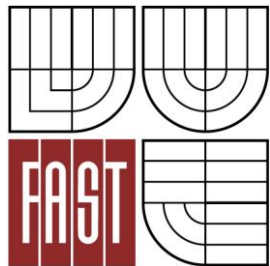




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A  
STAVEB

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

## VYHODNOCENÍ VLIVU PODPRAŽCOVÝCH PODLOŽEK VE ZKUŠEBNÍM ÚSEKU V ŽST. PLANÁ NAD LUŽNICÍ

EVALUATION OF UNDER SLEEPER PADS INFLUENCE IN THE TEST SECTION IN PLANÁ  
NAD LUŽNICÍ RAILWAY STATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

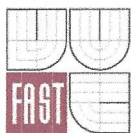
TOMÁŠ ŠVANDA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MIROSLAVA HRUZÍKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2016





# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

**Studijní program** B3607 Stavební inženýrství  
**Typ studijního programu** Bakalářský studijní program s prezenční formou studia  
**Studijní obor** 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby  
**Pracoviště** Ústav železničních konstrukcí a staveb

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

**Student** Tomáš Švanda

**Název** Vyhodnocení vlivu podpražcových podložek ve zkušebním úsekuv žst. Planá nad Lužnicí

**Vedoucí bakalářské práce** Ing. Miroslava Hruzíková, Ph.D.

**Datum zadání bakalářské práce** 30. 11. 2015

**Datum odevzdání bakalářské práce** 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....  
doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.  
Vedoucí ústavu



.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

zprávy z předchozích hodnocení zkušebních úseků s pražci s pružnou ložnou plochou  
data přesné nivelace a z měřicího vozu

## Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Vyhodnoťte naměřená data (přesná nivelace a data z měřicího vozu) ve zkušebním úseku s podpražcovými podložkami v žst. Planá nad Lužnicí za rok 2015. Získané výsledky pak porovnejte s naměřenými daty z předchozích let. Zhodnoťte vliv podpražcových podložek na geometrické parametry koleje.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

*Hružíková*

.....  
Ing. Miroslava Hružíková, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Podpražcové podložky jsou pružné desky umístěné na spodní ploše pražce. Cílem těchto prvků je mimo jiné zpomalit rozpad geometrických parametrů koleje a snížit tak potřebu zásahu do koleje, tedy náklady na údržbu. V současné době jsou podpražcové podložky osazeny ve třech zkušebních úsecích v síti SŽDC. Vliv podpražcových podložek je průběžně sledován. Ve zkušebních úsecích je přesnou nivelací sledována výšková poloha kolejnic. Bakalářská práce je věnována zkušebnímu úseku v žst. Planá nad Lužnicí. V rámci práce bylo provedeno měření nivelace v roce 2015, naměřená data byla vyhodnocena a porovnána s předchozími měřeními. Do vyhodnocení vlivu podpražcových podložek byly dle dispozice zapracována také data z měření měřícím vozem.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Pražec, podpražcové podložky, kolej, kolejnice, měřící vůz, geometrické parametry koleje

## **ABSTRACT**

Under sleeper pads (USP) are elastic layers positioned on the bottom surface of sleepers. Their aim is to slow down a deterioration of track geometrical parameters and reduce track maintenance costs. Three test sections with under sleeper pads have been built on the railway network in the Czech Republic. The effect of the under sleeper pads is continuously monitored. The height level of rails is measured by precise levelling. This thesis is focused on the Planá nad Lužnicí test section. It describes the precise levelling measurement in the 2015 and its evaluation and comparing with previous measurements. Furthermore track recording car measurements were evaluated.

## **KEY WORDS**

Sleeper, under sleeper pads, track, rail, track measuring car, track geometrical parameters

## **Bibliografická citace VŠKP**

ŠVANDA Tomáš. *Vyhodnocení vlivu podpražcových podložek ve zkušebním úseku v žst. Planá nad Lužnicí*. Brno, 2016. 48 s., 41 s., příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce Ing. Miroslava Hruzíková, Ph.D.

## **Prohlášení autora:**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně, podle pokynů vedoucího bakalářské práce a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....  
Tomáš Švanda

# PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

## **Prohlášení:**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 27. 5. 2016

.....  
podpis autora  
Tomáš Švanda



## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucí mé bakalářské práce paní Ing. Miroslavě Hruzíkové, Ph.D. za odborný dohled, vstřícnost a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat.

Dále bych chtěl poděkovat své rodině a blízkým za velkou podporu během studia.

## Obsah

<b>1. ÚVOD</b>	<b>12</b>
<b>2. PODPRAŽCOVÉ PODLOŽKY</b>	<b>13</b>
2.1. Materiál	14
2.2. Osazení na pražce	14
2.3. Přínosy	15
2.4. Použití USP v zahraničí	16
<b>3. ZKUŠEBNÍ ÚSEKY V ČR</b>	<b>17</b>
3.1. Žst. Planá nad Lužnicí	17
3.2. Havlíčkův Brod – Okrouhlice	21
3.3. Žst. Ústí nad Orlicí	22
<b>4. CÍL PRÁCE</b>	<b>24</b>
<b>5. METODIKA MĚŘENÍ</b>	<b>25</b>
5.1. Měření metodou přesné nivelace	25
5.2. Měření měřícím vozem	27
5.2.1. Popis vozu	28
5.2.2. Měření GPK	28
5.2.3. Vyhodnocování GPK	29
<b>6. VÝHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ</b>	<b>31</b>
6.1. Přesná nivelace	31
6.1.1. Sedání vůči stavu po podbití	31
6.1.2. Sedání v závislosti na čase	34
6.1.3. Sedání mezi měřeními	35
6.1.4. Zborcení	36
6.2. Měřící vůz	39
6.2.1. Celkové převýšení koleje	39
6.2.2. Podélná výška kolejnicových pásů	39
6.2.3. Směr kolejnicových pásů	40
6.2.4. Zborcení koleje	41

<b>7. ZÁVĚR .....</b>	<b>43</b>
<b>8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>45</b>
<b>9. SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>46</b>
<b>10. SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>47</b>
<b>11. SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>48</b>

# 1 Úvod

Zvyšování provozních zatížení a rychlostí u moderních železničních tratí s sebou přináší nové technologické a ekonomické výzvy. S většími rychlostmi a zatíženími se zvětšuje napětí v kolejovém loži pod pražci, což vede k rychlejšímu rozvoji deformací jízdní dráhy a následnému rychlejšímu rozpadu geometrických parametrů koleje (GPK). Jedná se o parametry:

- Konstrukčního uspořádání koleje (např. rozchod, převýšení)
- Geometrického uspořádání koleje (např. směr, podélný sklon)
- Prostorové polohy koleje

Rozvojem těchto deformací navíc dochází k dalšímu nárůstu účinků dynamického zatížení, a tím k rychlejšímu rozpadu GPK. Výsledkem jsou vyšší náklady na údržbu a provoz kolejové dráhy. Opakovaná oprava prostorové polohy koleje mívá malou trvanlivost, téměř vždy se kolej v krátkém časovém období navrátí do původního stavu a rozvoj vady pokračuje rychlejším tempem než bez opravného zásahu.

Dynamické účinky se snažíme zmenšovat snižováním statického a dynamického zatížení, a to úpravami dynamických vlastností soustavy vozidlo – kolej. Do koleje vkládáme pružné prvky, které mají za úkol snižovat tuhost jízdní dráhy. Zatížení se roznáší na delším úseku koleje a na pražec tak působí menší podíl kolové síly, čímž se snižuje velikost statické složky zatížení na pražec. V současné době se používají tyto pružné prvky: podložky pod podkladnice, pružné podložky pod patu kolejnice, podpražcové podložky a podštěrkové rohože.

Podpražcové podložky jsou používány v zemích západní Evropy ve větším či menším rozsahu již 30 let. Jedná se o pružné desky, které jsou pevně spojeny s ložnou plochou pražce. Prvotně byly používány ve speciálních případech, jako např.:

- Ve výhybkách a kolejových křižovatkách (místa se složitými podmínkami podbíjení) za účelem snížení degradace materiálu kolejového lože.

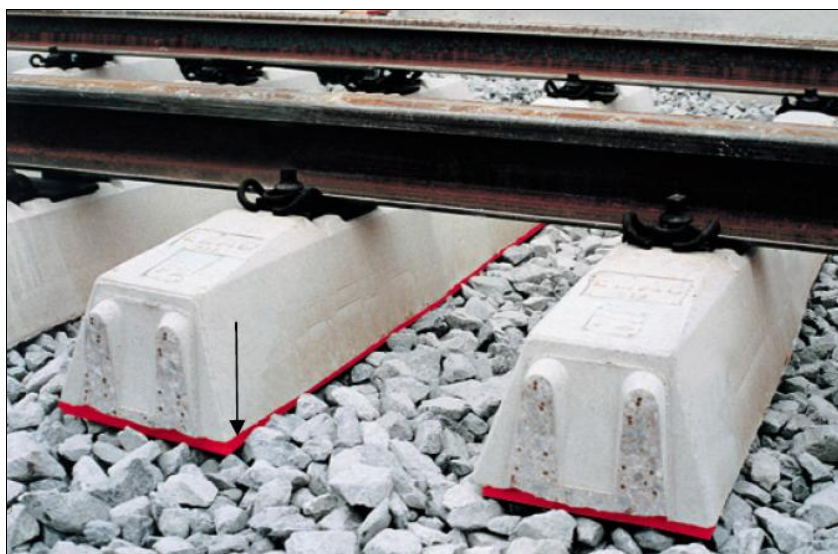
- Na krátkých mostech a pod pražci u dilatačních spár na koncích dlouhých mostů.
- V místech přechodu tratě s kolejovým ložem na trať bez kolejového lože.
- Za účelem snížení hluku a vibrací.

Během posledních 10 – 15 let došlo ve státech střední a západní Evropy k jejich výraznějšímu rozšíření, a to zejména díky zvyšování počtu vysokorychlostních tratí. [9]

V České republice jsou v současnosti pražce s podpražcovými podložkami nainstalovány ve třech zkušebních úsecích – v úseku Havlíčkův Brod – Okrouhlice a v žst. Planá nad Lužnicí, které byly uvedeny do provozu v roce 2008, a zkušební úsek v žst. Ústí nad Orlicí, který byl zřízen v roce 2014.

## 2 Podpražcové podložky

Podpražcové podložky, běžně označovány jako USP (z ang. Under Sleeper Pads), jsou pružné desky, které se pevně spojují s ložnou plochou pražce. Mohou být tvořeny dvěma nebo třemi vrstvami: pružnou vrstvou, pojící (montážní) vrstvou a u měkkých podložek také ochrannou vrstvou proti poškození podložky zrný štěrku. Přesné technické požadavky na podpražcové podložky obsahuje např. německá norma BN 918 145. V současné době se připravuje jednotná evropská normy pro stanovení mechanických vlastností pražců s pružnou ložnou plochou.



*Obr. 1 Umístění USP v železniční dráze [2]*

## 2.1 Materiál

Podpražcové podložky na ložné ploše pražce vytváří poddajnou pružnou vrstvu, díky které se výrazně zvětšuje kontaktní plocha mezi pražcem a šterkovým ložem. Z tohoto důvodu jsou používány materiály s takovými plastickými vlastnostmi, aby umožnily co nejlepší zatlačení zrn šterku do podložky. Zároveň se od materiálu požadují vysoce elastické vlastnosti a tedy schopnost odolávat působením od zatížení po dobu životnosti pražce.

Tloušťka podložky se obvykle pohybuje kolem 10 mm. Vyrobená může být buď z homogenního materiálu, nebo jako sendvič různých materiálů, např.: pružné vrstvy, pojící mřížky, ochranné fólie.

Pro výrobu podložek se nejčastěji používají tyto materiály: polyuretan, pryž, EVA (ethylvinylacetatcopolymer). Nejnovější generace USP je vyráběna z tzv. Sylomeru, materiálu na bázi polyuretanu, který se vyznačuje velkou houževnatostí a výbornými plastickými vlastnostmi.

## 2.2 Osazení USP na pražec

Podložky se vyrábí půdorysně o přibližně 10 mm menší, než je ložná plocha pražce. Předchází se tím případným poškozením během přepravy, vkládání pražců do koleje a podbíjení.

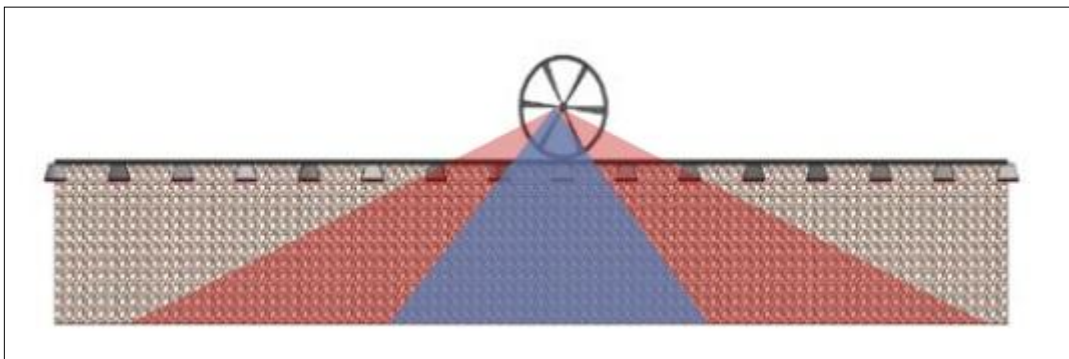
Vytvoření spoje pražec – USP se realizuje:

- nanesením podložky na hotový pražec nátěrem nebo nastříkáním
- nalepením na hotový pražec
- vložením podložky do čerstvého betonu přímo při výrobě pražce
- vložením do čerstvého betonu prostřednictvím pojící vrstvy v podložce

Je nutné, aby byla podložka s pražcem pevně spojena a plnila svou funkci po celou dobu životnosti pražce činící přibližně 40 let. Materiál podložek by se neměl odlupovat ani odlepovat a měl by odolávat působení špiček a hran materiálu kolejového lože. [2]

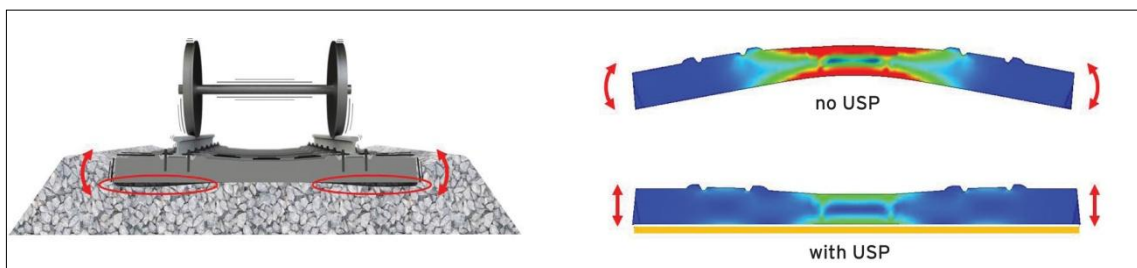
## 2.3 Přínosy podpražcových podložek

Jeden z hlavních přínosů USP v konstrukci kolejového lože je zvětšení kontaktní plochy mezi pražcem a zrný kameniva. Podle [1], kde se zkoumalo zatlačení zrn pomocí speciálních tlakových senzorů (*pressure papers*), bylo zjištěno výrazné zvětšení kontaktní plochy u pražců s USP. Do pružné vrstvy se zaklíní větší množství zrn, čímž se zvětší plocha, na kterou je přenášeno zatížení. Výsledkem je příznivější rozložení napětí v kolejovém loži pod pražci a zvětšení počtu pražců vzdorujících zatížení (obr. 2).



Obr. 2 Rozložení zatížení s USP (červeně) a bez USP (modře)[7]

V důsledku snížení napětí pod pražci a snížení dynamického namáhání dochází k drcení kameniva kolejového lože ve výrazně menší míře. Problém drcení je nejvýraznější pod hlavami pražců, kde je celý systém zatěžován nejvíce. Díky drcení ztrácí kamenivo svou únosnost a dochází ke změně statického působení pražce, který je podepírán pouze ve střední části (obr. 3), což vede ke vzniku trhlin na horní ploše středu pražce a ke zkrácení životnosti pražce.



Obr. 3 Změna statického působení pražce vlivem drcení kameniva pod hlavami pražce [6]

## 2.4 USP v zahraničí

S testováním podpražcových podložek v konstrukci železniční dráhy má bohaté zkušenosti řada vyspělých evropských železničních správ. Mezi lety 2005 – 2007 proběhlo rozsáhlé testování v rámci projektu skupiny UIC (Union Internationale des Chemins de fer – mezinárodní železniční unie), jehož hlavním cílem bylo shrnutí zkušeností s použitím podpražcových podložek v konstrukci železničního svršku. Na tento projekt potom navazoval projekt USP *in Track*, řešený mezi lety 2010 – 2011.

Některé železniční správy (např. Rakousko, Německo) již standardně instalují podpražcové podložky na tratích s vysokou zátěží.

Právě v Rakousku byly testovány v letech 2009 – 2010 technické a ekonomické dopady, které s sebou přináší instalace podpražcových podložek (projekt WINS). V rámci projektu se shromáždily poznatky z různých zkušebních úseků. Měření na více než 1500 místech ukázalo výrazně lepší geometrické parametry koleje v úsecích s USP a prodloužení intervalu údržby trati, a tudíž i její celkové životnosti. To má vliv na snížení nákladů životního cyklu (LCC z ang. Life Cycle Cost) a to i přes vyšší investiční náklady. S využitím výsledků studie odborníci vypracovali výpočetní nástroj na stanovení nákladů životního cyklu, který lze použít pro výpočet nákladové efektivity při použití podpražcových podložek. [4]

Nejvyšší přínos z instalace USP byl zjištěn na tratích s vysokým zatížením. Při denní zátěži 70 000 tun/den dochází ke snížení nákladů až o jednu třetinu a míra návratnosti je 16 %.

Z analýzy LCC bylo zjištěno:

- Čím větší je zatížení tratě, tím více se vyplatí instalace USP
- Interval mezi podbíjením se prodlouží minimálně o 100 %.
- Zvýšení životnosti nejméně o 25 %
- Zmenšení vlnkovitosti v obloucích malých poloměřů
- Zpomalení rozpadu geometrických parametrů koleje

Jedná se o první statistický důkaz o návratnosti investic při použití podpražcových podložek v konstrukci železniční dráhy. [4]



### 3 Zkušební úseky v ČR

V současné době jsou v České republice 3 zkušební úseky s podpražcovými podložkami; v železniční stanici Planá nad Lužnicí, v traťovém úseku Havlíčkův Brod – Okrouhlice a v železniční stanici Ústí nad Orlicí. Bakalářská práce je věnována zkušebnímu úseku v žst. Planá nad Lužnicí. V rámci práce jsou zpracována data z měření přesné nivelace a data z měření měřícím vozem za rok 2015 a porovnávána s předchozími měřeními.



Obr. 4 Rozmístění zkušebních úseků v ČR

#### 3.1 Žst. Planá nad Lužnicí

Žst. Planá nad Lužnicí leží na IV. železničním koridoru mezi žst. Tábor a žst. Veselí nad Lužnicí. Zkušební úsek byl vybudován pro testování podpražcových podložek ve výhybce. Je situován do oblasti kolejových spojek na táborském zhlaví. Provozní zatížení trati činí 20 až 40 tis. hrt.den<sup>-1</sup>, traťová rychlost v hlavních kolejích je 130 km.h<sup>-1</sup>.

Délka zkušebního úseku s podpražcovými podložkami je cca 205 m. Do zkušebního úseku je zahrnuta výhybka č. 12 tvaru 1:12-500-I, asi 70 m dlouhý úsek běžné koleje a přechodové oblasti mezi úsekem koleje s a bez podpražcových podložek. Přechodové úseky jsou navrženy v délce 54 pražců s podpražcovými podložkami vyšší tuhosti. Úsek s podpražcovými podložkami je na Obr. 7 vyznačen červenou barvou.

Uspořádání podpražkových podložek ve výhybce č. 12 (viz Příloha č. 1) vycházelo ze závěrů teoretických studií a matematických modelů [5], které předcházely provoznímu ověřování. Rozložení podložek bylo navrženo s ohledem na vyrovnání nehomogenit ve svislé tuhosti jízdní dráhy, které byly sledovány na základě svislých zatlačení kolejového roštu pod působícím zatížením. Úprava tuhosti byla řešena především v oblasti srdcovky výhybky a na přechodu dlouhých pražců na krátké pražce v přípoji výhybky. Bylo využito možnosti návrhu různých tuhostí podložek na jednom pražci. Jako základní byla zvolena pružná vrstva s modulem ložnosti  $0,250 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-3}$ . V oblasti srdcovky, ve které dochází k nestejným zatlačení dlouhých pražců, byla střední část těchto pražců opatřena podpražkovými podložkami s modulem ložnosti  $0,100$  a  $0,170 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-3}$ . Na přechodu z dlouhých výhybkových pražců na krátké pražce v přípoji výhybky, byly na několika krátkých pražcích následujících bezprostředně za posledním dlouhým pražcem, pod hlavami pražců na straně ke středu výhybky, umístěny podložky s modulem ložnosti  $0,300 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-3}$ . [5]

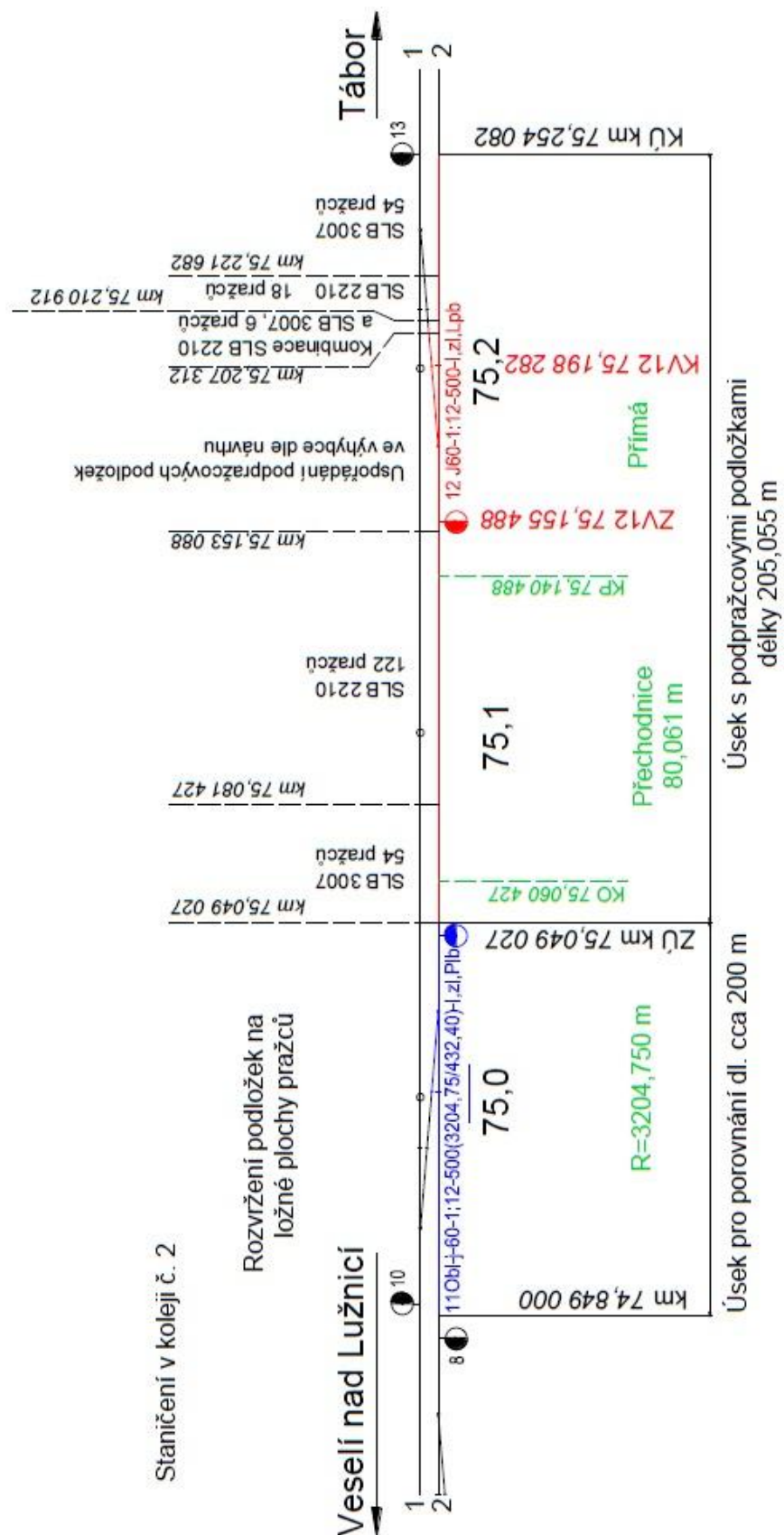
V rámci provozního ověřování je pro stanovení vlivu podpražkových podložek do sledování zahrnutý sousední, referenční úsek (na Obr. 7 vyznačený modrou barvou). Do referenčního úseku je zahrnutá transformovaná výhybka č. 11 1:12-500(3204,75/432,40)-I a přilehlý úsek koleje. Celková délka referenčního úseku je 200 m.



