

# RAŽBA KABELOVODU MIKROTUNELOVACÍM STROJEM POD ŽELEZNIČNÍ STANICÍ KOLÍN

## EXCAVATION BY A MICROTUNNELING MACHINE OF UTILITY TUNNEL AT THE KOLÍN RAILWAY STATION

MARKÉTA VENCLOVÁ, PAVEL ČELIŠ, PETR HYBSKÝ, FILIP JIŘIČNÝ

### ABSTRAKT

V první polovině roku 2024 byly v železniční stanici v Kolíně zahájeny rozsáhlé práce, jejichž cílem je zajištění bezbariérového přístupu pro cestující od hlavní nádražní budovy na jednotlivá nástupiště. Součástí těchto prací je vybudování nových kabelových tras a vedení. Pro převedení sdělovacích kabelů pod kolejištěm ŽST Kolín byl zhotoven nový kolektor. Ten byl ražený metodou řízeného protlaku pomocí MTBM. Charakteristiku raženého díla a průběh samotných ražeb přibližuje následující článek.

### ABSTRACT

In the first half of 2024, extensive works at the railway station in Kolín began, which aimed at enabling barrier-free access for passengers from the main station building to individual platforms. A constituent of these works is the construction of new cable lines and ducts. For the rerouting of communication cables underneath the Kolín station railway yard a new utility tunnel was realised. It was excavated by the controlled jacking method using an MTBM. The characteristics of the excavated work and the course of the excavations themselves are outlined in the following article.

### ÚVOD

V současnosti mají cestující využívající kolínské nádraží k dispozici pěší podchod, z něhož se na nástupiště vystupuje po pevných schodištích. Schodišťové rampy jsou vybaveny plošinami pro dopravu imobilních osob, ale vzhledem k dopravnímu vytížení kolínského nádraží je tento způsob kapacitně nevyhovující. Bylo rozhodnuto, že pro účely bezbariérového přístupu bude využit již existující paralelně vedený zavazadlový tunel. Ten však potřebuje rozsáhlou rekonstrukci a především vymístění sdělovacích kabelů vedených v jeho útrobních. Kabely budou přemístěny do nově raženého kabelovodu. Na obr. 1 je znázorněna situace v podzemí ŽST Kolín, zprava doleva: stávající podchod pro pěší, zavazadlový tunel a nový ražený kabelovod.

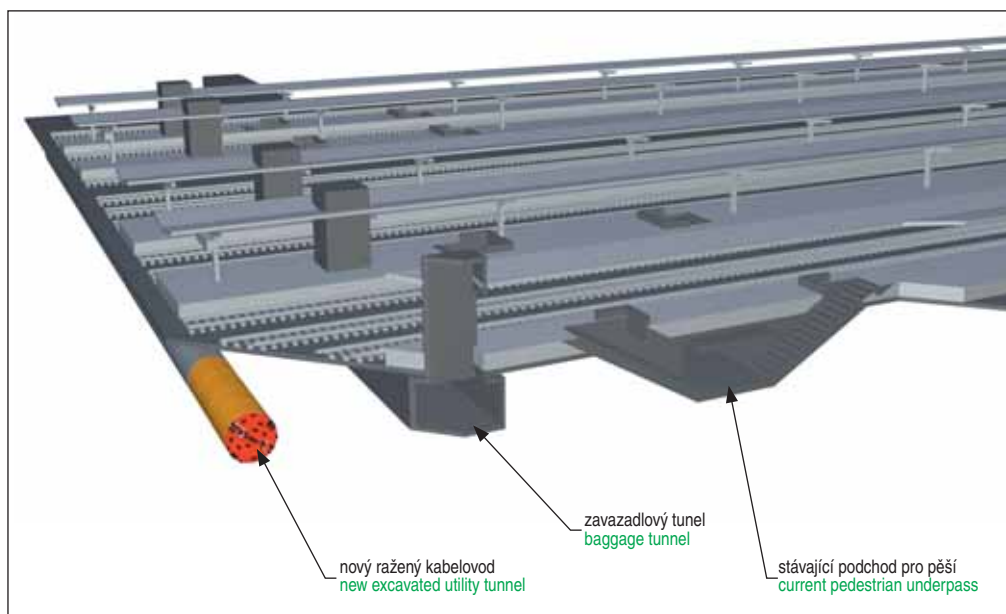
### INTRODUCTION

In the present time passengers using the Kolín station have a pedestrian underpass at their disposal, from where they can ascend to platforms via fixed staircases. Ramps are equipped with platforms for the transport of disabled individuals however due to the busy traffic of the Kolín station this method is not satisfactory capacity-wise. It was decided that for the purposes of barrier-free access, an already-existing parallel baggage tunnel would be utilised. However, it needs an extensive reconstruction and mainly a relocation of communication cables that are routed within its insides. Cables will be relocated into the newly excavated utility tunnel. Fig. 1 depicts the situation of the Kolín railway station underground, from right to left: current pedestrian underpass, baggage tunnel, and the newly excavated utility tunnel.

### PROJECT DESCRIPTION AND ITS DEVELOPMENT

The new utility tunnel beneath the railway yard was from the very beginning designed as excavated. If it had been designed as cut-and-cover, a large restriction of railway transit would have occurred, as well as the worsening of travel comfort. Due to the geological environment in which it is situated (sands with a high groundwater level) the selected method was excavation by an MTBM (microtunnelling full-face machine) machine with face support using a slurry suspension.

