

Tunel Ejpvovice - zkušenosti z provádění geotechnického monitoringu

Tomáš Ebermann¹, Ondřej Hort¹, Pavel Vižďa¹, Vladimír Nosek²

Abstrakt

Tunel Ejpvovice byl ražen mechanizovaně v období leden 2015 - říjen 2017 (dva tubusy, každý 4,1 km délky, 9,8 m průměr). Příspěvek popisuje vybrané zajímavé zkušenosti a poznatky z provádění geotechnického monitoringu stavby.

Např. zkušenosti z geotechnického sledování ražeb - ražby probíhaly v rozdílných horninových prostředích vyznačujících se různými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi (objemová hmotnost, pevnost, abrazivita) - pod vysokým nadložím v prostředí pevných břidlic, pod nízkým nadložím v prostředí sedimentů a zvětralých hornin a pod vysokým nadložím ve velmi pevných skalních horninách a v prostředí tektonicky porušených hornin.

Součástí monitoringu byly i aplikace automatického monitorovacího systému pro sledování deformací nadloží a povrchu a portálových konstrukcí.

Klíčové slová

Ejpvovice, mechanizovaná ražba, geotechnický monitoring, automatický monitorovací systém

Abstract

Ejpvovice Tunnel was excavated using mechanized tunnelling method between January 2015 and October 2017 (two tubes, length of each 4,1 km, 9,8 m diameter). The paper describes some interesting results of the geotechnical monitoring.

E. g. excavation's geotechnical survey - excavation was carried out in very heterogeneous geological and geotechnical conditions (under high overburden in shales, than under low overburden in altered shales and soils and under high overburden in hard rocks).

An automatic system of monitoring deformations was used for ground deformations and excavation pits deformation survey.

Key words

Ejpvovice, mechanized tunnelling, geotechnical monitoring, automatic system of monitoring deformations

1 Úvod

Tunel Ejpvovice (dl. 2 x 4,1 km, průměr 9,8 m) byl ražen pomocí konvertibilního tunelovacího stroje TBM, umožňujícím ražbu v uzavřeném módu jako zeminový štít i v otevřeném módu v režimu hard rock.

V rámci geotechnického monitoringu byly prováděny především geotechnický sled ražeb, hydrogeologický monitoring, měření deformací nadloží a portálů tunelu (extenzometry a inklinometry) a povrchu.

Dále byly sledovány hloubené úseky stavby (deformace a kotevní síly), budovy a geofyzikálními metodami byla kontrolována homogenita nadloží tunelu.

Příspěvek seznamuje čtenáře s vybranými poznatky získanými během provádění geotechnického monitoringu stavby.

¹ GEOTest, a.s., Šmahova 1244/112, 627 00, Brno, ebermann@geotest.cz

² Angermeier Engineers, s.r.o., Pražská 810/16, 102 21 Praha 10, vladimir.nosek@angermeier.cz

