

**INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝ PRŮZKUM
TRATI V ÚSEKU
KARLOVY VARY - CHODOV**

květen 2022

2022-050

Výtisk č.:

Objednatel: **Správa železnic, státní organizace**
Dlážděná 1003/7
110 00 Praha 1 – Nové Město
Organizační složka Oblastní ředitelství Ústí nad Labem
Železničářská 1389/31
400 03 Ústí nad labem

Zhotovitel: **GeoTec-GS, a.s.**
Chmelová 2920/6
106 00 Praha 10

Název zakázky zhotovitele: Karlovy Vary – Chodov, násep, IGP

Zakázkové číslo
zhotovitele: 2022-050

Úkol / název úkolu: **Inženýrskogeologický průzkum trati v úseku Karlovy Vary - Chodov**

Praha, květen 2022

Zpracovali: **RNDr. Václav Hájek**
odborná způsobilost v oboru inženýrská geologie
a hydrogeologie č. 2428/2019

Ing. Daniel Galko

Mgr. Eliška Gergelová

Schválil: **Mgr. Filip Dudík**
ředitel společnosti

OBSAH:

1. ÚVOD	5
1.1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O ZAKÁZCE	5
1.2 PŘEDMĚT A CÍL PRACÍ	5
1.3 POUŽITÉ PODKLADY	6
2. ROZSAH A METODIKA PRŮZKUMNÝCH PRACÍ	7
2.1 ÚVOD	7
2.2 ARCHIVNÍ VRTNÁ PROZKOUMANOST	7
2.3 VRTNÉ PRÁCE	8
2.4 DYNAMICKÉ PENETRACE	8
2.5 LABORATORNÍ ROZBORY	9
2.6 GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM	10
2.7 ZNALECKÝ BÁŇSKÝ POSUDEK	10
3. CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ	11
3.1 GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY	11
3.2 KLIMATICKÉ POMĚRY	11
3.3 GEOLOGICKÉ POMĚRY	11
3.4 HYDROLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY	13
3.5 SESUVY	13
3.6 CHRÁNĚNÁ ÚZEMÍ	14
3.7 SEISMICKÁ AKTIVITA	14
4. ARCHIVNÍ REŠERŠE KE STAVBĚ ZEMNÍHO TĚLESA	15
4.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE	15
4.2 VÝVOJ SVAHOVÝCH DEFORMACÍ V ČASE	15
5. VÝSLEDKY PRŮZKUMNÝCH PRACÍ	19
5.1 ŠIRŠÍ OKOLÍ A PODLOŽÍ NÁSPU	19
5.2 ŠTĚRKOVÉ LOŽE A AKTIVNÍ ZÓNA	19
5.3 JÁDRO NÁSPU	20
5.4 GEOTECHNICKÉ VLASTNOSTI ZEMIN A HORNIN	20
5.5 HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY ÚZEMÍ	25
5.6 VÝSLEDKY GEOFYZIKÁLNÍHO PRŮZKUMU	27
5.7 PODDOLOVÁNÍ A JEHO VLIV NA ZEMNÍ TĚLESO	27
6. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PRŮZKUMU	29
6.1 SLOŽENÍ ZEMNÍHO TĚLESA	29
6.2 PŘÍSPYV NÁSPU VLEVO A PŘITĚŽOVACÍ LAVICE	30
6.3 STABILITNÍ ANALÝZA	31
6.4 PŘÍČINY AKTUÁLNÍHO STAVU	32

7. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ.....	34
7.1 DOPORUČENÍ PRO PROVOZ.....	35
7.2 KONCEPCE SANACE	35
7.3 NÁVRH MONITOROVACÍHO SYSTÉMU	36
8. LITERATURA.....	39

PŘÍLOHY:

- Příloha č. 1: Přehledná situace zájmového území
- Příloha č. 2: Situace průzkumných sond
- Příloha č. 3: Situace prvků geotechnického monitoringu
- Příloha č. 4: Příčné inženýrskogeologické profily
- Příloha č. 5: Podélné profily pražcovým podložím
- Příloha č. 6: Geologická dokumentace průzkumných sond
- Příloha č. 7: Geologická dokumentace archivních vrtů
- Příloha č. 8: Protokoly sond dynamických penetrací
- Příloha č. 9: Protokoly laboratorních zkoušek
- Příloha č. 10: Geotechnické výpočty
- Příloha č. 11: Geofyzikální průzkum
- Příloha č. 12: Báňský znalecký posudek
- Příloha č. 13: Výsledky měření a kalibrační protokoly snímačů pórového tlaku
- Příloha č. 14: Fotodokumentace
- Příloha č. 15: Dokladová část

1. ÚVOD

1.1 ZÁKLADNÍ ÚDAJE O ZAKÁZCE

Název akce:	Inženýrskogeologický průzkum trati v úseku Karlovy Vary - Chodov
Objednatel:	Správa železnic, státní organizace
Stupeň dokumentace:	Podrobný inženýrskogeologický průzkum
Charakteristika stavby:	Dopravní liniová stavba
Místo stavby:	Celostátní trať č. 140 Chomutov – Cheb
Kraj:	Karlovarský
Okres:	Karlovy Vary
Katastrální území:	Rybáře [663557], Sedlec u Karlových Var [746754]

1.2 PŘEDMĚT A CÍL PRACÍ

Předmětem prací je zajištění inženýrskogeologického průzkumu havarijního stavu náspu v km 186,450 – 187,100 v úseku trati Karlovy Vary – Chodov.

Cílem prací je zjištění stavu náspu pro odstranění stávajícího omezení drážní dopravy v daném úseku. Součástí průzkumu jsou vrtné a laboratorní práce, polní zkoušky, geofyzikální a geodetické měření, s cílem:

- Ověřit plošný a hloubkový rozsah zvodnění v násypovém tělese.
- Ověřit rozsah poškození pláně tělesa železničního spodku a zemní pláně včetně ověření výskytu hlubokých smykových ploch.
- Určit mocnost antropogenních svahovin, stanovit jejich složení včetně objemové hmotnosti in situ.
- Stanovit recepturu úpravy zemin/sypanin ze svahů náspu využitelných v rámci recyklace/zpětného využití.
- Ověřit pozice a výskyt přítěžovacích lavic v patě náspu.
- Ověřit stav hladiny podzemní vody v úrovni terénu u paty náspu a dlouhodobé sledování vývoje hladiny podzemní vody v blízkém okolí.
- Ověřit funkčnost stávajícího povrchového a hloubkového odvodnění v patě náspu.

1.3 POUŽITÉ PODKLADY

Pro provádění a vyhodnocování průzkumných prací jsme měli od investora k dispozici následující podklady:

- Kasová, J. (2013): Oprava únosnosti železničního spodku Karlovy Vary – Chodov 1.TK km 186,614 – 186,794, ARCADIS Geotechnika a.s.,
- Ďurove, J. (2021): Havarijní stav železničního tělesa traťového úseku Karlovy Vary hl.n. – Karlovy Vary – Dvory v km 186,400 až 187,100, Geotechnika Ďurove,
- Jirků, J. (2022): Karlovy Vary – Rybáře, protlak, geofyzikální průzkum, G IMPULS Praha spol. s.r.o.,
- Pejcha, J. (2022): Závěrečná zpráva o výsledcích průzkumu georadarem v úseku Karlovy Vary – Karlovy Vary Dvory (186,400 – 187,100) kolej č. 1 a kolej č. 2, Správa železnic, státní organizace,
- situace zájmového území ve formátu DWG,
- vybraná grafická dokumentace z archivu Správy železnic, státní organizace.

Mimo výše uvedených podkladů jsme při zpracování průzkumu vycházeli z mapových podkladů na internetu (portál Geofond ČR, portál České geologické služby, Geoportál ČÚZK).

Archivní posudky pro rešerši geologické vrtné prozkoumanosti zájmového území jsou uvedeny v kapitole č. 2.1. Rešerše dostupné literatury k tělesu náspu tvoří samostatnou kapitolu č. 4.

Dále jsme použili technické normy, vyhlášky a odbornou literaturu vztahující se k dané problematice. Seznam literatury je uveden na konci zprávy.

2. ROZSAH A METODIKA PRŮZKUMNÝCH PRACÍ

2.1 ÚVOD

Pro naplnění cílů prací, tj. zjištění příčin havarijního stavu železničního náspu, byla prvotně provedena archivní rešerše dříve provedených průzkumných a sanačních prací. Rozsah prací a metodika byly stanoveny geotechnikem objednatele:

- Geofyzikální metody (georadar, odporová tomografie):
 - Ověřit plošný a hloubkový rozsah zvodnění v násypovém tělese.
 - Ověřit rozsah poškození pláně tělesa železničního spodku a zemní pláně včetně ověření výskytu hlubokých smykových ploch.
- Strojně realizované jádrové vrty a sondy dynamické penetrace:
 - Ověřit rozsah poškození pláně tělesa železničního spodku a zemní pláně včetně ověření výskytu hlubokých smykových ploch.
- Hydrogeologické vrty a vrty osazené snímači pórového tlaku:
 - Ověřit stav hladiny podzemní vody v úrovni terénu u paty náspu a dlouhodobé sledování vývoje hladiny podzemní vody v blízkém okolí.
- Strojně a ručně realizované kopané sondy, sondy dynamické penetrace:
 - Určit mocnost antropogenních svahovin, stanovit jejich složení včetně objemové hmotnosti in situ.
 - Stanovit recepturu úpravy zemin/sypanin ze svahů náspu využitelných v rámci recyklace/zpětného využití.
 - Ověřit pozice a výskyt přítěžovacích lavic v patě náspu.
 - Ověřit funkčnost stávajícího povrchového a hloubkového odvodnění v patě náspu.

2.2 ARCHIVNÍ VRTNÁ PROZKOUMANOST

Z archivních prací jsme vycházeli především z inženýrskogeologických průzkumů pro okolí řešeného úseku trati. Archivní posudky, které byly využity pro zpracování průzkumu:

- Mayerová, L. (1974): Závěrečná zpráva inženýrskogeologického průzkumu. Karlovy Vary – sídliště Čankovská, Geoindustria, Stříbro, Karlovy Vary,
- Ritt, J. (1980): Teplárna Karlovy Vary, odkaliště Sedlec a suchá skládka Přemlovice, inženýrskogeologické posouzení, Energoprojekt, Praha,
- Křelina, B. (1980): Závěrečná zpráva z vyhledávacího průzkumu Čankovská – Kaolin, Geoindustria, závod Stříbro, Karlovy Vary,
- Opěla, P. (2009): Karlovy Vary – Rybáře, železniční trať Karlovy Vary – Cheb, km 186,700 – 186,800, inženýrskogeologický průzkum, monitoring, ARCADIS Geotechnika a.s., Praha.

2.3 VRTNÉ PRÁCE

V rámci průzkumu byly z tělesa náspu provedeny jádrové inženýrskogeologické vrty průměru 195-156 mm označeny jako J02 až J13. Vrty sloužily jednak pro průzkum pražcového podloží, ovšem vybrané vrty byly prohloubeny až do podloží, a sloužily také pro ověření charakteru zemin tělesa náspu a odběru vzorků pro laboratorní zkoušky a rozborů. Vzhledem k časovým omezením nebylo možné realizovat vrt J01, a proto řada průzkumných vrtů začíná značením J02. Dále byly u paty náspu realizovány monitorovací hydrogeologické vrty (řada JH01-JH07) a vrty osazené snímači pórového tlaku (MPT1, MPT2).

Sondy byly provedeny vrtnou soupravou MI2 výrobce Massenza Drilling Rigs na pásovém podvozku. Vrty byly hloubeny jádrově bez výplachu, rotačním způsobem. Po provedení dokumentace a odběrech vzorků zemin a hornin byly vrty zlikvidovány hutněným záhozem. Sondy provedly vrtné osádky společnosti NN COMPANY s.r.o., pod vedení vrtmistrů J. Kvasnovského, M. Hilschera a J. Hrbáče.

Vrtné jádro bylo ukládáno do standardních vzorkovnic. Makroskopická geologická dokumentace vrtů byla prováděna průběžně během vrtných prací a následně byly odebrány vzorky zemin a hornin pro účely laboratorních rozborů a zkoušek. Písemná dokumentace je společně se zařazením zastižených zemin podle SŽ S4 uvedena v samostatné příloze č. 6. V příloze č. 7 jsou pak přiloženy i dokumentace archivních vrtů, ke kterým bylo přihlédnuto při zpracování geotechnického průzkumu. Po odvrtání průzkumných vrtů byly sondy geodeticky zaměřeny. Umístění vrtů je patrné ze situace průzkumných sond v měřítku 1 : 1 000 v příloze č. 2.

Celkem bylo provedeno 12 ks inženýrskogeologických vrtů o celkové délce 100,9 bm, 7 ks monitorovacích hydrogeologických vrtů o celkové délce 61,8 bm a 2 ks MPT vrtů o celkové délce 7,2 bm. Základní informace o nově provedených průzkumných vrtech jsou uvedeny v tabulce č. 1.

2.4 DYNAMICKÉ PENETRACE

Pro účely průzkumu byly provedeny polní zkoušky středně těžkou a těžkou dynamickou penetrací. Celkem bylo realizováno 75 ks s hloubkou v rozmezí 2,5–15,0 m. Protokoly jednotlivých sond dynamických penetrací jsou uvedeny v příloze č. 8.