*Obr. 5 Zkušební úsek Planá nad Lužnicí, výhybka č. 12 s USP, pohled ve směru staničení [5]*



*Obr. 6 Zkušební úsek Planá nad Lužnicí, výhybka č. 11 bez USP, pohled ve směru staničení [5]*



Obr. 7 Zkušební úsek Planá nad Lužnicí [5]

## Nedostatky ve zkušebním úseku [5]

Po skončení pokládky výhybky č. 12 dne 9. 11. 2007 bylo zjištěno, že do výhybky bylo vloženo 8 dlouhých pražců bez podpražcových podložek. Na základě těchto zjištění byla přijata následná opatření (např. pomalá jízda 30 km.h<sup>-1</sup> přes výhybku č. 12).

### Zjištěny byly tyto závady:

- Ve výhybce č. 12 se nacházelo 8 dlouhých pražců (pražce č. 15–071 až 15–078) a 3 krátké pražce (00–001) bez podpražcových podložek.
- Ve výhybce č. 12 se nacházely 3 krátké pražce (00–001) s podpražcovými podložkami různých tuhostí, které byly na pražce nalepeny zrcadlově na osu – podložky menší tuhosti měly být na straně srdcovky.
- V oblasti za výhybkou nebylo umístění (jejich pořadí) prvních 7 pražců B 91 S v souladu s projektovou dokumentací.

### Následně byly uskutečněny tyto opravné práce:

- V březnu 2008 byly přelepeny chybně nalepené podpražcové podložky na dosud nevložených pražcích.
- Výměna pražců bez USP za správné pražce byla provedena na začátku dubna 2008.
- Pomalá jízda byla odstraněna po podbití výhybky a po uplynutí konsolidační doby.

### 3.2 Havlíčkův Brod – Okrouhlice

Ve druhém zkušebním úseku, který byl vybudován v roce 2008 v mezistaničním úseku Havlíčkův Brod – Okrouhlice (traťová třída zatížení D3 se zatížením na nápravu 22,5 t; provozní zatížení 20 až 40 tis.hrt.den<sup>-1</sup>), jsou pražce s USP umístěny v koleji č. 1 v oblouku poloměru 288 m, a to v kilometru 224,800 až 225,150, tedy na délce 350 m. Cílem instalace podpražcových podložek bylo zpomalení rozvoje skluzových vln a snížení emise hluku a vibrací do okolí dráhy. Ve zkušebním úseku jsou tyto parametry konstrukčního a geometrického uspořádání:

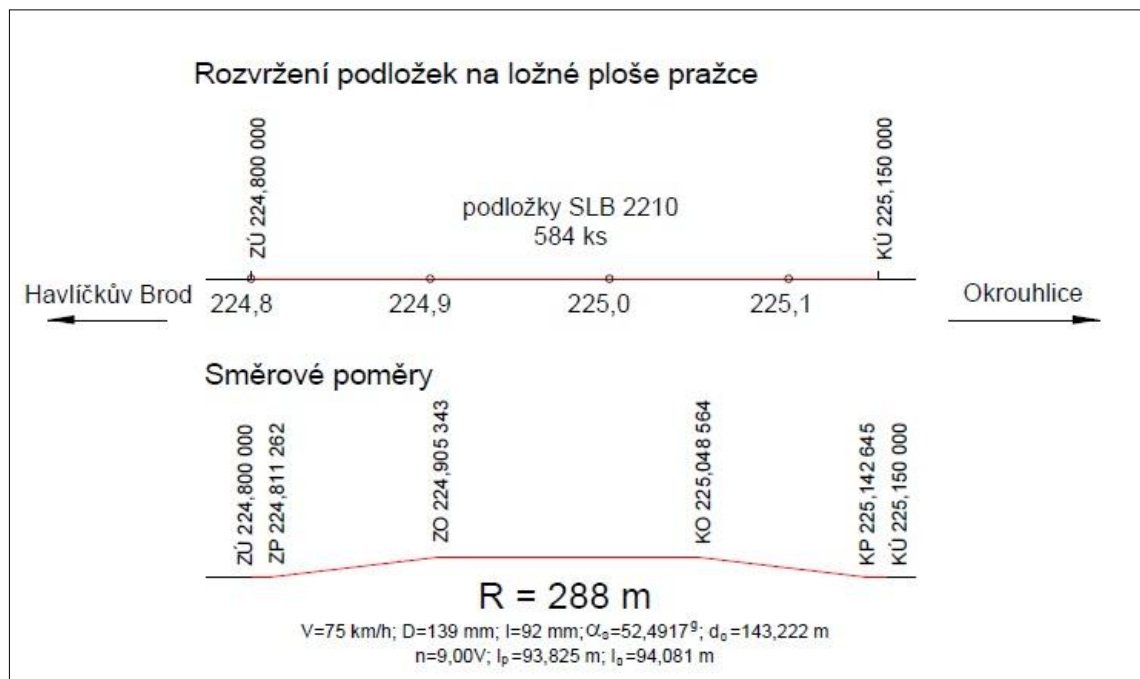
$$R = 288 \text{ m}$$

$$V = 75 \text{ km.h}^{-1}; D = 139 \text{ mm}; I = 92 \text{ mm}; \alpha_s = 52,4917^\circ; d_o = 143,222 \text{ m}$$

$$n = 9,00V; l_o = 94,081 \text{ m}; m = 1,317 \text{ m}; T = 173,440 \text{ m}; \text{ kubická parabola}$$

$$n = 9,00V; l_o = 94,081 \text{ m}; m = 1,317 \text{ m}; T = 173,440 \text{ m}; \text{ kubická parabola}$$

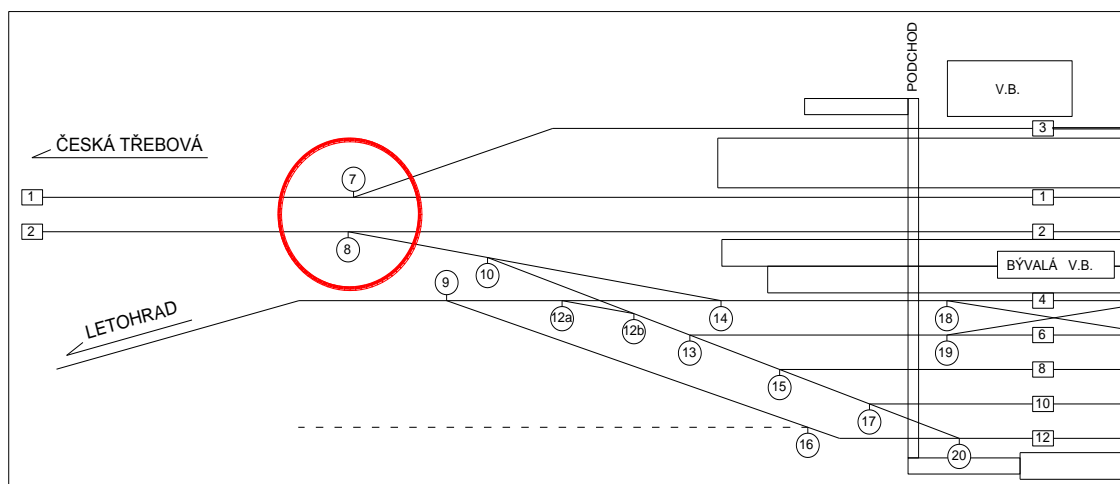
Zkušební úsek je situován za okrouhlickým zhlavím žst. Havlíčkův Brod. Úsek prochází intravilánem města. Část úseku se nachází v zářezu, část na náspu. V úseku se nachází most s průběžným kolejovým ložem dl. 18 m a most s přesypávkou. V první polovině zkušebního úseku byla provedena sanace pražcového podloží.



Obr. 8 Schéma zkušebního úseku Havlíčkův Brod - Okrouhlice [5]

### 3.3 Žst. Ústí nad Orlicí

Zkušební úsek v žst. Ústí nad Orlicí pro výhybky s podpražcovými podložkami je situován v železniční stanici na hlavní koridorové trati (dovolená traťová třída zatížení D4, přípustná hmotnost na nápravu 22,5 t, provozní zatížení 80 až 130 tis. hrt.den<sup>-1</sup>). Podložkami jsou vybaveny dvě výhybky 1:14-760 a 1:12-500-I. Výhybky leží v hlavní koleji na českořebovském zhlaví a jsou pojížděny traťovou rychlostí 120 km.h<sup>-1</sup> v hlavním směru, rychlost pro jednotky s naklápěcími skříněmi je 160 km.h<sup>-1</sup>. Jedná se o výhybku č. 7 (1:14-760) v koleji č. 1 a výhybku č. 8 (1:12-500-I) v koleji č. 2, viz Obr. 9.



Obr. 9 Dopravní schéma žst. Ústí nad Orlicí s vyznačením výhybek s podpražcovými podložkami [8]

Uspořádání tuhostí podpražcových podložek ve výhybkách bylo stanoveno na základě matematického modelu výhybky, obdobně jako v žst. Planá nad Lužnicí. Rozložení podpražcových podložek bylo navrženo tak, aby změna svislé tuhosti jízdní dráhy byla pozvolnější a rozložení jednotlivých typů podložek co nejjednodušší. V každé výhybce byly instalovány 4 typy (tuhosti) podpražcových podložek, a to včetně přechodových oblastí. Nejměkčí podložky byly umístěny pod srdcovkou výhybky, nejtužší v přechodové oblasti mezi úsekem koleje s a bez podložek. Výhybka č. 8 je osazena podpražcovými podložkami v celé délce, přechod na kolej bez podložek je situován před začátek a za konec výhybky. Ve výhybce č. 7 byla navržena tzv. úsporná varianta rozložení podpražcových podložek, kde byly podložky primárně osazeny do



srdcovkové části výhybky a přechodové oblasti leží ve střední části a za koncem výhybky. V přechodové oblasti byly pro pomalejší změnu tuhosti navrženy dva typy (dvě tuhosti) podložek. [8]



*Obr. 10 Výhybka č. 7, pohled ze stanice [8]*



*Obr. 11 Výhybka č. 7 a 8, pohled do stanice [8]*

## 4 Cíl práce

Práce se zabývá sledováním geometrických parametrů koleje ve zkušebním úseku v železniční stanici Planá nad Lužnicí. V prvních pěti letech (2008-2013) probíhala sledování zkušebního úseku ve větším rozsahu. V dalších letech bylo sledování kvality geometrických parametrů koleje omezeno na měření přesné nivelace, které je doplněno daty z měřicího vozu. Měření měřicím vozem probíhá na všech hlavních tratích SŽDC v pravidelných intervalech, třikrát do roka. Poslední měření přesnou nivelací bylo uskutečněno v říjnu roku 2015.

V rámci bakalářské práce bylo toto měření zpracováno a získané výsledky porovnány s předchozími měřeními. Vyhodnocena byla také data z měřicího vozu z roku 2015.



## 5 Metodika měření

### 5.1 Měření metodou přesné nivelace

Přesnou nivelací je sledována výšková poloha kolejnicových pásů (sedání koleje). Pro možnost porovnání byl měřen také navazující úsek bez podpražcových podložek.

Při nivelování v roce 2008 byl použit nivelační kompenzátorový přístroj Zeiss Ni007 (čtení s přesností  $1 \cdot 10^{-4}$  m) a invarová nivelační lať délky 2 m s laťovým rozdílem 60650. Od roku 2009 jsou výšky nivelety TK měřeny pomocí nivelačního přístroje Sprinter 150 M s kódovou nivelační láť. [5]

Ve zkušebním úseku byla měřena výška temen kolejnicových pásů v celkem 93 řezech od km 74,848 000 po km 75,282 300. Vzdálenost jednotlivých řezů byla zvolena na 6 m, ve výhybkách byly řezy voleny po 3 m. Dále byly po délce sledovaného úseku koleje nivelovány zajišťovací značky v patkách sloupů trakčního vedení, jako pevné body, které slouží pro kontrolu vyhodnocení výšek kolejnicových pásů. Vzdálenost prvního (posledního) řezu ve výhybce od předchozího (následujícího) řezu byla volena individuálně. Přehled rozložení vzdálenosti jednotlivých řezů je uveden v následující tabulce.

*Tab. č. 1 Rozložení vzdálenosti řezů*

Řezy	Vzdálenost	Měřené body
1 - 24	6,0 m běžná kolej	levý a pravý kolejnicový pás
24 - 25	5,8 m běžná kolej	levý a pravý kolejnicový pás
25 - 43	3,0 m výhybka č. 11	25 - 42 čtyři kolejnicové pásy
43 - 44	2,15 m běžná kolej	levý a pravý kolejnicový pás
44 - 61	6,0 m běžná kolej	levý a pravý kolejnicový pás
61 - 62	4,2 m běžná kolej	levý a pravý kolejnicový pás
62 - 63	2,15 m běžná kolej	levý a pravý kolejnicový pás

63 - 81	3,0 m výhybka č. 12	65 - 77 čtyři kolejnicové pásy
81 - 93	6,0 m běžná kolej	levý a pravý kolejnicový pás

Kromě výšek kolejnicových pásů byly měřeny výšky zajišťovacích značek na patkách sloupů trakčního vedení.

Přesná nivelace byla řešena jako uzavřený nivelační pořad s výchozím bodem na sloupu trakčního vedení č. 58.

V následující tabulce je uveden přehled měření přesné nivelace od začátku sledování:

*Tab. č. 2 Přehled měření přesné nivelace*

Číslo měření	Datum měření	Prodleva mezi měřeními [dny]	Prodleva od začátku měření [dny]
1	5. 4. 2008		
2	11. 4. 2008	6	6
3	17. 10. 2008	189	195
4	14. 11. 2008	28	223
5	10. 4. 2009	147	370
6	19. 8. 2009	131	501
7	27. 11. 2009	100	601
8	28. 5. 2010	182	783
9	2. 9. 2010	97	880
10	8. 12. 2010	97	977
11	25. 3. 2011	107	1084
12	27. 7. 2011	124	1208
13	25. 11. 2011	121	1329
14	23. 3. 2012	119	1448
15	14. 8. 2012	144	1592
16	30. 11. 2012	108	1700
17	22. 3. 2013	112	1812
18	30. 7. 2013	130	1942
19	22. 11. 2013	115	2057
20	2. 10. 2015	679	2736

## 5.2 Měření měřícím vozem [10]

Základní údaje o metodice hodnocení a způsobu zpracování geometrických parametrů koleje (GPK) prostřednictvím měřících vozů jsou uvedeny ve služební rukověti SŽDC SR103/4(S) – *Využívání měřících vozů pro železniční svršek s kontinuálním měřením tratě*.

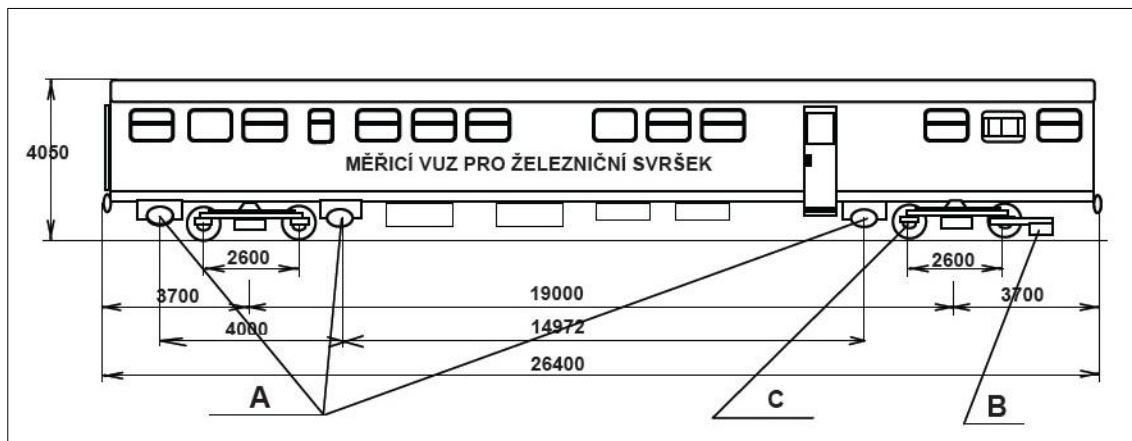
Měřící vůz provádí ve zkušebním úseku měření třikrát ročně. V práci jsem pro porovnání použil vždy poslední měření z daného roku. Měřícím vozem byly sledovány následující geometrické parametry koleje:

- směr koleje: v ose koleje, levého a pravého kolejnicového pásu;
- podélná výška koleje: v ose koleje, levého a pravého kolejnicového pásu;
- převýšení koleje;
- rozchod koleje;
- křivost koleje.

### 5.2.1 Popis vozu

Měřicí vůz se používá pro měření GPK, měření vertikální mikrogeometrie kolejnic, měření příčného profilu kolejnic a hodnocení odezvy vozidla.

V průběhu měřicí jízdy je kamerou snímán reálný obraz trati za měřicím vozem. Vůz může měřit v obou směrech jízdy tj. ve správném (S) – měřicí vůz je umístěn na konci; i nesprávném (N) – měřicí vůz za lokomotivou.



Obr. 12 Schéma měřicího vozu [10]

*A... snímací jednotky těživového systému měřených parametrů GPK*

*B... snímací jednotka příčného profilu kolejnic*

*C... snímače vertikálního povrchu kolejnic (CMS)*

### 5.2.2 Měření GPK

Geometrické parametry koleje jsou měřeny pomocí bezkontaktního měřicího systému TMS (Track Measuring System). Měřené parametry jsou prezentovány ve dvou vlnových pásmech a to D1 (3 ÷ 25) a D2 (25 ÷ 70) v souladu s normou ČSN 73 6360-2.

TMS je založen na rozměrovém snímání světelné stopy laserového paprsku, která se snímá bezkontaktním optickým systémem kamer. Použitý triangulační princip rozměrového měření umožňuje vyloučení dalších snímačů pro kompenzaci polohy snímacích jednotek. Systém snímání GPK je vytvořen kombinací těživového snímání asymetrickou těživou pro oba kolejnicové pásy a inerciální jednotky. Vzájemnou

rychlostně závislou kombinací se dosáhne požadované přesnosti měření pro měřící rychlosti 10 až 160 km.h<sup>-1</sup>.

Ve zkušebním úseku jsou sledovány parametry směru koleje (SK), podélné výšky (VK) a převýšení (PK). Následně je dopočítáno zborcení koleje (ZK).

### ***Směr koleje***

Směr koleje levého a pravého kolejnicového pásu je měřen těťivovým systémem asymetrické těťivy optickými jednotkami. Výsledky měření jsou ve vztahu k rychlosti měření průběžně kompenzovány inerciálním systémem umístěným ve střední snímací jednotce.

### ***Podélná výška koleje***

Podélná výška koleje levého a pravého kolejnicového pásu je měřena těťivovým systémem asymetrické těťivy optickými jednotkami. Výsledky měření jsou ve vztahu k rychlosti měření průběžně kompenzovány inerciálním systémem umístěným ve střední snímací jednotce.

### ***Převýšení koleje***

Převýšení koleje je snímáno inerciálním systémem, který měří úhel náklonu vozové skříně v místě středních optických jednotek. Výsledná hodnota celkového převýšení je dále zpracována filtrací ve složku dynamického převýšení. Z hodnot převýšení je potom dopočítána hodnota zborcení.

## **5.2.3 Vyhodnocování GPK**

Hodnocení GPK vychází ze statické analýzy hodnot směrodatných odchylek jednotlivých základních veličin pro 200m úseky trati. Pro výstup úsekového hodnocení jsou místo směrodatných odchylek použity bezrozměrné parametry, tzv. známky kvality.

Známky kvality se dělí do tří skupin:

- známka kvality sledovaného parametru (ZKV);
- celková známka kvality (CZK);
- známka podbíjení (ZP).

Jedná se o bezrozměrové parametry, které vyjadřují nutnost údržby tratě. Mezní známkou pro hodnocení vyhovující trati je hodnota 4 včetně. Mezní hladiny jednotlivých ZKV a CZK pro přejímku dokončených prací v koleji jsou (platí pro všechna rychlostní pásma):

- rekonstrukce novým materiálem... 2,4;
- rekonstrukce užitým materiálem... 3,0;
- ostatní práce v koleji... 3,3.

Známka kvality se stanovuje transformačním logaritmickým vztahem:

$$ZKV = 6 \times \left[ 1 - \exp\left(-\frac{SDO^m}{b}\right) \right] \quad (1)$$

Hodnoty  $b$ ,  $m$  jsou určeny na základě rychlostního pásma a odchylek dané veličiny. Hodnota směrodatné odchylky SDO je dána vztahem:

$$SDO = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (2)$$

Kde  $n$  je počet měření a  $x_i$  je odchylka hodnocené veličiny. Celková známka kvality a známka kvality podbíjení je potom stanovena z jednotlivých ZPK vztahem:

$$CZK, ZP = [k \cdot \max\{(w_{SK} \cdot ZKV_{SK} + w_{RK} \cdot ZKV_{RK}), (w_{PK} \cdot ZKV_{PK} + w_{VK} \cdot ZKV_{VK})\}]^q \quad (3)$$

kde váhy  $w$  jednotlivých veličin jsou stanovené na základě korelační analýzy a jsou pro CZK a ZP rozdílné. Parametry  $k$  a  $q$  jsou závislé na rychlosti a pro každé rychlostní pásmo nabývají jiných hodnot. Známkou podbíjení ZP je celková známka kvality CZK, kde při výpočtu není započítán vliv rozchodu.

