



Sanace nestabilních náspů zemního tělesa v úseku Hájek – Dalovice

ZÁVĚREČNÁ ZPRÁVA PODROBNÉHO GT PRŮZKUMU
SO 02-10-02 SANACE ŽELEZNIČNÍHO SPODKU V KM 181,400 - 182,200

TEXTOVÁ ČÁST

31.1.2020



Obsah

Název úkolu a označení odpovídající etapy průzkumu	2
Cíle průzkumných prací.....	2
Identifikace objednatele a zhotovitele projektu průzkumných prací	2
Vymezení zájmové oblasti.....	3
Stručná charakteristika projektované stavby	3
Geomorfologické poměry.....	3
Geologické, inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry	4
Rozsah a metodika zpracování průzkumu	6
Popis stávajícího zemního tělesa.....	8
Výsledky terénních a laboratorních zkoušek	10
Zhodnocení výsledků průzkumných prací	16
Shrnutí poznatků a návrh řešení.....	18
Závěr	20

Název úkolu a označení odpovídající etapy průzkumu

- Název akce: „Sanace nestabilních násypů zemního tělesa v úseku Hájek – Dalovice
- V souladu s Požadavky objednatele na doplnění průzkumů a podkladů objednatele uvedených v čl. 6.1 VTP/P+R-F/02/19 předkládáme závěrečnou zprávu podrobného geotechnického průzkumu na SO 02-10-02 Sanace železničního spodku v km 181,400 - 182,200

Cíle průzkumných prací

U stavebního objektu SO 02-10-02 Sanace železničního spodku v km 181,400 - 182,200 byly průzkumné práce zaměřeny na:

- 1) zjištění potřebné úrovně odtěžení degradovaných zemin a optimální úrovně založení drenážní a konsolidační vrstvy nově budované části zemního tělesa na straně 2.TK (dostatečně únosné vrstvy podloží)
- 2) ověření charakteru zemin a sypanin vyskytujících se v násypovém tělese včetně jejich prostorového vymezení
- 3) ověření hydrogeologických podmínek (režimu proudění vod uvnitř i vně násypu a zářezu) včetně ověření vlastní funkčnosti odvodnění
- 4) zjištění hloubkové úrovně skalního podkladu v zářezu včetně místa přechodu na násep

Identifikace objednatele a zhotovitele projektu průzkumných prací

- Objednatel:

Správa železnic, státní organizace
Dlážděná 10037/7, 110 00 Praha 1 - Nové Město
IČO: 70 99 42 34, DIČ: CZ 70 99 42 34
Zastoupená Stavební správou západ, Sokolovská 278/1955, 190 00 Praha 9

- Zhotovitel průzkumných prací:

STRIX Inženýring, spol. s.r.o., sídlo 28. října 1081/19, 430 01 Chomutov
IČO: 25 43 53 96, DIČ: CZ 25 43 53 96

Odpovědný řešitel geologických prací: Mgr. Pavel Tichý

Vymezení zájmové oblasti

- Místo průzkumných prací:

Železniční trať: TU 0112 Chomutov – Cheb, traťový úsek DU 20 Hájek – Dalovice, kraj Karlovarský

Průzkumné práce probíhaly v úseku staničení km 181,400 (katastr obce Sadov) až km 182,200 (katastr obce Dalovice). Trať je od cca km 181,000 vedena do km 181,430 v zářezu výšky až 15,0m. Ze zářezu trať přechází ve vysoké násypové těleso a mostní konstrukci (ev. km 181,570), která překlenuje údolí Vitického potoku. V náspu je dále úsek trati do km 182,050 - 2. kolej a do km 182,200 - 1. kolej. Výška násypového tělesa se pohybuje v rozmezí od 18,0 do 2,0 m.

Stručná charakteristika projektované stavby

Hlavním cílem stavby je odstranění nevyhovujícího stavu zemního tělesa dráhy v úseku km 181,400 - 182,200, který byl způsoben dlouhodobým a opakujícím se propadem GPK, přičemž část náspu v km 181,700 – 181,800 musela být již kompletně opravena z důvodu totální ztráty stability.

Geomorfologické poměry

Z geomorfologického pohledu spadá zájmové území do Krušnohorské subprovincie (dříve Krušnohorská soustava), náležící do geomorfologické oblasti Podkrušnohorská oblast, potažmo jejího celku Sokolovská pánev a podcelku Chodovská pánev ležící na levém břehu Ohře. Pánevni charakter zájmové oblasti je poznamenán bývalou důlní činností. Po těžbě, zejména uhlí a kaolinu, ale i cihlářské hlíny a bentonitu, zde zůstaly desítky hektarů poklesových kotlin a zbytkových jam, částečně zvodnělých. Některé z nich jsou patrné v těsné blízkosti zájmového území.

Z hlediska regionálně-geologického je skalní podloží sedimentárního pokryvu budováno horninami karlovarského granitového plutonu. Pánevni výplň je tvořena sedimenty třetihorního stáří, převážně jílovitého a písčitého charakteru, doprovázených hnědouhelnou sedimentací vyvinutou ve dvou slojích. Obě byly do poloviny minulého století těženy v severní části dnešních Karlových Varů desítkami dolů a lomů. Za rozvojem těžby v tomto území stála zejména dostavba Buštěhradské dráhy v roce 1870.

Geologické, inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry

Sokolovskou pánev lze charakterizovat jako stupňovitý, oboustranný, příčně asymetrický příkop, protažený ve směru ZJZ – VSV. Hranice sokolovské pánve jsou všeobecně pojímány takto:

- na západě je sokolovská pánev oddělena od chebské pánve krystalinickým hřbetem Chlumu sv. Maří;
- na východě je oddělena od severočeské pánve terciérním vulkanickým pohořím Doupovské hory;
- jižní ohraničení tvoří ohárecký zlom vůči krystaliniku Slavkovského lesa a Tepelské plošiny
- a severní ohraničení tvoří krušnohorský zlom proti krystaliniku Krušných hor.