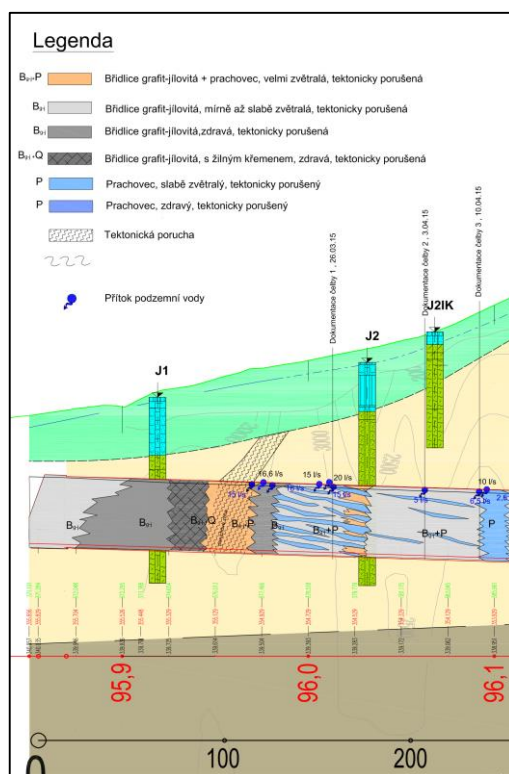
2 Geotechnický sled ražeb

Ražba probíhala ve složitých geotechnických podmínkách daných tektonicky porušeným geologickým prostředím s výskytem několika litologických typů hornin, rozdílných vlastností a rozdílného stupně zvětrání nebo tektonického porušení. V několika úsecích ražby byl zastižen silně zvodnělý masiv s výraznými přítoky podzemní vody na čelbu. Ražba probíhala místy mělce pod povrchem (výška nadloží méně než 1 průměr výrubu, dále jen D) bez skalního nadloží a křížila frekventované pozemní komunikace.

Po celou dobu ražeb byl minimálně jednou denně prováděn geologický rozbor odebrané rubaniny a stanovována objemová hmotnost metodou dvojího vážení úlomků hornin. Geotechnická dokumentace čelby byla prováděna nejčastěji při odstávkách ražby v přechodovém a otevřeném módu.

2.1 První úsek ražeb - vrch Homolka

Ražba začala na úpatí kopce Homolka. Prvních 250 m ražby byly geotechnické podmínky velmi nepříznivé. Horninové prostředí se skládalo z tektonicky porušených grafit jílovitých břidlic zastižených v různých stupních zvětrání (od mírně až po velmi zvětralé). Zároveň byly zastiženy polohy prachovců prostupující v tenkých vrstvách souvrstvím břidlic. Směr vrstevnatosti byl přibližně kolmý k ose tunelu a sklon vrstevních ploch byl u portálu změřen kolem 40°. Ve směru staničení se ale vrstvy sklápí, až do téměř subhorizontální pozice (sklon cca do 10°). V počátečním úseku byly výrazné přítoky podzemní vody (v místě tektonických poruch až 20 l/s), které v kombinaci s tektonicky porušenou horninou způsobovaly silně nestabilní výrub, ztěžující až znemožňující údržbu stroje. Podélný geotechnický řez úsekem prvních 250 m ražeb viz obrázek 1.