Sondy byly situovány do jednotlivých profilů, které jsou znázorněny v situaci průzkumných sond v měřítku 1 : 500 v příloze č. 2. Sondy slouží k identifikaci rozhraní podloží náspu, ověření přítěžovacích lavic a stanovení mocnosti sypanin. Jejich hloubka byla operativně upravována dle prostupnosti zemin a měřeného krutného momentu. Práce byly prováděny pneumatickou soupravou typ DPM s hmotností beranu 30 a 50 kg. Souprava odpovídá technickými parametry normě DIN 4094. Specifický dynamický odpor byl vypočítán podle holandského vzorce.

Tabulka č. 1: Přehled nově provedených průzkumných vrtů

Název sondy	Kolej č. /pata náspu	Staničení km	Souřadnice (systém S-JTSK)		Výška terénu (B.p.v.)	Hloubka (m)	Typ vrtu
			X	Y	Z		
J02	2	186,459	1 010 089,67	850 998,05	403,99	5,2	IG
J03	1	186,506	1 010 043,15	850 992,88	403,78	6,0	IG
J04	2	186,551	1 010 002,71	850 973,69	403,34	15,0	IG
J05	1	186,584	1 009 971,26	850 964,07	403,22	7,0	IG
J06	2	186,650	1 009 918,78	850 924,10	402,66	3,8	IG
J07	1	186,800	1 009 795,85	850 838,53	401,55	15,0	IG
J08	2	186,855	1 009 748,25	850 810,77	401,15	4,7	IG
J09	1	186,906	1 009 698,19	850 799,36	400,77	15,0	IG
J10	2	186,951	1 009 654,87	850 787,26	400,45	4,2	IG
J11	1	187,007	1 009 598,32	850 789,09	399,96	6,0	IG
J12	2	187,055	1 009 549,46	850 789,90	399,64	15,0	IG
J13	1	187,096	1 009 510,70	850 802,39	399,29	4,0	IG
JH01	vlevo	186,575	1 009 971,83	850 982,59	395,63	2,3	HG
JH02	vpravo	186,602	1 009 968,35	850 934,12	404,14	13,0	HG
JH03	vlevo	186,855	1 009 739,50	850 835,68	391,47	8,5	HG
JH04	vpravo	186,859	1 009 750,15	850 795,29	396,56	10,0	HG
JH05	vlevo	186,953	1 009 648,81	850 815,29	389,94	10,0	HG
JH06	vpravo	186,976	1 009 629,25	850 768,81	392,23	8,0	HG
JH07	Vlevo	187,083	1 009 526,34	850 813,60	394,07	10,0	HG
MPT01	vlevo	187,016	1 009 589,82	850 812,89	390,23	3,7	MPT
MPT02	vpravo	186,710	1 009 889,52	850 864,63	391,05	3,5	MPT

2.5 LABORATORNÍ ROZBORY

V průběhu průzkumných prací byly z vrtů odebírány vzorky zemin a hornin pro laboratorní zkoušky a rozборы. Celkem bylo odebráno 11 porušených vzorků zemin a zvětralých hornin (označeno písmenem „P“), 7 technologických vzorků zemin (označeno „T“) a 21 neporušených a poloporušených vzorků zemin (označeno „N“, resp. „PLP“).

Na odebraných vzorcích zemin a hornin byly provedeny především laboratorní rozборы za účelem klasifikace zemin a jejich zařazení podle příslušných ČSN norem.

V rámci podrobného průzkumu byly provedeny následující laboratorní zkoušky zemin a hornin:

92 ks	základní klasifikační rozbor zemin
14 ks	krabicová smyková zkouška
10 ks	oedometrická zkouška
9 ks	proctor standard, CBR, CBR _{sat} , IBI
6 ks	prostor standard, CBR, IBI + zkoušky s aditivy
1 ks	zkouška namrzavosti

Na základě klasifikačních rozborů zemin bylo provedeno jejich zatřídění podle příslušných ČSN norem. Zatřídění zemin podle SŽ S4 je uváděno v geologické dokumentaci všech sond a dále se s ním pracuje při vyhodnocování geologických, geotechnických poměrů v kapitole č. 5.

Protokoly rozborů a zkoušek, včetně uvedení metodiky a norem, podle kterých byly zkoušky provedeny, jsou uvedeny v samostatné příloze č. 9 - Protokoly laboratorních zkoušek.

2.6 GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM

Cílem geofyzikálního průzkumu bylo ověřit rozsah zvodnění v násypovém tělese a identifikace případného poškození pláně tělesa železničního spodku a zemní pláně, včetně ověření výskytu hlubokých smykových ploch. K tomuto účelu byly využity dvě geofyzikální metody.

První metodou byla elektrická odporová tomografie (ERT), která dokáže identifikovat zvodnělá místa jako anomálie, které se projeví nízkými měrnými odpory. Další metodou byl georadar (GPR), který dokáže vysílat a přijímat vysokofrekvenční elektromagnetické vlnění, jehož rychlost šíření je závislá mimo jiné na míře zvodnění horninového prostředí.

Geoelektrický průzkum provedla firma SG Geotechnika a.s., a průzkum georadarem provedlo a zpracovalo centrum telematiky a diagnostiky Správy železnic, státní organizace. Kompletní závěrečné zprávy z obou geofyzikálních metod jsou uvedeny v samostatné příloze č. 11.

2.7 ZNALECKÝ BÁŇSKÝ POSUDEK

Zájmový úsek trati se nachází na složitém geologickém území, kde kromě výskytu terciární hnědouhelné sloje sokolovské sedimentační oblasti se nachází ložiska kaolinu jako výsledek větrání bazálního žulového podkladu. Podrobné informace o historické těžbě v oblasti a jejím vlivu na těleso násypu jsou uvedeny v kapitole 5.6 a samostatné příloze (č. 12) zpracované báňským znalcem.

3. CHARAKTERISTIKA ÚZEMÍ

3.1 GEOMORFOLOGICKÉ POMĚRY

Z hlediska geomorfologického členění spadá zájmová oblast do následujících geomorfologických jednotek (Demek a kol., 1987):

<i>Provincie:</i>	Česká Vysočina
<i>Soustava (subprovincie):</i>	Krušnohorská soustava
<i>Podsoustava (oblast):</i>	Podkrušnohorská oblast
<i>Celek:</i>	Sokolovská pánev
<i>Podcelek:</i>	Sokolovská pánev
<i>Okrsek:</i>	Chodovská pánev

Zájmová oblast se nachází severně od řeky Ohře a na východ od říčky Rolavy mezi městskými částmi Rybáře a Sedlec. Železniční násep o výšce až 12 m vede v tomto území ve směru od jihu k severu v mírném svahu, který se svažuje od SV od Sedlce k JZ k říčce Rolavě. Zemní železniční těleso je situováno přibližně v polovině tohoto svahu.

Na JV od náspového tělesa (vpravo ve směru staničení) se vyskytuje plochá splachová deprese s mělce podpovrchovými vodami a místy s naakumulovanými povrchovými vodami s výskytem vodomilné vegetace.

3.2 KLIMATICKÉ POMĚRY

Podle Atlasu podnebí Česka 2007 leží zájmové území v mírně teplé oblasti. Celé území se nachází v klimatickém okrsku B1 (mírně teplý, suchý, s mírnou zimou). Podle Quittovy klasifikace má oblast označení MW7.

Klimatické charakteristiky jsou následující:

- Průměrná roční teplota vzduchu kolísá mezi 7–8 °C
- Průměrný počet mrazových dnů v roce je cca 110–130
- Průměrný roční úhrn srážek je v rozmezí 600–650 mm
- Průměrný počet dnů se sněhovou pokrývkou je 60–80
- Průměr sezónních maxim sněhové pokrývky je do 20 cm.

3.3 GEOLOGICKÉ POMĚRY

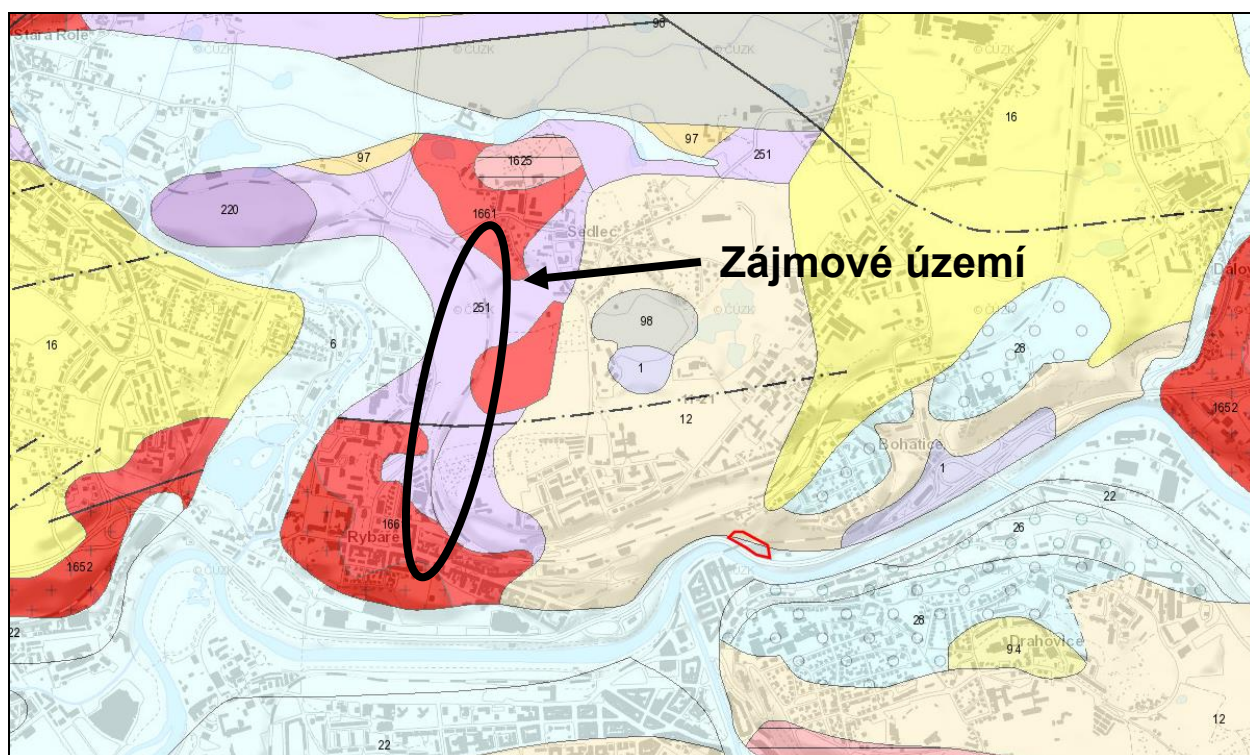
V následujícím textu je zpracována stručná geologická charakteristika širšího okolí zájmového území.

Horniny předkvartérního podkladu





Zájmové území se nachází z regionálně geologického hlediska při jihovýchodním okraji Sokolovské pánve, jež je součástí systému podkrušnohorské příkopové propadliny.

V podloží pánve vystupuje jako součást krušnohorského plutonu karlovarský žulový masiv. Elevace tvořené v jádru granity až granodiority plutonu jsou zčásti překryté terciárními bazaltoidními efuzívy v různém, většinou vysokém, stupni zvětrání zastoupené především tufity a tufy, které jsou ve většině případů zcela rozložené a mají charakter pestrobarevných vysoce plastických jíľů, místy se zachovalou horninovou strukturou.

Obrázek č. 1: Výřez z geologické mapy 1 : 50 000



Legenda:

Kvartér		6	nivní sediment
Terciér		251	vulkanoklastika bazaltoidních hornin
Karbon		1625	granit
		1661	kaolinizovaný granit

Kvartérní pokryv

Kvartérní uloženiny jsou zejména deluvio-fluviálního (splachového) původu charakteru jílovitých a jílovitopísčitých zemin. Mocnost kvartérního pokryvu je nevýznamná a na části území jej tvoří pouze humózní vrstva při úrovni terénu.

3.4 HYDROLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Zájmová část železničního náspu se nachází v povodí Rolavy s číslem hydrologického povodí 0-13-01-1650. Z hlediska hydrogeologické rajonizace spadá zájmové území do rajonu č. 2120 – Sokolovská pánev v terciérních a křídových sedimentech.

V prostoru širšího okolí zájmového území jsou dva hlavní zvodnělé obzory.

Svrchní terciérní obzor je vázaný na všechny stratigrafické členy pánevní výplně. Má velmi rozmanité hydraulické parametry, jako celek je charakterizován nízkou propustností ovlivněnou převahou tufitických a jílových uloženin. Lokálně vyvinuté písčité a uhelné polohy bývají až o řád propustnější. Od spodního žulového obzoru je svrchní obzor oddělen polohou kaolinu. Kaolinový horizont si pro značný podíl jílové hmoty udržuje propustnost blízkou se propustností tufitických uloženin, což vytváří artéský strop spodnímu obzoru, s nímž je v hydraulické spojitosti.

Hydrogeologicky významnější je žulový obzor, který je vyvinut na celém území spojitě, přestože rozpukání je velmi proměnlivé. Má převážně napjatou hladinu, podle konfigurace terénu s artéskou i subartéskou úrovní. Infiltrační povodí nádrže je vázáno na svahy Krušných hor, hlavní přítokový směr je nejspíše od severozápadu. Hlavními výstupovými cestami vody z nádrže jsou elevace v žulovém pánevním podloží, které jsou generelně SZ-JV směru a predisponované tektonicky. Součástí žulové zvodně je i zvodnění primárního kaolinu. Jeho propustnost je však řádově nižší než propustnost žulové zvodně, a jako celek lze kaolin považovat za relativní izolátor. Propustné polohy jsou vázány pouze na místa tektonického porušení a křemenné žíly. Neporušený kaolin funguje jako faktický izolátor.

