

MONITORING PŘI VÝSTAVBĚ STANICE OLBRACHTOVA LINKY METRA D V PRAZE

CONSTRUCTION MONITORING OF THE OLBRACHTOVA STATION OF METRO LINE D IN PRAGUE

JAKUB BOHÁTKA, DANIEL HORVÁTH, MILAN KÖSSLER

ABSTRAKT

Stanice Olbrachtova je součástí nové linky metra D v Praze. Jde o technicky velmi komplikované podzemní dílo s řadou křížících se tunelových objektů. Navíc je stanice situována v hustě zastavěné městské části Pankrác. Z těchto důvodů je nutno po dobu výstavby stanice realizovat geotechnický kontrolní monitoring. Ten je zaměřen jednak na podzemí, kde se při ražbách měří především pohyby primárního ostění (konvergence) a rovněž se zde systematicky sledují zastížené inženýrskogeologické poměry. Dále se monitoring zaměřuje na sledování horninového masivu v okolí výrubů. Za pomoci sítě z povrchu instalovaných inklinometrů, extenzometrů a hydrovrtů se monitorují jeho pohyby a vodní režim. Na povrchu je pak podrobně sledována nadzemní zástavba a také samotný terén s využitím geodetických měření. Domy v poklesové kotlině jsou navíc měřeny náklonoměry a deformometry. Součástí komplexu stanice Olbrachtova jsou rovněž dvě hloubené stavební jámy budované pro výstavbu nástupních a výstupních vestibulů jih a sever. Obě jámy se monitorují geodeticky za pomoci 3D bodů osazených na stěnách jam. Dále se zde sledují kotevní síly dynamometry osazenými na hlavy vybraných kotev. Systém měření jam je doplněn inklinometry instalovanými do vybraných obvodových pilot.

ABSTRACT

The Olbrachtova station is part of the new metro line D in Prague. It is a technically very complicated underground structure with a number of intersecting tunnels. In addition, the station is located in the densely built-up district of Pankrác. For these reasons, it is necessary to carry out geotechnical monitoring during the station construction. This is focused primarily on the underground, where the primary lining deformation (convergence) is measured during excavations and the engineering geological conditions are also systematically monitored. Furthermore, the monitoring focuses on the ground in the vicinity of the tunnels. Ground movements and water regime are monitored using a network of inclinometers, extensometers and borehole piezometers installed from the surface. The buildings and also the terrain are monitored in detail with the help of geodetic measurements. Houses in the ground settlement zone are additionally measured with inclinometers and strain gauges. The Olbrachtova station complex also includes two excavated construction pits built for the construction of the south and north entrance and exit vestibules. Both pits are monitored geodetically using 3D points placed on the walls of the pits. Furthermore, anchor forces are monitored using dynamometers mounted on the heads of selected anchors. The pit measurement system is complemented by inclinometers installed in selected perimeter piles.

ÚVOD

Realizace trasy metra I.D započala v dubnu 2022 výstavbou 1. etapy v úseku Pankrác–Olbrachtova dlouhé cca 1,3 km. Jelikož je 1. etapa technicky komplikovaná, a tedy časově náročná, započala její výstavba v předstihu před zbylou částí trasy. Úsek 1. etapy v sobě totiž mimo dvě stanice a traťové tunely mezi nimi zahrnuje i propojovací traťový tunel mezi trasami C a D, přestupní tunel ve stanici Pankrác mezi jmenovanými linkami, přístupové šachty a štoly, pět eskalátorových tunelů, propojky mezi tunely, stavební jámy pro budoucí staniční vestibuly, několik dalších objemných přidružených technologických podzemních objektů a další menší objekty. Předpoklad dokončení tohoto úseku je v roce 2029.

Výstavba 1. etapy navázala na předchozí doplňkový geologický průzkum úseku Pankrác–Olbrachtova realizovaný v období od června 2019 do listopadu 2021, jehož výsledky jsou publikovány v [1] a [2]. V rámci něho byly upřesněny geotechnické parametry horninového masivu ve vybudovaných průzkumných štolách a šachtách pro samotnou stavbu.

Stanice metra Olbrachtova je součástí výstavby nové linky metra I.D, která výrazně vylepší dopravní obsluhu mezi centrální částí Prahy a jižním okrajem metropole. V severní části trasy I.D dojde k propojení se stávajícími linkami A a C v přestupních stanicích Náměstí Míru a Pankrác. Situování linky I.D je patrné z obr. 1.

INTRODUCTION

Construction of the I.D metro began in April 2022 with the construction of the 1st phase of the Pankrác–Olbracht section, approximately 1.3km long. As the 1st phase is technically complicated and therefore time-consuming, its construction began ahead of the rest of the route. In addition to the two stations and the running track tunnels between them, the section of the 1st phase also includes a connection running track tunnel between the routes C and D, a passenger transfer tunnel at Pankrác station between the named lines, access shafts and tunnel adits, five escalator tunnels, cross-passages between tunnels, construction pits for future station concourses, several other bulky technological underground rooms and other smaller facilities. This section is expected to be completed in 2029.

The construction of the 1st phase followed after the additional geological survey of the Pankrác–Olbracht section was carried out between June 2019 and November 2021, the results of which are published in [1] and [2]. As part of it, the geotechnical parameters of the rock massif were specified in which the exploration tunnels and shafts were built as part of the future construction.

The Olbracht metro station is part of the construction of the new I.D metro line, which will significantly improve transport services between the central part of Prague and the southern edge of the metropolis. In the northern part of route I.D, the route connects with the existing lines A and C at the transfer stations Náměstí Míru and

Stanicí Olbrachtova tvoří stavební oddíl (SOD13), na kterém započaly zemní práce v říjnu 2023 hloubením šachty pro výstavbu stanice, situované nad propojkou sever přibližně uprostřed stanice Olbrachtova. Z šachty byla poté vyražena propojka sever, ze které byly následně vyraženy levý i pravý staniční tunel směrem na jih (směr stanice Nádraží Krč, SOD15). Následně byly z levého i pravého tunelu vyraženy střední a jižní propojky stanice. Severní část staničních tunelů situovaných severně od propojky sever byla vyražena z traťových tunelů oddílu SOD12. Propojky mezi staničními tunely a budoucím středním (technologickým) tunelem označené propojka TGT sever, propojka TGT jih a propojka TGT VZT byly raženy z levého i pravého staničního tunelu. Z povrchu již byly rovněž vyhloubeny obě stavební jámy pro vestibuly sever a jih. V současnosti (říjen 2024) se razí již jen eskalátorové tunely severní (dále jen ETS) a jižní (dále jen ETJ). V lednu 2025 je plánováno započítí ražby poslední části stanice Olbrachtova a sice ražby technologického tunelu, který se nachází uprostřed mezi jednotlivými staničními tunely v severní části oddílu. Je předpoklad, že ražby budou na SOD13 definitivně ukončeny v září 2025 dokončením technologického tunelu. Přehledná situace objektů s popisem jednotlivých částí SOD13 je znázorněna na obr. 2.

Generálním dodavatelem budované 1. etapy trasy metra I.D je sdružení firem Subterra a.s., HOCHTIEF CZ a. s. a STRABAG a.s., přičemž zhotovitelem stavební části SOD13 jsou společnosti STRABAG a.s. a HOCHTIEF CZ a. s. Dodavatelem prací geotechnického monitoringu je sdružení „KRTEK D Monitoring“, zastoupené firmami SG Geotechnika a.s., INSET s.r.o., GeoTec-GS, a.s. a PUDIS a.s. Investorem akce je Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost, zastoupený obstaravatelem společností Inženýring dopravních staveb a.s.

POPIS ZÁKLADNÍCH STAVEBNĚTECHNICKÝCH PARAMETRŮ DÍLA

Pro staniční tunely byly pro příčné uspořádání navrženy dle potřeb provozu metra tři základní typy výrubů – malý profil, střední profil a velký profil. Zastoupení jednotlivých typů výrubů v podélném směru tunelů je patrné z obr. 2. Pro jednotlivé typy tunelů (staniční, technologický, eskalátorový a ostatní ražené objekty) byl výrub členěn horizontálně na kalotu, opěři a dno. V profilech větších výrubů byla u některých technologických tříd kalota a případně i opěři členěna ještě vertikálně na pravou a levou část.

Pro ražbu byly navrženy vyztužovací prvky primárního ostění sestávající ze dvou vrstev stříkaného betonu (SB) vyztuženého ocelovou sítí, příhradových rámců, radiálních svorníků, předháněných obvodových jehel, čelbových kotev a vkládané ocelové výztuže různých tvarů a délek. Při ražbách na SOD13 byla rovněž použita zpevňující a těsnící chemická injektáž horninového prostředí aplikovaná



zdroj web Dopravního podniku hl. m. Prahy, akciová společnost
source website of the Transport Company of the City of Prague, stock company

Obr. 1 Situace širších vztahů
Fig. 1 Plan view

Pankrác. The location of the I.D line can be seen in Fig. 1.

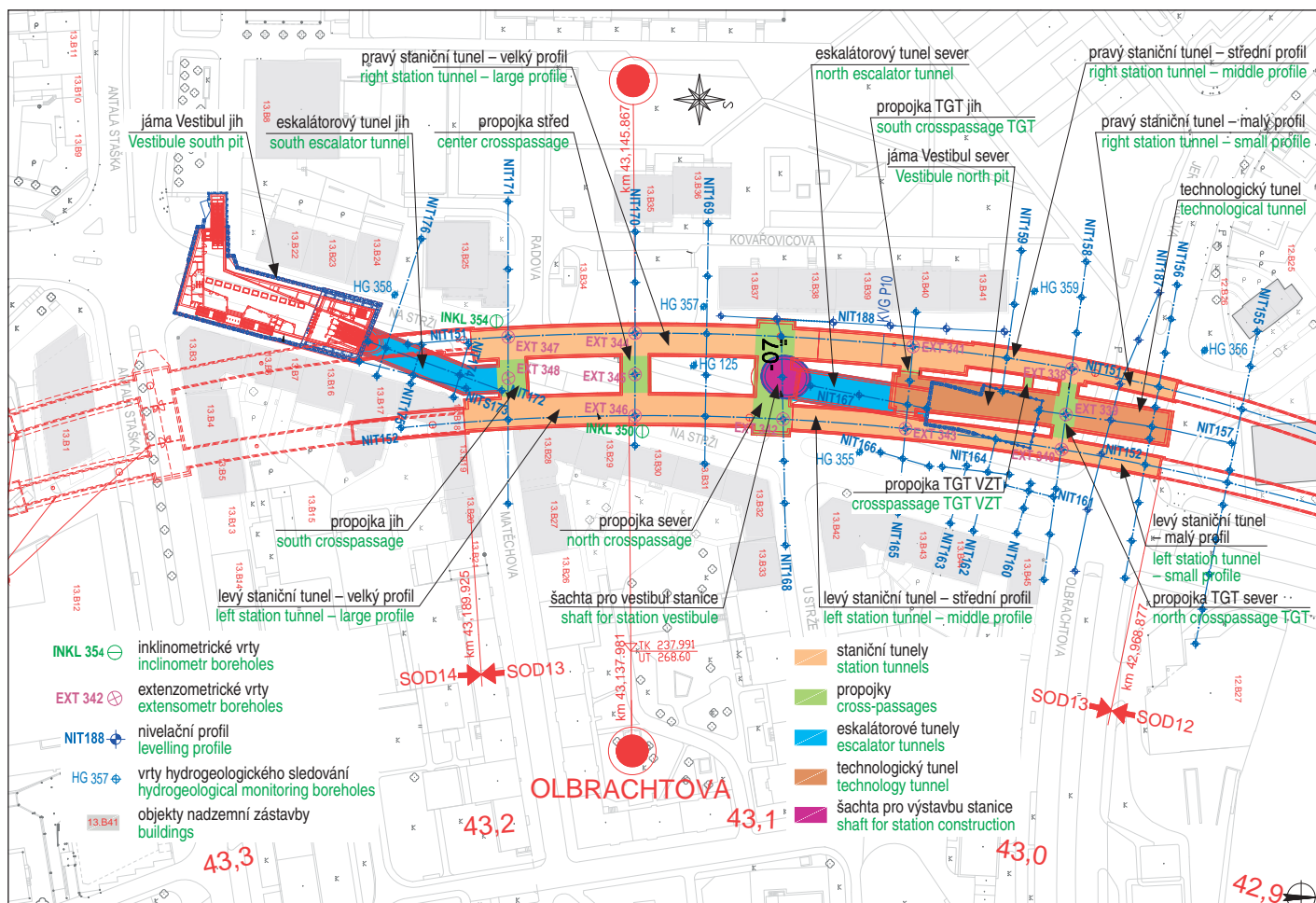
The Olbrachtova station consists of a construction section (SOD13), in which earthworks began in October 2023 by excavating the shaft for the station construction, located above the north cross-passage approximately in the middle of the Olbrachtova station. The north cross-passage was then driven from the shaft, and from the cross-passage the left and right station tunnels were subsequently driven south (in the direction of Nádraží Krč station, SOD15). Subsequently, the central and southern cross-passages of the station were driven from the left and right station tunnels. The northern part of the station tunnels located north of the north cross-passage was driven from the track tunnels of section SOD12. The cross-passage between the station tunnels and the future central (technological) tunnel marked TGT north cross-passage, TGT south cross-passage and TGT VZT cross-passage were driven from the left and right station tunnels. The two construction pits for the north and south vestibules have also

been excavated from the surface. Currently (October 2024), only the northern (hereafter referred to as ETS) and southern (hereafter referred to as ETJ) escalator tunnels are being excavated. Excavation of the last part of the Olbrachtova station is planned to begin in January 2025, namely the excavation of the technological tunnel, which is located in the middle between the individual station tunnels in the northern part of the section. It is assumed that excavation at SOD13 will be completed in September 2025 with the completion of the technological tunnel. A situation of objects with a description of individual parts of SOD13 is shown in Fig. 2.