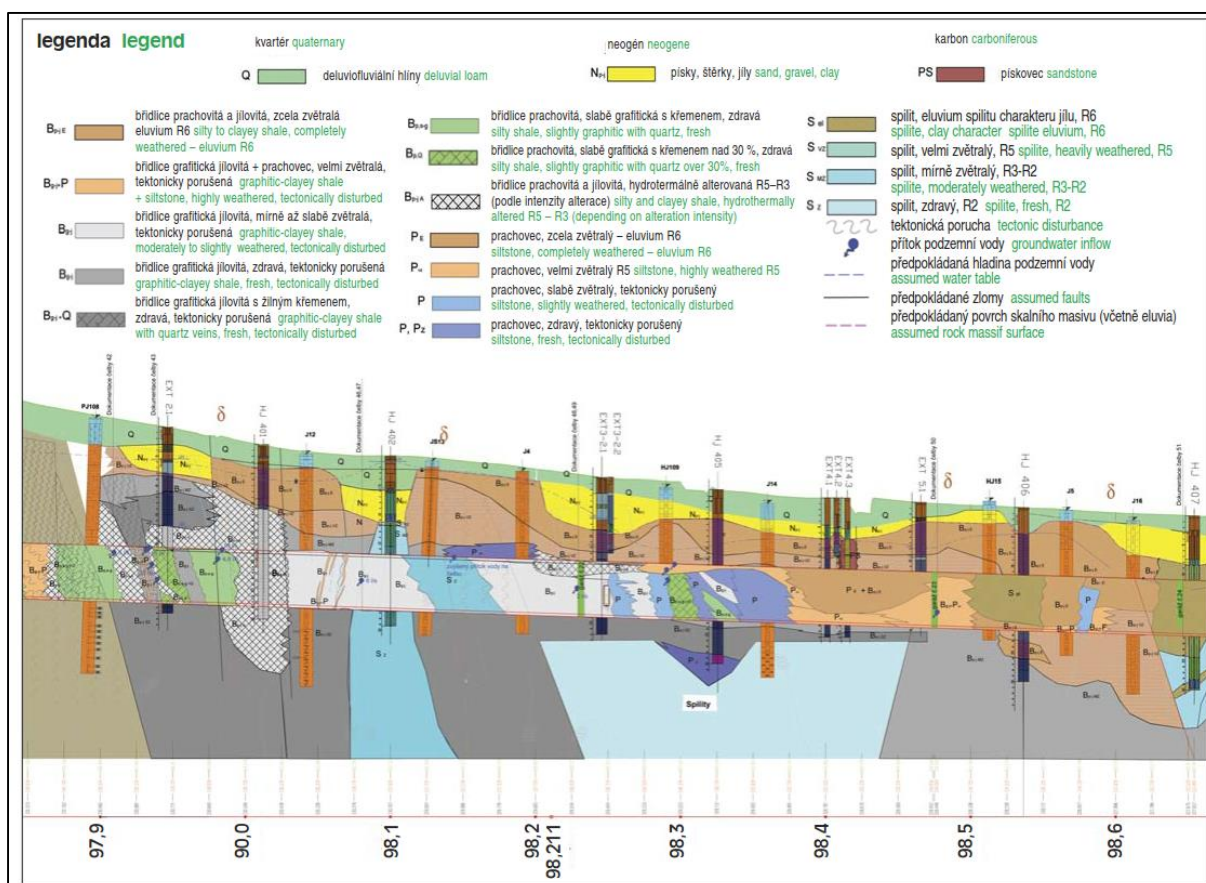
Obr. 1 Podélný geotechnický řez úsekem prvních 250 m ražeb

Zdroj: společnost GEOTest - Angermeier

S postupem ražby hlouběji do kopce Homolka, se geotechnické podmínky ražby celkově zlepšovaly. Zastižené horninové prostředí se skládalo z různých litologických typů břidlic a prachovců.

2.2 Druhý úsek ražeb - mezi vrchy Homolka a Chlum

Specifický úsek tunelové trasy byla oblast s tzv. nízkým nadložím, nacházející se mezi kopci Homolka a Chlum. Výška nadloží se v tomto úseku pohybuje v rozmezí 21,0 – 9,0 m (tj. 1 - 2 D) a trasu tunelu navíc křížují místní komunikace i frekventovaná silnice II. třídy č. 233. V tomto úseku byly při ražbě zastiženy velmi nepříznivé geotechnické podmínky s polohami litologicky proměnlivých typů břidlic, včetně břidlic hydrotermálně alterovaných s porézní strukturou. Přítoky podzemní vody byly změřeny až 28 l/s. Především v úseku na úpatí vrchu Homolka bylo horninové prostředí nestabilní a během ražby došlo ke vzniku anomálních deformací s projevy na povrchu. Ražba procházela polohami s dominantním podílem zvětralých hornin (prachovce, břidlice, spility) charakteru zemin (R6) až prostředí písčitých sedimentů (pisky, štěrky, zvětralé pískovce) s drobným podílem zvětralých břidlic a spilitů vystupujících ve spodní části výrubu tunelu. Podélný geotechnický řez částí úseku viz obrázek 2.



