

RIZIKÁ TENDROVEJ DOKUMENTÁCIE TUNELA SPOJENÉ S INTERPRETÁCIOU INŽINIERSKOGEOLOGICKÉHO PRIESKUMU

RISKS OF TENDER DOCUMENTATION OF THE TUNNEL ASSOCIATED WITH INTERPRETATION OF ENGINEERING GEOLOGICAL SURVEY

PETER PALOČKO, JURAJ ORTUTA, JÁN BOLTVAN

ABSTRAKT

Príspevok sa zaoberá rizikami spojenými so vstupom do horninového prostredia pri výstavbe tunela Okruhliak na Slovensku. Autori analyzujú výsledky inžinierskogeologického prieskumu, ktorý odhalil prítomnosť napúčavých hornín, ako sú ílovce a siltovce v trase tunela. Ďalej popisujú návrh statického modelu tunela, vystrojovacích tried a predvrtov pre identifikáciu oblastí s napúčavými horninami. Autori tiež poukazujú na význam zmluvných podmienok FIDIC, riadenia kvality, stavebného dozoru a poistenia pri minimalizácii sporov a rizík spojených s projektom. V závere sa venujú komplexnému pochopeniu inžinierskogeologických charakteristík a stratégiám riadenia geotechnických rizík rozhodujúcich pre úspešnú výstavbu tunela.

ABSTRACT

The paper deals with risks associated with the entry into ground environment of the Okruhliak tunnel in Slovakia. The authors analyse the results of the engineering geological survey, which revealed the presence of swelling ground types, such as claystone and siltstone on the tunnel route. They further describe the design of the static model of the tunnel, excavation classes and pilot boreholes for the identification of areas with swelling ground types. The authors further point out the importance FIDIC terms and conditions, quality management, construction supervision and insurance in cases of minimising disputes and risks associated with the project. In the conclusion, they dedicate themselves to understanding of engineering geological characteristics and strategies of management of risks, which are crucial for successful construction of the tunnel.

1. ÚVOD

Príprava a realizácia investičnej výstavby sú spojené s rozličnými rizikami, medzi ktorými sa vynímajú riziká spojené so vstupom do horninového prostredia, ktoré tvoria základ tohto príspevku. Stúpajúce náklady a oneskorené dokončovanie infraštruktúrnych projektov potvrdzujú, že táto téma je aktuálna a závažná.

Objektívizácia znalostí o horninovom masíve medzi jednotlivými stranami je podstatným prínosom pre riešenie tejto problematiky. Vo fáze projektovej prípravy riadi riziká najmä investor, inžiniersky geológ a projektant. Vo fáze realizácie je to úloha investora, zhotoviteľa, nezávislého stavebného dozora a projektanta ako podriadeného subjektu jednej zo strán.

Všetky aspekty súvisiace s právnymi otázkami a zmluvnými podmienkami sú nevyhnutné faktory v oblasti tunelového staviteľstva. Tieto právne a zmluvné záležitosti sú kľúčové pre úspešné riadenie a realizáciu tunelových projektov.

ITA-AITES odporúča vo svojich usmerneniach sledovať nasledovné typy rizík [1]:

Všeobecné riziká:

1. zmluvné spory;
2. platobná neschopnosť a problémy inštitucionálnej povahy;
3. zásahy orgánov;
4. zásahy tretích strán;
5. pracovné spory.

Špecifické riziká:

6. náhodné udalosti;
7. neočakávané nepriaznivé podmienky;
8. nedostatočné návrhy, špecifikácie a programy;
9. poruchy hlavných zariadení;
10. podpriemerné, pomalé alebo práce mimo tolerancie.

1. INTRODUCTION

The preparation and implementation of an investment development project are associated with various risks, among which the risks associated with entering ground environment, which form the basis of this paper, stand out. Rising costs and delayed completion of infrastructure projects confirm that this topic is current and serious.

The objectification of knowledge about the ground massifs between the individual sides is a substantial contribution to the solution to this problem. In the design preparation phase, risks are mainly managed by the client, the engineering geologist and the designer. In the implementation phase, it is the role of the client, the contractor, the independent construction supervisor, as well as the designer as a subject subordinated to one of the parties.

All aspects related to legal issues and contract conditions are unavoidable factors in the field of tunnel construction. These legal and contract-related issues are crucial for the successful management and implementation of tunnelling projects.

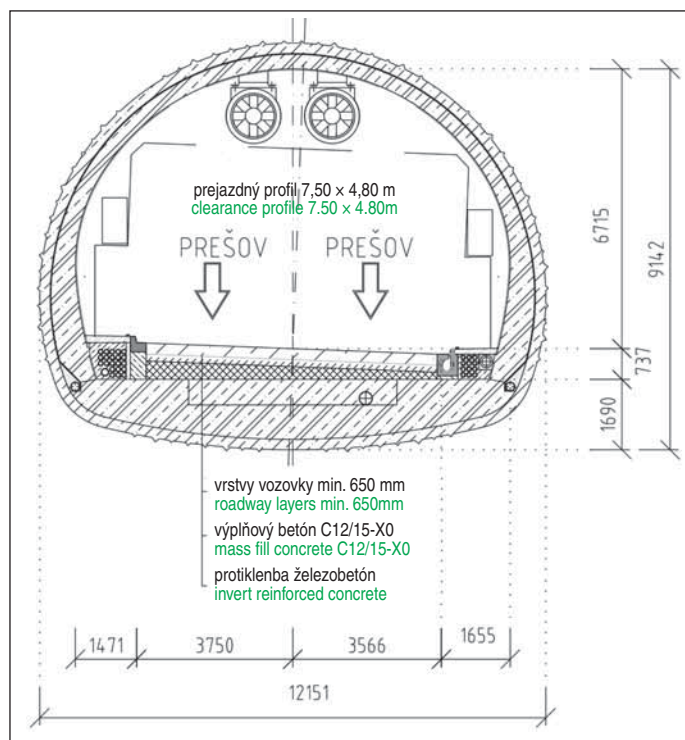
In its guidelines, ITA-AITES recommends that the following types of risk are observed [1]:

General risks:

1. contractual disputes;
2. insolvency and problems of an institutional nature;
3. interventions by authorities;
4. interventions by third parties;
5. employment disputes.

Specific risks:

6. random events;
7. unexpected adverse conditions;
8. inadequate proposals, specifications and programs;
9. failures of main equipment;
10. sub-average, slow or out-of tolerance work.



Obr. 1 Vzorový priečný rez razeného tunela
Fig. 1 Typical mined tunnel cross-section

2. NÁVRH ROZSAHU INŽINIERSKOGEOLOGICKÉHO PRIESKUMU

Pri návrhu podzemného diela sa projektant spolu s investorom často stretáva s otázkou, aký je vhodný rozsah navrhovaného inžinierskogeologického prieskumu. Nie je jednoduché na túto otázku odpovedať, pretože pri návrhu inžinierskogeologického prieskumu sa vyžaduje zdôvodnenie nemalých finančných a časových dopadov, ktoré daný prieskum so sebou prináša.

