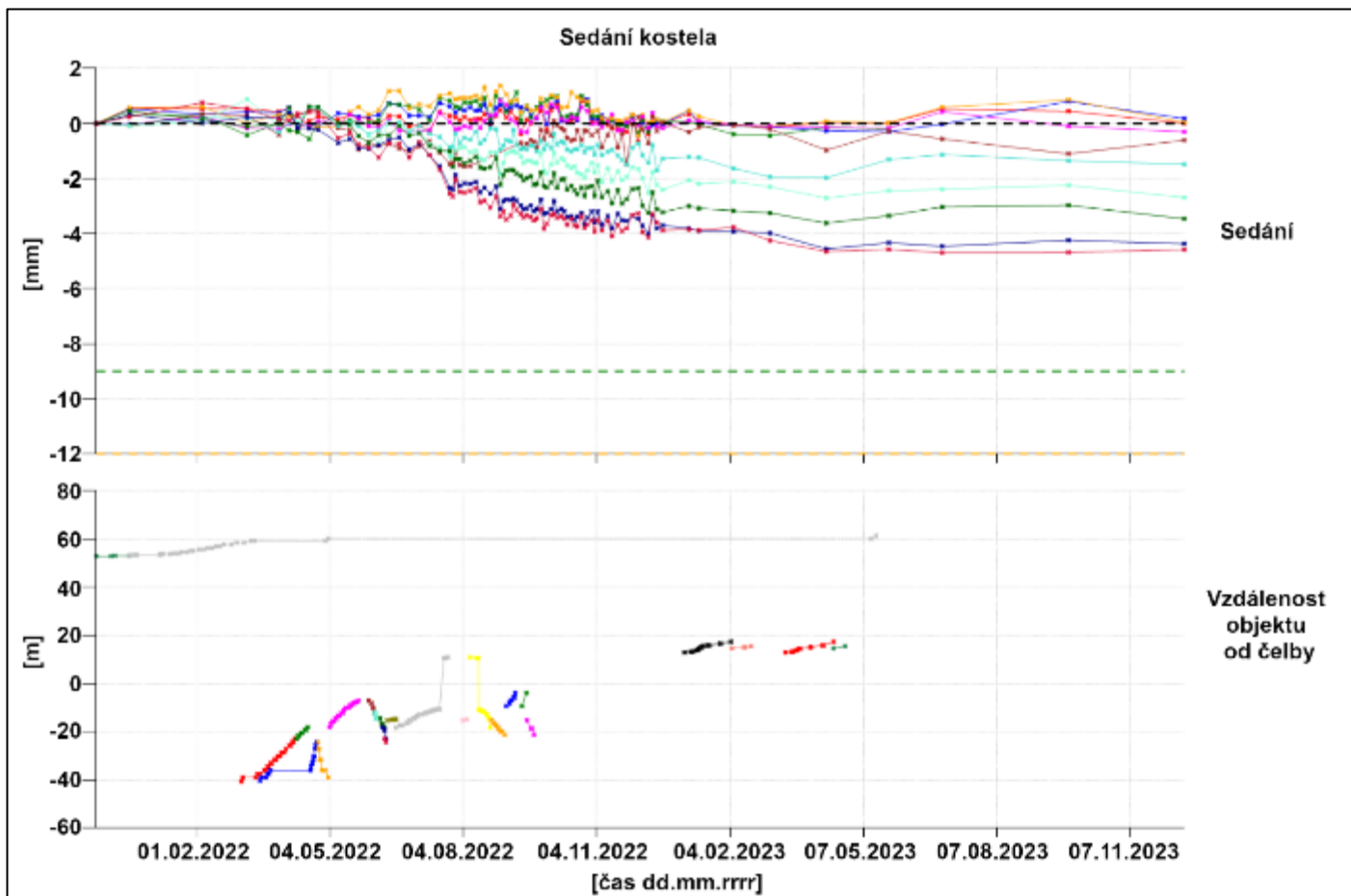
Uvedená měření byla po návrhu zhotovitele geotechnického monitoringu a po vícestranné dohodě členů rady monitoringu postupně během výstavby doplněna o automatická měření (s odečtem hodnot po 10 minutách), která i částečně nahrazovala ruční odečty na měřicích místech:

- měření změny šířky trhlin na 12 místech,
- naklonění kostela na 4 místech, a to převážně ve věži kostela.