The general contractor of the 1st phase of the I.D metro line is the joint venture of companies Subterra a.s., HOCHTIEF CZ a. s., and STRABAG a.s., while the contractor for the construction part of SOD13 is STRABAG a.s. and HOCHTIEF CZ a. s. The supplier of geotechnical monitoring works is the joint venture “KRTEK D Monitoring”, represented by the companies SG Geotechnika a.s., INSET s.r.o., GeoTec-GS, a.s. and PUDIS a.s. The investor is Prague Public Transit Company, a stock company, represented by the supervizing company Inženýring dopravních staveb a.s.

DESCRIPTION OF BASIC STRUCTURAL PARAMETERS

The station tunnels are three basic types: small profile, medium profile and large profile which were designed for the transverse arrangement according to the needs of the metro operation. The types of excavations in the longitudinal direction of the tunnels can be seen in Fig. 2. The excavation of the tunnels (station, technological, escalator and other excavated objects) was divided horizontally into a top heading, abutment and bottom benches. In large tunnel profiles of some technological classes, the top heading and possibly the abutment were also divided vertically into right and left side drifts.



zdroj METROPROJEKT Praha, a.s. a Krtek D monitoring source METROPROJEKT Praha, a.s. and Krtek D monitoring

Obr. 2 Situace stanice Olbrachtova
Fig. 2 Olbrachtova station plan view

do předpolí ražeb prostřednictvím čelbových kotev a obvodových předháněných jehel. Detailně jsou způsoby vyztužení a provádění ražeb popsány v prováděcích projektech zpracovaných v [3], [4], [5] a [6].

Staniční tunely Olbrachtova jsou raženy ve skalním prostředí reprezentovaném ordovickými břidlicemi (bohdaleckého souvrství), které jsou často tektonicky porušené, což zhoršuje jejich mechanické vlastnosti. Skalní podloží je překryto kvartérními vrstvami a vrstvou antropogenních sedimentů. Kvartérní vrstvy reprezentuje především níže položená Pankrácká terasa zahrnující celou škálu zemín od hlinitopísčitých až po šterkopísky. Výška nadloží staničních tunelů je cca 24 m, mocnost antropogenních sedimentů činí cca 1,5 m a mocnost fluvialních zemín je cca 6 m. Z uvedeného vyplývá, že vlastní skalní nadloží tunelů činí cca 16,5 m s tím, že povrch skalního podloží tvoří při bázi kvartéru cca 3 m mocná vrstva silně zvětralé břidlice pevnostní třídy R5 až R6.

Stanice Olbrachtova je situována ve staničení km 42,968.877 až km 43,189.666 (platí pro levou kolej), tzn., že je dlouhá cca 221 m, přičemž staničení tunelů narůstá ve směru od severu k jihu. Levý staniční tunel (dále LST) i pravý staniční tunel (dále PST) v podélném směru klesají v celé délce úseku.

ČINNOSTI GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU

Monitoring stanice Olbrachtova (SOD13) je prováděn dle podrobné prováděcí projektové dokumentace, která byla zpracována ve dvou hlavních částech. První část [7] zahrnuje úsek situovaný severně od propojky sever a druhá část [8] pro úsek jižně od propojky sever.

Primary lining consisting of two layers of shotcrete (SC) reinforced with steel mesh, lattice girders, radial bolts, spiles, face anchors and steel reinforcement rebars of various shapes and lengths was designed for the excavation. During excavations at SOD13, a ground strengthening and groundwater sealing chemical grouting of the rock was also used, and applied in the ground ahead of the excavations by means of the face anchors and spiles. The tunnel excavation technology and is described in detail in the project documentation for construction in [3], [4], [5] and [6].

The Olbrachtova station tunnels are excavated in the rock represented by Ordovician clayshales (Bohdalec formation), which are often tectonically fractured, which worsens their mechanical properties. The bedrock is covered by Quaternary layers and a layer of anthropogenic sediments. The Quaternary layers are mainly represented by the lower Pankrác terrace, including the whole range of soils from silty sand to gravelly sand. The height of the overburden of the station tunnels is approx. 24m, the thickness of anthropogenic sediments is approx. 1.5m and the thickness of fluvial soils is approx. 6m. It follows from the above that the actual rock cover of the tunnels is about 16.5m, and that the top of the bedrock consists of about 3m thick layer of strongly weathered clayshale of strength class R5 to R6.

The Olbrachtova station is located at the stationing 42,968,877km to 43,189,666km (applies to the left track), i.e. it is approximately 221m long, while the stationing increases in the direction from north to south. The left station tunnel (LST) and the right station tunnel (PST) descend in the longitudinal direction along the entire length of the section.

Monitoring v podzemí

Jednou z hlavních činností monitorující v podzemí chování výrubu a primárního ostění bezprostředně po vyražení díla, jsou geodetická měření deformací ve 3D (tzv. konvergenční měření), použitá ve všech ražených a hloubených objektech. Pro výstavbu SOD13 byla stanovena základní vzdálenost konvergenčních profilů 10 m. Konvergenční profily mají dle rozměru příčného profilu výrubu počet bodů od tří (propojka VZT) až po devět (staniční tunely velkého profilu, ETS, propojka sever a tunel TGT). Obecně lze konstatovat, že vývoj deformací výrubu byl příznivý ve vztahu k nastaveným varovným stavům (jejichž kritéria byla stanovena statickým výpočtem). Svislé i příčné deformace se většinou ustalovaly pod stanovenými kritérii varovných stavů (dále jen VS). Pouze na několika profilech byl překročen 1. VS, například na profilu PST KVG P10, jehož umístění je patrné z obr. 2. Vývoje deformací ve svislém a příčném směru na tomto konvergenčním profilu jsou znázorněny na obr. 3 a obr. 4.

V podzemí byla dále prováděná podrobná inženýrskogeologická dokumentace výrubu s fotodokumentací a geotechnickým pasportem s nákresem čelby, textovým záznamem zjištěných skutečností, zhodnocením kvality horninového masivu dle zásad klasifikace QTS a komentáři či doporučeními ohledně technologických opatření pro další ražbu. Tato činnost byla prováděna systematicky pro každý záběr ražeb. Ražbami byly dle předpokladů zastíženy ordovické břidlice, které se v zásadě vyskytovaly ve dvou kvalitách, a to jako zdravé – nezávětralé (pevnostní třídy R3 až R4) nebo jako tektonicky postižené (pevnostní třídy R5, místy i R6). Tyto dva typy horniny se v průběhu ražeb často střídaly. Přítoky podzemní vody do výrubu byly nízké a většinou se projevovaly pouze jako úkapy. I vzhledem k relativně suchému prostředí probíhaly ražby, jak ve zdravých, tak i v tektonicky porušených úsecích, bez významnějších stabilitních problémů (rozpojování horniny bylo prováděno strojně).

V podzemí bylo rovněž měřeno napětí v primárním ostění. V LST i PST bylo pro tento účel instalováno po třech tenzometrických

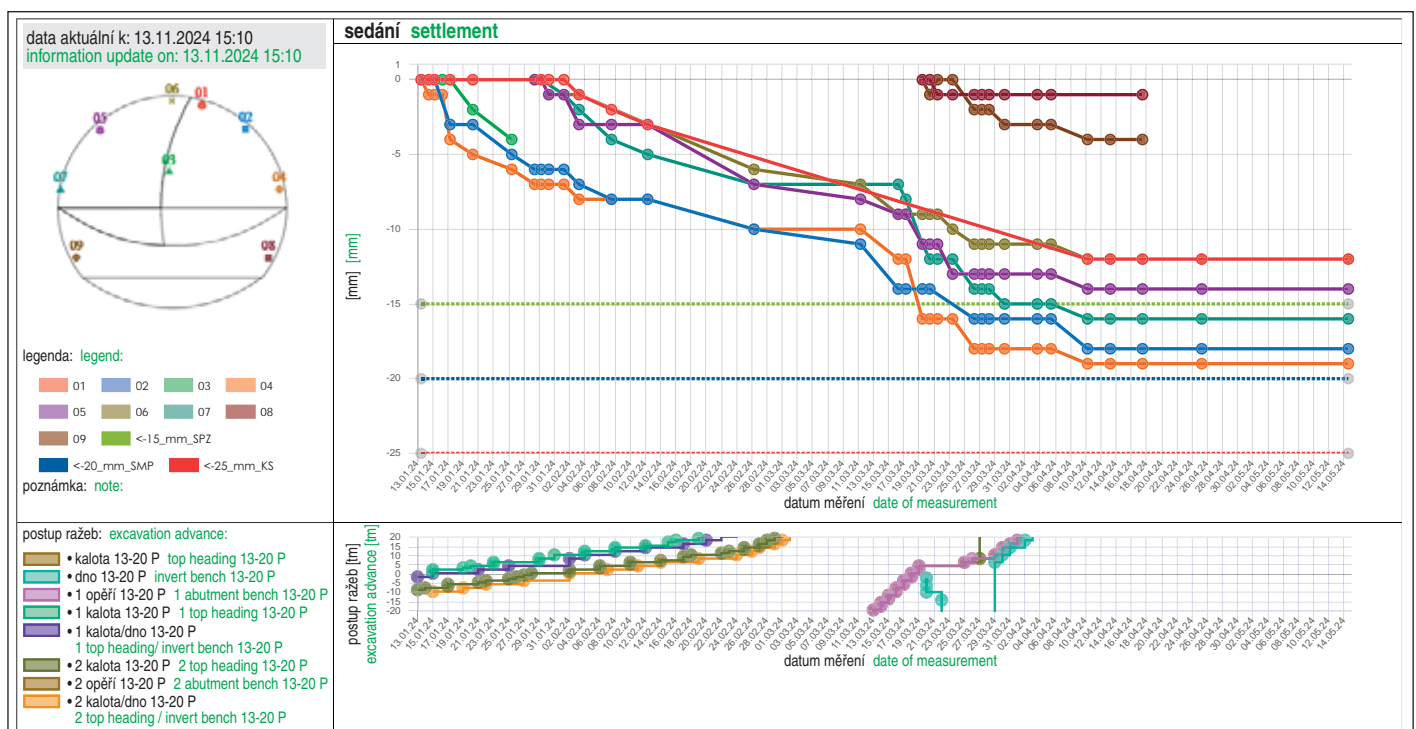
GEOTECHNICAL MONITORING ACTIVITIES

The monitoring of the Olbrachtova station (SOD13) is carried out according to the project detailed documentation for construction, which was processed in two main parts. The first part [7] includes the section located north of the north cross-passage and the second part [8] the section located south of the north cross-passage.

Underground monitoring

All open cuts and underground excavations, are one of the main activities used for monitoring the behavior of the excavation and primary lining in underground immediately after the excavation. For the construction of SOD13, the basic distance between the convergence profiles was determined to be 10m. Convergence profiles have from three (VZT cross-passage) to nine target points (large profile station tunnels, ETS, north cross-passage and TGT tunnel) depending on the size of the cross section profile. In general, it can be stated that the development of the deformations of the excavated profiles was favorable in relation to the warning levels (whose criteria were determined by static calculation). Vertical and transverse deformations were mostly below the warning levels (hereafter referred to as VS). Only on a few profiles, the 1st VS was exceeded, for example on the PST KVG P10 profile, the location of which can be seen in Fig. 2. Developments of deformations in the vertical and transverse directions on this convergence profile are shown in Fig. 3 and Fig. 4.