Realizácia podzemných stavieb je spojená s viacerými neistotami, ktoré je možné rozdeliť do viacerých oblastí [2]:

- Neistota spojená s návrhom trasy tunela, v ktorej sa môžu vyskytovať určité situácie. Napríklad nie je známe presné rozloženie typov hornín pozdĺž trasy tunela, rozsah zón porúch, presná oblasť náhlych prítokov vody, atď., ale je isté, že sa budú vyskytovať.
- Neistota spojená s presnou intenzitou (ako maximálna hodnota), s akou sa budú vyskytovať určité situácie očakávaného typu. Napríklad pri prechádzaní určitým horninovým masívom existujú neistoty ohľadom maximálnej hodnoty pôsobiacich zatažení a následných konvergencií, hoci je možné predpokladať a priori extrémne referenčné situácie.
- Neistota súvisiaca s možným výskytom úplne nepredvídaných situácií. Do tejto kategórie je nutné zahrnúť nepriaznivé geologické javy, prítomnosť ktorých sa nepodarilo zistiť počas fázy návrhu a vyžaduje si to čiastočné alebo úplné prepracovanie projektu; sem je potrebné zahrnúť aj typ geomechanického správania, ktorý nebol predpovedaný v návrhu.

Správne navrhnutý inžinierskogeologický prieskum by mal za primerané finančné náklady poskytnúť dostatočné informácie o horninovom prostredí, ktoré sú zároveň podkladom pre optimálny návrh podzemného diela. Pri tom je potrebné podotknúť, že konzervatívne (bezpečné) vyhodnotenie vlastností horninového prostredia vedie k návrhu robustného riešenia samotného diela. Tiež nedostatočné informácie o horninovom prostredí vedú projektanta k voľbe konzervatívnejšieho návrhu.

2. DESIGN OF ENGINEERING GEOLOGICAL SURVEY SCOPE

When designing an underground working, the designer with the client often encounter the question of what the appropriate scope of the engineering geological survey is. It is not simple to answer this question, because the design of an engineering geological survey requires substantiation of the significant financial and time-related impacts which the particular survey entails.

The implementation of underground construction projects is associated with uncertainties, which can be divided into several areas [2]:

- Uncertainty associated with the design of the tunnel route, on which certain situations may occur. For example, the exact division of ground types along the tunnel route, the extent of fault zones, the exact area of sudden inflows of water, etc. but they certainly will occur.
- Uncertainty associated with the exact intensity (such as maximum value) with which certain situations of the expected type will occur. For example, when passing through a certain ground massif, there are uncertainties regarding the maximum value of the applied loads and subsequent convergences, even though assuming a priori extreme reference situations is possible.
- Uncertainty associated with the possible occurrence of completely unforeseen situations. In this category, it is necessary to include adverse geological phenomena, the presence of which could not be identified during the design phase and partial or complete redesigning is required; here it is also necessary to include the type of geomechanical behaviour which was not predicted in the design.

A correctly designed engineering geological survey should provide sufficient information about the ground environment at adequate financial costs, which is also the basis for the optimal design of the underground construction. It is necessary to note that a conservative (safe) assessment of the properties of the ground environment leads to the design of a robust solution to the working itself. Even insufficient information about the ground environment leads the designer to choosing a more conservative design.

Even if there is no clear procedure or a manual developed, according to which it should be proceeded when the scope of an engineering geological survey, the references, instructions and recommendations contained in various standards being designed are summarised in [3]. Table 1 presents the recommended scope of drilling operations based on the type of geological conditions or the phase of design preparation.

3. CASE STUDY – OKRUHLIAK TUNNEL

The Okruhliak tunnel is part of the proposed express highway R4 Prešov – Northern by-pass, which is part of the north-south traffic connection by an express highway in the section SR/PR state border – Vyšný Komárnik – Milhošť – SR/MR state border.

The tunnel is designed as a double-tube structure in rural area, with uni-directional traffic, the maximum permissible speed of 100km/h. Tunnel roadway configuration is prescribed by category T = 7.5 in the meaning of the STN 73 7507 standard. Typical cross-section of the mined tunnel is in Fig. 1. The left-hand tunnel tube is 1831.473m long, the right-hand tunnel tube is 1823.061m long. The entire length of the tunnel will be driven through swelling clay, which fact required a special approach of designers toward the shape of the tunnel cross-section and the static assessment of the

Tab. 1 Odporúčania pre rozsah vrtného prieskumu [3]

Zdroj	Odporúčaný rozsah vrtných prác
Eurokód7 (2007), Európska Unia	1/20–200 m (lineárne diela)
BS 5930 (2015), Veľká Británia	1/20–200 m (lineárne diela)
AASHTO 88 (1988), USA	mäkké podložie: 1/15–30 m (nepriaznivé podmienky) a 1/90–150 m (priaznivé podmienky) zmiešané podložie: 1/8–15 m (nepriaznivé podmienky) a 1/15–23 m (priaznivé podmienky)
USNC (1984), USA	L = 1,5 stôp vrtu na každú stopu trasy 1/125 m (databáza s veľkými tunelmi)* 1/80 m (databáza bez hlbokých tunelov)*
IGS (2016), medzinárodná organizácia	1/60–100 m (prirodzené aluviálne sedimenty)
Look B. G. (2007), individuálny výskum	1/25–50 m
Elfatih M. A. A. (2014), individuálny výskum	štúdia realizovateľnosti 1/200–400 m* fáza predbežného návrhu: 1/50–100 m* fáza podrobného návrhu: 1/30–100 m*

* odporúčania na základe historických prípadov

Aj keď nie je vyvinutý jednoznačný postup alebo príručka, podľa ktorej by sa malo postupovať pri návrhu rozsahu inžinierskogeologického prieskumu, v [3] sú zhrnuté referencie, inštrukcie a odporúčania rôznych noriem. V tabuľke 1 je uvedený odporúčaný rozsah vrtných prác na základe typu geologických podmienok alebo fázy projektovej prípravy.

3. PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA – TUNEL OKRUHLIAK

Tunel Okruhliak je časťou navrhovanej rýchlostnej cesty R4 Prešov – Severný obchvat, ktorá je súčasťou severo-južného dopravného prepojenia rýchlostnou cestou v úseku štátna hranica SR/PR – Vyšný Komárnik – Milhoš – štátna hranica SR/MR.

Tunel je navrhnutý ako dvojrúrový v extraviláne, s jednosmernou premávkou s maximálnou dovolenou rýchlosťou 100 km/h. Šírkové usporiadanie tunela je predpísané kategóriou T= 7,5 v zmysle STN 73 7507. Vzorový priečny rez razeného tunela je na obr. 1. Dĺžka ľavej tunelovej rúry je 1831,473 m, dĺžka pravej tunelovej rúry je 1823,061 m. Tunel bude v celej dĺžke razený v napúčavých íloch, čo si vyžiadalo zvláštny prístup projektantov k tvaru priečného rezu tunela a k jeho statickému posúdeniu. Investorm rýchlostnej cesty, vrátane tunela, je Národná diaľničná spoločnosť a.s. a v čase prípravy príspevku bola realizovaná súťaž na výber zhotoviteľa daného úseku rýchlostnej cesty R4 podľa podmienok červenej knihy FIDIC. Riziká zo vstupu do horninového prostredia boli identifikované v záverečnej správe inžinierskogeologického prieskumu, ktorá tvorí súčasť súťažných podkladov na realizáciu diela.