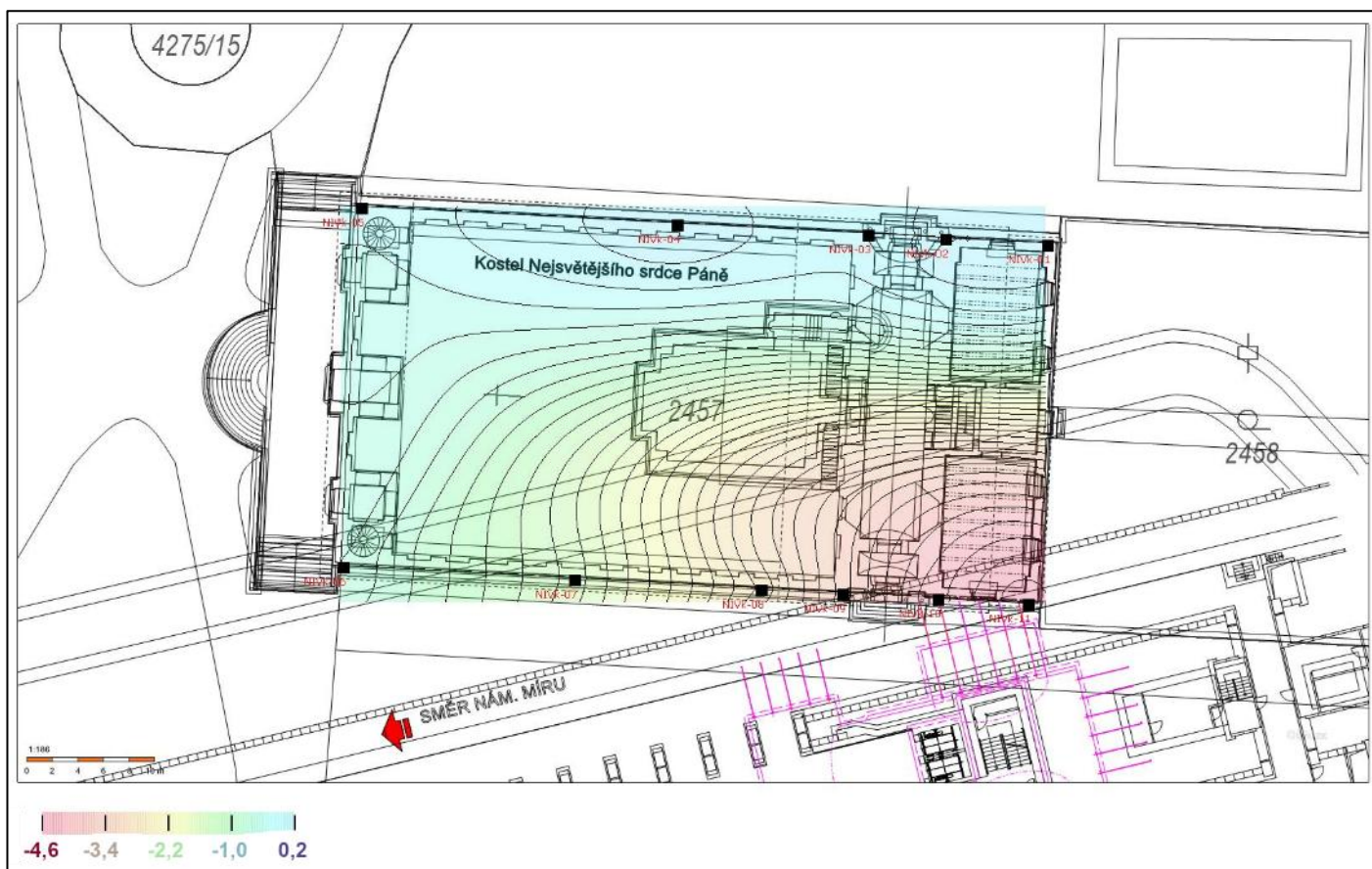
Na základě jednání s obvodním báňským úřadem ohledně trhacích prací byl přijat požadavek farnosti a v průběhu výstavby bylo výše uvedené doplněno o:

- pravidelné provádění a zpracování prohlídek části kostela přilehlé ke stavbě, a to především věže v intervalu 1x za 14 dní,
- zpracování výstupů z prováděných měření a prohlídek pro farnost v intervalu 1x měsíčně.

