

# PROJEKT GEODETICKÉHO MONITORINGU V GEOLOGICKY NESTABILNÍM ÚZEMÍ DÁLNICE D8 LOVOSICE – ŘEHLOVICE

THE GEODETIC MONITORING PROJECT AT A GEOLOGICALLY UNSTABLE AREA ON THE D8 MOTORWAY (LOVOSICE – ŘEHLOVICE)

*Ladislav BÁRTA<sup>1,2</sup>, Dušan BLAŽEK<sup>3</sup>*

## **Abstract:**

*The section of the D8 motorway between Lovosice and Řehlovice sits on a geologically complicated mass. Troubling values of horizontal and vertical shift were documented at several sites during the construction process. The most serious event to occur during the construction process was a massive earth slide at the 56.4-kilometre mark, which damaged the unfinished body of the roadway. This potentially unstable geologic area has required specialized methods of surveying at individual construction sites. This paper describes a complex geodetic project as a solution to monitoring these sites. The survey points of the motorway have been drafted in such a way that it is feasible to detect ground movements based on periodic maintenance. The systems approach to the maintenance of these survey points is achieved by segmenting to the sections with supportive and secure points in stable areas. The survey points listed above are the supportive system for local reference geodetic networks of monitor ship over individual construction sites. This approach makes it possible to reconstruct and correctly continue the monitoring of space shifts in the mentioned sites, in the event that survey points of the motorway are seriously damaged.*

## **Abstrakt:**

*Úsek dálnice D8 Lovosice – Řehlovice se nachází v geologicky komplikovaném území. Již v průběhu výstavby byly na některých stavebních objektech zdokumentovány znepokojivé hodnoty horizontálních a vertikálních posunů. Nejzávažnější událostí během výstavby byl masivní sesuv zeminy v km 56.4, který poškodil i rozestavěné těleso dálnice. Potenciální geologická nestabilita území si vyžádala speciální přístup ke geodetickému sledování jednotlivých stavebních objektů. Příspěvek je věnován projektu komplexního geodetického řešení monitoringu objektů. Bodové pole dálnice je navrženo tak, aby bylo možné na základě jeho etapové údržby detekovat i pohyby území. Systémový přístup k údržbě tohoto bodového pole je řešen jeho segmentací na úseky, zajištěné ve stabilních oblastech opěrnými a zajišťovacími body. Uvedené bodové pole je opěrným systémem pro lokální vztažné geodetické sítě monitoringu jednotlivých stavebních objektů. Zvolené řešení umožňuje i při závažném poškození bodového pole a vztažných sítí jejich rekonstrukci a korektní pokračování ve sledování prostorových změn předmětných objektů.*

---

<sup>1</sup> Bárta Ladislav, Ing., Ph.D., GEOPONT 3D, s.r.o., Gajdošova 432/7, 615 00 Brno, tel. +420 606 742 445, e-mail: [barta@geopont.cz](mailto:barta@geopont.cz)

<sup>2</sup> Bárta Ladislav, Ing., Ph.D., Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veverí 95, 602 00 Brno, e-mail: [barta.l1@fce.vutbr.cz](mailto:barta.l1@fce.vutbr.cz)

<sup>3</sup> Blažek Dušan, Ing., Ředitelství silnic a dálnic ČR, Na Pankráci 56, 140 00 Praha, tel.: +420 602 578 407, e-mail: [dusan.blazek@rsd.cz](mailto:dusan.blazek@rsd.cz)

## 1 ÚVOD

Výstavba úseku dálnice D8 0805 Lovosice – Řehlovice byla zahájena v roce 2008 a v celém rozsahu byla dokončena v prosinci 2016 (uvedení do zkušebního provozu). Tato stavba je součástí významného dálničního tahu Praha – státní hranice – Drážďany. Má celkovou délku 16.5 km a obsahuje tři mimoúrovňové křižovatky, dva tunely (Prackovice - 270 m, Radejčín - 620 m) a 19 mostů na trase dálnice.

Trasa dálnice zejména v úseku Lovosice - Trmice probíhá v geologicky složitém území a CHKO České Středohoří. Již v průběhu výstavby byly na některých stavebních objektech zdokumentovány znepokojivé hodnoty horizontálních a vertikálních posunů a přetvoření. Nejvýznamnější událostí během výstavby byl masivní sesuv zeminy v km 56.4, který v červenci 2013 poškodil i rozestavěné těleso dálnice. Zasažena byla oblast velikosti cca 560 x 180 m. Dalším výrazným místem z hlediska prostorové nestability je pražská opěra SO 210 - Prackovická estakáda.

Obecně, již v rámci výstavby bylo vyhodnoceno nejrizikovější území v km 55.5 až km 58.3, kde je zajištěn geotechnický monitoring.