Podle významných příčných zlomů se rozděluje pánev na západní (sokolovskou) a východní (karlovarsko-otovickou pánev), s odlišným vývojem. Východní část pánve je budována žulami karlovarského masívu. Nad zkaolinizovanou žulou jsou dle stratigrafického dělení postupně uloženy tyto vrstvy:

- Starosedelské souvrství
- Slojové pásmo Josef
- Vulkanodetrické souvrství
- Slojové pásmo Anežka
- Meziloží (sestává z tufu, lupku a písku, mocnost 20 až 40m)
- Slojové pásmo Antonín miocenního stáří je na ložisku v západní části pánve vyvinuté ve dvou lávkách v celkové mocnosti 20 až 32 m, s hojnými proplástky
- Cyprisové souvrství (nejmladší terciérní jednotky, která ukončila sedimentaci pánve. Dosahuje mocnosti až 120 m a je tvořeno různě barevnými jíly s vyšším stupněm plasticity. Svrchní partie (do mocnosti 25m) se vyznačují zřetelnou vrstevnatostí
- Kvartérní sedimenty jsou převážně náplavy řeky Ohře a jejich přítoků. Jedná se zejména o písky a štěrky různého stupně vytřídění, v některých místech až jílovitých hlín

Z hydrogeologických poměrů je pro nejbližší okolí provozované dráhy důležitý, kromě povrchových vod, svrchní terciérní kolektor Cyprisového souvrství. Cyprisové souvrství je tvořeno jíly až jílovci, které bývají převážně ve svrchních partiích (cca do hloubky 30 m) silně rozpukány vertikálními puklinami a vrstevnatostí. Převážně v této přípovrchové zóně, kde jsou pukliny otevřeny, byly vytvořeny podmínky pro vznik lokálních i napjatých zvodní. Hlouběji (cca 100 m) jsou pukliny zcela sepnuté a stávají se nepropustné. Kromě puklin přírodních bývají často cyprisové jílovce porušeny vlivem minulé hlubinné těžby. Vznikají při ní zálomové pukliny, které jednak zvyšují propustnost a umožňují infiltraci a vsak vody do hlubších partií. K doplňování podzemních vod kolektoru cyprisového souvrství dochází tedy zejména přímou infiltrací z povrchu, dále napájením po zálomových puklinách a též po zlomových liniích. Napájení z bazálních kolektorů nebylo ojedinělými hydrogeologickými průzkumy prokázáno. Ve zvodnělých oblastech cyprisového nadložního souvrství docházelo k porušování stability vytvářeného svahu těžební technologií.

Koeficient transmisivity ve svrchní části cyprisového souvrství $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ s hloubkou narůstá na $5,7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ (průměry z dostupných podkladů). V cyprisovém souvrství jsou obvyklé vody typu Na – Mg – HCO_3 s mineralizací až $1,5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, mírně zásadité s $\text{pH} = 7,2 - 7,9$, o teplotě $9-13^\circ\text{C}$.

Celá oblast mezi obcemi Dalovice a Sadov je oblast s vlivem poddolování. V těsné blízkosti násypového tělesa byly historicky situovány tyto důlní díla:

- Důl Frisch Glück v Sadově, který ležel v místech současné betonárky společnosti Berger Bohemia
Otvírkové práce začaly na dole v roce 1889, důlní pole představovalo rozlohu $1,5 \text{ km}^2$, dvě jámy 32 a 70 m hluboké, těžba do sloje Antonín mocnosti 2 až 7m. V roce 1900 byla vybudována vlastní vlečka podcházející trať pod mostem ev. km 181,570 a navazovala na vedlejší trať Dalovice – Merklín. Těžařstvo bylo v roce 1924 zrušeno.
- Důl Josefi v Otovicích
Celý závod se nacházel nedaleko nádraží Dalovice při odbočce trati na Merklín, otvírkové práce začaly prohloubením jižní jámy až do svrchní sloje v roce 1877, důl těžil rozdvojenou sloj Antonín, mocnosti 1,5 až 3,8m (vrchní sloj), 3m (spodní sloj s meziložím 20 až 30m. Nadloží k povrchu mělo 50 až 100 m a bylo tvořeno ze šedých lupků s vklíněnými velmi mocnými vrstvami kuřavky. Důl uzavřen 1902

Z územně analytických podkladů (ORP Karlovy Vary 2016) vyplývá, že v katastru obce Dalovice se jižně od zájmové lokality nacházejí 2 chráněná ložisková území (2 ložiska titaničitého kaolinu - kaolin pro keramický průmysl a pro výrobu porcelánu, jejichž severní hranice kopíruje horní hranu zářezu trati v úseku cca km 181,200 až 181,300.

Rozsah a metodika zpracování průzkumu

V rámci průzkumných prací byly provedeny tyto práce:

Úsek I (km 181,415 - 181,548):

a) Kopané sondy

Z důvodu obtížně přístupného terénu byly kopané sondy v této části násypového tělesa provedeny jako ručně kopané. V koruně svahu byly na každé straně náspu provedeny vždy dvě sondy pod hlavami pražců do hloubky cca 3,0m pod TK. Sondy byly geologicky zdokumentovány a z jednotlivých vrstev byly odebrány laboratorní vzorky (poloporušené i neporušené) pro stanovení jejich základních fyzikálních a mechanických vlastností. V patě svahu pod 2.TK byly provedeny dvě strojně kopané sondy do hloubky cca 4,0m pod úroveň terénu. Sondy byly rovněž primárně zdokumentovány a byly z nich odebrány laboratorní vzorky.

b) Dynamické penetrační sondy

V km 181,495 bylo provedeno celkem 14 penetračních sond (na každé straně svahu po 7), přičemž jejich hloubka se pohybovala v rozmezí 6 až 15,0m. Sondy byly rozmístěny a uspořádány v příčném směru tak, aby bylo možné vyhotovit odpovídající příčný řez. Ve vyloučené koleji (1.TK) byly provedeny v ose další 3 dynamické penetrace až do hloubky 15,0m, s ohledem na celkovou výšku náspu. Celková délka provedených penetrací byla 174,7m.

c) Vrtné práce

Byl proveden jeden jádrový vrt z 1.TK do hloubky 8,0m. Po primární geologické dokumentaci jádra byly odebrány neporušené laboratorní vzorky na stanovení základních fyzikálních a mechanických vlastností.

d) Laboratorní práce

Celkem bylo na 18 vzorcích stanovena přirozená vlhkost a zrnitost, na 10 vzorcích mez plasticity a tekutosti a na 1 neporušeném vzorku byly stanoveny smykové parametry.