Within the tender documentation, the reception shaft of the utility tunnel was designed in close proximity to a dispatch



Obr. 1 Znárodnění situace v podzemí v ŽST Kolín

Fig. 1 Depiction of a plan of the Kolín railway station underground

## POPIS PROJEKTU A JEHO VÝVOJ

Nový kabelovod pod kolejištěm byl od počátku navržen jako ražený. Pokud by byl realizován jako hloubený, došlo by k velkému omezení železniční dopravy a zhoršení komfortu cestování. Z důvodu geologického prostředí, ve kterém je situován (písky s vysokou hladinou podzemní vody), byla pro výstavbu vybrána metoda ražení MTBM (mikrotunelovací plnoprofilový stroj) strojem se zajištěním stability čelby pomocí bentonitové suspenze.

V rámci zadávací dokumentace byla cílová šachta kabelovodu navržena v těsné blízkosti výpravní budovy. Toto uspořádání prakticky vylučovalo instalaci jeřábu vysoké nosnosti pro vytážení stroje. Dodatečný geofyzikální průzkum navíc prokázal výskyt základů staré staniční budovy s možností výskytu nepředpokládaných ocelových prvků (které představují pro ražbu MTBM nepřekonatelnou překážku). Z obou výše uvedených důvodů byl kabelovod posunut jak horizontálně o cca 25 m směrem ku Praze (do staničení km 347,834), tak i vertikálně. Kabelovod byl více zahlouben, čímž se nadloží zvýšilo z původních cca 2,8 m na cca 5,0 m. Vnitřní světlý průměr zůstal v porovnání se zadávací dokumentací nezměněn a činí 2,5 m, s tloušťkou ostění 0,25 m. Délka kabelovodu v nové poloze je cca 87 m.

## INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ PODMÍNKY

Svrchní pokryv širší oblasti nádraží tvoří prostorově rozsáhlá vrstva navážek. Dle archivních vrtů z databáze České geologické služby dosahuje jejich mocnost lokálně až 7 m. V podloží navážek se nacházejí kvartérní fluvialní sedimenty řeky Labe, které jsou tvořeny převážně slabě soudržnými, písčitymi až štěrkovito-písčitymi zeminami, lokálně se mohou vyskytovat polohy jemnozrných hlinito/jílovito-písčitých zemin. Pod fluvialními sedimenty se nacházejí metamorfované horniny – kouřimské migmatity a v oblasti kabelovodu pak převážně ruly.

Hladina podzemní vody v místě startovací jámy zhruba odpovídá hladině vody v Labi (194,70 m n. m.), s narůstající vzdáleností od Labe (v případě raženého kabelovodu) napříč kolejemi směrem k nádražní budově mírně stoupá. V místě kabelovodu se hladina podzemní vody pohybuje v hloubce cca 4,7 m pod povrchem terénu, tj. nad vrchlíkem tunelu.

Ražba ze startovací šachty začínala v prostředí zemin. Přibližně v polovině trasy vstoupila do dna raženého profilu skalní báze rul, která postupně tvořila stále větší podíl plochy čelby s tím, že závěrečná část ražeb (o délce přibližně 10 m) již probíhala kompletně ve skalním prostředí. Přičemž pevnostní zkoušky prokázaly, že pevnost rul v prostém tlaku přesahuje 180 MPa. Tunelovací stroj proto musel být navržen tak, aby byl schopen razit ve dvou zcela rozdílných horninových prostředích, včetně prostředí smíšených geologických podmínek na čelbě.

## POPIS METODY RAŽBY

Obecně se ražba plnoprofilovými tunelovacími stroji (obr. 2) s průměrem řezné hlavy menším než 4 m označuje jako mikrotunelování. Při této metodě tlačná stanice (čtveřice lisů), umístěná ve startovací šachtě, zatlačuje do horninového masivu ostění tunelu/štoly (v případě malého průměru potrubí), na jehož počátku je tunelovací stroj (nebo jen řezná hlava), který zajišťuje rozpojování horninového masivu. Stabilita čelby v prostředí nesoudržných materiálů pod hladinou vody je zajišťována tlakem bentonitové suspenze. Rozpojovaný materiál se na čelbě mísí s bentonitovou suspenzí a vzniklá směs je potrubím odčerpávána do separační jednotky umístěné na povrchu, kde se rubanina

building. This layout practically out-ruled the installation of a high load-bearing crane for the retrieval of the machine. A supplemental geophysical survey additionally proved the presence of a foundation of an old station building with the possibility of the presence of unexpected steel components (which pose an insurmountable obstacle for MTBM excavation). For both the above-mentioned reasons the utility tunnel was moved horizontally by ca. 25m in the direction of Prague (to chainage km 347.834), and even vertically. The utility tunnel was dug in deeper, which increased the overburden height from the original ca. 2.8m to ca. 5.0m. The inner clear diameter remained unchanged in relation to the documentation and amounts to 2.5m, with a lining thickness of 0.25m. The length of the utility tunnel in the new position is ca. 87m.

