

RAŽBA KABELOVODU MECHANIZOVANÝM ŠTÍTEM U ŽST KOLÍN – AUTONOMNÍ GEOTECHNICKÝ MONITORING KOLEJIŠTĚ

Miroslav Mixa

INSET s.r.o., Divize specializovaných prací, Lucemburská 1170/7, 130 00 Praha 3

Vít Petržílek

INSET s.r.o., Divize specializovaných prací, Lucemburská 1170/7, 130 00 Praha 3

Ing. Jiří Košťál, Ph.D.

Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 2077/7, 166 29 Praha 6

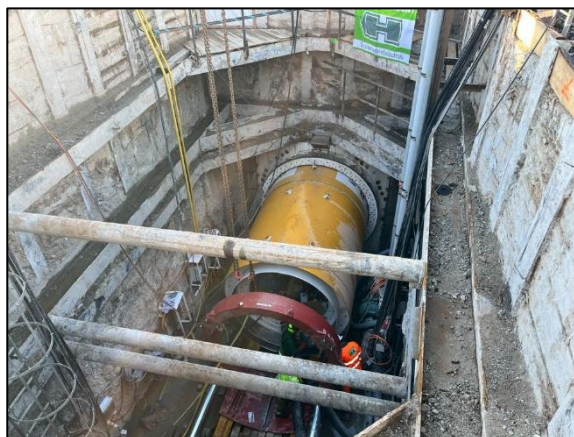
Abstrakt: Projekt „Zajištění bezbariérového přístupu na nástupiště v železniční stanici Kolín“ si kladl za cíl přestavbu stávajícího podchodu pod nástupištěm v Kolíně a dále převedení inženýrských sítí do nově vybudovaného kabelovodu v přímé blízkosti železniční stanice. Kabelovod o délce 88 metrů byl zhotoven na konci roku 2024 za pomoci mechanizovaného bentonitového štítu HERRENKNECHT o průměru 3 metry. Kabelovod byl veden kolmo na 16 dopravních kolejí v geologickém prostředí fluvialních sedimentů řeky Labe, navážek a zvětralých ortorul s mocností nadloží přibližně 5 metrů a v celé délce ražby pod hladinou podzemní vody. Ražby byly prováděny za plného provozu, a proto byly navrženy činnosti geotechnického monitoringu obzvláště důležité pro zajištění bezpečného průběhu výstavby a sledování vlivu na její bezprostřední okolí. Monitoring výstavby probíhal za pomoci automatických snímačů náklonu IOTIN společnosti INSET s.r.o. a nivelačního měření dopravních kolejí. Ražby se po celou dobu potýkaly s řadou komplikací spojených s písčitém nesoudržným podložím. Nivelačním měřením a snímači v automatickém režimu s online zobrazením, se dařilo nepříznivé deformace kolejí zaznamenávat. Zhotovitel díla tak mohl prakticky okamžitě reagovat na vzniklou situaci adekvátními technickými opatřeními.

1. ÚVOD

V rámci výstavby bezbariérového přístupu na nástupiště v železniční stanici Kolín došlo k ražbě nového kabelovodu, který byl řešen jako sdružený stavební objekt. Celková délka kabelovodu byla 401,0 m. Z toho 87,0 m bylo zhotoveno za pomoci mechanizované ražby. Během ražby byla použita mechanizace typu – bentonitový „hydro“ štít o průměru 3,0 m (Obr. 1, 2), který byl veden kolmo pod kolejemi s mocností nadloží přibližně 5,0 m. Ostění kabelovodu bylo provedeno z prefabrikované železobetonové konstrukce – celkem složeno z 29 segmentů o vnitřním průměru 2,5 m a délce jednotlivých dílců 3,0 m. Severní startovací šachta pro realizaci mechanizované ražby za pomoci bentonitového štítu byla umístěna v ulici Starokolínská, ražba pak pokračovala směrem do jižní cílové šachty umístěné na 1. nástupišti (Obr. 3).



