



UNIVERZITA
PARDUBICE
DOPRAVNÍ
FAKULTA
JANA PERNERA

Metodika nedestruktivního stanovení mechanického napětí v kolejnicích bezстыkové koleje

Autoři: Ing. Petr Vnenk
Ing. Özgür Yurdakul, Ph.D.
Ing. Jiří Šlapák
Ing. Vladimír Suchánek, Ph.D.
Ing. Ondřej Sadílek, Ph.D.
Ing. Filip Klejch
doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D.
doc. Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.

Vydáno dne: 8. února 2022.

Vývoj metodiky je přímým výsledkem výzkumu realizovaného v rámci řešení projektu TAČR TJ04000301 *Nedestruktivní stanovení mechanického napětí v bezстыkové koleji.*

Obsah

Úvod	3
1 Cíl metodiky	4
2 Pojmy a zkratky	5
2.1 Pojmy	5
2.2 Zkratky	6
3 Použité přístroje a software	7
4 Popis metodiky	9
4.1 Podstata zkoušky	9
4.2 Postup zkoušky – část I: Instalace traťové části měřicí sestavy	12
4.3 Postup zkoušky – část II: Měření	14
4.4 Výstup zkoušky	15
4.5 Hodnocení zkoušky	16
4.6 Doporučení	18
5 Novost postupů	21
6 Popis uplatnění metodiky	22
7 Ekonomické aspekty	23
7.1 Náklady spojené s realizací měření	23
7.2 Možné ekonomické přínosy	24
8 Literatura	25
9 Přílohy	26
9.1 Úplný soupis položek k instalaci a měření používaný autory při vývoji metodiky	26
9.2 Příklad použití metodiky – lokalita Bezpráví	29
9.3 Další přílohy	31

Úvod

Tato metodika popisuje postup, jakým lze nedestruktivní metodou stanovit aktuální hodnotu normálového mechanického napětí v kolejnicích bezстыkové koleje. Zaměřuje se zejména na určení vývoje velikosti podélné deformace kolejnic bezстыkové koleje v čase a s ním spjaté změny neutrální teploty kolejnice. Neutrální teplota kolejnice je teplotou, při níž je v kolejnici bezстыkové koleje nulové napětí od tepelného zatížení [1] a je jedním z důležitých faktorů ovlivňujících aktuální hodnotu normálového mechanického napětí v kolejnicích bezстыkové koleje. Další významný vliv na mechanické napětí v kolejnici má její residuální napětí a napětí vyvolané průjezdem vozidel. Jejich stanovení je v literatuře [2, 3, 4, 5, 6] popsáno a tato metodika se jím dále nezabývá, neboť tato problematika přesahuje její rozsah.

Postupem podle této metodiky lze získat data o podélné deformaci kolejnic. Vývoj deformace kolejnic lze sledovat jak dlouhodobě, např. za účelem zjišťování míry či doby trvání konsolidace nově zřízeného železničního svršku, tak v kratším časovém horizontu, např. za účelem kontroly míry napínání kolejnice nebo rovnoměrnosti jejího protažení při jejím svařování.

Přesnější stanovení hodnoty mechanického napětí v kolejnicích bezстыkové koleje je důležité pro správné a včasné přijetí opatření předcházejících poruchám bezстыkové koleje, nejčastěji lomům kolejnice, dále pak vybočením koleje. Výhody postupu podle této metodiky spočívají v jeho nedestruktivním charakteru, poměrně jednoduché instalaci traťové části měřicí sestavy, vysoké přesnosti tenzometrických snímačů a rychlého měření, jež lze realizovat i na zatížených tratích během provozu bez potřeby výluk. Předkládaná metodika tedy sice splňuje kriteria pro hledaný způsob zjišťování napětí v kolejnici bezстыkové koleje stanovená Kishem a Samavedamem v roce 1987 [7] jen částečně, přesto může výzkumným týmům vědeckých a akademických pracovišť i pracovníkům správců železniční infrastruktury zabývajících se výzkumem bezстыkové koleje přinést řadu užitečných dat a poznatků o chování bezстыkové koleje. [1, 8]

Metodika byla vyvíjena v rámci řešení projektu TAČR TJ04000301 *Nedestruktivní stanovení mechanického napětí v bezстыkové koleji*, jenž byl řešen kolektivem pracovníků následujících pracovišť Dopravní fakulty Jana Pernera Univerzity Pardubice: Výukového a výzkumného centra v dopravě, Katedry dopravního stavitelství, Katedry dopravních prostředků a diagnostiky a Katedry elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě.

1 Cíl metodiky

- 1.1 Metodika obsahuje postup, jakým lze na železniční trati nedestruktivní metodou pomocí tenzometrických snímačů a měřicí sestavy stanovit aktuální hodnotu normálového mechanického napětí v kolejnicích bezстыkové koleje, zejména pak hodnoty deformace a neutrální teploty kolejnice bezстыkové koleje.
- 1.2 Pro stanovení aktuální hodnoty mechanického napětí v kolejnicích bezстыkové koleje, deformace a neutrální teploty kolejnice bezстыkové koleje podle této metodiky je využit funkční vzorek č. TJ04000301-V2 *Měřicí sestava pro diagnostiku časového vývoje napěťových stavů v bezстыkové koleji*, který je výsledkem řešení projektu TAČR TJ04000301 *Nedestruktivní stanovení mechanického napětí v bezстыkové koleji*. Dokumentace tohoto funkčního vzorku je uvedena v přílohách této metodiky.

2 Pojmy a zkratky

2.1 Pojmy

v abecedním pořadí:

bezстыková kolej	– kolej s kolejnicovými pásy o délce 150 m a větší [8]
dýchající konec	– část na začátku a konci bezстыkové koleje, v níž dochází v důsledku teplotních změn k dilatačnímu pohybu kolejnic [8]
emisivita povrchu	– poměr intenzity vyzařování reálného tělesa k intenzitě vyzařování absolutně černého tělesa se stejnou teplotou
koridorová trať	– hlavní železniční trať na níž je soustředováno významné množství dopravních výkonů v síti
měřicí bod	– místo na kolejnici, v němž probíhá sledování deformace pomocí měřicí sestavy
měřicí sestava	– funkční vzorek s identifikačním kódem TJ04000301-V2, který je výsledkem řešení projektu TAČR TJ04000301 <i>Nedestruktivní stanovení mechanického napětí v bezстыkové koleji</i>
měřicí ústředna	– hardware, jenž slouží k napájení snímačů a sběru a zpracování snímaného signálu
mezipražcová vzdálenost	– osová vzdálenost dvou sousedních pražců v klasické konstrukci železničního svršku
montážní svar	– svary kolejnic do celků o větší délce bez úpravy neutrální teploty kolejnice [8]
neutrální osa kolejnice	– osa kolejnice, v níž je nulové mechanické napětí při zatížení kolejnice ohybem od svislé síly
neutrální teplota kolejnice	– teplota, při níž jsou kolejnice bez podélného mechanického napětí od teplotních změn [8]
pata kolejnice	– spodní rozšířená část kolejnice, jež spočívá na podporách a za níž je k podporám připevněna upevňovací
projatá zátěž	– souhrnná tíha kolejových vozidel a nákladu, jež projely dotčeným úsekem trati
sledovaný úsek	– část železniční trati, v němž probíhá měření podle této metodiky
staničení	– označení místa na železniční trati od jejího počátku
stojina kolejnice	– střední užší část kolejnice
tenzometrický čtvrtmost	– elektrický obvod pro měření malých změn odporu využívající pouze jeden aktivní tenzometrický snímač
tenzometrický snímač	– pasivní elektrotechnická součástka používaná k měření deformace
závěrný svar	– svar kolejnic, u něž je podstatná úprava neutrální teploty kolejnice

2.2 Zkratky

v abecedním pořadí:

α	–	součinitel teplotní délkové roztažnosti oceli
CZK	–	koruna česká
ČR	–	Česká republika
E	–	modul pružnosti v tahu
ε	–	relativní délková deformace kolejnice
h	–	počet hodin instalace traťových částí měřicí sestavy
l	–	původní délka kolejnice, či jejího úseku
Δl	–	změna původní délky kolejnice, či jejího úseku
LED	–	<i>angl.: Light-Emitting Diode</i> , elektroluminiscenční dioda
n	–	počet pracovníků instalujících traťovou část měřicí sestavy
σ	–	mechanické napětí vyvolané teplotním zatížením kolejnice
t	–	aktuální hodnota teploty kolejnice
t_0	–	původní (upínací, tj. neutrální v době upínání) hodnota teploty kolejnice
t_1	–	aktuální hodnota neutrální teploty kolejnice
USA	–	<i>angl.: United States of America</i> , Spojené státy americké
USD	–	<i>angl.: United States Dollar</i> , americký dolar
x	–	počet nainstalovaných traťových částí měřicí sestavy

3 Použité přístroje a software

3.1 Pro instalaci traťové části měřicí sestavy jsou zapotřebí následující přístroje a pomůcky (úplné vybavení používané autorským týmem při tvorbě metodiky je uvedeno v přílohách metodiky):

- tenzometry
- tmel s hliníkovou fólií
- čisticí roztok s čistícími tampóny
- brusné látky zrnitosti 180
- brusná rouna zrnitosti 400
- měrky neutrální osy kolejnice
- tenké permanentní fixy, lze použít i olejové fixy
- ocelové pravítko
- stahovací pásky
- držáky na stahovací pásky
- lepidlo Chemopren Extrém
- plastová odpadní trubky HTEM DN 40 délky 150 mm
- záslepky plastových odpadních trubek HTEM DN 40
- molitanové krychle o hraně délky 5 cm
- polyuretanový lak
- rychlevytvrzující lepidlo
- propojovací kabel D-Sub 15 pin male/RJ11 female
- záznamový arch na výsledky měření
- digitální měřicí ústředna
- počítač se softwarem pro sběr tenzometricky měřených dat
- 12 V bezúdržbové autobaterie
- dotykový teploměr