3.1 Riziká vstupu do horninového prostredia

Inžinierskogeologické charakteristiky tunela Okruhliak sú ovplyvnené geologickou stavbou územia, ktorá je tvorená neogénymi a kvartérnymi sedimentmi. V oblasti východného portálu sú výrazne vyvinuté svahové pohyby a zosuvy. Z hydrogeologického hľadiska neogénne súvrstvia nevytvárajú vhodné prostredie pre akumuláciu výdatnejších zdrojov podzemných vôd. Z endogénnych geodynamických procesov sú dôležité neotektonické pohyby a seizmicita.

Podrobný inžinierskogeologický prieskum bol vykonaný v období rokov 2013–2014 [4]. Jeho úlohou bolo zistiť podmienky v trase tunela, ktorá bola navrhnutá v rámci prípravy dokumentácie na

Table 1 Recommendations for the scope of drilling survey [3]

Source	Recommended scope of drilling operations
Eurocode7 (2007), European Union	1/20–200m (linear workings)
BS 5930 (2015), Great Britain	1/20–200m (linear workings)
AASHTO 88 (1988), USA	soft underlying ground: 1/15–30m (adverse conditions) and 1/90–150m (favourable conditions) mixed underlying ground: 1/8–15m (adverse conditions) and 1/15–23m (favourable conditions)
USNC (1984), USA	L = 1.5 feet of borehole for each foot of the route 1/125m (database with large tunnels)* 1/80m (database without deep tunnels)*
IGS (2016), international organisation	1/60–100m (natural alluvial sediments)
Look B. G. (2007), individual research	1/25–50m
Elfatih M. A. A. (2014), individual research	feasibility study 1/200–400m* preliminary design phase: 1/50–100m* detailed design phase: 1/30–100m*

* recommendations based on historic cases

tunnel. The client for the express highway construction is National motorway society (Národná diaľničná spoločnosť a.s.) and, at the time of preparation of this paper, a tender was held for the selection of the contractor for the given section of the R4 express highway according to the conditions of the FIDIC Red Book. Risks that ensue from entering the ground environment were identified in the final report of the engineering geological survey, which forms part of the tender documentation for the implementation of the working.

3.1 Risks of entering ground environment

The engineering geological characteristics of the Okruhliak tunnel are influenced by the geological structure of the territory, which is formed by Neogene and Quaternary sediments. In the area of the eastern portal, slope movements and landslides are significantly developed. From the hydrogeological point of view, Neogene formation does not form an environment appropriate for accumulation of abundant sources of groundwater. Among the endogenous geodynamic processes, neotectonic movements and seismicity are important. A detailed engineering geological survey was carried out in 2013–2014 [4]. Its task was to find conditions along the tunnel route, which was designed as part of the preparation of the documents for the construction permit. The extent of the detailed engineering geological survey was determined on recommendations of the previous level of documentation – the territorial permission. No exploratory gallery was designed with respect to the issues of funding and time schedule related to its implementation.

The scope of geological work comprised:

1. the preparation of geological services after completion of the geological task design and amendment, including studies of archive materials in Geofond Bratislava, obtaining entrances, approvals and opinions from owners of land, State and Municipal forests Prešov;
2. monitoring, management, coordination of operations, safety of access roads, maintenance and reconstruction of municipal roads during the survey work;

stavebné povolenie. Rozsah podrobného inžinierskogeologického prieskumu bol stanovený na základe odporúčania z predchádzajúceho stupňa dokumentácie – dokumentácia na územné rozhodnutie. Prieskumná štôľňa nebola navrhnutá vzhľadom na otázky financovania a časového harmonogramu spojené s jej realizáciou.

Rozsah geologických prác zahŕňal:

1. prípravu geologickej služby po vypracovaní projektu a dodatku geologickej úlohy, vrátane štúdia archívnych materiálov v Geofonde Bratislava, získavanie vstupov, povolení a vyjadrení od majiteľov pozemkov, Štátnych a Mestských lesov Prešov;
2. sledovanie, riadenie, koordinácia prác, zabezpečenie prístupových ciest, údržba a rekonštrukcia mestských komunikácií po realizácii prieskumu;
3. zabezpečenie geologickej dokumentácie vrtov a fotodokumentácie, odber vzoriek;
4. zhodnotenie inžinierskogeologických, geotechnických, hydrogeologických a hydrochemických pomerov v koridore tunela a záverečné spracovanie výsledkov prieskumu v čiastočnej záverečnej správe podľa požiadaviek objednávateľa.

V etape podrobného inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu (IGHP) pre tunel Okruhliak boli práce realizované v rozsahu:

1. geofyzikálne práce, zahŕňajúce seizmické profily v koridore tunela Okruhliak pre pôvodnú trasu na západnom a východnom portáli;
2. príprava vrtných prác;
3. realizácia inžinierskogeologických a hydrogeologických vrtov v koridore variantu krátkeho tunela Okruhliak, vrátane karotáže vrtov, vzorkovania a laboratórnych prác;
4. geodetické práce;
5. práce geologickej služby a vypracovanie záverečnej správy pre časť krátkeho tunela Okruhliak.

Celý proces geologických prác zahŕňal aj poskytnutie predbežného grafického spracovania a zapracovanie výsledkov orientačného prieskumu do záverečnej správy podrobného inžinierskogeologického a hydrogeologického prieskumu.

Celkovo boli práce zrealizované v nasledovnom rozsahu:

Geofyzikálne práce, ktoré zahŕňali 975 bm profilov, 27 vrtov s celkovou dĺžkou 1072,0 metrov a dve šachtice s metrážou 14,5 metrov. Z vrtov bolo 678 metrov realizovaných v trase pravej a ľavej tunelovej rúry. Karotáž bola realizovaná vo vrtoch v rozsahu 435 metrov. Okrem toho boli vykonané vzorkovacie práce na 171 ks vzoriek. V porovnaní s tabuľkou 1 boli prieskumné práce realizované v medziach odporúčaní.

3.2 Tlaky z napúčania

Súčasťou laboratórnych prác a skúšok na odobratých vzorkách ílovcov a siltovcov z prieskumných vrtov pre tunel Okruhliak boli aj skúšky na overenie napúčavosti a tlakov z napúčania. V etape orientačného prieskumu boli testované vzorky zo štyroch vrtov. V etape podrobného prieskumu boli testované vzorky zo siedmich vrtov. V tejto etape boli odobraté vzorky aj z ostatných vrtov, ale v dôsledku nepriaznivých geotechnických vlastností sa vzorky pri príprave rozpadli. Predmetom skúšok napúčavosti bolo meranie zväčšovania objemu horniny vplyvom pôsobenia vody. Tlak pri napúčavosti spôsobuje napätie, ktoré hornina vyvinie pri styku s vodou za konštantného objemu horniny.

Odobraté vzorky na skúšky napúčavosti a tlaku z napúčania boli v laboratóriu sledované v triaxiálnom prístroji. Vypočítané hodnoty tlakov z napúčania sú v rozsahu 0,754–2,922 MPa a pri

3. provision of geological documentation of boreholes and photodocumentation, sampling;
4. assessment of engineering geological, geotechnical, hydrogeological and hydrochemical conditions along the tunnel corridor and final processing of survey results in the partial final report according to client's requirements.