Obrázek 1: Pohled na razičí hlavu bentonitového štítu.



Obrázek 2: Příprava razičího stroje v šachtě.

2. INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ PODMÍNKY

Nejsvrchnější povrch terénu byl na zájmové lokalitě modelován recentními antropogenními sedimenty, tj. navážkami (geotyp AN), pražcovým podložím a různorodými, převážně však kamenitopísčitymi navážkami. Celková mocnost horizontu AN byla zpravidla 1,0 až 2,0 metry. V podloží navážek se nacházejí kvartérní fluviální sedimenty Labe, které jsou svrchu tvořeny převážně slabě soudržnými, písčitymi až štěrkovitopísčitymi zeminami (geotyp FL1), často však i polohami jemnozrnných hlinito – a jílovitopísčitých zemin, místy eventuálně i s bahnitou příměsí (geotyp FL2). Mocnost fluviálních sedimentů činí převážně 3 až 6 metrů a jejich báze se na lokalitě nachází v hloubce přibližně 4,5 až 7,0 m pod terénem (tj. na niveletě cca 194,5 až 192,0 m n.m.) (Síla a Březina 2019).

V této přibližné úrovni je již zároveň i povrch skalního podloží, tvořeného dvojslídnyými ortorulami (příp. až migmatity), představujícími na lokalitě a v jejím širším okolí charakteristické horniny skalního podloží (kutnohorské krystalinikum, paleozoikum; geotyp KK), přecházejícího směrem do hloubky od zcela zvětralé W5 (eluvium) postupně přes silně a mírně zvětralou W4 resp. W3 až do pevné navětralé a zdravé horniny W2 resp. W1 (Síla a Březina 2019).

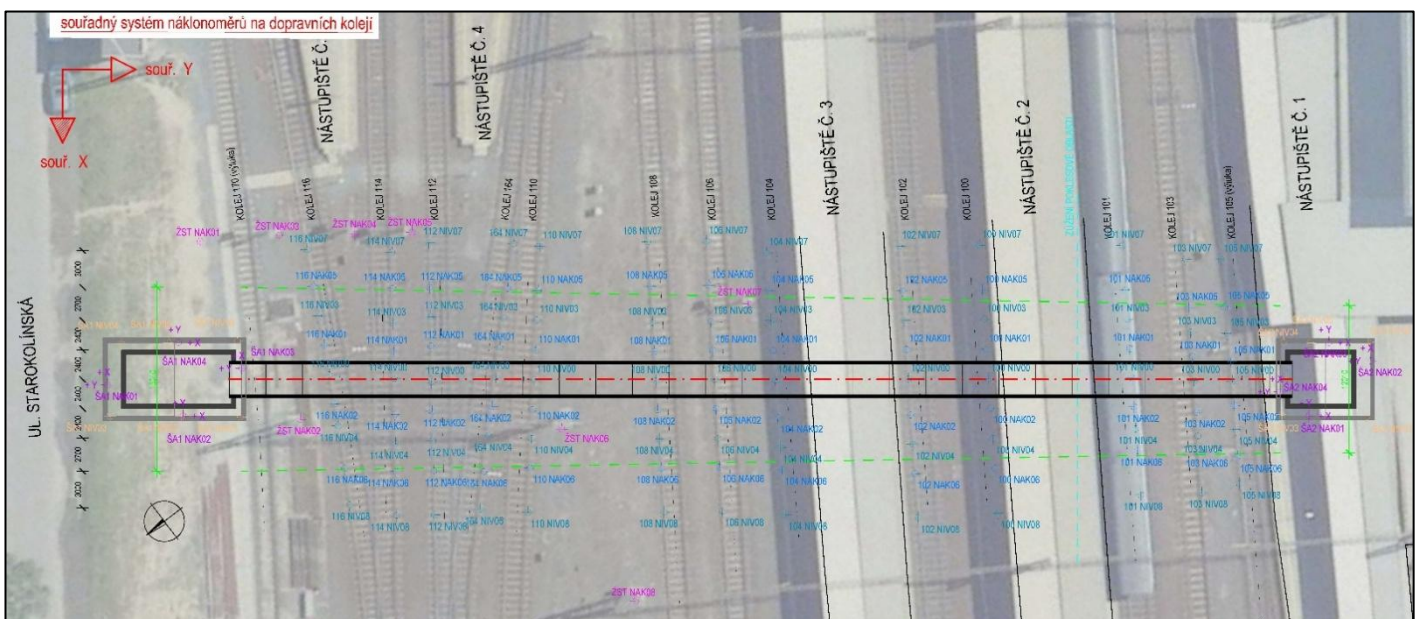
Podzemní voda se za převládajících atmosférických podmínek vyskytuje v hloubce 3 až 5 m pod terénem, tj. na niveletě ~196,3 až 194,7 m n.m., v horizontu fluviálních sedimentů FL1/FL2. V místě startovací šachty kabelovodu se hladina podzemní vody pohybovala cca 4,7 m pod povrchem terénu, tj. nad vrchlíkem tunelu a směrem k cílové šachtě mírně stoupala (Síla a Březina 2019).