Z prováděných měření nivelací a jejich vývoje (Obrázek 3), je zřejmé, že nedošlo s dostatečně velkou rezervou k překročení ani 1. varovného stavu (viz Tabulka 1). Nejvyšší hodnota sedání byla v blízkosti prováděných ražeb, tj. jihovýchodního rohu kostela, což odpovídalo předpokladu. Z tohoto důvodu byl v této oblasti navržen vyšší počet monitorovacích prvků. Na Obrázku 4 jsou znázorněny izolinie sedání na konci měření. Měřicí místa, společně se zařízením pro přenos dat, byla vybrána také s ohledem na samotný provoz kostela, a také, aby nedošlo k výraznému ovlivnění, například chůzí návštěvníků. Příklad instalace je na Obrázku 5 a výsledky měření na Obrázku 6.



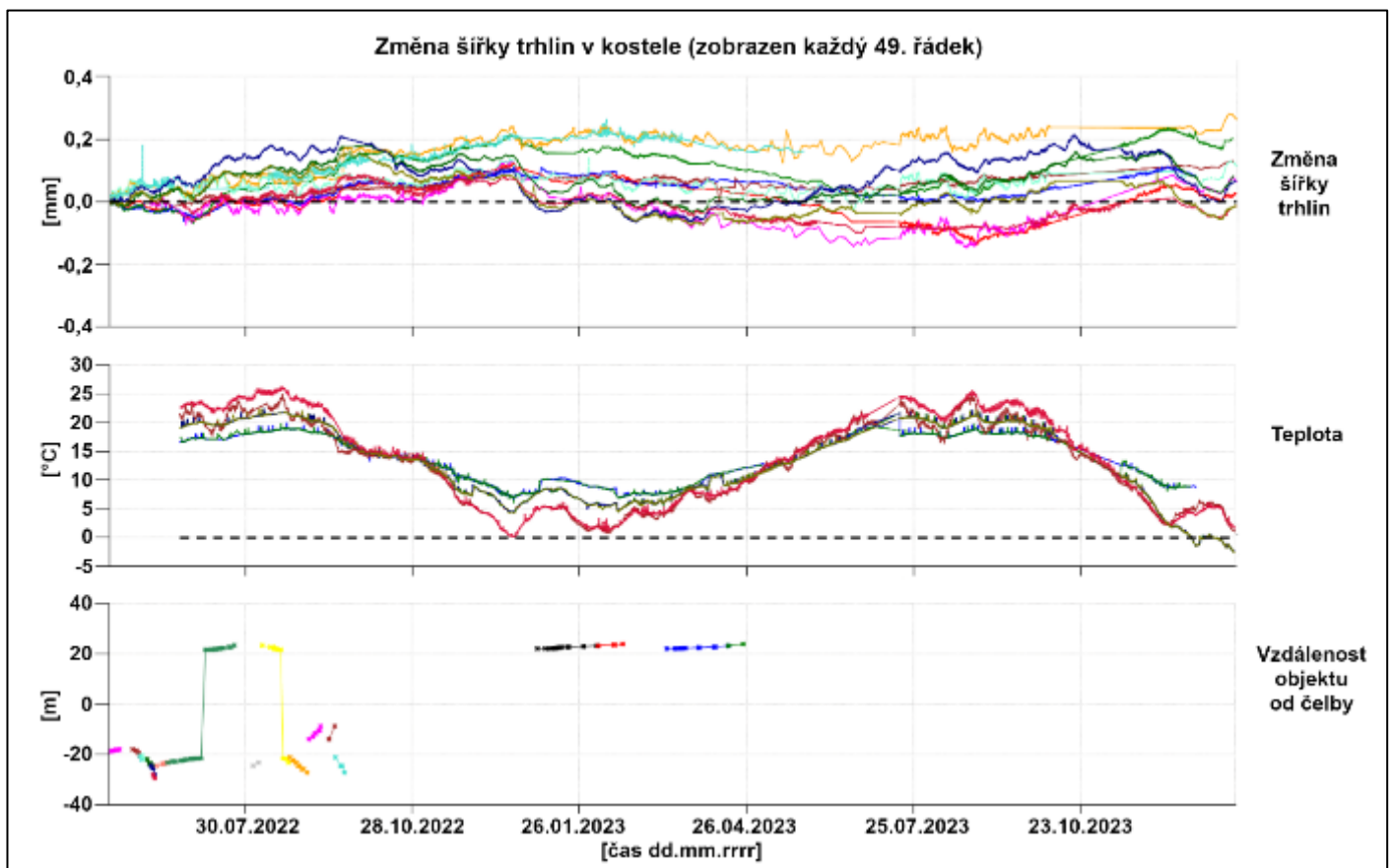
Obrázek 3: Průběh sedání kostela v závislosti na provádění hloubení a ražeb