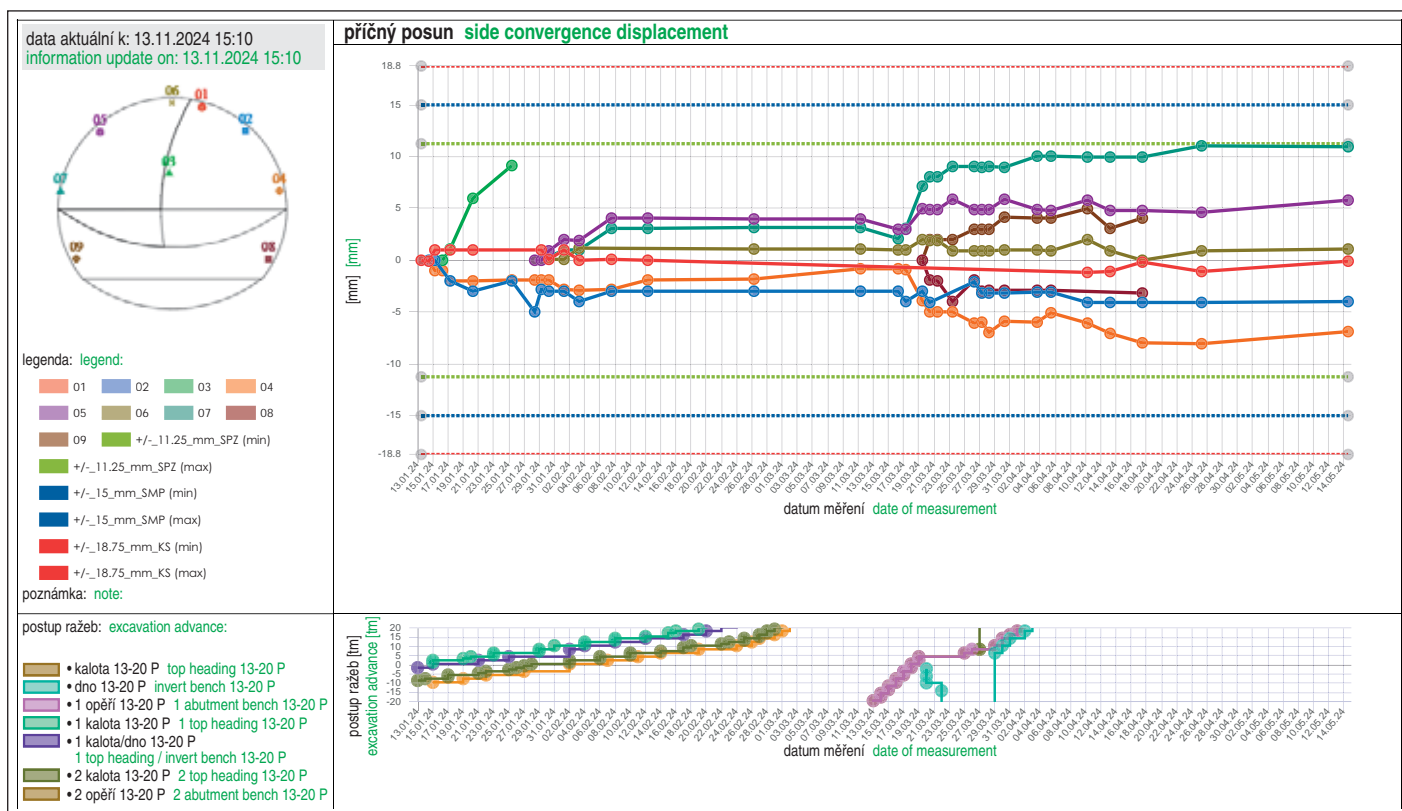
In the underground, the detailed engineering-geological documentation of the excavation was carried out with photo documentation and a geotechnical sheet with a sketch of the face, a text record of the facts found, an evaluation of the quality of the rock according to the principles of the QTS classification and comments or recommendations regarding technological measures for further excavation. This activity was carried out systematically for each excavation round. According to the assumptions, Ordovician clayshales were encountered during the excavations, which basically occurred in two qualities, namely as sound (strength classes R3 to R4) or as tectonically disturbed (strength classes R5, sometimes even



zdroj Krtek D monitoring source Krtek D monitoring

Obr. 3 Vývoj deformací ve svislém směru na konvergenčním profilu P10

Fig. 3 Development of deformations in the vertical direction in the convergence profile P10



Obr. 4 Vývoj deformací v příčném směru na konvergenčním profilu P10

Fig. 4 Development of deformations in the transverse direction in the convergence profile P10

profílech. Tři profily byly instalované v místech s malým či středním výrubem a sestávaly ze tří dvojic tenzometrů. Další tři profily byly osazené do velkého výrubu a ty sestávaly vždy z pěti dvojic tenzometrů. Tenzometry byly vždy umístěny ve dvojicích v rubu a líci primárního ostění tangenciálně. Maximální naměřené hodnoty napětí činily do 25 MPa v tlaku či tahu.

Další položkou monitoringu v podzemí pro posouzení vlivu ražby bylo konvergenční měření uvnitř stávající kanalizace (stocce) situované v nadloží LST i PST v ulici Jeremenkova. Zde bylo instalováno sedm tříbodových konvergenčních profilů měřených konvergenčním pásmem. Naměřené deformace byly nízké, v jednotkách prvních milimetrů.

Monitoring horninového prostředí

Pro sledování svislých deformací skalního masivu nad výrubem (a rozvolnění horninového prostředí) bylo v rámci SOD13 před započatím ražeb instalováno 11 extenzometrů (EXT 338 až EXT 348). Vrtly byly umístěny do míst s očekávanými zvýšenými deformacemi, tedy do křížení LST a PST s tunelovými propojkami či uprostřed mezi LST a PST v ose propojek. Jejich situování je patrné z obr. 2. U všech vrtů byly v podzemí instalovány tři měřicí úrovně – nejnižší ve výšce cca 2 m, střední cca 7 m a nejvyšší cca 12 m nad teoretickým lícem výrubu. Vrtly byly měřeny kontinuálně v automatickém režimu s odečtem po šesti hodinách. Některé měřené úrovně extenzometrů EXT 340, EXT 344 a EXT 345 vykazovaly relativně velký pohyb vzhůru již několik metrů před průchodem kaloty. K největšímu zdvíhu došlo u extenzometru EXT 340, kde byl 4 m před průchodem kaloty naměřen zdvih +39 mm. Pohyby vzhůru byly způsobeny aplikací systematické injektáže realizované v předpolí ražeb do přístropí a do čelby. Ostatní extenzometry reagovaly na ražby dle očekávání sedáním. Nejvyšší sedání bylo naměřené na EXT 346 na nejnižší kotvě, kde byla deformace 72 mm. Velká část deformace (47 mm) proběhla ještě před průchodem

R6). These two types of rock often alternated during excavations. Groundwater inflows into the tunnel were low and mostly manifested themselves only as drips. Even due to the relatively dry environment, excavations were carried out in both healthy and tectonically disturbed sections without significant stability problems (the rock disintegration was done mechanically).

The stress in the primary lining was also measured underground. For this purpose, three tensometric profiles were installed in both LST and PST. Three profiles were installed in places with small or medium excavation cross section and consisted of three pairs of strain gauges. The other three profiles were fitted into large cross section and each consisted of five pairs of strain gauges. Strain gauges were always placed in pairs tangentially on the back and the face side of the primary lining. The maximum measured stress values were up to 25MPa in compression or tension.

Another task of underground monitoring was to assess the impact of excavation on walls deformation measured inside the existing sewer (sewage) located in the overburden of LST and PST in Jeremenkova Street. Seven three-point convergence profiles measured by the convergence tape were installed here. The measured deformations were low, in units of millimeters.

Rock mass monitoring

In order to monitor the vertical deformations of the rock mass above the excavation (and the loosening of the rock mass), 11 extensometers (EXT 338 to EXT 348) were installed within SOD13 before the start of excavations. The boreholes were placed in places with expected increased deformations, i.e. in the crossing of LST and PST with tunnel cross-passages or in the middle between LST and PST in the axis of the cross-passages. Their location can be seen in Fig. 2. For all boreholes, three measuring levels were installed underground – the lowest of approx. 2m, the middle of approx. 7m and the highest level at approx. 12m above the theoretical excavation

první dílčí kaloty pod vrtem a lze tudíž předpokládat, že tato část deformace byla způsobena tlakem injektáží realizovaných před ražbou. Zbývající část sedání (25 mm) lze přičíst vlivu ražeb. Průběh deformací naměřených EXT 346 je na obr. 5. Ve stejném staničení jako EXT 346 byl rovněž instalován konvergenční profil KVG L17, na kterém byla naměřena svislá deformace vrcholového bodu cca 10 mm, tedy cca 40 % hodnoty sedání z extenzometru.

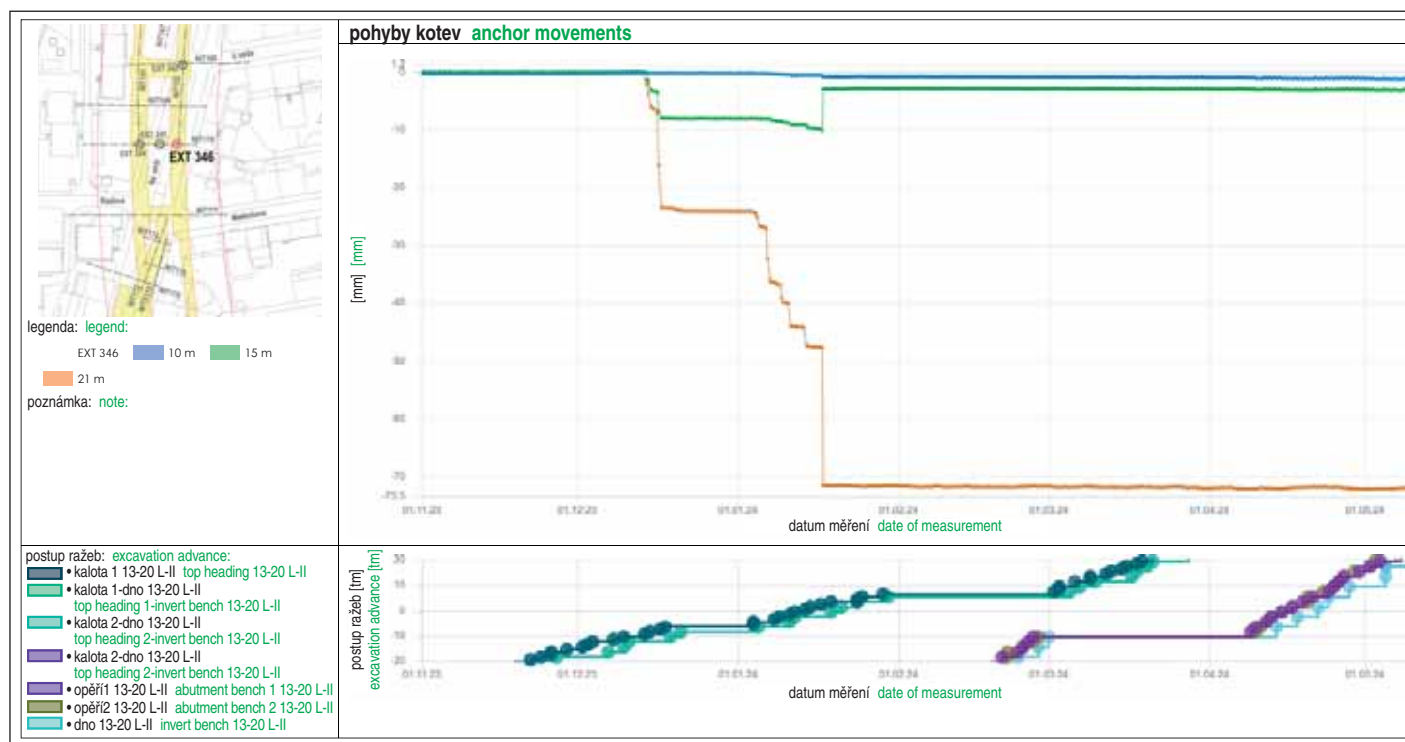
Pro sledování vodorovných pohybů horninového prostředí byly v jižní části stanice Olbrachtova instalovány dva vertikální inklinometry ve vrtech INKL 350 a INKL 354, jejichž situování je patrné z obr. 2. INKL 350 je umístěn 1,7 m nalevo (ve směru staničení) od teoretického líce výrubu levého staničního tunelu a INKL 354 je umístěn 1,9 m napravo (ve směru staničení) od teoretického líce výrubu PST. INKL 350 byl instrumentován do hloubky 38,5 m, tedy cca 5,1 m pod počvu LST. INKL 354 byl instrumentován do hloubky 36,0 m, tedy cca 2,4 m pod počvu PST. Na obou inklinometrech byla měření prováděna v četnosti cca 1krát až 2krát za týden při průchodu čeleb. INKL 350 však byl při průchodu kaloty v hloubce 21 m poškozen injektáží nebo radiálním svorníkem a od ledna 2024 není měřitelný. Maximální vodorovnou deformaci INKL 350 zaznamenal v úrovni kaloty, a to 4 mm západním směrem (směrem k výrubu LST). INKL 354 reagoval na průchod kaloty minimálně. Až při průchodu opěří vzrostla horizontální deformace o cca 2 mm. K 5. 11. 2024 byla vodorovná deformace v úrovni výrubu PST 4 mm východním směrem (směrem k výrubu PST).