Obr. 2 Podélný geotechnický řez úsekem nízkého nadloží (část úseku)

Zdroj: společnost GEOTest - Angermeier

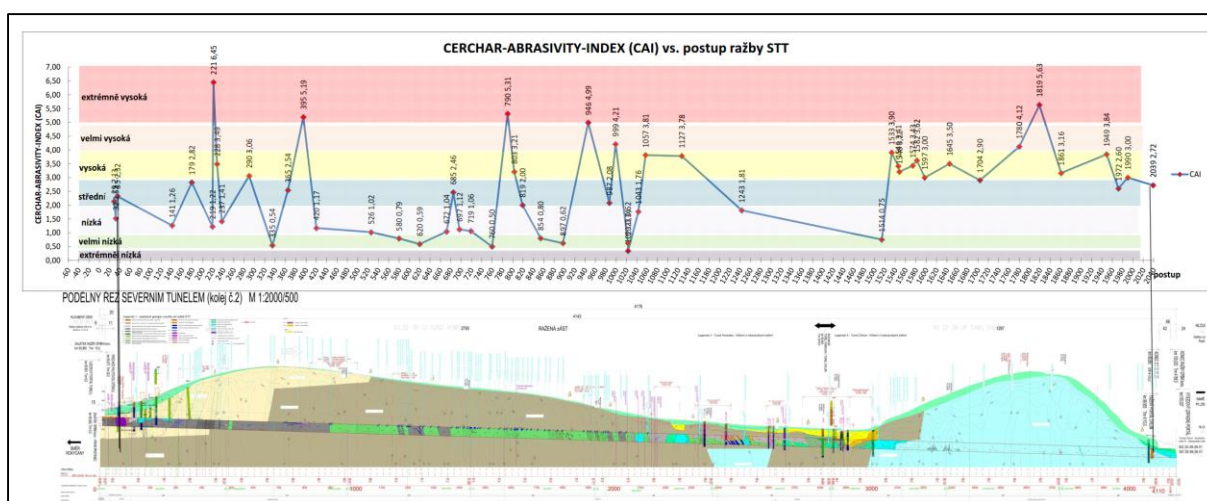
2.3 Třetí úsek ražeb - vrch Chlum

Pod vrchem Chlum probíhala ražba v prostředí zdravých a velice pevných šedozelených spilitů, pevnostní třídy R2 – R1 (laboratorně ověřená pevnost v prostém tlaku až 150 MPa). Přítoky podzemní vody se pohybovaly v řádu prvních l/min. Z některých odebraných vzorků

hornin byly v tomto úseku mikroskopicky určeny i vulkanické žilné horniny ze skupiny lamprofyrů (spessartit).

2.4 Abrazivita horninového prostředí

Abrazivita byla jednou z vlastností horninového prostředí, kterou geotechnický monitoring sledoval. Abrazivita horninového prostředí úzce souvisí s četností výměny řezných nástrojů razicího stroje. Abrazivita byla průběžně sledována zkouškami abrazivity v laboratoři modifikovaným přístrojem dle Cerchara [1.] (u modifikovaného přístroje se posouvá vzorek horniny, nikoliv zkušební hrot přístroje, jak je tomu u standardního Cercharova přístroje). Zjištěná abrazivita (index CAI) spilitů se pohybovala od abrazivity vysoké (CAI 3,0 - 3,9) až velmi vysoké (CAI 4,0 - 4,9). V břidlicích byla abrazivita nejčastěji nízká (CAI 1,0 - 1,9) až střední (CAI 2,0 - 2,9). Rozptyl naměřených hodnot abrazivity byl vysoký. Horniny nabohacené křemenem vykazovaly celkově vyšší abrazivitu s lokálně až extrémně vysokou abrazivitou (CAI > 5). Naopak břidlice nabohacené grafitem nebo porušené tektonikou vykazovaly lokálně velmi nízkou (CAI 0,5 - 0,9) až neměřitelnou abrazivitu. Hodnoty CAI v podélném řezu severním tunelem viz obrázek 3.