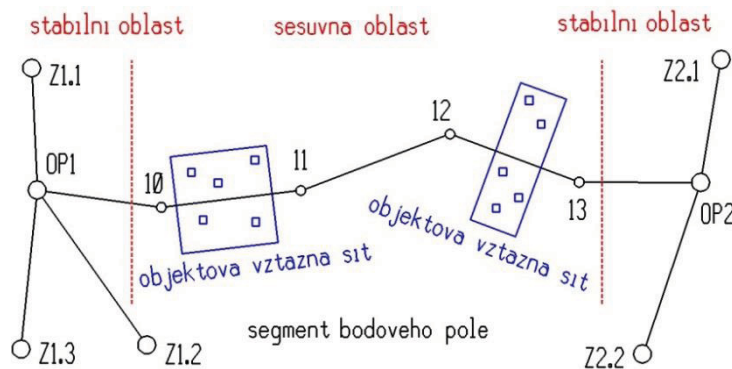
Obr. 1 – Sesuv zeminy v km 56.4

## 2 PRINCIP SLEDOVÁNÍ PROSTOROVÝCH ZMĚN

Potenciální geologická nestabilita lokality, kterou probíhá trasa dálnice, si vyžádala speciální přístup k prostorovému geodetickému sledování jednotlivých stavebních objektů v záruční době od uvedení stavby do provozu s přesahem do doby pozáruční. Sledování posunů a přetvoření těchto objektů je nyní možné realizovat dvoustupňově a to k objektovým vztažným sítím a k bodovému poli dálnice.

Sledování posunů a přetvoření stavebních objektů bude standardně prováděno k jejich objektovým vztažným sítím v jejich blízkosti. Stabilitu těchto sítí zejména v sesuvných oblastech však v tomto případě není možné zcela garantovat a je tedy potřeba mít nástroje k posouzení jejich „nehnutelnosti“.

Jednou z funkcí navrženo bodového pole dálnice je i jeho použití jako opěrného systému prostorového monitoringu. Systémová údržba bodového pole dálnice v problematičtějších místech stavby je zajištěna jeho segmentací na úseky délky 1.5 až 2.5 km. Na rozhraních jednotlivých segmentů v místech mimo potenciálně nestabilní území jsou navrženy opěrné a zajišťovací body, které mají funkci vztažného systému. Stabilita ostatních bodů bodového pole dálnice a na ně navázaných objektových vztažných sítí bude posuzována na základě výsledků etapové údržby tohoto bodového pole.



Obr. 2 – Segment bodového pole dálnice

Bezprostředně na prvotní určení bodového pole dálnice naváže geodetický monitoring jednotlivých stavebních objektů. K tomuto okamžiku bude ukončen geodetický monitoring prováděný během výstavby a bude zahájen dlouhodobý monitoring za provozu.

Poslední vyhodnocení prostorových změn objektů během výstavby bude provedeno ve vazbě na stávající objektové vztažné systémy historicky připojené na dnes již v zásadě nefunkční vytyčovací síť stavby. Současně bude proveden výpočet souřadnic a výšek nově navržených objektových vztažných sítí a sledovaných bodů v nulté etapě dlouhodobého monitoringu ve vazbě na výchozí etapu určení bodů bodového pole dálnice. Nové objektové vztažné systémy budou tvořeny stabilizacemi nově navržených bodů, stabilizacemi vybraných bodů bodového pole dálnice a stabilizacemi zachovalých původních bodů objektových vztažných sítí.

Každá další etapa dlouhodobého sledování jednotlivých objektů bude apriorně vztažena k jejich novým objektovým soustavám. Nadřazený vztažný systém, kterým je bodové pole dálnice, bude využit pouze v případech, kdy dojde k nestandardním prostorovým změnám na sledovaných objektech nebo při ztrátě homogenity vztažné sítě naznačující možné sesuvné pohyby v území. Soubor stabilních bodů využitelných pro korektní přeúčtování objektové vztažné sítě bude nejprve hledán po jejím rozšíření o okolní do této sítě nezařazených bodů bodového pole dálnice se známými souřadnicemi poslední provedené údržby tohoto bodového pole. Bude-li rozšířený objektový vztažný systém dále považován za nestabilní, bude provedeno etapové přeměření celého dotčeného segmentu bodového pole dálnice.

### 3 BODOVÉ POLE DÁLNIČE

Vybudování, prvotní určení a následná údržba přesného bodového pole dálnice D8 na úseku Lovosice – Řehlovice se řídí projektem [1], který ve třech ucelených blocích řeší umístění geodetických bodů, jejich stabilizace a ochranu, metody určení a analýzy přesnosti i jeho dopad do majetkoprávních vztahů. Bodové pole dálnice je navrženo jako víceúčelové. Tvoří geodetický základ pro činnosti související s běžnou správou i údržbou dálnice a dále je základem monitorovacího systému stavby.

Navrhované bodové pole kompletně nahradí stávající vytyčovací síť stavby dálnice. Využity budou pouze body s kvalitní stabilizací lokálních geodetických systémů stavebních objektů (tunelů, mostů a opěrných zdí) a monitorovacího systému sesuvu pod kamenolomem Dobkovičky. Ostatní body budou nově stabilizovány.

Výchozí určení bodového pole v horizontální složce bude provedeno kombinací družicových technologií za využití GNSS a terestrických polohových měřických technologií

založených na měření osnov směrů a délek. Výchozí určení bodového pole ve vertikální složce bude provedeno terestricky geometrickou nivelací ze středu. Souřadnice a výšky opěrných a zajišťovacích bodů na rozhraní segmentů budou pro další etapovou údržbu fixovány.