Zvodeň vázaná na terciérní sedimenty je značně nehomogenní v horizontálním i ve vertikálním směru. Zvodnění je vázáno především na některé typy tufitů a tufů (schopné rozpukání), sedimenty starosedelského souvrství a mimo lokalitu i uhelné polohy. Infiltrační povodí není jednotné. Morfologie báze terciéru a tektonická omezení brání ve vzájemné komunikaci, případně i v infiltraci (nepropustné polohy pod povrchem terénu). Přes veškeré komplikace jde o jedinou zvodeň, která se odvodňuje týmž směrem jako zvodeň žulová. Obě zvodně spolu komunikují především tam, kde chybí kaolin.

3.5 SESUVY

V archivu České geologické služby se v zájmovém území nenacházejí žádné registrované svahové deformace. Dílčí sesuvy zaznamenané po dobu existence železničního tělesa jsou popsány v archivní rešerši v kapitole č. 4.2.

3.6 CHRÁNĚNÁ ÚZEMÍ

Zájmové území leží v ochranném pásmu stupně IIA přírodních léčivých zdrojů a minerálních vod Karlovy Vary. Stavba nezasahuje do chráněných prvků přírody a krajiny a kulturních památek. Stavba se nenachází v záplavovém území.

3.7 SEISMICKÁ AKTIVITA

Podle platné ČSN EN 1998-1 ed. 2, změna Z1, náleží zájmové území do oblasti se seizmicitou s hodnotou referenčního zrychlení základové půdy a_{gR} 0,04g.

Podle NA 2.8 článku 3.2.1 výše uvedené normy se za případy velmi malé seizmicity, kdy není potřeba dodržovat ustanovení ČSN EN 1998-1, se v ČR považují takové oblasti, kdy hodnota a_{gR} , použitého pro výpočet seismického zatížení, není větší než 0,05g.

4. ARCHIVNÍ REŠERŠE KE STAVBĚ ZEMNÍHO TĚLESA

4.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

Lokalita se nachází v Karlových Varech mezi městskými částmi Rybáře a Sedlec. Původní jednokolejná železniční trať byla zprovozněna roku 1870 a koncem 19. století byla rozšířena na dvoukolejnou. Velké množství materiálu pro rozšíření náspu pocházelo z kaolinových dolů (Ďurove 2014).

Řešená část trati vede od jihu k severu. Trať je zbudována na náspu výšky 4-12 m, přičemž nejvyšší je násep v km 186,700-186,800. Nadmořská výška koruny náspu se pohybuje v rozsahu 399,3 - 400,0 m n.m., úroveň paty náspu se nachází v nadmořské výšce cca 390 - 404 m n.m. Generelní sklony svahů náspu jsou na západní straně cca 42° (kolej č. 1) a na východním svahu dosahuje sklon 32° (kolej č. 2).

4.2 VÝVOJ SVAHOVÝCH DEFORMACÍ V ČASE

První poklesy kolejového roštu byly zaznamenány už před rokem 2004. V té době probíhalo dvakrát ročně podbíjení kolejového roštu. Kdy začalo první podbíjení není bohužel známo.

Deformace tělesa v letech 2004-2009

Měření v březnu 2004 ukázalo celkový kumulovaný pokles o 1,1 m od původní nivelety, a to na koleji č. 1 ve staničení km 186,705. Na základě poklesu byly realizovány v roce 2004 ve staničení km 186,690 až 186,730 sanační práce (Ďurove 2014), které se skládaly z:

- vybudování povrchové odvodňovací rýhy při patě jihovýchodního svahu náspu
- vyčištění a oprava propustku ve staničení km 186,705
- konsolidační zpevnění tělesa náspu střelkovými tampony v úseku 186,695-186,719
- stabilizace pražcového podloží a svahu náspu hřebíky TITAN v úseku km 186,698-186,719
- rekonstrukce kolejového lože typu 3 ve složení: kolejové lože – štěrk 32/63 mm, štěrkokodrť 0/32 mm, výstužná geotextilie TS 70, výstužné geobuňky GEOWEB 200 mocnost sanované vrstvy 0,85 m (od uvažované zemní pláně)

Další poklesy na kolejích byly zaznamenány v průběhu roku 2009, kdy pod kolejí č. 1 ve staničení km 186,730 činil roční přírůstek deformace celkově 192 mm. Pod kolejí č. 2 ve staničení km 186,723 byl zaznamenán pokles celkem o 126 mm. Provedeným inženýrskogeologickým průzkumem (Opěla 2009) byla zjištěna nízká kvalita zemin náspu a nepříznivé hydrogeologické poměry. Součástí prací byla také instrumentace průzkumných vrtů pažnicí pro inklinometrická měření.

Z napěťo-deformační analýzy provedené v dubnu 2010 vyplynulo, že příčinou deformací tělesa náspu je jednak nízká stabilita svahů, která je způsobena vlastnostmi materiálu náspu o nízkých parametrech smykové pevnosti, a dále úpravy tělesa při čistění kolejového lože. Svah u koleje č. 1 byl označen za rizikovější. Na základě zjištění firma ARCADIS Geotechnika doporučila návrh na zajištění, který se skládal z:

- provést plně funkční odvodnění v patě náspu (ze strany u koleje č.2)
- ze svahu náspu odstranit přísypy vzniklé při opravách kolejí v minulých letech
- v náspu provést v rozteči cca 7 m drenážní odvodňovací žebra napojená do odvodnění u paty svahu
- u pat náspu provést cca 3 m vysoké vyztužené konstrukce, umožňující zmenšení sklonu svahů náspu při jejich opětovném dosypání

Z výše uvedených navržených kroků z dubna 2010 do konce února 2013 nebyl realizován ani jeden (Řurove 2014).

Mimořádná událost v roce 2013

Dne 26.3.2013 došlo na předmětné úseku trati k mimořádné události. Vlivem výrazného bodového poklesu kolejnicových pásů pod kolejí č. 1 došlo těsně před stanicí Karlovy Vary horní nádraží k vykolejení několika prázdných vagónů nákladního vlaku. Provoz na trati byl s okamžitou platností omezen a k dopravě na daném úseku sloužila pouze kolej č. 2. Příčinu vykolejení lze spatřit v nepravidelném, ale dlouhodobém poklesu koleje č. 1. Počáteční mírný pokles se na přelomu března a dubna 2013 rozvinul do rozsáhlého sesuvu severozápadního svahu náspu. Po vyhodnocení závažnosti situace byl provoz na trati od 14.5. do 1.6. 2013 zcela vyloučen.

Na mimořádnou událost reagoval projekt sanačních prací, který zpracovávala společnost ARCADIS Geotechnika, a který z větší části vycházel již z opatření doporučených v roce 2010. Rozsah prací byl upravován dle skutečně zastižených poměrů a podle dokumentace skutečného provedení (Kasová 2013) byly realizovány tyto opatření:

- Odstranění přísypů ze svahu náspu a provedení reprofilace koruny náspu dle VL ŽS pod kolejí č. 1 v délce 180 m.
- Provedení 18 ks drenážních a stabilizačních žebířů ve svahu náspu pod kolejí č. 1. Hloubka žebířů dosahovala 2-5 m s osovou vzdáleností 5-7 m. Voda zaznamenaná v některých žebířích byla svedena do drenáže v patě západního svahu a napojena na bezejmenný levostranný přítok říčky Rolavy.
- Realizace jednoetážové přítěžovací lavice v délce 102 m u paty původního náspu na západní straně a dvouetážové přítěžovací lavice v délce 78 m předsazenou o 3 m před patu původního náspu. Výška delší lavice je 3 m, výška druhé lavice je 8 m (5 m první stupeň a 3 m druhý stupeň).
- Provedení vyztuženého roznášecího štěrkového polštáře pod oběma kolejemi

v délce 56 m a pod kolejí č. 1 v délce 180 m. Štěrkový polštář byl navržen v této skladbě:

- Separační a filtrační geotextýlie položená na zhutněnou zemní pláň
- 1. konstrukční vrstva 15 cm štěrkdrtě 0/32 mm
- Výztužná geomříž PET o pevnosti 55/55 kN
- 2. konstrukční vrstva 35 cm štěrkdrtě 0/32 mm
- Výztužná geomříž PET o pevnosti 55/55 kN
- 3. konstrukční vrstva 35 cm štěrkdrtě 0/32 mm tvořící PTŽS

Na vybraných úsecích byly jílovité zeminy na zemní pláni odtěženy do hloubky 0,2 m a nahrazeny štěrkdrtí. Zároveň byly vybudovány příčné odvodňovací drény, které propojily sanovanou parapláň s okrajem severozápadního svahu náspu.

Deformace tělesa v roce 2021

Na přelomu září/října roku 2021 byly při terénní prohlídce geotechnikem (Ďurove 2021) zaznamenány deformace zemního tělesa na následujících úsecích:

- *Porucha GPK v 2a. SK v km 186,710*
Jednalo se o okem viditelné výškové i směrové vybočení koleje. Byl vymapován aktivní sesuv na svahu pod 2. TK. Zaznamenané deformace mohly souviset s probíhající stavbou protlaku pod železničním náspem.
- *Porucha GPK v 1. TK v km 186,510*
Svah postižen plouživým přetvářením, základ TV 25 vykloněn ze svahu. Bylo řešeno dosypáním štěrku a strojním podbitím.
- *Porucha GPK v 1. TK v km 186,600*
Svah postižen plouživým přetvářením, základ vjezdového návěstidla 1S vykloněn ze svahu. Bylo řešeno dosypáním štěrku a strojním podbitím.
- *Porucha GPK v 1. TK v km 186,800-186,830*
Neúnosná zemní pláň z přesycených jemnozrnných zemin, zatlačený štěrk kolejového lože v zemní pláni.
- *Zjištěné zátrhy svahu a deformace pod 1. TK v km 186,960-187,030*
Kolmé čelo na výtoku propustku postiženo částečným sesutím svahu a deformace klenby propustku v místě historického napojení. Ve svahu nad propustkem zaznamenány svahové zátrhy s výškovým rozdílem 0,4 m. Poruchy dávány do souvislostí s havárií kanalizace, která podmácela širší okolí náspu a způsobila zanešení a omezenou funkčnost propustku v km 186,982. Další příčinu lze vidět v narušení náspu intenzivní činností jezevce.

Na základě doporučení geotechnika byly vykáceny dřeviny na obou stranách náspu po celé délce předmětného úseku a zvýšena četnost kontrolních pochůzek. Dále byly vyčištěny oba propustky v km 186,696 a km 186,982. Bylo upraveno směrové vedení protlaku pro kanalizaci pod zemním tělesem a práce probíhaly/jí za geodetického

monitoringu. Na celém úseku byla zavedena pomalá jízda (50 km/h).

Geofyzikální průzkum pro protlak 2022 (Belov 2022)

Geofyzikální práce byly objednány na základě uvíznutí protlakové technologie v km cca 186,730, přibližně 45 m od vstupu technologie (na západní straně) ve svahu směrem do náspu pod kolejištěm. Během průzkumu byly použity metody mělké refrakční seismiky (MRS) a geologický radar (GPR).

Výsledky geofyzikálního měření ukázaly:

- Seismické měření ukázalo průběh možné odlučné plochy, která víceméně koreluje s místem uvíznutí protlaku a mohla by proto sloužit jako geomechanická překážka pro protlak. Tato plocha se ukazuje jako hloubkově homogenní.
- Alternativní možností provedení vývrtu je pod niveletou 387 m n.m., která by mohla smykovou plochu podejít. Geologické prostředí obecně vykazuje nízké rychlosti do cca 1 500 m/s, které svědčí o průchodném narušeném stavu.
- Metoda georadaru neukázala žádný umělý objekt, který by mohl fungovat jako překážka pro protlak.

Dle sdělení stavbyvedoucího je protlak ve finální podobě realizován hornickým způsobem.

5. VÝSLEDKY PRŮZKUMNÝCH PRACÍ

V následující kapitole jsou podrobně popsány výsledky inženýrskogeologického průzkumu území včetně geotechnických vlastností zastižených zemin a hornin. Graficky jsou výsledky zobrazeny v samostatných přílohách za textem zprávy. Situace průzkumných sond se nachází v příloze č. 2. Inženýrskogeologické profily jsou zobrazeny v samostatné příloze č. 4 a 5, dokumentace nově realizovaných vrtů tvoří přílohu č. 6.

5.1 ŠIRŠÍ OKOLÍ A PODLOŽÍ NÁSPU

Nejstarší horninový typ, který tvoří podloží širšího zájmového území, jsou granity krušnohorského plutonu. Horniny jsou silně postižené kaolinizací a mohou mít charakter až čistého kaolinu, který se zde na části území historicky těžil. Průzkumnými vrty byly granity zastiženy pouze ve vrtu JH01 u paty náspu vlevo v km 185,575. Granity zde tvoří úzký výběžek ze západu (viz obrázek č. 1), který je na většině území překryt miocenními sedimenty. Zastižené žuly byly navětralé s pevností v prostém tlaku odpovídající třídě R2 (dle SŽ S4).