Ražba ve startovací šachtě začínala v prostředí zemin, přibližně od poloviny trasy vstoupila do raženého profilu báze rul, která postupně tvořila čím dál větší podíl plochy výrubu. Závěrečná část ražeb již probíhala zcela ve skalním masivu, kde pevnostními zkouškami byla ověřena pevnost horniny až 180 MPa v prostém tlaku (Venclová et al. 2025).

3. GEOTECHNICKÝ MONITORING

Geotechnický monitoring byl nedílnou součástí výstavby nového podzemního díla. Železniční stanice Kolín disponuje celkem 16 dopravními kolejemi, z nichž se 14 nacházelo v zóně ovlivnění. Železniční stanice je součástí významného koridoru železniční tratě, a proto bylo nezbytné zajistit, aby mechanizovaná ražba nijak neomezila provoz na trati.

Rozsah a způsob monitoringu (Obr. 3) byl vypracován v souladu se zásadami mechanizované ražby, tak jako u zásad observační metody, jejímž principem je stanovení limitních hodnot pro jednotlivé měřicí metodiky, které se zároveň stanou hodnotami varovných stavů. Stejně tak v případě monitoringu této stavby byla veškerá měření zaznamenána, zpracována a neprodleně předána všem účastníkům stavby.



Obrázek 3: Situace rozmístění bodů autonomního monitoringu kolejíště.

V průběhu ražby byly výsledky předávány účastníkům výstavby ve formě „živých“ dat prostřednictvím webové aplikace MINER společnosti INSET s.r.o. Vzhledem k nutnosti okamžitých informací o dění na stavbě (aktuální data z měření) a k množství těchto dat je digitální forma zobrazení (včetně grafických a tabelárních výstupů), umožňující interaktivní zobrazení hodnot, popisků atd., prakticky jedinou možností smysluplného a přehledného online zobrazení výsledků geotechnického monitoringu.

4. ROZSAH MĚŘENÝCH BODŮ A VAROVNÉ STAVY

Před začátkem stavebních prací bylo celkem zaměřeno 13 měřicích profilů sestávající z 9 nivelačních bodů pro sledování zóny ovlivnění (celkem 117 bodů, viz Obr. 3). Hlavní měřicí bod byl osazen v ose raženého díla a zbylé body byly osazeny zrcadlově ve dvou řadách na betonové pražce vzdálené od osy ražby přibližně 2,4; 4,8; 7,8 a 10,8 m, aby byla pokryta zóna ovlivnění.

Dále byly zaměřeny přidružené prvky stanice, resp. betonové patky stožárů, stožárů trakčního vedení a návěstidla. Celkem bylo osazeno 8 nivelačních bodů pro měření výškových změn.