Úsek II (km 181,576 - 181,710)

a) Kopané sondy

Z důvodu obtížně přístupného terénu byly kopané sondy v této části násypového tělesa rovněž provedeny jako ručně kopané. V koruně svahu byla na každé straně náspu provedena vždy jedna sonda pod hlavami pražců do hloubky cca 4,0m pod TK. Sondy byly geologicky zdokumentovány a z jednotlivých vrstev byly odebrány laboratorní vzorky (poloporušené i neporušené) pro stanovení jejich základních fyzikálních a mechanických vlastností.

b) Dynamické penetrační sondy

V km 181,630 bylo provedeno celkem 12 penetračních sond (na každé straně svahu po 6), přičemž jejich hloubka se pohybovala v rozmezí 5,4 až 12,8m. Sondy byly rozmístěny a uspořádány v příčném směru tak, aby bylo možné vyhotovit odpovídající příčný řez. Kromě toho byla ještě provedena jedna sonda v km 181,615 v ose 1.TK do hloubky 13,2 m.

c) Vrtné práce

Byl proveden jeden jádrový vrt z 1.TK do hloubky 8,0m. Po primární geologické dokumentaci jádra byly odebrány neporušené laboratorní vzorky na stanovení základních fyzikálních a mechanických vlastností.

d) Laboratorní práce

Celkem bylo na 10 vzorcích stanovena přirozená vlhkost a zrnitost, na 2 vzorcích mez plasticity a tekutosti. Na 3 poloporušených vzorcích byla provedena zkouška Proctor Standard a zjištěny vrcholové efektivní smykové parametry. Kromě toho byla provedena zkouška namrzavosti.

Úsek III (km 181,800 - 182,200)

a) Kopané sondy

Z důvodu přístupného terénu byly kopané sondy v této části násypového tělesa provedeny strojně. V koruně svahu bylo na násypovém tělese pod hlavami pražců provedeno sedm strojně kopaných sond cca 4,0m pod TK. Sondy byly geologicky zdokumentovány a z jednotlivých vrstev byly odebrány reprezentativní laboratorní vzorky (poloporušené i neporušené) pro stanovení jejich základních fyzikálních a mechanických vlastností.

b) Dynamické penetrační sondy

V km 181,825 bylo provedeno celkem 5 penetračních sond (na každé straně svahu po 2 a jedna v ose vyloučené 1.TK), přičemž jejich hloubka se pohybovala v rozmezí 6,2 až 9,7m. V km 181,870 a km 181,940 bylo provedeno rovněž po 5ti penetračních sondách. Poslední penetrační sonda byla situována do osy vyloučené 1.TK na konci úseku v km 182,010. Sondy byly vždy rozmístěny a uspořádány v příčném směru tak, aby bylo možné vyhotovit odpovídající příčné řezy. Celková délka provedených penetrací byla v tomto úseku 155,7m.

c) Vrtné práce

Byl proveden jeden jádrový vrt z 1.TK do hloubky 8,0m. Po primární geologické dokumentaci jádra byly odebrány neporušené laboratorní vzorky na stanovení základních fyzikálních a mechanických vlastností.

d) Laboratorní práce

Celkem bylo na 13 vzorcích stanovena přirozená vlhkost a zrnitost, na 12 vzorcích mez plasticity a tekutosti, na 1 poloporušeném vzorku byla zjištěna stlačitelnost a provedena zkouška zhutnitelnosti Proctor Standard.

Popis stávajícího zemního tělesa

Úsek I (km 181,415 - 181,548):

Trať je od km 181,000 do km 181,430 vedena v zářezu, kde přechází ve vysoké násypové těleso a dále pokračuje na mostní konstrukci (ev. km 181,570), která překlenuje údolí Vitického potoku.

Již v roce 2018, krátce po obnovení přerušného provozu na trati (sesuv v km 181,7 až 181,8), byly na tomto úseku zjištěny pokračující poruchy GPK. Nejprve v září 2018 došlo k poruše GPK v obou přechodových oblastech mostu před a za (ev. km 181,570), posléze v červnu 2019 došlo k další náhlé poruše GPK v úseku zářezu cca km 181,300 až 181,400, který navazuje na popisovaný úsek. Z hlediska nivelety trať ve směru staničení klesá, přičemž v km 181,514 se sklon výrazně mění z 13,2‰ na 1,4‰. Směrové poměry jsou v zářezu charakterizovány pravostranným obloukem o $R=381\text{m}$, který končí v km 181,356, aby plynule navázal na přechodnici (KP = km 181,455) a přímou v km 181,543.