3.2 Pro provádění měření jsou zapotřebí následující přístroje a pomůcky (úplné vybavení používané autorským týmem při tvorbě metodiky je uvedeno v přílohách metodiky):

- propojovací kabel D-Sub 15 pin male/RJ11 female
- záznamový arch na výsledky měření
- digitální měřicí ústředna
- počítač se softwarem pro sběr tenzometricky měřených dat
- vysílačky
- reflexní vesty
- 12 V bezúdržbové autobaterie
- dotykový teploměr

4 Popis metodiky

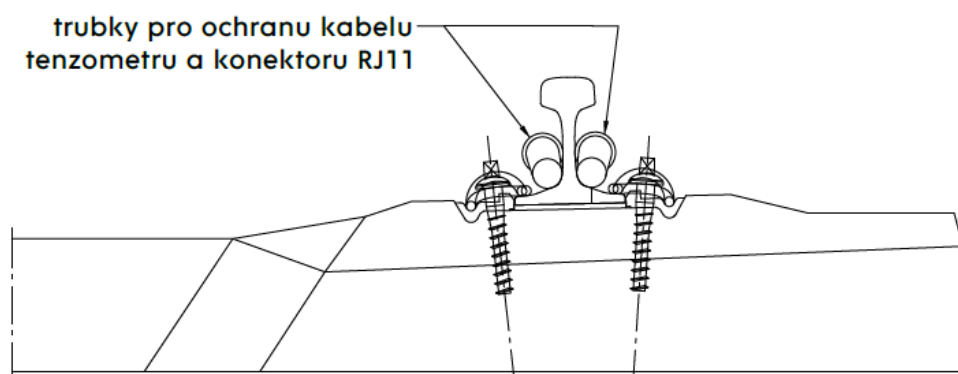
4.1 Podstata zkoušky

4.1.1 Postup zkoušky podle této metodiky se skládá ze dvou základních částí

- instalace traťové části měřicí sestavy a
- měření v nainstalovaných měřicích bodech.

Postupy instalace a měření jsou popsány samostatně v následujících kapitolách.

4.1.2 V rámci každého sledovaného úseku je potřeba určit měřicí body. Volba počtu a umístění měřicích bodů je dána záměrem toho, v jakých místech se mají získat informace o hodnotách a vývoji normálového mechanického napětí v kolejnici. V každém zájmovém místě je vhodné zvolit více měřicích bodů, alespoň aby bylo možno vyloučit hodnoty těch tenzometrů, u nichž by došlo k poruše, ale může to být praktické pro případné vzájemné porovnání vývoje deformace několika blízkých míst koleje. Vhodné je v každém staničení, v němž je záměr zřídit měřicí bod, zřídit v každé sledované koleji čtyři měřicí body tak, že se umístí vždy jeden měřicí bod na každou stranu stojiny každé kolejnice. Tím bude možno maximalizovat získané množství informací o osově deformaci kolejnic ve vybraném staničení koleje.



Obrázek 1 – Příčný řez kolejnicí s ukázkou oboustranného umístění měřicích bodů.

4.1.3 Délka sledovaného úseku a počet měřicích bodů v něm jsou parametry, které je možno si zvolit, přičemž platí, že čím větší je hustota bodů na určité délce sledovaného úseku, tím přesněji bude možno průběh osově deformace kolejnic ve sledovaném úseku určit.

4.1.4 Do každého měřicího bodu je nutno nainstalovat novou traťovou část měřicí sestavy.

4.1.5 Pro nedestruktivní stanovení aktuální hodnoty normálového mechanického napětí v kolejnici bezстыkové koleje a jejího vývoje v čase je nezbytné nainstalovat traťovou část měřicí sestavy na kolejnice před zřízením bezстыkové koleje. Instalaci lze tedy provádět na kolejnicové pásy jak před svařením montážních svarů, tak po něm, ale vždy před svařením závěrných svarů. V době instalace traťové části měřicí sestavy může být kolejnice upevněna upevňovacími. Stav, kdy je kolejnice v koleji již umístěna je naopak vhodný, protože pak lze lépe určit plochy stojiny pro instalaci traťové části měřicí sestavy.

- 4.1.6** Po instalaci je pak podstatné změřením hodnoty deformace tenzometru při volně položené kolejnici, tj. kolejnici neupevněné upevňovacími a podložené válečky. Toto měření při nulovém osovém napětí je vhodné provést alespoň dvakrát a nejlépe se provádí těsně před svařováním závěrných svarů, popř. těsně před napínáním kolejnice, které svařování závěrných svarů předchází, je-li použito.
- 4.1.7** Při každém měření, včetně výchozího, uvedeného v předchozím bodě, je dále žádoucí provést změřením teploty kolejnice (viz obrázek č. 2) a zapsání oblačnosti. Teplotu kolejnice je nejlépe měřit přímo na stojině kolejnice co nejblíže nainstalovanému tenzometru, a to dotykovým teploměrem, který poskytne dostatečně přesnou hodnotu teploty bez ohledu na aktuální stav emisivity povrchu kolejnice. Oblačnost je postačující stanovit v meteorologických desetinných oblačnosti odhadem. Seznam nezbytných a doporučených měření je uveden v tabulce č. 1.

Tabulka 1 – Seznam nezbytných a doporučených měření.

nezbytná měření		doporučená měření
sledovaný úsek	• datum	• oblačnost
		• teplota vzduchu
		• intenzita srážek
		• rychlost větru
		• vlhkost traťového svršku
měřicí bod	• deformace tenzometru [$\mu\text{m}/\text{m}$]	
	• teplota kolejnice	• technický stav tenzometru
	• čas	



Obrázek 2 – Ukázka měření teploty dotykovým teploměrem za současného připojení traťové a mobilní části měřicí sestavy (v pozadí).

- 4.1.8** Bylo-li použito napínání kolejnice před svařením závěrných svarů, je naměřených hodnot možno použít k ověření funkčnosti použitých tenzometrů, a byla-li v zájmovém místě nainstalována traťová část měřicí sestavy do více měřicích bodů po délce napínaných kolejnic, lze z naměřených dat stanovit též nerovnoměrnost napínání kolejnice.
- 4.1.9** Doporučený časový rozpis měření je uveden v tabulce č. 2. Nad rámec vypsanych měření je vhodné, zejména u velmi zatížených tratí, provést měření den před, v den zahájení provozu a den poté.

Tabulka 2 – Doporučený rozpis měření.

Číslo měření	Termín
1	před svařením závěrných svarů na uvolněných kolejnicových pásech na kluzných podložkách, popř. válečcích
2	před svařením závěrných svarů na uvolněných kolejnicových pásech na kluzných podložkách, popř. válečcích (znovu)
3	ihned po svaření závěrných svarů, popř. po upnutí kolejnice natažené pro účel svaření
4	ihned po svaření závěrných svarů, popř. po upnutí kolejnice natažené pro účel svaření (znovu)
5	$D + 1$ (D označuje den svařování závěrných svarů)
6	$D + 2$
7	$D + 3$
8	$D + 4$
9	$D + 5$
10	$D + 6$
11	$D + 7$
12	$D + 14$
13	$D + 21$
14	$D + 28$
15	$D + 2M$ (M označuje měsíc)
16	$D + 3M$
17	$D + 4M$
18	$D + 5M$
19	$D + 6M$
20	$D + 7M$
21	$D + 8M$
22	$D + 9M$
23	$D + 10M$
24	$D + 11M$
25	$D + 12M$

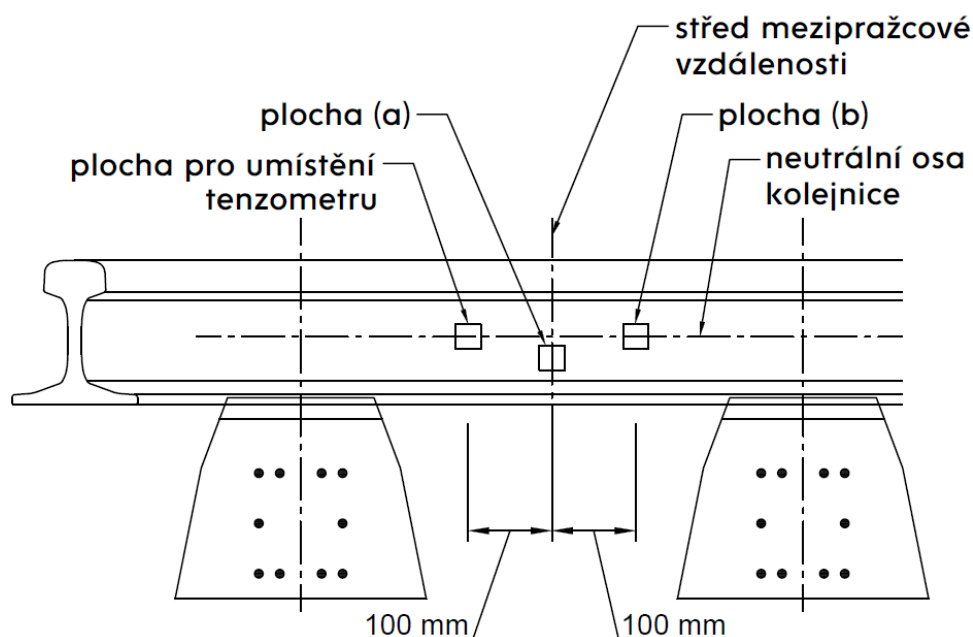
4.2 Postup zkoušky – část I: Instalace traťové části měřicí sestavy

- 4.2.1** V této kapitole je popsán postup instalace traťové části měřicí sestavy v jednom měřicím bodě. Pro instalaci ve více měřicích bodech se postup vždy pouze zopakuje.
- 4.2.2** Instalaci je vhodné provádět ve větším počtu osob. Za dobrého počasí, jsou-li zúčastnění pracovníci zruční a není-li instalace omezena dalšími pracovními činnostmi v dotčeném úseku, lze pro přibližný odhad doby trvání instalace použít vztah plynoucí ze zkušenosti, který lze vyjádřit jako

$$h = \frac{x}{n}, \quad (1)$$

kde h je počet hodin instalace, x je počet nainstalovaných traťových částí měřicí sestavy a n je počet zúčastněných pracovníků. Za špatného počasí, zejména za deště, popř. jedná-li se o první instalaci zúčastněných pracovníků nebo je-li nutno během instalace přerušovat práci z důvodu uvolnění prostoru pro jiné pracovní skupiny, je potřebný čas pro instalaci určeného počtu tenzometrů nutno prodloužit.