Horniny krystalinika jsou na převážné části území překryty miocenními vulkanity sokolovské pánve charakteru tufů a tufitů. Tyto horniny jsou zcela rozložené a mají charakter vysoce plastických jílu. Zeminy lze zařadit jako hlíny a jíly vysoké až extrémně vysoké plasticity třídy F7 MH, MV, ME a F8 CH, CV, CE. V menší míře byly dokumentovány jíly střední plasticity F6 CI a jíly písčité F4 SC. Podíl hrubší frakce může kolísat a zastiženy byly i jemnozrnné zeminy s úlomky a valouny podložních žul velikosti až 4 cm. V rámci jílovitých vrstev se mohou objevovat tenké polohy hrubozrnného písku nebo organická příměs. Barva zeminy je proměnlivá od šedé, okrové, až do hnědorezavé a modrošedé. Konzistence zeminy bývá při úrovni terénu měkká nebo tuhá, do hloubky pak přechází až do konzistence pevné.

Původní kvartérní pokryv na zájmovém území je méně významný a tvoří jej především přemístěné jílovité tufy a tufity v podloží. Z tohoto důvodu je rozhraní mezi podložím a kvartérním pokryvem často nezřetelné a mocnost pokryvu nejasná. Sedimenty mají převážně deluviální nebo deluvio-fluviální původ a lze je obdobně zařadit jako hlíny a jíly vysoké až extrémně vysoké plasticity třídy F7 MH, MV, ME a F8 CH, CV, CE, nebo jíly střední plasticity F6 CI a jíly písčité F4 SC. S ohledem na mělkou hladinu podzemní vody je konzistence zemin převážně měkká nebo tuhá.

5.2 ŠTĚRKOVÉ LOŽE A AKTIVNÍ ZÓNA

Pražcové podloží bylo průzkumnými pracemi ověřeno pomocí kopaných sond v prostoru mezi pražci a strojně realizovanými průzkumnými vrty v ose koleje. Průměrná mocnost štěrkového lože pro obě koleje je 1,1 m, ovšem lokálně může dosahovat až cca 2,0 m (sonda v km 186,507). Štěrky jsou až do hloubky cca 0,8 m čisté nebo slabě znečištěné, hlouběji pak silně znečištěné až zcela zanesené.

V zemní pláni byly dokumentovány písčité zeminy charakteru především písků jílovitých S5 SC, písků hlinitých S4 SM a písků s příměsí jemnozrnné zeminy S3 S-F. Písky jsou hrubozrnné, okrově hnědé až rezavě hnědé barvy. Častá je příměs úlomků pískovců a žul proměnlivé velikosti cca 3-15 cm obsahu 20-30 %. Celková mocnost písčité vrstvy pod štěrkovým ložem je cca 2 m, nicméně lokálně byly zastiženy i výrazně větší mocnosti (vrty J4, J7), nebo naopak nebyla vrstva písků zastižena vůbec (J3, J5).

Nejhorší situace v zemní pláni byla zastižena pod 1. TK ve staničení 186,584, kde se pod štěrkovým lože nacházely v hloubce 1,1-2,0 m jíly s velmi vysokou plasticitou třídy F8 CV tuhé konzistence. Účelové profily pražcovým podloží tvoří samostatnou přílohu č. 5.

5.3 JÁDRO NÁSPU

Jádro tělesa náspu je značně heterogenní a je tvořené jak jemnozrnnými, tak i hrubozrnnými zeminami. Nejčastěji jsou zastiženy jíly písčité F4 CS a písky jílovité S5 SC s proměnlivým podílem úlomků pískovců a žul. Velikost úlomků i procentuální obsah značně kolísá a zeminy tak přecházejí do dalších typů zeminy, jako jsou šterky jílovité G5 GC, hlíny šterkovité F1 MG, hlíny písčité F3 MS nebo písky s příměsí jemnozrnné zeminy S3 S-F. Je zřejmé, že na výstavbu jádra náspu byly hojně využívány i místní jílovité materiály charakteru jílu a hlín střední až extrémně vysoké plasticity třídy F6-F8 (F6 CI, F7 MH-ME, F8 CH-CE). Ty byly zastiženy především na začátku úseku ve staničení 186,500-186,584 a v druhé části úseku km 186,900-187,100. Jemnozrnné zeminy mají především měkkou, popř. tuhou konzistenci, písčité a šterkovité zeminy jsou maximálně středně ulehlé.

5.4 GEOTECHNICKÉ VLASTNOSTI ZEMIN A HORNIN

Geotechnické charakteristiky zemin a zvětralých hornin zastižených průzkumem jsou přehledně uvedeny v tabulce č. 2. Jedná se o obecné geotechnické charakteristiky, které jsou platné v celé ploše zájmového území. Tyto charakteristiky byly stanoveny na základě výsledků laboratorních rozborů a zkoušek a makroskopického popisu vrtů.

Vzhledem ke značné heterogenitě tělesa náspu nejsou v grafických přílohách této zprávy zeminy rozděleny do jednotlivých geotechnických typů. Jednotlivé geologické vrstvy nejsou průběžné a složení náspu se velmi rychle mění jak v ploše, tak i ve vertikálním směru. Jakékoliv grafické vymezování jednotlivých vrstev by tak mohlo být naopak zavádějící a rozdělení zemin dle jejich vlastností se vymezuje pouze na textový popis a tabulku č. 2. Pro jednotlivé zeminy jsou uváděny většinou rozptyly hodnot, přičemž nižší hodnoty označených charakteristik platí pro zeminy s nižší konzistencí nebo ulehlostí, naopak hodnoty vyšší platí pro zeminy s vyšším stupněm konzistence nebo ulehlostí.

Celkový rozsah provedených laboratorních zkoušek a rozborů je uveden v odstavci 2.3 kapitoly o metodice a rozsahu průzkumných prací. V následujících tabulkách uvádíme souhrnný přehled zjištěných geotechnických charakteristik, které jsou dále

využity a komentovány v navazujícím textu zprávy.

Výsledky zkoušek stlačitelnosti v oedometru jsou zobrazeny v tabulce č. 3.

Výsledky smykových zkoušek z krabicového přístroje jsou zobrazeny v tabulce č. 4.

Výsledky zkoušky Proctor standard, CBR a IBI jsou v tabulce č. 5 a v tabulce č. 6 pro zeminy zlepšené aditivou.

Tabulka č. 2: Základní geotechnické charakteristiky pro zeminy a zvětralé horniny

VÝSKYT ZEMIN	TĚLESO NÁSPU					PODLOŽÍ
CHARAKTERISTIKA VRSTVY	šterky jílovité a hlinité	písky	jíly a hlíny šterkovité	jíly a hlíny písčité	plastické jíly a hlíny	plastické jíly a hlíny
SYMBOL/TRÍDA DLE ČSN 73 6133	G5 GC G4 GM	S5 SC S4 SM S3 S-F	F1 MG F2 CG	F4 CS F3 MS	F7 MH-ME F8 CH-CE (F6 CI)	F7 MH-ME F8 CH-CE (F6 CI)
SYMBOL DLE ČSN EN ISO 14688-2	clGr	clSa, saGr, grclSa	sacGr sagrCl grCl	grsaCl, clSa, saCl,	CI	CI, saCl
ULEHLOST / KONZISTENCE dle ČSN 73 6133	středně ulehlý	kyprý až středně ulehlý	měkká až tuhá	měkká až tuhá	měkká až tuhá	měkká až pevná
γ (kN.m ⁻³)	19,2	19,2	20,0	18,3	17,2	17,0
I _c	-	-	0,4-0,8	0,5-1,3	0,3-0,9	0,5-1,1
E _{def} (MPa) (pro 50-300 kPa)	50	5-10	6,9	3-5	3,9	3-8
ν	0,30	0,35	0,35	0,35	0,40	0,42
φ_p' (°)	33	29	30	23	19	17-19
c' (kPa)	0	0	3	5-19	5-18	3-13
TĚŽITELNOST DLE ČSN 73 6133/ SŽ S4	I.	I.	I.	I.	I.	I.
VRTATELNOST PRO PILOTY DLE TP76	I.	I.	I.	I.	I.	I.

Poznámka: Tučným písmem jsou hodnoty podle výsledků laboratorních zkoušek.

Vysvětlivky k tabulce č.2

γ - objemová tíha zeminy

I_c - stupeň konzistence

I_D – relativní ulehlost

ν - Poissonovo číslo

φ_p' - vrcholový úhel vnitřního tření

c' - efektivní soudržnost

E_{def} - modul přetvárnosti

σ_c - pevnost v prostém tlaku

Tabulka č. 3: Výsledky provedených oedometrických zkoušek

Vrt	Lab. číslo vzorku	Hloubka odběru (m)	Klasifikace	Lokalizace	Objemová hmotnost * γ (kN.m ⁻³)	Zatěžovací stupeň (kPa)	Oedometrický modul E _{def} (MPa)
			SŽ S4				
J9	7868	4,1-4,5	F1 MG	Násep	19,6	50-100	4,3
						100-200	6,4
						200-300	9,2
						50-300	6,8
J9	7869	5,7-6,0	F2 CG		20,5	50-100	5,8
						100-200	6,4
						200-300	8,8
						50-300	7,1
J9	7870	6,0-6,3	F7 MH		17,1	50-100	3,4
						100-200	3,6
						200-300	4,2
						50-300	3,9
J4	7863	7,4-7,7	F7 ME	Podloží náspu	17,1	50-100	4,3
						100-200	4,9
						200-300	5,7
						50-300	5,1
J4	7861	10,7-11,0	F7 ME		17,8	60-100	9,1
						100-200	6,6
						200-300	6,4
						60-300	6,9
J7	7945	9,3-9,8	F7 MH		16,5	50-100	2,5
						100-200	2,9
						200-300	3,8
						50-300	3,2
J7	7946	12,0-12,6	F7 MH		16,4	50-100	2,5
						100-200	3,3
						200-300	4,1
						50-300	3,5
J9	7872	8,5-9,0	F7 MV		17,0	50-100	4,4
						100-200	4,7
						200-300	5,9
						50-300	5,1
J12	7951	8,4-8,7	F8 CH		19,3	50-100	2,9
						100-200	3,4
						200-300	4,9
						50-300	3,8
JH03	7956	1,4-1,8	F7 MV		16,9	50-100	7,7
						100-200	7,5
						200-300	9,7
						50-300	8,4

Poznámka: *Objemová hmotnost vlhké zeminy je uvažovaná na začátku zkoušky

Tabulka č. 4: Výsledky provedených smykových zkoušek

Vrt	Lab. číslo vzorku	Hloubka odběru (m)	Klasifikace SŽ S4	Lokali- zace	Objemová hmotnost* γ (kN.m ⁻³)	Úhel vnitřního tření		Soudržnost c_p (kPa)
						Φ_p (°)	Φ_{crit} (°)	
J4	7860	2,7-3,2	F4 CS	Násep	18,2	23,0	-	19
J12	7950	6,3-6,6	F4 CS		17,5	30,0	-	19
J5	8126	3,2-3,5	F3 MS		19,1	-	19,0	-
J9	7869	5,7-6,0	F2 CG		19,8	-	30,0	-
J11	7954	5,5-5,9	F8 CV		17,2	28,5	-	18
J12	8127	4,0-4,4	F8 CV		17,5	-	19,0	-
IJ2	archivní	5,0-5,3	F7 ME		16,9	12,7	-	44
IJ2	archivní	10,2-10,5	F8 CE		17,3	17,5	-	17
J12	8128	5,7-6,0	S5 SC		19,2	-	29,0	-
IJ4	archivní	1,7-2,0	F1 MG	Podloží náspu	19,4	25,3	-	17
IJ4	archivní	5,7-6,0	F7 MH		19,3	17,0	-	20
J4	7862	8,4-8,8	F8 CE		17,2	11,5	-	13
J4	7865	10,5-10,7	F8 CE		17,7	19,0	-	13
J7	7945	9,3-9,8	F7 MH		16,2	17,5	-	6
J7	7946	12,0-12,6	F7 MH		16,2	19,0	-	4
J9	7881	7,5-8,0	F7 MV		17,0	19,0	-	13
J12	7952	11,7-12,0	F8 CV		17,1	16,0	-	3
JH07	8124	1,5-2,0	F8 CE		16,8	26,5	-	27

Z důvodu značné heterogenity tělesa náspu nemohla být velká část odebraných neporušených vzorků použita pro laboratorní zkoušky. V rámci jednoho zkušebního tělesa docházelo ke střídání několika typů zemin nebo zemina obsahovala úlomky hornin velikosti, která znemožňovala laboratorní zkoušky provést. Z tohoto důvodu byly některé vzorky zcela vyřazeny ze zkušebního plánu a u některých byl upraven typ zkoušek, např. stanovení kritických smykových parametrů na rekonstituovaném vzorku na místo vrcholových parametrů stanovených na vzorku neporušeném, viz tabulka č. 4. Zároveň je nutné upozornit na skutečnost, že výsledky některých laboratorních zkoušek jsou pro daný typ materiálu až příliš optimistické a představují spíše odlehlé hodnoty, které nedoporučujeme uvažovat pro geotechnické výpočty. Např. smyková zkouška č. 7954 (viz tabulka č. 4):

zemina F8 CV, $\varphi_p = 28,5^\circ$, $c_p = 18$ kPa

představuje dle názoru zpracovatele naprosto odlehlé hodnoty, které by při použití do stabilitních výpočtů mohly zapříčinit zcela závadějící výsledky. Zohledněny byly také výsledky laboratorních zkoušek a závěry z archivního průzkumu z roku 2009 (Opěla), v tabulce č. 4 jsou vzorky označeny jako archivní. Autor sám v uvedeném průzkumu doporučuje uvažovat se smykovými parametry vysoce plastických jílu v tělese náspu s $\varphi_p = 20-22^\circ$ a $c_p = 2-4$ kPa, což jsou hodnoty výrazně nižší, než ty zjištěné z některých laboratorních zkoušek.