Z hlediska popisu stávajícího tělesa jsou tyto informace důležité, neboť veškeré vody (zejména zasáknuté srážkové), které se nashromáždí v zářezu, tak jím protékají, pokud to stavebně technický stav odvodňovacího systému umožňuje. Terénní rekognoskací a detailní prohlídkou trativodů ihned po dešti bylo zjištěno, že odvodňovací systém není v případě intenzivních srážek schopen rychle a účinně odvést vodu mimo zářez, kromě toho vody v trativodu jsou značně zakalené jemnými částicemi a po deštích je často profil trativodu aspoň z části zanesen vyplavenými sedimenty. V místě přechodu zářezu na násyp není zcela jednoznačné, kam vody ve skutečnosti odtékají. Trativodní systém je na obou stranách zářezu ukončen skružovými šachtami, odtok z nich však nebylo možné prověřit. Lze se tedy oprávněně domnívat, že v tomto místě dochází k nekontrolovatelnému zasakování vod, zejména v místech terénního úžlabí, které vytváří násypové těleso a přilehlý svah. V obou úžlabích jsou nashromážděny značné objemy kyprých zemin a sypanin, které se tam postupně „transportovaly“ z koruny násypu a které v současnosti tvoří přirozenou bariéru tolik potřebného odtoku vod ze zářezu. Kromě toho jsou svahy násypu v tomto místě evidentně porušeny plouživým sesouváním kyprých směsných materiálů (výzisk z čištění kolejového lože, škvára, popeloviny, štěrk kolejového lože atd.), které ho tvoří.

Z historických leteckých snímků můžeme odvozovat stav svahů např. v roce 1938. Svahy násypu v té době byly terasovitě upraveny min. ve třech úrovních a byly úplně bez vegetace. V letech následujících úplně mizí terasovitost a svahy jsou pokryté bujnou vegetací.

Při sondážních pracích byly nalezeny původní části přítěžovací lavice v patě svahu (pod 2.TK), která byla „schována“ pod více než 3,0m mocnou vrstvou škváry. Při penetračním sondování byly obdobné lavice zastiženy i na straně 1.TK, neboť v hloubkách tomu odpovídajících se výrazným způsobem zvýšil penetrační odpor, resp. sondování muselo být ukončeno.

Úsek II (km 181,576 - 181,710)

Tento úsek je charakterizován násypovým tělesem výšky 16m, přičemž ve směru staničení výška klesá až na 13m.

V km 181,598 dochází ke změně nivelety tratě a trať od tohoto místa stoupá. Směrově je většina úseku II. vedena v přímé, začátek přechodnicového oblouku je v km 181,698. Oblouk $R=418$ m začíná až za tímto úsekem, v km 181,788.

K poruše GPK v tomto úseku došlo ve stejném období jako v úseku I. (září 2018) a týkalo se „pouze“ přechodové oblasti mostu (ev. km 181,570). I na tomto úseku byly zjištěny projevy plouživého svahového porušování, přičemž příznaky v podobě ohnutých kmenů stromů byly viditelnější na straně 2.TK.

Kopané sondy v koruně svahu na straně 2.TK společně s výsledky laboratorních zkoušek potvrdily, že násep v této části je minimálně do hloubky 3,0 m pod TK tvořen přísypem ze zcela nevhodných materiálů charakteru škváry a popelovin. Jejich velice nízká objemová hmotnost a vysoká náchylnost k objemovým změnám v důsledku mrazu jejich další setrvání v pražcovém podloží vylučuje a v souladu se záměry projektu je doporučujeme v celé mocnosti odtěžit a nahradit.

V kopaných sondách v koruně svahu na straně 1.TK byly generelně zastiženy materiály s lepšími fyzikálně mechanickými vlastnostmi, bohužel s výskytem častých poloh zcela propustných materiálů uzavřených ve směru proudění či odtoku polohou jemnozrnných jílovitých či málo propustných zemin. Minimálně ve dvou sondách byly nalezeny jakési pozůstatky drenážních povrchových per, které mohly historicky sloužit k odvedení zasakujících vod mimo pražcové podloží. Obnova takovýchto drénů resp. jejich přesná lokalizace by však byla velice náročná či spíše nemožná. Proto i v tomto případě doporučujeme provést jejich kompletní odtěžení a nahrazení vhodnější sypaninou.

Úsek III (km 181,800 – 182,200)

Poslední z úseků je charakteristický výrazným snížením výšky násypového tělesa, které ke konci úseku téměř splývá s původním terénem.

Velice mírné stoupání nivelety tratě (1,1‰) končí v km 182,046, kde trať začíná téměř nezatelně klesat (0,5‰). Směrově je úsek veden levostranným obloukem o $R=418$ m, který končí ve staničení km 181,985. V konci přechodnice v km 182,176 začíná přímá, která pokračuje až do konce úseku.

Zastižené sypaniny násypového tělesa, zejména na straně 2.TK se vyznačují nízkou objemovou hmotností a kyprým stavem uložení. Jemnozrnné zeminy násypového tělesa, zejména na straně 1.TK se vyznačují vysokou mezí tekutosti a plastickým charakterem přetváření, což je pravděpodobně způsobeno jejich dlouhodobým sycením. Na pravé straně násypu je svah tvořen minimálně 3,0 mocnou vrstvou popelovin a červenohnědé škváry se zbytky cihel a vypálených zbytků z okolních areálů, ve kterých se zpracovávaly nerudné průmyslové suroviny. Materiály těchto přísypů, kromě již poznamenané nízké objemové hmotnosti, jsou velice objemově nestálé, zejména při změně vlhkosti.

Charakter zemin náspu pod 1.TK kolejí je rovněž obdobný předcházejícímu úseku. Ve větší míře jsou zde na povrchu náspu nasypány nevhodné antropogenní navážky charakteru výzisku a škváry. Na svahu pod sondou v km 181,825 byla v její polovině výšky zastižena „přítěžovací“ lavice zhotovená ze spálených uhelných zbytků, popelovin a černé škváry. Snižující se svah náspu pod 1.TK je rovněž často vyhledáván zvěří, která tam odpočívá. V km 181,900 byl v hustě porostlém křoví zvěří „vyhlouben“ terasovitý stupeň o výšce a šířce stupně 1,0m. Téměř kolmé stěny tohoto stupně byly tvořeny směsí jemnozrnné zeminy, šterku kolejového lože a výzisku ze strojního čištění.