Obrázek 4: Izolinie sedání kostela na konci měření (dne 14. 12. 2023)



Obrázek 5: Snímač automatického měření změny šířky trhliny s elektronikou na odeslání naměřených dat do kanceláře geotechnického monitoringu (ke konstrukci přilepeno)



Obrázek 6: Naměřené změny šířek trhlin v automatickém režimu, průběh naměřených teplot u jednotlivých měřidel a postup výstavby

Naměřené změny šířek trhlin z automatických měřidel v kostele nebyly výrazně teplotně ovlivněny. Současně nebyla naměřena významná souvislost se stavební činností. Naměřené hodnoty byly hluboko pod varovnými stavy – viz Obrázek 6 a Tabulka 1. Současně s měřením změn šířek trhlin byly v těchto místech měřeny i teploty měřené konstrukce. Z Obrázku 6 je patrné, jak je věž kostela výrazně ovlivněna změnou teploty a na bodě ve věži byly zároveň naměřeny maximální a minimální teploty (v grafu červeně).

V článku v časopisu Tunel (ČERMÁK, M., PAVELKOVÁ, B., MORÁVEK, R., 2014) byl prezentován řez s deformacemi kostela směrem ke stavebnímu dílu z měření polohopisných bodů na fasádě objektu. Na Obrázku 7 ho doplňujeme o deformace v půdorysu, které korespondují se sedáním objektu na Obrázku 4 a zobrazují deformace směrem k přestupní chodbě stanice, tj. docházelo k nerovnoměrnému sedání a naklánění kostela směrem k ražbám.



Obrázek 7: Vějíře se směrem vývoje deformací na polohopisných bodech na fasádě kostela (vždy dva body nad sebou, naklonění vztaženo k terénu)

Měřením polohopisných bodů na fasádě kostela a měření automatických naklonění (po kompenzaci vlivu teploty na naměřené hodnoty) byly zjištěny podobné průběhy naklonění směrem ke stavbě. Naklonění kostela bylo prezentováno jak vůči terénu, tak jako rozdíl hodnot deformací z bodů nad sebou, čímž se podařilo eliminovat některé chyby měření a grafy byly výrazně „hladší“ a uvedené deformace tím pádem i menší. Maximální naměřené a vypočítané hodnoty jsou s varovnými stavy uvedeny v Tabulce 1.