Obr. 3 Hodnoty CAI v podélném řezu severním tunelem

Zdroj: společnost GEOTest - Angermeier

3 Hydrogeologický monitoring

Hydrogeologický monitoring tvořil komplexní souhrn činností, zahrnující sledování hydrogeologických podmínek ražeb, kontrolu úrovní hladiny podzemní vody a její kvality v cca 145 hydrogeologických monitorovacích objektech (zdrojích vody) v okolí stavby (studny u místních obyvatel, pozorovací hydrogeologické vrty a zdroj vody pro průmyslový areál), měření průtoků místních vodotečí a sledování kvality vypouštěné vody ze stavby. Cílem hydrogeologického monitoringu bylo především kontrolovat, zda stavba hydrogeologické podmínky ve svém okolí ovlivnila a pokud ano, ovlivnění kvantifikovat.

Denně byly sledovány množství a kvalita vypouštěné vody ze stavby a kvalita vody ve vodárenském zdroji nedaleko stavby (zásobuje zmíněný průmyslový areál).

Měsíčně byly sledovány úrovně hladin v cca 145 zdrojích vody (studny a vrty) v okolí stavby (70 objektů bylo osazeno automatickým záznamovým zařízením, 15 objektů automatickým záznamovým zařízením s dálkovým přenosem dat a zbytek cca 60 objektů je měřeno manuálně) a dvakrát ročně se na polovině objektů kontrolovala kvalita vody.

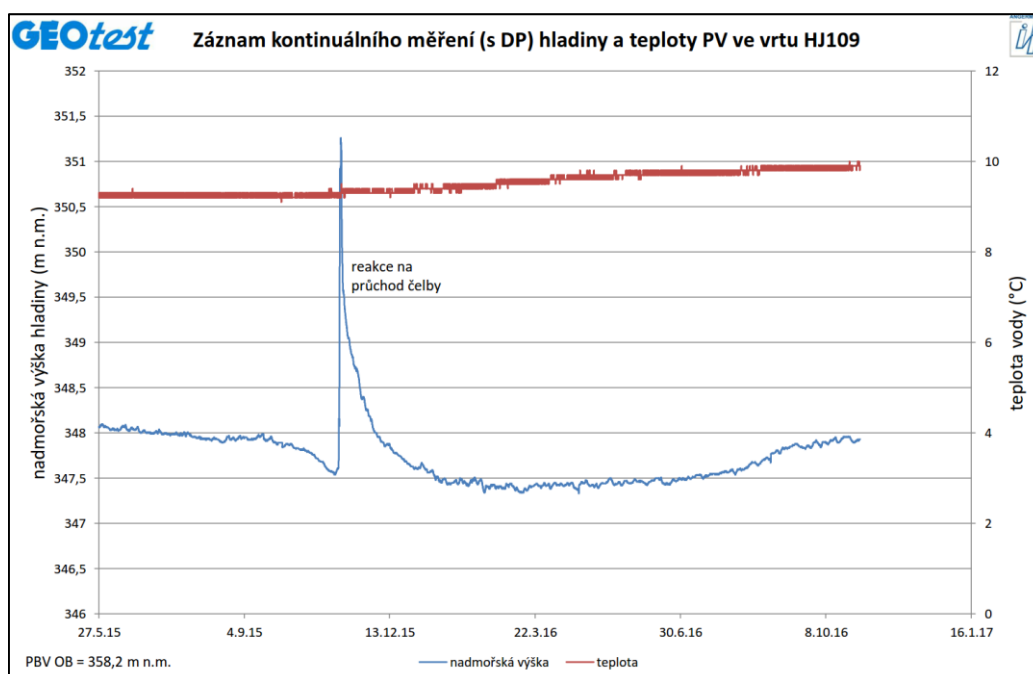
V neposlední řadě byly prověřovány stížnosti majitelů zdrojů vody na negativní ovlivnění jejich zdroje vody stavbou (část studní v okolí stavby je pro místní obyvatele jediným zdrojem

vody). Od začátku ražeb do doby psaní příspěvku bylo zaznamenáno asi 15 stížností. Dosud nebyla zjištěna příčinná souvislost mezi stavbou a změnou úrovně hladiny nebo kvality vody ve sledovaných hydrogeologických objektech.