In the stage of the detailed engineering geological and hydrogeological survey (EGHS) for the Okruhliak tunnel, work was carried out in the following scope:

1. geophysical work, comprising seismic profiles along the Okruhliak tunnel corridor for the original route at the western and eastern portals;
2. preparation of borehole work;
3. work on engineering geological and hydrogeological boreholes in the corridor variant for the short Okruhliak tunnel, including borehole logging, sampling and laboratory work;
4. geodetic survey;
5. work of geological service and development of the final report for the short Okruhliak tunnel part.

The entire process of geological operations also included the provision of preliminary graphic processing and the incorporation of the results of the orientation survey into the final report of the detailed engineering geological and hydrogeological survey.

Overall, the work was carried out in the following scope:

Geophysical work, which comprised 975m of profiles, 27 boreholes with the total length of 1072.0 metres and two shafts with the depth of 14.5 metres. Of the boreholes, 678 metres were carried out on the routes of the right-hand and left-hand tunnel tubes. The logging was carried out in boreholes in the extent of 435m. In addition, sampling work was carried out on 171 specimens. In comparison with Table 1, the survey operations were carried out within the limits of the recommendations.

3.2 Swelling pressures

Laboratory work and testing on claystone and siltstone specimens from the survey boreholes for the Okruhliak tunnel included tests to verify swelling properties and swelling pressures. Specimens from four boreholes were tested at the orientation survey stage. Specimens from seven boreholes were tested in the stage of detailed survey. At this stage, specimens were taken also from the other boreholes, but due to unfavourable geotechnical properties, they disintegrated during preparation. The measurement of the increase in ground volume due to the action of water was subject of swelling tests. Swelling pressure causes the stress that the ground develops when in contact with water at a constant volume of ground.

The specimens taken for swelling and swelling pressure tests were monitored in the laboratory in a triaxial press. The calculated values of swelling pressures are in the range of 0.754–2.922MPa, and reconsolidation pressures were also taken into consideration in the resulting pressure. Volumetric changes range from 0.61–6.69%.

Tests were also carried out in an oedometer, without reconsolidation pressure. The value of the swelling pressures is in the range of 0.33–0.68MPa and the volume changes vary in the interval of 0.2–4.6%. It follows based on the interpretation of the measurements and the division of the tunnel into quasi-homogeneous units that the risk of swelling occurs in 75% of the tunnel alignment.

3.3 Interpretation of results by designer

Based on the results of the detailed engineering geological survey, it was necessary to adapt the design of the static model of the

výslednom tlaku sa uvažovalo aj s rekonsolidačným tlakom. Objemové zmeny sa pohybujú v intervale 0,61–6,69 %.

Boli tiež realizované skúšky v oedometrickom prístroji bez rekonsolidačného tlaku. Hodnota tlakov z napúčania je v rozsahu 0,033–0,628 MPa a objemové zmeny sa pohybujú v intervale 0,2–4,6 %. Na základe interpretácie meraní a rozdelenia tunela do kvázihomogénnych celkov vyplýva, že riziko napúčania sa vyskytuje v 75 % trasy tunela.

3.3 Interpretácia výsledkov projektantom

Na základe výsledkov podrobného inžinierskogeologického prieskumu bolo potrebné prispôsobiť návrh statického modelu tunela. Výpočet bol realizovaný v programe PLAXIS 2D, ktorý využíva metódu konečných prvkov, konkrétne variant rovinnej deformácie. Horninový masív bol modelovaný pomocou Mohr-Coulombovho modelu. V jednotlivých riešených priečných profiloch boli vypočítané deformácie ostenia a vnútorné sily, na základe ktorých bolo primárne ostenie dimenzované v programe GEO5 MKP. Výpočet zohľadňoval postupné razenie tunelových rúr.

Konštrukcia bola posudzovaná na zaťaženie od horninových tlakov s ohľadom na postup výstavby a rozvoľňovanie horninového masívu. Pri posudzovaní konštrukcie primárneho ostenia tunela Okruhliak bol zohľadnený aj stav vzniku tlaku z napúčania, pričom sa brala do úvahy poloha posudzovaného prierezu vzhľadom na geotechnický blok a hodnota tlaku z napúčania uvedená v inžinierskogeologickom prieskume.

Primárne ostenie zo striekaného betónu je v matematickom modeli riešené ako prúťová konštrukcia s ohybovou a normálovou tuhosťou, ktorá zodpovedá hrúbke ostenia 200 a 150 mm v závislosti od geotechnického úseku.

Pretože bolo potrebné fyzikálne a mechanicky opísať vplyv tlakov z napúčania identifikovaných počas inžinierskogeologického prieskumu, boli vykonané triaxiálne skúšky a oedometrické merania. Treba však poznamenať, že vstupné hodnoty dosahovali pomerne veľký rozptyl. Na druhej strane počet skúšok nebol dostatočný na to, aby bolo možné realizovať rozsiahlejšie štatistické vyhodnotenie, preto boli vybrané iba extrémne hodnoty.

Na základe získaných inžinierskogeologických dát bolo potrebné vhodne interpretovať tieto údaje, a to tak, aby model poskytoval relevantné výstupy. Vzhľadom na to, že sa jedná o tlaky z napúčania, bolo rozhodnuté simulovať tieto tlaky formou obálky v okolí tunela, ktorá reprezentuje predpokladaný dosah vplyvu technologickej vody použitej pri razení tunela. Túto obálku je možné vidieť na obr. 2. Obálka predstavuje len teoretickú hranicu, ktorú nie je možné v samotnom horninovom prostredí exaktne určiť, a preto aj tento vstup podlieha určitej idealizácii. Tu je tiež potrebné zdôrazniť, že takáto idealizácia je spojená s neistotami v súvislosti s modelom, bez možnosti podrobnejšieho skúmania problému priamo v reálnej situácii (čo sa vzhľadom k tomu, že tunel ešte nie je vyrazený, ani nedá).

Ďalšou možnosťou je zaviesť tento postupný nárast tlakov na celú modelovanú vrstvu, ale to by viedlo k neúmernému nárastu síl pôsobiacich na ostenie a masívne vystužovanie. Na jednej strane sa takto zaistí, že

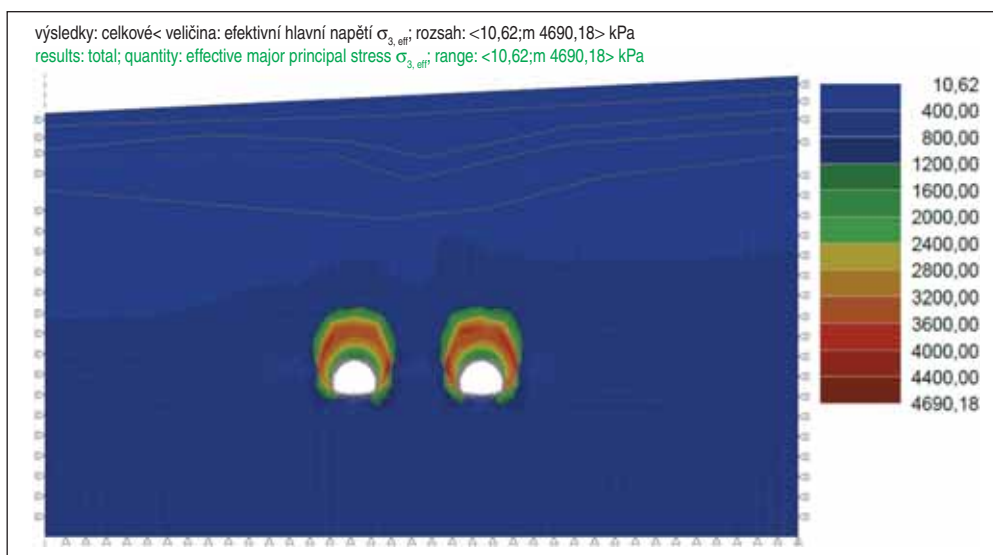
tunnel. The calculation was conducted in the PLAXIS 2D program, which uses the finite element method, specifically a variant of plane-strain deformation. The ground mass was modelled using the Mohr-Coulomb model. The deformations of the lining and internal forces were calculated in individual cross-section profiles, on the basis of which the primary lining dimensions were calculated in the GEO5 FEM program. The calculation took into consideration the gradual excavation of the tunnel tubes.