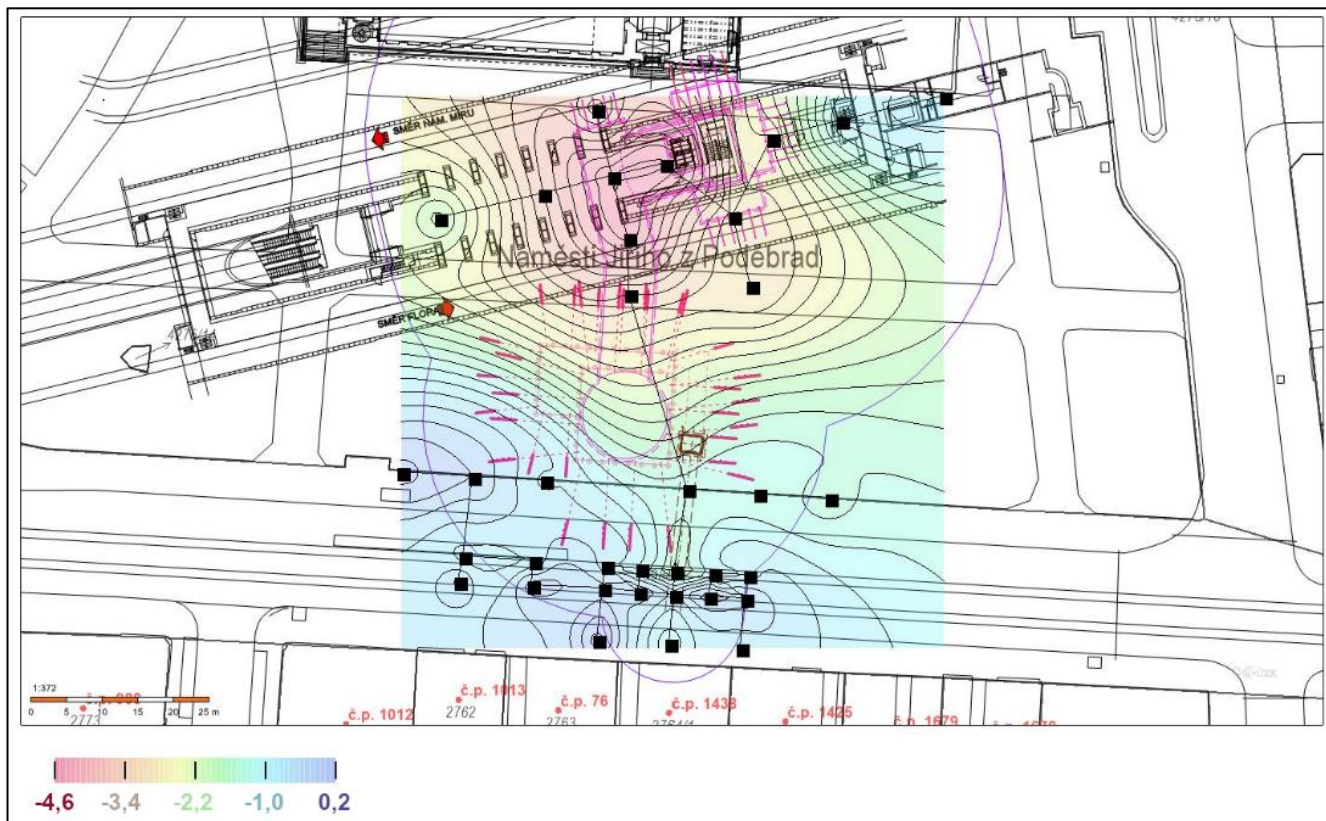
Během prováděných prohlídek v kostele byly zdokumentovány nové trhliny, ale jednalo se spíše o trhliny běžně vzniklé v souvislosti s ročními výkyvy teplot a prokreslením starších trhlin, které byly pouze plošně přetřeny nebo byly na místech, kde je nebylo možné spojovat s prováděnými stavebními pracemi. Samotné výkyvy teplot jsou v kostele významné – viz měření teplot u automatických deformometrů a dosahují rozdílu hodnot až 30 °C nebo i vyšších (byly změřeny necelé dva roční cykly). Vlivem teploty vznikala nejvýraznější porušení v oblasti ukotvení zábradlí ramp, které jsou ve věži na úrovni prosklených hodin – obdobná porušení se postupně začala objevovat v menší a větší míře i v jiných částech ramp (Obrázek 8).

Po ukončení měření byla všechna místa, kde došlo k zásahům do konstrukce z důvodu osazení měřicích bodů, opravena odbornou firmou, která už opravy kostela prováděla. Jednalo se tedy o použití odsouhlasených materiálů a barev Odborem památkové péče a farností – to se týkalo především otvorů

po bodech v maltě mezi cihlami na fasádě. Tyto sanační práce byly nejdřív provedeny s pracovníkem cizí firmy z plošiny a následně po instruktaži našimi pracovníky lezecky na věži.



Obrázek 8: Porušení v místě ukotvení zábradlí rampy vlivem teploty



Obrázek 9: Izolinie sedání terénu na konci měření (dne 13. 5. 2024)

3.2 SEDÁNÍ TERÉNU V ZÓNĚ OVLIVNĚNÍ

Na Obrázku 9 jsou uvedeny izolinie sedání terénu z nivelačních bodů. Oblast, kde docházelo k největšímu sedání odpovídala místům, kde probíhaly nejnáročnější místa ražeb, a to nad částí přestupní chodby, z které byly prováděny rozrážky směrem ke kostelu a od kostela a hloubení šachty propojující úroveň přestupní chodby a úroveň nástupiště. Maximální naměřené hodnoty sedání a nerovnoměrného sedání jsou společně s varovnými stavy uvedeny v Tabulce 1.