Etapová údržba bodového pole bude podle potřeby prováděna pro celý úsek stavby dálnice nebo pro vybrané segmenty v návaznosti na výše uvedené opěrné a zajišťovací body dálnice. Určení bude provedeno terestrickým polohovým měřením pro horizontální složku bodového pole a geometrickou nivelací ze středu pro výškovou složku bodového pole. V kritických místech stavby bude pro prvotní indikaci případných polohových změn v území využitelné i družicovým měřením v reálném čase.

Návrh bodového pole obnášel:

- a) provedení segmentace zájmové lokality na úseky délky 1.5 až 2.5 km,
- b) umístění opěrných a zajišťovacích bodů na rozhraních segmentů,
- c) umístění ostatních bodů s rozestupy 150 až 350 m v podélném směru stavby.

Výchozí polohové určení opěrných a zajišťovacích bodů bude určeno rychlou statickou metodou. Kostru polohové měřické sítě vytvoří zpravidla páteřní polygonální síť. Tuhost sítě byla v kritických místech stavby zpevněna návrhem trojúhelníkových řetězců a příčně odsazenými opěrnými body. Výsledné souřadnice bodů určené družicovým měřením (pseudoměřené veličiny) a terestrická data (osnovy směru a délky) budou společně vyrovnána metodou nejmenších čtverců.

Polohy všech bodů pro ověření jejich vzájemných viditelností byly upřesněny pochůzkou v terénu. Dalším, neméně důležitým aspektem pro návrh bodů bylo jejich umístění v záboru stavby a přístup pro vrtnou soupravu. Ověření možných kolizí s podzemními inženýrskými sítěmi nebylo provedeno, neboť geodetická dokumentace skutečného provedení stavby (GDSP) nebyla při řešení projektu dostupná. Při následné údržbě sítě se uvažuje využití polohových excentrů v případě ztráty viditelnosti mezi jednotlivými body sítě.

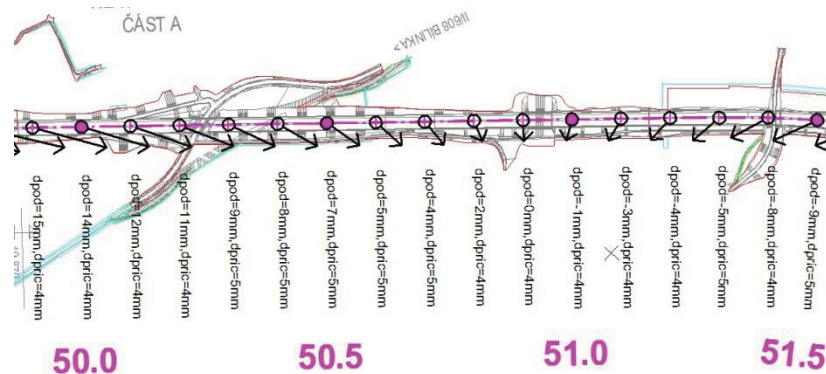
### **3.1 Problematika návazností a geometrické přesnosti**

Návaznosti návrhového bodového pole dálnice na geodetické základy a bodová pole navazujících úseků jsou řešeny při jeho prvotním určení. Návaznost na ETRS-89 bude zajištěna body národních permanentních sítí. Návaznost na S-JTSK bude definována virtuálně lokálním transformačním klíčem pokrývajícím celý úsek dálnice. Transformační klíč bude určen pomocí dvojích souřadnic trigonometrických i zhušťovacích bodů z okolí, přičemž hodnoty ETRS-89 a S-JTSK + Bpv bodů budou převzaty z databáze geodetických bodů DATAZ garantovaných ČÚZK. S uvedeným způsobem definice lokálního klíče souvisela nutnost ověření realizace ETRS-89 v zájmové lokalitě zaměřením vybraných bodů DOPNULu, výběrové údržby trigonometrických bodů a zhuštění zhušťovacích bodů. Výšková návaznost na Bpv bude řešena prostřednictvím nivelačních bodů ČSNS na začátku a konci řešeného úseku dálnice a po ověření též body portálových sítí tunelů v polovině řešeného úseku. Použité nivelační body ČSNS budou vzdáleným zajištěním výškového horizontu bodového pole dálnice.

Porovnání lokálního transformačního klíče zájmové lokality s globálním transformačním klíčem S-JTSK 2013 bylo provedeno za účelem analýzy relativních geometrických deformací globálního klíče, jehož použití bylo prioritně uvažováno. Byly vypočteny souřadnice bodů v S-JTSK v ose trasy dálnice po 100 m určených pomocí jednotlivých klíčů. Souřadnicové odchylky  $dx$  a  $dy$  byly následně převedeny na podélné odchylky  $d_{pod}$  a příčné odchylky  $d_{přic}$ .

Relativní geometrické deformace S-JTSK dané globálním klíčem na libovolnou vztažnou délku jsou následně diferencemi souřadnicových odchylek dvojic bodů v odpovídajících staničních osy dálnice.