Ze sledování hladin podzemní vody v hydrogeologických monitorovacích objektech (vrty a studny) bylo zjištěno, že objekty lze rozdělit podle reakce na srážky na 3 skupiny:

- objekty vázané na přípovrchovou vodu s okamžitou reakcí na srážky,
- objekty částečně vázané na přípovrchovou vodu s pozvolnou reakcí na srážky,
- objekty vázané na hluboký oběh podzemní vody bez zjevného ovlivnění srážkami.

Ze sledovaných objektů bylo asi 15 vrtů situovaných v těsné blízkosti tunelu. Vzhledem k malé vzdálenosti od tunelu se na některých vrtech, respektive na průběhu jejich hladin, rychle a jednoznačně projevil průchod čelby. Například na vrtu HJ109 (ve vzdálenosti 18 m od osy jižního tunelu), viz obrázek 4, je vidět, že hladina reagovala na přibližování se čelby stoupnutím hladiny až do nejvyšší hodnoty v době, kdy čelba byla vrtu nejbližší, následně klesala zpátky na zhruba původní úroveň hladiny.



Obr. 4 Změny hladiny podzemní vody ve vrtu HJ109

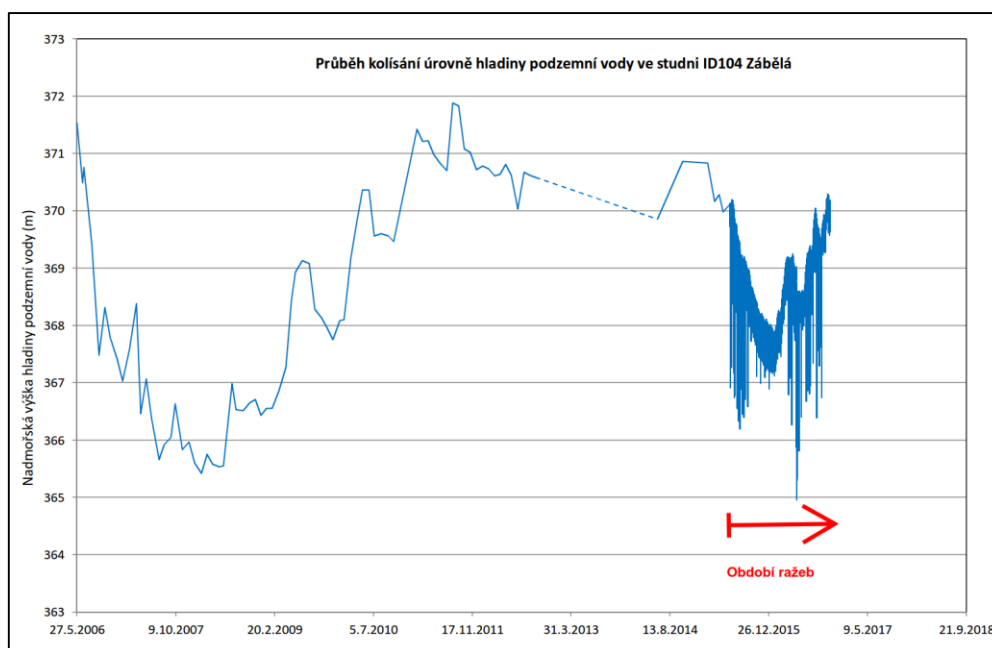
Zdroj: společnost GEOTest - Angermeier

Sledování některých vrtů/studní, bylo díky odborné péči investora, zahájeno několik let před zahájením stavby. Na těchto objektech lze pozorovat dlouhodobý režim hladiny podzemní vody, nezávislý na stavbě. Informace z těchto objektů poskytují cenná data pro posuzování stížností majitelů zdrojů vody. Příkladem je studna na obrázku 5.