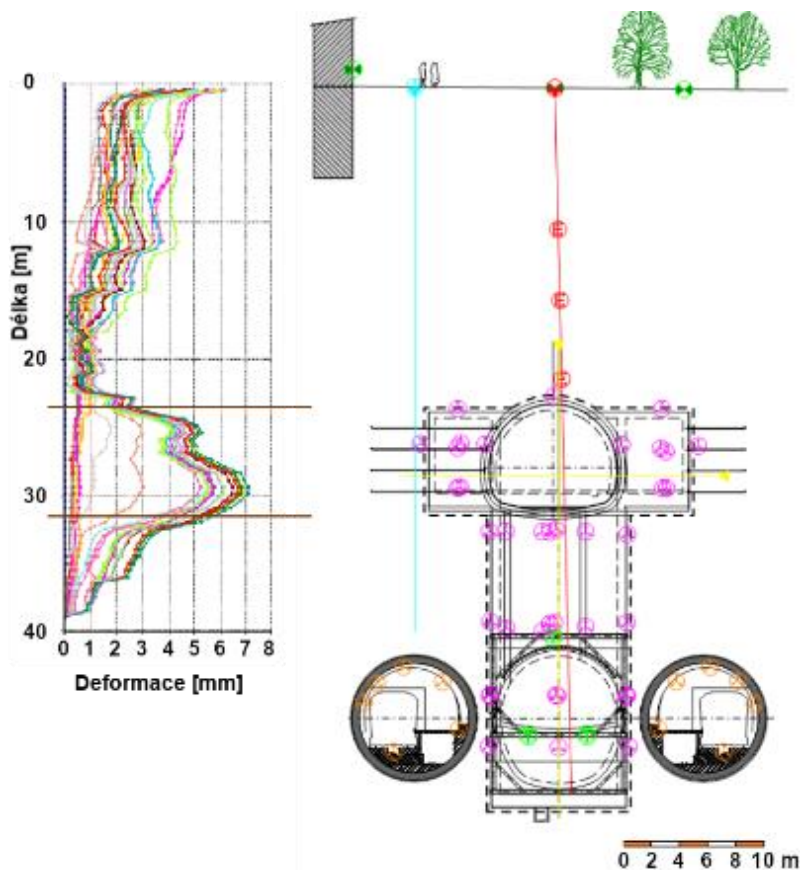
Tabulka 1: Naměřené hodnoty na měřicích prvcích v kostele a na terénu

objekt	měření	naměřeno	varovný stav A
kostel	nivelace	4,7 mm 1:5168	sedání: 12 mm nerovnoměrné sedání: 1:500
	šířka trhlin - ruční m.	-0,71 / 0,58 mm	šířka: 5 mm
	šířka trhlin - automatické m.	-0,15 / 0,27 mm	
	3D body		změny do 5,3 mm (sedání), 4,8 mm (vodorovný směr)
0,61 (náklon výpočtem - vůči terénu) 0,36 (náklon - body nad sebou)			náklon: 0,5 mm/m
povrchy (terén)	nivelace	9,3 mm 1:1078	sedání: 15 mm nerovnoměrné sedání: -

3.3 INKLINOMETRICKÉ MĚŘENÍ

V oblasti mezi kostelem a ražbami v úrovni přestupní chodby byl před zahájením stavebních prací společně s ostatními vrty (extenzovrt a dva hydrovrty) vyhlouben inklinovrt, ve kterém byly následně sledovány horizontální deformace horninového prostředí.

Poloha vrtu musela být uzpůsobena přítomnosti vodovodního řádu a hloubka vrtu byla ukončena nad staničním tunelem. V levé části Obrázku 10 jsou uvedeny celkové horizontální deformace jako součty vůči pevné patě vrtu. S ohledem na postup hloubení šachty a ražeb v úrovni nástupiště se už nejednalo zcela o měření s pevnou patou.