Tabulka č. 5: Přehled výsledků zkoušek zhutnitelnosti PS, CBR a IBI

Vrt	Hloubka odběru (m)	Zatřídění SŽ S4	Lokalizace	Proctor standard		CBR [%]	CBR _{sat} [%]	IBI [%]
				$\rho_{d,max}$ [kg.m ⁻³]	w_{opt} [%]			
J5	1,2-1,8	F8 CV	Násep	1500	23	1,5	0,5	0,5
J2	1,0-2,9	S5 SC		1930	12	13	8,5	9,5
J6	1,1-3,8	S4 SM		1900	11	16	8	10
J8	1,0-4,7	S5 SC		1860	12	12	8	10
J10	1,7-3,9	S4 SM		1980	10	22	5,5	21
J12	1,8-3,6	S5 SC		1950	9,3	30	18	28

Tabulka č. 6: Zkoušky CBR a IBI na zemínách zlepšených aditivem Geosol C30 a C50

Zatřídění SŽ S4	Aditivum	Obsah aditiva [%]	Proctor standard		CBR [%]	CBR _{sat} [%]	IBI [%]
			$\rho_{d,max}$ [kg.m ⁻³]	w_{opt} [%]			
S4 SM S5 SC	Geosol C30	1 %	1910	10	50	60	26
		2 %	1920	11	55	60	35
		3 %	1870	12	60	100	35
	Geosol C50	1 %	1900	12	23	45	12
		2 %	1910	11	55	105	27
		3 %	1910	11	50	125,1	40

Dle zadání průzkumu byly statické zatěžovací zkoušky v úrovni zemní pláně nahrazeny laboratorními zkouškami CBR a IBI, viz tabulka č. 5. Ve většině případů tvoří zemní pláň písky s proměnlivým podílem jemnozrné složky, které lze zatřídit jako písky jílovité (S5 SC), písky hlinité (S4 SM) nebo v menší míře písky s příměsí jemnozrné zeminy (S3 S-F). Pouze ojediněle byly v zemní pláni zastíženy jílovité zeminy charakteru jílu písčitého (F4 CS) nebo jílu s velmi vysokou plasticitou (F8 CV).

Písky odebrané ze zemní pláně byly nahutněny při optimální vlhkosti a následně stanoveny hodnoty IBI, CBR a CBR_{sat}. Naměřené hodnoty IBI se pohybují převážně kolem hodnoty 10 %, pouze u vzorků z vrtů J10 a J12 přesahují hodnotu 20 %. Hodnoty CBR_{sat} se pohybují v rozmezí 5,5-8,5 %, pouze u vzorku ze sondy J12 dosahují až 18 %. Na základě empirického vzorce byl stanoven odpovídající deformační modul na druhé přítěžovací větvi $E_{def,2}$:

$$E_{def,2} [MPa] = 16,458 \times \ln(CBR [\%]) - 9.9001 \text{ (Pospíšil 2003)}$$

Vypočtená hodnota modulu deformace $E_{def,2}$ se pohybuje v intervalu 31-46 MPa, nicméně tato hodnota platí pro zeminy nahutněné zkouškou Proctor standard za optimální vlhkosti. Lze předpokládat, že v dosahu zatížení pod šterkovým lože jsou zeminy dostatečně zhutněné a vypočtené moduly jsou reprezentativní pro podmínky in situ.

Z jílu nacházejících se v úrovni zemní pláně byl odebrán pouze jeden vzorek z vrtu J5, který byl zatříděn jako jíl s velmi vysokou plasticitou (F8 CV). Vzorek byl odebrán jako neporušený, nicméně v laboratoři nebylo možné vyřezat zkušební těleso, a proto byl

opět připraven nahutněný vzorek, ovšem tentokrát při přirozené vlhkosti, aby naměřené hodnoty co nejlépe reprezentovaly stávající stav. Hodnoty CBR_{sat} i IBI 0,5 % jednoznačně vypovídají o nízké kvalitě zeminy.

Podrobnější informace o využití zeminy do zemního tělesa jsou uvedeny ve zprávě „Zhodnocení materiálu tělesa náspu pro případné použití do zemního tělesa“.

5.5 HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY ÚZEMÍ

Z pohledu zemního tělesa je významný pouze svrchní terciérní obzor vázaný na stratigrafické členy pánevní výplně. Má velmi rozmanité hydraulické parametry, nicméně jako celek je charakterizován nízkou propustností ovlivněnou převahou tufitických a jílových uloženin. Hydraulické vlastnosti zemin jsou značně nehomogenní v horizontálním i ve vertikálním směru. Zvodnění je vázáno především na některé typy tufitů a tufů (schopné rozpukání), písčité polohy a polohy s organickou příměsí. Střídání vrstev s rozdílnými hydraulickými parametry má za následek, že hladina podzemní vody je často mírně napjatá.

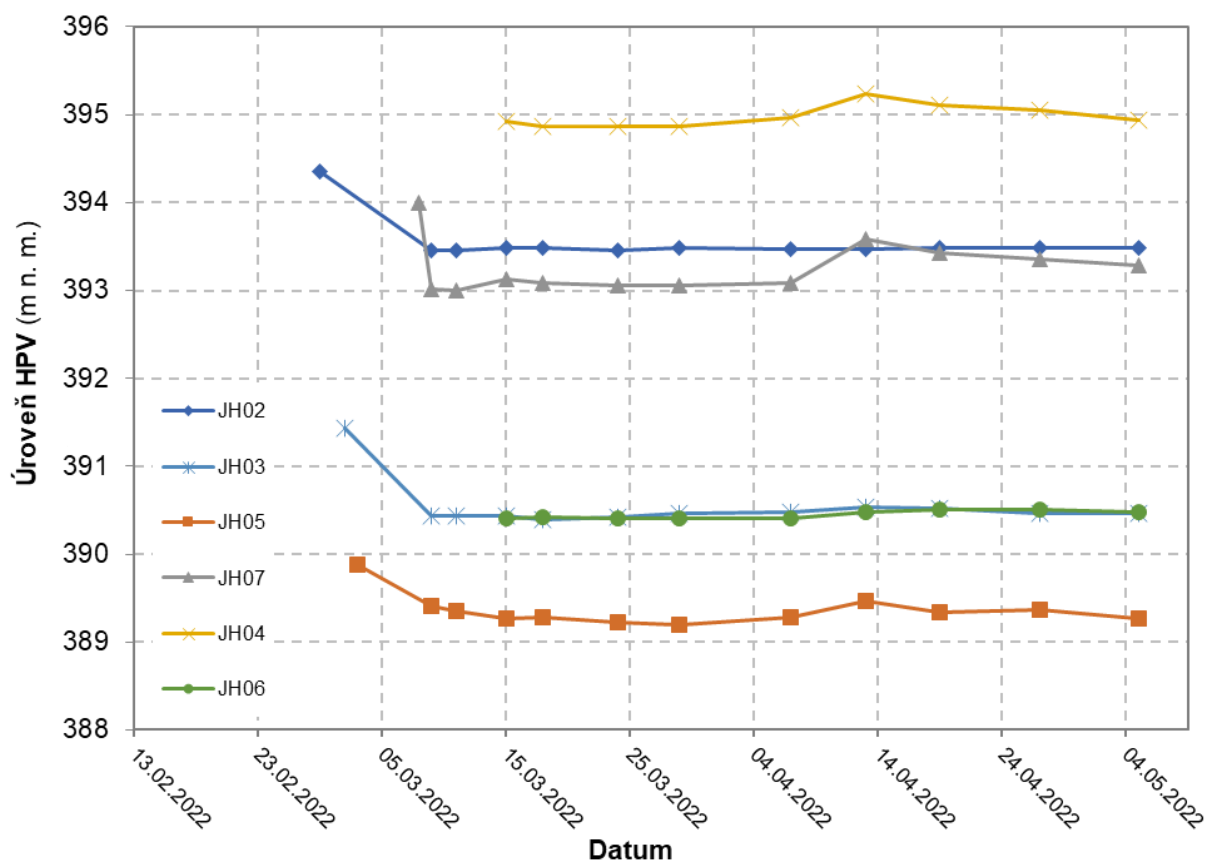
Terén na jihovýchodě od tělesa náspu formuje lokální splachovou depresi, kde těleso náspu vytváří hydraulickou bariéru pro povrchové vody. Vzhledem k nízké propustnosti jílovitých zemin je infiltrace vody do horninového prostředí značně omezena a srážkové vody se i přes již provedená opatření koncentrují v této depresi. Vytváří se tak zamokřená území s vodomilnou vegetací v těsném okolí náspu (foto 13 v příloze č. 14).

V rámci průzkumných prací bylo u paty náspu na zájmovém úseku trati realizováno 7 ks hydrogeologických pozorovacích vrtů a 2 vrty osazené snímači pórového tlaku. Vývoj hladiny podzemní vody v období březen-květen 2022 je zobrazen na obrázku č. 2, prezentace měření pórového tlaku ve vrtech MPT se nachází v příloze č. 13.

Tabulka č. 7: Přehled hladin v nově provedených průzkumných sondách

Sonda	Pozice vrtu vůči náspu	Staničení	HPV naražená		HPV ustálená		
			m p.t.	m n.m.	m p.t.	m n.m.	datum
JH02	vpravo	186,602	10,8	393,34	10,66	393,48	5.5.2022
JH04		186,859	5,0	391,56	1,62	394,94	5.5.2022
JH06		186,976	1,0	391,23	1,75	390,48	5.5.2022
JH03	vlevo	186,855	2,5	388,97	1,01	390,46	5.5.2022
JH05		186,953	2,0	387,94	0,68	389,26	5.5.2022
JH07		187,083	3,0	391,07	0,79	393,28	5.5.2022

Naměřená data v pozorovacích vrtech dokladují mělkou hladinu podzemní vody, která se na západní části území pohybuje v hloubce 0,7-1,0 m (úroveň 389,3-393,3 m n.m.) a v hloubce 1,6-1,7 m na východní straně náspu (úroveň 390,5-395,0 m n.m.). Obdobné hodnoty ukazují i snímače pórových tlaků, hladina 0,7 m pod úrovní terénu na levé straně náspu (vrt MPT1) a 0,9 m pod úrovní terénu na pravé straně náspu (vrt MPT2). Hladiny jsou ve všech vrtech dlouhodobě ustálené bez výraznějších výkyvů.

Obrázek č. 2: Vývoj hladin podzemní vody v pozorovacích vrtech JH02-JH07

Část povrchových a mělkých podpovrchových vod z východní části území je odváděna propustky ve staničení km 186,696 a 186,982. V roce 2004 byl u propustky v km 186,696 vybudován drenážní odvodňovací systém u paty svahu a propustek opraven. Rozsah těchto drenážních opatření je ovšem nedostatečný, jak dokazuje stojatá voda v bezprostřední blízkosti drenáže.

V rámci průzkumných prací byla ověřena funkčnost stávajících drenážních systému v dané lokalitě. Zatímco oba propustky byly v aktuálním roce vyčištěny, tak drenážní pero u paty svahu vpravo u propustky v km 186,696 je nefunkční. V délce drenáže byly provedeny celkem tři kopané sondy pro ověření stávajícího stavu. Přestože kamenivo drenáže bylo jen částečně zanesené se svrchní části, separační geotextílie byla zcela zakolmatována okolními jíly a voda do drenážního pera proudila jen velmi omezeně nebo vůbec.

Součástí monitoringu bylo také sledování množství vody vytékající z patní drenáže na levé straně odvodňující svah a sanaci náspu z roku 2013. Po celou dobu prací, února – květen 2022, nebyly zaznamenány žádné výtoky vody z této drenáže.

5.6 VÝSLEDKY GEOFYZIKÁLNÍHO PRŮZKUMU

Cílem geofyzikálního průzkumu bylo ověřit rozsah zvodnění v násypovém tělese a identifikace případného poškození pláně tělesa železničního spodku a zemní pláně, včetně ověření výskytu hlubokých smykových ploch. K tomuto účelu byly využity dvě geofyzikální metody.

Elektrická odporová tomografie (ERT)

Výsledky měření jsou zobrazeny na dvou podélných geoelektrických řezech s komentářem k měření v závěrečné zprávě (příloha č. 11). Vymapovány byly jak polohy s naměřenými nízkými měrnými elektrickými odpory značící pravděpodobně zvodnělá místa, tak i polohy odpovídající suchým nebo hrubozrnným zeminám. Vzhledem ke značnému rozsahu naměřených hodnot měrného elektrického odporu lze hovořit o značné heterogenitě zemního tělesa. V km cca 186,775 byla identifikována výrazná anomálie, kterou lze interpretovat také jako větší antropogenní objekt.

Naměřená data potvrdily zvodnělé polohy v tělese náspu i značnou nehomogenitu jeho litologického složení. Dále posloužily při návrhu umístění jednotlivých prvků monitorovacího systému.

Průzkum georadarem (GPR)

Měření bylo provedeno v úseku Karlovy Vary – Karlovy Vary Dvory (km 186,400-187,100) kolej č.1 a kolej č.2. Výsledky provedeného průzkumu ukazují na značnou nehomogenitu zemního tělesa. Ve většině měřených profilů jsou viditelné výrazné odrazy v hlubších partiích tělesa železničního spodku, které ukazují na přítomnost jemnozrnných zemin s velmi vysokou vlhkostí pod tímto rozhraním. Spodní části zemního tělesa jsou proto pravděpodobně nasycené vodou.