## 6 Vyhodnocení výsledků

### 6.1 Přesná nivelace

Měření metodou přesné nivelace, které bylo provedeno v rámci této bakalářské práce, bylo provedeno 2. 10. 2015. Celý úsek byl změřený jedním přístrojem. Maximální délka záměry byla volena 20 m. Nivelace byla řešena jako uzavřený polygonový pořad. Kromě řezů byly měřeny také zajišťovací značky na sloupech trakčního vedení. U těchto značek se nepředpokládá sedání a můžeme díky nim porovnat naměřené hodnoty s měřeními z předchozích let. Pro posouzení vývoje GPK byly k porovnání vybrány vždy poslední měření v daném roce od roku 2009. Porovnávaná měření byla naměřena v těchto datech:

- 27. 11. 2009
- 08. 12. 2010
- 25. 11. 2011
- 30. 11. 2012
- 22. 11. 2013
- 02. 10. 2015

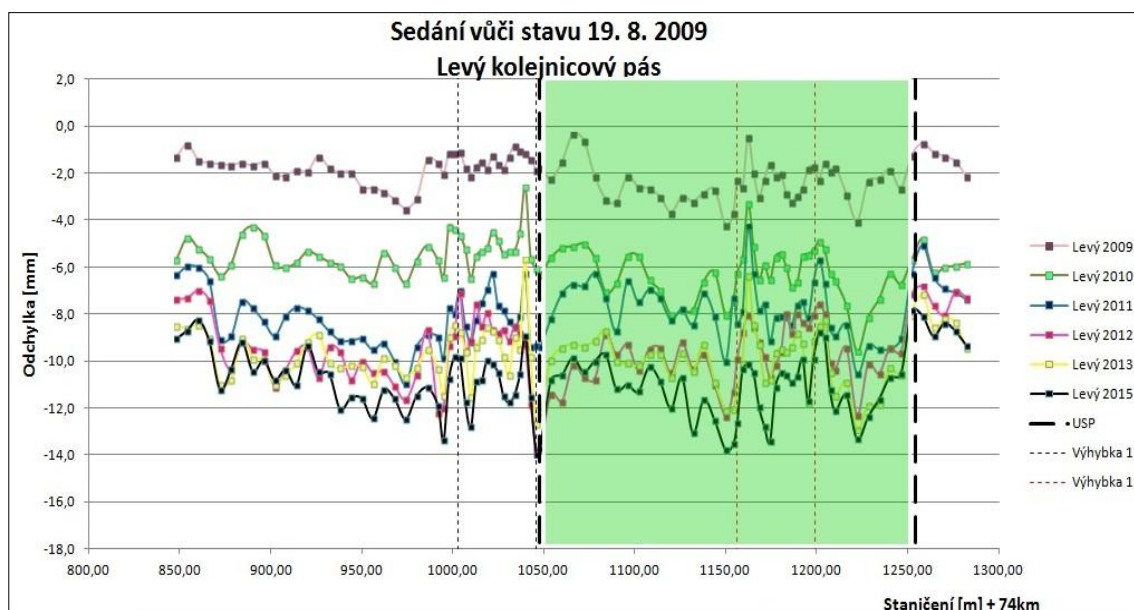
Ve zkušebním úseku proběhla od začátku sledování celkem tři podbití. Ve dnech 23. 7. a 12. 11. 2008 (pouze výhybka č. 12) a 23. 7. 2009. Výhybka č. 12 s USP byla podbita celkem třikrát z důvodu odstraňování vad při vložení výhybky, zatímco výhybka č. 11 bez USP byla podbita pouze jednou. Tato skutečnost má vliv na sedání koleje a činí porovnávání mezi oběma výhybkami komplikovanější.

#### 6.1.1 Sedání vůči stavu po podbití

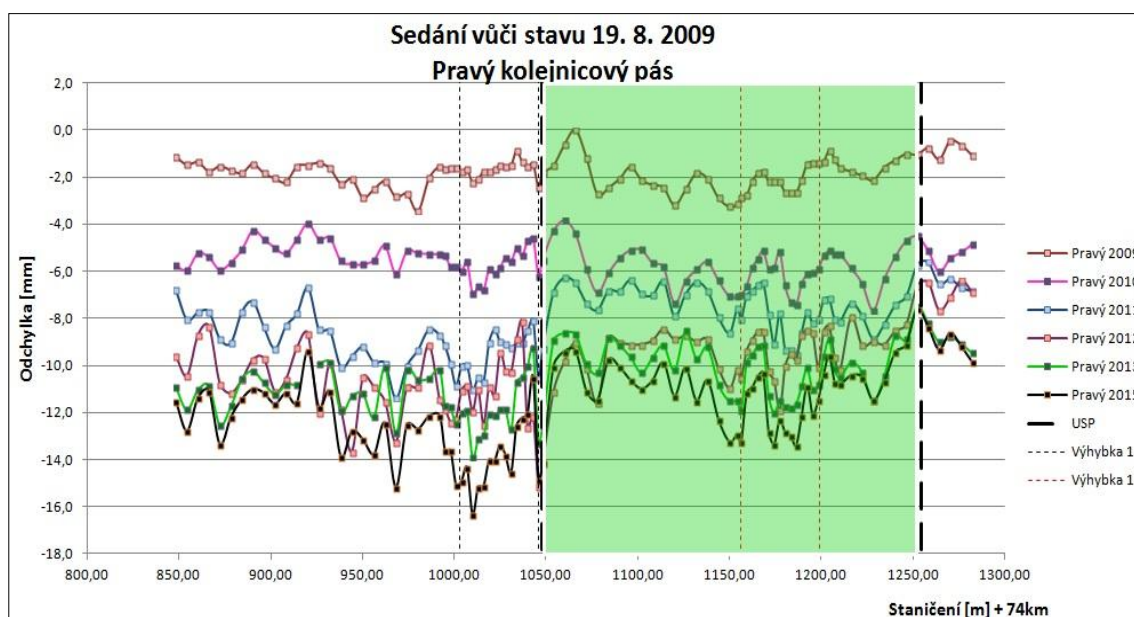
Hodnoty výšek kolejnicových pásů ve sledovaných řezech se porovnávaly s měřeními, které proběhlo 19. 8. 2009, což je první měření po posledním podbití koleje. Rozdíly výšek představují průběh sedání koleje od roku 2009.

Velikost sedání koleje za 6 let provozu dosahuje průměrné hodnoty 10 mm. Sledováno je rozdílné sedání levého a pravého kolejnicového pásu. U levého kolejnicového pásu procházejícího srdcovkou jsou hodnoty sedání koleje v úseku s a bez USP srovnatelné. Největší sedání je pozorováno v oblasti výhybek, dosahuje cca 14 mm (průměrná hodnota 12 mm). U pravého kolejnicového pásu se projevuje rozdíl

v sedání úseku s USP mezi výhybkami. Zatímco celkové sedání tohoto úseku od roku 2009 nepřekračuje 12 mm, tak na příklad ve výhybce č. 11 bez USP dosahuje sedání 15 mm (v jednom sledovaném řezu přes 16 mm). Výhybka č. 12 s USP pak o 1 mm menší sedání než výhybka č. 11. Průměrné sedání úseku koleje bez USP (mimo výhybku) je 12,5 mm, s USP mezi výhybkami 10,5 mm. Viz Obr. 13 a Obr. 14.



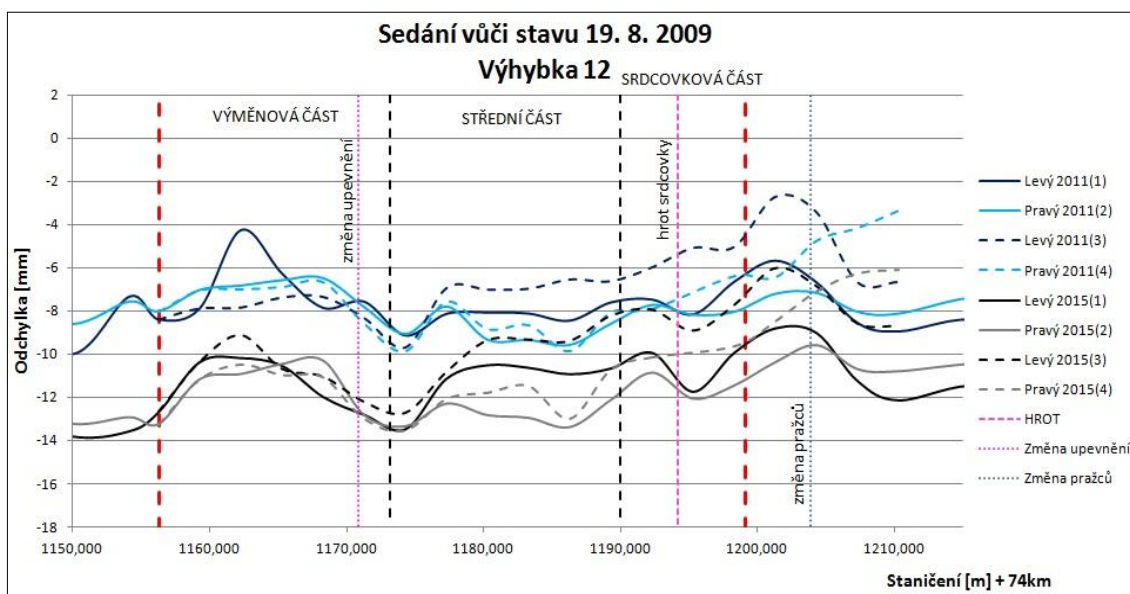
Obr. 13 Graf sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – levý kolejnicový pás



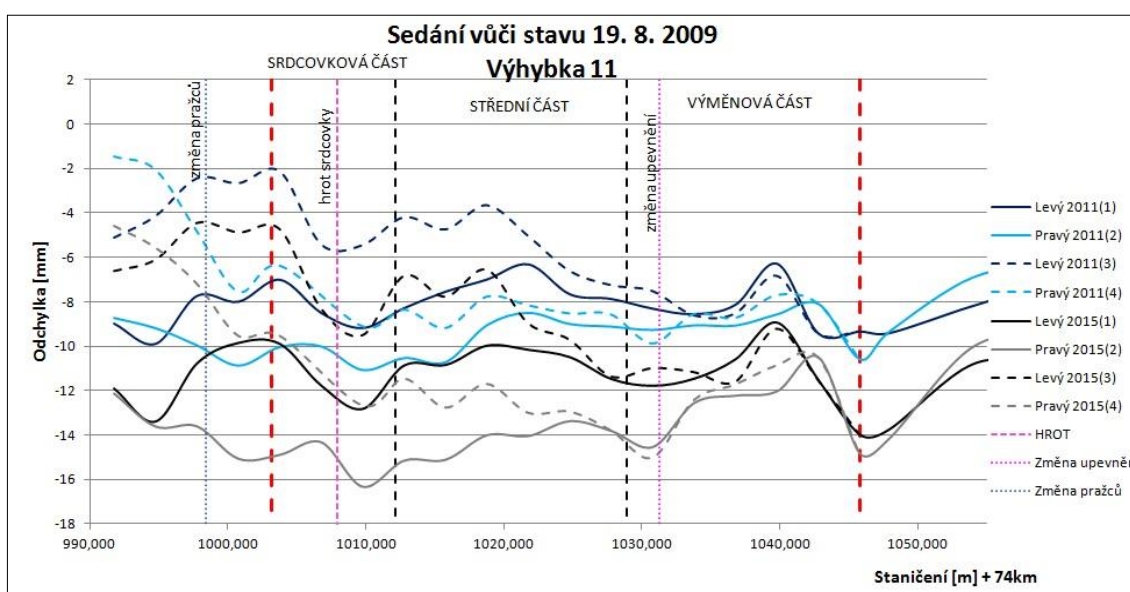
Obr. 14 Graf sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – pravý kolejnicový pás



Detailnější průběh sedání ve výhybkách můžeme sledovat na Obr. 15 a Obr. 16. Největší hodnoty sedání jsou patrné na přechodu mezi výměnovou a střední částí výhybek a v místě hrotu srdcovky, a to zejména u výhybky č. 11 bez USP. Při porovnání obou výhybek lze tvrdit, že výhybka č. 12 s USP vykazuje menší rozptýl hodnot sedání a tedy všechny kolejnicové pásy sedají souběžněji. Hlavní kolejnicové pásy (1,2) jsou v grafech zobrazeny plnou čarou, odbočné kolejnicové pásy (3,4) čarou čárkovanou.



Obr. 15 Graf sedání ve výhybce č. 12 s USP vůči stavu 19. 8. 2009



Obr. 16 Graf sedání ve výhybce č. 11 bez USP vůči stavu 19. 8. 2009

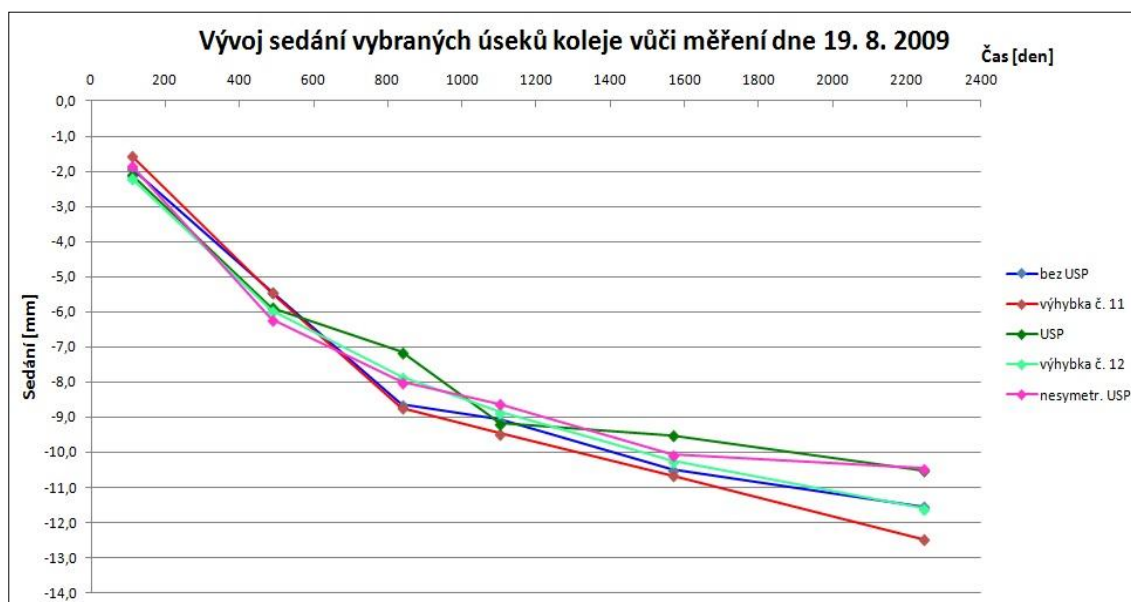
## 6.1.2 Sedání v závislosti na čase

Sedání koleje lze sledovat v závislosti na čase. Sledovaný úsek bylo potřeba nejprve rozdělit do logických částí, rozdělení bylo provedeno následovně: úsek před výhybkou č. 11 bez USP, výhybka č. 11, úsek s USP mezi výhybkami, výhybka č. 12 a oblast s nesymetrickými podložkami za výhybkou č. 12, kde jsou na krátkých pražcích umístěny podložky různých tuhostí. Průměrné hodnoty sedání jednotlivých úseků můžeme vidět v následující Tab. 3. Jedná se vždy o průměr hodnot levého a pravého kolejnicového pásu. Grafické znázornění vývoje sedání v čase je na Obr. 17.

Tab. č. 3 Hodnoty sedání v závislosti na čase

čas [dny]	110	486	838	1101	1567	2245
bez USP	-1,9	-5,4	-8,6	-9,1	-10,5	-11,5
výhybka č. 11	-1,6	-5,5	-8,7	-9,5	-10,7	-12,5
USP	-2,1	-5,9	-7,1	-9,2	-9,5	-10,5
výhybka č. 12	-2,2	-6,0	-7,8	-8,9	-10,2	-11,6
nesymetr. USP	-1,9	-6,2	-8,0	-8,6	-10,1	-10,5

Celková hodnota sedání koleje ve výhybce č. 11 bez USP a výhybce č. 12 s USP se liší o 1 mm, nicméně z grafu i tabulky lze pozorovat, že sedání koleje ve výhybce č. 12 se v posledních letech snižuje, zatímco ve výhybce č. 11 naopak vzrůstá, přičemž na začátku sledování byla tendence obrácená.



Obr. 17 Graf sedání vybraných úseků v závislosti na čase

Při hodnocení úseků mimo výhybku lze vysledovat stejný trend jako je tomu u výhybek. Přitom sedání koleje ve výhybce je o cca 1 mm větší než v úseku mimo výhybku.

Za poslední dva roky bylo vyzorováno výrazné snížení sedání úseku koleje s nesymetrickými pražci za koncem výhybky.

### 6.1.3 Sedání mezi jednotlivými měřeními

V následující tabulce jsou zaznamenány průměrné hodnoty sedání mezi jednotlivými měřeními. Z tabulky je zřejmé, že k největšímu sedání docházelo mezi daty 27. 11. 2009 a 8. 12. 2010, což je způsobeno podbitím koleje 19. 8. 2009. Během posledních dvou let sedali všechny úseky přibližně stejnou rychlostí s výjimkou úseku s nesymetrickými pražci za koncem výhybky, který sedal výrazně pomaleji.

*Tab. č. 4 Průměrné sedání vybraných úseků koleje mezi měřeními*

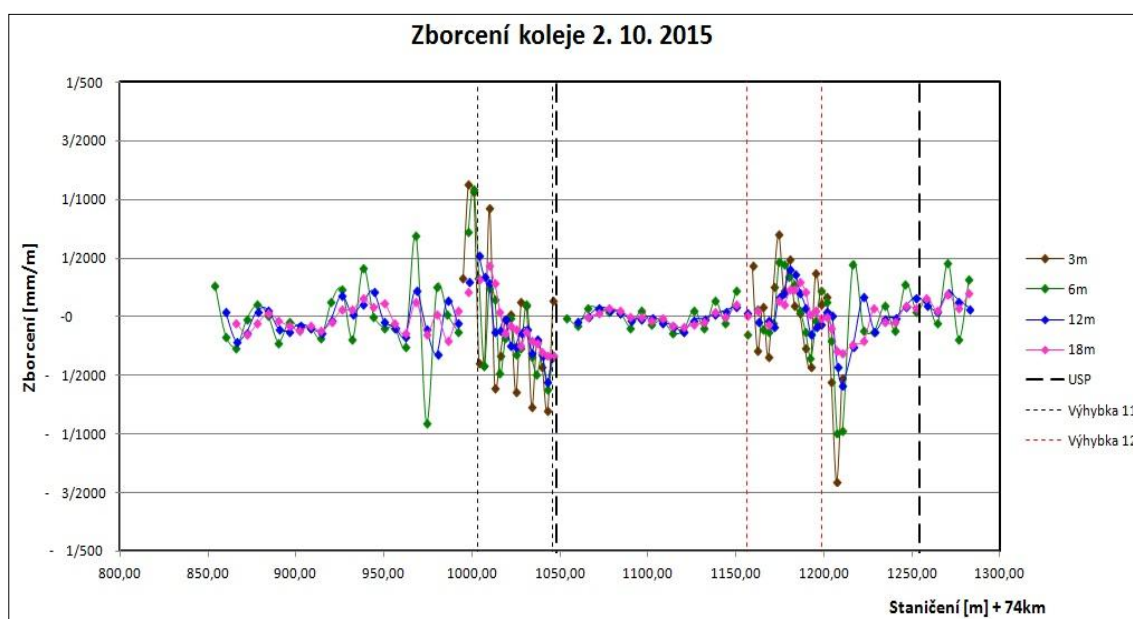
Časové období	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2015
Počet dní mezi měřeními	376	352	371	357	679
Sledovaný úsek	Průměrné hodnoty sedání koleje [mm]				
Úsek bez USP	-3,5	-3,2	-0,4	-1,4	-1,1
Výhybka č. 11	-3,9	-3,3	-0,7	-1,2	-1,8
Úsek s USP	-3,8	-1,3	-2,0	-0,4	-1,0
Výhybka č. 12	-3,8	-1,9	-1,0	-1,4	-1,4
Nesymetr. USP	-4,4	-1,8	-0,6	-1,4	-0,4

### 6.1.4 Zborcení koleje

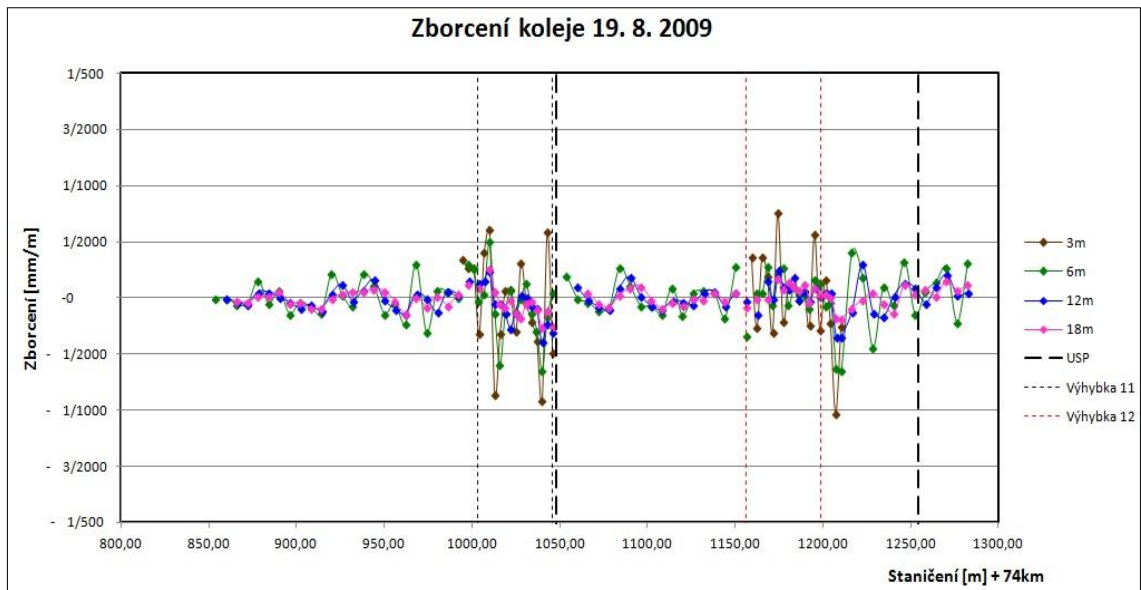
Zborcení koleje popisuje vzájemnou výškovou polohu kolejnicových pásů. To znamená, že udává změnu převýšení koleje na zvolené délkové základně. Z hlediska bezpečnosti provozu je tento parametr brán jako jeden z nejdůležitějších. Je to většinou hlavní ukazatel, který je překročen, když dojde k vykolejení železničních vozů z důvodu špatného stavu GPK.

K výpočtu zborcení byly nejdříve spočítány hodnoty rozdílů výšek kolejnicových pásů v jednotlivých řezech, tedy převýšení koleje. Následně byla spočítána změna převýšení koleje, která se podělila délkou měřicí základny. Zborcení bylo počítáno pro 4 měřicí základny – 6 m, 12 m, 18 m a 3 m pro výhybky.

Změřená data v listopadu 2015 (viz Obr. 18) potvrzují vývoj z předchozích let. Nejnižší hodnoty zborcení koleje jsou v úseku s podpražcovými podložkami mezi výhybkami. Tato situace je pozorována již od měření na konci roku 2009 (viz Obr. 19). Vedle velikosti zborcení je v tomto úseku ve srovnání s dalšími úseky jasně viditelná také vyrovnanost těchto hodnot. Největší zborcení je naopak pozorováno v úseku výhybek, resp. za konci výhybek, a v úseku před výhybkou č. 11. Hodnoty zborcení kolejí u obou výhybek jsou srovnatelné.