## ENGINEERING GEOLOGY AND HYDROGEOLOGY CONDITIONS

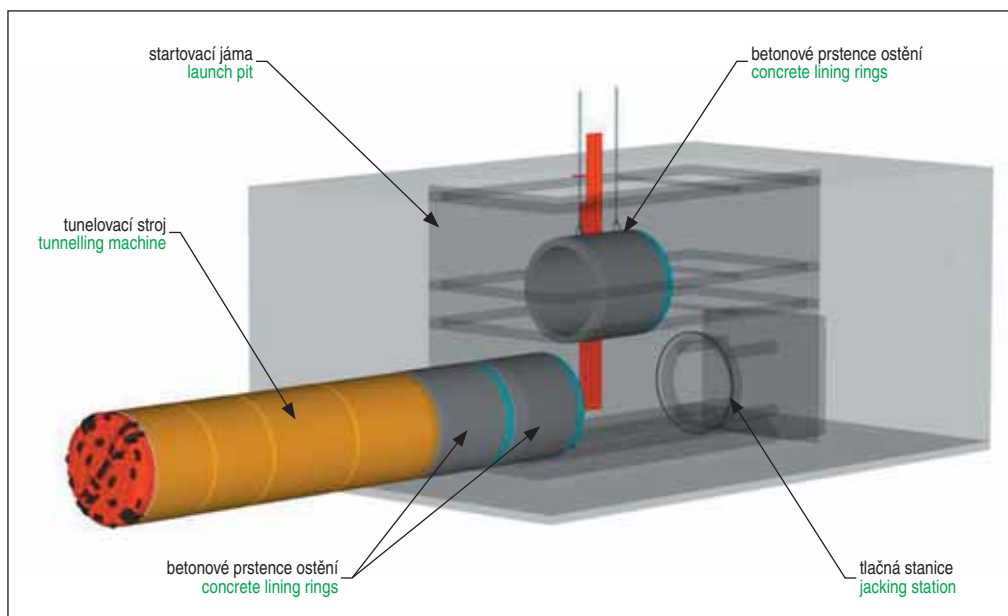
The upper cover of the broader station area is formed by a spatially extensive layer of backfills. According to archival boreholes from the database of the Czech Geological Survey their thickness locally reaches up to 7m. In the underlying rock of the backfills, Quaternary fluvial sediments of the Labe River are located, which are formed mostly by weakly cohesive, sandy to gravel-sandy soils, found locally can be layers of fine-grained loam/clay-sandy soils. Beneath fluvial sediments lie metamorphic rocks – Kouřim migmatites, and in the area of the utility tunnel mostly gneiss.

The groundwater level in the location of the launch shaft roughly corresponds to the water level in the Labe River (194.70m asl), with increasing distance from the Labe (in the case of the excavated utility tunnel) across tracks in the direction of the station building it rises slightly. In the area of the utility tunnel, the groundwater level fluctuates at a depth of ca. 4.7m beneath the surface, ie. above the canopy of the tunnel.

Excavation from the launch shaft began in a soil environment. Approximately at the halfway point of the route, a gneiss rock base entered into the floor of the excavated profile, which gradually formed larger ratios of the surface of the face, with the final part of excavation (at a length of approximately 10m) then already taking place completely in a rock environment, whilst strength tests proved that the strength of gneiss in compression exceeds 180MPa. The tunnelling machine therefore had to be designed in such a way that it would be able to excavate in two completely differing rock environments, including an environment of mixed geological conditions at the face.

## EXCAVATION METHOD DESCRIPTION

In general excavation by full-profile tunnelling machines (Fig. 2) with a cutter head diameter less than 4m is referred to as microtunnelling. With this method a jacking station (a quartet of presses) located in the launch shaft pushes into the rock mass of the tunnel/shaft lining (in the case of small diameter pipes) on the beginning of which the tunnelling machine is located (or only the cutter head), that secures rock mass breaking. Face stability in the environment of non-cohesive materials beneath the level of water is secured by the pressure of a slurry suspension. Broken material mixes with the slurry suspension at the face and the formed mixture is drained via piping into a separation unit located on the surface, where excavated material is separated from the slurry suspension. The separation unit consists of a system of sieves and hydrocyclones (centrifuges). The slurry suspension



Obr. 2 Schematické znázornění mikrotunelování  
Fig. 2 A Schematic depiction of microtunnelling

odděluje od bentonitové suspenze. Separační jednotka sestává ze soustavy sít a hydrocyklón (odstředivek). Bentonitovou suspenzi vyčištěnou od rubaniny je možno používat opakovaně. Ražba probíhá po krocích, které odpovídají délce prstenců zatlačovaného ostění.

V rámci tunelovacího cyklu probíhá ražba za současného zatlačování prstence ostění do výrubu. Po dokončení záběru je zastaven bentonitový okruh a dochází k rozpojování veškerých trubních a kabelových vedení. Následně jsou staženy hydraulické písty tlačné stanice, čímž vzniká prostor pro osazení dalšího prstence ostění. Po opětovném propojení trubních (obr. 3) a kabelových vedení je možné začít ražební fázi dalšího postupu.

Tunelovací stroj byl nad rámec běžné konstrukce dodatečně vybaven přetlakovou komorou, která umožňovala případné provedení výměny řezných nástrojů nebo údržbu/opravu na řezné hlavě. Přetlaková komora by v případě potřeby umožnila přístup k řezné hlavě a do prostoru stroje za podmínek práce v režimu přetlaku vzduchu. Výměna řezných nástrojů nebyla však při realizaci kabelovodu nutná.