The structure was assessed for the load induced by the ground pressure, taking into consideration the construction process and the loosening of the ground massif. When assessing the primary lining structure of the Okruhliak tunnel, the condition of the development of the swelling pressure was also taken into account, taking into consideration the position of the cross-section being assessed in relation to the geotechnical block and the value of the swelling pressure stated in the engineering geological survey report.

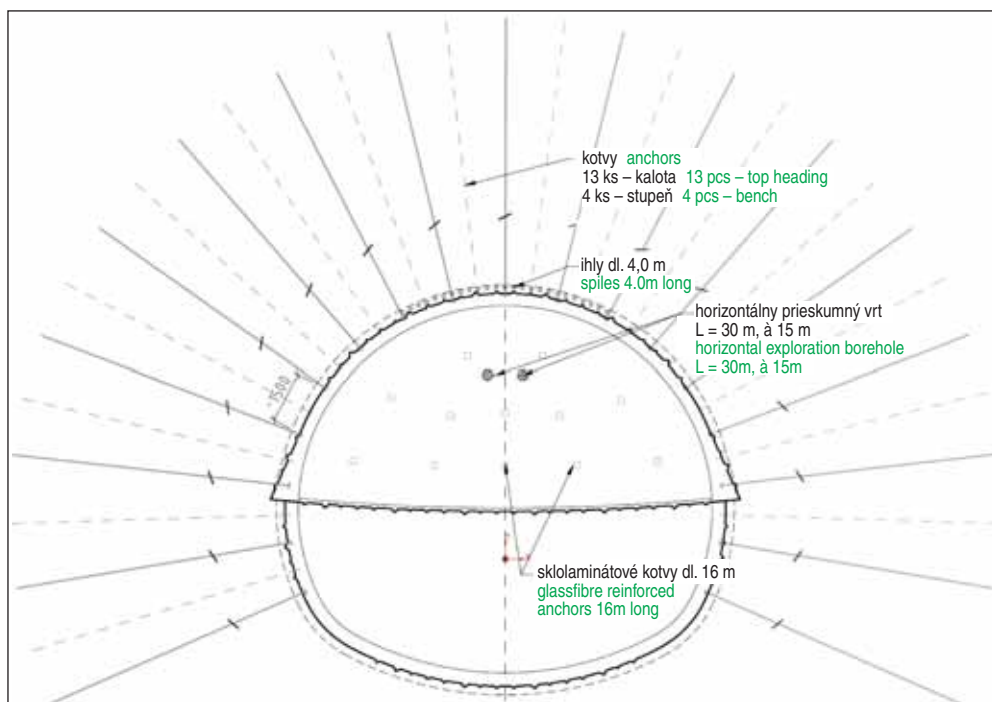
In the mathematical model, the shotcrete primary lining is solved as a framework with bending and normal stiffness, which corresponds the lining thickness of 200 and 150mm, depending on the geotechnical section of the tunnel.

Triaxial tests and oedometer measurements were performed because it was necessary to physically and mechanically describe the effect of the swelling pressures identified during the engineering geological survey. However, it is necessary to note that the input values exhibited a relatively large scatter. On the other hand, the quantity of tests was not sufficient to allow for a more extensive statistical assessment, therefore only extreme values were selected.

Based on the obtained engineering geological data, it was necessary to interpret the data appropriately, in such a way that the model provides relevant outputs. With respect to the fact that swelling pressures in question are in the form of an envelope around the tunnel, which represents the expected reach of the influence of the technological water used in the tunnel excavation. This envelope can be seen in Fig. 2. The envelope represents only a theoretical border, which cannot be determined exactly in the ground environment itself, therefore even this entry is subject to certain idealisation. Here it is also necessary to emphasise that such an idealisation is associated with uncertainties in connection with the model, without the possibility of a more detailed examination of the problem directly in a real situation (which, with respect to the fact that the tunnel excavation has not been finished yet, is not even possible).



Obr. 2 Model tunela s viditeľnou obálkou pre potreby simulovania tlakov z napúčania
Fig. 2 Model of a tunnel with a visible envelope for the needs of simulation of swelling stresses



Obr. 3 Vystrojovacia trieda Va-S2 určená pre úseky s výskytom napúčavých hornín
Fig. 3 Excavation class Va-S2 designed for sections with occurrence of swelling ground

návrh počíta s tou najhoršou alternatívou, ale na druhej strane to má dopad na celkovú cenu tunela. Vzhľadom na to, že ideálne riešenie tohto problému neexistuje a na tento typ správania sa horninového masívu je potrebné reagovať podľa aktuálnych stavov pri samotnom razení, pristúpilo sa k parametrickému výpočtu, ktorý prebiehal formou postupného pridávania napätia v okolí výrubu tak, aby sa dosiahlo fázovo najväčšie laboratórne určené pritaženie.

Vzhľadom na použité vstupy nie je možné s istotou predpovedať presné správanie sa horninového masívu. Je nutné pokračovať v prieskume horninového prostredia aj počas razenia tunela. To je možné realizovať predstihom razenia jednej tunelovej rúry, geofyzikálnymi metódami (tie však nemajú vysokú výpovednú hodnotu), alebo predvrtmi. Takýto postup však vyžaduje vhodné plánovanie prieskumných a raziacich prác, aby boli výsledky vyhodnotené včas a primerane zapracované do ďalšieho postupu raziacich prác.

3.4 Návrh vystrojovacích tried

Návrh vystrojovacích tried tunela je dôležitý pre úspešné razenie. Celkovo bolo navrhnutých šesť vystrojovacích tried, z ktorých niektoré boli špeciálne určené pre oblasti s výskytom napúčavých hornín. Pre tieto oblasti boli vyvinuté triedy s profilom S2, ktoré predstavovali triedy V-S2, Va-S2 a Vb-S2 portálové úseky (obr. 3). Tieto triedy boli navrhnuté s ohľadom na zabezpečenie bezpečnosti a účinnosti pri razení v náročných podmienkach.

3.5 Návrh predvrtov

Pre identifikáciu úsekov s výskytom napúčavých hornín boli navrhnuté predvrtky z čelby tunela (obr. 4). Tieto predvrtky s vhodnými rozstupmi medzi nimi umožnia presnejšie určiť oblasti s prachovitými ílovcami a siltovcami, ako aj vysoký obsah zmiešanovrstevného minerálu smektitu. Toto poznanie zabezpečí optimálny postup pri razení tunela s navrhnutými výrubovými triedami, čím sa výrazne eliminujú riziká spojené s neznalosťou horninového prostredia, resp. s rozsahom a výsledkami inžinierskogeologického prieskumu v súvislosti s tendrovou dokumentáciou.