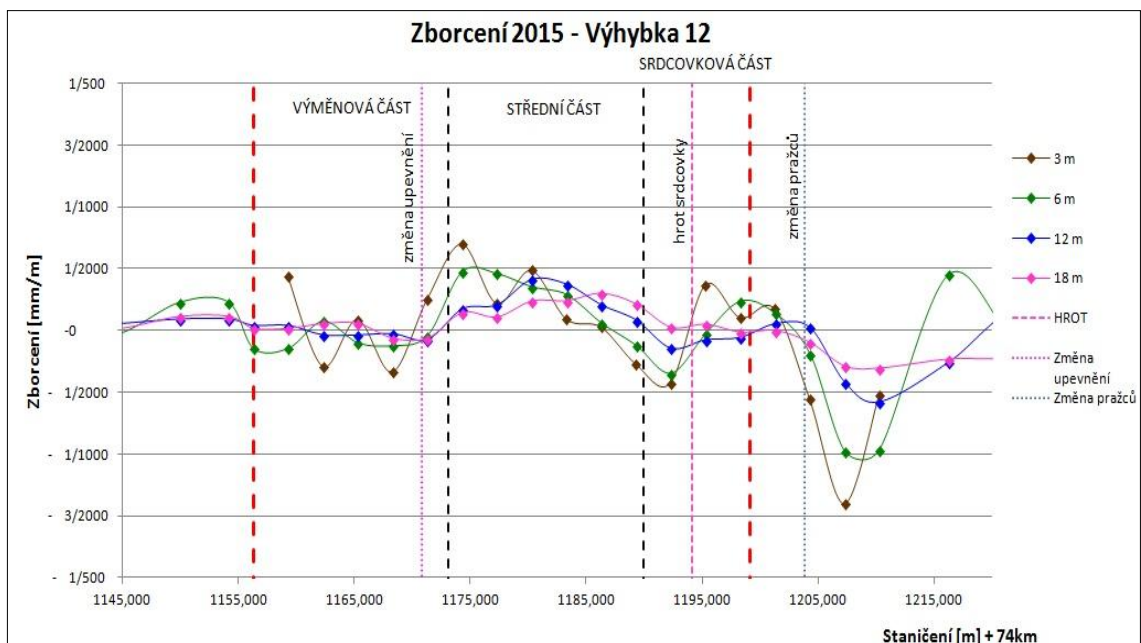


Obr. 18 Graf zborcení koleje 2. 10. 2015

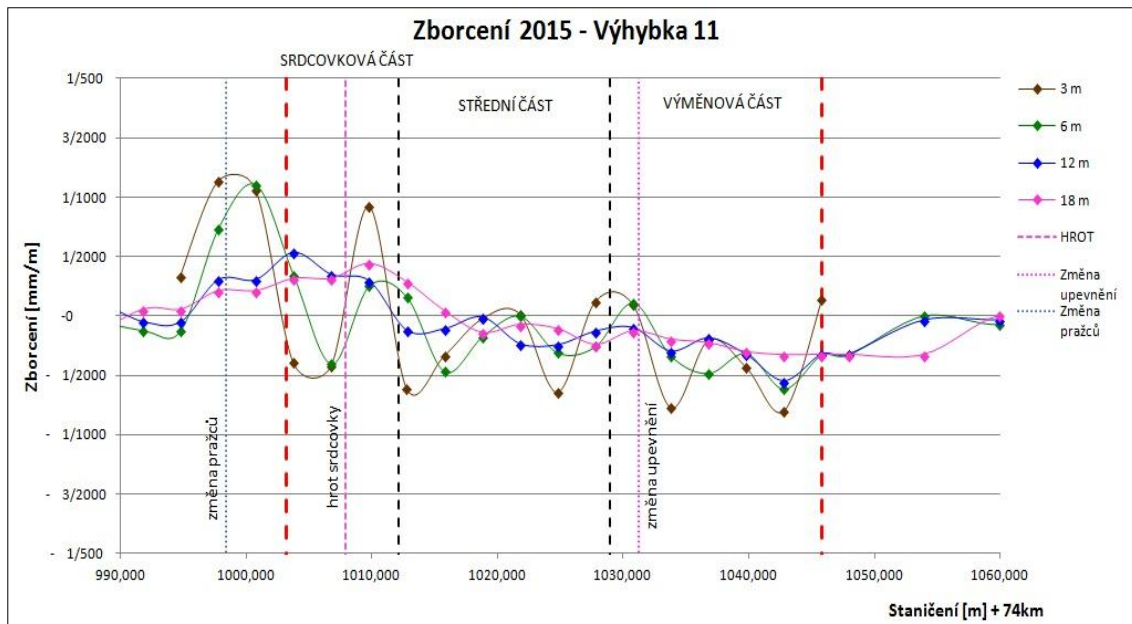


Obr. 19 Graf zborcení koleje 19. 8. 2009

Detailnější průběh zborcení koleje po délce výhybky je zakreslen na Obr. 20 a Obr. 21. V grafech je vyznačena změna upevnění ve výměnové části (přechod kluzných stoliček na podkladnicové upevnění), poloha hrotu srdcovky a přechod dlouhých pražců na krátké pražce za koncem výhybky.



Obr. 20 Zborcení koleje ve výhybce č. 12 – 2. 10. 2015



Obr. 21 Zborcení koleje ve výhybce č. 11 – 2. 10. 2015

Z grafů je patrné, že největší hodnoty jsou v oblasti přechodu dlouhých pražců na běžné pražce. V srdcovkové části výhybky č. 12 jsou hodnoty zborcení o něco menší, v ostatních částech výhybek výraznější odlišnosti nejsou.

Kompletní přehled grafických výstupů z měření metodou přesné nivelace je v Příloze 2.

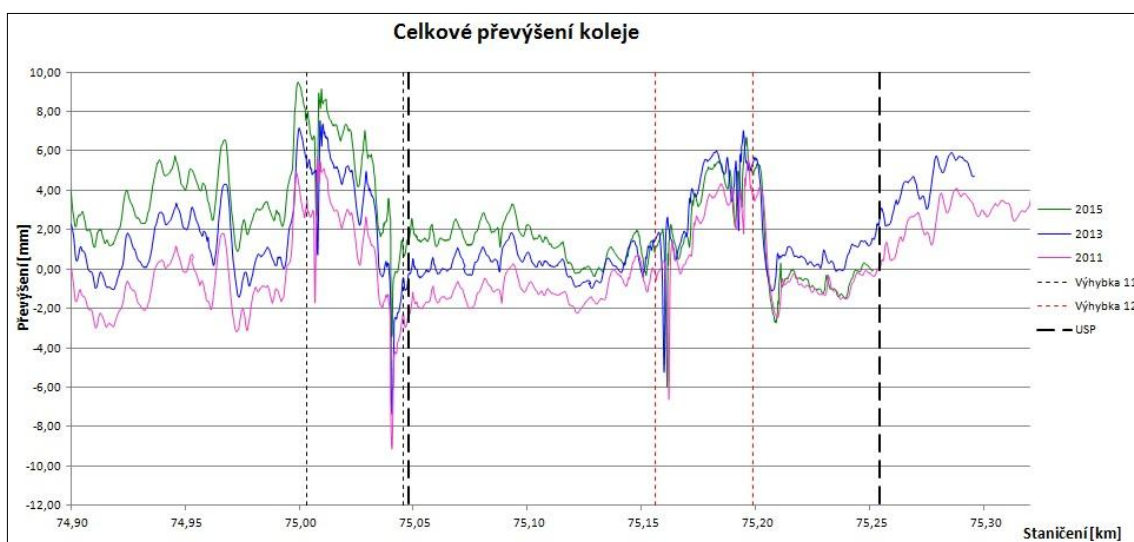


## 6.2 Měřicí vůz

Ve zkušebním úseku probíhají měření měřicím vozem třikrát ročně. Na konci dubna, v červenci a na konci listopadu. Pro porovnání byla zvolena listopadová měření z roku 2011, 2013 a 2015. Měření měřicím vozem probíhá kontinuálně (po 0,25 m) pod zatížením. Pro hodnocení byly použity změřené odchylky vybraných geometrických parametrů koleje.

### 6.2.1 Celkové převýšení koleje

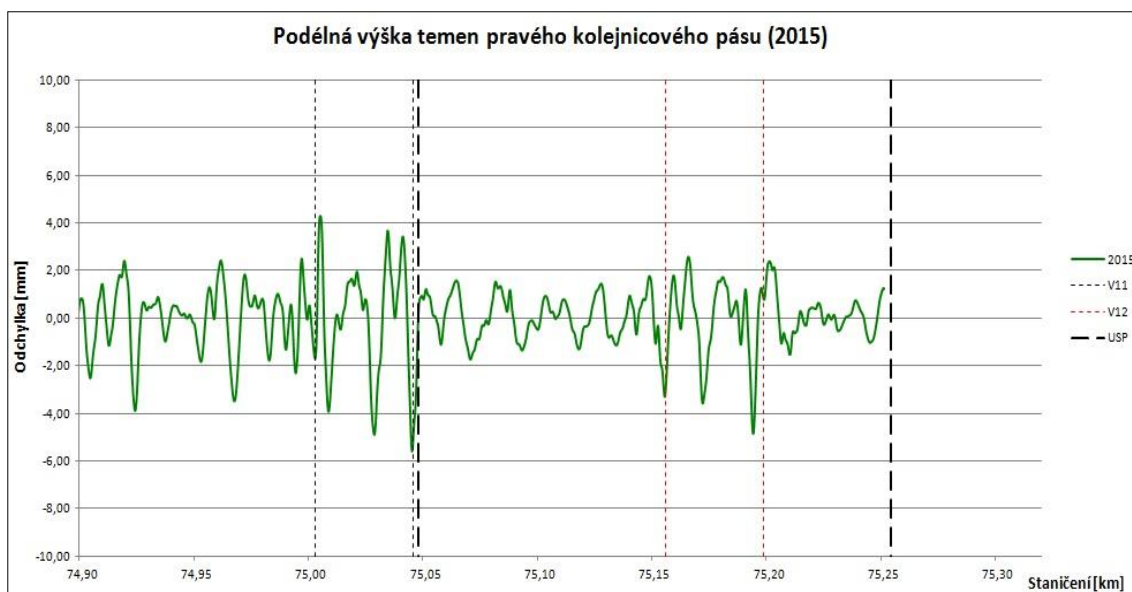
Graf celkového převýšení koleje (Obr. 22) zobrazuje změnu vzájemné výškové polohy kolejnicových pásů. Nejvyšší hodnoty převýšení jsou ve výhybkách, konkrétně ve výhybce č. 11 dosahuje hodnota převýšení téměř 10 mm. Ve výhybce č. 12 se velikost převýšení výrazně nemění. Ve výhybce č. 11 jsou změny převýšení mezi jednotlivými měřeními patrné, to samé lze říci i o úseku před výhybkou č. 11.



Obr. 22 Graf celkového převýšení koleje – 6. 8. 2015

### 6.2.2 Podélná výška temen kolejnicových pásů

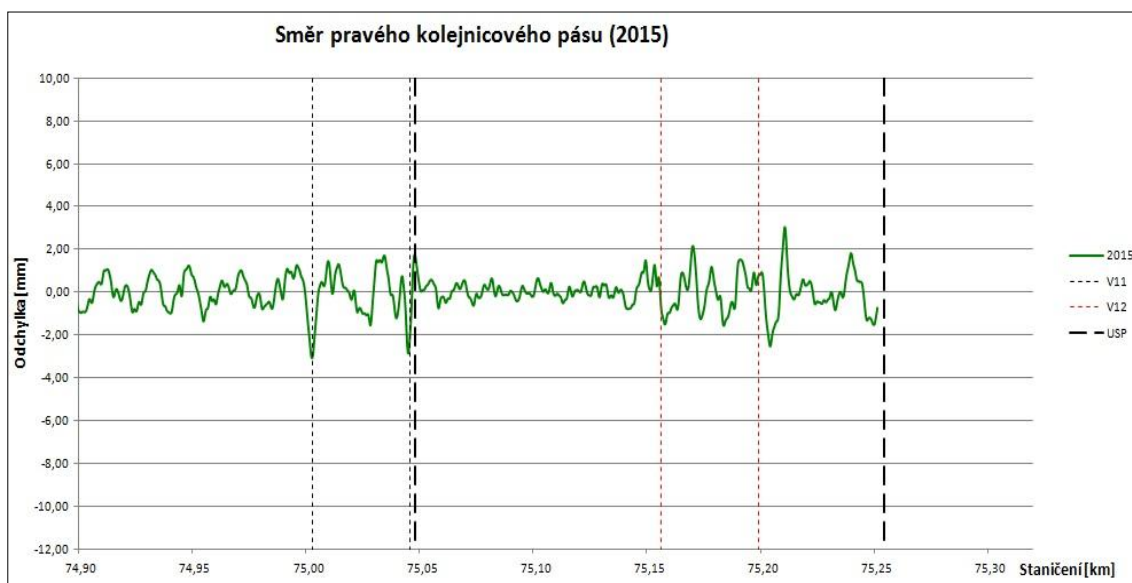
V grafu podélné výšky temen kolejnicových pásů jsou patrné menší odchylky v oblasti s podpražcovými podložkami a to i v oblasti výhybky (Obr. 23). Největší odchylky jsou ve výhybce č. 11 a v oblasti před ní, kde dosahují hodnot místy až 4 mm. Naopak velmi malé jsou odchylky v oblasti přechodu dlouhých pražců na krátké za výhybkou č. 12. Odchylky jsou zpracovány pro jednotlivé kolejnicové pásy.



Obr. 23 Podélná výška temen pravého kolejnicového pásu – 6. 8. 2015

### 6.2.3 Směr kolejnicových pásů

V grafu odchylek směru kolejnicových pásů (Obr. 24) jsou odchylky v oblasti s podpražcovými podložkami poloviční než v úseku bez podložek, pohybují se v rozmezí -0,5 až 0,5 mm. Ve výhybkách jsou odchylky podobné po celé délce. Největší odchylky se vyskytují za dlouhými pražci obou výhybek, kde dosahují hodnot až 3 mm. Odchylky jsou zpracovány pro jednotlivé kolejnicové pásy.

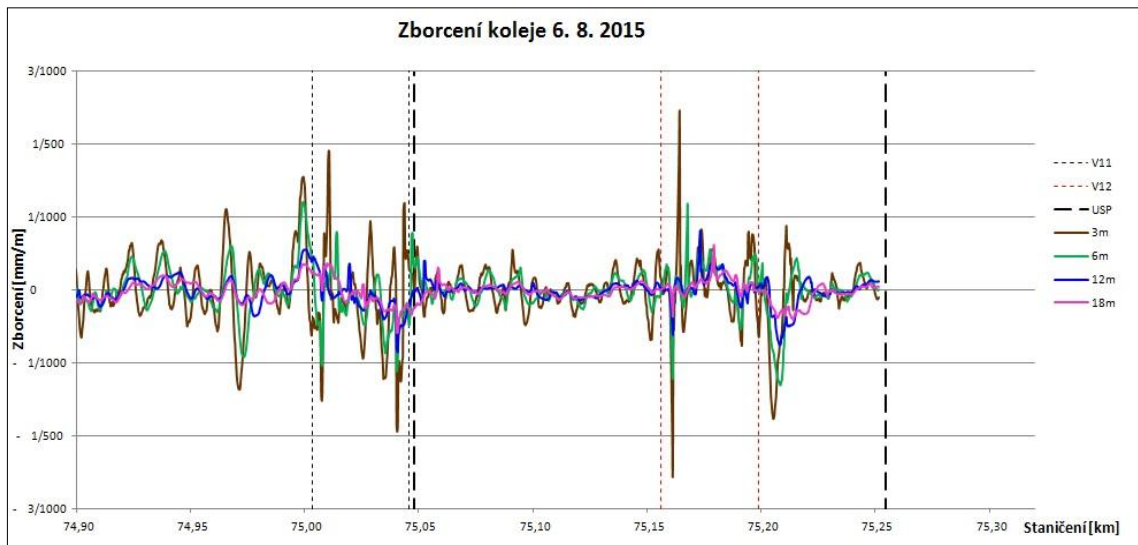


Obr. 24 Odchylky směru pravého kolejnicového pásu – 6. 8. 2015

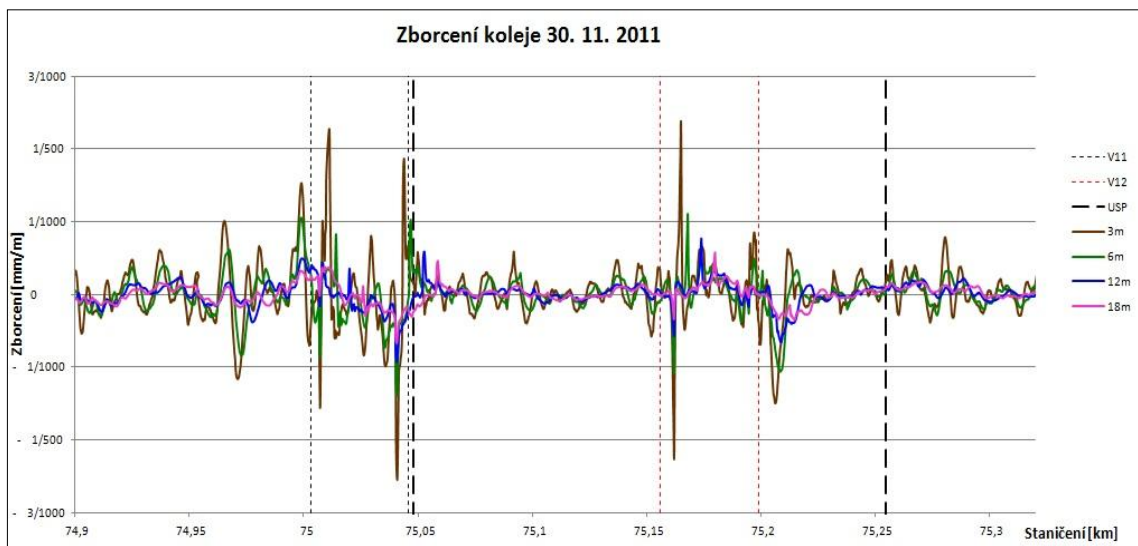


## 6.2.4 Zborcení koleje

Zborcení je spočítáno z celkového převýšení koleje a to pro čtyři měřící základny – 3 m, 6 m, 12 m a 18 m. Hodnoty zborcení jsou nejnižší v úseku mezi výhybkami. V úseku bez USP jsou hodnoty místy až dvakrát větší. Z porovnání obou výhybek vychází lépe výhybka č. 12, kde jsou hodnoty o něco příznivější než ve výhybce č. 11. Jak můžeme vidět na Obr. 25 a Obr. 26, hodnoty zborcení se v čase výrazněji nemění.



Obr. 25 Zborcení koleje – 6. 8. 2015



Obr. 26 Zborcení koleje – 30. 11. 2011

Nejvyšší hodnoty zborcení pro jednotlivé měřické základny se porovnaly s provozními a mezními provozními odchylkami zborcení koleje dle normy ČSN 73 6360-2 [3]. Všechny hodnoty stanoveným mezím vyhověly.

*Tab. č. 5 Provozní a mezní provozní odchylky zborcení koleje*

	Limit ZK [mm/m]	Měřická základna	30. 11. 2011	6. 8. 2015	Vyhoví
<b>Stupeň AL</b>	max 4,0	3 m	2,4	2,5	ano
	max 3,2	6 m	1,1	1,2	ano
	max 2,1	12 m	0,8	0,9	ano
	max 2,0	18 m	0,6	0,6	ano
<b>Stupeň IL</b>	max 5,0	3 m	2,4	2,5	ano
	max 4,0	6 m	1,1	1,2	ano
	max 2,6	12 m	0,8	0,9	ano
	max 2,5	18 m	0,6	0,6	ano
<b>Stupeň IAL</b>	max 6,0	3 m	2,4	2,5	ano
	max 4,8	6 m	1,1	1,2	ano
	max 3,1	12 m	0,8	0,9	ano
	max 3,0	18 m	0,6	0,6	ano

Kompletní přehled grafických výstupů z měření měřícím vozem je v Příloze 3.

## 7 Závěr

Tato bakalářská práce byla zaměřena na zhodnocení vlivu podpražcových podložek na geometrické parametry koleje ve zkušebním úseku v železniční stanici Planá nad Lužnicí. V rámci práce bylo provedeno měření nivelace 2. 10. 2015. Naměřená data byla vyhodnocena a porovnána s vybranými měřeními z minulých let. Dále byla zpracována a porovnána data z měření měřícím vozem.

Z naměřených dat byly po zpracování a porovnání učiněny následující závěry:

- Největší hodnoty sedání sledujeme ve výhybkách a v úseku bez podpražcových podložek.
- K nejmenšímu sedání dochází v úseku s USP mezi výhybkami
- Ve výhybce č. 12 s USP je sedání obou kolejnicových pásů vyrovnanější než ve výhybce č. 11, což lze dobře sledovat na parametru převýšení koleje.
- Ve výhybce č. 11 bez USP se rychlost sedání za poslední 3 roky nezměnila, ve výhybce č. 12 s USP naopak zpomalila oproti poslednímu měření v roce 2013. Přitom průměrné sedání ve výhybce č. 11 je větší než ve výhybce 12.
- Z grafů zborcení je jasně viditelný přínos USP a to konkrétně v úseku mezi výhybkami, kde jsou hodnoty zborcení výrazně menší v porovnání s úsekem bez podpražcových podložek.
- Přínos podpražcových podložek sledujeme i u parametrů podélné výšky a směru koleje z dat z měřícího vozu. U odchylek směru jsou hodnoty v úseku s USP až dvakrát menší.
- Hodnoty odchylek u podélné výšky a směru koleje se během sledovaných let nijak výrazněji nemění.

Vliv podpražcových podložek hodnotím pozitivně a to hlavně v úseku mezi oběma výhybkami. Ve výhybce se vliv podložek nijak výrazněji neprojevuje, což ale může souviset s problémy při budování zkušebního úseku (kapitola 3.1) a faktem, že byla tato výhybka podbita vícekrát než výhybka bez podpražcových podložek. V místě za výhybkou č. 12, kde dochází k přechodu z dlouhých pražců na pražce krátké,

se zvolené řešení s nesymetrickými podložkami jeví jako neefektivní, což pozorujeme na grafech zborcení koleje.

## Seznam použité literatury

- [1] ABADI, T., LE PEN, L., ZERVOS, A. & POWRIE, W. 2015. *Measuring the area and number of ballast particle contacts at sleeper/ballast and ballast/subgrade interfaces*. The international journal of railway technology.
- [2] ADÁMEK, R., *Podložky pod ložnou plochou pražce a jejich pozitivní vliv na geometrickou polohu koleje*, Vědeckotechnický sborník ČD č. 21, Praha 2006
- [3] Česká technická norma 73 6360-2, Část 2: Stavba a přejímká, provoz a údržba
- [4] GETZNER WERKSTOFFE. *Sleeper Pads Reduce Life Cycle Cost*. 2010.
- [5] HRUZÍKOVÁ, M., *Vliv podpražcových podložek na kvalitu jízdní dráhy*, dizertační práce. Brno, 2012.
- [6] INNORAIL MAGAZIN. Vibration Mitigation with Under Sleeper Pads. [online]. 21. 9. 2014 [cit. 2016-05-04]. Dostupné z: <http://innorail.hu/en/vibration-mitigation-with-under-sleeper-pads/>
- [7] JAYASURYIA , C., INDRARATNA, B., NIMBALKAR, S., *Analysis of the Performance of Under Sleeper Pads- A Critical Review*, Colombo ICGE 2015
- [8] PLÁŠEK, O., HRUZÍKOVÁ, M., BÍLEK, J., *Hodnocení zkušebních úseků s podpražcovými podložkami*, Věda a výzkum pro stavby železniční dopravní cesty, Děčín 2016
- [9] STJEPAN. L., *Experimental investigation of railway track with under sleeper pads*, Portorož, 2012
- [10] SŽDC (ČD) SR103/4 (S). *Využívání měřicích vozů pro železniční svršek s kontinuálním měřením tratě pod zatížením*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2010.