Pro provedení ražeb mikrotunelováním je nutné v předstihu vyhloubit jámy na začátku (tzv. startovací šachta) a konci (tzv. cílová šachta) raženého díla (obr. 4). V případě kolínského projektu byly obě jámy zajištěny kombinací záporového pažení a převrtávaných sloupů z tryskové injektáže (TI). Sloupy z TI těsnily stěny jam proti přítokům podzemní vody. Dno startovací jámy bylo proti prolomení tlakem podzemní vody zajištěno sloupy z TI, dno cílové jámy bylo situováno v rulách, takže nevyžadovalo žádné zajištění. Na portálových stěnách startovací a cílové jámy byla osazena ocelová deska

cleaned of the excavated material can be used repeatedly. Excavation is carried out in strokes, which correlate to the length of the jacked lining rings.

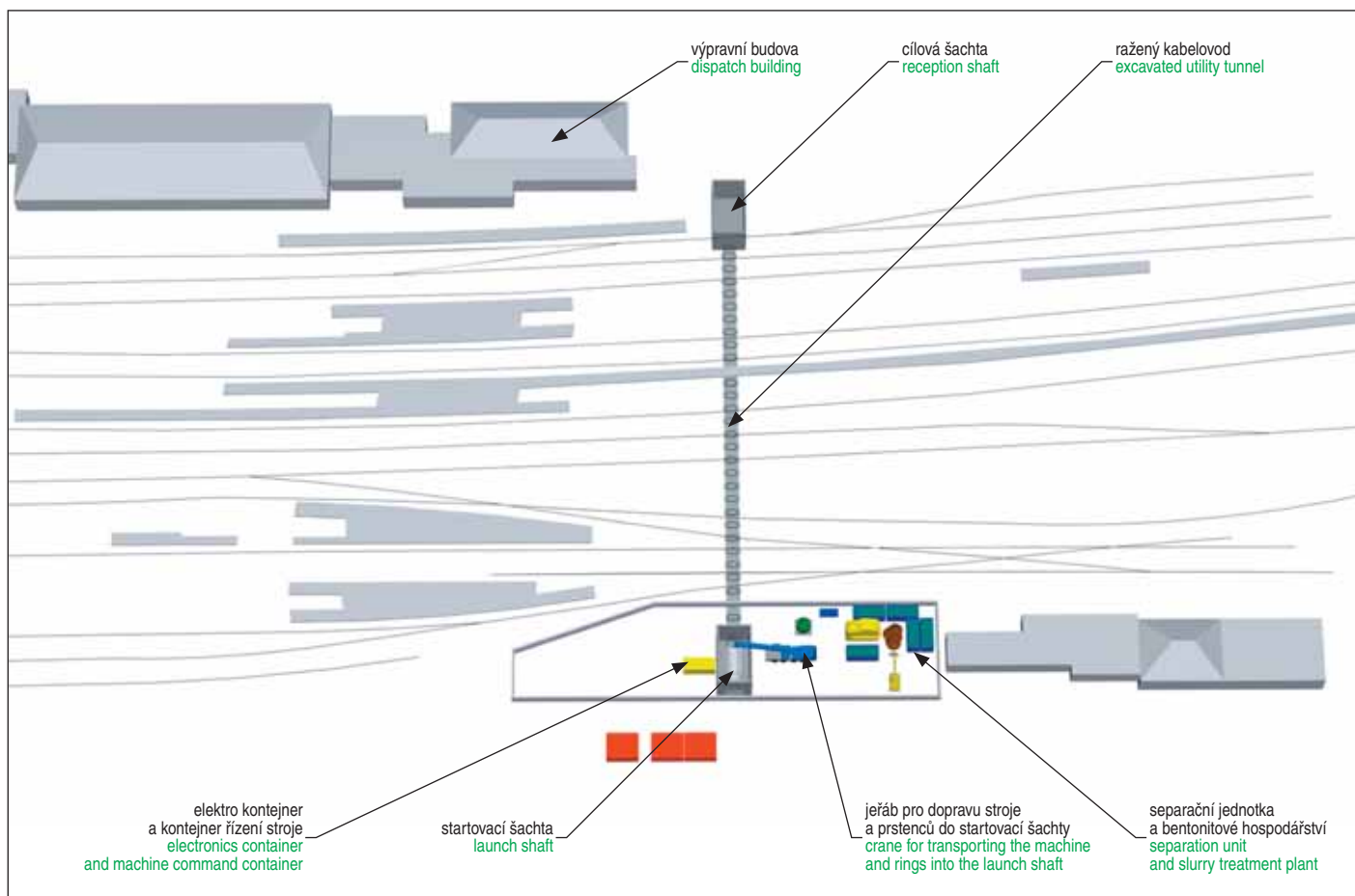
Within the tunnelling cycle excavation takes place during simultaneous jacking of a ring into the excavation. After the completion of a stroke, the slurry circuit is halted and the disengaging of all pipe and cable lines occurs. Subsequently, all of the hydraulic pistons of the jacking station are retracted, thereby creating a space to attach the following ring. After a repeated connection of pipe (Fig. 3) and cable lines it is possible to commence the excavation phase of the following advancement.