- 4.2.3** V místě zvoleném pro měřicí bod je v úrovni neutrální osy nutno očistit povrch kolejnice o rozměru přibližně 3×3 cm od rzi. Nejprve se očistí hrubá rez vrtačkou s hrubým ocelovým koncovým kartáčem, poté se provede ruční očištění brusnou látkou zrnitosti 180, dále brusným rounem zrnitosti 400.
- 4.2.4** Přibližně (a) 10 a (b) 20 cm od měřicího bodu je potřeba stejným způsobem očistit plochy na stojině kolejnice o rozměrech 3×3 cm pro připevnění držáků ochranné trubky kabelu a konektoru tenzometru. Dolní hrana plochy (a) leží pod neutrální osou kolejnice tak, že se její dolní hrana nachází v úrovni konce zaoblení přechodu mezi patou a stojinou kolejnice. Plocha (b) je svým středem umístěna opět v neutrální ose kolejnice.



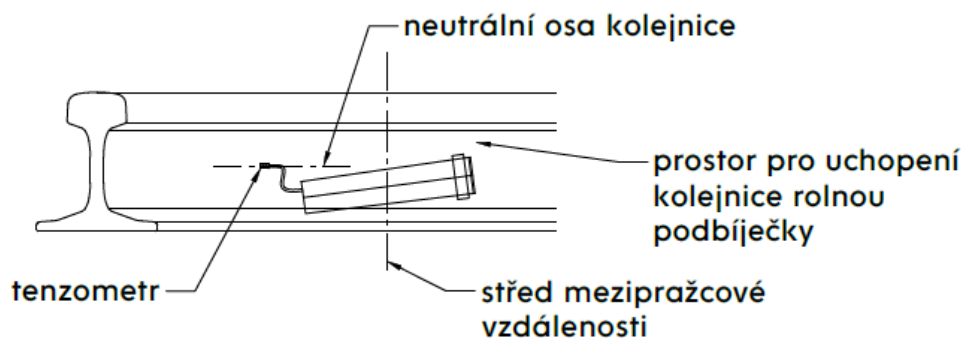
Obrázek 3 – Schéma rozložení ploch stojiny kolejnice k očištění.

- 4.2.5** Při očišťování povrchu kolejnice od rzi je nutno dbát na pouhé avšak kompletní odstranění rzi. Z povrchu stojiny by neměla být odebrána větší tloušťka materiálu, než je pro odstranění rzi nutná. U plochy určené pro instalaci tenzometru je však také nezbytné zajistit co nejvyšší míru rovnosti povrchu po odstranění rzi. Vrstva materiálu odstraněná z důvodu poškození rží by měla být co nejvíce rovnoměrná a obroušený povrch by měl být co nejvíce hladký, bez rýh po nerovnoměrné intenzitě broušení.
- 4.2.6** Po odstranění rzi je potřeba hladký a čistý obroušený povrch kolejnice odmastit bezfreonovým čistícím roztokem a čistícími tampony.
- 4.2.7** V místě očištěném pro instalaci tenzometru se permanentním popisovačem tenkého hrotu vyznačí úroveň neutrální osy kolejnice, a to dvěma vodorovnými čárkami přerušenými mezerou určenou pro instalaci tenzometru.
- 4.2.8** Do místa mezi čárkami vyznačujícími neutrální osu kolejnice se pomocí rychlevytvrzujícího lepidla přilepí tenzometr. Při instalaci se postupuje podle aplikačních podmínek výrobce.



Obrázek 4 – Nalepený tenzometr (ještě s teflonovou příkrývkou) s vyznačenými vodorovnými čárkami.

- 4.2.9** Z držáků plastových pásků se sejme lepicí podložka tak, že zůstane pouze plastová část držáku. Plocha držáku zbavená lepicí podložky i odmaštěné plochy (a) a (b) stojiny kolejnice se pokryjí lepidlem Chemopren Extrém a po době stanovené výrobcem lepidla v instrukcích k použití se držáky přilepí k plochám (a) a (b) stojiny kolejnice přitlačením.
- 4.2.10** Poté, co držáky bezpečně drží přilepeny na stojině kolejnice se k nim pomocí stahovacích pásků připevní ochranná plastová odpadní trubka HTEM DN 40 délky 150 mm z jedné strany ucpaná zásepkou. Trubka se připevní v takové orientaci, že zaslepený konec trubky je na straně plochy (b).
- 4.2.11** Štípacími kleštěmi se odstříhne přebytečná část staženého stahovacího pásku a pásek na trubce se ještě pojistně zakápně menším množstvím lepidla Chemopren Extrém.



Obrázek 5 – Schéma umístění tenzometru a ochranné trubky na kolejnici.

- 4.2.12 Na tenzometr se zaschlým lepidlem se nanese vrstva polyuretanového laku a nechá se zaschnout podle pokynu výrobce.
- 4.2.13 Tenzometr se překryje ústřížkem vysoce přilnavého tmele s hliníkovou fólií o velikosti 3×3 cm, který se na stojinu kolejnice s tenzometrem přitlačí.
- 4.2.14 Kabel tenzometru s konektorem RJ11 se vsune do ochranné trubky.
- 4.2.15 Nezaslepený otvor ochranné trubky se ucpe molitanovou krychlí o délce hrany 5 cm.

4.3 Postup zkoušky – část II: Měření

- 4.3.1 V této kapitole je popsán postup měření podélné deformace kolejnice v jednom měřicím bodě. Pro měření ve více měřicích bodech se postup vždy pouze zopakuje.
- 4.3.2 Před započatím měření je zapotřebí připojit měřicí ústřednu k 12 V bezúdržbové autobaterii a propojit s počítačem. Potřebuje-li měřicí ústředna podle pokynů výrobce čas pro zahřátí, je třeba jej dodržet. Dále je zapotřebí na počítači spustit software pro sběr dat a nastavit v příslušném kanále zobrazení signálu deformace tenzometrického čtvrtmostu v jednotkách $\mu\text{m}/\text{m}$. Další nastavení se provede podle instrukcí výrobce softwaru pro sběr dat. K měřicí ústředně je pak třeba připojit kabel s female konektorem RJ11, čímž se připraví mobilní část *Měřicí sestavy pro diagnostiku časového vývoje napěťových stavů v bezстыkové koleji*.
- 4.3.3 Následně se z ochranné trubky vyjme molitanová ucpávka a propojí se male a female konektor RJ11. Dojde tedy ke spojení traťové a mobilní části měřicí sestavy.
- 4.3.4 Po odečtení a zaznamenání naměřené hodnoty v softwaru pro sběr dat se mobilní a traťová část měřicí sestavy odpojí, kabel traťové části se vloží zpět do ochranné trubky na kolejnici a ta se opět ucpe ucpávkou z molitanové trubky. Je-li v zájmovém místě více měřicích bodů, lze mobilní část měřicí sestavy přenést k dalšímu, aniž by bylo nutno mobilní část měřicí sestavy vypínat.
- 4.3.5 Jsou-li při nějakém z měření po svaření kolejnic prováděny dva odečty, naměřená hodnota v obou odečtech provedených v řádu jednotek minut po sobě by měla být prakticky shodná – akceptovatelný rozdíl je v řádu jednotek $\mu\text{m}/\text{m}$.
- 4.3.6 **Důležité upozornění:** Při provádění měření na obou kolejnicových pásech je nezbytné provádět měření na nich samostatně, aby bylo vyloučeno jejich vodivé spojení.

4.4 Výstup zkoušky

4.4.1 Minimální rozsah výstupu zkoušky odpovídá seznamu nezbytných měření uvedeného v tabulce č. 1 a tedy čítá:

- datum,
- deformaci tenzometru [$\mu\text{m}/\text{m}$],
- teplotu kolejnice [$^{\circ}\text{C}$] a
- čas.

4.4.2 Prvním cílem metodiky je získání délkové deformace kolejnice bezstykové koleje. Velikost aktuální hodnoty této deformace v měřicím bodě lze přímo odečíst v softwaru pro sběr dat v jednotkách $\mu\text{m}/\text{m}$.

4.4.3 Výstup zkoušky lze zapsat v podobě tabulky č. 3. Doporučené označení měřicích bodů je ve formátu *velké písmeno.římská číslice.arabská číslice*, kde *velké písmeno* označuje sledovaný úsek (neprobíhá-li souběžně měření na více sledovaných úsecích, lze vypustit), *římská číslice* označuje staničení koleje a *arabská číslice* označuje měřicí bod v daném staničení. Pro pořádek je vhodné měřicí body označovat rostoucími římskými číslicemi ve směru rostoucího staničení a rostoucími arabskými číslicemi zleva při pohledu ve směru rostoucího staničení. Je-li tedy kolej v příčném řezu v jednom staničení osazena čtyřmi měřicími body (jeden měřicí bod z každé strany každé stojiny kolejnice), bude v takovém staničení využito maximálního počtu čtyř arabských číslic pro identifikaci jednotlivých měřicích bodů.