## Seznam symbolů a zkratek

<i>AL</i> .....	mez sledování
<i>CZK</i> .....	celková známka kvality
<i>EVA</i> .....	etyl vinyl acetát
<i>GPK</i> .....	geometrické parametry koleje
<i>IAL</i> .....	mez bezodkladného zásahu
<i>IL</i> .....	mez zásahu
<i>SDO</i> .....	směrodatná odchylka
<i>SK</i> .....	směr koleje
<i>SŽDC</i> .....	Správa železniční dopravní cesty
<i>TK</i> .....	temeno kolejnice
<i>TMS</i> .....	track measuring system
<i>UIC</i> .....	mezinárodní železniční unie
<i>USP</i> .....	podpražcové podložky
<i>VK</i> .....	výška koleje
<i>ZK</i> .....	zborcení koleje
<i>ZKV</i> .....	známka kvality
<i>ZP</i> .....	známka podbíjení

## Seznam obrázků

<i>Obr. 1 Umístění USP v železniční dráze</i> .....	13
<i>Obr. 2 Rozložení zatížení</i> .....	15
<i>Obr. 3 Změna st. působení pražce vlivem drcení kameniva pod hlavami pražce</i> .....	15
<i>Obr. 4 Rozmístění zkušebních úseků v ČR</i> .....	17
<i>Obr. 5 Zkušební úsek Planá nad Lužnicí, výhybka č. 12 s USP</i> .....	18
<i>Obr. 6 Zkušební úsek Planá nad Lužnicí, výhybka č. 11 bez USP</i> .....	18
<i>Obr. 7 Zkušební úsek Planá nad Lužnicí</i> .....	19
<i>Obr. 8 Schéma zkušebního úseku Havlíčkův Brod – Okrouhlice</i> .....	21
<i>Obr. 9 Dopravní schéma žst. Ústí nad Orlicí s vyznačením výhybek s USP</i> .....	22
<i>Obr. 10 Výhybka č. 7, pohled ze stanice</i> .....	23
<i>Obr. 11 Výhybka č. 7 a 8, pohled do stanice</i> .....	23
<i>Obr. 12 Schéma měřícího vozu</i> .....	28
<i>Obr. 13 Graf sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – levý kolejnicový pás</i> .....	32
<i>Obr. 14 Graf sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – pravý kolejnicový pás</i> .....	32
<i>Obr. 15 Graf sedání ve výhybce č. 12 s USP vůči stavu 19. 8. 2009</i> .....	33
<i>Obr. 16 Graf sedání ve výhybce č. 11 bez USP vůči stavu 19. 8. 2009</i> .....	33
<i>Obr. 17 Graf sedání vybraných úseků v závislosti na čase</i> .....	34
<i>Obr. 18 Graf zborcení koleje 2. 10. 2015</i> .....	36
<i>Obr. 19 Graf zborcení koleje 19. 8. 2009</i> .....	37
<i>Obr. 20 Zborcení koleje ve výhybce č. 12 – 2. 10. 2015</i> .....	37
<i>Obr. 21 Zborcení koleje ve výhybce č. 11 – 2. 10. 2015</i> .....	38
<i>Obr. 22 Graf celkového převýšení koleje – 6. 8. 2015</i> .....	39
<i>Obr. 23 Podélná výška temen pravého kolejnicového pásu – 6. 8. 2015</i> .....	40
<i>Obr. 24 Odchyšky směru pravého kolejnicového pásu – 6. 8. 2015</i> .....	40
<i>Obr. 25 Zborcení koleje – 6. 8. 2015</i> .....	41
<i>Obr. 26 Zborcení koleje – 30. 11. 2011</i> .....	41

## **Seznam příloh**

*Příloha č. 1 - Návrh uspořádání podpražcových podložek ve výhybce J60-1:12-500-I*

*Příloha č. 2 - Grafické výstupy z měření metodou přesné nivelace*

*Příloha č. 3 - Grafické výstupy z měření měřícím vozem*



Příloha č. 1

Návrh uspořádání podpražcových podložek ve výhybce

J60-1:12-500-I



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 – Výměnová část výhybky</i> .....	4
<i>Obr. 2 – Střední část výhybky</i> .....	5
<i>Obr. 3 – Srdcovková část výhybky</i> .....	6













## Příloha č. 2

Grafické výstupy z měření metodou přesné nivelace

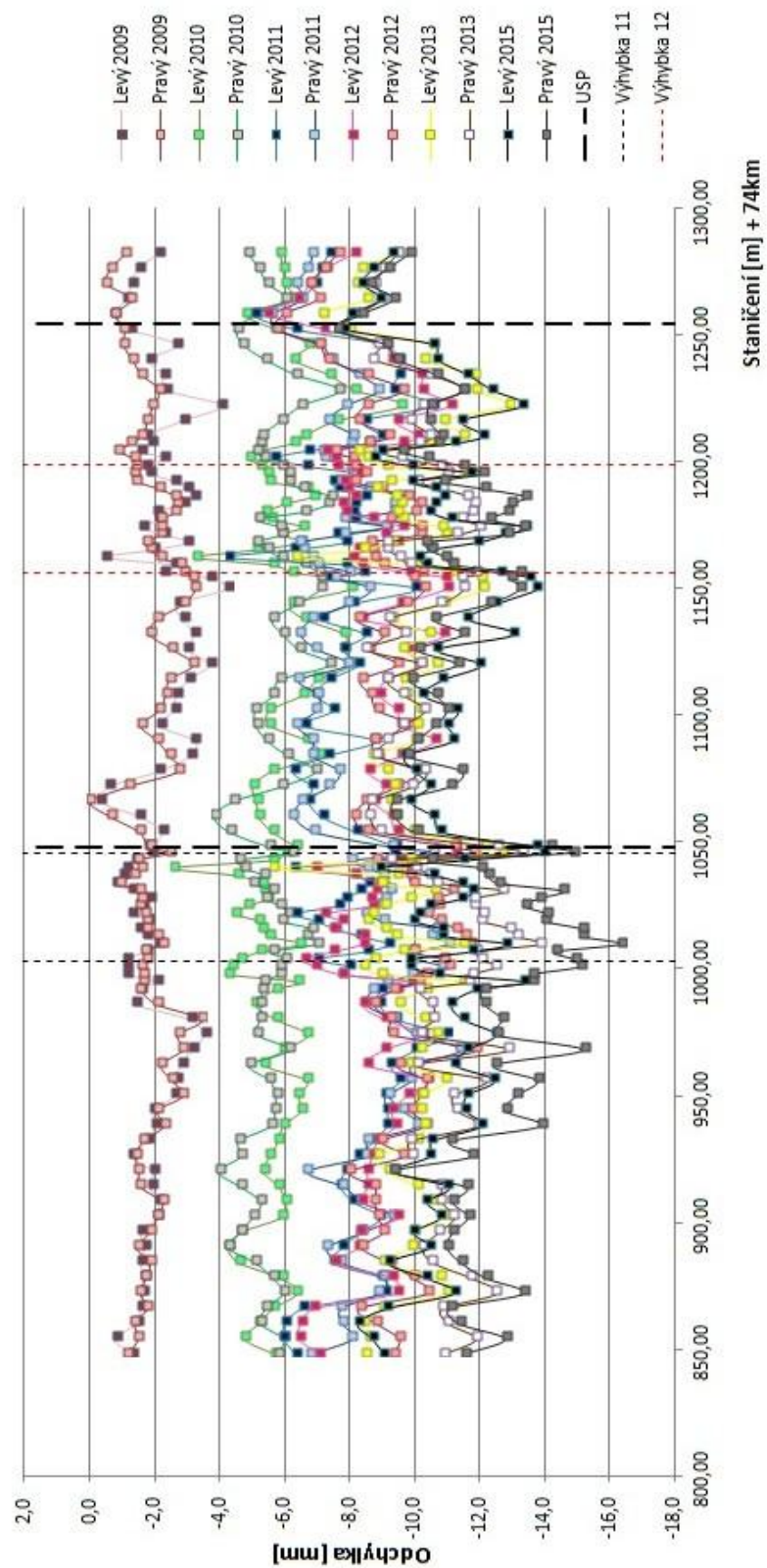


## SEZNAM OBRÁZKŮ

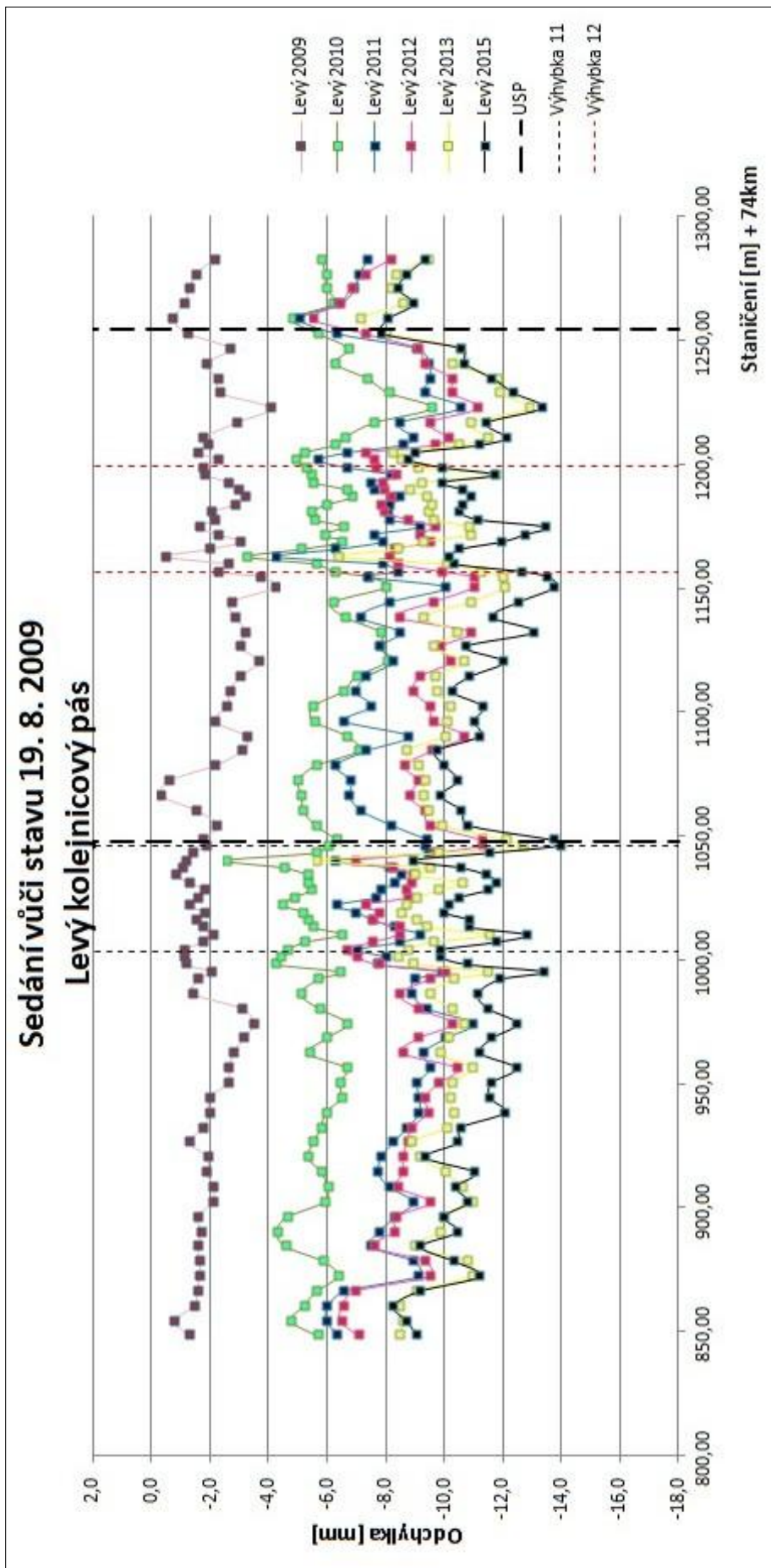
<i>Obr. 1 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – oba kolejnicové pásy .....</i>	<i>5</i>
<i>Obr. 2 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – levý KP .....</i>	<i>6</i>
<i>Obr. 3 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – pravý KP .....</i>	<i>7</i>
<i>Obr. 4 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – rok 2011 .....</i>	<i>8</i>
<i>Obr. 5 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – rok 2012 .....</i>	<i>8</i>
<i>Obr. 6 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – rok 2013 .....</i>	<i>9</i>
<i>Obr. 7 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – rok 2015 .....</i>	<i>9</i>
<i>Obr. 8 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 12 – rok 2011.....</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 9 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 12 – rok 2012.....</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 10 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 12 – rok 2013.....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 11 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 12 – rok 2015.....</i>	<i>11</i>
<i>Obr. 12 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 11 – rok 2011.....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 13 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 11 – rok 2012.....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 14 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 11 – rok 2013.....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 15 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 11 – rok 2015.....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 16 – Sedání mezi měřeními – oba kolejnicové pásy.....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 17 – Sedání mezi měřeními – levý KP .....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 18 – Sedání mezi měřeními – pravý KP .....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 19 – Zborcení koleje 25. 11. 2011 .....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 20 – Zborcení koleje 30. 11. 2012 .....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 21 – Zborcení koleje 22. 11. 2013 .....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 22 – Zborcení koleje 22. 11. 2015 .....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 23 – Zborcení koleje ve výhybce č. 12 - 25. 11. 2011 .....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 24 – Zborcení koleje ve výhybce č. 12 - 30. 11. 2012 .....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 25 – Zborcení koleje ve výhybce č. 12 - 22. 11. 2013 .....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 26 – Zborcení koleje ve výhybce č. 12 - 2. 10. 2015 .....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 27 – Zborcení koleje ve výhybce č. 11 - 25. 11. 2011 .....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 28 – Zborcení koleje ve výhybce č. 11 - 30. 11. 2012 .....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 29 – Zborcení koleje ve výhybce č. 11 - 22. 11. 2013 .....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 30 – Zborcení koleje ve výhybce č. 11 - 2. 10. 2015.....</i>	<i>21</i>



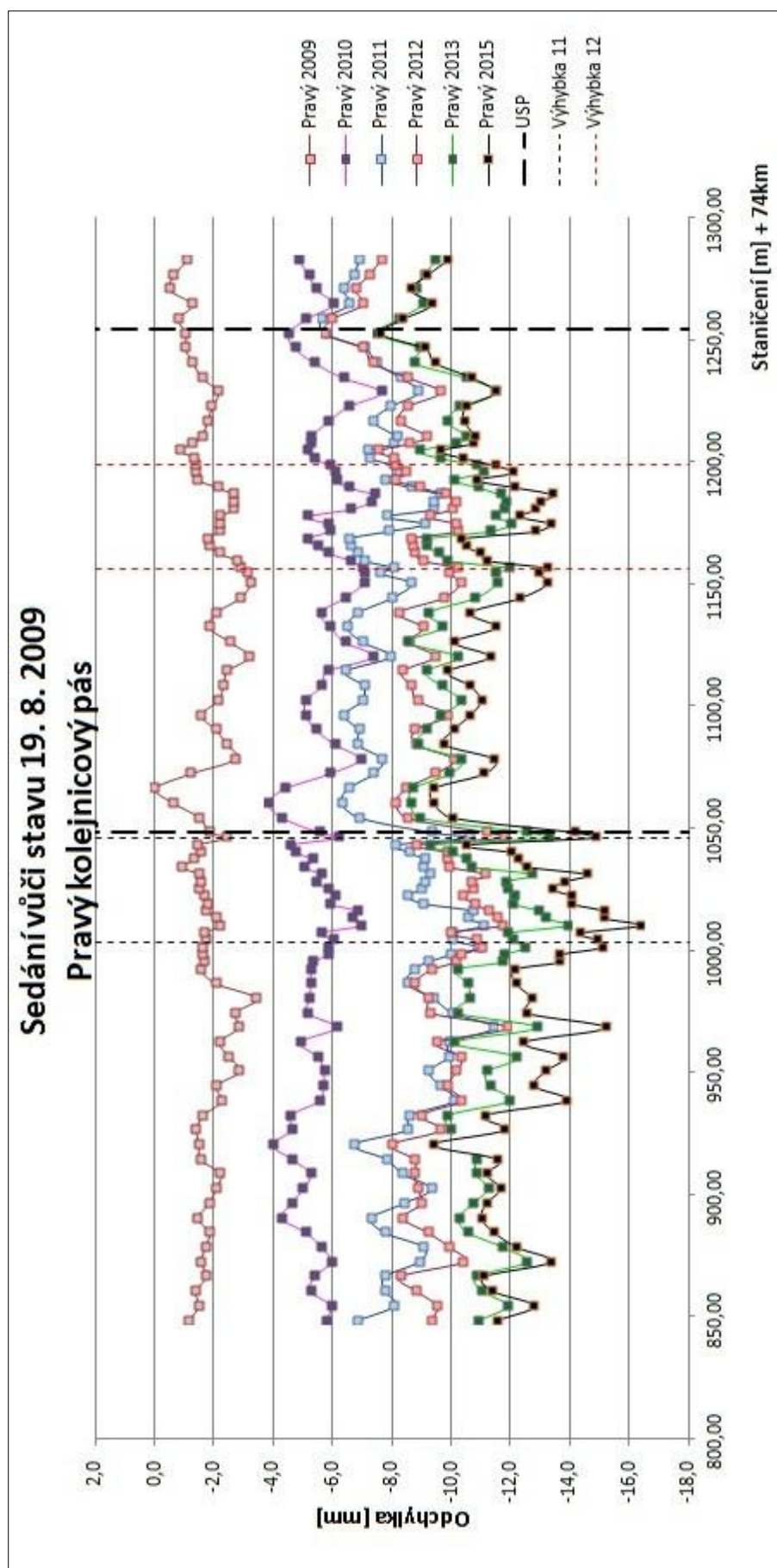
### Sedání vůči stavu 19. 8. 2009



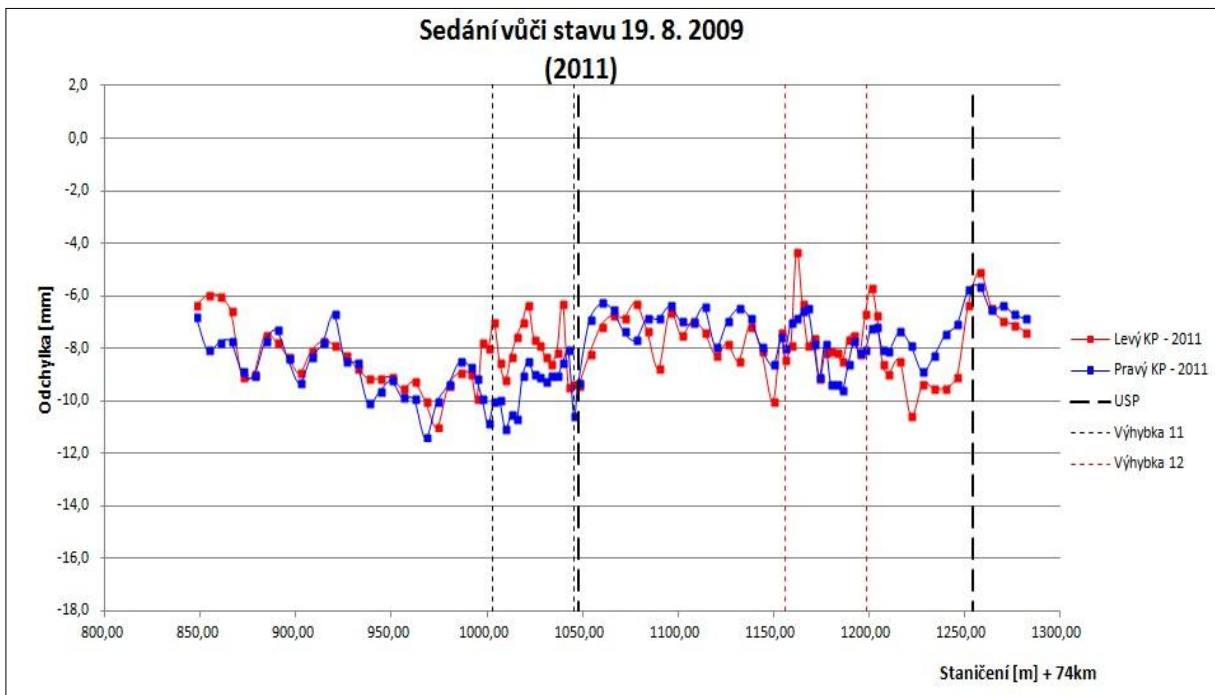
Obr. 1 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – oba kolejnicové pásy



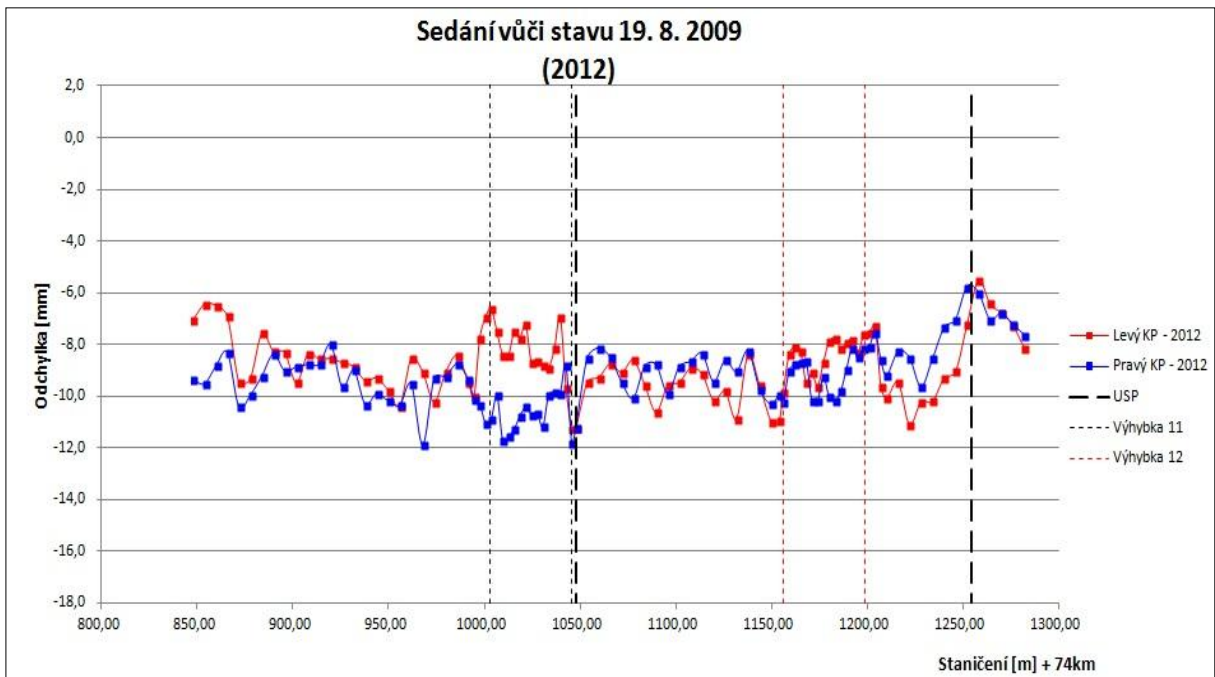
Obr. 2 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – levý KP