4 Měření deformací povrchu terénu

Přestože byla prakticky celá trasa tunelu vedena v extravilánu a mechanizovaná ražba ovlivňuje své okolí minimálně, bylo měření deformací povrchu terénu v oblastech s malou výškou nadloží nezbytné.

Tyto úseky byly geodeticky sledovány tzv. 3D nivelačními body (v terénu stabilizované odrazné hranoly pro trigonometrické měření bez figuranta s nivelační latí) situovanými v osových a příčných profilech. Součástí profilů byly rovněž i zhlaví extenzometrů (s kontinuálním měřením a dálkovým přenosem dat).



Obr. 5 Změny hladiny podzemní vody v dlouhodobě sledované studni (od roku 2006)

Zdroj: společnost GEOTest - Angermeier

Z výše jmenovaných úseků byl ve třech případech nasazen automatický monitorovací systém pro sledování deformací:

- úvodní úsek ražeb severního tunelu dl. cca 100 m pod minimální výškou nadloží, vč. portálové stěny a startovacího rámu tunelovacího stroje,
- úsek ražeb severního tunelu v délce cca 1 km mezi vrchy Homolka a Chlum (pod minimální výškou nadloží),
- závěrečný úsek ražeb severního tunelu pod minimální výškou nadloží, vč. portálové stěny, do které se tunelovací stroj prorazil.

Měření deformací automatickým monitorovacím systémem zvýšilo bezpečnost ražeb, neboť poskytovalo zhotoviteli kontinuálně informace o deformační odezvě povrchu terénu na ražby a on mohl postup ražeb kontinuálně upravovat a optimalizovat.

V úseku ražeb délky cca 1 km mezi vrchy Homolka a Chlum bylo nasazení automatického monitorovacího systému realizováno v 5 dílčích úsecích. Na vytipovaných místech mimo poklesovou kotlinu byly vybudovány měřické betonové pilíře. Ty sloužily jako stanoviště, ze kterých byly měřeny vlastní sledované profily. Pilíře byly osazeny klecí s plnou střechou, která chránila systém před poškozením/odcizením a povětrnostními vlivy, které mají negativní vliv na kvalitu měření. Pro monitoring se nasadily dva totožné systémy sestávající z totální stanice a průmyslového počítače. Po dobu měření byly oba systémy buď nasazeny současně na dvou sousedních měřických pilířích tak, aby pokrývaly měřením oblast, pod kterou se aktuálně pohyboval ražební stroj, nebo byl v nasazení jeden systém, zatímco druhý byl přesouván na další měřický pilíř za účelem pokračování měření v souladu s postupem ražby.

Z důvodu nemožnosti napojit systémy na elektrickou síť bylo použito napájení z plně trakčních baterií dobíjených solárními panely – tzv. ostrovní systém. Průmyslové počítače byly přes modem se SIM kartou připojeny na internet a byl na nich umožněn vzdálený přístup. Z bezpečnostních důvodů byly klece vybaveny alarmem s pohybovými čidly a světly na detekci pohybu. Jedno ze stanovišť je znázorněno na obrázku 6.