Pro sledování režimu hladiny podzemní vody (dále HPV) bylo před započítím ražeb v oblasti stanice Olbrachtova instalováno šest hydrovrtů označených HG 125 a HG 355 až HG 359. Jejich situování je patrné z obr. 2. Ve vrtech HG 125, HG 355, HG 357 a HG 358 došlo během výstavby pouze k nevýznamným změnám, vliv stavby se zde tedy neprojevoval. Odlišná byla situace u vrtu HG 356, který je situován na hranici SOD12 a SOD13 (viz obr. 2). Okolo tohoto vrtu procházely dílčí výrubu PST (kalota a dno) v červenci 2023, což koresponduje s chováním HPV – viz obr. 6. Z obrázku je patrné, že v období od července 2023 až do prosince 2023 zde

boundary. The borehole measurements were taken continuously in automatic mode with a reading every six hours.

Some of the measurements of the EXT 340, EXT 344 and EXT 345 extensometers showed a relatively large upward movement already several meters before the passage of the top heading. The largest lift occurred in the extensometer EXT 340, where a lift of +39mm was measured 4m before passing through the top heading. The upward movements were caused by the application of systematic grouting carried out ahead of the excavation face. The other extensometers responded to the excavations by measured settlements as expected. The highest settlement was measured at EXT 346 at the lowest level, where the deformation was 72mm. A large part of the settlement (47mm) took place even before the passage of the first top heading side drift under the borehole, and it can therefore be assumed that this part of the deformation was caused by the pressure of the grouting carried out before excavation. The remaining part of the settlement (25mm) can be attributed to the influence of the excavation. The development of deformations measured by EXT 346 is shown in Fig. 5. In the same stationing as EXT 346, a KVG L17 convergence profile was also installed, in which the vertical deformation of the crown point of approx. 10mm, was measured, which was approx. 40% of the settlement value measured in the extensometer.

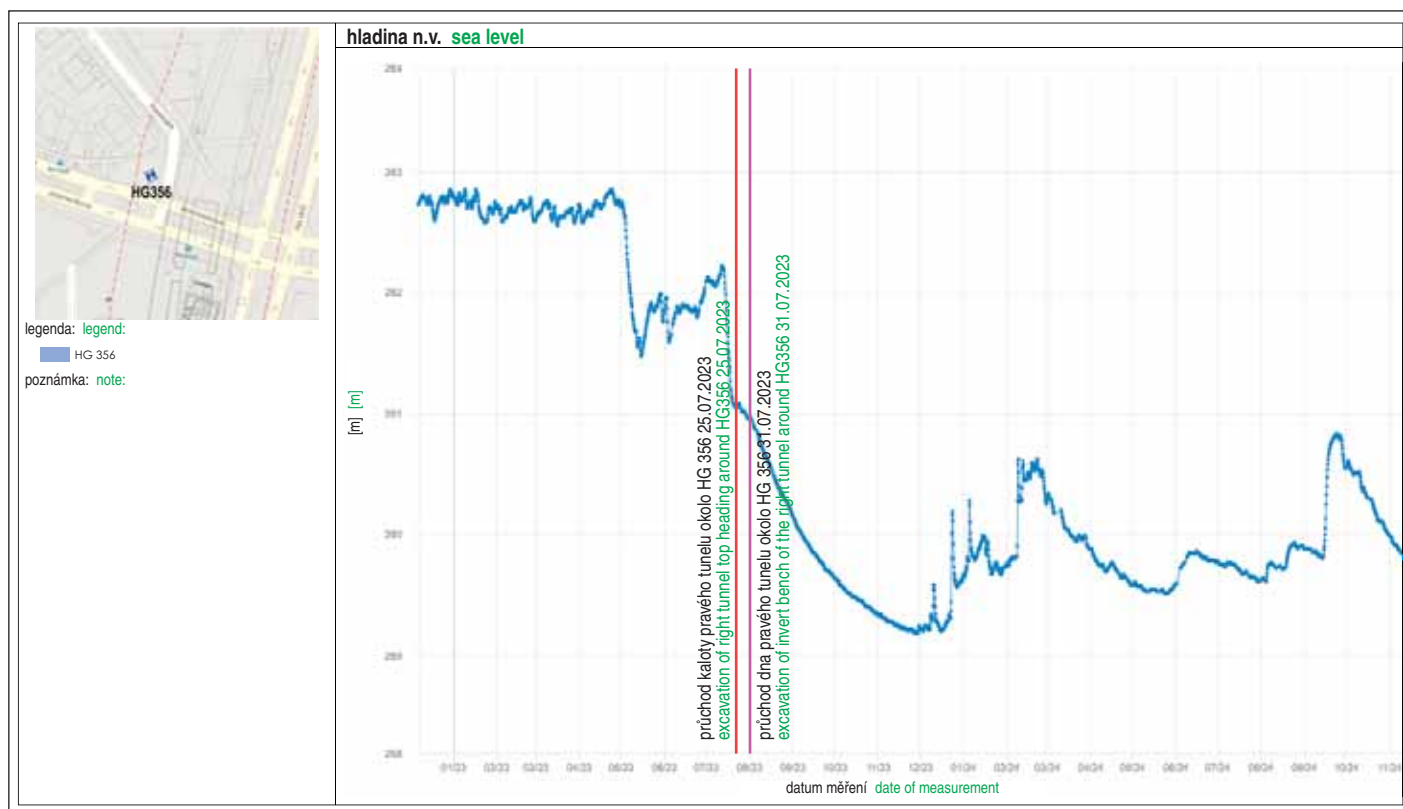
To monitor the horizontal movements of the rock mass, two vertical inclinometers were installed in the southern part of the Olbrachtova station in INKL 350 and INKL 354 boreholes, the location of which can be seen in Fig. 2. INKL 350 is located 1.7m to the left (in the direction of stationing) from the theoretical boundary of the left station tunnel, and INKL 354 is located 1.9m to the right (in the direction of stationing) from the theoretical boundary of the PST. INKL 350 was instrumented to a depth of 38.5m, i.e. approx. 5.1m below the LST invert. INKL 354 was instrumented to a depth of 36.0m, i.e. approx. 2.4m below the PST invert. On both inclinometers, measurements were taken approximately 1 to 2 times per week during the passage of the excavation faces. However, INKL 350 was damaged by grouting or by a radial bolt during the passage of the top heading at a depth of



zdroj Krtek D monitoring source Krtek D monitoring

Obr. 5 Průběh deformace extenzometru EXT 346

Fig. 5 Development of extensometre deformation in EXT 346



Obr. 6 Vývoj hladiny podzemní vody hydrovrtu HG 356
Fig. 6 Development of the groundwater level in the hydrowell HG 356

zdroj Krtek D monitoring source Krtek D monitoring

docházelo k soustavnému poklesu HPV, coby reakce na ražby (pokles o cca 3 m). PST náležející do SOD 12, který na severu navazuje na PST náležející do SOD 13, byl totiž ražen v technologické třídě 5a. U této třídy nebyly aplikovány zpevňující a těsnící chemické injektáže po obvodu přístropí a v čelbě, podzemní voda tak snadněji pronikala do tunelu. Naproti tomu po celé délce SOD13 bylo ražení podporováno funkční injektáží, která na SOD13 bránila snížení HPV vlivem tunelování. Mírné ovlivnění HPV bylo ještě indikováno u hydrovrtu HG 359, a to vzhledem k hloubení jámy severního vestibulu. Došlo zde po dohloubení jámy na definitivní úroveň k poklesu HPV o cca 30 cm.

Monitoring na povrchu

Tunely stanice Olbrachtova sledují zhruba severojižní směr. Ze severu trasa nejdříve krátce (cca 18 m) podchází v kolmém směru ulici Jeremenkovu a poté pokračuje k jihu (cca 39 m) a v ostrém úhlu podchází ulici Na Strži (viz obr. 2). Dále na jih od ukončení staničních tunelů (od km 43,189.666 LST) povrchovou zástavbu ovlivňuje jáma jižního vestibulu a ETJ. V poklesové kotlině se nachází řada objektů nadzemní zástavby. Ve východní části poklesové zóny v ulici Na Strži je to 19 objektů nadzemní zástavby označených 13.B3, 13.B6, 13.B7, 13.B16 až 13.B20, 13.B27 až 13.B33 a 13.B42 až 13.B45. Jedná se o zděné budovy se dvěma či třemi nadzemními podlažními a sedlovými střechami s dřevěným krovem. Budovy jsou plně nebo částečně podsklepené a slouží především pro účely bydlení a částečně jako komerční provozovny. V západní části poklesové kotliny je situováno 11 objektů nadzemní zástavby označených 13.B22 až 13.B25 a 13.B35 až 13.B41. Domy 13.B22 až 13.B24 jsou zděné a slouží k bydlení a ke komerčním aktivitám. Budova 13.B22 má tři nadzemní podlaží a technický suterén a její střecha je sedlová s dřevěným krovem. Objekt 13.B23 má pět nadzemních podlaží a technický suterén a střecha je plochá s pochozí hydroizolací. Dům 13.B24 má čtyři nadzemní podlaží a technický

21m and was not used for measurements since January 2024. INKL 350 recorded the maximum horizontal deformation at the level of the top heading, namely 4mm in the western direction (towards the LST). INKL 354 reacted minimally to the passage of the top heading. The horizontal deformation only increased by approx. 2mm after the passage of abutment bench excavation. As of 5.11.2024, the horizontal deformation at the level of the PST excavation was 4mm in the eastern direction (toward the PST cut).

In order to monitor the groundwater level regime (hereinafter referred to as HPV), six hydrogeological boreholes marked HG 125 and HG 355 to HG 359 were installed in the area of the Olbrachtova station before excavations began. Their location can be seen in Fig. 2. In the wells HG 125, HG 355, HG 357 and HG 358, only insignificant changes occurred during construction, so the influence of the construction was not manifested here. The situation was different for the well HG 356, which is located on the border of SOD12 and SOD13 (see Fig. 2). Sequential excavation of PST (top heading and invert bench) passed by this well in July 2023, which corresponds to the behavior of HPV – see Fig. 6. It can be seen from the Figure that in the period from July 2023 to December 2023, there was a continuous decrease in HPV here, as a reaction to excavation (decrease of approx. 3m). The PST belonging to SOD 12, which in the north follows the PST of the SOD 13, was excavated in technology class 5a. For this class, ground strengthening and groundwater sealing chemical grouting were not applied along the top perimeter of the face and in the face, so that groundwater penetrated into the tunnel more easily. In contrast, along the entire length of SOD13, the excavations were protected by grouting, which prevented tunneling-induced lowering of HPV in SOD13. A slight impact on HPV was still detected in the borehole HG 359, due to the excavation of the open pit of the northern vestibule. Here, after deepening the pit to the final level, the HPV dropped by about 30cm.

suterén a střecha je rovněž plochá s pochozí hydroizolací. Objekt 13.B25 má pět nadzemních podlaží a není podsklepen. V jeho přízemí se nachází restaurace a zbytek objektu slouží jako zázemí firmy ÚAMK. Hlavní nosná konstrukce je tvořena montovaným železobetonovým sloupovým skeletem. Střecha je plochá s pochozí hydroizolací. Budovy 13.B35 až 13.B41 v ulici Kovařovicova jsou obytné panelové domy. Domy 13.B35 a 13.B36 mají čtyři nadzemní podlaží a suterén. Objekty 13.B37 až 13.B41 mají osm nadzemních podlaží a technický suterén.

Všechny výše popsané budovy byly nivelačně, případně i trigonometricky sledovány a jejich sedání zatím, s výjimkou objektů 13.B37 až 13.B41, probíhala příznivě, pod statikem stanovenými kritérii VS, se sedáním do 10 mm. Poněkud odlišný vývoj sedání pozorovaný na objektech 13.B37 až 13.B41 je popsán v kapitole „Monitoring komplexu bytových domů Kovařovicova“. Stanovení limitních deformací (VS) vychází z hodnot uvedených v ČSN EN 1997-1 s přihlédnutím autora statického posudku ke stáří a stavu dané budovy zdokumentovaném v pasportu.

Mimo objektů nadzemní zástavby byl nivelačně sledován i vývoj deformací povrchu v poklesové kotlině. Před zahájením stavebních prací byly na terénu stabilizovány geodetické body, uspořádané v příčných a podélných profilech tak, aby pokryly celou šířku poklesové zóny předpokládané projektem. Rozmístění nivelačních profilů označených NIT je patrné z obr. 2. Hodnoty naměřených poklesů se pohybovaly do 19 mm. Na většině nivelačních profilů byla nastavena hodnota prvního VS na 19 mm, takže k překročení kritérií VS nedošlo.