Výsledky terénních a laboratorních zkoušek

Úsek I (km 181,415 - 181,548):

kolej	staničení	označení	hloubka	Druh zkoušek
1.TK	181,400	DP 125	3,2	
1.TK	181,435	KS 9	3,0	5 x index
1.TK	181,435	DP 126	15,0	
2.TK	181,450	KS 13	3,0	2 x index
1.TK	181,495	KS 8	4,0	3 x index
1.TK	181,495	DP 127-8 až DP 127-14	5,9 až 15,1	
2.TK	181,495	DP 127-1 až DP 127-7	6,6 až 15,1	
2.TK	181,495	KS 14	4,0	3 x index 1 x smyk
2.TK	181,510	KS 12	3,0	4 x index
2.TK	181,555	KS 15	2,0	2 x index

Označení sondy/vzorku	Staničení/kolej (km)	Hloubka odběru pod TK (m)	Přírozená vlhkost v_n	Mez tekutosti v_L	Mez plasticity v_P	Číslo plasticity I_P	Zatřídění dle ČSN 73 6133	Zatřídění dle ČSN EN ISO 14 688-2
KS 9.1	181,435/1.TK	2,0	18,9	56,8	38,6	18,3	S ₄ SM	grsaclS
KS 9.2	181,435/1.TK	2,0	8,4				G ₃ G-F	Gr
KS 9.3	181,435/1.TK	2,0	31,9	50,8	32,4	18,4	S ₄ SM	grsiSa
KS 9.4	181,435/1.TK	2,0	11,9	23,4	14,9	8,4	S ₅ SC	grclSa
KS 9.5	181,435/1.TK	2,0	10,8				G ₄ GM/G ₅ GC	sacIGr
KS 13.1	181,450/2.TK	3,0	20,2	41,8	24,7	17,1	F ₄ CS	grsaclS
KS 13.2	181,450/2.TK	2,0	33,7				G ₄ GM/G ₅ GC	sacIGr
KS 8.1	181,495/1.TK	3,0	9,6	35,2	22,4	12,8	G ₃ G-F	saGr
KS 8.2	181,495/1.TK	3,0	7,9				G ₃ G-F	saGr
KS 8.3	181,495/1.TK	2,5	38,7				S ₃ S-F	grSa
KS 14.1	181,495/2.TK	2,8	55,7	86,7	47,2	39,5	F ₃ MS	saCl
KS 14.5	181,495/2.TK	2,0	47,3	81,3	48,0	33,3	F ₇ MV	sasiCl
KS 14.6	181,495/2.TK	3,5	46,7	94,7	46,0	48,7	F ₁ MG	grsiCl
KS 12.1	181,510/2.TK	2,0	43,4	64,1	38,4	25,7	F ₁ MG	grCl
KS 12.2	181,510/2.TK	1,5	35,9				G ₄ GM/G ₅ GC	sacIGr
KS 12.3	181,510/2.TK	3,0	34,0	57,6	27,1	30,5	F ₄ CS	grsaclS
KS 12.4	181,510/2.TK	2,0	10,0				G ₃ G-F	saGr
KS 15.2	181,555/2.TK	1,5	3,9				S ₂ SP	grSa

Úsek II (km 181,576 - 181,710)

kolej	staničení	označení	hloubka	Druh zkoušek
1.TK	181,615	DP 128	13,2	
1.TK	181,615	KS 10	4,0	2 x index
1.TK	181,630	DP 128-7 až DP 128-12	5,4 až 12,2	
2.TK	181,630	KS 11	3,0	5 x index 3 x PS 1 x smyk 1 x namrzavost
2.TK	181,630	DP 128-1 až DP 128-6	6,8 až 12,8	

Označení sondy/vzorku	Staničení/kolej (km)	Hloubka odběru pod TK (m)	Přírozená vlhkost v_n	Mez tekutosti v_L	Mez plasticity v_P	Číslo plasticity I_P	Zatřídění dle ČSN 73 6133	Zatřídění dle ČSN EN ISO 14 688-2
KS 10.1	181,615/1.TK	3,0	41,7	54,7	36,8	17,9	F ₃ MS	sasiCl
KS 10.2	181,615/1.TK	3,0	22,7	55,0	32,0	23,1	S ₄ SM	grsiSa
KS 11.1	181,630/2.TK	2,0	33,6				G ₃ G-F	saGr
KS 11.1	181,630/2.TK	2,0	33,5				G ₃ G-F	saGr
KS 11.2	181,630/2.TK	2,0	36,3				S ₄ SM/S ₅ SC	grclSa
KS 11.2	181,630/2.TK	2,0	36,3				G ₃ G-F	saGr
KS 11.3	181,630/2.TK	2,0					S ₄ SM/S ₅ SC	grsacIS
KS 11.3	181,630/2.TK	2,0	35,4				G ₃ G-F	saGr
KS 11.4	181,630/2.TK	2,0	36,8				S ₄ SM/S ₅ SC	grsiSa
KS 11.4	181,630/2.TK	2,0	35,7				S ₄ SM/S ₅ SC	grsacIS

Úsek III (km 181,800 - 182,200)

kolej	staničení	označení	hloubka	Druh zkoušek
1.TK	181,825	KS 7	3,0	4 x index
1.TK	181,825	DP 129	9,7	
1.TK	181,825	DP 129-4 až DP 129-6	6,2 až 8,2	
2.TK	181,825	DP 129-1 až DP 129-3	7,7 až 9,6	
1.TK	181,870	KS 6	3,0	3 x index
2.TK	181,870	KS 3	4,0	1 x index
1.TK	181,870	DP 130	8,3	
1.TK	181,870	DP 130-4 až DP 130-6	4,8 až 6,9	
2.TK	181,870	DP 130-1 až DP 130-3	6,8 až 8,0	
1.TK	181,940	KS 5	3,0	1 x index
2.TK	181,940	KS 2	4,0	1 x index
1.TK	181,940	DP 131	8,4	
1.TK	181,940	DP 131-5 až DP 131-7	2,3 až 9,1	
2.TK	181,940	DP 130-2 až DP 130-4	4,8 až 6,8	
1.TK	182,010	KS 4	3,0	2 x index 1 x stlačitelnost 1 x PS
2.TK	182,010	KS 1	4,0	1 x index
1.TK	182,010	DP 132	6,5	