Vzhľadom na obmedzené inžinierskogeologické znalosti horninového prostredia založené iba na výsledkoch vrtného prieskumu,

Another option is to introduce this gradual increase in pressures to the entire layer being modelled, but this would lead to excessive increasing in the forces acting on the lining and on the massive reinforcing. On the one hand, this ensures that the design takes into consideration the worst alternative, but on the other hand, it affects the overall cost of the tunnel. Due to the fact that there is no ideal solution to this problem and this type of behaviour of the ground mass must be responded to according to the current conditions during the tunnel excavation itself, a parametric calculation was conducted, which proceeded in the form of gradual additions of stress around the excavation with the aim of achieving the largest laboratory determined surcharge load in the phases.

Taking into consideration the inputs, it is not possible to predict with certainty the exact behaviour of

the ground massif. It is necessary to continue the exploration of the ground environment even during tunnel excavation. It can be done by driving one tunnel tube in advance, geophysical methods (however, their predictive value is not high) or by boring pilot holes. Such a procedure, however, requires appropriate planning of exploration and tunnel excavation operations, so that the results are assessed in time and adequately incorporated into the following tunnel excavation procedure.

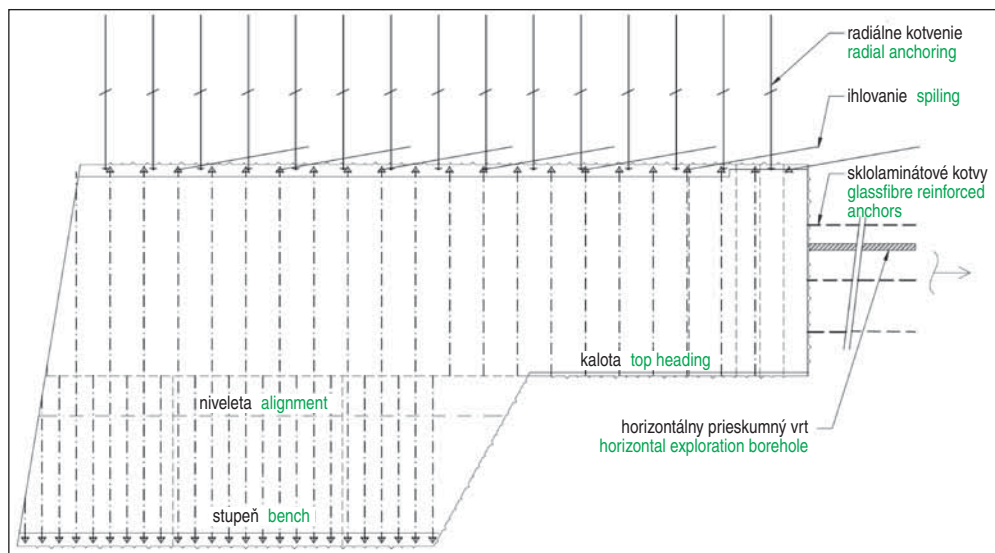
3.4 Design of excavation classes

The design of excavation classes is important for successful tunnel excavation. Six excavation classes were designed in total. Some of them were specially designed for areas with the occurrence of swelling ground. Classes with the S2 profile were developed for these areas. They represented classes V-S2, Va-S2 and Vb-S2 portal sections (Fig. 3). These classes were designed with respect to securing safety and effectiveness when driving the tunnel in demanding conditions.

3.5 Pilot boreholes design

Pilot boreholes from the tunnel heading face were designed to identify the sections with the presence of swelling ground (Fig. 4). These pilot boreholes, with adequate spacing between them, will allow for more precise determination of areas with silty clay and siltstone, as well as a high content of mixed-layered smectite. This knowledge will ensure an optimal procedure when driving a tunnel with designed excavation classes, owing to which the risk associated with the lack of knowledge of the ground environment, or with the scope and results of the engineering geological, are significantly eliminated.

With respect to the limited engineering geological knowledge of the ground environment based only on the results of the drilling survey, there may be a risk of unidentified geological features in the tunnel route. These risks may include geological anomalies that may influence the safety and stability of the tunnel and the design of the excavation classes. Therefore, it is critically important to use appropriate technologies, methods and procedures that allow



Obr. 4 Pozdĺžny rez vystrojovacou triedou Va-S2 s horizontálnymi prieskumnými vrtmi
Fig. 4 Longitudinal section through VaS2 support class with horizontal exploratory boreholes

môže v trase tunela existovať riziko neidentifikovaných geologických skutočností. Tieto riziká môžu zahrňovať geologické anomálie, ktoré môžu ovplyvniť bezpečnosť a stabilitu tunela a návrh vystrojovacích tried. Preto je kriticky dôležité použiť primerané technológie, metódy a postupy, ktoré umožnia presnejšie a podrobnejšie hodnotenie geologického prostredia v trase tunela, aby sa minimalizovalo riziko nečakaných závažných udalostí počas výstavby, ako aj prevádzky tunela:

- implementácia zásad projektového riadenia podľa normy ISO 9001:2016 napomáha dosiahnutiu vysokej úrovne dodaných prác a redukcii rizík spojených s návrhom, implementáciou a prevádzkou tunelov;
- návrh predvrtov z čelby tunela, ktoré umožnia presnejšie určiť oblasti s výskytom napúčavých hornín a optimalizovať postup pri razení tunela s vhodnými výrubovými triedami;
- využitie odborných služieb nezávislého stavebného dozoru, ktorý bude podrobne monitorovať fázu vykonávania prác a riešiť krízové situácie s cieľom dosiahnuť dohodu medzi investorom a zhotoviteľom diela.

4. ZMLUVNÉ PODMIENKY FIDIC A RIADENIE RIZÍK

Jedným z kľúčových prvkov zmlúv založených na zmluvných podmienkach FIDIC je požiadavka na riadenie rizík. Jednotlivé strany by mali riadiť riziká počas celého životného cyklu projektu.

Účinné riadenie rizík podľa zmluvných podmienok FIDIC zahŕňa niekoľko kľúčových krokov, vrátane:

1. Identifikácie rizík: Ide o identifikáciu všetkých potenciálnych rizík, ktoré môžu mať vplyv na projekt, ako sú poveternostné podmienky, nedostatok pracovných síl alebo oneskorenie materiálu.
2. Posúdenie rizík: Po identifikácii sa riziká musia posúdiť, aby sa určila ich pravdepodobnosť a potenciálny vplyv na projekt.
3. Zmierňovanie rizík: Jednotlivé strany musia následne vypracovať stratégie na zmiernenie identifikovaných rizík. To môže zahŕňať úpravu harmonogramu projektu, pridanie finančných prostriedkov napríklad z rezervy do rozpočtu alebo zavedenie bezpečnostných opatrení.
4. Monitorovanie rizík: Nakoniec musia jednotlivé strany pokračovať v monitorovaní rizík počas celého životného cyklu projektu a v prípade potreby vykonať úpravy.

for a more accurate and detailed assessment of the geological environment on the tunnel route in order to minimise the risk of unexpected serious events during the construction as well as the operation of the tunnel:

- the implementation of the project management principles according to ISO 9001:2016 helps to achieve a high level of completed work and reduce risks associated with the design, implementation and operation of tunnels;
- the design of pilot boreholes from the tunnel heading face, which will allow for more detailed determination of the areas with the occurrence of

swelling ground and optimisation of the tunnel excavation procedure with adequate excavation classes;

- The use of the professional services of independent construction supervision, which will monitor in detail the work execution phase and solve crisis situations in order to reach an agreement between the project client and the contractor.