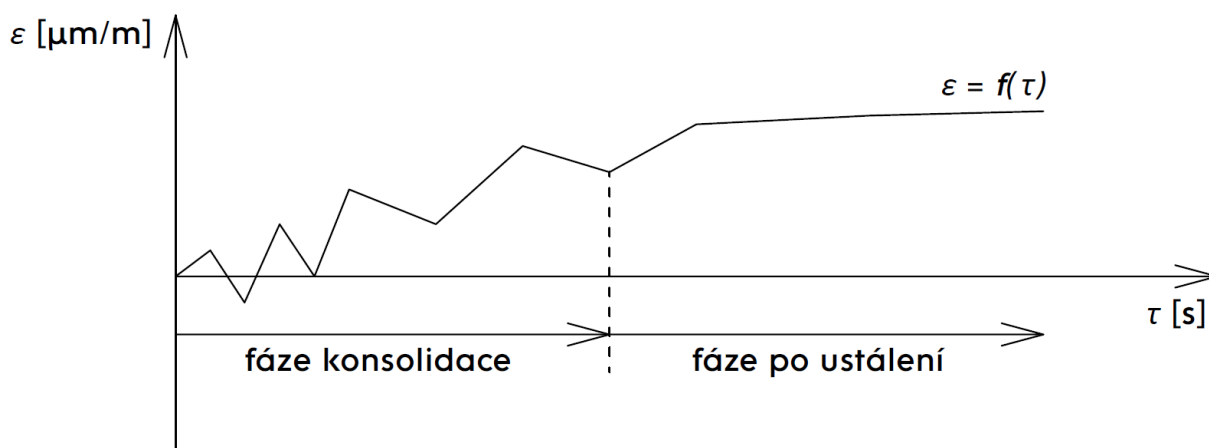
Tabulka 3 – Doporučená záznamová tabulka.

sledovaný úsek:		datum:	
měřicí bod	čas [hh.mm]	teplota kolejnice [$^{\circ}\text{C}$]	deformace [$\mu\text{m}/\text{m}$]
X.I.1	hh.mm	xx,x	xxxx
X.I.2	hh.mm	xx,x	xxxx
X.I.3	hh.mm	xx,x	xxxx
X.I.4	hh.mm	xx,x	xxxx
X.II.1	hh.mm	xx,x	xxxx
X.II.2	hh.mm	xx,x	xxxx
X.II.3	hh.mm	xx,x	xxxx
X.II.4	hh.mm	xx,x	xxxx
X.III.1	hh.mm	xx,x	xxxx
X.III.2	hh.mm	xx,x	xxxx
...	...	...	...
x.x.x	hh.mm	xx,x	xxxx

4.4.4 Záznamovou tabulku podle vzoru tabulky č. 3 je vhodné při každém měření ve sledovaném úseku doplnit o záznam informací uvedených ve sloupci doporučených měření tabulky č. 1.

4.5 Hodnocení zkoušky

- 4.5.1** Vzhledem k tomu, že po instalaci na kolejnici bez osového napětí může mít obecně každý nainstalovaný tenzometr jinou hodnotu deformace, je účelné od naměřených aktuálních hodnot deformace tenzometru v jednotkách $\mu\text{m}/\text{m}$ je účelné nejprve vždy odečíst hodnotu naměřenou při měření č. 3 nebo 4 podle tabulky č. 2 (hodnoty z měření č. 3 a 4 by se měly lišit nanejvýše v řádu jednotek $\mu\text{m}/\text{m}$), čímž se získá relativní hodnota deformace vůči stavu při zřizování bezстыkové koleje. Hodnoty deformace naměřené při měření č. 3 nebo 4 budou tedy na hodnotě nula (resp. téměř nula).
- 4.5.2** Přiřadí-li se každé změřené hodnotě deformace čas, při němž byla změřena, získají se tím dvojice dat čas-deformace.
- 4.5.3** Následně se naměřené dvojice dat pro každý tenzometr vynesou do grafu, kde je čas na nezávislé ose a deformace měřená tenzometricky měřicí ústřednou a zobrazovaná softwarem pro sběr dat na závislé ose. Vynesené body je možno propojit do čárového grafu. Je účelné vynést do jednoho grafu data z více tenzometrů, přičemž je však nutno mít v patrnosti parametry, které mohou být pro jednotlivé tenzometry odlišné. Identifikace a zkoumání vlivu jednotlivých parametrů bude předmětem dalšího výzkumu a přesahuje rozsah této metodiky.
- 4.5.4** Z průběhu grafu lze pozorovat změny deformace kolejnice po zřízení bezстыkové koleje, jak je ilustrativně uvedeno v obrázku č. 6. Délka trvání fáze konsolidace závisí na projeté zátěži kolejí. U vytižené koridorové trati konsolidační fáze končí krátce po zahájení provozu po svaření závěrných svarů, zatímco u trati s dopravou spíše regionálního charakteru ji lze pozorovat po dobu několika měsíců po zahájení provozu po svaření závěrných svarů. Bližší identifikace jednotlivých fází stejně jako parametry, které jejich délku ovlivňují jsou předmětem dalšího výzkumu a přesahují rozsah této metodiky.



Obrázek 6 – Schéma vývoje deformace kolejnice bezстыkové koleje získané z naměřených dvojic dat čas-deformace.

- 4.5.5** Nedocházelo-li by k deformacím (změně délky) kolejnic bezstykové koleje, aktuální hodnotu normálového mechanického napětí v kolejnici by bylo možno stanovit ze vztahu (např. v [6]):

$$\sigma = -\alpha \cdot (t - t_0) \cdot E, \quad (2)$$

kde σ je napětí vyvolané teplotním zatížením kolejnice, α je součinitel teplotní délkové roztažnosti oceli, t je aktuální hodnota teploty kolejnice, t_0 je upínací teplota kolejnice a E je modul pružnosti oceli.

- 4.5.6** Dojde-li ovšem k deformaci kolejnice bezstykové koleje (v její střední části, tj. mimo dýchající konec), pak se tato deformace projeví jako změna neutrální teploty kolejnice v místě (úseku), kde k deformaci došlo, neboť platí, že deformace

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (3)$$

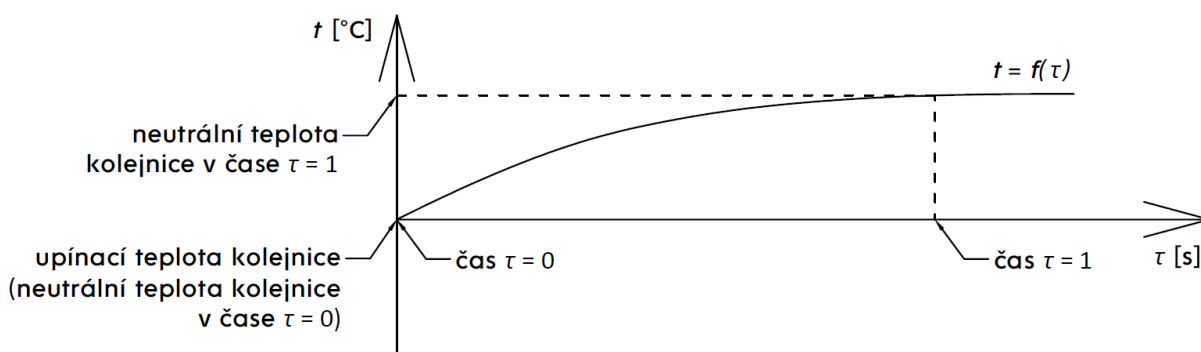
je přímo úměrná napětí

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (4)$$

a to lze substituovat do vztahu analogického ke vztahu č. 2 a po zkrácení a rozepsání změny teplot jej získat ve tvaru

$$\varepsilon = \alpha \cdot (t_1 - t_0), \quad (5)$$

kde t_1 je aktuální hodnota neutrální teploty kolejnice a t_0 původní neutrální teplota kolejnice (v případě, že je deformace odečítána od hodnoty naměřené ihned po svaření, tak se jedná zároveň o upínací teplotu kolejnice). Teoretická změna neutrální teploty kolejnice je schematicky znázorněna na obrázku č. 7 (Zobrazený tvar křivky funkce neutrální teploty t je pouze ilustrativní.).



Obrázek 7 – Schéma vývoje neutrální teploty kolejnice v čase.

- 4.5.7** Ze vztahu č. 5 pak lze snadno vyjádřit aktuální hodnotu neutrální teploty kolejnice, jejíž stanovení je druhým cílem metodiky

$$t_1 = \frac{\varepsilon}{\alpha} + t_0. \quad (6)$$

- 4.5.8** Je-li pak aktuální hodnota neutrální teploty kolejnice dosazena za původní t_0 ve vztahu č. 2, získá se tím vztah pro výpočet napětí v kolejnici bezстыkové koleje při zahrnutí vlivu jejích případných deformací po svaření závěrných svarů. Tento vztah lze zapsat ve tvaru

$$\sigma = -\alpha \cdot \left(t - \frac{\varepsilon}{\alpha} - t_0\right) \cdot E. \quad (7)$$

Stanovení neutrální hodnoty mechanického napětí v kolejnici bezстыkové koleje je třetím cílem této metodiky. Je možno si povšimnout, že α , t_0 a E jsou v této rovnici konstantami, zatímco měřené veličiny t a ε proměnnými.

4.6 Doporučení

- 4.6.1** Při volbě ploch k očištění od rzi na stojině kolejnice je vhodné tato místa podélně zvolit tak, aby výsledná poloha trubky byla ve střední vzdálenosti mezi pražci, neboť při případném posunu kolejnice vůči pražci by mohlo dojít k prostorové kolizi mezi ochrannou trubkou a kolejnicovou svěrkou, zatímco kolize tenzometru se svěrkou nehrozí.
- 4.6.2** Při výběru vhodného umístění měřicích bodů je vhodné vyhnout se těm místům na stojině kolejnice, kde je na ní vystouplá nebo v ní vlisovaná značka, neboť v těchto místech může být problematické vytvořit při odbrušování rzi hladký a rovný povrch.
- 4.6.3** Pro vyznačení neutrální osy kolejnice lze s výhodou využít měrky vytištěné na 3D tiskárně.