V úsecích 186,450-186,488 za vnějšími hlavami pražců u koleje č.1 a v úseku 186,452-186,486 v ose dvoukolejné trati lze pozorovat průhyb rozhraní, který prochází více měřenými profily. Jde o problémové místo závažnějšího charakteru, neboť průhyb prochází pod celou kolejí č.1. Tento průhyb může ukazovat na změnu skladby podloží pod kolejovým ložem, nebo přímo na poruchu v tělese železničního spodku.

Místa s výraznými nehomogenitami, které by přímo ukazovaly na poruchu v tělese železničního spodku, nebyly průzkumem zaznamenány. Kompletní zpráva z provedeného průzkumu se nachází v příloze č. 10.

5.7 PODDOLOVÁNÍ A JEHO VLIV NA ZEMNÍ TĚLESO

Dle závěru znalce se zájmový úsek trati nachází na složitém geologickém území, kde se kromě výskytu terciární hnědouhelné sloje sokolovské sedimentační oblasti nachází také ložiska kaolinu jako výsledek větrání bazálního žulového podkladu.

V úseku železnice km 186,300 – 186,500, ve vzdálenosti cca 400 m, byla lomovým způsobem dobývána sloj Antonín. Těžba této separátní pánve neovlivnila stabilitu tělesa v tomto úseku.

Od km 187,050 je evidována těžba kaolinu. Toto území se ovšem nachází již mimo oblast zadání. Těžební pole je umístěné jižně od tělesa železnice Karlovy Vary – Chodov, až do km 187,400, kde otvirková chodba zastihla tektonickou poruchu, na které byl výron vody v množství dosahující 1000 l/min. Po utěsnění výronu v roce 1940 bylo zahájeno dobývání ložiska až do roku 1942. Těžba kaolinu na obou dolech byla ukončena rokem 1942, kdy došlo v důsledku nepříznivých událostí k totální mobilizaci německého obyvatelstva.

Z hlediska státní báňské správy byla v době hornické činnosti dodržena všechna nařízení a zvyklosti vedení porubní fronty. Pouze spojovací těžební chodba, ražena pod tělesem železnice v km 187,155 nebyla zlikvidována podle zvyklostí, tj. zaplavením popílkem v délce pod drážním pilířem. Úsek chodby je v cihlové klenbě a její stabilita může být narušena v důsledku ztráty pevnosti cihlové klenby. Znalec doporučuje i tento úsek trvale zabezpečit zaplavením popílkem.

Znalec dále upozorňuje na skutečnost, že podle základní důlní mapy dolů Pfeiffer a Lorenz západně od km 187,100 jsou v ochranném pilíři na jeho severní straně evidovány důlní chodby a za km 187,500 pozn. „stařiny, dolové pole“.

Podrobnější informace jsou obsaženy ve zprávě posudku báňského znalce v samostatné příloze č. 12.

6. ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ PRŮZKUMU

6.1 SLOŽENÍ ZEMNÍHO TĚLESA

Kvalita zemin náspu je vertikálně i horizontálně velmi proměnlivá, viz inženýrskogeologické profily v příloze č. 4. Dochází zde ke střídání vrstev plastických jílů, písků, ale i štěrků s proměnlivým podílem jemnozrné frakce. Ke stavbě byly hojně využívány i místní materiály charakteru jílu a hlín velmi vysoké až extrémně vysoké plasticity. Tento materiál tvoří na většině území také přímé podloží náspu.

Z provedených laboratorních zkoušek vyplývá, že jemnozrné zeminy v tělese náspu jsou silně převlhčené s přirozenou vlhkostí v intervalu 26-56 %. Stupeň nasycení jílovitých zemin je vysoký, obvykle $S_r > 92$ % a pórovitost plastických jílů dosahuje až 60 %. Mez tekutosti u jemnozrných zemin se v řadě případů pohybují nad hranicí 50 % a u jílu a hlín s extrémní plasticitou dosahuje až k hodnotám 95 %. Konzistence zemin převažuje měkká až tuhá s hodnotami I_c klesající až k 0,3. Zároveň jsou zeminy velmi málo zhuštěné se suchou objemovou hmotností v intervalu $\rho_d = 1190-1580 \text{ kg/m}^3$.

Zatímco průzkumné vrty měly za úkol ověřit především litologické složení náspu a sloužily k odběru vzorků pro laboratorní zkoušky, pro zjištění konzistence a ulehlosti se lépe hodí sondy dynamické penetrace. Jak v tělese náspu, tak na jeho svazích se hodnoty zjištěného dynamického odporu Q_d pohybovaly převážně kolem hodnoty 1 MPa. Polohy hrubšího materiálu s vyšším podílem štěrku a písku dosahovaly odporu 3-6 MPa. Alarmující jsou vrstvy o mocnosti i několik metrů, kde odpor proti penetračnímu soutyčí byl natolik nízký, že docházelo i propadu soutyčí o více než 10 cm na jeden normovaný úder. V tomto směru byly nejhorší podmínky zaznamenány v sondě DP10/3 (profil v km 186,951), DP11/3 (km 187,007) nebo DP12/3 (km 187,055), kde byly vrstvy s velkým počtem propadů penetračního soutyčí zaznamenány až do hloubky cca 2,5 m. Nutno upozornit, že vrstvy s velmi nízkými hodnotami dynamického odporu zasahují mnohem hlouběji (často i 5,5 m) a vrstvy s propadem soutyčí byly ověřeny i při bázi náspu (sonda DP8/3 v km 186,855). Hodnoty dynamického odporu do 1,5 MPa lze jednoznačně interpretovat jako zeminy s měkkou konzistencí nebo zeminy málo ulehlé.

Zastižení podloží náspu se na většině sond dynamické penetrace projevilo nárůstem penetračního odporu k hodnotám v rozmezí $Q_d = 3-5 \text{ MPa}$, někdy i s pozvolným nárůstem s hloubkou odpovídající přechodu podloží z jílu z tuhé do pevné konzistence. S narůstající hloubkou ovšem dochází v prostředí jílu k neúměrnému nárůstu tření na penetračním soutyčí, které negativně ovlivňuje měřené hodnoty penetračního odporu. Situace je o to horší v případě prostředí plastických jílu měkké/tuhé konzistence, které se vytlačují do otvoru pro penetraci a obsednou soutyčí. I přes průběžné měření krutného momentu na soutyčí a zavedení opravného součinitele, je nutné počítat se zkreslením výsledků měření ve větších hloubkách. Z důvodu extrémních hodnot ($> 250 \text{ kN}$) krutného momentu byla řada sond ukončena před dosažením alespoň báze náspu.

Vzhledem k výše uvedeným výsledkům ke zřejmé, že většina jemnozrnných zemin v tělese náspu nesplňuje podmínky předpisu SŽ S4 příloha č. 10 pro použití do zemního tělesa. Sondy byly umístěny vždy u paty svahu, na svazích i při hraně svahu a poskytují tak dobrou informaci o vlastnostech zemin náspu v celém příčném profilu. Z tohoto pohledu se nedá říci, že některá část zájmového úseku vykazovala výrazně lepší/horší stav oproti zbytku, nebo že situace se liší pod jednotlivými koleji. Naměřené výsledky jsou konzistentní po celé délce zájmového úseku náspu a domníváme se, že dobře reprezentují stávající stav zemního tělesa.

Během realizace průzkumného vrtu J12 v ose 2a. SK v km 187,055 byly v hloubce 3,3 – 4,5 m zastiženy kusy dřeva včetně kůlu délky až 0,5 m. Domníváme se, že se jedná o dřevěné bárky, kolem kterých bylo zemní těleso vystavěno.

6.2 PŘÍSY P NÁSPU VLEVO A PŘITĚŽOVACÍ LAVICE

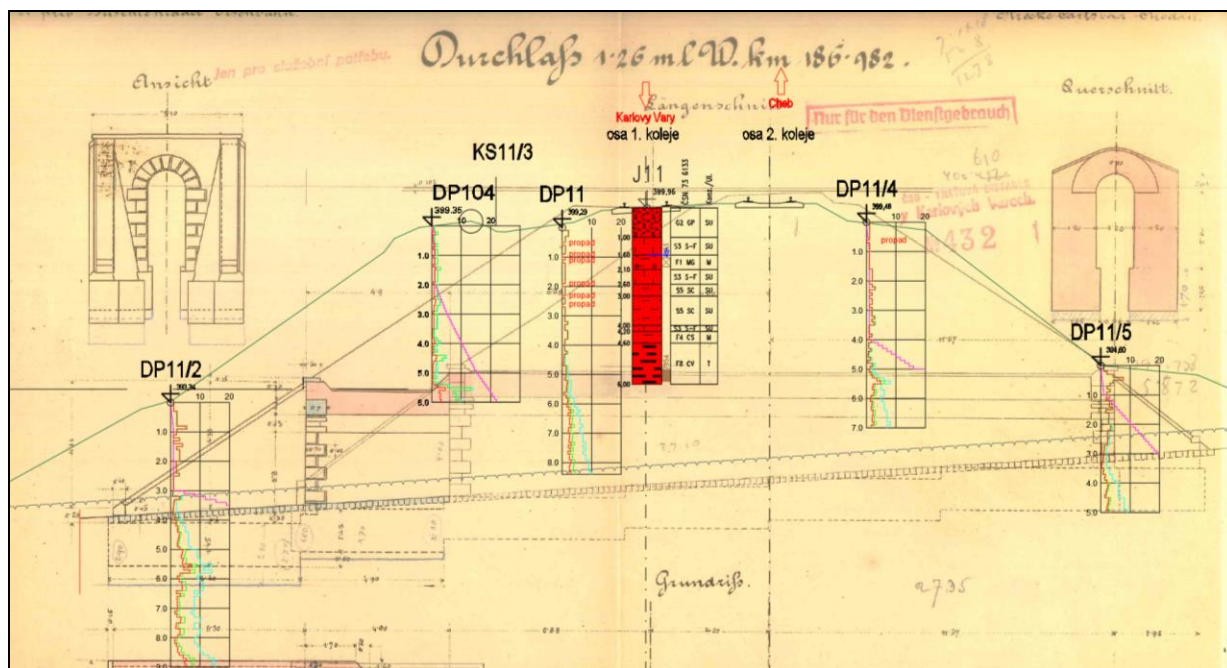
Pro zpracování průzkumu nám byly s laskavým přispěním odborných zástupců objednatele poskytnuty vybrané podklady z archivu Správy železnic, státní organizace. Jednalo se mimo jiné o historické technické výkresy v místech propustků v km 186,696 a km 186,982. Tyto výkresy byly podloženy pod nově vytvořené příčné řezy ve snaze identifikovat z výsledků průzkumných prací rozhraní příspy realizovaného na konci 19. st. za účelem zdvoukolejnění trati (obrázek č. 3). Z dnešního pohledu se historický přísp nachází pod 1. TK. Z archivní výkresů je zřejmé, že svahy původního náspu (SK 2a) byly na obou stranách v jednotném sklonu cca 33°. Přísp na levé straně byl tedy proveden zhruba ve stejném sklonu, jaký měl původní násep. Porovnáním svahů na pravé straně jsou zřejmé malé úpravy sklonu svahu, kdy pravděpodobně došlo k částečné reprofilaci odebráním materiálu při hraně svahu a přesunutí do paty. Výraznější změny nebo příspy na pravé straně nejsou z podkladů patrné.

Dynamické penetrace provedené na svazích příspy vlevo ověřily nízkou kvalitu zemin především do hloubky cca 2,0-2,5 m, kde byly nejčastěji zaznamenány velmi nízké hodnoty dynamického penetračního odporu. Tato hloubka sice může odpovídat rozhraní původního náspu a příspy, ovšem penetrační odpor byl obecně velmi nízký po celou výšku náspu a žádné ostré rozhraní zde zastiženo nebylo.

Přímo na svazích nebyly provedeny žádné kopané sondy především pro nepřístupnost jakékoliv techniky, ovšem v rámci průzkumu byly realizovány sondy u paty a na hraně svahu. Materiál příspy zastižený na levé straně měl charakter heterogenní směsi zahrnující hlíny a jíly písčité (F3 MS, F4 CS), písky jílovité až písky s příměsí jemnozrnné zeminy (S5 SC, S3 S-F), štěrky hlinité (G4 GM) nebo jíly s vysokou plasticitou (F8 CH). Svahy náspu na pravé straně měly více jemnozrnný charakter a obecně byly zastiženy především jíly a hlíny vysoké až velmi vysoké plasticity (F7 MH, MV a F8 CH, CV).

Jedním z cílů průzkumu bylo také ověření přítomnosti případných přitěžovacích lavic při patě náspu. Žádnou z provedených průzkumných sond se šterkovitá nebo kamenitá přitěžovací lavice zastihnout nepodařilo.

Obrázek č. 3: Příčný profil v km 187,007 s podloženým archivním výkresem propustku z km 186,982. Profily nevedou přesně stejným místem a jsou vzdáleny od sebe o cca 15 m.



6.3 STABILITNÍ ANALÝZA

Na dvou charakteristických profilech byly provedeny stabilitní analýzy s cílem kvantifikovat bezpečnost stávající konstrukce. Výpočty byly provedeny dle požadavků SŽ S4 podle norem EN 1997 a ČSN 73 6133. Jedná se o tyto příčné profily:

příčný profil v km 186,906

příčný profil v km 187,055

Vzhledem ke značné heterogenitě litologického složení náspu bylo nutné přistoupit k určitým modelovým zjednodušením. Jednotlivé vrstvy jsou uvažovány jako horizontální s jednotnými vlastnosti pro celou vrstvu. Složení náspu tak odpovídají málo ulehle písků ve svrchní části a ve spodní části plastické jíly (profil v km 186,906) nebo jíly písčité (profil v km 187,055). Podružně jsou pak zastoupeny i hlíny štěrkovité.