4. FIDIC CONTRACT CONDITIONS AND RISK MANAGEMENT

One of the key elements of contracts based on the FIDIC Terms and Conditions is the requirement for risk management. Individual parties should manage risks throughout the project life cycle.

Effective risk management according to the FIDIC Terms and Conditions involves several key steps, including:

1. Risks identification: This involves identification of all potential risks which may affect the project, such as weather conditions, labour shortages or material delays.
2. Risk assessment: After the risks are identified, they must be assessed to determine their probability and potential impact on the project.
3. Risk mediation: Individual parties must then develop strategies to mitigate the identified risks. This may include adapting the project schedule, adding funds for example from the reserve to the budget, or introducing safety measures.
4. Risk monitoring: Finally, individual parties must continue to monitor risks throughout the life cycle of the project and make adjustments as necessary.
5. Proprentner [5] recommends the following key points of the project management:
 - Creation of a geotechnical safety management plan, which comprises information on expected tunnel behaviour, a monitoring program, alert and warning levels and intervention measures.
 - Assessment and analyse of the monitoring data on a daily basis and comparison of the observed behaviour with the expected behaviour defined in the design.
 - Organising regular in-situ meetings to discuss results and defining appropriate measures if necessary.
 - Modifying the design and updating the geotechnical

5. Proprentner [5] odporúča nasledovné oporné body rizikového manažmentu projektov:
 - Vytvorenie plánu riadenia geotechnickej bezpečnosti, ktorý obsahuje informácie o očakávanom správaní tunela, programe monitorovania, výstražných a varovných hodnotách a zásahových opatreniach.
 - Vyhodnocovanie a analýza monitorovaných údajov na dennej báze a porovnávanie pozorovaného správania sa s očakávaným správaním definovaným v projekte.
 - Organizovanie pravidelných stretnutí na mieste s cieľom prediskutovať výsledky a v prípade potreby definovať vhodné opatrenia.
 - Úprava projektu a aktualizácia plánu riadenia geotechnickej bezpečnosti v prípade odchýlok v správaní sa systému alebo neočakávaných javov.
 - Realizácia dodatočného zaistenia horninového masívu, prác na predzaistení horninového masívu alebo špeciálnych koncepcií navrhovania v prípade nestability, zlyhania blokov, vysokého prítoku podzemnej vody alebo poruchových zón.

Významnú úlohu pri riadení projektu, vrátane jeho rizík, zohráva stavebný dozor. Stavebný dozor je špeciálny orgán určený investorm. Je kľúčovým „hráčom“ na stavbe počas realizácie prác a rozhodovacím orgánom medzi jednotlivými stranami, ktoré uzatvorili zmluvu podľa zmluvných podmienok FIDIC, červená alebo žltá kniha. Jeho ustanovením má investor zaručené, že sa práce budú vykonávať v plnom súlade so zmluvnými podmienkami. Stavebný dozor musí dôsledne monitorovať fázu realizácie prác. Robí tak pomocou kľúčových a neklúčových expertov, ktorých spravidla zabezpečuje externá obchodná spoločnosť, čím je garantovaná nezávislosť stavebného dozoru. Iba tak sa dá dosiahnuť, aby si zhotoviteľ, ale aj investor plnili dohodnuté záväzky [6].

Stavebný dozor je rozhodujúcim aktérom na stavbe najmä v etape vykonávania prác, pretože zabezpečuje, aby si zhotoviteľ plnil zmluvné podmienky, dodržiaval kvalitu prác, dohodnutý harmonogram a zmluvnú cenu. Stavebný dozor má na starosti riešenie krízových situácií, zohráva rozhodujúcu úlohu pri riadení rizík projektu a snaží sa dosiahnuť dohodu medzi investorom a zhotoviteľom. Monitoruje harmonogram výstavby a rozpočet projektu a vydáva platobné potvrdenia a preberací protokol stavby. Pred vydaním platobného potvrdenia musí stavebný dozor preskúmať kvalitu a množstvo vykonaných prác, musí sa tiež uistiť, že zhotoviteľ splnil všetky zmluvné požiadavky. Pred prevzatím diela (vydaním preberacieho protokolu) musí stavebný dozor vykonať dôkladnú kontrolu prác, aby sa uistil, že sú v súlade so zmluvnými podmienkami a že sú bez väd a nedorobkov. Preberací protokol je kľúčovým dokumentom, pretože znamená koniec povinností zhotoviteľa a začiatok lehoty na oznámenie väd, počas ktorej je zhotoviteľ zodpovedný za odstránenie väd.

Stavebný dozor je nezávislým a nestranným orgánom, ktorého široký rozsah pôsobnosti je definovaný v zmluvných podmienkach FIDIC. Podobne rozsiahle pôsobenie má aj hlavný inžinier stavby, ktorý je zamestnancom objednávateľa povereným vykonávaním denných úloh spojených s riadením projektu.

Stavebný dozor rozhodujúcim spôsobom prispieva k riadeniu rizík projektu tým, že zadáva úlohy, dôkladne preveruje ich plnenie a ponúka, či už technické alebo ekonomické riešenia na minimalizáciu rizík spojených s nesprávnym plnením zmluvy o dielo, ak je to potrebné. Stavebný dozor musí realizovať renomovaná firma prostredníctvom odborníkov, ktorí majú dostatočné skúsenosti a znalosti zmluvných podmienok FIDIC.

safety management plan in case of deviations in the system behaviour or unexpected phenomena.

- Implementation of additional stabilisation of ground mass, work on stabilisation of ground massif in advance or special designing concepts in case of instability, block failure, high groundwater inflow or fault zones.

An important role in the project management, including risks, is played by construction supervision. Construction supervision is a special body designated by the client. It is a key player on the construction site during the execution of the work and a decision-making body between the individual parties which entered into the contract according to the FIDIC Terms and Conditions, Red or Yellow books. By establishing it, the client is guaranteed that the work will be carried out in full compliance with contract conditions. Construction supervision must consistently monitor the work implementation phase. It does so with the help of key and non-key experts, who are usually provided by an external company, which guarantees the independence of construction supervision. This is the only way to ensure that both the contractor and the client fulfil the agreed obligations [6].

Construction supervision is a key actor on the construction site, mainly during the execution stage, because it ensures that the contractor fulfils the contract conditions, observes the quality of the work, the agreed schedule and the contract price. Construction supervision is in charge of solving crisis situations, plays a decisive role in project risk management and attempts to achieve an agreement between the client and the contractor. It monitors the construction schedule and project budget and issues payment receipts and construction acceptance protocols. Before issuing a payment certificate, the construction supervisor must review quality and amount of the work done, and must also make sure that the contractor has fulfilled all contractual requirements. Before taking over the work (issuing the acceptance protocol), the construction supervision must perform a thorough inspection of the works to ensure that they comply with contract conditions and that they are without outstanding works. The acceptance protocol is a key document, because it means the end of the contractor's obligations and the start of the defect notification period, during which the contractor is responsible for removing defects.