Obrázek 8 – Měrka pro vyhledání neutrální osy kolejnice vytištěná na 3D tiskárně.

- 4.6.4** Tenzometr je při instalaci na kolejnici vhodné orientovat tak, aby vodiče z mřížky vycházely na opačnou stranu, než je umístěna ochranná trubka. Poté se vodiče zahnou o 180° a zaujmou orientaci vstříc trubce. Tímto postupem je možno celé ohnutí vodičů vycházejících z tenzometru skrýt pod ústřížkem vysoce přilnavého tmele s hliníkovou fólií a lépe jej tak ochránit před mechanickým poškozením.
- 4.6.5** Držáky plastových pásků je lépe připevnit tak, aby byly jejich hrany rovnoběžné, tj. aby měly oba držáky stejný úklon shodný s výsledným podélným sklonem ochranné trubky. Trubka připevněná stahovacími páskami pak bude lépe zachovávat podélný sklon vhodný k minimalizaci zadržování vody uvnitř trubky.
- 4.6.6** Zejména u výškového umístění držáku plastového pásku v ploše (b) je nutno zohlednit nutnost zachování dostatečného prostoru k uchopení kolejnice za hlavu rolnou podbíječky.
- 4.6.7** Směrovou orientaci ochranných trubek je radno zachovat shodnou ve všech měřicích bodech zájmového místa, a to nezaslepeným otvorem trubky ve směru klesajícího sklonu nivelety koleje. Toto opatření napomůže odvodu vody z ochranných trubek.
- 4.6.8** Při měření v mrazivém období může molitanová krychle ucpávající nezaslepený otvor ochranné trubky k ochranné trubce zevnitř přimrznout. V takovém případě je žádoucí být při měření vybaven plynovým hořákem a kartuší s propan-butanem, jimiž lze ohřát ústí ochranné trubky natolik, aby došlo k rozpojení mrazové vazby mezi ucpávkou z molitanové krychle a ochrannou trubkou a získat tak přístup ke kabelu tenzometru s konektorem RJ11.
- 4.6.9** Pro měření ve více měřicích bodech jednoho zájmového místa je vhodné mobilní část měřicí sestavy a veškeré další příslušenství umístit do přenosné bedny, která umožňuje rychlé přemísťování podél koleje.
- 4.6.10** Pro přístup k odlehlejším místům trati je vhodné přenosnou bednu umístit na terénní rudl a převážet ji.
- 4.6.11** Pro měření teploty kolejnice je vhodnější dotykový teploměr, neboť emisivita povrchu stojiny kolejnice, jež měření bezdotykovým teploměrem ovlivňuje, se může v průběhu času měnit.
- 4.6.12** Konstrukce traťové části měřicí sestavy je vytvořena tak, že umožňuje podbití koleje automatickou strojní podbíječkou bez jakýchkoliv omezení, aniž by došlo k poškození měřicí sestavy. Omezení však nastává v případě průjezdu pluhu pro úpravu šterkového lože, jehož technologie k očištění kolejnic od kameniva může traťovou část měřicí sestavy z kolejnice strhnout. Je proto důležité dohodnout postup ochrany traťových částí měřicí sestavy se správcem infrastruktury a stavbyvedoucím. Možnými řešeními jsou označení umístění měřicích bodů výraznými červenými značkami na horních plochách sousedních pražců vně kolejového kanálu, příp. cedulí umístěnou vedle trati v dotčeném staničení.



Obrázek 9 – Označení staničení s měřicími body v lokalitě Bezpráví červenou barvou na horních plochách pražců vně kolejového kanálu a zároveň vlajkou utvořenou z oranžové reflexní vesty.

5 Novost postupů

- 5.1** V české i světové literatuře je popsána řada nedestruktivních přístupů ke stanovení mechanického napětí v kolejnicích bezstykové koleje (výběrový přehled např. v [9]), prozatím se však žádnému z nich přes dílčí úspěchy v laboratorním prostředí nepodařilo dosáhnout širšího uplatnění v aplikační sféře u správců železniční infrastruktury.
- 5.2** Tato metodika vychází z tenzometrické technologie, která je známá již desítky let [10], nicméně až desetiletí trvající vývoj této technologie umožnil nyní efektivně využít na trhu dostupných produktů k provádění dlouhodobých měření zejména v mnohem větším rozsahu, co se pokrytí kolejnic a sběru informací o jejich chování týče, což je jeden z klíčových aspektů této metodiky.
- 5.3** Novost postupu popsaného v této metodice také spočívá ve využití *Měřicí sestavy pro diagnostiku časového vývoje napěťových stavů v bezstykové koleji*, která je původním výsledkem výzkumu realizovaného v rámci projektu TAČR TJ04000301.
- 5.4** Novost postupu, která je výsledkem experimentálního vývoje uvedené měřicí sestavy a aplikovaného výzkumu, spočívá také v doporučení k použití pouze jednoho tenzometru nainstalovaného na stojinu kolejnice pro jeden měřicí bod, což, jak se ukázalo z početných měření, snižuje šum měřeného signálu.

6 Popis uplatnění metodiky

- 6.1** Metodika najde široké uplatnění ve výzkumu bezстыkové koleje. Vzhledem k časové náročnosti výzkumu jevů spojených s deformacemi bezстыkové koleje a vývojem mechanického normálového napětí v ní lze předpokládat, že výzkum časem dospěje k dalším doporučením, které budou z předkládané metodiky vycházet, ale zároveň dále zpřesňovat informace, které bude možno za jejího použití experimentálně získat.
- 6.2** Tato metodika reaguje také na dlouhotrvající poptávku po jednoduše proveditelném vyšetřování mechanického napětí v kolejnicích bezстыkových kolejí. Její předností je kombinace využití zavedených technologií, které vedou k přesným měřeným datům, a zároveň zachování dostatečné jednoduchosti postupu uplatnitelné i pro praktické použití.
- 6.3** Tuto metodiku lze uplatnit na všech bezстыkových kolejích, bez ohledu na rozchod koleje, řád koleje, traťovou rychlost (metodika je uplatnitelná i na vysokorychlostních tratích), či další parametry. Uplatnění nalezne ve všech zemích světa s železniční sítí.
- 6.4** Dalším faktorem, jenž přispívá uplatnitelnosti metodiky, jsou zejména nízké náklady potřebné pro provádění měření. Lze rovněž podotknout, že vstupní investiční náklady jsou pro správce infrastruktury též relativně nízké, zejména vzhledem k rozsahu problematiky mechanického napětí v kolejnicích bezстыkové koleje.
- 6.5** Vzhledem k rozvoji zřizování bezстыkové koleje v tuzemsku i ve světě lze předpokládat, že světový rozsah sítě železničních tratí se zřízenou bezстыkovou kolejí bude dále růst. Proto se lze důvodně domnívat, že i potenciál uplatnění metodiky s časem poroste.

7 Ekonomické aspekty

7.1 Náklady spojené s realizací měření

7.1.1 Náklady spojené s realizací měření lze rozdělit na

- investiční náklady pro pořízení mobilní části měřicí sestavy,
- investiční náklady pro pořízení traťové části měřicí sestavy,
- náklady spojené s instalací měřicí sestavy a
- náklady spojené s realizací jednoho měření.

7.1.2 Investiční náklady pro pořízení mobilní části měřicí sestavy postačuje vynaložit jednou, neboť jednu mobilní část měřicí sestavy lze využít pro měření na libovolném množství měřicích bodů. Nejnákladnější položkou mobilní části měřicí sestavy je měřicí ústředna, jejíž cena závisí na výběru typu a výrobce. Další nákladnou položkou je počítač a software pro sběr dat. Pořízení ostatních položek mobilní části měřicí sestavy obnáší oproti výše uvedeným zanedbatelnou investici. Ač se celková výše investičních nákladů pro pořízení mobilní části měřicí sestavy může lišit zejména v závislosti na aktuální ceně měřicí ústředny, lze ji odhadnout v úrovni několika set tisíc korun českých.

7.1.3 Investiční náklady pro pořízení traťové části měřicí sestavy jsou velmi nízké a pohybují se okolo tisíce korun českých. Nutno však podotknout, že pro vyšetření delšího úseku koleje může být zapotřebí několik desítek (např. v případě úseku dlouhého stovky metrů) či stovek (např. v případě úseku dlouhého jednotky kilometrů) traťových částí měřicí sestavy.

7.1.4 Náklady spojené s instalací měřicí sestavy obnášejí jednak relativně zanedbatelné náklady na spotřebovanou elektrickou energii, dále náklady na dopravu pracovníků na místo instalace a zpět a dále náklady na práci instalujících pracovníků. Pro odhad celkového počtu odpracovaných hodin, který se může velmi lišit v závislosti na zamýšleném rozsahu instalace, lze s výhodou využít vztahu č. 1.

7.1.5 Náklady spojené s realizací jednoho měření jsou kromě nákladů na práci měřicích pracovníků rovněž zanedbatelné. U zkušených pracovníků, pracujících-li ve dvojici, lze počítat s délkou měření na jednom měřicím bodě ve výši jedné minuty. V případě vytížené trati, kdy je nutno častěji mezi měřeními opouštět pracoviště v koleji, je nutno tento faktor při výpočtu doby potřebné pro měření zohlednit. Rovněž je potřeba časově zohlednit, probíhá-li měření za mrazu, neboť je nutno předem plynovým hořákem rozpojit mrazem vzniklou vazbu mezi molitanovou ucpávkou a otvorem ochranné trubky. Toto lze urychlit, je-li pro tuto práci možno vyčlenit další pracovníky.