The tunnelling machine was additionally equipped beyond regular design with an overpressure chamber, which allows the potential to carry out the replacement of cutting tools or maintenance/service at the cutter head. The overpressure chamber in case of need would facilitate access to the cutting face and to the space of the machine in conditions of work in the air overpressure regime. Replacement of cutting tools was however not necessary during the realisation of the utility tunnel.

In order to carry out excavations by microtunnelling it is necessary to excavate a shaft in advance at the beginning (so-called launch shaft), and at the end (so-called reception shaft) of the excavated work (Fig. 4). In the case of the Kolín project both pits were secured by a combination of braced timbering and secant pillars from jet grouting (TI). Pillars from TI sealed pit walls against groundwater inflows. The floor of the launch shaft was secured against a breach due to groundwater pressure with TI pillars, the floor of the finishing shaft was situated in gneiss, so it did not necessitate any securing. On the portal walls of the launch



Obr. 3 Přepojování potrubí po vložení druhé části stroje  
Fig. 3 Reconnecting of pipes after inserting the second part of the machine



Obr. 4 Situace staveniště  
Fig. 4 Construction site plan

s pryžovým těsněním, které bránilo přítokům vody a bentonitové suspenze podél ostění kabelovodu do jam.

Razicí štít, který zrealizoval kabelovod pod kolejištěm ŽST Kolín, dostal jméno Emílie (podle Emílie Bartoňové, odbojářce zapojené do podpory členů výsadku Silver A, zavražděné roku 1942 v Osvětimi). Razicí stroj vyrobila firma Herrenknecht pod typovým označením AVN2000AH. Hmotnost razicího štítu byla cca 112 tun, délka 11,6 m, průměr řezné hlavy 3,040 m a maximální protlačovací síla, které mohla tlačná stanice dosáhnout, 12000 kN.

### OSTĚNÍ KABELOVODU

Kruhové prefabrikované segmenty (prstence) mají vnější průměr 3,0 m a tloušťku stěny 0,25 m. Prstence jsou vyrobeny z betonu C 40/50-X0, CX1-4, XD1-3, XF1-4, XA1 a XA3. Hmotnost jednoho prstence je cca 15,5 tun. Každý třetí je opatřen uzavíratelnými otvory pro mazání vnějšího povrchu prstenců bentonitem pro snížení tření mezi prstencem a horninou. Mazání vnějšího povrchu snižovalo potřebnou velikost protlačovací síly.

Díky přesunu kabelovodu do nové polohy s výškou nadloží cca 5 m došlo k redukci zatížení od kolejové dopravy a betonové prstence splňují požadavky na mezní stav únosnosti a použitelnosti i bez výztuže. Z důvodu zvýšení bezpečnosti (kabelový kanál se nalézá ve velmi exponovaném místě s průjezdem více než 500 souprav denně) jsou prstence vyztuženy prutovou výztuží. Hrdla prstenců – radiální spáry jsou těsněny dvojicí pryžových těsnění na styčné spáře a třetím dodatečným těsněním na obvodu prstence. Hrdlo doplňuje nerezový plech spojený s betonem prstenců pomocí spřahovacích trnů. Uspořádání hrdla, způsob těsnění a materiály jsou běžně užívané standardizované detaily.

and reception shafts a steel plate with rubber gaskets was attached which prevented inflows of water and the slurry suspension along the utility tunnel lining into the pits.

The shield, which realised the utility tunnel underneath the railway yard of the Kolín railway station, was given the name Emílie (Emílie Bartoňová, a resistance fighter involved in the supporting of members of the Silver A airdrop, murdered in the year 1942 in Osvětim). The tunnelling machine was manufactured by the Herrenknecht Company with the type designation AVN2000AH. The weight of the boring machine was ca. 112 tons, the length 11.6m, the diameter of the cutter head 3.040m, and the maximum jacking force that the jacking station could achieve was 12,000kN.

### UTILITY TUNNEL LINING

Circular prefabricated segments (rings) have an outer diameter of 3.0m and a wall thickness of 0.25m. Rings are made from concrete C 40/50-X0, CX1-4, XD1-3, XF1-4, XA1, and XA3. The weight of one ring is ca. 15.5 tons. Every third one is equipped with closable ports for lubrication of the outer ring surface with slurry for the decrease of friction between the ring and the rock. Lubrication of the outer surface decreased the required amount of the jacking force.

Thanks to the relocation of the utility tunnel into the new position with an overburden height of ca. 5m a reduction of loads from rail traffic occurred and the concrete rings comply with the requirements for ultimate and serviceability limit states even without reinforcement. In order to increase safety (the utility channel is located in a very exposed area with the transit

## BENTONITOVÁ SUSPENZE

Bentonitová suspenze představuje klíčový materiál při ražbě bentonitovým štítem, neboť plní funkci materiálu používaného pro podporu čelby a zároveň funkci transportního média pro těžbu rubaniny. Výběru dodavatele směsi pro přípravu bentonitové suspenze byla věnována velká pozornost, která byla nutná i u provozních zkoušek suspenze v průběhu ražeb (i několikrát v průběhu jednoho záběru). Jakékoli znehodnocení suspenze vede ke snížení její pažicí funkce, což by ve výsledku mohlo znamenat nežádoucí sedání povrchu ve velmi provozně exponované oblasti pod kolínským nádražím.