Je zřejmé, že nízké hodnoty konzistence pro svrchní písčité polohy mají velmi negativní vliv na stabilitu mělkých smykových ploch na obou stranách náspu. Vzhledem ke značné výšce náspu (dosahující až 12 m) a vysokým sklonům svahu pohybujícím se kolem 30°, dochází k překračování smykové pevnosti a model generuje mělké smykové plochy při povrchu svahu. Z tohoto důvodu byla pro potřeby výpočtu navýšena hodnota koheze na $c'=3$ kPa pro písků i pro jíly s kritickými smykovými parametry. Přes toto opatření ovšem docházelo ke kolapsu mělkých smykových ploch v profilu km 186,906 vlevo s vypočteným stupněm bezpečnosti $FS=0,94$.

Celková stabilita náspu se smykovými plochami zasahujícími až na bázi náspu je silně závislá na parametrech, které jsou použity pro jílovitý materiál, který tvoří spodní část náspu. V případě použití vrcholových parametrů zjištěných z laboratorních zkoušek

je vypočtený stupeň bezpečnosti $FS=1,51$ (profil v km 187,906) na hranici vyžadované normou ČSN 73 6133. V případě použití kritických smykových parametrů je výpočet opět na hranici definované normou ($FS=1,15$).

Domníváme se, že pro svahy předmětného náspu je vhodnější využití kritických smykových parametrů oproti parametrům vrcholovým. Jednak proto, že svah již byl historicky postižen řadou sesuvů a také proto, že zeminy v jádře náspu vykazují převážně měkkou konzistenci, která odpovídá minimální soudržnosti. Samotné těleso náspu je navíc značně heterogenní, a přestože zde budou zastoupeny zeminy, jejichž parametry mohou odpovídat vrcholovému stavu, jistě zde budou (a pravděpodobně převažují) přítomny i zeminy, jejich vrcholová pevnost již byla vyčerpána a nyní se nacházejí blíže kritickému stavu. Použití kritických smykových parametrů je pak metodicky vhodnější a na straně bezpečnosti.

V průběhu vrtných prací i během dokumentace kopaných sond, nebyly nikde v geologickém profilu zaznamenány stávající smykové plochy. Vrtné jádro mělo často charakter měkké jílovité zeminy, která se vlastní vahou dotvářela a případná smyková plocha by zde pravděpodobně ani nebyla diskrétní. V jílech tuhé nebo pevné konzistence žádné predisponované sesuvné plochy dokumentovány nebyly.

Z provedené stabilitní analýzy vyplývá, že těleso náspu je ohrožené především mělkými sesuvy s hloubkou smykové plochy do cca 2 m. Svahy jsou značně vysoké a při stávajícím sklonu budou při nepříznivých podmínkách, jako jsou například dlouhodobé srážky, náchylné ke svahovým deformacím. Tyto pohyby sice pravděpodobně nezasáhnou až na bázi tělesa, ale mohou postupně progradovat až pod stávající koleje. Z uvedených důvodů je nutné uvažovat svahy náspu v labilní rovnováze a k zemnímu tělesu přistupovat jako v havarijním stavu.

Kompletní protokoly geotechnických výpočtů jsou uvedeny v příloze č. 10.

6.4 PŘÍČINY AKTUÁLNÍHO STAVU

Hlavní příčinou stávajícího špatného stavu zemního tělesa je především voda, která proniká do náspu. Postupem času dochází k saturaci zemin náspu, poklesu jejich indexu konzistence a následně degradaci jejich deformačních i smykových charakteristik. Mechanismus pronikání vody do náspu je zobrazen na obrázku č. 4.

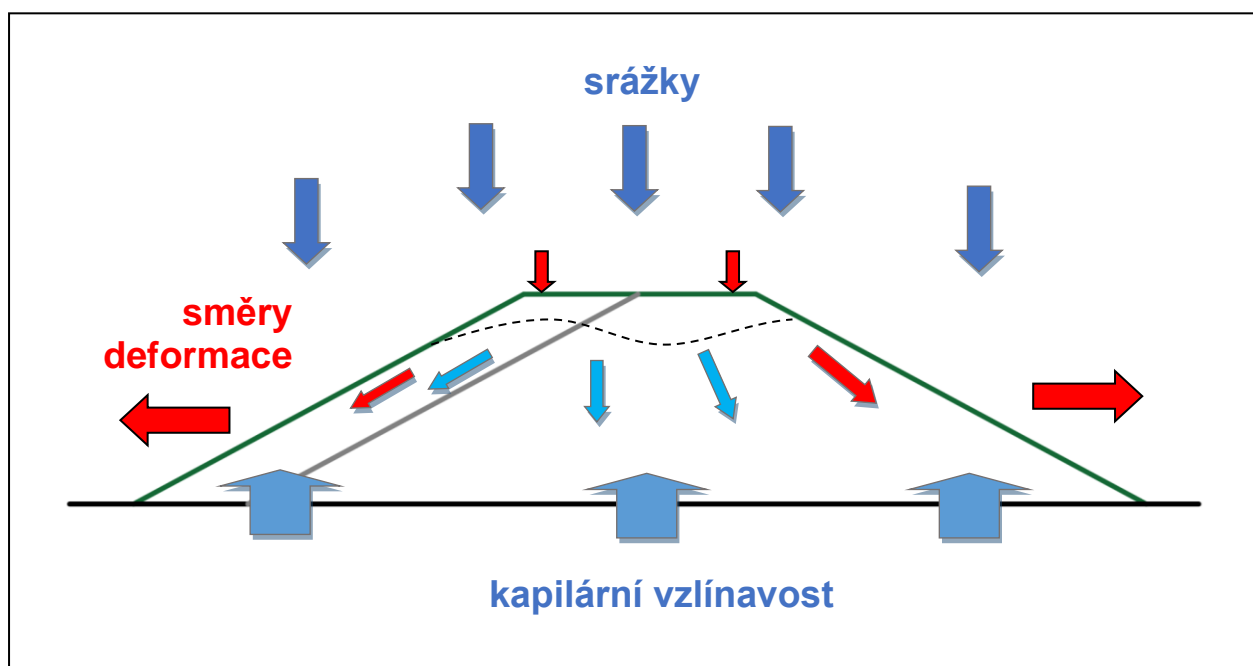
Voda se do zemního tělesa dostává primárně od spodu, tedy kapilárním vztlínáním, kdy jílovité zeminy náspu do sebe natahují mělkou podzemní vodu, popř. povrchovou vodu, která se drží v blízkosti paty náspu. Jak potvrdil provedený průzkum, na bázi zemního tělesa se nenachází žádná sanační vrstva kameniva, která by oddělovala násep od podloží a tím přerušila kapilární síly. Vzhledem k mělce uložené hladině podzemní vody do 1 m na západní straně a cca 1,6 m na východní straně, dochází snadno k transportu podzemní vody do náspu a jeho postupnému sycení. Situace je tím horší, pokud se v blízkosti náspu nachází stojatá povrchová voda. Tato situace nastala při havárii kanalizace na podzim roku 2021, kdy v kombinaci se zanešením obou propustků došlo k vytvoření rozsáhlé laguny a podmáčení širšího okolí náspu.

Z uvedených důvodů je zcela zásadní udržovat všechny propustky čisté a umožnit vodě odtok ze zájmové oblasti.

Kromě kapilárního vztlínání z podloží či ze spodní úrovně náspu je dalším faktorem současného stavu fakt, že zeminy v úrovni zemní pláně a aktivní zóny jsou navíc syceny i zasakující a neodtékající srážkovou vodou. Vzhledem ke stáří zemního tělesa i opakovanému dotvarování následkem sedání náspu, bylo potvrzeno geofyzikálními měřeními, že zemní pláň je nerovná a dochází k formování bezodtokých kapes, kde se srážková voda kumuluje a odkud proniká dále do jádra náspu. Jako preferenční cestu pro proudění vody lze předpokládat rozhraní původního náspu a nového přísypu za účelem zdvoukolejnění (naznačeno šedou barvou na obrázku č. 4). Obecně platí, že voda bude proudit propustnými polohami z hrubozrnného materiálu, který bude tvořit např. zásypy výkopů pro vedení kabelů.

Opakující se deformace zemního tělesa jsou výsledkem dlouhodobého procesu saturace zemin náspu v průběhu mnoha desítek let. Postupně docházelo k degradaci jemnozrnného materiálu, který tvoří převážnou část zemního tělesa, až po dosažení stávajícího havarijního stavu. Lze konstatovat, že konstrukce již vyčerpala svojí předpokládanou životnost a pro další provoz je nutné počítat s celkovou rekonstrukcí náspu.

Obrázek č. 4: Schématický obrázek náspu s vyznačenými cestami pronikání vody do zemního tělesa



7. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Výsledky inženýrskogeologického průzkumu a průběžně realizovaného kontrolního sledování jednoznačně potvrzují havarijní stav zemního tělesa železničního náspu, a to v celé části řešeného úseku, tj. v km 186,450 až 187,100 (délka 650 m). Důvody, které vedou autory posudku k tomuto tvrzení jsou stručně shrnuty v následujících odstavcích, detailně jsou pak dokladovány v předchozím textu posudku a v jednotlivých tabelárních a grafických přílohách.

V současné době vykazují svahy železničního náspu stupeň stability blízky labilní rovnováze, což potvrzují i provedené stabilitní výpočty. Tento nepříznivý stav je evidován nejen v místě historického přísypu pod 1. TK, kde došlo za posledních 20 let k několika svahovým deformacím, vynucenému přerušení provozu a následným sanacím, ale již také i na svazích původního tělesa pod SK 2a, kde výrazné svahové deformace nebyly až do minulého roku registrovány.

Příčin vzniku svahových nestabilit je hned několik. Zcela zásadním problémem se ukazuje skutečnost kapilárního vztlínání mělce zjištěné podzemní vody do vlastního tělesa náspu, čímž dochází ke snižování geotechnických vlastností zemin na bázi vlastního náspu. Ty jsou většinou prezentovány jemnozrnnými zeminami tuhé až měkké konzistence, s vysokou vlhkostí a pórovitostí. Charakter zastižených zemin potvrzuje absenci drenážní vrstvy na bázi náspu, která by byla realizována při jeho budování. Lze předpokládat, že funkci „šterkového polštáře“ nahrazoval od počátku systém povrchového odvodnění při levé a pravé patě původního náspu (SK 2a). Po dosypání přísypu pod 1.TK koncem 19. století nebo při posilování této patní části přísypu mohlo dojít k zasypání povrchového odvodnění. V současnosti je patrné povrchové odvodnění pouze na východní straně náspu, které až do konce roku 2021 bylo silně zanesené a tím i minimálně funkční. Ke zhoršení celkového stavu HG poměrů v těsné blízkosti západní paty a potažmo i báze náspu ještě přispěla dlouhodobá porucha místní kanalizace v roce 2021 a dále stavební práce spojené s bytovou výstavbou, které vedly k vytvoření bezodtokých lagun na východní straně náspu. Tyto zjištění potvrzuje geofyzikální měření odporové tomografie ERT z března tohoto roku, které dokladuje především v úseku km cca 186,700 – 186,800 snížené odpory, tedy zvýšenou saturaci v tělese náspu.

Kromě kapilárního vztlínání z podloží, či ze spodní úrovně náspu, je dalším určujícím faktorem vzniku současného stavu fakt, že zeminy v úrovni zemní pláně a aktivní zóny jsou navíc syceny i zasakující a neodtékající srážkovou vodou. Vzhledem ke stáří zemního tělesa i opakovanému dotvarování následkem sedání náspu, bylo potvrzeno geofyzikálními měřeními, že zemní pláň je nerovná a dochází k formování bezodtokých kapes, kde se srážková voda kumuluje a odkud proniká dále do jádra náspu.

Opakující se deformace zemního tělesa jsou výsledkem dlouhodobého procesu saturace zemin náspu v průběhu mnoha desítek let. Postupně docházelo k degradaci jemnozrnného materiálu, který tvoří převážnou část zemního tělesa, až do dosažení

stávajícího havarijního stavu. Lze konstatovat, že konstrukce již vyčerpala svojí předpokládanou životnost a pro další provoz je nutné počítat s celkovou rekonstrukcí náspu.

Na základě výše uvedeného jednoznačně doporučujeme pro zajištění bezpečnosti a plynulosti drážního provozu, předmětný úsek trati bezodkladně sanovat.

Dále dle závěrů báňského znaleckého posudku doporučujeme v úseku trati km 187,050 až km 187,750 realizovat doplňkový průzkum se zaměřením na poddolování v blízkosti vlastní tratě, především pak v ochranném pilíři vlastní dráhy.

7.1 DOPORUČENÍ PRO PROVOZ

Pro provozování železniční dopravy do doby realizace sanačních opatření doporučujeme v celém úseku trati v km 186,450 až km 187,100 ponechat pomalou jízdu s maximální rychlostí 50 km/hod. Je žádoucí, aby zemní těleso bylo zatěžováno pokud možno rovnoměrně a železniční doprava byla rozložena na obě koleje. Zároveň nelze doporučit, aby vlaky na daném úseku zastavovaly a vyvozovaly tak dodatečné zatížení v průběhu brždění, a naopak při rozjíždění.