7.2 Možné ekonomické přínosy

- 7.2.1** V době vydání této metodiky autoři bohužel nedisponují informacemi o nákladech spojených s managementem osových sil v kolejnicích bezstykové koleje z České republiky, přesto se na základě jim dostupných informací pokusí alespoň orientačně sestavit odhad možných ekonomických přínosů předkládané metodiky.
- 7.2.2** Podle [7] dosahují náklady spojené s managementem osových sil v kolejnicích bezstykové koleje ve Spojených státech výše 134 milionů dolarů ročně. Rozpis po jednotlivých položkách je uveden v tabulce č. 4.

Tabulka 4 – Roční náklady managementu osových sil v bezstykové koleji v USA. [7]

náklady [mil. USD]	položka
15	oprava vybočení koleje
28	vykolejení z důvodu vybočení koleje
51	pomalé jízdy
40	úprava napětí v koleji

- 7.2.3** Tabulka č. 5 ukazuje délku kolejí (nikoliv tratí) v České republice v roce 2020 a ve Spojených státech amerických v roce 2003, tedy v době, k níž se vztahují data o nákladech z tabulky č. 4. Data pocházejí ze statistiky Mezinárodní železniční unie [11], pro Spojené státy americké roku 2003 byly dopočteny lineární extrapolací z dostupných dat let 2013 až 2020.

Tabulka 5 – Délka kolejí v ČR (2020) a USA (2003, interpolace z dat 2013 až 2020). [11]

délka kolejí [km]	stát
15 189	Česká republika
267 751	Spojené státy americké

- 7.2.4** Za předpokladu stejného poměru nákladů spojených s vykolejeními z důvodu vybočení koleje a opravami vybočení koleje v České republice a ve Spojených státech amerických lze porovnáním údajů z tabulek č. 4 a 5 odhadnout, že náklady spojené s vykolejeními z důvodu vybočení koleje a opravami vybočení koleje v současné době v České republice činí přibližně 2,4 miliony amerických dolarů v cenách roku 2003. Po přepočtení podle kurzu CZK/USD z roku 2003 (do výpočtu brána přibližná hodnota 28 Kč [12]) a zahrnutí minulé inflace k roku 2003 v souhrnné přibližné výši 50 % [13] vychází orientační přepočet nákladů spojených s vykolejeními z důvodu vybočení koleje a opravami vybočení koleje v České republice na přibližně 100 milionů Kč ročně. Pro přesnější odhad nákladů bohužel nemají autoři potřebná data.
- 7.2.5** Z odhadu uvedeného v předcházejících odstavcích lze dovodit, že pokud by se na základě předkládané metodiky podařilo snížit průměrné roční náklady spojené s vykolejeními z důvodu vybočení koleje a opravami vybočení koleje v České republice o 10 %, finanční úspora ve výši 10 milionů Kč ročně by výrazně převážila náklady na pořízení potřebného vybavení i prováděná měření. Nutno navíc podotknout, že použití metodiky není v žádném případě vázáno pouze na území České republiky a finanční úspory by v případě zahrnutí zahraničních železničních sítí byly ještě mnohem výraznější.

8 Literatura

1. UIC. *Code 720 Laying and Maintenance of CWR Track*. Paris, 2005.
2. ORRINGER, Oscar; ORKISZ, Janusz; ŚWIDERSKI, Zdzisław (ed.). *Residual Stress in Rails: Effects on Rail Integrity and Railroad Economics* [online]. Kluwer Academic Publishers, 1992 [cit. 2022-01-23]. ISBN 978-94-011-1787-6. Dostupné z DOI: 10.1007/978-94-011-1787-6.
3. SZELAŹEK, Jacek. Monitoring of thermal stresses in continuously welded rails with ultrasonic technique. *The e-Journal of Nondestructive Testing & Ultrasonics* [online]. 1997, roč. 3, č. 6 [cit. 2022-01-23]. ISSN 1435-4934. Dostupné z: <https://www.ndt.net/article/dresd97/szelazek/szelazek.htm>.
4. PLÁŠEK, Otto; ZVĚŘINA, Pavel; SVOBODA, Richard; MOCKOVČIAK, Milan. *Železniční stavby. Železniční spodek a svršek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2004. ISBN 80-214-2620-9.
5. LICHTBERGER, Bernhard. *Track Compendium*. 2. vyd. Hamburg: DVV Media Group, 2011. ISBN 978-3-7771-0421-8.
6. ESVELD, Coenraad. *Modern Railway Track*. 2. vyd. Delft: MRT-Productions, 2001. ISBN 90-800324-3-3.
7. KOOB, Michael J. *The development of a vibration technique for estimation of neutral temperature in continuously welded railroad rail* [online]. Champaign, Illinois, 2005 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: [http://railtec.illinois.edu/wp/wp-content/uploads/pdf-archive/Koob-MS-thesis-\(final\).pdf](http://railtec.illinois.edu/wp/wp-content/uploads/pdf-archive/Koob-MS-thesis-(final).pdf). Disertační práce. University of Illinois at Urbana-Champaign. Vedoucí práce Christopher P. L. Barkan a Richard L. Weaver.
8. SPRÁVA ŽELEZNIC. *S3/2 Bezстыková kolej*. Praha, 2013.
9. VNENK, Petr; CULEK, Bohumil. Measurement Methods of Internal Stress in Continuous Welded Rail. *Acta Polytechnica CTU Proceedings* [online]. 2017, roč. 11 [cit. 2022-01-31]. ISBN 978-80-01-06297-5. ISSN 2336-5382. Dostupné z: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/APP/issue/view/605>.
10. WINDOW, A. L. (ed.). *Strain Gauge Technology*. 2. vyd. Springer Netherlands, 1993. ISBN 978-1-85166-864-9.
11. UIC. *RAILISA* [online]. 2019. Paris [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://uic-stats.uic.org/>.
12. KURZY.CZ. *USD průměrné kurzy 2003, historie kurzů měn* [online]. 2022 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/kurzy-men/historie/USD-americky-dollar/2003/>.
13. PENÍZE.CZ. Kalkulačka inflace: jak se znehodnocuje česká koruna? *Peníze.cz* [online]. 2022 [cit. 2022-02-01]. ISSN 1213-2217. Dostupné z: <https://www.penize.cz/kalkulacky/znehodnoceni-koruny-inflace>.

9 Přílohy

9.1 Úplný soupis položek k instalaci a měření používaný autory při vývoji metodiky

9.1.1 Pro instalaci přibližně 50 traťových částí měřicí sestavy byly autory používány následující přístroje a pomůcky:

- tenzometry HBM K-CLY4-0060-1-350-4-005-Y (50 ks + 30 ks rezervních)
- tmel s hliníkovou fólií HBM ABM75 (2 balení)
- čistící roztok s čistícími tampóny HBM RMS1 (2 l roztoku a 200 ks tampónů)
- kopyto na čistící tampony (lze vytvořit např. z širokého plochého šroubováku)
- rezervní brusné pásy šířky 9 mm (10 ks)
- koncové kartáče do vrtačky (2 ks)
- ocelový kartáč (1 ks)
- brusné látky zrnitosti 180 (10 ks)
- brusná rouna zrnitosti 400 (6 ks)
- měrky neutrální osy kolejnice (4 ks, vlastní výroba na 3D tiskárně)
- tenké permanentní fixy (4 ks, lze použít i olejové fixy)
- tužky (3 ks)
- pásma délky 5 m (2 ks)
- ocelové pravítko (2 ks)
- zavírací nůž (1 ks)
- prodlužovací kabely délky 5 m s pěti zástrčkami (2 ks)
- stahovací pásy (200 ks)
- držáky na stahovací pásy (200 ks)
- lepidlo Chemopren Extrém (5 ks)
- plastové odpadní trubky HTEM DN 40 délky 150 mm (60 ks)
- záslepky plastových odpadních trubek HTEM DN 40 (60 ks)
- nůžky (3 ks)
- černé (3 ks) a červené (3 ks) elektrikářské izolační pásy
- AA baterie (18 ks)
- LED svítidlo (1 ks)
- základní nářadí (klíče, kleště, šroubováky) a textilní utěrky
- značkovací spreje (4 ks)

pokračování z předchozí strany

- molitanové krychle o hraně délky 5 cm (60 ks)
- špachtle (1 ks)
- pracovní rukavice
- polyuretanový lak HBM PU140 (3 ks)
- rychlevytvrzující lepidlo HBM Z70 (3 ks)
- čelovka (1 ks)
- propojovací kabel D-Sub 15 pin male/RJ11 female (2 ks, vlastní výroba)
- průpisky (2 ks)
- papíry na poznámky
- záznamový arch na výsledky měření
- plán instalace tenzometrů
- napájecí kabel měřicí ústředny pro připojení k 12 V bezúdržbové autobaterii (1 ks)
- napájecí kabel počítače pro připojení k 12 V bezúdržbové autobaterii (1 ks)
- měřicí ústředna QuantumX MX840A
- počítač s programem Catman Easy
- reflexní vesty
- kopie osvědčení K-03 vedoucího prací
- kopie smlouvy o sledování se správcem infrastruktury
- průkazy vstupu do kolejiště
- 12 V bezúdržbové autobaterie (2 ks)
- dotykový teploměr Testo 905-T2
- pásové brusky (3 ks)
- vrtačky (2 ks)
- horkovzdušná pistole
- 10 kg propan-butanová lahev (2 ks)
- benzinový generátor
- 20 l kanystr s benzinem
- 50 m prodlužovací kabel na bubnu
- nákolníky (6 párů)
- ochranný stan (2 ks)
- plynový teplomet