V případě obou šachet došlo k instalaci 6 nivelačních bodů v místě startovací šachty a 5 nivelačních bodů v místě cílové šachty.

Pro sledování náklonu dopravních kolejí a přidružené části stanice byly použity snímače náklonu IOTIN společnosti INSET s.r.o. s přesností měření 0,01 mm/m a konkrétním rozsahem měření -30° do +30°. Samotné měření probíhalo v automatickém režimu s četností odečtu 1 až 5 minut. Snímače ve staničení 0,0 až 40,0 m od startovací šachty odesílaly naměřené hodnoty s četností 1x za minutu. Takto malý interval byl zvolen z důvodu zastižených nepříznivých geologických podmínek (fluviální sedimenty Labe). Od staničení 40,0 m byla nastavena četnost měření po 5 minutách.

Pro měření náklonů na dopravní koleji, resp. na betonových pražcích byly navrženy limitní hodnoty poklesů. Tyto limitní hodnoty byly stanoveny projektantem v souladu s normou ČSN 73 6360-2. Vycházelo se z provozních odchylek, resp. meze sledování AL (Alert Limit), která byla stanovena jako 3. stupeň varovného stavu. Varovné stavy pro snímače náklonu a nivelační měření jsou uvedeny v následujících tabulkách (Tab. 1, 2).

Tabulka 1: Přehled varovných stavů pro snímače náklonu.

VAROVNÝ STAV	dopravní koleje v podélném směru ve směru X (příčně na osu ražby)	dopravní koleje v příčném směru ve směru Y (podélně s osou ražby)	vybrané prvky žst. Kolín, zejména sloupy trakčního vedení (TV)
I. předpokládaná hodnota, není třeba činit opatření	8 mm/m	2 mm/m	5 mm/m
II. vyšší hodnota, stále ještě v mezích očekávání, je třeba zvýšit četnost měření a zvýšit pozornost při sledování ostatních měřených hodnot – opatření bude dohodnuto v rámci rady monitoringu	12 mm/m	3 mm/m	10 mm/m
III. hodnoty překračující mez sledování, je třeba provést opatření k zamezení dalšího klesání – opatření bude dohodnuto v rámci rady monitoringu	16 mm/m	4 mm/m	15 mm/m

Tabulka 2: Přehled varovných stavů poklesů nivelačních bodů.

VAROVNÝ STAV	nivelační měření dopravních kolejí	vybrané prvky žst. Kolín, zejména sloupy trakčního vedení (TV)
I. předpokládaná hodnota, není třeba činit opatření	8 mm	5 mm
II. vyšší hodnota, stále ještě v mezích očekávání, je třeba zvýšit četnost měření a zvýšit pozornost při sledování ostatních měřených hodnot – opatření bude dohodnuto v rámci rady monitoringu	12 mm	10 mm
III. hodnoty překračující mez sledování, je třeba provést opatření k zamezení dalšího klesání – opatření bude dohodnuto v rámci rady monitoringu	16 mm	15 mm

5. MIMOŘÁDNÉ UDÁLOSTI

Před samotnou ražbou došlo ke dvěma zajímavým událostem spojeným s aplikací tryskových injektáží v okolí startovací šachty. Při návrhu zajištění stavebních jam se vycházelo z nejaktuálnějších informací

zjištěných při inženýrskogeologickém průzkumu z roku 2019 (Síla a Březina 2019) i z doplňkového geofyzikálního průzkumu z roku 2023 (Minář, 2023). Na tyto průzkumy reagoval návrh založení stavebních šachet. Startovací šachta byla řešena klasickým způsobem pomocí záporového pažení, s délkou zápor 16,5 m a rozepřením ve třech úrovních 2,1 m; 4,3 m a 9,1 m (pracovní rovina 199,7 m n.m). Projekt také od začátku počítal s opatřeními k ochranně celé startovací šachty v podobě zajištění šachty sloupy tryskové injektáže po obvodu šachty; pod dno šachty a za rub šachty, do nadloží budoucí rozrážky kabelovodu. Sloupy tryskové injektáže byly navrženy ze sloupů průměru 1 200 mm, jejichž pata byla ukončena 2,00 m pod dnem exkavace startovací šachty. Délka prvků sloupů tryskové injektáže tvořící obepínající clonu šachty byla 8,0 m (Ježek a Pikhartová 2024).