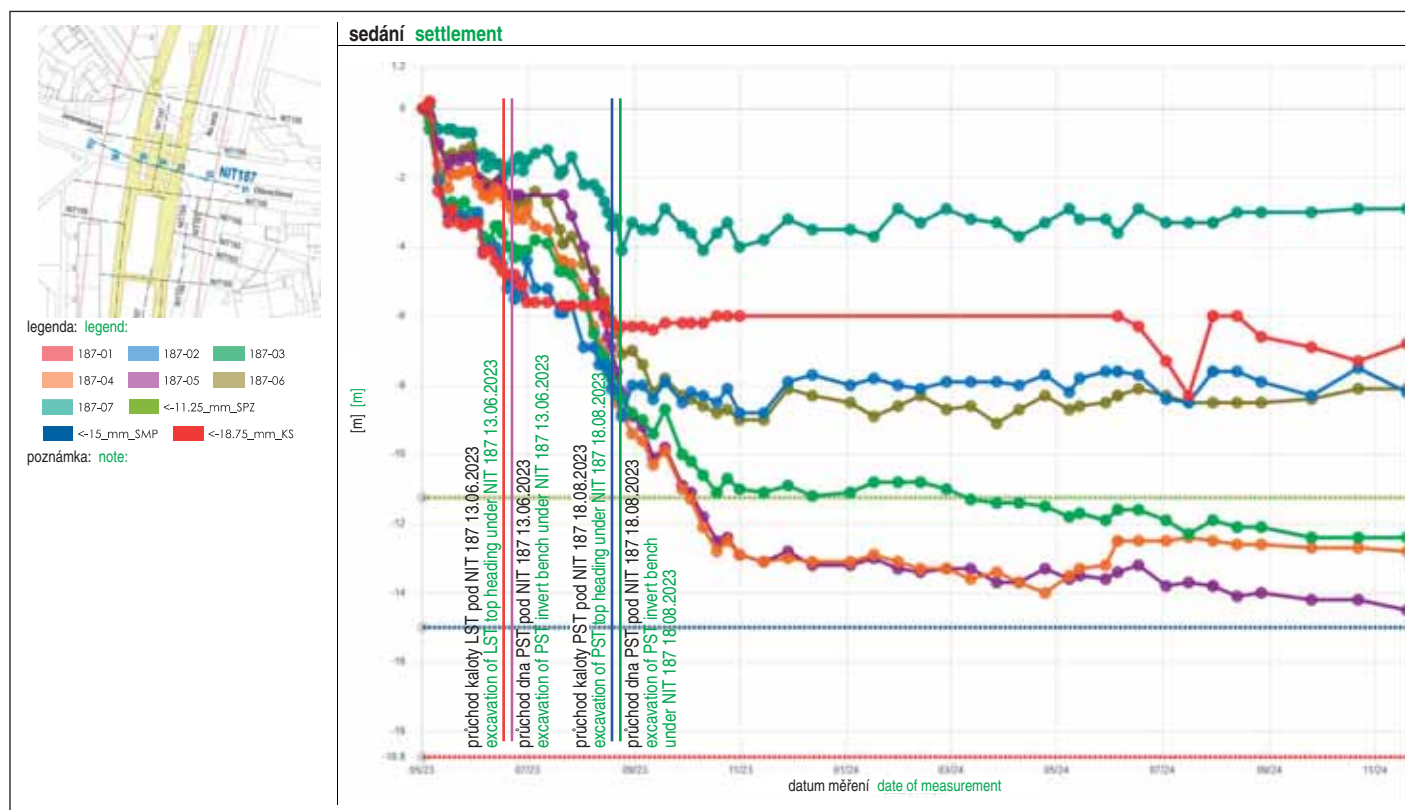
Na nivelačních bodech nad podzemními inženýrskými sítěmi (stoka, teplovod, ražené přeložky kanalizací) či v blízkosti výškových objektů nadzemní zástavby (13.B37 až 13.B41) byla kritéria VS nastavena statikem přísněji a hodnota prvního VS byla překročena u nivelačních pořadů NIT 187 a NIT 188.

Buildings monitoring

The tunnels of the Olbrachtova station follow an approximately north-south direction. From the north, the route first in a short distance (approx. 18m) approaches Jeremenkova Street in a perpendicular direction and then continues south (approx. 39m) and approaches Na Strži Street at a sharp angle (see Fig. 2). Further south from the end of the station tunnels (from km 43,189,666 LST), the urban development is affected by the open pit of the southern vestibule and the ETJ. There are a number of buildings in the ground settlement zone. In the eastern part of the settlement zone at Na Strži Street, there are 19 buildings marked 13.B3, 13.B6, 13.B7, 13.B16 to 13.B20, 13.B27 to 13.B33 and 13.B42 to 13. B45. These are brick buildings with two or three floors and gable roofs with wooden trusses. The buildings have full or partial basements and serve primarily for residential purposes and partially as commercial establishments. In the western part of the ground settlement zone, there are 11 buildings marked 13.B22 to 13.B25 and 13.B35 to 13.B41. Buildings 13.B22 to 13.B24 are brick walled and are used for living and commercial activities.

Building 13.B22 has three floors and a technical basement, and it has gable roof with a wooden truss. Building 13.B23 has five floors above ground and a technical basement, and the roof is flat with walkable waterproofing. House 13.B24 has four above-ground floors and a technical basement, and the roof is also flat with walkable waterproofing. Building 13.B25 has five floors above ground and no basement. There is a restaurant on the ground floor, and the rest of the building serves as a facility for the ÚAMK company. The main supporting structure consists of a prefabricated steel reinforced concrete column frame. The roof is flat with walkable waterproofing. Buildings 13.B35 to 13.B41 in Kovařovicova street are residential panel houses. Houses 13.B35 and 13.B36 have four above-ground floors and a basement. Buildings 13.B37 to 13.B41 have eight floors and a technical basement.

All the buildings described above were surveyed by levelling and possibly also trigonometrically monitored and their settlement was



Obr. 7 Vývoj sedání nivelačního profilu na terénu NIT 187
Fig. 7 Settlement of terrain levelling point in the NIT 187 profile

zdroj Krtek D monitoring source Krtek D monitoring

Příčný profil NIT 187 reagoval na průchod kaloty i dna LST i PST plíživými setrvalými poklesy, které se nicméně v průběhu listopadu 2023 ustálily a nadále nenarůstají. Vyšší hodnoty sedání naměřené na profilu NIT 187 jsou pravděpodobně rovněž způsobeny zaklesnutím HPV vlivem ražeb tunelu SOD 12 – blíže viz kapitola „Monitoring horninového prostředí“ hydrovrt HG 356. Ke konci září 2024 zde bylo maximální sedání 14,2 mm, a byl překročen 1. VS (s nastavenou hodnotou 11,3 mm). Vývoj sedání profilu NIT 187 je prezentován na obr. 7. Pod tímto profilem bude od ledna 2025 ražen střední technologický tunel, takže lze předpokládat další nárůst sedání.

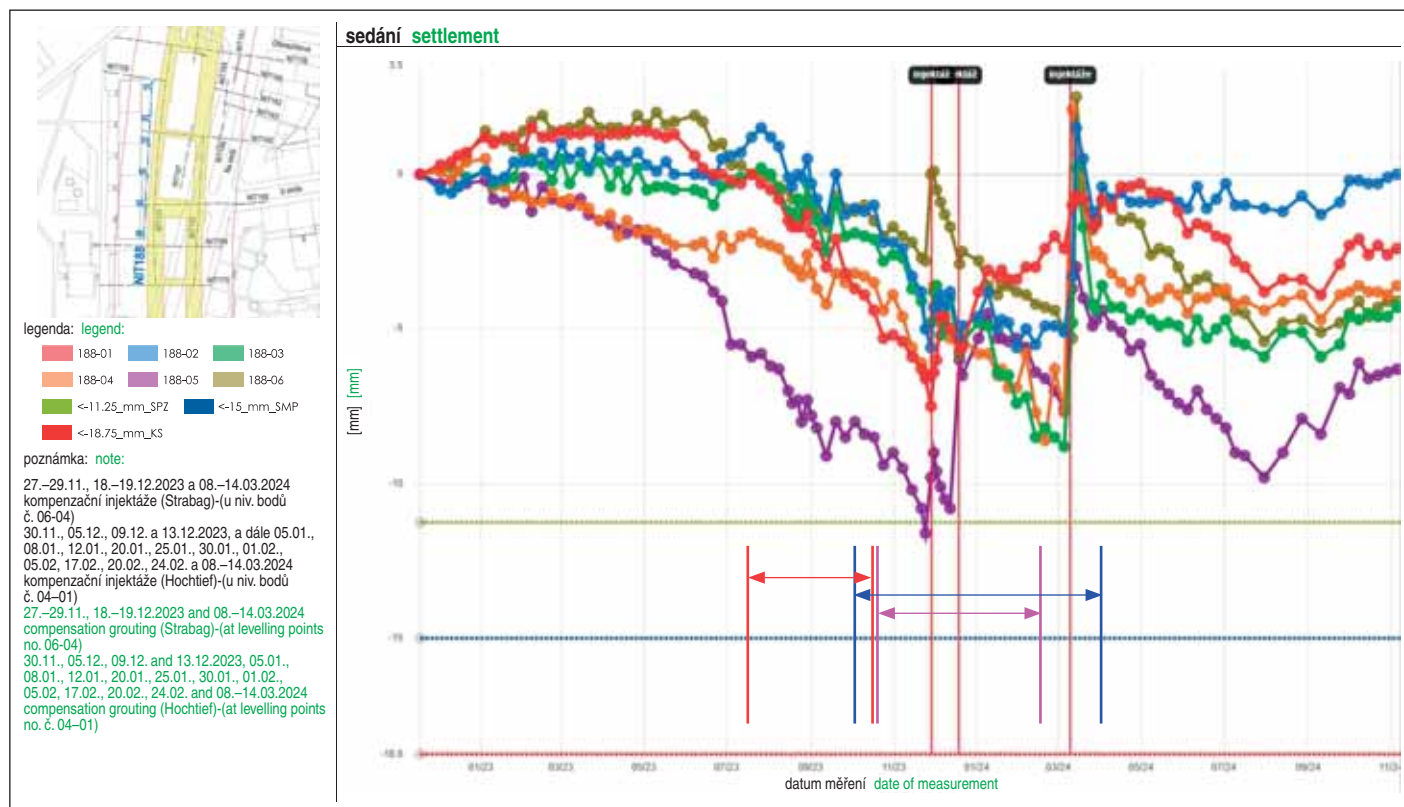
Profil NIT 188, situovaný podél východní stěny domů Kovařovicova (13.B37 až 13.B41), byl a je sledován vzhledem k výstavbě PST, šachty pro stavbu stanice, propojky sever, ETS a budoucího tunelu TGT. Proběhly zde, po vyčerpání deformačních limitů objektů Kovařovicova, tři rozsáhlé série kompenzačních injektáží (první v listopadu, druhá v prosinci 2023 a poslední největší v březnu 2024). První dvě série kompenzací byly provedeny z propojky sever a z PST. Díky tomu se sedání objektu změnilo na jeho zdvih, mimo VS. Po ukončení druhé série injektáží (prosinec 2023 až březen 2024) se opět projevil vliv tunelování a body profilu NIT 188 znovu plíživě a setrvale sedaly. Na objektech Kovařovicova byl překročen 1. VS (stanovený pro sedání). Proto bylo přistoupeno ke třetí, nejmasivnější sérii kompenzačních injektáží, která proběhla z PST v březnu 2024. Došlo k nadzvednutí profilu o několik mm (nejvíce u bodu 04, s nárůstem o +9,9 mm). Po zdvihu dosaženém ke 14. 3. 2024 byly v období březen až červenec 2024 zaznamenány pozvolné poklesy dosedání terénu. V srpnu až listopadu 2024 došlo k ustálení deformací až k mírnému zdvihu jednotlivých bodů. Vývoj sedání profilu NIT 188 je prezentován na obr. 8. Doznívání deformací bylo očekávané, poněvadž poslední ražby v této

so far, with the exception of objects 13.B37 to 13.B41, minimal under the VS levels set by the structural engineer, with settlements up to 10mm. The somewhat different settlement development observed on objects 13.B37 to 13.B41 is described in the chapter “Monitoring of the Kovařovicova apartment building complex”. Determination of limit deformations (VS) is based on the values specified in ČSN EN 1997-1, and takes into account the age and condition of the given building documented in the survey by the author of the static assessment.

In addition to the surface buildings, the development of terrain deformations in the ground settlement zone was also monitored by levelling. Before the start of construction work, geodetic points were installed in the terrain, arranged in transverse and longitudinal profiles so as to cover the entire width of the settlement zone assumed by the project. The distribution of the levelling profiles marked NIT can be seen in Fig. 2. The values of the measured settlements ranged up to 19mm. On most levelling profiles, the value of the first VS was set to 19mm, so that the VS levels were not exceeded.

At the levelling points above the underground utility networks (sewer, heat pipe, underground excavated relocations of sewers) or in the vicinity of high-rise buildings (13.B37 to 13.B41), the VS levels were set more strictly by the structural engineer and the value of the first VS level was exceeded in the NIT 187 and NIT 188.