Obrázek číslo 3 je ukázkou oblasti s velkým gradientem relativních podélných deformací v hodnotě 22 mm na 1.5 km tj. délky jednoho segmentu bodového pole. Prakticky jde o hodnotu, o kterou by byly v nesouladu výsledky družicových a terestrických měření. Uvedené geometrické nesoulady lze považovat za neakceptovatelné pro budování, údržbu a zajištění bodového pole kombinací terestrických a družicových metod v požadovaných vysokých přesnostech. Při budování bodového pole bude proto nutno používat lokální transformační klíč.



Obr. 3 – Provnání lokálního a globálního transformačního klíče

Absolutní souřadnicový nesoulad lokálního a globálního klíče v zásadě nepřekračuje 30 mm. Míra souladu globální a lokální realizace S-JTSK je odhadována se směrodatnou odchylkou 18 mm. Navrhovaný lokální klíč zajistí návaznost na bodová pole dálnice sousedních úseků a původní vytyčovací síť řešeného úseku budovaných za použití globálního klíče s dostatečnou přesností pro provozní účel bodových polí.

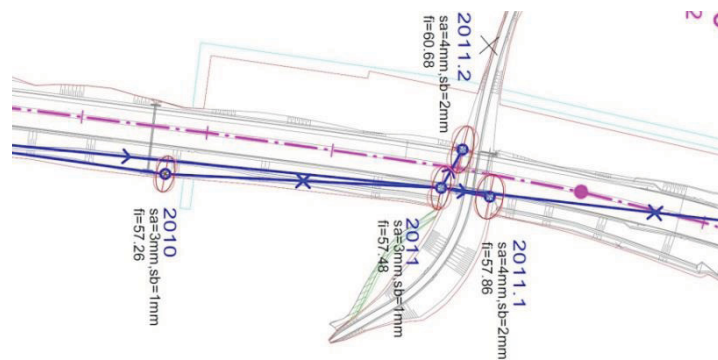
### 3.2 Určení souřadnic a výšek bodového pole a jejich přesnost

Polohová a výšková přesnost bodů bodového pole dálnice byla na základě požadavků a potřeb ŘSD ČR definována souřadnicovou směrodatnou odchylkou minimálně  $\sigma_{xy} = 6$  mm a směrodatnou odchylkou výšky minimálně  $\sigma_h = 1$  mm. Přičemž uvedené přesnosti jsou vztahovány k opěrným a zajišťovacím bodům dálnice na rozhraní jednotlivých segmentů.

Na základě etapové údržby bodového pole dálnice terestrickými metodami stejné přesnosti lze při volbě součinitele konfidence  $t = 2$  detekovat horizontální posuny v libovolném směru minimálně od 17 mm a výškové posuny ve svislém směru minimálně od 3 mm s rizikem mylného závěru maximálně  $\alpha = 5\%$ .

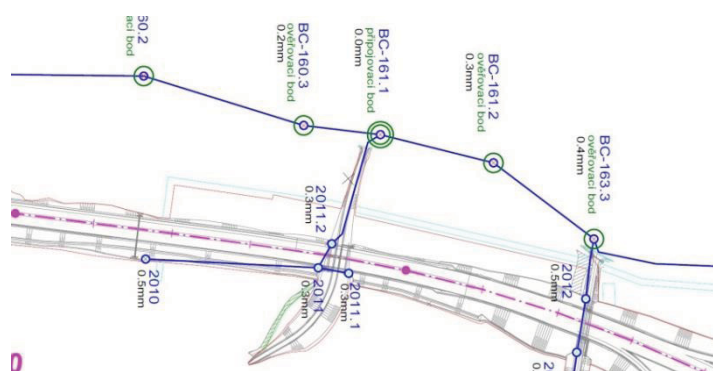
Rozbory přesnosti byly provedeny exaktně pro navržené konfigurace bodů, pro definovaná místa připojení, pro měření uvedená v observačních plánech samostatně pro polohové a výškové zaměření sítě, pro měřicí systémy s danými přesnostními parametry a pro dané počty opakování jednotlivých měřených veličin. Výsledné charakteristiky přesnosti potvrdily realizovatelnost bodového pole v požadovaných výše uvedených parametrech. Výsledky rozborů přesnosti jsou graficky prezentovány v observačních plánech středními křivkami chyb a středními elipsami chyb pro polohovou složku sítě a číselnou hodnotou směrodatné výškové odchylky pro výškovou složku sítě.

Polohové proměření bodového pole terestrickým polohovým měřením navazuje na systém opěrných bodů a jejich orientací určených družicově rychlou statickou metodou a bude provedeno podle observačního plánu. V předepsaných požadavcích na výbavu je požadováno nasazení totálních stanic nejvyšších přesností. Uvedenému rozboru odpovídá směrodatná odchylka měřeného směru v jedné skupině  $\sigma_r = 3''$  a směrodatná odchylka měřené délky  $\sigma_s = 1 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ . Troj-podstavcová souprava bude vyžadována výhradně v páteřním pořadu a v trojúhelníkových řetězcích. Osnovy směru jednotlivých segmentů sítě budou měřeny ve 3 skupinách s výjimkou segmentu se sesuvnou oblastí mezi Dobkovičkami a tunelem Prackovice, která bude měřena ve 4 skupinách. Symbol  $\varphi$  v obrázku 4 udává stočení elipsy chyb,  $s_a$  je hlavní poloosa střední elipsy chyby a  $s_b$  je vedlejší poloosa střední elipsy chyby.