Označení sondy/vzorku	Staničení/kolej (km)	Hloubka odběru pod TK (m)	Přirozená vlhkost v_n	Mez tekutosti v_L	Mez plasticity v_P	Číslo plasticity I_P	Zatřídění dle ČSN 73 6133	Zatřídění dle ČSN EN ISO 14 688-2
KS 7.1	181,825/1.TK	3,0	26,3	46,4	23,2	23,2	F4 CS	saCl
KS 7.2	181,825/1.TK	3,0	17,8	45,5	30,1	15,4	F1 MG	sagrclS
KS 7.3	181,825/1.TK	2,0	8,7				G3 G-F	saGr
KS 7.4	181,825/1.TK	2,0	27,8	43,9	24,2	19,6	F4 CS	saCl
KS 6.1	181,870/1.TK	2,0	19,3	63,9	34,7	29,2	F1 MG	sagrCl
KS 6.2	181,870/1.TK	2,0	26,0	48,8	23,7	25,1	F6 CL	saCl
KS 6.3	181,870/1.TK	3,0	31,4	59,2	28,3	30,8	F8 CH	saCl
KS 3.1	181,870/2.TK	2,0	23,4	43,1	24,5	18,6	F4 CS	sasiCl
KS 5.1	181,940/1.TK	2,0	25,4	44,4	21,4	23,0	F6 CL	saCl
KS 2.1	181,940/2.TK	3,0	45,8	61,1	42,1	19,0	F3 MS	sasiCl
KS 4.1	182,010/1.TK	3,0	35,6	77,1	34,8	42,4	F8 CV	saCl
KS 4.2	182,010/1.TK	3,0	33,5	72,5	34,4	38,1	F7 MV	saCl
KS 4.3	182,010/1.TK	3,0	33,5	74,3	31,0	43,3	F8 CV	saCl
KS 1.1	182,010/2.TK	2,5	32,0				S3 S-F	grSa

Zhodnocení výsledků průzkumných prací

U stavebního objektu SO 02-10-02 Sanace železničního spodku v km 181,400 - 182,200 byly průzkumné práce zaměřeny na:

- 1) zjištění potřebné úrovně odtěžení degradovaných zemin a optimální úrovně založení drenážní a konsolidační vrstvy nově budované části zemního tělesa na straně 2.TK (dostatečně únosné vrstvy podloží)
- 2) ověření charakteru zemin a sypanin vyskytujících se v násypovém tělese včetně jejich prostorového vymezení
- 3) ověření hydrogeologických podmínek (režimu proudění vod uvnitř i vně násypu a zářezu) včetně ověření vlastní funkčnosti odvodnění
- 4) zjištění hloubkové úrovně skalního podkladu v zářezu včetně místa přechodu na násyp

Zhodnocení je provedeno pro jednotlivé úseky

Úsek I (km 181,415 - 181,548):

Při prvním pohledu na laboratorní výsledky zastižených zemin v horní úrovni násypu (do 3,5m od TK) by se mohlo zdát, že jejich v převážné míře písčité či štěrkovitý charakter (11 ze 14 vzorků) nesignalizuje nic, co by bylo v rozporu s jejich použitím jako zemin vhodných do násypových těles. Při detailnějším zkoumání je však patrné, že významným činitelem ovlivňující jejich chování je plasticita, resp. podíl jemnozrnných částic a jejich přirozená vlhkost a v neposlední míře i jejich samotné plošné rozložení pod 1. a 2. TK.

V části úseku, kde zářez přechází v násyp (charakterizován sondou KS 9 v km 181,435) byly u dvou ze tří vzorků zemin odebraných z pod 1.TK překročeny hodnoty meze tekutosti (bez zvláštních předchozích úprav nesmějí být do zemního tělesa použity zeminy s mezí tekutosti $w_L > 50 \%$). Zeminy zastižené pod 2.TK jsou zeminy smíšené (štěrkovité a jemnozrnné) s výrazně rozdílnou propustností. U dvou vzorků jemnozrnných zemin ze tří odebraných z pod 2.TK byly zjištěny vysoké hodnoty přirozené vlhkosti (34,0 a 43,4%), přičemž u nich byla překročena i povolená max. hodnota meze tekutosti.

V tomto úseku byly ověřeny i fyzikální a mechanické vlastnosti zemin vyskytujících se v patě násypu. Všechny tři vzorky (ze sondy KS 14) ukazují na jílovité zeminy s vysokou mezí tekutosti v rozmezí 81,3 až 94,7% a s vysokou přirozenou vlhkostí (v rozmezí 46,7 až 55,7%). Efektivní parametry smykové pevnosti pro obor napětí 50 až 400 kPa jsou charakterizovány vrcholovými hodnotami $\phi' = 17^\circ$ a $c' = 30$ kPa.

Úsek II (km 181,576 - 181,710)

Zeminy zastižené pod 1.TK v tomto úseku charakterizujeme na základě laboratorních výsledků jako zeminy smíšené (charakteru písčitého a jílovitého). Oba vzorky (ze sondy KS 10) nevyhovují požadavku na max. hodnotu meze tekutosti (54,7 a 55,0%), hodnota přirozené vlhkosti vzorku písčitého jílu byla značně vysoká (41,7%).