The transverse profile of NIT 187 responded to the passage of the top heading and invert of both LST and PST with creeping persistent settlements, which, however, stabilized during November 2023 and do not continue to increase. The higher settlement values measured on the NIT 187 profile are probably also caused by the subsidence of the HPV due to the excavations of the SOD 12 tunnel – for more details, see chapter 1.2 borehole HG 356. At the end of September 2024, the maximum settlement here was 14.2mm, and the 1st VS



Obr. 8 Vývoj sedání nivelačního profilu na terénu NIT 188, červený úsek označuje období ražeb propojky sever od šachty směrem k PST; modrý úsek označuje období ražeb PST severně od propojky sever okolo objektů 13.B39 až 13.B41; fialový úsek označuje období ražeb PST jižně od propojky sever okolo objektu 13.B37
Fig. 8 Development of the terrain levelling point in the NIT 188, red section indicates the excavation period of the north crosspassage from the shaft towards the PST; the blue section indicates the PST excavation period north of the north crosspassage around the objects 13.B39 till 13.B41; the purple section indicates the PST excavation period south of the north crosspassage around the object 13.B37

oblasti byly ukončeny prorážkou opěří PST již začátkem dubna 2024. Lze předpokládat, že tento důležitý profil východně od domu Kovařovicova bude ovlivněn ražbami ETS, zahájenými 27. 9. 2024 a ražbami TGT (SO 13-20), které budou zahájeny v lednu 2025.

Vyšší hodnoty sedání (bez překročení VS) byly dále naměřeny na profilech NIT 168 (podélný nad propojkou sever, příčný vzhledem k LST a PST) a NIT 169 (příčný nad LST a PST jižně od propojky sever). Pod oběma profily již všechny dílčí výruby LST i PST prošly a je tudíž předpoklad, že k dalšímu nárůstu sedání již nedojde. Na profilu NIT 168 na bodu 04 (bod na EXT 342 – křížení LST a propojky sever) bylo sedání 18,1 mm, čímž byl u tohoto profilu téměř dosažen 1. VS stanovený na 18,8 mm. Na profilu NIT 169 bylo naměřeno maximální sedání 15,6 mm na bodu 03, který je uprostřed mezi LST a PST.

Na základě stížnosti obyvatele domu 13.B39 je od 14. 9. 2023 prováděn kontinuální monitoring hlukové zátěže ze stavební činnosti produkované ze zařízení staveniště OL2 (staveniště u šachty pro výstavbu stanice) právě na objektu 13.B39 ve 4. NP. Výstupy z naměřených hodnot ekvivalentní hladiny akustického tlaku $A_{LAeq,T}$ jsou prezentovány po hodinách a vyhodnocovány vůči hygienickým limitům pro první ranní hodinu (6.00–7.00), 14 denních hodin (7.00–21.00), první večerní hodinu (21.00–22.00) a osm nočních hodin (22.00–6.00) bez vyloučení nahodilých událostí a událostí, které nejsou předmětem měření a bez zohlednění meteorologických vlivů, ale se započtením korekce na odraz a s odečtením nejistoty měření. Jedná se tedy o hodnoty celkové akustické situace, nikoli pouze stavby, byť je tato dominantním zdrojem hluku v místě měření (měří se v její těsné blízkosti). Po dohodě poskytovatele GTM, zhotovitele stavby a objednatele data v této podobě slouží k okamžitému přehledu hlukové zátěže v této oblasti. K hodnocení s očištěním od zdrojů hluku nesouvisejících se stavbou by došlo pouze v případě stížnosti někoho z obyvatelů v této lokalitě na pokyn objednatele.

Monitoring stavebních jam (Vestibul sever, Vestibul jih)

V rámci SOD13 byly vybudovány dvě stavební jámy označené jako Vestibul sever a Vestibul jih. Stěny stavebních jam byly sledovány soustavou trigonometrických bodů a dynamometrů. Dynamometry (magnetoelastické a odporové) byly na danou kotvu instalovány vždy v kombinaci s trigonometrickým bodem. Je tak možno v případě poklesu či nárůstu kotevní síly zjistit, zda jsou tyto změny doprovázeny deformací stěny či zda případný úbytek kotevní síly s absencí pohybu hlavy kotvy neindikuje prokluz kořene kotvy. Dále byly do vybraných pilot osazeny inklinometrické pažnice pro měření horizontálních deformací. Na jámě Vestibul sever bylo po obvodě instalováno 35 trigonometrických bodů, 23 dynamometrů a 4 inklinometry. K výraznějším deformacím či změnám kotevních sil během hloubení a následné ražbě ETS z jižní stěny nedošlo.

Na jámě Vestibul jih bylo po obvodě osazeno 35 trigonometrických bodů, 23 dynamometrů a 9 inklinometrů. Došlo zde při napínání kotev v severní stěně ST05 k prokluzu kořenů čtyř čtyřpramencových kotev 2. kotevní úrovně (+262,5 m n. m.), jedná se o krajní (západní) kotvy této stěny. Protože zde byly zastiženy zhoršené inženýrskogeologické poměry v podobě tektonicky postižených břidlic třídy pevnosti R5 až R6 s výrony podzemní vody, tak nebylo možno napnout tyto kotvy na požadovanou kotevní sílu (obr. 9). Současně byl na dynamometru D12 zaznamenán úbytek kotevní síly již krátce po napnutí o více jak 20 % (obr. 10) se současným pohybem hlavy kotvy o cca 5 mm směrem do jámy. Lze proto usoudit, že u této kotvy došlo k proklouznutí (povolení) kořene. Proto byla v tomto místě stěna dodatečně dokotvena 4 ks kotev

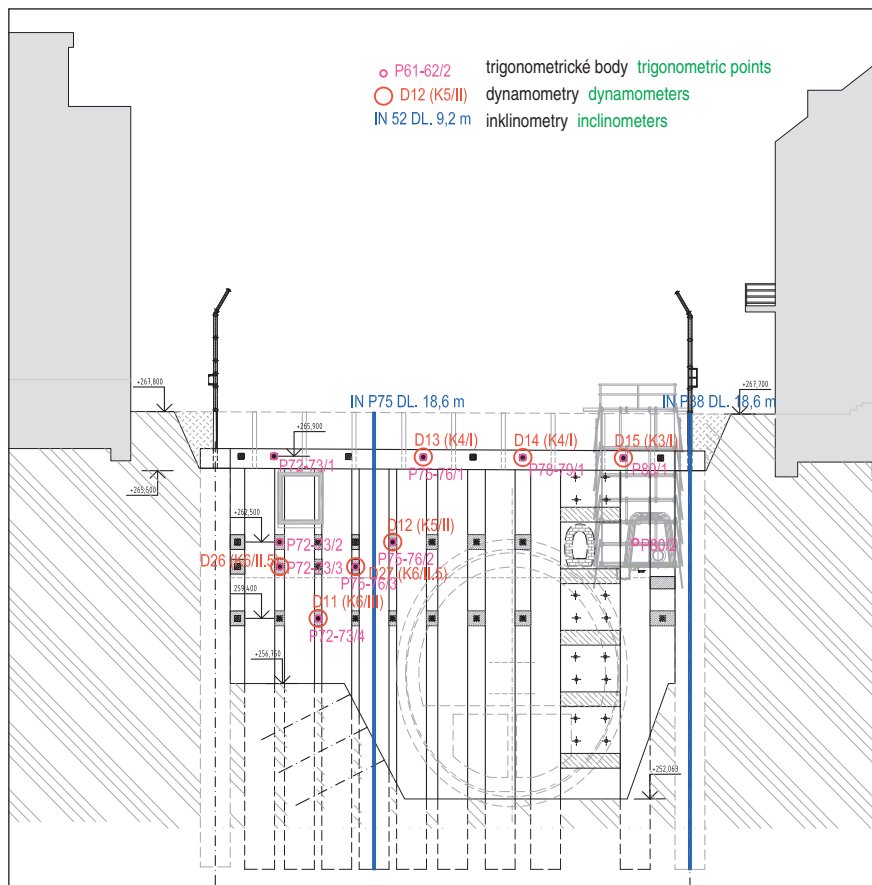
was exceeded (value of 11.3mm). The development of the settlement of the NIT 187 profile is presented in Fig. 7. Under this profile, a middle technological tunnel will be excavated from January 2025, so a further increase in settlement can be assumed.

Profile NIT 188, situated along the eastern wall of Kovařovicova houses (13.B37 to 13.B41), was and is being monitored due to the construction of the PST, the shaft for the construction of the station, the north cross-passage, the ETS and the future TGT tunnel. After exceeding the deformation limits of the Kovařovicova objects, three extensive series of compensation grouting took place here (the first in November, the second in December 2023 and the last and the largest in March 2024). The first two series of compensation grouting were done from the north cross-passage and from the PST. Thanks to this, the object's downward settlement reversed to upward movement, not controlled by VS. After the second series of grouting (December 2023 to March 2024), the impact of tunneling was again manifested and the points of the NIT 188 profile again crept and continuously settled. The Kovařovicova buildings exceeded the 1st VS (established for settlement). Therefore, the third most massive series of compensation grouting was undertaken, which took place from inside the PST in March 2024. The profile moved upward by several mm (the most at point 04, with an increase of +9.9mm).

After the uplift achieved on 14.03.2024, gradual decrease in ground settlements was recorded in the period from March to July 2024. In August to November 2024, the settlement reversed to a slight uplift of individual points. The development of the settlement of the NIT 188 profile is presented in Fig. 8. The fading of the settlements was expected, since the last excavations in this area were completed by the breakthrough of the PST abutment bench already at the beginning of April 2024. It can be assumed that this important profile east of the Kovařovicova house will be affected by the ETS excavations, started on 27.09.2024, and the TGT excavations (SO 13-20), which will be launched in January 2025.

Higher subsidence values (without exceeding VS) were further measured on profiles NIT 168 (longitudinal profile over the north cross-passage, transverse to LST and PST) and NIT 169 (transverse over LST and PST south of the north cross-passage). Under both profiles, all LST and PST sequential excavations have already been completed, and it is therefore assumed that there will be no further increase in settlement. In the NIT 168 profile at point no. 04 (point of EXT 342 – crossing of LST and the north cross-passage) the settlement was 18.1mm, almost reaching the 1st VS set at 18.8mm. In profile NIT 169, a maximum settlement of 15.6mm was measured at point no. 03, which is middle between LST and PST.

On the basis of a complaint by a resident of building 13.B39, from 14.09.2023, continuous monitoring of the noise from construction activities produced from the equipment of the construction site OL2 (construction site near the shaft for the construction of the station) is carried out precisely on the object 13.B39 in the 4th NP. The measured values of the equivalent sound pressure level $A_{LAeq,T}$ are presented hourly and evaluated against the hygiene limits for the first hour in the morning (6.00–7.00), 14 daytime hours (7.00–21.00), the first evening hour (21.00–22.00) and eight night hours (10 p.m.–6 a.m.) excluding random events and events that are not the subject of measurement and without taking meteorological effects into account, including the reflection correction and subtracting the measurement uncertainty. These are therefore the values of the overall acoustic situation, not just the construction, even though it is the dominant source of noise at the measurement location (measured near it). According to the agreement of the GTM provider, the building contractor and the client, the data in this form is used for an immediate overview of the noise in this area. An assessment with screening-out the noise sources unrelated to the construction would only take place in the event of a complaint



Obr. 9 Pohled na severní stěnu jámy Vestibul jih
Fig. 9 View of the north wall of the South Vestibul pit

cca o 1 m níže pod původními kotvami (obr. 9), s doplněním 2 ks dynamometrů D26 a D27. Přidané kotvy měly kořen o 1 m delší a byly více ukloněné vůči horizontále se záměrem upnutí kořene