Obr. 3 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – pravý KP

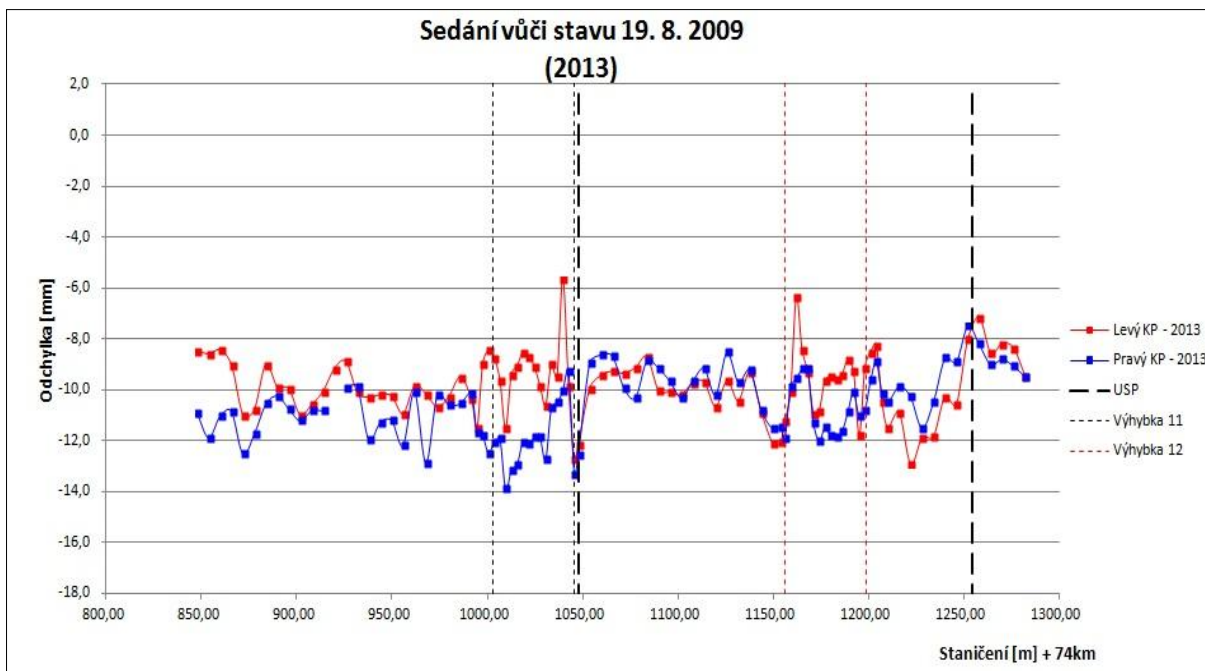


Obr. 4 - Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – rok 2011

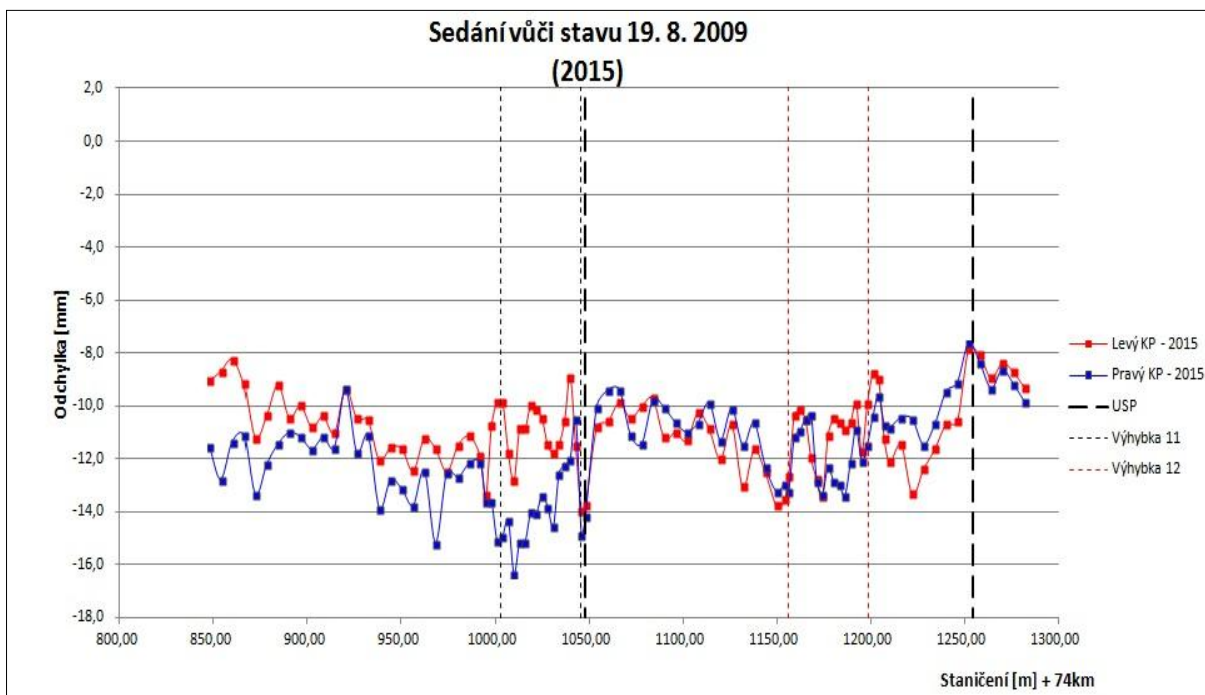


Obr. 5 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – rok 2012



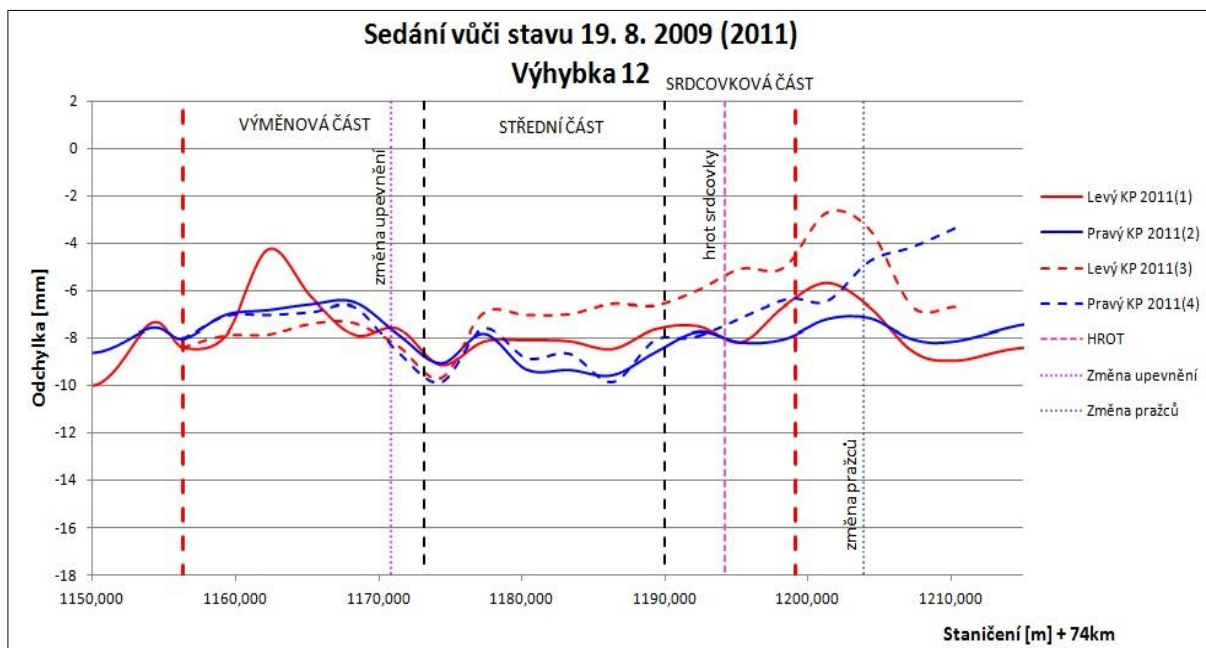


*Obr. 6 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – rok 2013*

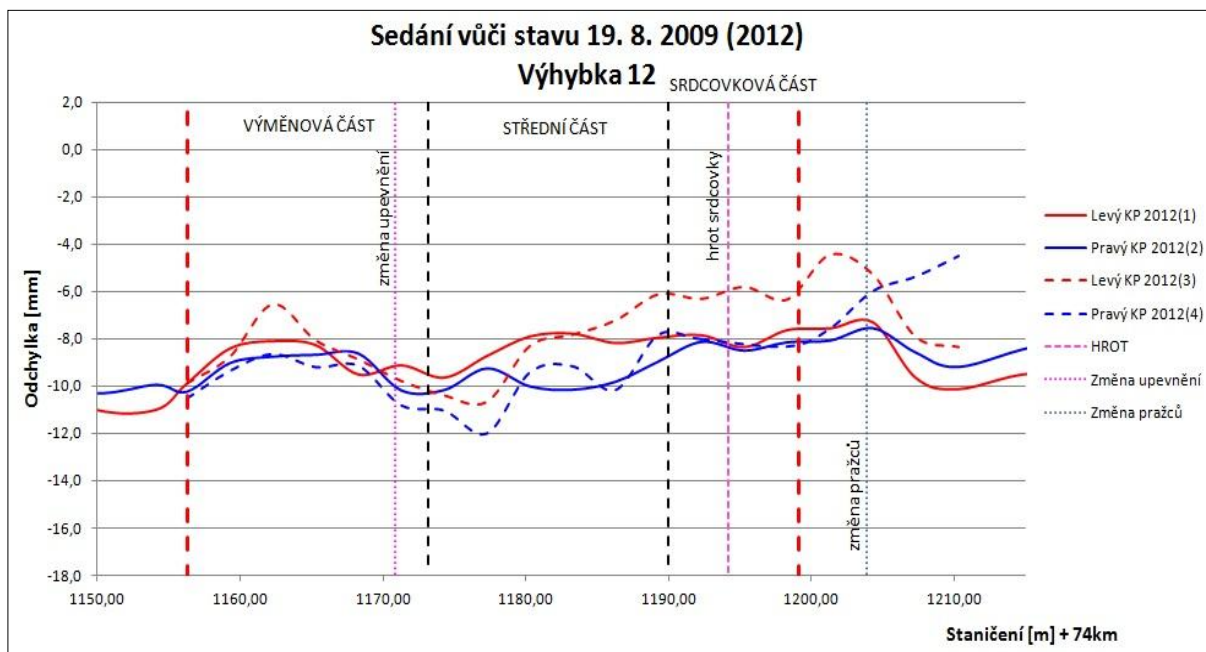


*Obr. 7 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 – rok 2015*

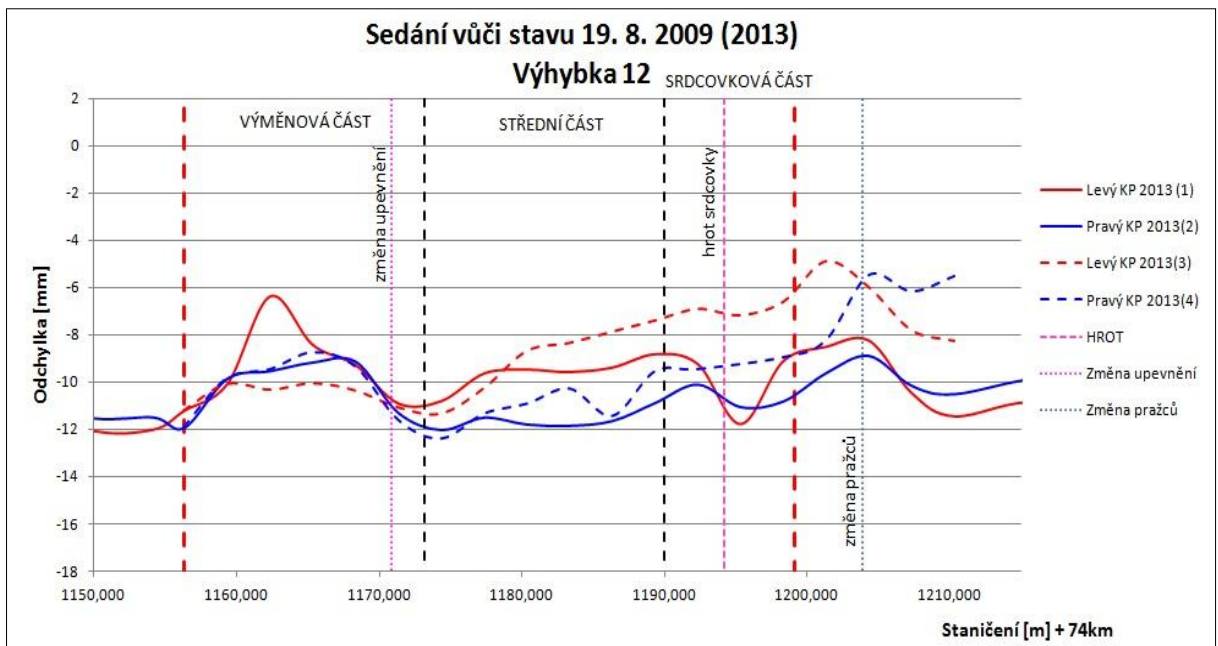
Pozn. Hlavní kolejnicové pásy (KP 1,2) jsou u grafů výhybek znázorněny plnou čarou



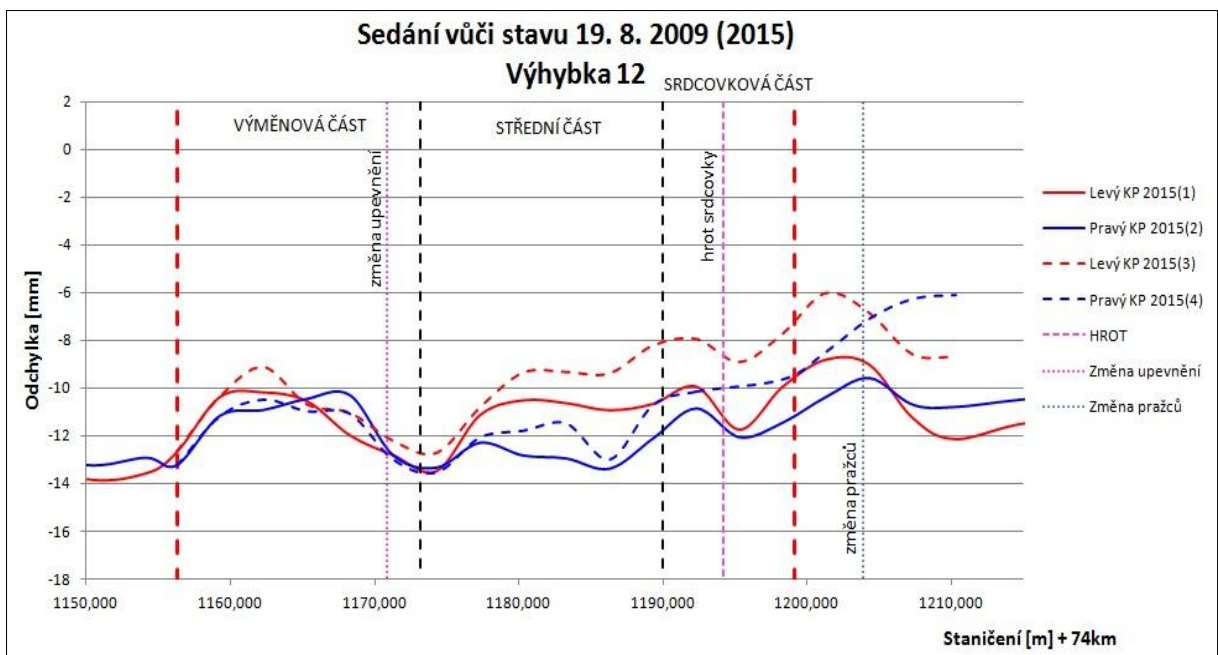
Obr. 8 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 12 – rok 2011



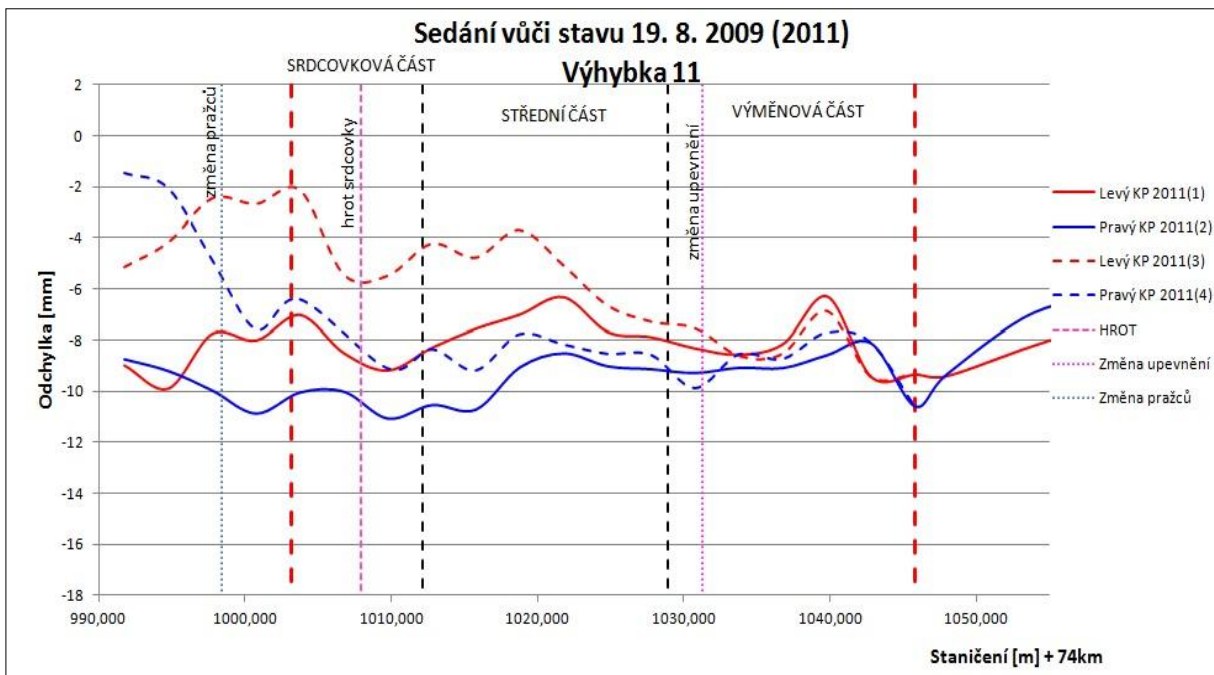
Obr. 9 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 12 – rok 2012



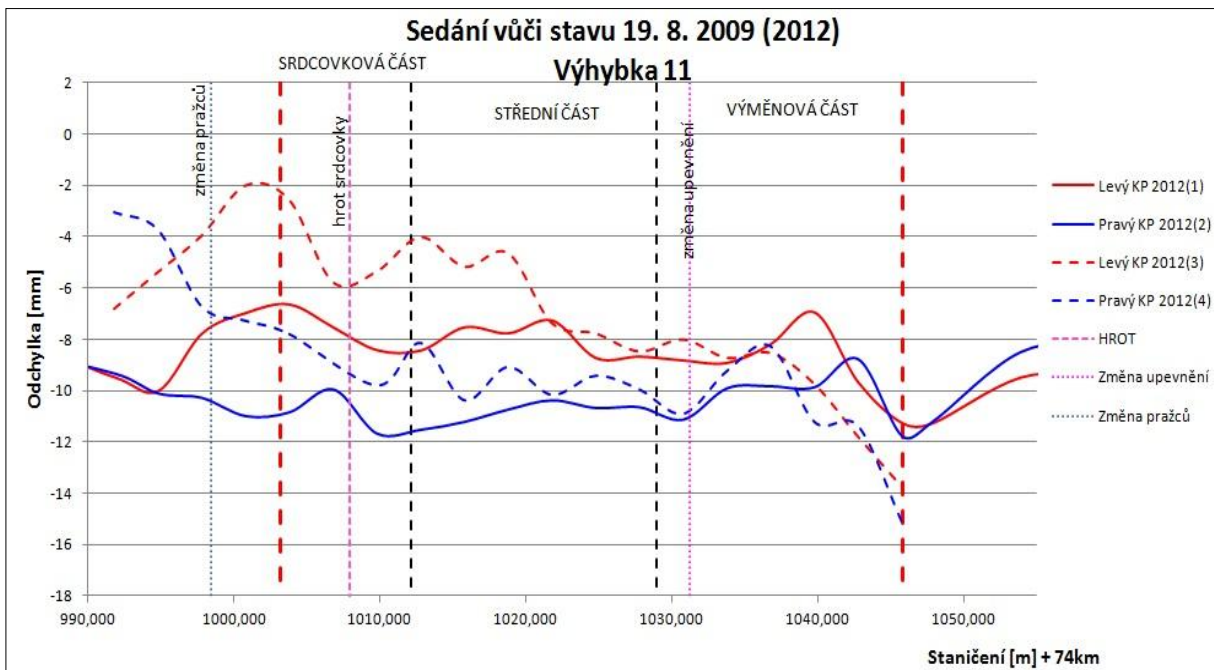
Obr. 10 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 12 – rok 2013