The construction supervision is an independent and impartial body, the wide extent of activities of which is defined in the FIDIC Terms and Conditions. The Chief Project Engineer, who is an employee of the client and is entrusted with the daily tasks associated with project management, has a similarly extensive role.

Construction supervision contributes to the project risk management in a decisive way. It assigns tasks, thoroughly checks their fulfilment and, if necessary, offers either technical or economic solution to minimise the risks associated with incorrect fulfilling of the work contract, if necessary. Construction supervision must be performed by a reputable company through experts who have sufficient experience and knowledge of FIDIC contract conditions.

As part of the context of the design, construction supervision tasks are also derived from TS021 Excavation Classes, part 1: Cyclic Excavation. It includes keeping records of geological and hydrogeological conditions in order to determine the necessary measures during tunnel excavation. The final determination of the construction and technical measures is carried out on the basis of all the knowledge obtained directly on the construction site, while it is unavoidable to ensure the safe and economical construction of

V rámci súvislostí projektu sa úlohy stavebného dozoru odvíjajú aj z TP021 Vystrojovacie triedy, časť 1: Cyklické razenie. To zahŕňa evidenciu geologických a hydrogeologických podmienok s cieľom určiť potrebné opatrenia pri razení. Konečné stanovenie stavebno-technických opatrení sa uskutočňuje na základe všetkých získaných poznatkov priamo na stavenisku, pričom je nevyhnutné zabezpečiť bezpečnú a hospodárnu výstavbu podzemného priestoru v každej fáze projektu. Riešenie sa prijíma po vzájomnej dohode zástupcov objednávateľa a zhotoviteľa. Súčasťou tímu objednávateľa je aj autorský dozor a súčasťou tímu zhotoviteľa je projektant DV.

5. ZÁVER

Na záver možno konštatovať, že prítomnosť napučievajúcich hornín v trase tunela Okruhliak, ako sú ílovce a slieňovce, predstavuje výzvu pre projektanta pred, ale najmä počas výstavby tunela, a to z pohľadu namáhania ostenia, ako aj z toho vyplývajúcich možných deformácií. Na presné určenie rozsahu a rozloženia napučievajúcich hornín po trase tunela je potrebné počas jeho razenia realizovať ďalší inžinierskogeologický prieskum pomocou metód, ako sú predvrty alebo geofyzikálny prieskum. Použitie zmluvných podmienok FIDIC, zásad riadenia kvality, služieb odborného dohľadu a stavebného dozoru, primeraného poistenia môžu byť účinné opatrenia na minimalizáciu rizík a sporov spojených s projektom. Celkovo možno konštatovať, že komplexné pochopenie inžinierskogeologických charakteristík a účinné stratégie riadenia rizík sú rozhodujúcimi faktormi pre úspešnú výstavbu tunela Okruhliak.

Dôležité ale vždy je, aby si investor uvedomil, že opis rizík diela uvedený v projektovej dokumentácii a v prieskumoch, ktoré sú súčasťou projektu, musí byť primeraný typu kontraktu. To znamená, že pri postupoch podľa zmluvných podmienok FIDIC žltá kniha musí mať zhotoviteľ oveľa podrobnejšie informácie o rizikách vstupe do horninového prostredia, pretože tieto riziká sú stále na strane investora a zhotoviteľ na základe týchto informácií dielo navrhuje. Technické predpisy pre projektovanie by mali zohľadňovať alokáciu rizík podľa typu kontraktu. Preto v slovenských podmienkach, kde už existuje definícia základnej geotechnickej správy (Geotechnical Baseline Report), sa javí výhodné použiť „Smaragdový FIDIC“, ktorý už s týmito kategóriami operuje. Treba si však uvedomiť, že zmluvné podmienky FIDIC nie sú samospasiteľné a vždy záleží na ich konkrétnej interpretácii.

*Ing. PETER PALOČKO, PhD., ppalocko@amberg.sk,
Dipl.-Ing. JURAJ ORTUTA, jortuta@amberg.sk,
Ing. JÁN BOLTVAN, jboltvan@amberg.sk,
Amberg Engineering Slovakia, s.r.o.*

Recenzovala *Reviewed: Ing. Viktória Chomová*

the underground space in every phase of the project. The solution is adopted after mutual agreement between the representatives of the client and the contractor. The author's supervision is also part of the client's team and, the detailed design is part of the contractor's team.

5. CONCLUSION

To conclude, it is possible to state that the presence of swelling ground on the route of the Okruhliak tunnel, such as claystone and marlstone, represents a challenge for the designer before, but especially during the tunnel construction, from the point of view of stress on the lining, as well as the resulting possible deformations. In order to accurately determine the extent and distribution of swelling ground on the tunnel route, it is necessary to carry out an additional engineering geological survey during the excavation using methods such as boring of pilot holes ahead of the excavation heading face or geophysical survey. The use of FIDIC terms, quality management principles, professional supervision services and consultant's services and adequate insurance can be effective measures to minimise risks and disputes associated with the project. In general, it can be stated that a comprehensive understanding of the engineering geological characteristics and an effective risk management strategy are decisive factors for the successful construction of the Okruhliak tunnel.

But it is always important for the client to realise that the description of the risks of work contained in the project documentation and in the survey reports that are part of the project must be adequate for the type of the contract. This means that, when proceeding according to the FIDIC Yellow Book, the contractor must have much more detailed information about the risks of entering the ground environment because these risks are still on the side of the client and the contractor designs the work based on this information. Technical regulations for designing should take into consideration the allocation of risks according to the type of contract. For that reason, in Slovak conditions, where a definition of basic geotechnical management already exists (Geotechnical Baseline Report), "Emerald FIDIC", which already operates with these categories seems advantageous to us. However, it is necessary to realise that contract terms and conditions are not self-saving and always depend of their specific interpretation.

*Ing. PETER PALOČKO, PhD., ppalocko@amberg.sk,
Dipl.-Ing. JURAJ ORTUTA, jortuta@amberg.sk,
Ing. JÁN BOLTVAN, jboltvan@amberg.sk,
Amberg Engineering Slovakia, s.r.o.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] ITA/AITES. (2004). *Guidelines for tunnelling risk management: International Tunnelling Association*. Working Group No. 2. (S. D. Eskesen, P. Tengborg, J. Kampmann, & T. H. Veicherts, Eds.). ITA Working Group 2.
- [2] ANTIGA, A., CHIORBOLI, M., DE LUCA, U. *The potential for use of the observational method in tunnel lumpsum contracts*. ITA – AITES World Tunnel Congress 2019, Proceedings.
- [3] CIUGUDEAN TOMA, V., VAJAEAC, C., ARIGONI, A., SAVIANI, S. S. *Necessary geological and geotechnical information for a metro project in an historical and urbanised city area*. The case of "Metro Bucharest, Line 4 Extension". ITA-AITES World Tunnel Congress 2019, Proceedings.
- [4] MATEJČEK, A. *Závěrečná správa. Rýchlostná cesta R4 Prešov-severný obchvat*. Variant krátkeho tunela Okruhliak, Geofos.
- [5] PROPENTER, M., LENZ, G. *Risk Management in Tunnelling – A Joint Approach of all Involved*. ITA-AITES World Tunnel Congress 2018, Proceedings.
- [6] Konsent home page, [on-line], <http://konsent.ro/>, 2019. (Webové stránky).