9.1.2 Pro měření byly autory používány následující přístroje a pomůcky:

- propojovací kabel D-Sub 15 pin male/RJ11 female (2 ks, vlastní výroba)
- průpisky (2 ks)
- papíry na poznámky
- záznamový arch na výsledky měření
- plán instalace tenzometrů
- čelovka (1 ks)
- napájecí kabel měřicí ústředny pro připojení k 12 V bezúdržbové autobaterii (1 ks)
- napájecí kabel počítače pro připojení k 12 V bezúdržbové autobaterii (1 ks)
- stahovací pásy (100 ks)
- držáky na stahovací pásy (100 ks)
- lepidlo Chemopren Extrém (1 ks)
- měřicí ústředna QuantumX MX840A
- počítač s programem Catman Easy
- AA baterie (18 ks)
- vysílačky (6 ks)
- reflexní vesty
- průkazy vstupu do kolejiště
- 12 V bezúdržbové autobaterie (2 ks)
- dotykový teploměr Testo 905-T2
- lopatka a smetáček
- utěrka
- plynový hořák
- plynové kartuše pro plynový hořák (2 ks)
- červená elektrikářská izolační páska
- molitanové krychle o hraně délky 5 cm (3 ks)

9.2 Příklad použití metodiky – lokalita Bezpráví

9.2.1 Lokalita Bezpráví se nachází na I. a III. železničním koridoru České republiky mezi stanicemi Ústí nad Orlicí a Brandýs nad Orlicí. Sledovaný úsek se nachází 1. traťové koleji v km 260,8 až 261,4 a je v něm umístěno celkem 16 měřicích bodů, vždy po čtyřech ve čtyřech staničních vzdálených vždy 160 m od sebe. Celková délka sledovaného úseku je tedy 480 m. Schéma instalace tenzometrů v lokalitě Bezpráví je součástí dalších příloh předkládané metodiky. Traťové části měřicí sestavy byly do úseku instalovány 31. srpna 2021, svařování závěrných svarů proběhlo 1. září 2021.

9.2.2 Dne 1. září okolo poledne byl svařen pravý kolejnicový pás v km 261,233, přičemž před svařením byla protažena o 14 mm kolejnice směrem od Ústí nad Orlicí a o 7 mm kolejnice směrem od Brandýsa nad Orlicí. Kotevní úsek kolejnice směrem na Brandýs nad Orlicí začínal za umístěním tenzometrů ve čtvrtém staničení s osazenou traťovou částí měřicí sestavy (km 261,328). Natahováno bylo tedy 95 metrů kolejnice o 7 mm. Při natahování kolejnice byly používány válečky pod patu kolejnice. Průměrné relativní protažení tedy vychází přibližně $74 \mu\text{m}/\text{m}$. V profilu čtvrtého staničení (km 112,010) bylo provedeno měření po uvolnění kolejnicového pásu a vložení válečků pod patu kolejnice a po jejím požadovaném protažení a upevnění upevňovacími. Naměřené hodnoty jsou shrnuty v tabulce č. 6 a 7.

Tabulka 6 – Záznam naměřených dat z lokality Bezpráví před natažením kolejnice.

sledovaný úsek: Bezpráví			datum: 01.09.2021
měřicí bod	čas [hh.mm]	teplota kolejnice [$^{\circ}\text{C}$]	deformace [$\mu\text{m}/\text{m}$]
D.IV.3	10.26	19,9	1699
D.IV.4	10.27	19,5	1776

Tabulka 7 – Záznam naměřených dat z lokality Bezpráví po natažení kolejnice.

sledovaný úsek: Bezpráví				datum: 01.09.2021
měřicí bod	čas [hh.mm]	teplota kolejnice [$^{\circ}\text{C}$]	deformace [$\mu\text{m}/\text{m}$]	relativní deformace [$\mu\text{m}/\text{m}$]
D.IV.3	11.44	21,6	1764	65
D.IV.4	11.45	21,6	1856	80

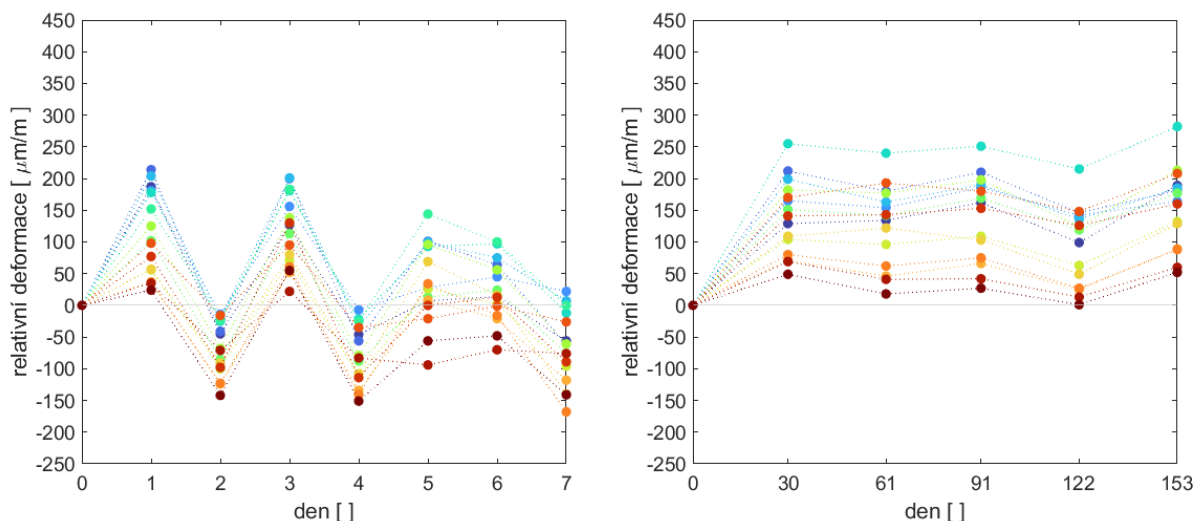
9.2.3 Z porovnání hodnot deformací z tabulek č. 6 a 7 plyne, že natažením kolejnice došlo k jejímu protažení ve sledovaném profilu v průměru o $73 \mu\text{m}/\text{m}$, což velmi přesně odpovídá očekávané hodnotě (rozdíl v řádu jednotek $\mu\text{m}/\text{m}$ odpovídá šumu měření). Z naměřených dat tedy vyplývá, že protažení kolejnice o délce 95 m (kotevní blok v její délku nepočítaje) uložené na válečkách o celkovou hodnotu 7 mm bylo velmi rovnoměrné. Nutno však dodat, že pro zvýšení míry jistoty by bylo vhodné, kdyby byla natahovaná kolejnice po délce osazena větším počtem měřicích bodů, což však nebylo možné z důvodu omezeného počtu členů výzkumného týmu a času alokovaného pro instalaci.

9.2.4 Kompletní záznam naměřených hodnot v lokalitě Bezpráví po svaření závěrných svarů je uveden v tabulce č. 8.

Tabulka 8 – Záznam naměřených dat z lokality Bezpráví po svaření závěrných svarů.

sledovaný úsek: Bezpráví			datum: 01.09.2021
měřicí bod	čas [hh.mm]	teplota kolejnice [°C]	deformace [$\mu\text{m}/\text{m}$]
D.I.1	13.47	30,3	1546
D.I.2	13.48	31,2	1511
D.I.3	13.50	31,0	1198
D.I.4	13.51	31,2	1677
D.II.1	13.57	28,5	2103
D.II.2	13.58	28,2	2030
D.II.3	13.59	28,4	2024
D.II.4	14.00	28,0	2183
D.III.1	11.50	19,1	1621
D.III.2	11.51	19,8	1301
D.III.3	11.52	19,8	1576
D.III.4	11.53	19,9	1293
D.IV.1	11.41	22,3	1503
D.IV.2	11.42	21,5	1694
D.IV.3	11.44	21,6	1764
D.IV.4	11.45	21,6	1856

9.2.5 Graf v obrázku č. 10 znázorňuje vývoj naměřených hodnot deformace v jednotlivých měřicích bodech v jednotlivých dnech, resp. měsících po svaření závěrných svarů. V obou grafech jsou uvedené hodnoty deformace vztažené k měření po svaření kolejnic, tedy k hodnotám uvedeným v tabulce č. 8.



Obrázek 10 – Vývoj naměřených hodnot deformace v jednotlivých měřicích bodech v lokalitě Bezpráví v prvních dnech a v prvních měsících od svaření závěrných svarů.

- 9.2.6** Z porovnání grafů je patrné, že krátce po svaření závěrných svarů dochází k výraznějším změnám hodnot deformace, projetá zátěž, která je ve sledovaném úseku významná pak výrazně hodnotu deformace ustaluje, což odpovídá jednotlivým fázím uvedeným ve schématu č. 6. Zároveň je ve všech měřicích bodech patrné, že jsou kolejnice oproti stavu krátce po svaření závěrných svarů protažené, což odpovídá zvýšení neutrální teploty kolejnic v dané lokalitě. Jako příklad lze uvést hodnoty naměřené v profilu třetího staničení v km 261,168 ze dne 1. února 2022, tedy po pěti měsících od svaření závěrných svarů. Tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 9.

Tabulka 9 – Záznam naměřených dat z km 261,168 lokality Bezpráví dne 1. února 2022.