Obr. 11 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 12 – rok 2015

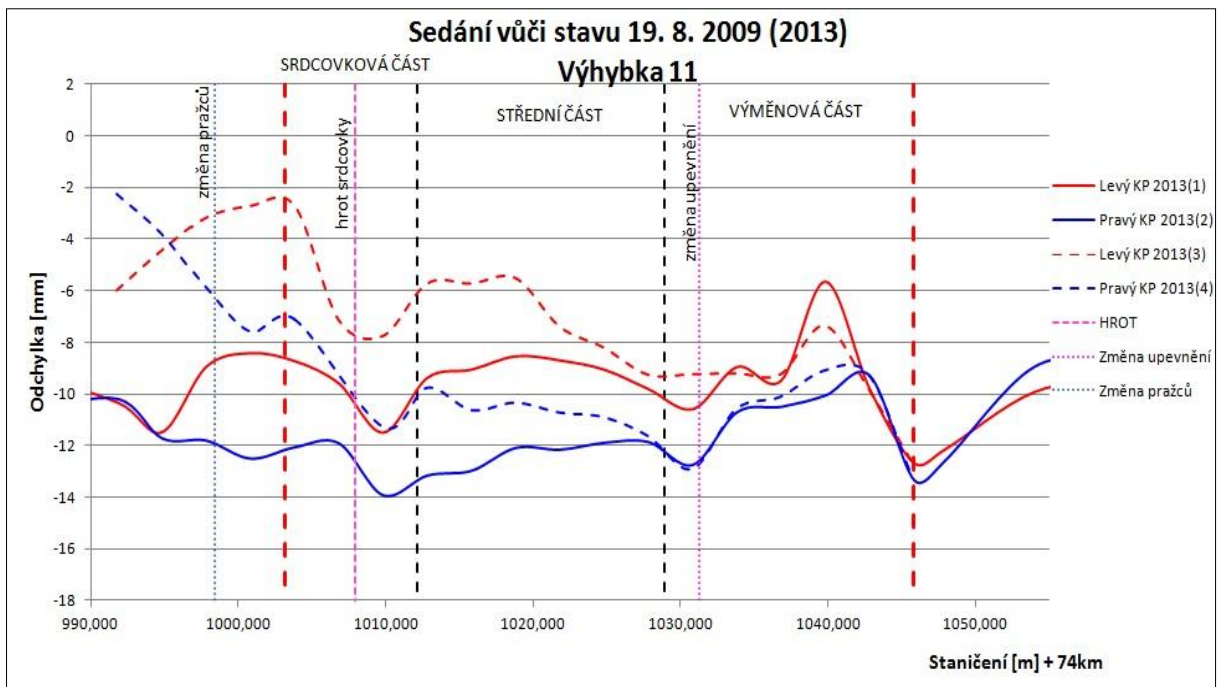


Obr. 12 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 11 – rok 2011

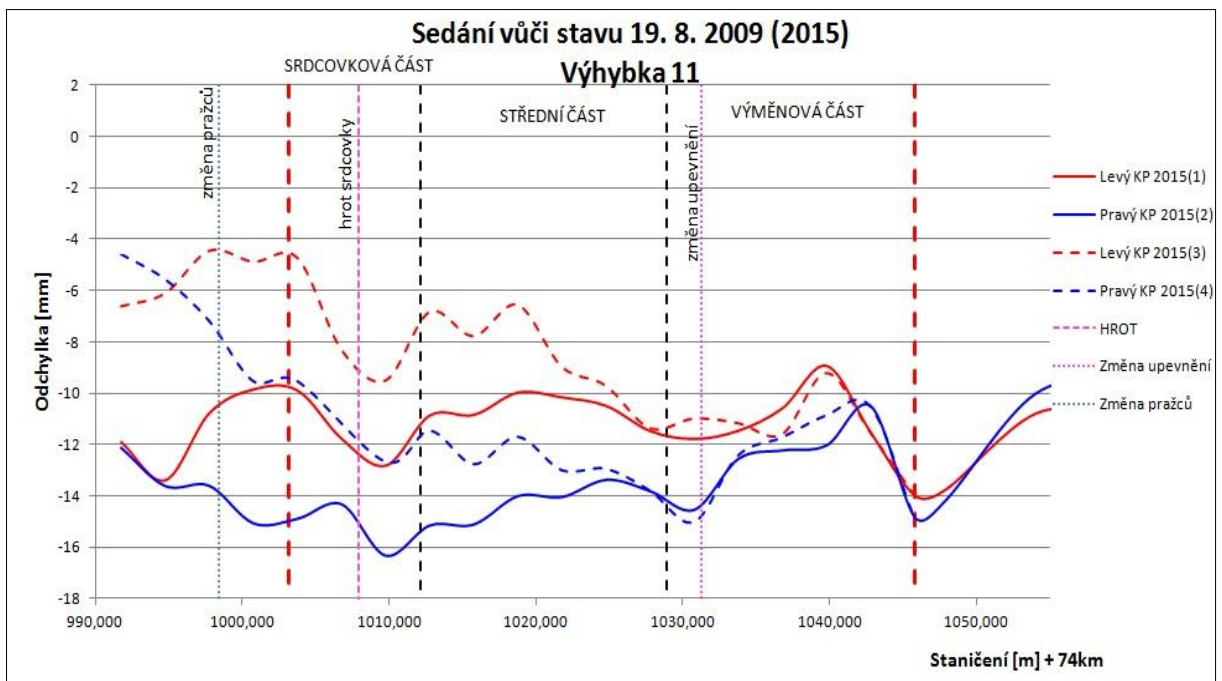


Obr. 13 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 11 – rok 2012

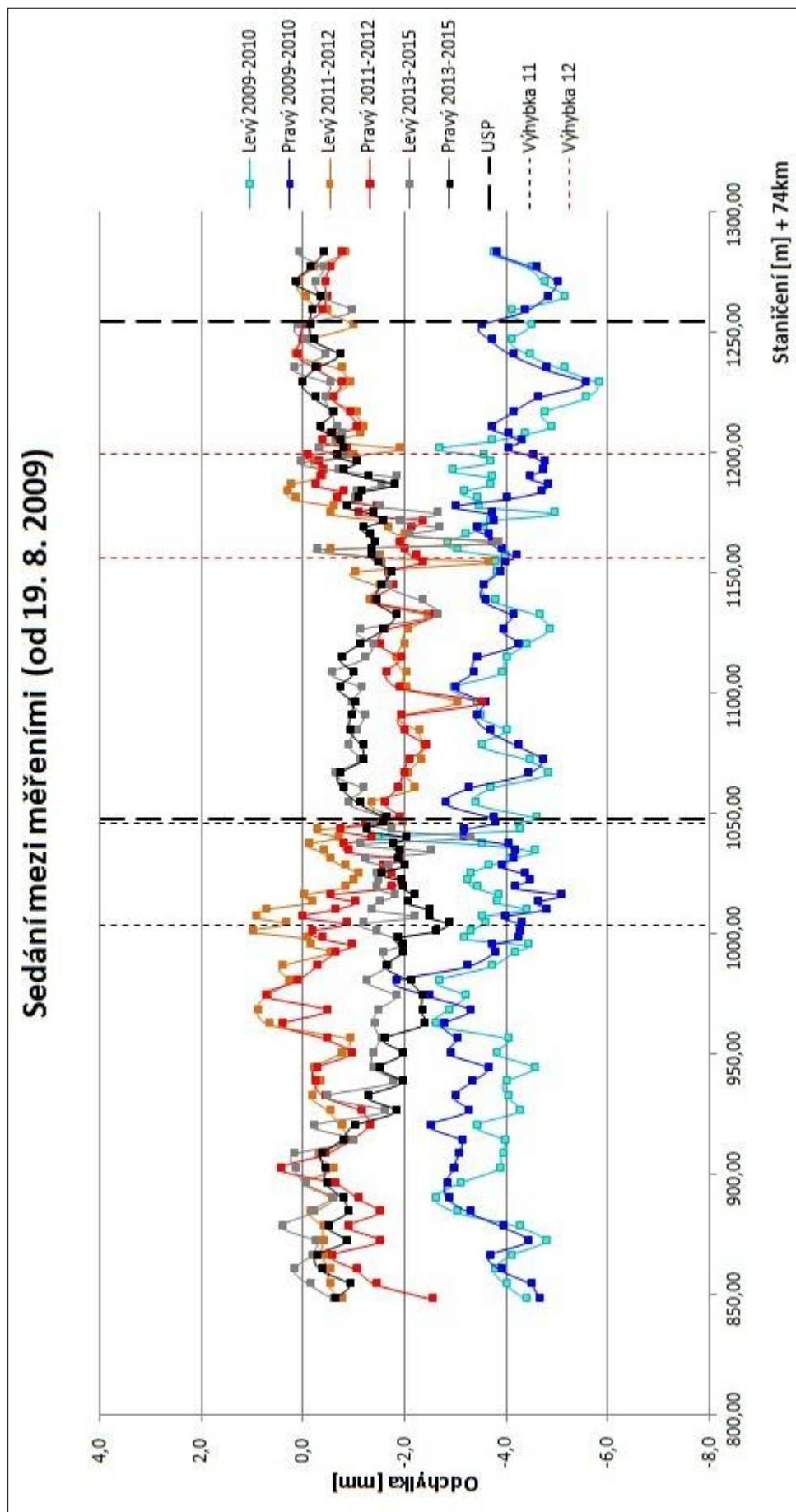




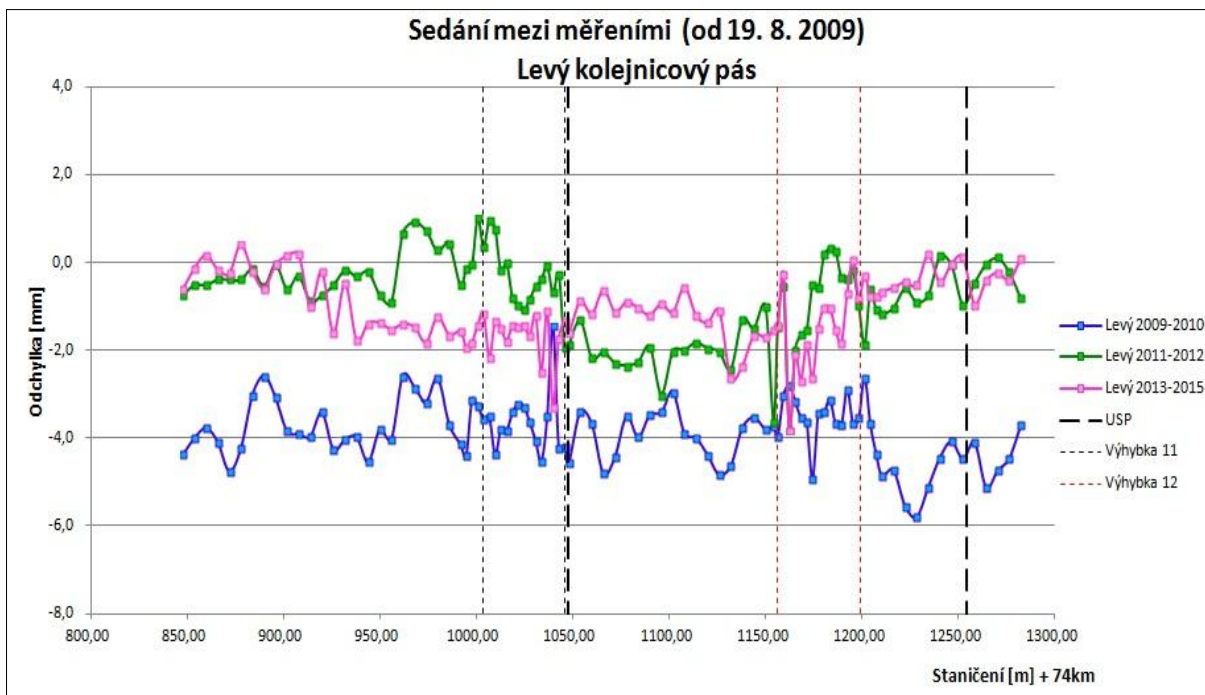
Obr. 14 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 11 – rok 2013



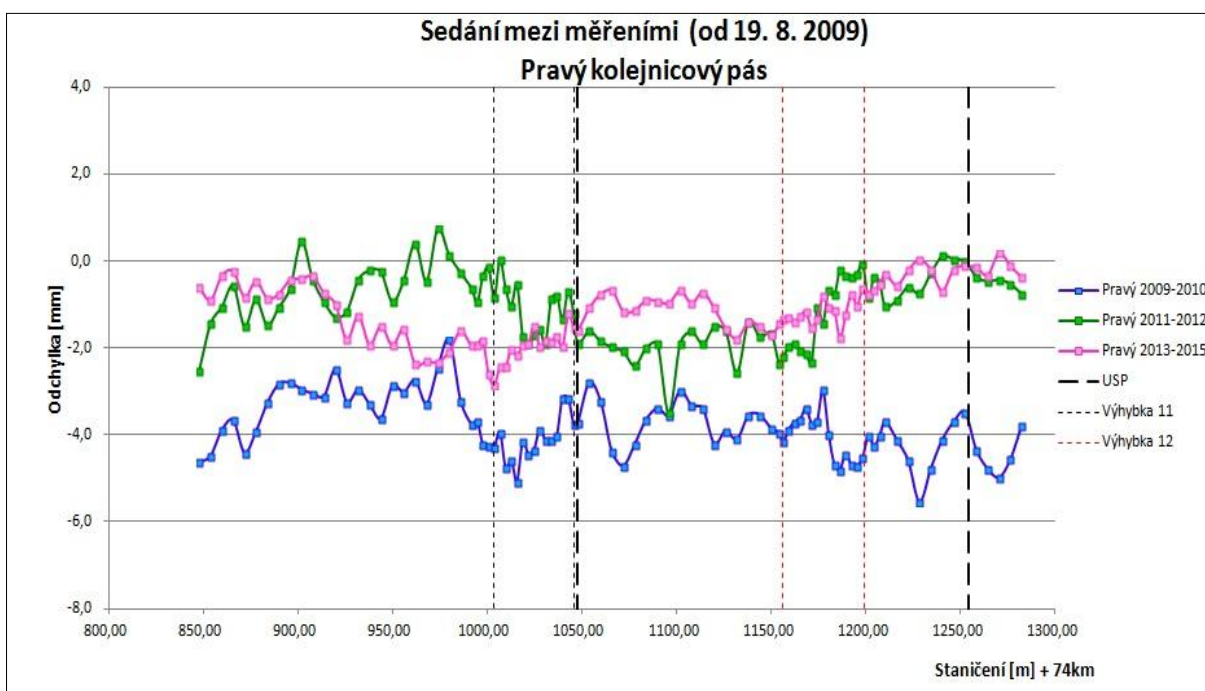
Obr. 15 – Sedání vůči stavu 19. 8. 2009 výhybka č. 11 – rok 2015



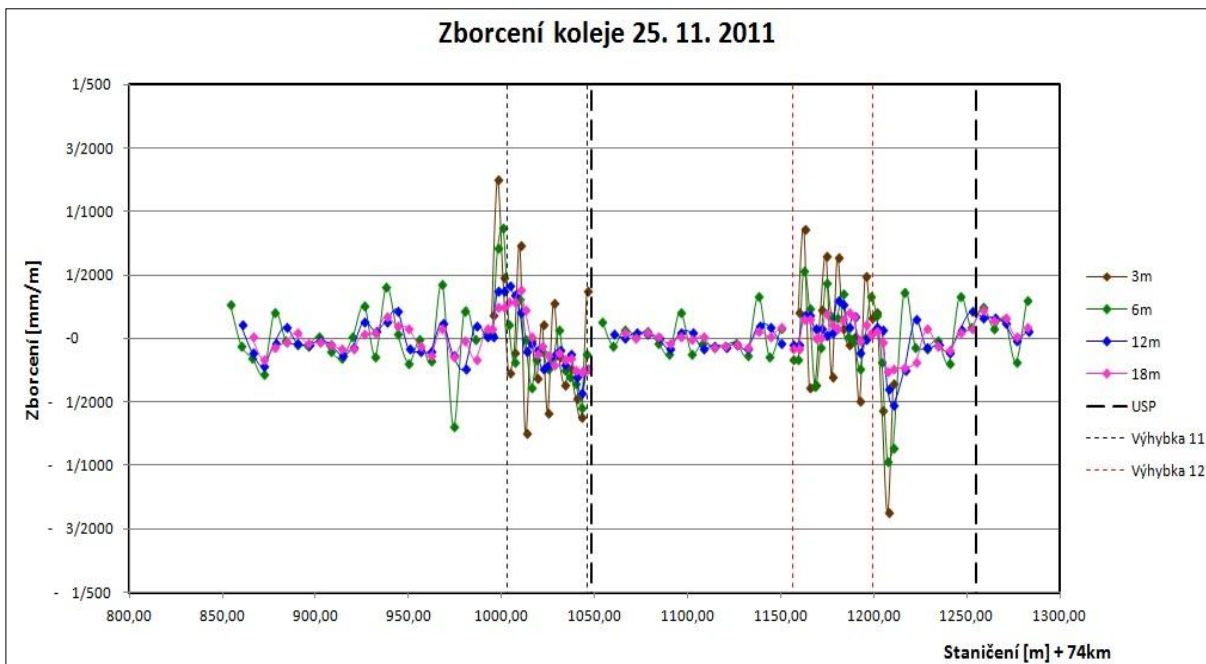
Obr. 16 – Sedání mezi měřeními – oba kolejnicové pásy



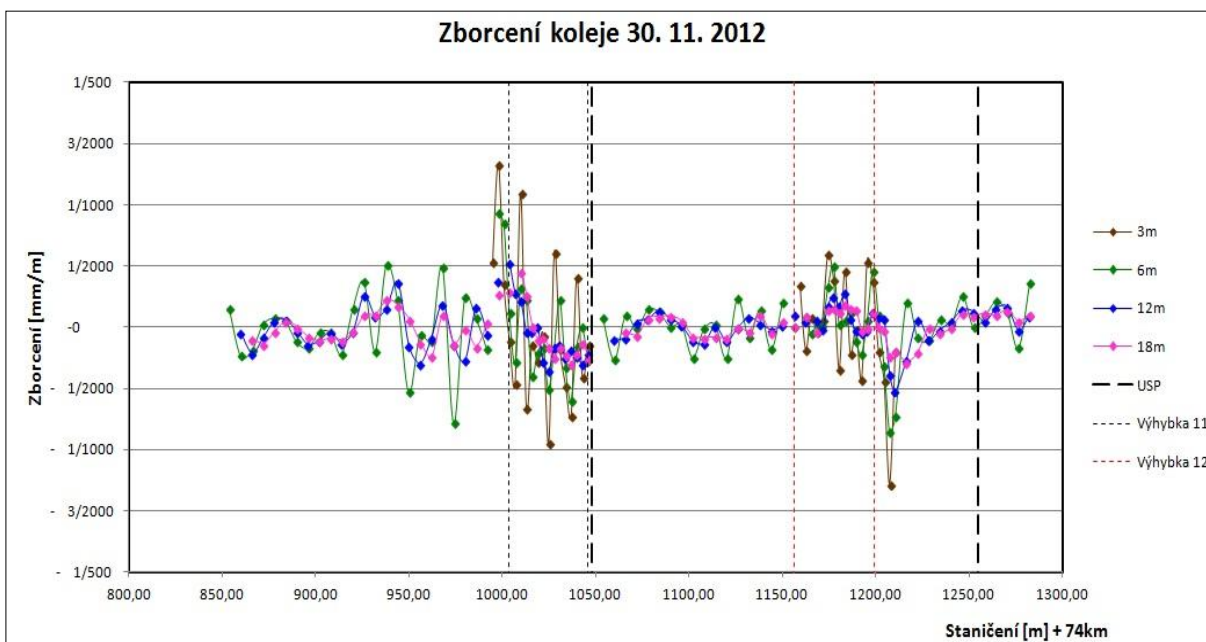
Obr. 17 – Sedání mezi měřeními – levý KP