Obr. 4 – Observační plán pro polohové měření

Výškové proměření budovaného bodového pole s připojením na ČSNS bude realizováno páteřním nivelačním pořadem vedeným převážně na krajnici dálnice a souběžných komunikacích. Body osazené zpravidla na vnějších římsách opěr mostů a zajišťovací body budou určovány převážně odbočnými volnými nivelačními pořady. Měřeno bude podle observačního plánu pomůckami a technologickým postupem přesné nivelace se střední kilometrovou chybou minimálně  $m_0=0.7 \text{ mm/km}$ . Číselné údaje pod označením jednotlivých bodů v níže uvedeném obrázku vyjadřují směrodatnou odchylku jejich výškového určení.



Obr. 5 – Observační plán pro výškové měření

### 3.3 Návrh, stabilizace a ochrana bodů

Při návrhu umístění jednotlivých bodů bodového pole dálnice:

- byl zohledněn požadavek na velikosti rozestupů jednotlivých bodů a jejich vzájemnou viditelnost,
- byl zohledněn požadavek na preferování bodů na pozemních ŘSD ČR,

c) pro nedostupnost GDSP při zpracování projektu nebyl zohledněn průběh inženýrských sítí,

d) byla posouzena proveditelnost stabilizací bodů s ohledem na jejich dostupnost pro vrtnou soupravu.

Nové body byly stabilizovány:

- a) geodetickými pilíři s nucenou centrací s pilotovým založením do pevného podloží,
- b) piloty s hřebovou značkou založené do pevného podloží,
- c) mikropilotou s hřebovou značkou délky 1.5 m,
- d) hřebovými značkami osazenými do trvalých objektů
- e) trvale signalizovanými body všesměrnými odraznými hranoly.

Technické řešení stabilizací je dáno požadavkem Objednatele, který předal vzorové výkresy standardně používaných řešení pro stabilizace s pilotovým založením a řešení pilířů s nucenou centrací. Těžké stabilizace byly použity zejména pro opěrné body bodového pole a jejich zajišťovací body v případě, kdy nebylo možné jejich umístění na dostatečně kvalitní trvalé objekty. Délky pilot byly teoreticky pro projekt stanoveny geologem, přičemž je předepsána podmínka nutnosti přítomnosti geologa při vrtání při stanovené případných korekcí hloubky založení dle druhu horniny.

Pro opěrné a zajišťovací body byl v rámci projektu navržen 1 měřický pilíř, 18 pilotových založení, 2 všesměrné hranoly na přirozených objektech, 6 hřebových značek do trvalých umělých objektů a 13 měřických pilířů bylo převzato.

Pro ostatní body byl navržen 1 měřický pilíř, 14 mikropilot délky 1.5 m, 73 měřických značek do trvalých umělých objektů a 21 měřických pilířů bylo převzato.



Obr. 6 – Ochranná šachta

Ochrana stabilizací bodů byla zajištěna:

- a) ochrannými tyčovými znaky včetně informačních tabulek,
- b) ochranou šachtou,
- c) ochranou skruží.

U jednotlivých typů stabilizací byly tyto znaky vhodně kombinovány. Ochrannými znaky byly vybaveny nové i převzaté body. Čísla bodů byla odvozena dle požadavků datového předpisu B2/C1 [4].

#### 4 GEODETICKÝ MONITORING STAVEBNÍCH OBJEKTŮ

Projekt geodetického monitoringu definuje základní pravidla a rozsahy geodetického sledování všech stavebních objektů stavby řešeného úseku [2]. Vycházelo se z požadavků předepsaných RDS – dokumentace „Projekty údržby mostů“, z poznatků z v současné době

dokončovaných geodetických měření posunů stavebních objektů během výstavby, z požadavků objednatele a autorského dozoru a z výsledků probíhajících geomonitoringů.

#### 4.1 Cíle projektu

Řešeno bylo 39 stavebních objektů. Jedná se především o dálniční mosty a nadjezdy. Projekt se dále zabývá prostorovým sledováním statického prvku zajišťujícího sesuv pod kamenolomem Dobkovičky a sledováním plošných svislých posunů vozovky vybraných úseků hlavní trasy. Geodetická měření (Prackovická estakáda, dálniční tunely, opěrné zdi), která stanovuje projekt geotechnického monitoring [3], nejsou tímto projektem dále upravována a řešena.

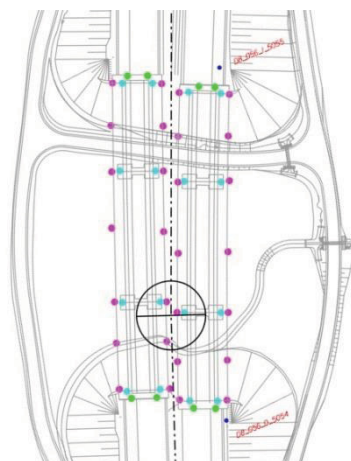
Cílem projektu bylo:

- a) stanovit intervaly etapového měření pro jednotlivé objekty nebo jejich části,
- b) stanovit druh a rozsah měření pro jednotlivé stavební objekty nebo jejich částí,
- c) stanovit počty bodů vztažných sítí,
- d) stanovit požadavky na přesnosti měření sledovaných bodů,
- e) stanovit požadavky na dopravně inženýrská opatření,
- f) v neposlední řadě stanovit i základní parametry úložiště a vizualizace výsledků.