Laboratorní zkoušky na zeminách charakteru škváry z pod 2.TK dokladují jejich velice nízkou maximální objemovou hmotnost (v rozmezí 830 až 862 kg.m⁻³!!!) (bez zvláštních předchozích úprav nesmějí být do zemního tělesa použity zeminy s maximální objemovou hmotností suché zeminy, stanovenou podle ČSN EN 13286-2 nebo ČSN 72 1018, menší než 1500 kg.m⁻³). Zastižené zeminy i přes velice dobré efektivní parametry smykové pevnosti pro obor napětí 50 až 400 kPa (charakterizovány vrcholovými hodnotami $\phi' = 40^\circ$ a $c' = 30$ kPa) jsou velice namrzavé, což při přirozené vlhkosti v rozmezí 33,5 až 36,8% z nich dělá zeminy zcela nevhodné pro použití do zemního tělesa.

Úsek III (km 181,800 - 182,200)

Poslední úsek charakterizují zeminy jemnozrnné (12 ze 14 odebraných vzorků). Jako takové v šesti případech zcela nevyhovují požadavkům na max. hodnotu meze tekutosti (v rozmezí 59,2 až 77,1) a v sedmi případech jejich hodnota přirozené vlhkosti překročila mez plasticity.

Ve všech 12 případech se jedná o zeminy podmíněčně vhodné k přímému použití do náspu bez úpravy, resp. ve čtyřech případech jako zeminy zcela nevhodné k přímému použití do náspu.

Z výsledků stlačitelnosti vyplývají velice nízké přetvárné charakteristiky, v oboru napětí 50 až 400 kPa se hodnoty edometrického modulu pohybují v rozmezí 4,6 až 7,6 MPa.

Shrnutí poznatků a návrh řešení

Jak je patrné z předložených, okomentovaných a zhodnocených výsledků průzkumných prací a rešerše doposud provedených průzkumů, zemní těleso v zájmovém území bylo dlouhodobě vystaveno těmto negativním jevům:

1) Trvalá saturace

Zeminy násypového tělesa byly vystaveny dlouhodobým účinkům trvalého sycení bez možnosti jejich přirozeného odtoku. K tomuto fenoménu docházelo zejména přímou saturací vod vytékajících ze zářezu z důvodu jednotného sklonu nivelety tratě, z důvodu výskytu směsných zemin v tělese náspu s rozdílnou propustností (navíc prostorově ohraničených) a nedostatečnou schopností pláně tělesa železničního spodku rychle odvést přitékající či zasakující vody a dále z důvodu výskytu zcela nevhodných zemin (škváry a popelovin) zejména na straně 2.TK. Přirozený odtok vod byl mimo jiné ztížen či zcela znemožněn nefunkčností podélných odvodnění v patě náspu, neboť svahy, patní drény či jakékoliv drenážní žebra (pokud se na svazích či v tělese samotném vyskytovala) byly překryty značnými (až 3,0 m mocnými) antropogenními navážkami

2) Rozdílné deformační chování pražcového podloží na straně 1. a 2.TK

V průběhu času a přibývajícím věku konstrukce náspu, který byl v 90. letech 19. století rozšířen přísypem na dvoukolejnou trať se nepodařilo při všech proběhlých investičních akcích a opravných pracích na přelomu 20. a 21. století sjednotit deformační chování pražcového podloží, zejména na kontaktu resp. styku historického přísypu pod 2.TK a původním náspem pod 1.TK. a zamezit či aspoň eliminovat vhodnou sanací rozvoj trvalých a nevratných změn v tělese samotném. Tento styk či pracovní spára jako výrazný liniový prvek napojení dvou částí náspu vedl ale neodvážně zasakující či přitékající vodu a byl jedním z důvodů kolapsu části náspu v km 181,7 až 181,8 v roce 2018.

3) Nedostatečná údržba a vliv antropogenní činnosti člověka

O negativním vlivu přitěžování násypových těles výziskem ze strojního čištění není nutné se dále rozepisovat. Na zhoršujícím se stavu funkčnosti historického díla se v dlouhodobém měřítku podepsala nedostatečná údržba odvodňovacích prvků dráhy, které byly zcela či z části překryty navážkami charakteru výzisku, škváry či popelovin nebo byly nějakým způsobem narušeny. Jak je z historických leteckých snímků patrné, podélné odvodnění v patě svahu na straně 2.TK bylo způsobeno terénními úpravami přilehlého průmyslového areálu, zejména recyklačního dvoru, kdy došlo k přerušení odtoku vod drážního tělesa v patě svahu do vodoteče Vitického potoku. Na leteckých snímcích z předválečné doby je celé násypové těleso téměř bez vegetace resp. vzrostlých stromů, s viditelnými odskoky a/nebo přitěžovacími lavicemi, jako součást původních stabilitních opatření. Tyto důležité prvky byly v průběhu času zcela nenávratně ztraceny.

Jak je patrné z dosavadních výsledků monitoringu sanovaného havarovaného úseku v km 181,7 až 181,8, způsob návrhu a provedení kompletní opravy byl zvolen správně. Nejdůležitějším prvkem sanace byl konsolidační patní drén provedený společně s podélným odvodněním paty svahu, dále zachování historické hodnoty ale zejména funkčnosti a přirozené vlhkosti jádra náspu tvořeného vysoceplastickými jíly překrytého geomembránou a vlastní vyztužená konstrukce spojující obě části náspu do jednoho celku, navíc zajištěná lícovými prvky.

Stavební objekt SO 02-10-02 Sanace železničního spodku v km 181,400 - 182,200, který má být součástí stavby „Sanace nestabilních náspů zemního tělesa v úseku Hájek – Dalovice“, doporučujeme proto provést ve stejném duchu, jako byla provedena sanace havarovaného úseku v km 181,7 až 181,8, tj. vybudovat vyztuženou konstrukci, která propojí obě historické části náspu a která bude založena v odvodněné patě svahu pod 2.TK na konsolidačním polštáři.