Zkoušeny a sledovány byly následující vlastnosti:

- hustota (ovlivňuje čerpatelnost suspenze);



Obr. 5 Ražba kabelovodu při minimálním ovlivnění dopravy  
Fig. 5 Utility tunnel excavation with minimal impact on operations

of more than 500 train sets daily) the rings are reinforced with bar reinforcement. Ring necks – circumferential joints are sealed with a pair of rubber gaskets along the longitudinal joints and with a third supplemental gasket on the perimeter of the ring. The neck is complemented by a stainless steel plate connected to the concrete ring with shear stud connectors. The neck layout, sealing methods, and materials are commonly used standardized details.

## SLURRY SUSPENSION

The slurry suspension represents a key material during excavation with a slurry shield because it fulfils the role of a material used for face support and also the role of a transportation medium for excavated material. The selection of suppliers of a compound for the preparation of the slurry suspension was given a lot of attention, which was also necessary with operation suspension tests during excavation (even several times over the course of one advancement) since any kind of damage to the suspension leads to a decrease in its stabilising function, which could as a result mean surface settlement in a highly operationally prominent area beneath the Kolín railway station.

Tested and observed were the following properties:

- density (affects the ability to pump the suspension);
- viscosity (influences the behaviour of the filter cake on the rock–suspension boundary, with low viscosity, vanishing of the filter cake and a loss/spill of the suspension into the rock massif is a threat);
- ratio of insoluble particles (a high ratio of insoluble particles (excavated material) causes an increase in wear on pumps, pipes, etc.);
- pH, chemism.

During excavation, a constant supply of fresh suspension was kept in an amount allowing a complete replacement, since even a small change in the geology of the rock massif could have caused a need for a fast replacement of the entire suspension in active circulation (separation unit, auxiliary tank, pipes, tunnelling machine). And for example, even the jet grouting pillar material (a highly basic material) instantly destroyed the suspension (the suspension thickened to such a degree that it was only pumped with difficulties).

- viskozita (ovlivňuje chování filtračního koláče na rozhraní hornina–suspenze, při nízké viskozitě hrozí vymizení filtračního koláče a ztráta/únik suspenze do horninového masivu);
- podíl nerozpustných částic (vysoký podíl nerozpustných částic (rubaniny) způsobuje zvýšené opotřebení čerpadel, potrubí atd.);
- pH, chemismus.

Během ražby byla udržována stálá zásoba čerstvé suspenze v množství umožňujícím kompletní výměnu, neboť i malá změna v geologii horninového masivu mohla vyvolat nutnost rychlé výměny veškeré suspenze v aktivním oběhu (separační jednotka, pomocný tank, potrubí, tunelovací stroj). A i například materiál sloupů z tryskové injektáže (silně zásaditý materiál) bentonitovou suspenzí okamžitě znehodnotil (suspenze natolik zhoustla, že byla jen obtížně čerpatelná).

### ZKUŠENOSTI PŘI RAŽBĚ KABELOVODU

Ražba byla podřízena základnímu požadavku bezpečnosti. Jelikož je nádraží v Kolíně jedním z dopravně nejvíce vytížených nádraží v České republice, jakákoli událost, která by případně omezila či zcela zastavila provoz, by znamenala obrovské finanční náklady, nemluvě o trestněprávní odpovědnosti zainteresovaných osob.

Velký důraz byl proto kladen na přípravu veškerých detailů, kdy například dodavatel tunelovacího stroje zkonstruoval pro stroj zcela novou řeznou hlavu tak, aby co nejvíce vyhovovala geologickému prostředí v ražené části díla. Zároveň bylo rozhodnuto, že stroj bude řízen zkušeným operátorem poskytnutým od dodavatele tunelovacího stroje a ražby budou probíhat pouze v denních směnách tak, aby nemohlo dojít k nedorozumění při předávání klíčových zpráv mezi směnami. Denní směny rovněž technikům zhotovitele – společnosti Metrostav TBR a.s. – umožňovaly nepřetržitě sledování výsledků měření on-line monitoringu – posunů kolejnic v průběhu ražeb s možností okamžité reakce v případě jakéhokoli překročení varovných stavů.

Tlak bentonitové suspenze zajišťující stabilitu čelby musel být během ražby udržován v požadovaných mezích. Dolní mez představuje minimální tlak zajišťující stabilitu čelby v prostředí nesoudržných materiálů pod hladinou podzemní vody, horní mez reprezentuje maximální přípustný tlak, při kterém ještě nemůže dojít k prolomení nadloží. Mezní tlaky byly spočítány dle doporučení DAUB [1]. Z důvodu minimalizace sedání nadloží (a z toho plynoucí deformace kolejí) byla většina trasy kabelovodu ražena s tlakem bentonitové suspenze na čelbě na horní mezi. Při ražbě se ukázalo, že v daném prostředí velikost tlaku na čelbě ovlivňovala rychlost ražby pouze minimálně. Daleko větší roli hrála sešranost týmu při osazování prstenců a přepojování potrubí.