Pochůzkou v terénu byla provedena kontrola osazení sledovaných bodů na jednotlivých objektech podle požadavků projektové dokumentace. V některých případech je navrženo doplnění nebo přestabilizace nevhodně umístěných bodů. Na obrázku níže jsou vyznačeny body pro sledování svislých posunů spodní stavby a nosné konstrukce mostu SO A 209 v km 56.000 doplněné o body na 3D sledování jeho opěr.



Obr. 7 – SO A 209 - Dálniční most přes údolí  
v Ječkách v km 56.000



Obr. 8 – Sledované body  
SO A 209 v km 56.000

Pro jednotlivé stavební objekty v souladu s požadavky tohoto projektu, nasazeným přístrojovým vybavením a zvoleným řešením je předepsána povinnost Zhotovitele rozpracovat postup monitoringu formou technologického předpisu (TePř), který bude podléhat schválení Objednatele. Tento technologický předpis (TePř) bude obsahově odpovídat projektu měření posunů stavebních objektů dle ČSN 73 0405 [5] a vzhledem ke specifickému charakteru geodetického monitoringu i přiměřeně smyslu TKP kap. 1 (čl. 1.3.3.3.1 Technologické předpisy vydané Zhotovitelem) [6].



## 4.2 Návrh přesnosti geodetického monitoringu a varovné stavy

Tato kapitola stanovuje minimální požadavky na přesnost geodetického monitoringu vzhledem k stanoveným kritickým hodnotám posunů a přetvoření objektů uvedených v RDS – dokumentace „Projekty údržby mostů“.

Požadavek na minimální průkazné hodnoty podélného, příčného a svislého posunu  $p$  určeného etapovým geodetickým sledováním každého stavebního objektu s ohledem na schopnost navrhovaného geodetického monitoringu rozlišit varovné stavy jednotlivých objektů bude určen jako 20 procent hodnoty kritického posunu  $p_k$ . Vzájemný vztah mezi minimální přesností zaměření sledovaného bodu v jedné etapě  $\sigma$  při volbě součinitele konfidence  $t=2$  a kritickým posunem  $p_k$  je dán následující rovnicí. Uvedené vzorce mají posloužit k ověření, zda standardizovanými postupy dosažitelné přesnosti geodetického etapového měření stanovené v následující kapitole jsou vyhovující.

$$\sigma = 0.071 p_k, \quad p_k = 14 \sigma \quad (1)$$

Varovný stav v deformačním chování sledovaných konstrukcí vychází z kritických posunů  $p_k$  a je provázen provedením určitých opatření (zředěním nebo zahuštěním monitoringu, či přijetím stavebně-technických opatření, apod.). Jedná se o opatření organizační, technická, technologická a bezpečnostní. Symbol  $p_i$  je zjištěný celkový posun konstrukce. Jednotlivé varovné stavy konstrukcí objektů jsou dány v následující tabulce.

Varovný stav	Chování konstrukce	Kritérium varovného stavu	Měření	Činnost
Bezpečný	Klid, nárůst deformací	$p_i < 60\% p_k$	Podle projektu	žádná
Přípustných změn	Deformace odpovídají projektu	$p_i = 60\% \text{ až } 100\% p_k$	Podle projektu	žádná
Mezní přijatelnosti	Deformace odpovídají projektu, riziko vývoje kritického stavu	$p_i = 100\% \text{ až } 125\% p_k$	Zvýšení četnosti, sledování tendence deformací	Technická opatření dle projektu
Kritický	Zamezení vzniku havarijního stavu	$p_i > 125\% p_k$	Ještě větší četnost měření, nové druhy měření	<b>ZASTAVENÍ PROVOZU</b> Technická opatření blíže neuvedená v projektu
Havarijní	Destrukce konstrukce		Ve smyslu schváleného havarijního plánu	

Tab. 1 – Varovné stavy konstrukce (převzato z projektu geotechnického monitoringu [3])

Při hodnocení varovných stavů se budou vždy brát v úvahu: a) absolutní hodnoty sledované veličiny, b) rychlost růstu hodnot sledované veličiny, c) zrychlení, s jakým rostou hodnoty sledované veličiny, d) míra shody teoretické a skutečné hodnoty sledované veličiny, e) obecné ohrožení. Vždy se bude přihlížet k hodnocení celkových trendů ve vývoji sledovaných veličin a ke komplexnímu posouzení chování všech sledovaných bodů.

## 4.3 Standardizované technologie měření a dosažitelné přesnosti

Dosažitelné přesnosti geodetického monitoringu stavebních objektů lze vyčíslit ve vztahu k objektovým vztažným soustavám a ve vztahu k opěrným a zajišťovacím bodům bodového pole dálnice.