Jako důležitou součást finálního řešení sanace železničního spodku považujeme obnovu respektive napojení vyústění odvodňovacích prvků (trativodů) v zářezu na systém patního odvodnění vlastního náspu s odtokem vod do vodoteče Vitického potoku. Upozorňujeme, že konsolidační drén musí být navržen tak, aby byl schopen zajistit stabilizační funkci i v případě krátkodobého zatopení či rozvodnění Vitického potoku.

Závěr

Předložená závěrečná zpráva shrnuje poznatky z provedených laboratorních a polních prací, které byly provedeny za účelem dopracování projektové dokumentace tak, aby technický návrh stavby umožňoval co nejkratší dobu výstavby (použité materiály, stavební postupy, strojní vybavení, prefabrikace).

Oproti zadání se nepodařilo provést požadovaných 6ks jádrových vrtů, neboť v době zahájení průzkumných prací došlo vlivem pokračujících deformací na traťovém úseku mimo staveniště (v km 178,860 až 178,940) k trvalému vyloučení provozu na 1.TK. Proto po dohodě s objednatelem bylo ustoupeno od zhotovení jádrových vrtů v pojižděné 2.TK a vrtné práce byly organizovány pouze z vyloučené 1.TK.

Oproti zadání byl však významným způsobem rozšířen počet dynamických penetrací a kopaných sond včetně výrazně vyššího počtu odebraných poloporušených a neporušených vzorků.

V rámci SO 02-10-02 Sanace železničního spodku v km 181,400 - 182,200 bylo provedeno na celém úseku stavby celkem 50 dynamických penetrací v celkové délce 446,2m, dále bylo provedeno 15 kopaných sond, ze kterých bylo odebráno 42 vzorků ke stanovení fyzikálních a mechanických vlastností a byly provedeny 3 jádrové vrty v celkové délce 24,0m.

Průzkumné práce musely být z důvodu již uvedených (trvalé vyloučení provozu na 1.TK) v rychlosti přeorganizovány a tak geofyzikální etapa, jehož součástí je seismické měření se v současnosti připravuje a bude před finalizací projektové dokumentace dohotovena.

Celkově lze výsledky průzkumných prací považovat za úspěšné, neboť se podařilo identifikovat několik skrytých konstrukcí, o kterých před zahájením prací nebyl dostatek informací. Rovněž se podařilo upřesnit hydrogeologické podmínky stavby a ověřit směr proudění vod v tělese i mimo tělesa, včetně plošného vymezení zemin a sypanin v tělese náspu.

Z pohledu zastižených zemin je úsek v km 181,415 - 181,548 pod 1.TK tvořen štěrkovitými a písčitými zeminami, které vykazují relativně dobré mechanické vlastnosti. Naproti tomu část náspu pod 2.TK je tvořena směsí jemnozrnných a štěrkovitých zemin, které jsou z pohledu propustnosti zcela odlišné. Svahy náspu jsou na obou stranách pokryty antropogenními materiály charakteru škváry, výzisku a popelovin, přičemž jejich mocnost pod 2.TK v km 181,550 dosahovala úctyhodných 3,0m. Pod touto vrstvou byla nalezena v patě svahu původní přítěžovací kamenná lavice šířky cca 4,0m a výšky cca 2,0m. Na kontaktu náspu a začínajícího zářezu (v úžlabí) byly na obou stranách dokumentovány projevy plouživého svahového sesouvání, přičemž sesouvaná hmoty byl převážně tvořeny škvárou a štěrkem kolejového lože. Z pohledu hydrogeologického většina protékajících vod z odvodňovacího trativodního systému zářezu zasakovala v úžlabí, což snižovalo už tak limitní stabilitu přiléhajících svahů.

V úseku km 181,576 - 181,710 byly pod 1.TK zastiženy smíšené zeminy písčitého a jílovitého charakteru, pod 2.TK a přilehlým svahem byla zdokumentována až 2,0m mocná vrstva škváry, popelovin a výzisku, jejichž fyzikální a mechanické vlastnosti neodpovídají minimálním požadavkům na zeminy určené ke stavbě náspů, respektive jsou zcela pro ně nevhodné. Na obou svazích byly rovněž zaznamenány projevy plouživého svahového sesouvání.

Úsek v km 181,800 až 182,200 je relativně nejnižší (z pohledu výšky) část násypového tělesa. Bohužel je však téměř beze zbytku tvořena nevhodnými jílovitými zeminami s vysokou plasticitou a vysokou přirozenou vlhkostí. Kromě toho jsou oba svahy pokryté antropogenními návěskami charakteru škváry a popelovin. V provedených kopaných sondách bylo zjištěno nepravidelné zasakování vod do tělesa náspu, což může signalizovat jejich nedostatečnou schopnost odvést zasakující vody mimo těleso.

Co se týče rozsahu odtěžení, nepřinesly průzkumné práce žádné podstatné nové informace. Průzkumnými pracemi byla ověřena předpokládaná stavba násypového tělesa, která odpovídá skladbě násypu z úseku sanace havárie v km 181,7 až 181,8. Lokální odchylky bude nutné vyřešit v rámci zemních prací.

Za podstatné však považujeme nutnost vybudování takového dočasného opatření týkající se odvodnění staveniště, aby vody vytékající z odvodňovacího trativodní systému zářezu délky 400m, nezaplavily v žádném momentě vlastní základovou spáru konsolidačního drénu na straně 2.TK, případně neohrozily stabilitu vzniklých pracovních odřezů či lavic. Upozorňujeme rovněž na fakt, že úroveň hladiny podzemní vody v patě násypu respektive v podloží je hydraulicky napojena na hladinu Vitického potoka a že do potoka jsou sváděny vody z přilehlých průmyslových areálů. Častým jevem proto bývá zvýšená hladina vod ve vodoteči a vyšší průtočné množství.