Ještě před samotnou ražbou mechanizovaným štítem došlo při prvním kole injektáží dne 17. 10. 2024 vlivem tryskové injektáže v okolí startovací šachty k deformacím nadloží. Byl překročen 1. varovný stav na přilehlém stožáru s označením 268A a návěstidle s označením Lc116c, což bylo dobře zdokumentováno ve vztahu k nulovému měření, jak je patrné z grafu na Obrázku 4. V rámci nivelačního měření bylo dokonce naměřeno zvednutí o +27,42 mm (3. var. stav = $\pm 15,00$ mm).

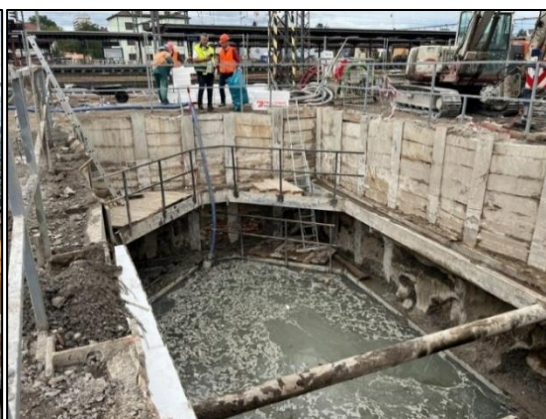


Obrázek 4: Grafický výstup z měření na snímači náklonu na stožáru 268 A.

Při samotném hloubení startovací šachty pak i přes veškeré práce speciálního zakládání došlo dne 25. 11. 2025 (hloubka čistého výkopu šachty cca 9,2 m pod terénem) k vyplavování větších objemů jemnozrnného materiálu (fluviální písčité sedimenty a jílovité zeminy) skrz pažení a dno stavební šachty. A to až do té míry, že došlo k propadu povrchu vně záporové stěny (Obr. 5). Následně bylo zapotřebí zatopit stavební šachtu cca do dvou třetin své hloubky (Obr. 6), aby nedošlo k prolomení jejího dna. Následovalo druhé kolo tryskových injektáží, které úspěšně dotěsnilo zdroje průsaků. Vzhledem k tomu, že šlo o místa mimo provozovanou trať, tak nebylo zapotřebí přistupovat k opatřením spojeným s provozem vlaků.



Obrázek 5: Propad povrchu u startovací šachty.



Obrázek 6: Zatopení šachty proti prolomení dna.