Postupné vybíhání skalního podloží do prostoru ražby vzbuzovalo obavy z možnosti „sklouznutí“ tunelovacího stroje po tomto rozhraní vzhůru a odchýlení se od plánované trasy. Aby se toto nebezpečí minimalizovalo, byl v místě náběhu skalního podloží do prostoru ražby vybudován blok z tryskové injektáže (TI), do kterého stroj najel kolmo a do skalního podloží při výjezdu z tohoto bloku pronikl naráz cca spodní třetinou stroje. Toto opatření se ukázalo jako účinné a k odchýlení od navržené trasy nedošlo.

Přestože byla ražba kabelovodu prováděna za výše popsáných opatření, tedy s hodnotou podpůrného tlaku na čelbě na horní mezi, došlo k poklesu terénu a potažmo i kolejí o cca 20 mm. Po dobu ražby byla z důvodu bezpečnosti (ražby i kolejové dopravy) na pojižděných kolejích snížena rychlost průjezdů vlaků na 30 km/h. Po dokončení ražby bylo ražbou ovlivněné horninové

### EXPERIENCE DURING EXCAVATION OF THE UTILITY TUNNEL

The excavation was subordinated to a fundamental requirement of safety. Since the railway station in Kolín is one of the busiest railway stations in the Czech Republic transportation-wise, any incident that would possibly restrict or even entirely halt operations would signify enormous financial costs, not to mention the criminal responsibility of the involved individuals.

A lot of emphasis was also put on the preparation of all the details, for example when the tunnelling machine supplier constructed an entirely new cutter head for the machine such that it would suit the geological environment in the excavated part of the work as much as possible. It was also decided that the machine would be operated by an experienced controller provided by the supplier of the tunnelling machine, and that excavation would only be carried out in daytime shifts so that eventually a miscommunication during an exchange of key messages between shifts would not happen. Daytime shifts also allowed technicians of the contractor – the company Metrostav TBR a.s. – continual observing of measurement results of the online rails movement monitoring during the excavations with the option of an instantaneous reaction in the case of exceeding any warning states.

The slurry suspension pressure securing the stability of the face had to be kept within the required limits during excavation. The lower limit represents a minimum pressure securing the face stability in an area of cohesionless materials beneath the groundwater level, and the upper limit represents a maximum acceptable pressure during which a burst of overburden still cannot occur. Limit pressures were calculated according to a recommendation from DAUB [1]. For the purpose of minimising overburden settlement (and the following tracks deformation), most of the route of the utility tunnel was excavated with a slurry pressure at the face on the upper limit. During excavation, it was proven that in the given conditions the intensity of pressure at the face impacted the speed of excavation only minimally. The coordination of the team whilst attaching rings and reconnecting pipes played a much larger role.

A gradual protrusion of rock subsoil into the area of excavation caused concerns about the possibility of a „slip“ of the tunnelling machine on this boundary upwards and a deviation from the planned route. In order to minimise this danger in the area of the rock subsoil protrusion a block from jet grouting (TI) was constructed into the area of excavation into which the machine drove perpendicularly and into the rock massif during an exit from this block it broke at once with ca. the lower third of the machine. This measure has shown itself to be effective and a deviation from the designed route did not occur.

Even though the excavation of the utility tunnel was carried out with the above-mentioned measures in place, which means with a value of support pressure at the face on the upper limit, a settlement of the terrain and even the tracks by ca. 20mm occurred. Over the course of excavation due to safety (excavation and rail transit) the passing speed of trains was lowered to 30km/h. After excavation completion, the rock environment affected by excavations in the immediate area of the utility tunnel was grouted (preventing the following loosening and with that deformations of tracks), and the tracks were rectified and undercut. Larger settlements occurred in the area of excavations in mixed geological conditions at the face – cohesionless soils in the upper section and tough gneiss in its lower region. To break tough gneiss more rotations of the cutter head were needed than what was needed to break the cohesionless

prostředí v bezprostředním okolí kabelovodu proinjektováno (prevence proti dalšímu rozvolňování a s tím spojenými deformacemi kolejí), koleje rektifikovány a podbity. K větším poklesům došlo v oblasti ražby se smíšenými geologickými podmínkami na čelbě – nesoudržné zeminy v horní části a pevné ruly v její dolní části. K rozpojení pevných rul bylo potřeba více otáček řezné hlavy, než bylo potřebné pro rozpojení nesoudržné zeminy v horní části čelby, čímž docházelo k mírnému přetěžování horní části čelby a větším sedáním.

Měření deformací kolejí bylo prováděno pomocí nivelace a náklonoměrů umístěných na pražcích. Na prvních 40 m kabelovodu bylo měření náklonoměry prováděno v intervalu 1 min, na zbytku trasy v intervalu 5 min. Měřily se sklony povrchu poklesové kotliny v podélném i příčném směru ražby. Kromě měření náklonoměry bylo prováděno nivelační měření povrchu terénu/kolejí. V oblasti aktuální polohy čelby se měření provádělo 1x denně a v ostatních oblastech v intervalu 1x za tři dny. V případě dosažení předdefinovaných limitů byly vybrané osoby o této skutečnosti informovány automaticky zaslanou textovou zprávou. O postup ražby a vývoji deformací kolejí byl denně informován i vrchní traťmistr ŽST Kolín.