Obrázek 10: Výsledky měření v inklinometrickém vrtu – vlevo vektor deformací, který odpovídá tomuto řezu a vpravo řez z informačního systému Sahure (vrt znázorněn tyrkysově)

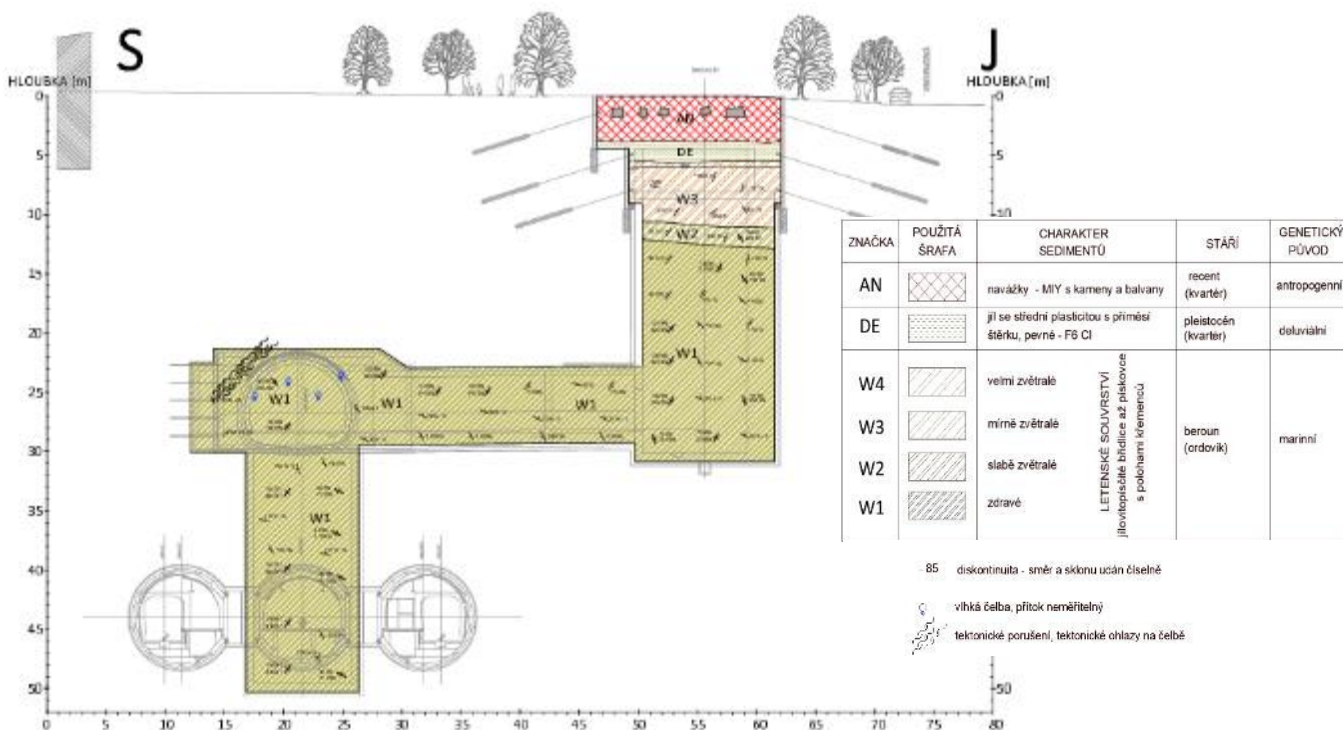
3.4 GEOLOGICKÁ DOKUMENTACE

Výstupy z geologické dokumentace byly s ohledem na členění hloubení a ražeb namísto klasické důlní mapy zpracovány v geologických řezech západ-východ a sever-jih (Obrázek 11).

Během hloubení šachty Š1 byly zastiženy nejprve vrstvy navážek, které obsahovaly betonové bloky až metrových rozměrů. Pod vrstvou deluviálních zemin jílovitého charakteru byly již zastiženy horniny letenského souvrství. Počva ražby přístupové chodby byla provedena z šachty Š1 v hloubce 30 m. Přístupová chodba nejprve směřovala 41 m severním směrem, následně pak 22 m východním směrem. Z počvy přístupové chodby se následně hloubila šachta Š2 (14 m) směřující mezi tunely metra až na úroveň nástupiště do oblasti mimo stanici. Z šachty Š2 se pak razilo 8 m západním směrem do stanice. Během ražeb byly zastiženy pouze drobné přítoky podzemní vody, zřejmě spjaté s poruchovou zónou (viz Obrázek 11). Hladina podzemní vody byla zastižena pod úrovní báze stávajícího metra v puklinovém systému letenských břidlic.