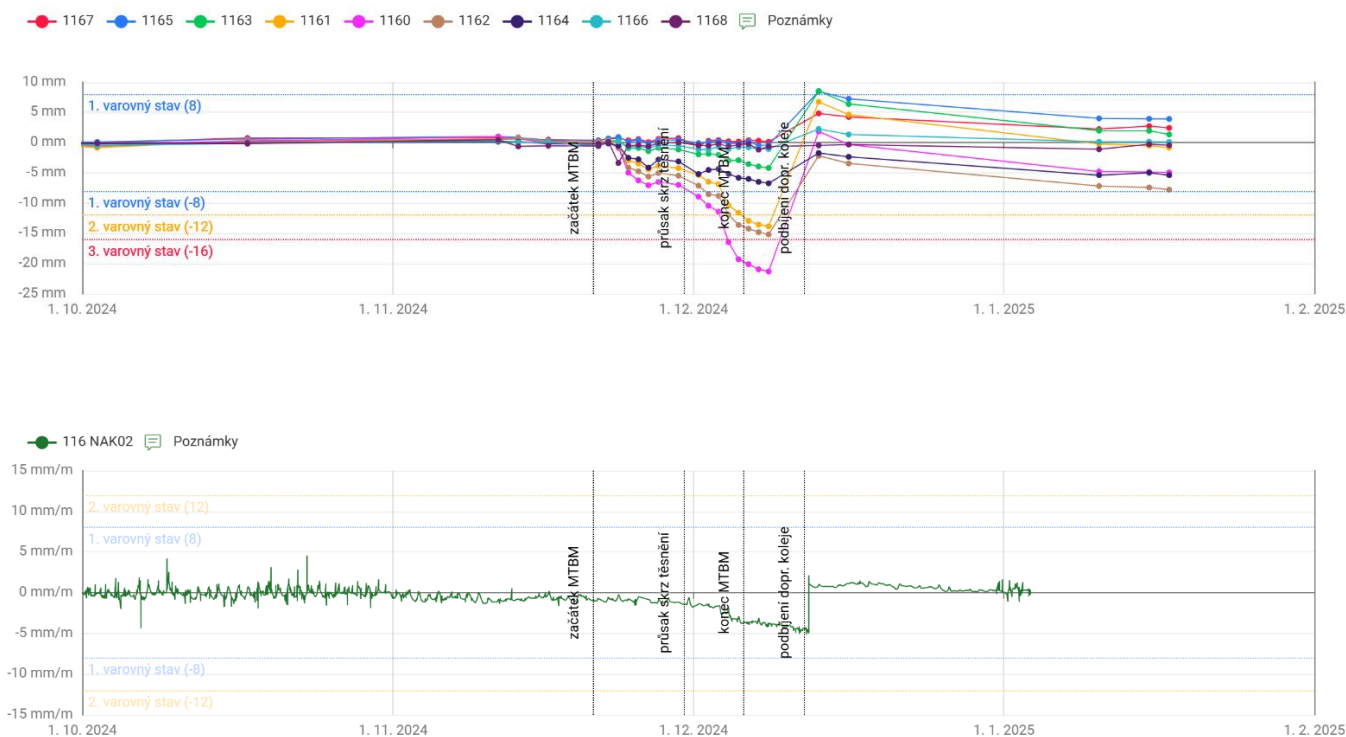
6. VÝSLEDKY MONITORINGU

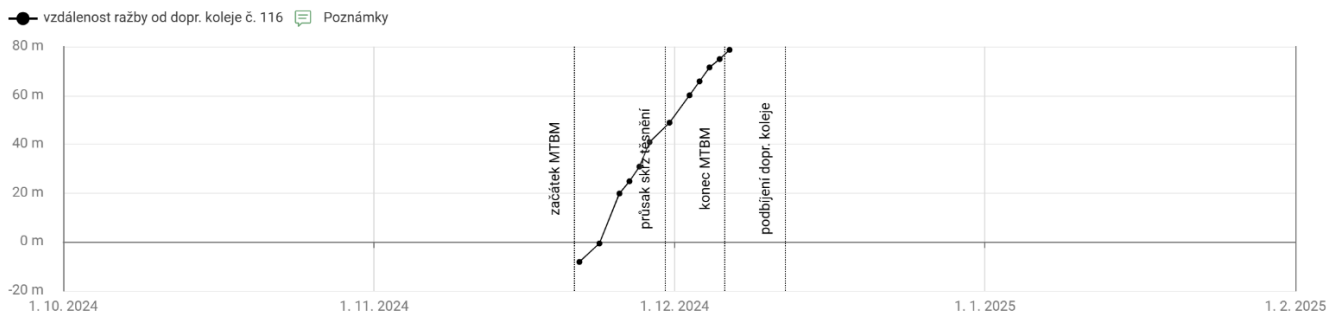
Veškerá výše v textu popsaná měření probíhala v období od 24. 9. 2024 do 17. 1. 2025. Před začátkem mechanizované ražby proběhlo měření pro zdokumentování „klidového“ stavu horninového prostředí a zaznamenání vlivů okolních podmínek (působení klimatických podmínek na monitoring). Klidový stav byl měřen do 21. 11. 2024, kdy započala mechanizovaná ražba, která trvala celkem 16 dní. Následně došlo k protlačování zbylých segmentů skrze horninové prostředí. Od 12. 12. 2024 byly provedeny sanační práce v místech většího sedání a potom proběhlo měření klidového stavu, které mělo za cíl zdokumentovat stabilitu horninového prostředí. Následným měřením nivelací byla ověřena stabilita horninového prostředí, a to konkrétně dosažením naměřených hodnot ve třech etapách měření s maximálním rozdílem chyby měření (0,2 až 0,5 mm).