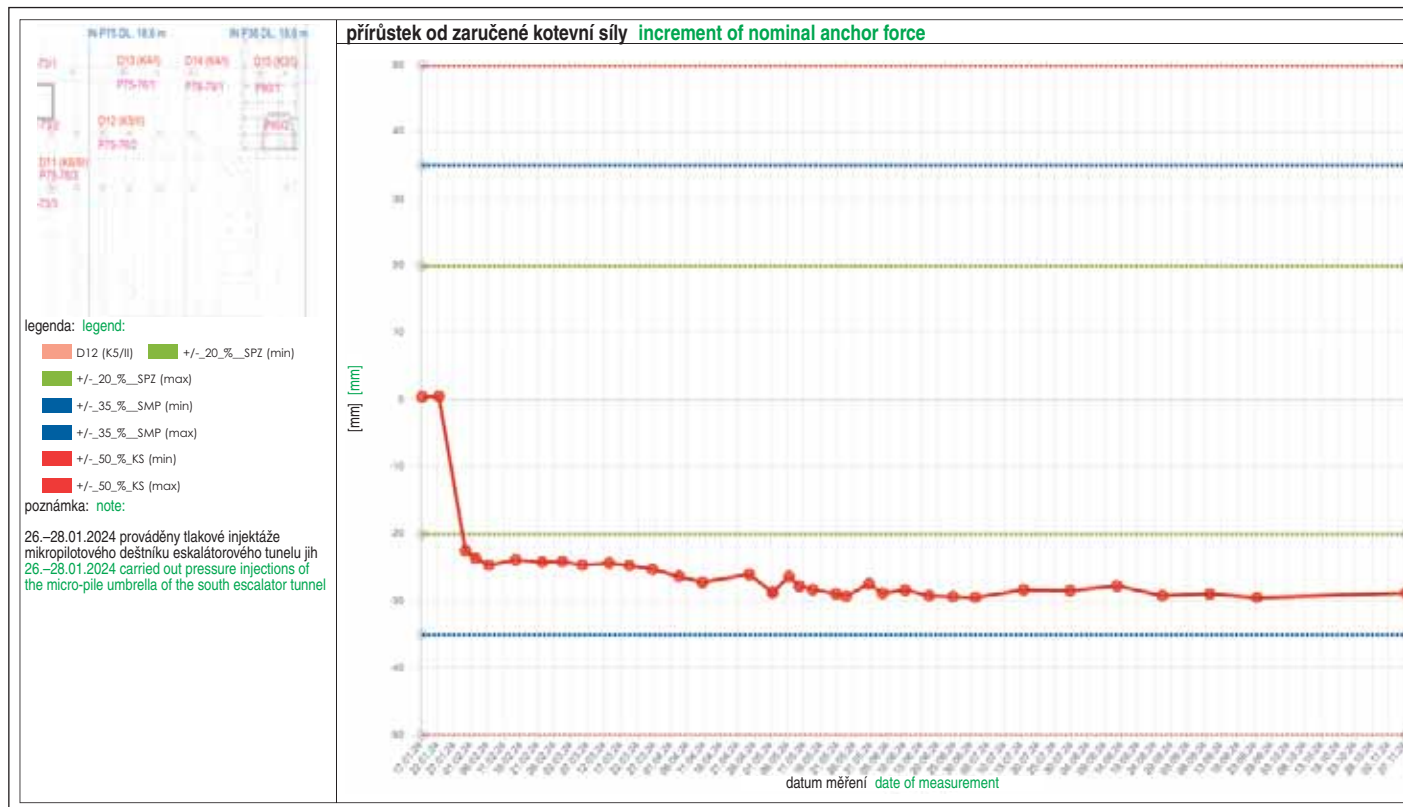
from one of the residents in this locality and based on the instructions of the client.

Monitoring of construction pits (North Vestibule, South Vestibule)

As part of SOD13, two construction pits were built, designated Vestibule North and Vestibule South. The walls of the construction pits were monitored by a system of trigonometric points and dynamometers. Dynamometers (magnetoelastic and resistive) were always installed on a given anchor in combination with a trigonometric point. It is thus possible, in the event of a decrease or increase in anchoring force, to determine whether these changes are accompanied by wall deformation, or whether a possible decrease in anchoring force with the absence of movement of the anchor head does not indicate slippage of the anchor root. In addition, inclinometric sleeves were installed in the selected piles to measure horizontal deformations. 35 trigonometric points, 23 dynamometers and 4 inclinometers were installed around the perimeter of the North Vestibul pit. There were no significant deformations or changes in anchor forces during the excavation and subsequent excavation of the ETS from the south wall.

35 trigonometric points, 23 dynamometers and 9 inclinometers were installed on the South Vestibul pit. Here, during the tensioning of the anchors in the northern wall of ST05, four of the four-strand anchors of the 2nd anchor level (+262.5m above sea level) slipped, these are the outer (western) anchors of this wall. Since deteriorated engineering geological conditions were encountered here in the form of tectonically disturbed clayshales

above sea level) slipped, these are the outer (western) anchors of this wall. Since deteriorated engineering geological conditions were encountered here in the form of tectonically disturbed clayshales



Obr. 10 Vývoj kotevní síly na dynamometru D12
Fig. 10 Development of the anchor force in the D12 dynamometer

zdroj Krtek D monitoring source Krtek D monitoring

do kvalitnější horniny. Na dynamometrech D26, D27 již nebyly pozorovány významné změny kotevních sil.

MONITORING KOMPLEXU BYTOVÝCH DOMŮ KOVAŘOVICOVA

V současné době se na objektech bytového domu (dále BD) Kovařovicova provádí řada měření, sloužících ke komplexnímu hodnocení dopadů ražeb této etapy metra D. Objekty jsou sledovány nivelační základů (vně i uvnitř objektů, celkem 80 bodů), trigonometricky (6 bodů), a dále pomocí deformometrů (106 ks) a tiltmetrů (tj. náklonoměrů – 223 ks) běžících v automatickém režimu pomocí ASD čidel (tj. čidel s automatickým sběrem dat). Nivelační body jsou situovány do třech podélných (vzhledem k staničním tunelům i budově) profilů označených východní profil (16 bodů), profil střed (5 bodů) a západní profil (11 bodů) a do šestnácti příčných tříbodových profilů. Západní a východní profily jsou umístěny do základů budovy v exteriéru. Profil střed a příčné profily jsou instalovány do základů budovy v interiéru v suterénu objektu Kovařovicova. V blízkosti BD se sledují poklesy terénu ve dvou příčných (NIT 169 a NIT 159) a jednom podélném profilu (NIT 188), který byl popsán již v kapitole „Monitoring na povrchu“. Pro kontrolu sedání v podzákladí BD byl 7,3 m pod terénem, ze severní propojky, instalován i subhorizontální inklinovrt (HINK-1) dlouhý 37,5 m s úklonem 5° (instrumentace okolí BD Kovařovicova viz obr. 11).

Jedná se o objemnou instrumentaci, instalovanou s ohledem na citlivý charakter objektů (obytné, vysoké panelové domy z roku 1970, s jedním podzemním a osmi nadzemními podlažními), navíc již z velké části s vyčerpanou deformační odolností od doby výstavby. Z výsledků sledování základů je patrné, že deformace byly po celou dobu v příznivých hodnotách a k ovlivnění objektů BD Kovařovicova i přes velmi nízké hodnoty povolených deformačních limitů sedání (hodnota A = 10 mm) nedošlo. Na několika bodech na východní straně budovy však byl překročen 1. VS (7,5 mm). Aby byly deformace udrženy pod stanovenou limitní hodnotou A = 10 mm, bylo třeba v průběhu výstavby aplikovat kompenzační injektáže. Deformační chování východního profilu BD Kovařovicova, vč. časů kompenzačních injektáží je znázorněno na obr. 12. Kromě

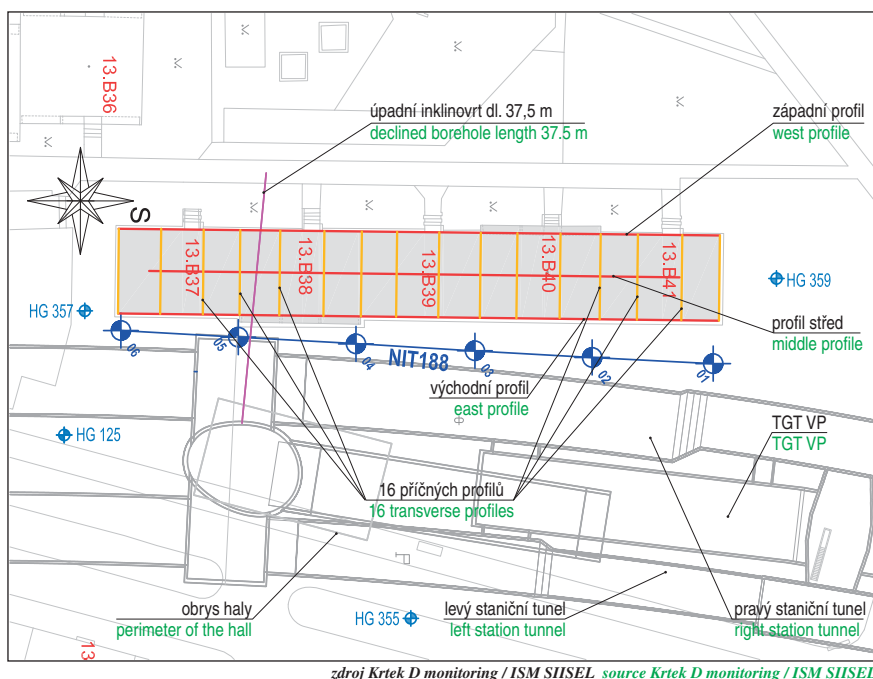
of strength class R5 to R6 with groundwater seepage, it was not possible to tighten these anchors to the required anchor force (Fig. 9). At the same time, a drop in the anchor force was recorded on the D12 dynamometer already shortly after tensioning by more than 20% (Fig. 10) with a simultaneous movement of the anchor head by approx. 5mm towards the pit. It can therefore be concluded that the anchor has slipped. Therefore, at this point, the wall was additionally anchored with four anchors approx. 1m below the original anchors (Fig. 9), with the addition of two dynamometers D26 and D27. The added anchors had the bonded length by 1m longer and were more inclined from the horizontal plane with intention of bonding the anchor in better quality rock. Significant changes in anchor forces were no longer observed on dynamometers D26, D27.

MONITORING OF THE KOVAŘOVICOVA APARTMENT COMPLEX

Currently, a number of measurements are being carried out on the Kovařovicova apartment building (hereafter BD), which serve to assessing comprehensively the impact of the excavations of this phase of the D metro line. The objects are monitored by levelling the foundations (outside and inside the building, a total of 80 points), trigonometrically (6 points), and further using strain gauges (106 pcs) and tiltmeters (i.e. inclinometers – 223 pcs) running in automatic mode using ASD sensors (i.e. sensors with automatic data collection). The levelling points are positioned to form three longitudinal (with respect to the station tunnels and the building) profiles marked eastern profile (16 points), central profile (5 points) and western profile (11 points) and sixteen transverse three-point profiles. The western and eastern profiles are placed in the foundations of the building in the exterior. The central profile and transverse profiles are installed in the foundation of the building in the interior in the basement of the Kovařovicova building. In the vicinity of the BD, terrain settlements are observed in two transverse (NIT 169 and NIT 159) and one longitudinal profile (NIT 188), which was already described in chapter “Buildings monitoring”. To check the settlements in the sub-base of the BD, a subhorizontal inclined borehole (HINK-1) 37.5m long with an inclination of 5° was also installed 7.3m below the ground, from the north cross-passage (see Fig. 11 for the instrumentation around the Kovařovicova BD).

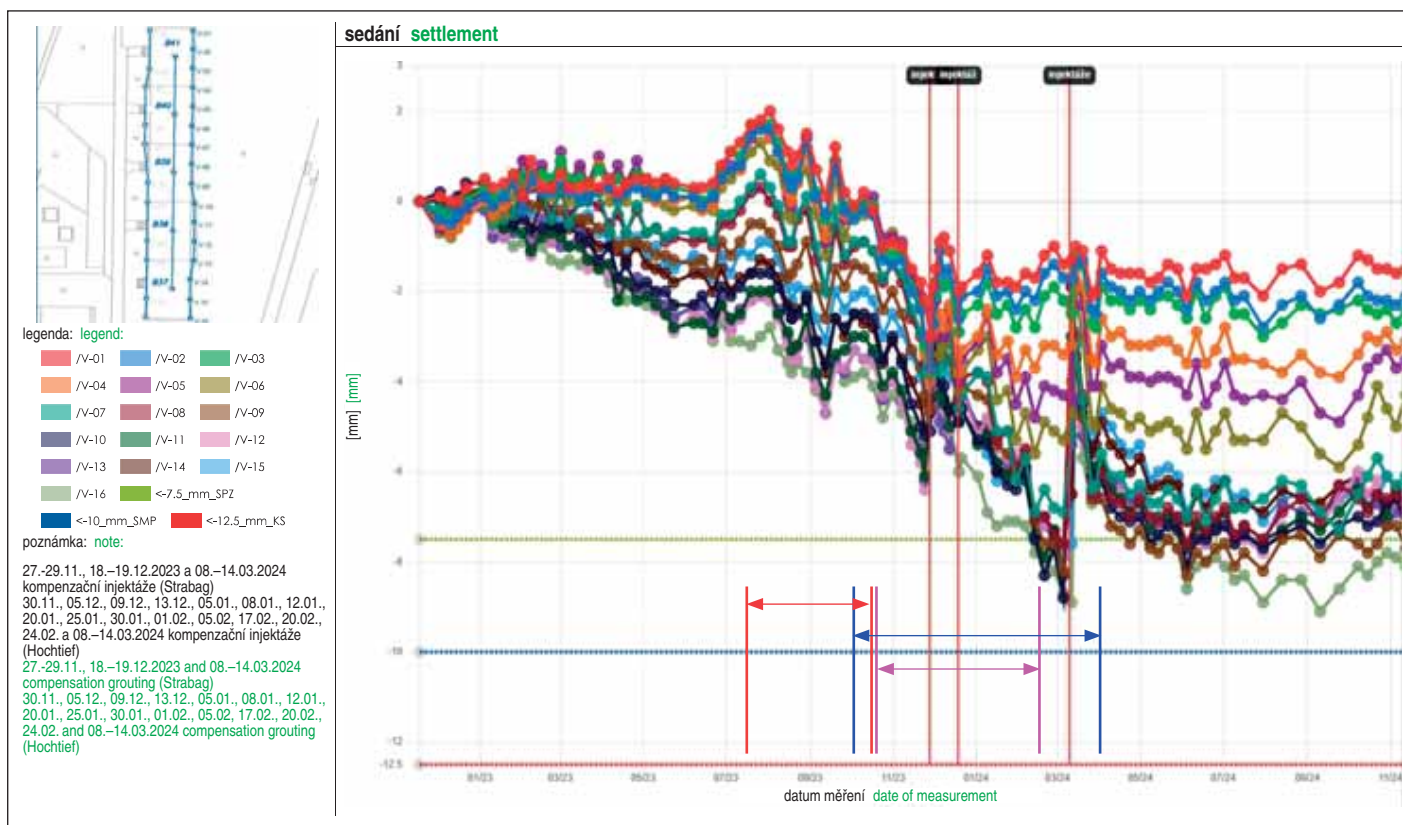
It is a large amount of instrumentation, installed with regard to the sensitivity of the objects (residential, high-rise panel houses from 1970, with one underground and eight above-ground floors), moreover, with largely exhausted deformation resilience since the time of construction. From the results of the monitoring of the foundations, it can be seen that the deformations were at safe values all the time and that the objects of BD Kovařovicova were not affected, despite the very low values of the permitted deformation limits of settlement (value A=10mm). However, the 1st VS (7.5mm) was exceeded at several points on the east side of the building. In order to keep the deformations below the specified limit value of A=10mm, compensation grouting had to be applied during construction. Deformation behavior of the eastern profile of BD Kovařovicova, incl. periods of compensation grouting is shown in Fig. 12.