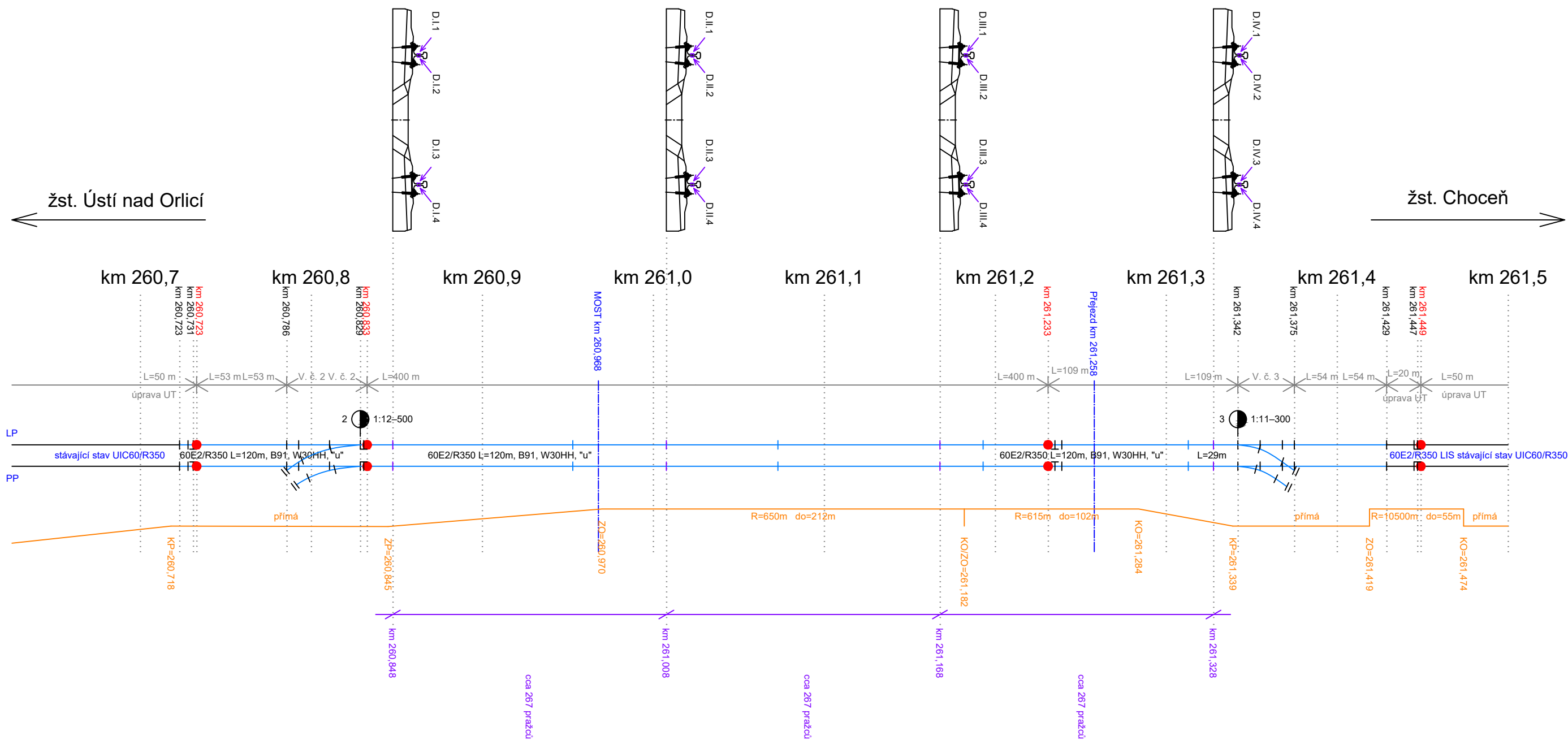
sledovaný úsek: Bezpráví				datum: 01.02.2022
měřicí bod	čas [hh.mm]	teplota kolejnice [°C]	deformace [$\mu\text{m}/\text{m}$]	relativní deformace [$\mu\text{m}/\text{m}$]
D.III.1	12.13	3,4	1753	132
D.III.2	12.14	3,5	1430	129
D.III.3	12.14	4,0	1665	89
D.III.4	12.15	4,0	1381	88

- 9.2.7** Z hodnot uvedených v tabulce č. 9 plyne, že průměrná hodnota relativní deformace vůči stavu po svaření závěrných svarů ve staničení km 261,168 po pěti měsících od svaření závěrných svarů je u levého kolejnicového pásu přibližně $131 \mu\text{m}/\text{m}$ a u pravého kolejnicového pásu přibližně $89 \mu\text{m}/\text{m}$, což podle vztahu č. 6 odpovídá zvýšení neutrální teploty přibližně o 11, resp. $7,5^\circ\text{C}$ oproti upínací teplotě, a aktuální hodnota osového napětí ve vyšetřovaném staničení v levém kolejnicovém pásu je podle vztahu č. 7 přibližně $76,5 \text{ MPa}$ a v pravém $66,5 \text{ MPa}$.

9.3 Další přílohy

Další přílohy této metodiky tvoří

- schéma instalace tenzometrů v lokalitě Bezpráví a
- dokumentace funkčního vzorku č. TJ04000301-V2 *Měřicí sestava pro diagnostiku časového vývoje napěťových stavů v bezстыkové koleji*, který je výsledkem řešení projektu TAČR TJ04000301 *Nedestruktivní stanovení mechanického napětí v bezстыkové koleji*.



Legenda:
rozdělení pražců „u“
● závěrný svar
++ montážní svar
+ umístění tenzometrů
(z obou stran stojiny kolejnice)

Pracoviště DFJP-VVCD/KDS UNIVERZITA PARDUBICE DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA	Navrhl Petr Vnenk	Druh dokumentu Schéma instalace tenzometrů	Status dokumentu Vydáno		Formát A3	
	Vypracoval Petr Vnenk	Název, doplňující název Stav instalace tenzometrů, lokalita Bezprávi, TJ04000301, WP1	Číslo dokumentu 2		Měřítka -	
	Kontroloval		Verze 2	Datum vydání 04.02.2022	Jazyk cz	List 1/1

Identifikace funkčního vzorku

Název: Měřicí sestava pro diagnostiku časového vývoje napěťových stavů v bezстыkové koleji

Identifikační kód: TJ04000301-V2

Číslo projektu: TJ04000301

Autoři: Ing. Petr Vnenk, Ing. Özgür Yurdakul, Ph.D., Ing. Jiří Šlapák, Ing. Vladimír Suchánek, Ph.D., doc. Ing. Bohumil Culek, Ph.D., doc. Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D., Ing. Ondřej Sadílek, Ph.D., Ing. Filip Klejch, Bc. Zdeněk Sháněl, Karel Suchý, Tadeáš Šustr, Miloš Šula

Kontaktní osoba: Ing. Petr Vnenk, petr.vnenk@upce.cz, Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice

Technická specifikace

Měřicí sestava vznikla v přímé souvislosti s řešením projektu TJ04000301 Nedestruktivní stanovení mechanického napětí v bezстыkové koleji podpořeného z programu Zéta Technologické agentury ČR.

Měřicí sestava se skládá z traťové a mobilní části. Traťová část je tvořena tenzometrem typu K-CLY4-0060-1-350-4-050-Y výrobce HBM, polypropylenovou trubicou délky 150 mm a vnějšího průměru 40 mm a molitanovou krychlí o délce hrany 50 mm. Tenzometr je připevněn ke stojině kolejnice v úrovni její neutrální osy tak, že hlavní osa tenzometru je shodná se směrem neutrální osy kolejnice. Příslušná oblast stojiny, na níž je tenzometr připevněn je před instalací očištěna od rzi a nerovností a odmaštěna. Tenzometr je přilepen rychlevytvrzujícím lepidlem 1-Z70 a po jeho zaschnutí přelakován polyuretanovým lakem 1-PU140, obojí výrobce HBM. Po zaschnutí laku je tenzometr překryt vysocepřilnavým tmelem s hliníkovou folií 1-ABM75 také od výrobce HBM. Polypropylenová trubka je připevněna dvojicí stahovacích pásků a držáků stahovacích pásků k dolní části stojiny kolejnice lepidlem Chemoprén Extrém. Vodiče tenzometru zakončené male konektorem RJ11 jsou vloženy v jednostranně zaslepené polypropylenové trubce, jejíž druhý konec je ucpán molitanovou krychlí. Mobilní část je tvořena měřicí ústřednou MX840A a adaptérem pro čtvrtmostové zapojení SCM-SG350 výrobce HBM, spojovacím kabelem a female konektorem RJ11 výrobce ENCITECH. Měřicí ústřednou MX840A se měří přímo mechanická deformace.

Traťová část měřicí sestavy je v současné době nainstalována na 44 stanovištích v traťovém úseku Hostinné – Pilníkov a na 16 stanovištích v traťovém úseku Ústí nad Orlicí – Brandýs nad Orlicí. Předchozí vývojové stupně traťové části měřicí sestavy byly nainstalovány v traťových úsecích Mostek – Horka u Staré Paky a Brno-Horní Heršpice – Střelice. Jeden exemplář měřicí sestavy je trvale umístěn v areálu Výukového a výzkumného centra v dopravě v Doubravících, Dopravní fakulty Jana Pernera.

Ekonomické parametry

Ekonomický přínos měřicí sestavy spočívá ve schopnosti kontinuálně i diskrétně zaznamenávat hodnotu podélné deformace kolejnice, což umožňuje predikci poruch bezстыkové koleje – lomů kolejnice a vybočení koleje. Včasnou predikcí těchto poruch lze upravit provozní zatížení koleje a tím minimalizovat ekonomické škody.

Popis

Měřicí sestava je využívána při pravidelných měřeních podélných deformací bezстыkové koleje v provozované dráze. Její předností je velmi přesné určení deformace kolejnice v místě instalace traťové části sestavy v řádu jednotek $\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}$. Dalšími přednostmi jsou životnost alespoň 1 rok a žádná omezení pro použití technologií údržby trati ve sledovaném úseku vyjma pluh pro úpravu šterkového lože. Při průjezdu pluhu pro úpravu šterkového lože přes traťovou část měřicí sestavy je nutno zdvihnout kolejnicové čistící smetáky, aby nedošlo k jejímu stržení.

Fotografie



Obrázek 1: Traťová část měřicí sestavy.



Obrázek 2: Mobilní část měřicí sestavy.



Obrázek 3: Připevnění tenzometru rychlevytvrzujícím lepidlem 1-Z70.



Obrázek 4: Spojení traťové a mobilní části měřicí sestavy během měření.