V místě dopravních kolejí byla snímači náklonu měřeno naklonění ve dvou směrech, a to ve směru X (příčně na osu ražby) a ve směru Y (podélně s osou ražby), aby bylo zaznamenáno případné převýšení či zborcení koleje. Měření bylo doplněno o nivelační měření.

Na prvních 40 metrech od startovací šachty neměla samotná mechanizovaná ražba až tak značný vliv na pokles dopravních kolejí. Jeden z největších poklesů v tomto úseku byl zaznamenán na koleji č. 116 ve staničení 8,1 m od startovací šachty v souvislosti s masivním průsakem podzemní vody skrze těsnění mezi dvojicí segmentů. Průsak byl pravděpodobně způsoben špatným dolehnutím betonového dílce na těsnění. Celková změna naměřených hodnot náklonu ve směru X byla $\pm 4,80$ mm/m (1. var. stav = $\pm 8,00$ mm/m), měření náklonu ve směru Y dosahovalo maximálních hodnot $\pm 1,80$ mm/m (1. var. stav = $\pm 2,00$ mm/m) (znázorněno na Obr. 6).

V rámci nivelačního měření se průsak mezi dvojicí segmentů projevil na poklesu měřené koleje, kdy došlo 1. 12. 2024 k překročení 1. varovného stavu (= -8,00 mm) s naměřenou hodnotou -8,95 mm v ose ražby. O tři dny později byl dokonce překročen 3. varovný stav (= -16,00 mm) s naměřenou hodnotou -16,47 mm. Na celkový pokles mělo vliv i následné protlačování zbylých segmentů, kdy dne 8. 12. 2024 byla naměřena hodnota -21,31 mm (Obr. 6). Následně bylo přistoupeno k podbití dopravní koleje, a posouzení bezpečnosti dopravní koleje z hlediska GPK (geometrické polohy koleje). Naměřené hodnoty v ose ražby se postupně ustálily na hodnotě okolo -5,00 mm.





Obrázek 6: Grafický výstup nivelačního měření dopravní koleje č. 116 a naměřených hodnot na snímači náklonu 116 NAK02 ve směru X.

V navazujícím úseku ražby 40,0 m až 82,0 m docházelo v době křížení s mechanizovanou ražbou na snímačích náklonu k pozvolné změně v obou směrech v charakteristickém poklesu tvaru písmena „V“ (tj. největší pokles přímo nad osou ražby). Mírné poklesy byly patrné i v rámci nivelačního měření, kdy po čas mechanizované ražby došlo k předpokládaným poklesům stanoveným projektem (nebyl překročen žádný varovný stav). K výrazným poklesům nicméně došlo následně při protlačování jednotlivých segmentů. Na snímačích náklonu byl ve směru X zaznamenán 1. varovný stav (1. var. stav = $\pm 8,00$ mm/m) na koleji č. 101 (= $\pm 9,00$ mm/m) a 2. varovný stav (= $\pm 12,00$ mm/m) na koleji č. 103 (= $\pm 13,00$ mm/m). Ve směru Y byl zaznamenán 1. varovný stav (= $\pm 2,00$ mm/m) na koleji č. 103 ($\pm 2,50$ mm/m) a na koleji č. 105 ($\pm 2,90$ mm/m). Změna horninového prostředí (pokles) byla zaznamenána i v průběhu nivelačního měření. Docházelo k celkovému sedání koleje až na hodnoty s maximem okolo -35 mm (překročí 3. varovného stavu = -16,00 mm). V návaznosti na měřené deformace a překročení varovných stavů pak došlo k podbíjení některých kolejí a jejich následnému posouzení z hlediska bezpečnosti dle geometrické polohy koleje, které muselo vždy vyhovět.