In addition to the mentioned three extensive stages of compensation grouting (see chap. “Buildings monitoring”), in the period between 12/2023 and 03/2024, ongoing compensation



Obr. 11 Situace GTM kolem BD Kovařovicova

Fig. 11 GTM plan view around BD Kovařovicova



Obr. 12 Vývoj sedání východního profilu na objektech 13.B37–41, červený úsek označuje období ražeb propojky sever od šachty směrem k PST, modrý úsek označuje období ražeb PST severně od propojky sever na objektech 13.B39 až 13.B41, fialový úsek označuje období ražeb PST jižně od propojky sever okolo objektu 13.B37
Fig. 12 Development of the settlement in the eastern profile of the objects 13.B37–41, red section indicates the excavation period of the north crosspassage from the shaft towards the PST, the blue section indicates the PST excavation period north of the north crosspassage around the objects 13.B39 till 13.B41, the purple section indicates the PST excavation period south of the north crosspassage around the object 13.B37

zmíněných tří velkých etap kompenzačních injektáží (viz kap. „Monitoring na povrchu“) se v období mezi 12/2023 až 03/2024 realizovaly pod objekty 13.B41 až 13.B39 i průběžné kompenzační injektáže v menším rozsahu v předem daných postupech ražby PST. Výsledky nivelačních měření po ukončení jednotlivých fází injektáží téměř vždy indikovaly zlepšení deformačního vývoje, přičemž docházelo ke snižování deformací (tj. ke zdvihu a zmenšování nerovnoměrného sedání objektů), ovšem postupně s časem a pokračující ražbou staničních tunelů bylo logicky zaznamenáváno další sedání. Tento trend lze očekávat až do ukončení celého podzemního díla v blízkosti BD Kovařovicova, tj. se všemi stavebními objekty, a v minimálních dozvucích i jistý čas po samotné realizaci.

Pro sledování nerovnoměrného sedání mezi definovanými body konstrukce především základových a nosných částí objektů BD Kovařovicova v období mezi jednotlivými etapami geodetického měření slouží nástroj/výpočet tzv. poklesové linie pomocí nainstalovaných automatických náklonoměrů. Tato pomůcka slouží pro sledování, porovnávání a validace s výsledky geodetických měření, včetně prezentace formou animovaných grafů a je k dispozici účastníkům výstavby, kteří jsou zodpovědní za bezpečné provádění ražeb ovlivňujících objekty. Při zásadních činnostech v podzemí lze díky tomuto nástroji v reálném čase sledovat případné naklání/deformace v objektech BD v jednotlivých příčných či podélných profilech.

V důsledku nízké statické odolnosti objektů (výstavba z konce 60. let 20. století) a jejich statickému systému (kloubově spojené nosné konstrukce po jednotlivých patrech), je výhodné tento objekt sledovat pomocí ASD čidel. Vzhledem k velkému počtu náklonoměrů a velké četnosti odečtů se výsledky vyhodnocují statisticky, tzn. např. se vyčísľuje na kolika čidlech bylo dosaženo daného VS.

grouting on a smaller scale were also carried out under objects 13.B41 to 13.B39 during PST excavation procedures. The results of levelling measurements after the end of the individual grouting stages almost always indicated an improvement in the deformation development, while the deformations were reduced (i.e. the lifting and reduction of the differential settlements of building), but gradually with time and the continued excavation of the station tunnels, further settlements were recorded. This trend can be expected until the completion of the entire underground work near BD Kovařovicova, i.e. with all building objects, and with minimal residual settlements even for a certain time after the actual construction.

Calculation of settlement trough using automatic inclinometers is used to monitor the residual settlement between the defined points of the structure, especially of the foundation and supporting parts of BD Kovařovicova objects in the period between the individual stages of the geodetic measurement. This tool serves for monitoring, comparison and validation with the results of geodetic measurements, including presentation in the form of animated graphs, and is available to construction participants who are responsible for the safe execution of excavations which have impact on the surrounding buildings. During main underground works, thanks to the calculation, possible tilting/deformations in BD objects can be monitored in real time in individual transverse or longitudinal profiles.

Due to the low static resilience of the objects (construction from the late 60s of the 20th century) and their static scheme (pinned structures of individual floors), it is advantageous to monitor this object using ASD sensors. Due to the large number of inclinometers and the high frequency of readings, the results are evaluated statistically, i.e. e.g. it is calculated on how many sensors the given VS was achieved. Tiltmeters and deformometers measure the local (i.e. only for the

Tiltmetry a deformometry měří lokální (tj. jen u dané konstrukce, kde je měřidlo osazeno) působení podzemní stavby. V důsledku odečtu/intervalu měření à 1 hodina je možné na objektu zachytit i reakci konstrukce na ovlivnění vnějším prostředím (teplota, vítr apod.).

ZÁVĚR

Převážná část tunelů SOD13 (stanice Olbrachtova) byla ke konci října 2024 vyražena. Na základě výsledků monitoringu lze konstatovat, že se deformační chování primárního ostění, povrchu terénu a nadzemní zástavby v poklesové kotlině podařilo udržet v projektu nastavených mezích. Limity pro sedání objektů povrchové zástavby byly statikem stanoveny relativně konzervativně, nejpřísnější VS vertikální deformace byl nastaven pro komplex bytových domů Kovařovicova, kde činil limit sedání pouhých 10 mm. S ohledem na povrchovou zástavbu bylo proto třeba razit šetrně bez připuštění výraznějších deformací. Primární ostění tunelů bylo silně dimenzované vč. použití injektáží, jednotlivé záběry ražeb byly krátké, většinou s délkou do 1 m a u větších profilů byl výrub členěn horizontálně i vertikálně. Objekty bytového domu Kovařovicova musely být navíc v průběhu výstavby několikrát rektifikovány (nadzvednuty zpět mimo VS sedání) s využitím kompenzačních injektáží. Tato opatření výrazně zpomalovala stavební postupy, průměrné rychlosti ražeb činily méně než 1 m/den. To je tedy výrazně pomalejší postup než u tunelů ražených konvenčně v extravilánu, kde se běžně dosahuje rychlosti okolo 100 m vyraženého tunelu za měsíc.

Tomu, že byly deformace povrchu nízké, svědčí i příznivé výsledky z analýzy objemové ztráty, které prokazují, že velikost objemové ztráty pro nivelační profily jsou pod hodnotou 1 %, což je pro konvenční tunelování velmi příznivý výsledek. Objemová ztráta do 1 % by měla mít zanedbatelný vliv na povrchovou zástavbu a vznik případných škod. Výpočet objemové ztráty byl proveden za pomoci software GEO5, modul Výrub, na nivelačních profilech NIT 169 a NIT 187, na kterých se dosáhlo významnějších deformací.

JAKUB BOHÁTKA, jakub.bohatka@geotechnika.cz,
Mgr. DANIEL HORVÁTH, daniel.horvath@geotechnika.cz,
Ing. MILAN KÖSSLER, milan.kossler@geotechnika.cz,
SG GEOTECHNIKA a.s.

Recenzoval *Reviewed by*: Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D.

given structure where the gauge is installed) impact of the underground excavation. As a result of the reading/measurement interval of 1 hour, it is also possible to capture the reaction of the structure to the external environment (temperature, wind, etc.) on the object.

CONCLUSION

The majority of the SOD13 tunnels (Olbrachtova station) were excavated by the end of October 2024. Based on the results of the monitoring, it can be stated that the deformation behavior of the primary lining, the ground surface and the buildings in the ground settlement zone managed to be kept within the limits set by the project. The settlement limits of the buildings were set relatively conservatively by the structural engineer, the most conservative VS of vertical deformation was set for the Kovařovicova apartment building complex, where the settlement limit was only 10mm. With regard to the buildings, it was therefore necessary to drive tunnels with caution without significant deformations. The primary lining of the tunnels was conservatively reinforced incl. the use of grouting, the individual sections of excavations were short, mostly up to 1m in length, and in the case of larger profiles, the excavation face was divided horizontally in benches and vertically in side drifts. In addition, the objects of the Kovařovicova apartment building had to be rectified several times during construction (lifted to accommodate the settlement VS) using compensation grouting. These measures significantly slowed down the construction progress, the average excavation speed was less than 1m/day. This is therefore a significantly slower progress than for tunnels excavated conventionally in greenfield, where a speed of around 100m per month of tunnel excavation is normally reached.

The fact that the surface deformations were low is also evidenced by the favorable results from the volume loss analysis, which shows that the volume loss from the levelling profiles is below 1%, which is a very favorable result for conventional tunneling. A volume loss of up to 1% should have a negligible effect on the buildings in terms of possible damage. The calculation of volume loss was carried out using the GEO5 software with Excavation Code, on levelling profiles NIT 169 and NIT 187, in which more significant deformations were achieved.

JAKUB BOHÁTKA, jakub.bohatka@geotechnika.cz,
Mgr. DANIEL HORVÁTH, daniel.horvath@geotechnika.cz,
Ing. MILAN KÖSSLER, milan.kossler@geotechnika.cz,
SG GEOTECHNIKA a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] BOHÁTKOVÁ, L.; TLAMSA, J.; ONYSKO, R.; ŘÍHA, V.; BOHÁTKA, J. a ZEMÁNEK, J. *Doplňkový geologický průzkum úseku ID1A, Závěrečná zpráva – úsek OLI*, SG Geotechnika, a.s., září 2020.
- [2] TLAMSA, J. a ZEMÁNEK, J. *Inženýrskogeologické podmínky výstavby nové trasy metra I.D v úseku mezi stanicemi Pankrác a Olbrachtova*, Tunel 4/2023, ročník 32, č. 3, str. 33–38.
- [3] URBÁNEK, T. a SEHNALOVÁ, P. *Stanice Olbrachtova, ražba a primární ostění, Levý staniční tunel – 1. část, SO 13-20/02-03-01*, METROPROJEKT Praha, a.s., březen 2023.
- [4] URBÁNEK, T. a SEHNALOVÁ, P. *Stanice Olbrachtova, ražba a primární ostění, Právý staniční tunel – 1. část, SO 13-20/02-02-01*, METROPROJEKT Praha, a.s., březen 2023.
- [5] URBÁNEK, T. a SEHNALOVÁ, P. *Stanice Olbrachtova, ražba a primární ostění, Levý staniční tunel – 2. část, SO 13-20/02-03-02*, METROPROJEKT Praha, a.s., červen 2023.
- [6] URBÁNEK, T. a SEHNALOVÁ, P. *Stanice Olbrachtova, ražba a primární ostění, Právý staniční tunel – 2. část, SO 13-20/02-02-02*, METROPROJEKT Praha, a.s., červen 2023.
- [7] BERNARD, R.; ZEMÁNEK, I.; CHMELÁŘ, R.; BOHÁTKA, J.; HORVÁTH, D. a KÖSSLER, M. *Prováděcí projekt geomonitringu, část B: SO 13-20-02 Stanice Olbrachtova, 1. část, Krtek D monitoring*, květen 2023.
- [8] BERNARD, R.; ZEMÁNEK, I.; CHMELÁŘ, R.; BOHÁTKA, J.; HORVÁTH, D. a KÖSSLER, M. *Prováděcí projekt geomonitringu, část B: SO 13-20/02-02 Stanice Olbrachtova, 2. část, Krtek D monitoring*, srpen 2023.