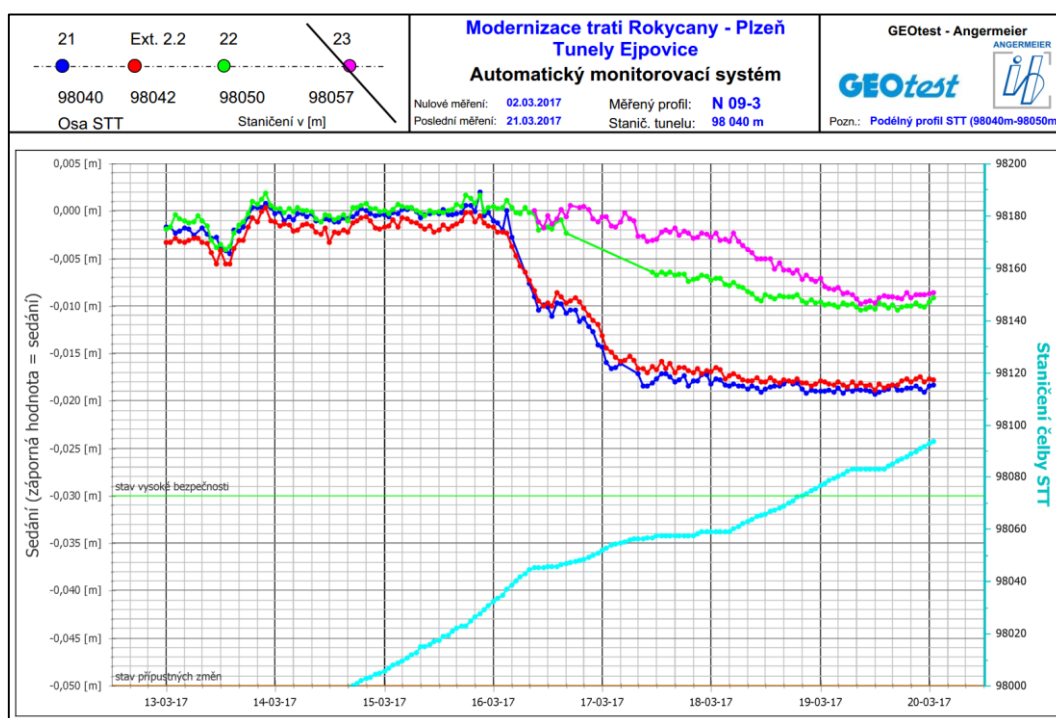
Monitorované body byly na povrchu umístěny v ose severního tunelu v rozestupu po cca 10 metrech. Kromě podélných osových profilů se také sledovaly inženýrské sítě, dopravní liniové stavby, objekty nadzemní zástavby a zhlaví extenzometrů.



Obr. 6 Stanoviště automatického monitorovacího systému
Zdroj: společnost GEOTest - Angermeier

Měření sledovaných profilů probíhalo na stanovištích každou hodinu v nepřetržitém provozu po dobu 2,5 měsíce (tj. po dobu, kdy razicí stroj procházel předmětným úsekem).

Deformace povrchu terénu dosáhly v úseku s minimální výškou nadloží mezi vrchy Homolka a Chlum hodnot 2 až 38 mm v závislosti na parametrech ražby a geotechnických podmínkách. Příklad výsledků měření deformací na profilu N-09-3 je uveden na obrázku 7.



Obr. 7 Výsledky měření deformací automatickým monitorovacím systémem
Zdroj: společnost GEOTest - Angermeier

5 Závěr

Stavba tunelu Ejpovice probíhala ve velmi složitých a nepříznivých geotechnických podmínkách. Ražby se podařilo zvládnout bezpečně bez závažných geotechnických problémů.

Při provádění geotechnického monitoringu se potvrdila nezbytnost použití automatických metod monitoringu při mechanizovaných ražbách.

Úspěšné zvládnutí ražeb bylo možné i díky bezvadné součinnosti všech účastníků výstavby.

Získané poznatky z ražeb a monitoringu ražeb jsou cenné zejména vzhledem k dalším připravovaným tunelovým projektům za použití technologie mechanizovaných ražeb.

Literatúra

- [1.] Alber, M. et al., ISRM Suggested Method for Determining the Abrasivity of Rock by the CERCHAR Abrasivity Test. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2013. Springer ISBN 0723-2632.
- [2.] Anděl, V., Hybský, P., Ivor, Š., Majer, M., Rössler, K. Tunel Ejpvovice u Plzně. Tunel, 2016, roč. 25, č. 2, s. 11 - 23.
- [3.] Ebermann, T., Hort, O., Hubinger, L., Oberhelová, J., Vižďa, P. Tunely Ejpvovice - geotechnický monitoring, Tunel, 2017, roč. 26, č. 1, s. 12 - 25.