7.2 KONCEPCE SANACE

Ze závěrů provedeného IGP vyplývá, že zásadním problémem, který bude muset návrh definitivní sanace vyřešit, je přerušení kapilárního vztlínání mělce zjištěné podzemní vody do vlastního tělesa náspu. To je za daných podmínek možné pouze snesením stávajícího tělesa a vybudováním tělesa nového v souladu se současnými stavebními standardy, platnými předpisy a normami. Dalším faktorem, který tento maximalistický přístup k celkové rekonstrukci podporuje, jsou zastižené degradované zeminy v bazální části původního náspu pod staniční kolejí 2a. Jedná se především o jemnozrnné zeminy tuhé až měkké konzistence, s vysokou vlhkostí, pórovitostí a nepříznivými geotechnickými vlastnostmi.

Návrh celkové sanace by tedy ve svém důsledku měl představovat odtěžení železničního náspu až na jeho bázi, vytvoření či obnovu odvodňovacího systému v podloží (například realizací konsolidačně-drenážní vrstvy z hrubého kameniva zabraňujícímu kapilárnímu vztlínání podzemní vody do nově budovaného tělesa náspu a zajištění rovnoměrného sedání náspu). Na základě výsledků průzkumných prací je možné po zlepšení v místě, využít pro kompletní rekonstrukci či výstavbu, část materiálů ze stávajícího náspu. Předpokládané náklady na vlastní sanaci odhadujeme ve výši 550 až 650 mil. Kč, s časovou náročností v délce 7 až 9 měsíců.

Zcela klíčovým a určujícím faktorem zahájení realizace vlastní sanace je splnění zákonných povinností dané především stavebním zákonem. Jedná se o získání územního rozhodnutí a stavebního povolení, případně společného řízení. Tomuto kroku předchází zpracování projektových dokumentací příslušných stupňů a získání jednotlivých povolení a souhlasných stanovisek. Trvání tohoto procesu lze odhadovat na dobu 3 až 5-ti let. Tedy vlastní sanace může být zahájena nejdříve v roce 2025.

Pro zajištění bezpečnosti a plynulosti provozu osobní a nákladní dopravy v daném úseku trati je bezpodmínečně nutné do doby realizace konečné sanace zajistit provozování systému geotechnického kontrolního sledování, které je schopné v dostatečném předstihu varovat před vznikem svahové deformace a předejít vzniku mimořádné události. Součástí komplexního hodnocení musí být nastavení varovných stavů jednotlivých sledovaných veličin, tak aby při jejich překročení byla připravena technická opatření s cílem zachovat provoz na trati (minimálně na jedné koleji).

S ohledem na zkušenosti získané v traťovém úseku Hájek – Dalovice se domníváme, že technické řešení, v případě zrychleného rozvoje nežádoucích deformací v tělese náspu, může představovat již jednou vyzkoušený systém vybudování „vyztuženého nosníku“, tj. snesení železničního svršku a části náspu na úroveň báze aktivní zóny, tj. 1,5 m pod zemní pláň, úprava sklonu subpláně a vybudování dočasné vyztužené konstrukce. Náklady na výše popsanou sanaci v dílčím úseku délky cca 50 m odhadujeme na cca 15 až 20 mil. Kč, s nutnou dobou výluky cca 14-17 dní.

7.3 NÁVRH MONITOROVACÍHO SYSTÉMU

Již nyní je v rámci předmětného úseku vybudováno několik prvků kontrolního sledování, které lze dle způsobu odečtu měřených veličin rozdělit na prvky odečítané ambulantně, tj. odečet sledovaných veličin na místě, a prvky s možností přenosu měřených dat na dálku. Do první skupiny patří čtyři inklinometrické vrty pro sledování vývoje vodorovné deformace v zemním tělese, kdy tři z nich jsou situované na koruně náspu (na stezce SK 2a v km 186,700; na stezce 1. TK v km 186,977 a na stezce 1. TK v km 186,900) a jeden je u levé paty (km 186,700). Dále je to 7 hydrogeologických vrtů u paty náspu pro sledování vývoje hladiny podzemní vody v podloží zemního tělesa. Do druhé skupiny patří dvojice měřidel pórového tlaku situovaných do položí u paty náspu (pata vlevo v km 186,707 a pata vpravo v km 187,000). Dále je na svahu náspu u 1. TK v blízkosti propustku v ev. km 186,982 situovaný automatický systém pro sledování svahových deformací ZAT, který je opatřen dálkovým přenosem a varovnými stavy.

Pro zajištění bezpečnosti a plynulosti provozu osobní a nákladní dopravy v daném úseku trati do doby realizace konečné sanace doporučujeme doplnit stávající rozsah prvků geotechnického kontrolního sledování o metodu 3D geodetického měření stabilizovaných bodů, náklonoměry situované na patkách stožárů trakčního vedení a extenzometry ve vrtech situovaných v tělese náspu. Dále doporučujeme rozšířit automatický systém ZAT do další nestabilní oblasti.

Pro zahájení sledování deformací zemního tělesa náspu řešeného úseku v nejbližší možné době doporučujeme výše navržené prvky instalovat ve dvou etapách. V první fázi („operativní“), lze urychleně osadit a zahájit měření na 3D geodetických bodech a náklonoměrech. V druhé fázi („standardní“), by pak byly instalovány extenzometry. Pro možnost jejich instalace je nutné zajistit vrtnou soupravu, realizovat jádrové vrty pod pažením, a především zajistit výluky. Tyto nutné kroky, společně s potřebou dodržení technologických lhůt, vyvolávají výrazně delší časovou potřebu pro zahájení měření.

3D geodetické měření stabilizovaných bodů

Metoda 3D geodetického měření slouží ke sledování změny polohy bodů, a to jak polohově (S-JTSK), tak i výškově (Bpv). Ač se jedná o ambulantní měření, tak nespornou výhodou této metody je velice rychlá instalace bez nutnosti dodržení dlouhých technologických lhůt, a je tedy možné zahájit sledování okamžitě. Podmínkou měření ve vyšší přesnosti je vybudování vlastního bodového pole, které je nutné v čase opětovně stabilizovat.

V daném případě je uvažováno s dvojím způsobem stabilizace geodetických bodů. Pro body umístěné do zemního tělesa náspu je uvažováno s hloubkovou stabilizací (roxor do hloubky min 1,2 m pod ÚT včetně betonového soklu u terénu), kdy celkový počet těchto bodů činí 69 ks. Tyto body jsou určeny pro sledování případných svahových deformací mělce pod terénem, mimo vliv mrazu. Dále jsou to body (čepy) stabilizované pomocí hmoždinky z čela pražců. Těchto bodů je uvažováno 28 ks a slouží pro sledování případných deformací železničního svršku. Body jsou situovány do 14-ti příčných profilů a jeden bod je situován samostatně do blízkosti levého portálu propustku v ev. km 186,696.

Odhadované náklady na vybudování 3D geodetických bodů včetně případné rezervy na obnovu bodů a dále na vybudování základního bodového pole a jeho následnou údržbu, činí 0,6 mil. Kč. Doba realizace je odhadována na 14 dní. Pro instalaci není nutné žádat o výluky. Náklady na jedno proměření geodetických bodů činí cca 70 tis. Kč.

Náklonoměry

Náklonoměry jsou zařízení měřící odklon od horizontální nebo vertikální roviny sledovaného objektu, a to buď v jednom směru (jednoosé) nebo současně i ve směru kolmém (dvouosé). Odečet je prováděn buď ambulantně, nebo pomocí dataloggeru, kde je možnost i online dálkového přenosu dat.

V daném případě je uvažováno s náklonoměry dvouosými s automatickým online odečtem, které by byly situovány na železobetonových patkách stožárů trakčního vedení a stabilizovány pomocí šroubů a ocelových hmoždinek přímo do základu. Konkrétně je navrženo osadit náklonoměry na 12 ks patek stožárů trakčního vedení (č. 29, 30, 38, 41, 43, 44, 45, 46, 51, 52, 55 a 56).

Odhadované náklady na vybudování a inicializaci 12-ti náklonoměrů činí 0,9 mil. Kč, včetně zajištění připojení měřidel do online systému. V ceně není uvažováno s náklady na údržbu, sběr, správu a vyhodnocení dat. Doba realizace je odhadována na 7 až 10 dní. Pro instalaci není nutné žádat o výluky.

Extenzometrie ve vrtech

Extenzometry jsou zařízení ke sledování posunů uvnitř horninového prostředí ve směru osy vrtu. Základním principem je měření změny polohy hlavy extenzometru vůči kotvě. V daném případě je uvažováno s celkem 7-mi extenzometry ve vrtu s dálkovým

přenosem dat a možností nastavení varovných stavů.

Čtyři extenzometrické vrty jsou situovány do stezky 1. TK, a to ve staničeních km 186,507; km 186,584; km 186,910, km 186,991 a km 187,055. Tyto extenzometry jsou navrženy jako tříúrovňové, kdy první kotva je umístěna do přísypu (aktivní zóna), druhá kotva do tělesa původního náspu (vrstva vykazující nepříznivé geotechnické parametry) a třetí kotva je umístěna do podloží, která bude sloužit jako referenční. Tři extenzometry jsou situované do stezky SK 2a ve staničeních km 186,910 a km 186,991. Tyto extenzometry jsou také navrženy jako tříúrovňové, kdy první kotva je umístěna do aktivní zóny, druhá kotva do vrstvy původního náspu vykazující nepříznivé geotechnické parametry a třetí kotva je umístěna do podloží, která bude sloužit jako referenční.

Odhadované náklady na vybudování a inicializaci 7-mi extenzometrických vrtů činí 1,9 mil. Kč, včetně zajištění připojení měřidel do online systému. V ceně není uvažováno s náklady na údržbu, sběr, správu a vyhodnocení dat. Doba realizace je odhadována na 7 až 10 dní. Vrty je nutné realizovat ve výluce kolejové i napěťové.

Automatický systém ZAT pro sledování nestabilit

Doporučujeme umístění systému do oblasti svahu u SK 2a v blízkosti propustku ev. km 186,696. Odhadované náklady na vybudování a zprovoznění systému činí 2,0 až 2,5 mil. Kč.

Projekt kontrolního sledování a správa dat

Předpokladem úspěšné instalace a následného fungování systému kontrolního sledování případného vývoje deformací zemního tělesa železničního náspu je zpracování projektu kontrolního sledování v úzké spolupráci s geotechnikem objednatele.

Pro efektivnější správu dat a přístup k jednotlivým výsledkům měření doporučujeme využít online systém, který umožní jednak přes webové rozhraní všem účastníkům sledovat vývoj měřených veličin, ale především umožní nastavení varovných stavů, kdy při jejich dosažení zašle informaci všem zodpovědným osobám (email, sms). Nastavení varovných stavů by mělo vycházet ze stabilitních analýz a dále by mělo být korelováno v průběhu vlastního sledování dle aktuálního vývoje deformací, vše v dikci geotechnika objednatele. Do tohoto online systému by měly být připojeny také snímače pórového tlaku, osazené již v etapě stávajícího inženýrskogeologického průzkumu, aby všechny metody geotechnického monitoringu fungovaly na jednom kompatibilním systému.

8. LITERATURA

1. Belov, T. (2022): Karlovy Vary – Rybáře, protlak, geofyzikální průzkum, Závěrečná zpráva, G IMPULS Praha spol. s r.o.
2. Ďurove, J. (2014): Oprava únosnosti železničního spodku Karlovy Vary – Chodov, 1. TK km 186,614 – 186,794 – projektové řešení sanace a nepřetržitý autorský a geotechnický dozor, Časopis SILNICE ŽELEZNICE
3. Ďurove, J. (2021): Havarijní stav železničního tělesa traťového úseku Karlovy Vary hl.n. – Karlovy Vary – Dvory v km 186,400 až 187,100, Geotechnika Ďurove s.r.o.
4. Jirků, J. (2022): Karlovy Vary – Rybáře, protlak, geofyzikální průzkum, G IMPULS Praha spol. s.r.o.
5. Kasová, J. (2013): Oprava únosnosti železničního spodku Karlovy Vary – Chodov 1.TK km 186,614 – 186,794, ARCADIS Geotechnika a.s.
6. Křelina, B. (1980): Závěrečná zpráva z vyhledávacího průzkumu Čankovská – Kaolin, Geindustria, závod Stříbro, Karlovy Vary
7. Mayerová, L. (1974): Závěrečná zpráva inženýrskogeologického průzkumu. Karlovy Vary – sídliště Čankovská, Geindustria, závod Stříbro, Karlovy Vary
8. Ondrášek, P. (2004): ČD SDC K. Vary – Opravné práce 2004, Sanace sesuvu železničního náspu 1. TK Chomutov – Cheb, km 186,690 – 186,730
9. Opěla, P. (2009): Karlovy Vary – Rybáře, železniční trať Karlovy Vary – Cheb, km 186,700 – 186,800, inženýrskogeologický průzkum, monitoring, ARCADIS Geotechnika a.s., Praha
10. Pejcha, J. (2022): Závěrečná zpráva o výsledcích průzkumu georadarem v úseku Karlovy Vary – Karlovy Vary Dvory (186,400 – 187,100) kolej č. 1 a kolej č. 2, Správa železnic, státní organizace
11. Ritt, J. (1980): Teplárna Karlovy Vary, odkaliště Sedlec a suchá skládka Přemlovice, inženýrskogeologické posouzení, Energoprojekt, Praha
12. Spěšný, M., Hrudka, M. a Nedvěd, J. (2022): Závěrečná zpráva o výsledcích průzkumu georadarem v úseku Karlovy Vary - Karlovy Vary Dvory (186,400 – 187,100) kolej č.1 a kolej č.2, SG Geotechnika a.s.