Obecně pak lze z naměřených dat říci, že v případě měření náklonů nedošlo v průběhu výstavby k překročení 3. varovného stavu a zřídka došlo k překročení 1. nebo 2. varovného stavu, kdežto u nivelačního měření bylo překročení 3. varovného stavu zaznamenáno opakovaně. Pro budoucí úlohy podobného typu by tato zjištění mohla být použita při stanovení varovných stavů, speciálně u geodzie bylo ověřeno, že limity byly nastaveny příliš přísně (samozřejmě vše zásadně souvisí s lokální geologií).

7. ZÁVĚR

Vybudování kabelovodu pod provozovanou tratí za pomoci mikrotunelování se osvědčilo jako vhodný způsob pro sdružení a převedení kabeláže pod železniční tratí bez nutnosti výluk a významného omezení provozu. Důsledné sledování provozních parametrů na rezné hlavě razicího stroje AVN2000AH Herrenknecht doplněné o geotechnický monitoring kolejí a okolních objektů byl nedílnou součástí základního požadavku na bezpečné provedení nového podzemního díla. Přesné monitorování výškových změn nivelačním měřením bylo doplněno o měření náklonů kolejí snímači v automatickém režim, a to bez omezení mechanizované ražby a kolejové dopravy. Zásadní pak bylo rychlé zobrazení dat v online aplikaci MINER se včasným vyhodnocením naměřených dat ve vztahu k varovným stavům.

LITERATURA

JEŽEK, J.; PIKHARTOVÁ, L. *Zajištění bezbariérového přístupu na nástupiště v ŽST Kolín. SO 10-40-01 Kabelovod v ev. km 347,765. Projektová dokumentace objektu SO 10-4-01, části 1 a 2: ražený kabelovod vč. stavebních jam, stupeň RDS.* Geotechnika Praha s.r.o., Praha 07/2024.

MINÁŘ, L. *Geofyzikální průzkum podloží před plánovanou rekonstrukcí technologického podchodu a výstavbou kabelovodu na lokalitě. Závěrečná zpráva z průzkumu.* KOLEJCONSULT & servis, spol. s r.o., Brno 01/2023.

SÍLA, L.; BŘEZINA, B. *Zajištění bezbariérového přístupu na nástupiště v ŽST Kolín. Geotechnický průzkum pro těleso kabelovodu prostřednictvím série dynamických penetračních zkoušek. Závěrečná zpráva z průzkumu, stupeň DSP + PDPS.* G/T BoBr, Praha 11/2019.

VENCLOVÁ, M.; ČELIŠ, P.; HYBSKÝ, P.; JIŘIČNÝ, F. *Ražba kabelovodu mikrotunelovacím strojem pod železniční stanicí Kolín. Tunel.* 2025, roč. 34, č. 3, s. 53-59.

Ing. Miroslav Mixa

INSET s.r.o., Lucemburská 1170/7, 130 00 Praha 3

mixa.miroslav@inset.com

Ing. Vít Petržílek

INSET s.r.o., Lucemburská 1170/7, 130 00 Praha 3

petrzilek.vit@inset.com

Ing. Jiří Košťál, Ph.D.

Fakulta stavební ČVUT v Praze, Thákurova 2077/7, 166 29 Praha 6

kostal.jiri@inset.com