Prvotní hodnota tlačné síly stanovená výpočtem (síla potřebná pro překonání tření na plášti prstenců kabelovodu plus velikost odporu na čelbě) vycházela výrazně větší než maximální aplikovaná tlačná síla použitá při ražbě kabelovodu. Při zpětné analýze byl výpočet upraven tak, aby zahrnoval vliv přerazu (průměr řezné hlavy je větší než průměr prstenců kabelovodu) a redukční součinitel zohledňující vliv mazání na rozhraní betonových prstenců – horninový masiv. Redukce (zvýšeného aktivního) zemního tlaku na prstence kabelovodu z důvodu přerazu byla do výpočtu zahrnuta hodnotou koeficientu 0,8. Následně byla stanovena hodnota součinitele redukce tření vlivem lubrikace tak, aby si hodnoty spočtené a aplikované tlačné síly přibližně odpovídaly. Takto stanovený součinitel redukce tření má hodnotu 0,15 (snížení tření o 85 %). Tato hodnota působí až neuvěřitelně, nicméně v literatuře [2] je uváděna hodnota redukce tření vlivem lubrikace až 96 %.

## ZÁVĚR

Při rekonstrukcích železničních stanic bývají kabely dosud vedené v zemi sdružovány do kabelovodů, které umožňují jejich lepší údržbu. Je-li potřeba kabely převést napříč kolejemi, používá se běžně kabelovodů budovaných v otevřené rýze, což je řešení stavebně levné, ale vyžaduje přerušování provozu na dotčených kolejích. Úspěšné vybudování kabelového kanálu napříč kolejemi v železniční stanici Kolín pomocí mikrotunelování demonstruje vhodnost této metody výstavby, jejíž hlavní přínos spočívá v minimálním ovlivnění provozu (obr. 5).

*Ing. MARKÉTA VENCLOVÁ, marketa.venclova@m-tbr.cz,*

*Ing. PAVEL ČELIŠ, Ph.D., pavel.celis@m-tbr.cz,*

*Ing. PETR HYBSKÝ, petr.hybsky@m-tbr.cz,*

*Ing. FILIP JIŘIČNÝ, filip.jiricny@m-tbr.cz,*

*Metrostav TBR a.s.*

*Recenzoval / Reviewed by: Ing. Jan Frantl*

soils in the upper part of the face, which caused a slight overload of the upper part of the face and larger settlement.

Track deformation measuring was done thanks to levelling and inclinometers placed on sleepers. With the first 40m of the utility tunnel, measuring with inclinometers was carried out in a 1 min interval, on the rest of the route in a 5 min interval. Measured were the inclines of the surface of the settlement trough in the longitudinal and transverse direction of excavation. Besides measuring with inclinometers levelling measuring was carried out on the surface of the terrain/tracks. In the area of the current face location measuring was performed 1x daily, and in other areas in an interval 1x every three days. In the event of reaching predefined limits selected individuals were notified about this fact by an automatically sent text message. About the advancement of excavation and the development of rail deformation, even the head track maintenance supervisor of the Kolín railway station was informed daily.

The original value of the jacking force determined by a calculation (force required to overcome friction on the skin of the rings of the utility tunnel plus the amount of resistance at the face) came out significantly larger than the maximum jacking force applied during the excavation of the utility tunnel. During retrospective analysis, the calculation was adjusted so it would include the effect of overcut (the diameter of the cutter head is larger than the diameter of the utility tunnel rings) and a reduction coefficient that takes into consideration the impact of lubrication on the concrete rings – rock massif boundary. Reduction (increase of active) of earth pressure on the utility tunnel rings due to the overcut was incorporated into the calculation with the coefficient value of 0.8. Then the value of a coefficient for the reduction of friction due to lubrication was determined as such that the values of calculated and applied jacking forces approximately correlated. The friction reduction coefficient determined this way has a value of 0.15 (reduction of friction by 85%). This value seems unbelievable, nevertheless in literature [2] the value for friction reduction due to lubrication is stated as up to 96%.

## CONCLUSION

During reconstructions of railway stations cables routed up to now in the ground tend to be grouped together into utility tunnels that allow better maintenance. If there is a need to transfer cables across tracks, commonly used are utility tunnels built in an open trench, which is an inexpensive solution construction-wise but requires an interruption of operations on the affected tracks. The successful construction of a utility channel across tracks at the Kolín railway station using microtunnelling demonstrates the convenience of this method of construction, of which the main contribution lies in the minimal impact on operations (Fig. 5).

*Ing. MARKÉTA VENCLOVÁ, marketa.venclova@m-tbr.cz,*

*Ing. PAVEL ČELIŠ, Ph.D., pavel.celis@m-tbr.cz,*

*Ing. PETR HYBSKÝ, petr.hybsky@m-tbr.cz,*

*Ing. FILIP JIŘIČNÝ, filip.jiricny@m-tbr.cz,*

*Metrostav TBR a.s.*

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] ŽIŽKA Z., THEWES. M. Recommendations for Face Support Pressure Calculations for Shield Tunnelling in Soft Ground. Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB); October 2016.
- [2] WETTER, L., STAHELI, K., DAVIDSON, D. Quantifying the Effects of Lubrication on Jacking Forces. No-Dig Show 2011, North American Society for Trenchless Technology (NASTT) No-Dig Show 2011; March 2011.