### Sledování objektu ve vztahu k objektovým vztažným soustavám.

Sledování svislých posunů stavebních objektů bude prováděno geometrickou nivelací ze středu přístrojovým vybavením a pomůckami a technologickým postupem předepsaným pro přesnou nivelaci. Pro metodu je předepsána střední kilometrová chyba oboustranné nivelace v oddílu, úseku a pořadu minimálně v hodnotě 0.7 mm/km. Pro jednotlivé objekty je

v závislosti na jejich velikosti a nastavení technologie měření dosažitelná přesnost zaměření libovolného bodu v jedné etapě ve vztahu k těžišti volné sítě daná směrodatnou odchylkou výšky  $\sigma_{MNČ} = 0.35$  až  $0.70$  mm.

$$\sigma_{MNČ} = 0.70 \text{ mm} \quad p = 2 \text{ mm} \quad p_k = 10 \text{ mm}$$

$$\sigma_{MNČ} = 0.35 \text{ mm} \quad p = 1 \text{ mm} \quad p_k = 5 \text{ mm}$$

Sledování vodorovných posunů bude prováděno prostorovou polární metodou za využití nejpřesnějších totálních stanic s úhlovou přesností minimálně  $m_r = m_z = 0.3$  mgonu a s délkovou přesností minimálně  $m_s = 1 \text{ mm} + 1.5 \text{ ppm}$ , kde  $m_r$  je přesnost měřeného vodorovného směru ve dvou polohách dalekohledu,  $m_z$  je přesnost měřeného svislého úhlu ve dvou polohách dalekohledů a  $m_s$  je přesnost měřené šikmé délky. Sledované body budou zaměřeny k vztažným bodům formou geodetické sítě. Zajištěna bude dostatečná tvarová tuhost sítě. Její zaměření bude provedeno minimálně ve dvou skupinách. Pro jednotlivé objekty je v závislosti na jejich velikosti a nastavení technologie měření dosažitelná minimální přesnost zaměření libovolného bodu v jedné etapě ve vztahu k těžišti volné sítě daná směrodatnou odchylkou v podélném směru, v příčném směru a ve svislém směru

$$\sigma_{MNČ} = 1.4 \text{ až } 2 \text{ mm.}$$

$$\sigma_{MNČ} = 2.0 \text{ mm} \quad p = 6 \text{ mm} \quad p_k = 28 \text{ mm}$$

$$\sigma_{MNČ} = 1.4 \text{ mm} \quad p = 4 \text{ mm} \quad p_k = 21 \text{ mm}$$

Plošné sledování výškových změn povrchu vozovky s využitím metod laserového skenování bude provedeno minimálně se směrodatnou výškovou odchylkou  $\sigma_{SKEN} = 5$  mm.

$$\sigma_{SKEN} = 5.0 \text{ mm} \quad p = 14 \text{ mm} \quad p_k = 70 \text{ mm}$$

### Sledování objektu ve vztahu k opěrným a zajišťovacím bodům bodového pole dálnice

I v tomto případě je geodetické zaměření sledovaného stavebního objektu realizováno standardně k objektovému vztažnému systému. Vlastní výpočet je však proveden na souřadnice a výšky bodového pole dálnice určené z jeho současně provedené etapové údržby.

Celková přesnost zaměření etapy monitoringu  $\sigma_h$  je dána výškovou přesností navazovacích bodů bodového pole dálnice  $\sigma_{h,BPD}$  a přesností výškového zaměření sledovaného objektu technologií přesné nivelace  $\sigma_{h,MNČ}$ .

$$\sigma_{BPD,h} = 1.0 \text{ mm} \quad \sigma_{MNČ,h} = 0.70 \text{ mm} \quad \sigma_h = 1.2 \text{ mm} \quad p = 3.5 \text{ mm} \quad p_k = 17 \text{ mm}$$

$$\sigma_{BPD,h} = 1.0 \text{ mm} \quad \sigma_{MNČ,h} = 0.35 \text{ mm} \quad \sigma_h = 1.1 \text{ mm} \quad p = 3.0 \text{ mm} \quad p_k = 15 \text{ mm}$$

Celková přesnost zaměření etapy monitoringu  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_h$  je dána souřadnicovou a výškovou přesností navazovacích bodů pole dálnice  $\sigma_{x,BPD}, \sigma_{y,BPD}, \sigma_{h,BPD}$  a přesností souřadnicového a výškového zaměření sledovaného objektu prostorovou polární metodou  $\sigma_{x,MNČ}, \sigma_{y,MNČ}, \sigma_{h,MNČ}$ .

$$\sigma_{BPD,xy} = 6.0 \text{ mm} \quad \sigma_{MNČ,xy} = 2.0 \text{ mm} \quad \sigma_{xy} = 6.3 \text{ mm} \quad p = 18 \text{ mm} \quad p_k = 89 \text{ mm}$$

$$\sigma_{BPD,xy} = 6.0 \text{ mm} \quad \sigma_{MNČ,xy} = 1.4 \text{ mm} \quad \sigma_{xy} = 6.2 \text{ mm} \quad p = 17 \text{ mm} \quad p_k = 86 \text{ mm}$$

$$\sigma_{BPD,h} = 1.0 \text{ mm} \quad \sigma_{MNČ,h} = 2.0 \text{ mm} \quad \sigma_h = 2.2 \text{ mm} \quad p = 6 \text{ mm} \quad p_k = 31 \text{ mm}$$

$$\sigma_{BPD,h} = 1.0 \text{ mm} \quad \sigma_{MNČ,h} = 1.4 \text{ mm} \quad \sigma_h = 1.7 \text{ mm} \quad p = 5 \text{ mm} \quad p_k = 24 \text{ mm}$$