Horninový masív byl hodnocen dle Tesařovy klasifikace a ražba byla následně zaříděna do tříd NRTM. Kvalita masívu od hloubky 30 m byla ohodnocena 53-60,5 body QTS. V místech s tektonickým porušením hornin, které bylo doprovázené mírnými přítoky podzemní vody bylo bodové hodnocení sníženo na 45,5 bodů, vlivem zavedení redukce β a γ . Degradovaná hornina, zastižena při ražbě chodby na úrovni nástupiště byla ohodnocena 40,5 body QTS.

Oproti průzkumným pracím byla ražbou zjištěna vyšší pevnost hornin, která se v písčitéch polohách letenského souvrství přibližovala až k 50 MPa. Horninový masív ve zdravých letenských břidlicích vykazoval až metrové vzdálenosti diskontinuit s výraznou blokovou stavbou, způsobenou systémem tří na sebe kolmých ploch odlučnosti. Horninový masív v okolo stanice metra (realizace koncem sedmdesátých let) byl vlivem trhacích prací degradován. Degradace se projevila odbarvením hornin, snížením pevnosti, povlaky limonitu na diskontinuitách a snížením vzdálenosti diskontinuit (2-3 x) až do vzdálenosti 2-3 m od původního rozsahu ražeb. Charakter tohoto degradovaného horninového masívu byl ověřován presiometrickými zkouškami z vějíře vrtů, realizovaných ze stanice metra.



Obrázek 11: Geologický řez sever-jih

4. ZÁVĚR

Výstavba bezbariérového zpřístupnění stanice metra Jiřího z Poděbrad zařadila tuto stanici mezi 47 plně bezbariérových stanic pražského metra. Nově zřízený bezbariérový přístup umožňuje cestujícím plynulý

přístup z uliční úrovně na nástupiště prostřednictvím přestupní chodby vybavené dvěma dvojicemi výtahů. Součástí stavebních prací byl geotechnický monitoring, který byl zahájen s předstihem před samotnou výstavbou. Vzhledem k umístění stanice v těsné blízkosti národní kulturní památky, kostela Nejsvětějšího Srdce Páně, a další zástavby, bylo nezbytné provádět komplexní sledování těchto objektů. Kostel Nejsvětějšího Srdce Páně byl v průběhu ražeb nejsledovanějším nadzemním objektem (a kromě účinků na objekty v ulici Vinohradská také prakticky jediným).

LITERATURA

ČERMÁK, M., PAVELKOVÁ, B., MORÁVEK, R. *Geotechnický monitoring při výstavbě bezbariérového zpřístupnění stanice metra Jiřího z Poděbrad*. Tunel. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES a Slovenská tunelárska asociácia ITA-AITES, 2014, 22(4), ISSN 1211 - 0728 (33. ročník - č. 4/2024, s. 33-45). Dostupné z: https://www.ita-aites.cz/files/tunel/2024/tunel_4-24-def.pdf

KOREJČÍK, J., ŽIŽKA, Z., KOLEVSKI, M. *Projekt bezbariérového zpřístupnění stanice metra Jiřího z Poděbrad*. Tunel. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES a Slovenská tunelárska asociácia ITA-AITES, 2014, 22(4), ISSN 1211 - 0728 (32. ročník - č. 2/2023, s. 18-27). Dostupné z: https://www.ita-aites.cz/files/tunel/2023/tunel_2-23-def.pdf

VELIČKA, P., PANUŠKA, J. *Revitalizace stanice metra Jiřího z Poděbrad a výstavba bezbariérového zpřístupnění - zkušenosti zhotovitele*. Tunel. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES a Slovenská tunelárska asociácia ITA-AITES, 2014, 22(4), ISSN 1211 - 0728 (34. ročník - č. 3/2025, s. 24-32). Dostupné z: https://www.ita-aites.cz/files/tunel/2025/tunel_3-25-def.pdf

Titul, jméno, příjmení autora: Ing. Martin Čermák

Pracoviště: INSET s.r.o.

E-mail adresa: cermak.martin@inset.com

Titul, jméno, příjmení autora: Ing. Barbora Pavelková

Pracoviště: INSET s.r.o.

E-mail adresa: pavelkova.barbora@inset.com

Titul, jméno, příjmení autora: RNDr. Radek Morávek, Ph.D.

Pracoviště: INSET s.r.o.

E-mail adresa: moravek.radek@inset.com