Celková přesnost zaměření etapy monitoringu  $\sigma_h$  je dána výškovou přesností připojovacích bodů bodového pole  $\sigma_{h,BPD}$  dálnice a přesností výškového zaměření povrchu vozovky metodami laserového skenování  $\sigma_{h,MNČ}$ .

$$\sigma_{h,BPD} = 1.0 \text{ mm} \quad \sigma_{h,SKEN} = 5.0 \text{ mm} \quad \sigma_h = 5.1 \text{ mm} \quad p = 14 \text{ mm} \quad p_k = 71 \text{ mm}$$

#### 4.4 Předmět geodetického monitoringu u mostních objektů

U mostních objektů je předmětem sledování spodní stavba a nosná konstrukce s možným rozšířením na sledování vozovky v přechodových oblastech.

Předmětem výškového sledování spodní stavby mostních objektů geometrickou nivelací ze středu jsou nivelační značky osazené v patách všech podpěr mostu. Cílem tohoto typu monitoringu je určení svislého sedání objektu a určení vzájemného nerovnoměrného sedání podpěr. Předmětem polohového sledování spodní stavby objektu prostorovou polární metodou jsou značky vhodně umístěné na podpěrách. Cílem monitoringu je určení podélných a příčných posunů objektu nebo některých jeho podpěr a sledování podélných náklonů podpěr.

Předmětem výškového sledování nosné konstrukce mostních objektů geometrickou nivelací jsou obecně nivelační značky osazené na římsách mostu minimálně nad podpěrami a v půlkách mostních polí (případně ve čtvrtinách). Cílem tohoto typu monitoringu je zachycení svislých posunů nosné konstrukce, hodnot jejího přetvoření vlivem pohybu spodní stavby a průhybů mostních polí. Předmětem polohového sledování nosné konstrukce mohou být hřbové nivelační značky na římsách mostu případně terčové značky osazené z boku na nosnou konstrukci. Cílem tohoto typu monitoringu je určení způsobu rozpínání nosné konstrukce vlivem teploty v podélném směru a určení hodnot posunů a přetvoření v příčném směru.

Předmětem výškového sledování vozovky například v přechodových oblastech mostů mohou být na ní osazené hřbové značky nebo celý jejich povrch dokumentovaný bezkontaktními metodami sběru prostorových dat. Cílem monitoringu je určení svislých posunů a přetvoření jejího povrchu zejména vlivem dozívající konsolidace zemního tělesa.

## 5 ZÁVĚR

Sledování prostorových změn objektů dálnice D8 na úseku Lovosice – Řehlovice v záruční době bude standardně prováděno k jejich objektovým vztažným systémům v souladu s odsouhlaseným plánem dlouhodobého sledování z projektů ve stupni RDS. Je však nastavena koncepce zajištění geodetického sledování prostřednictvím přesného bodového pole dálnice rozděleného na několik samostatných segmentů. Funkčnost celého řešení předpokládá zahájení dlouhodobého monitoringu všech stavebních objektů v systému homogenním s bodovým polem dálnice. V této souvislosti bude současně provedeno vyhodnocení poslední etapy monitoringu objektů prováděného v průběhu výstavby pro zachování homogenity návaznosti na historický vývoj prostorových změn a tento monitoring bude ukončen.

Stabilitu objektových vztažných sítí dlouhodobého monitoringu bude možné testovat jednak po jejím rozšíření o další okolní body bodového pole dálnice nebo na základě výsledků její případnou nestabilitou vyvolané údržby celého segmentu bodového pole dálnice ve vztahu k jeho opěrným a zajišťovacím bodům.

*Poděkování:* Tento článek byl zpracován mimo jiné i s teoretickou podporou projektu specifického výzkumu FAST-S-16-3507.

## LITERATURA

- [1] Projekt geodetického bodového pole dálnice D8 0805 Lovosice – Řehlovice, km 4.3 – 64.7. Geopont 3D s.r.o., Brno, 2017.
- [2] Projekt geodetického monitoringu stavebních objektů po dobu záruční doby od uvedení do provozu. Geopont 3D s.r.o., Brno, 2017.
- [3] Projekt geotechnického monitoringu pro zprovoznění a běh záruční doby. SUDOP Praha a.s., Praha, 2017.
- [4] B2/C1 – Předpis pro tvorbu mapových podkladů v rámci řízení silnic a dálnic ČR a pro tvorbu digitálních map komunikací provozovaných řízením silnic a dálnic ČR – Verze 6.0. Datový předpis, ŘSD ČR, Praha, 2015.
- [5] ČSN 73 0405 – Měření posunů stavebních objektů. Česká technická norma, Český normalizační institut, Praha, 1997.
- [6] TKP, Kapitola 1 Všeobecně. Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací, Pragoprojekt, a. s., Ministerstvo dopravy, Praha, 2017.

*Lektoroval: Ing. Jiří Fuchs  
RIGES s.r.o.*