Obr. 18 – Sedání mezi měřeními – pravý KP

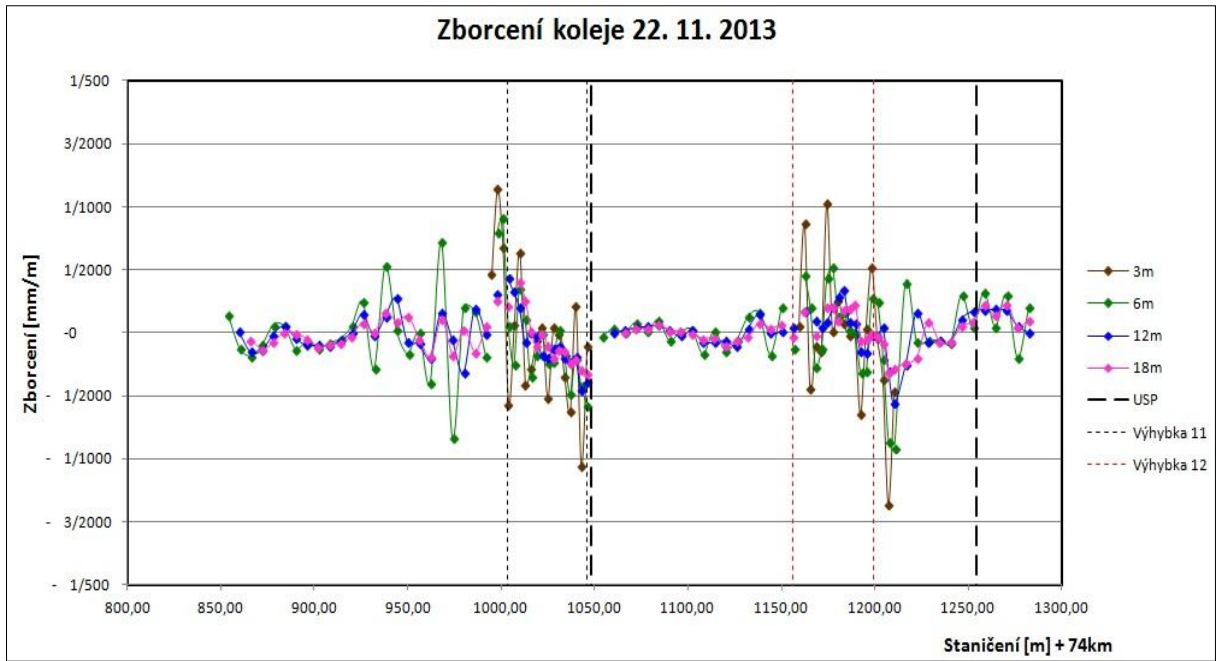


Obr. 19 – Zborcení koleje 25. 11. 2011

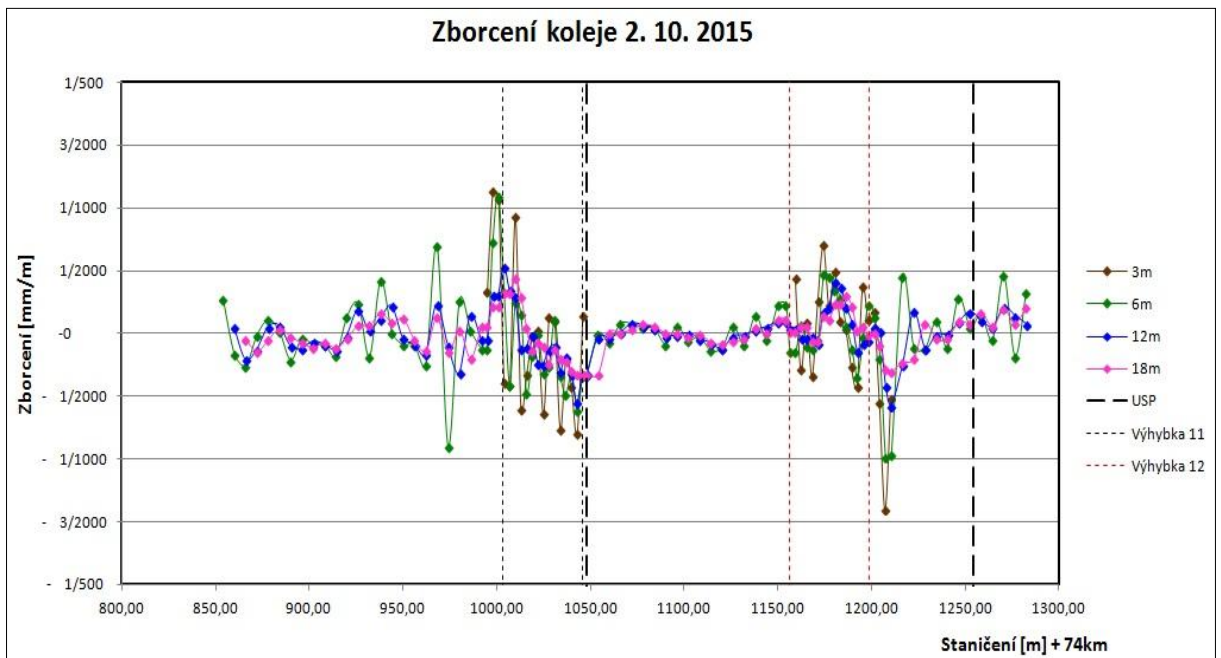


Obr. 20 – Zborcení koleje 30. 11. 2012

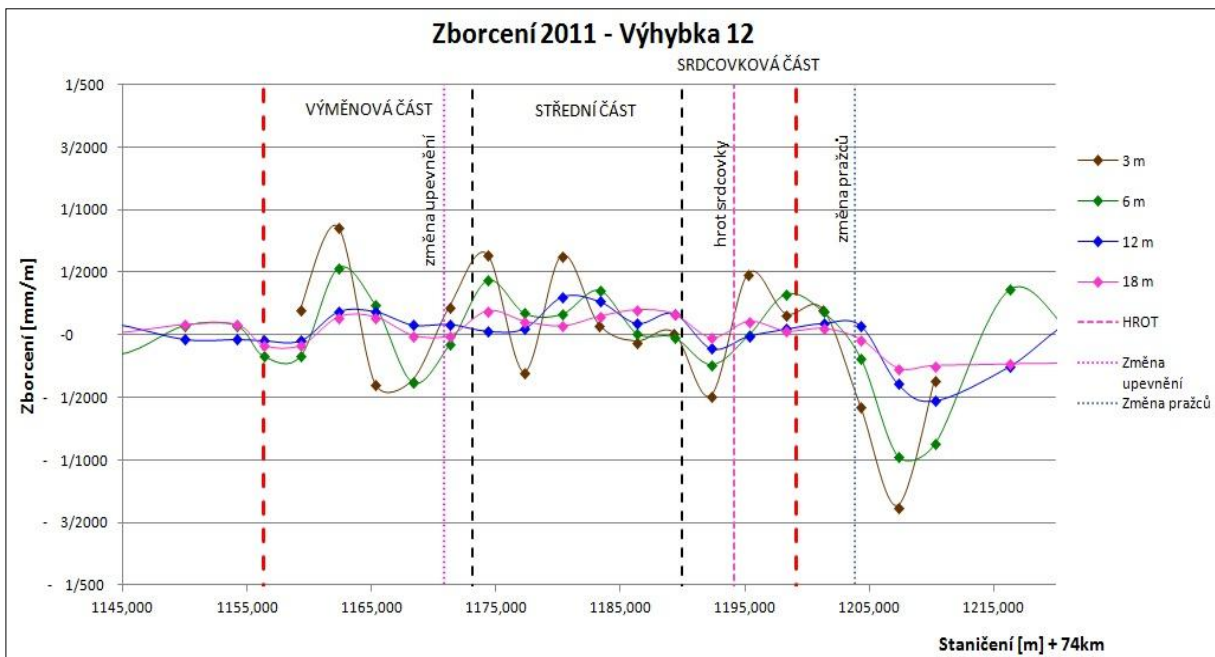




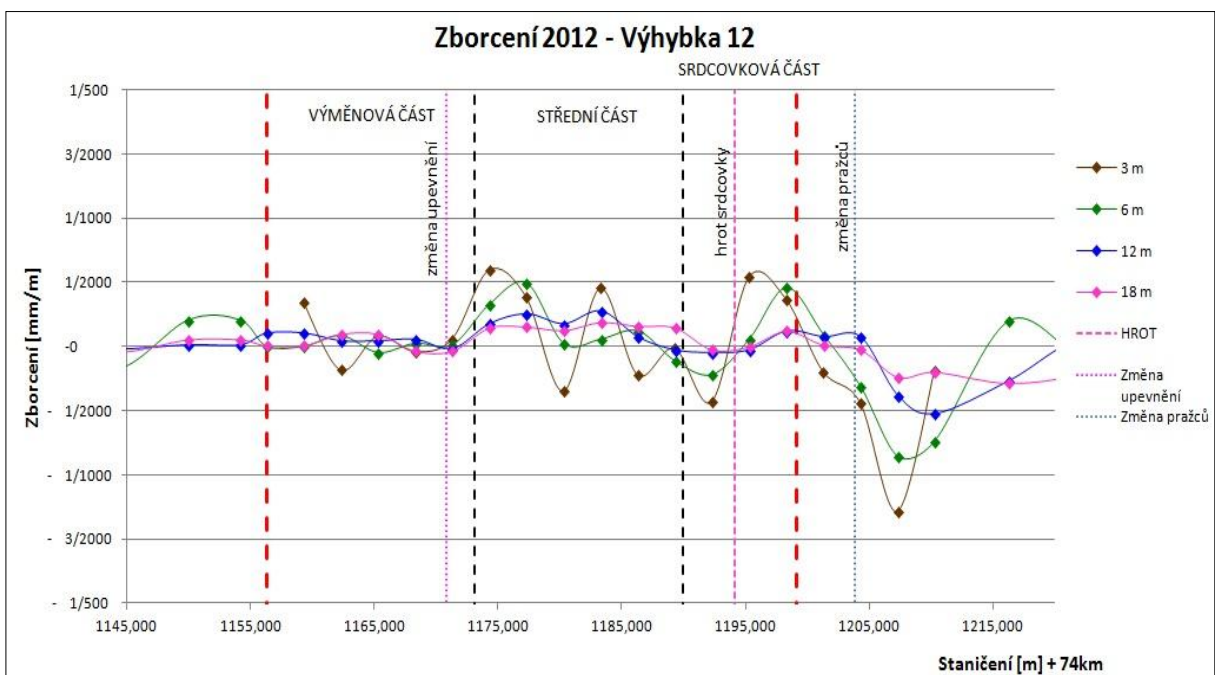
*Obr. 21 – Zborcení koleje 22. 11. 2013*



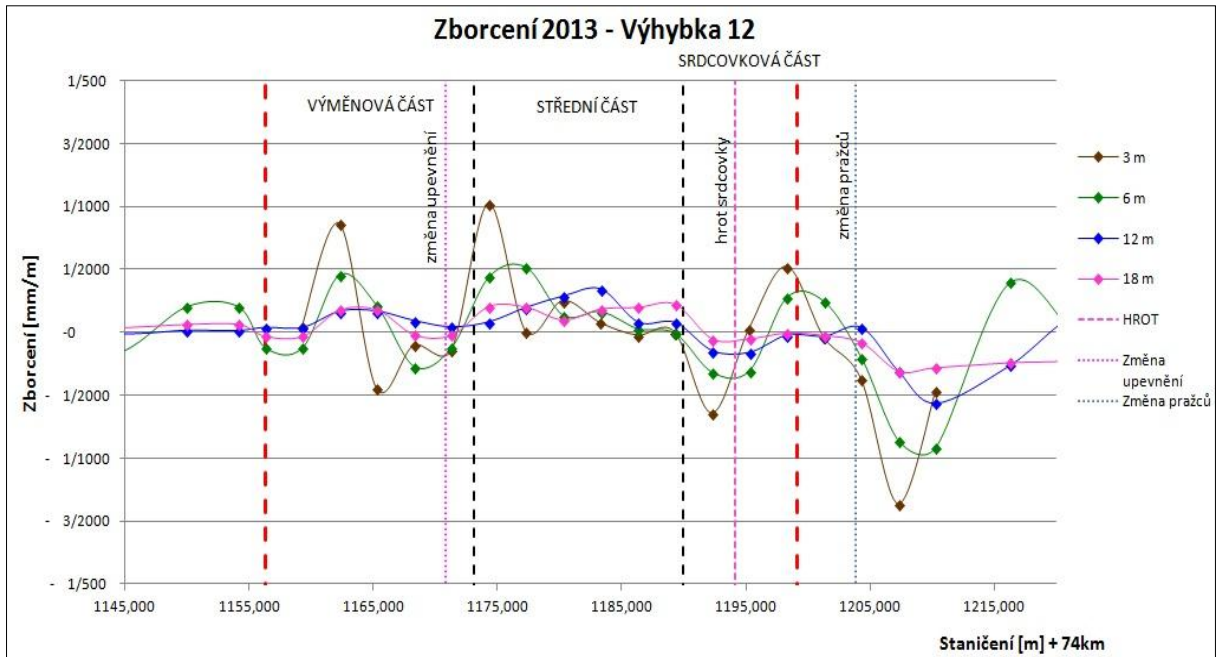
*Obr. 22 – Zborcení koleje 2. 10. 2015*



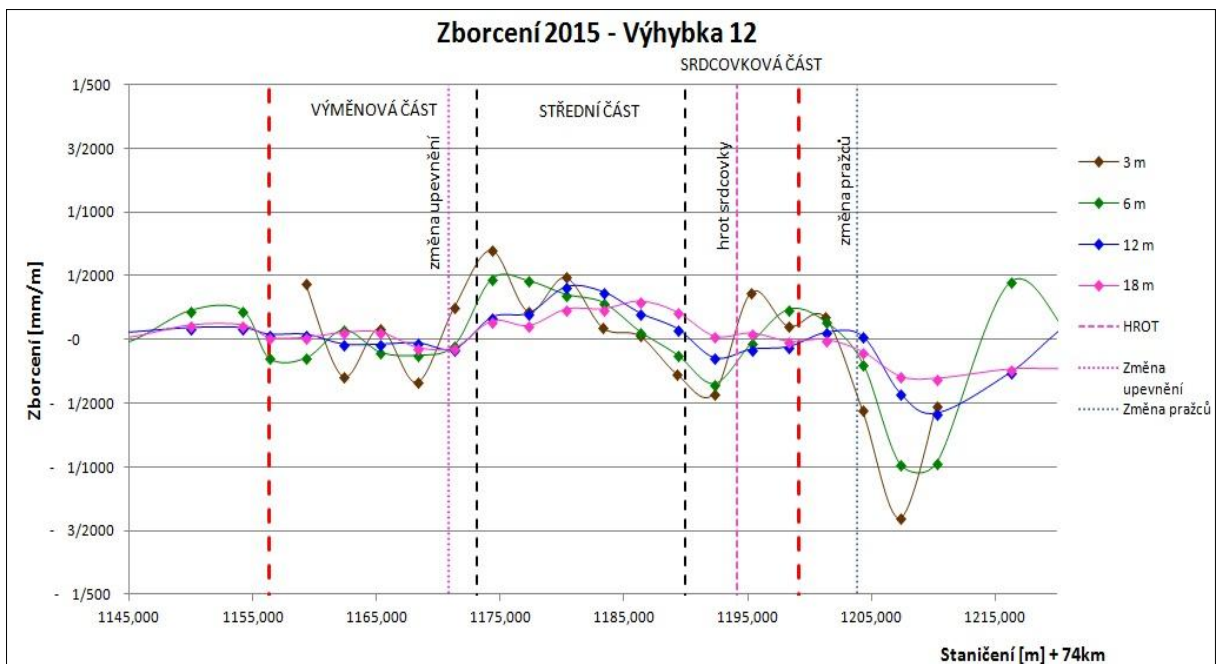
Obr. 23 – Zborcení koleje ve výhybce č. 12 - 25. 11. 2011



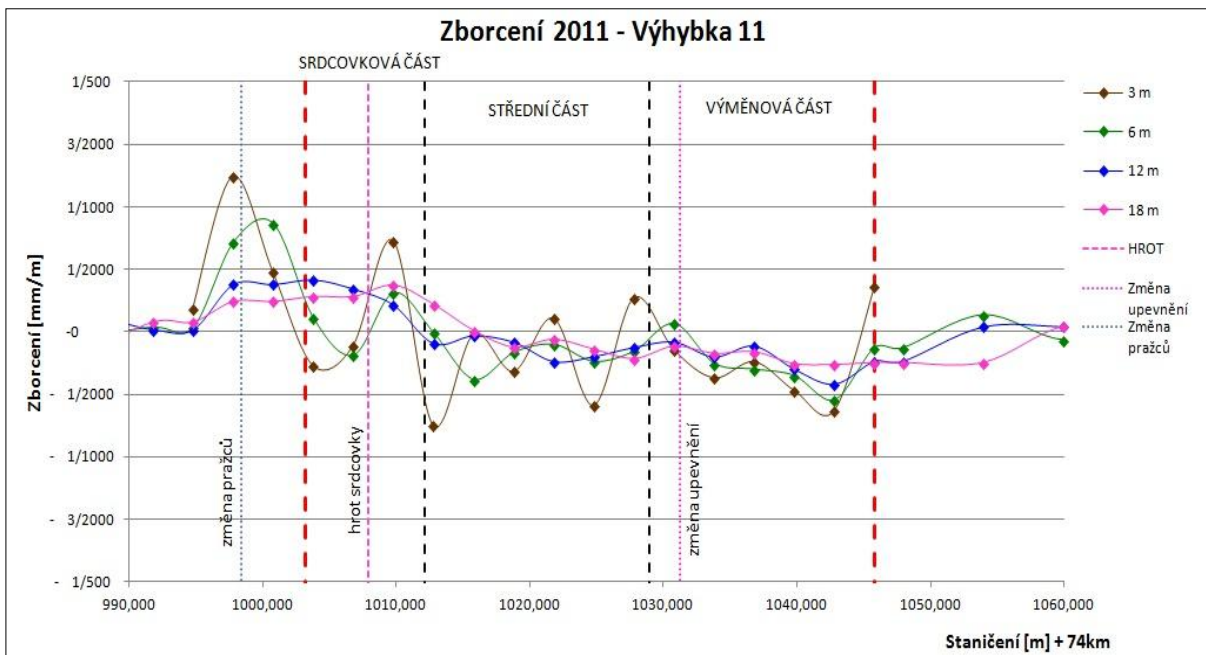
Obr. 24 – Zborcení koleje ve výhybce č. 12 - 30. 11. 2012



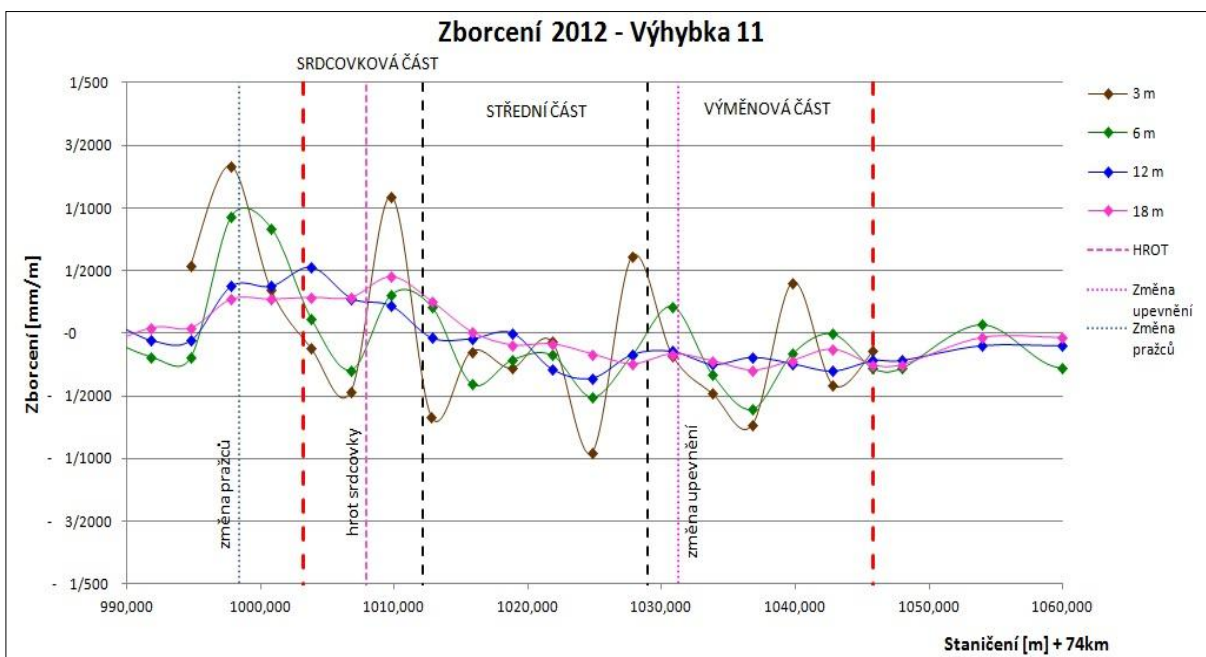
Obr. 25 – Zborcení koleje ve výhybce č. 12 - 22. 11. 2013



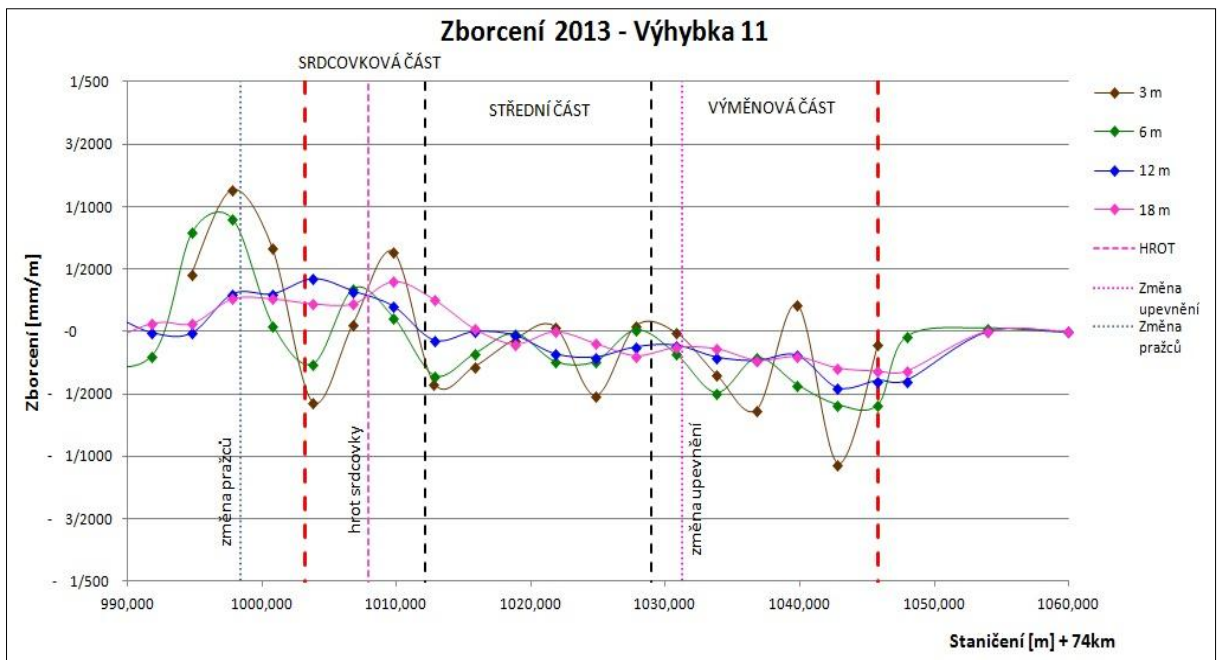
Obr. 26 – Zborcení koleje ve výhybce č. 12 - 2. 10. 2015



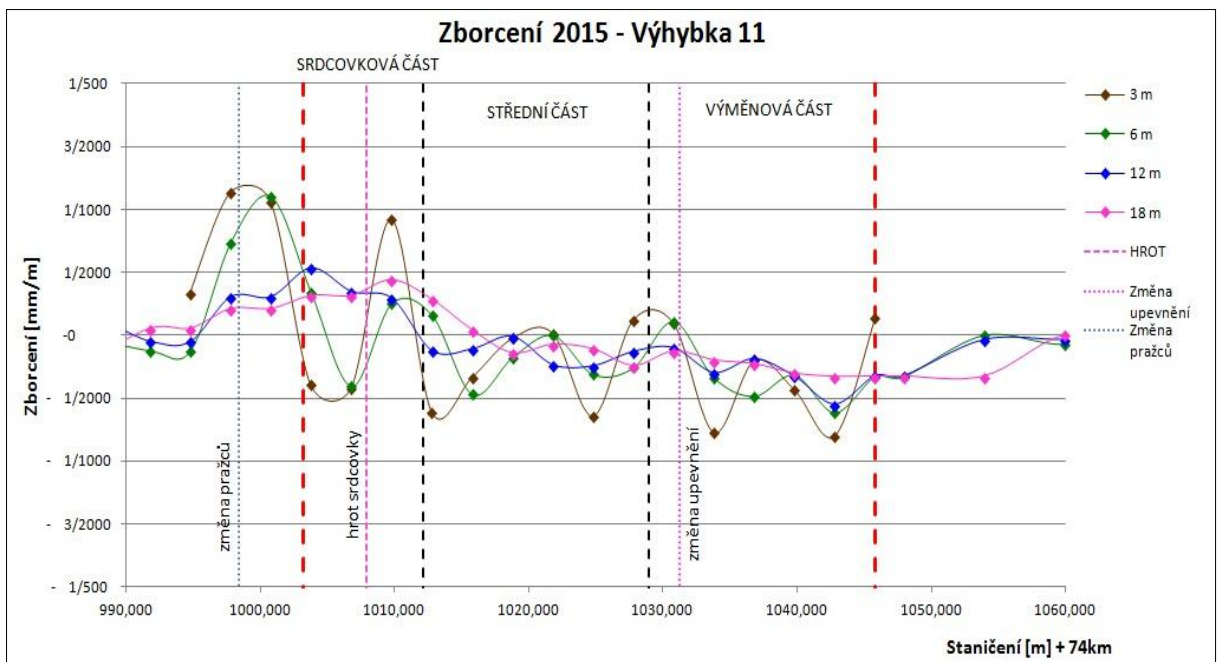
*Obr. 27 – Zborcení koleje ve výhybce č. 11 - 25. 11. 2011*



*Obr. 28 – Zborcení koleje ve výhybce č. 11 - 30. 11. 2012*



Obr. 29 – Zborčení koleje ve výhybce č. 11 - 22. 11. 2013



Obr. 30 – Zborčení koleje ve výhybce č. 11 - 2. 10. 2015



## Příloha č. 3

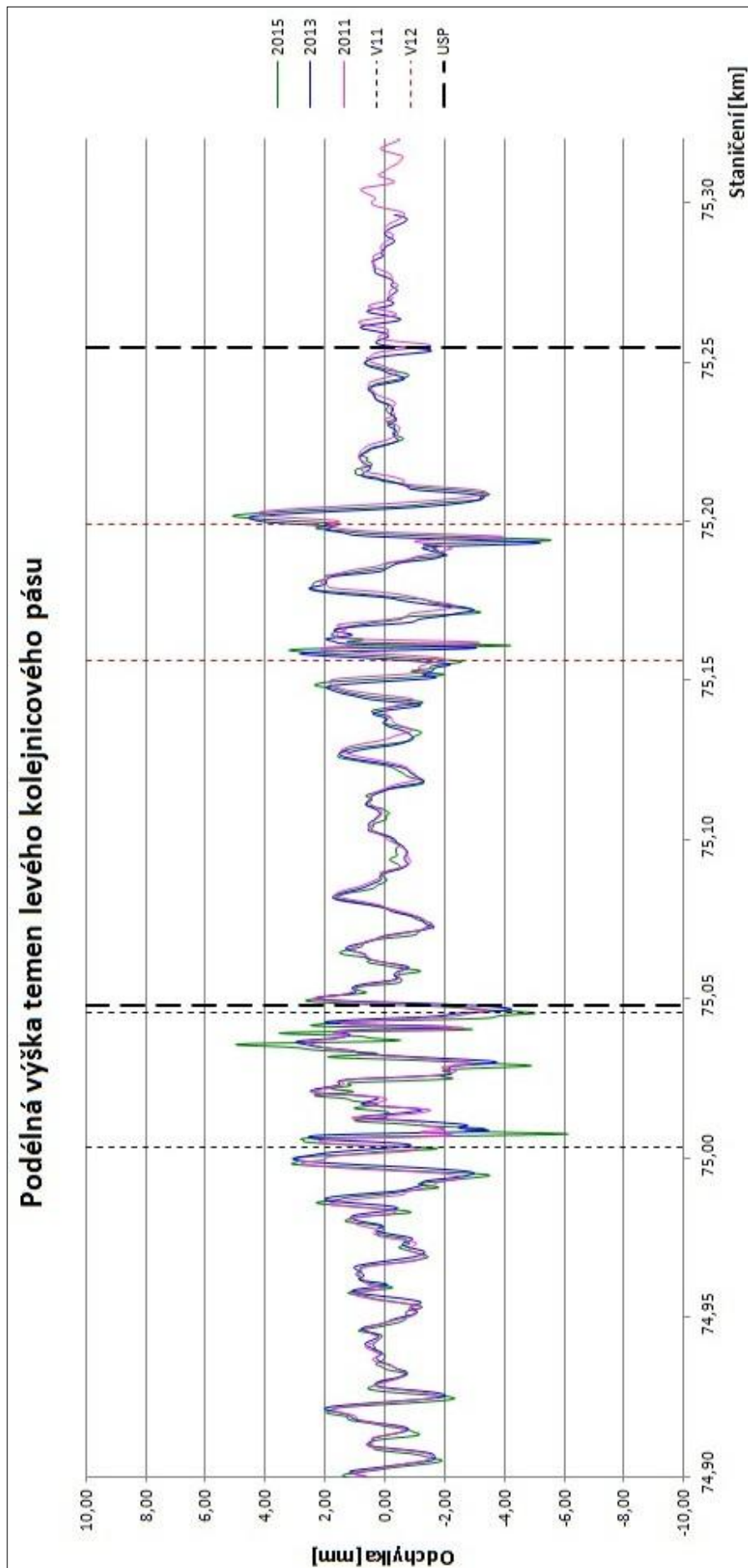
Grafické výstupy z měření měřícím vozem



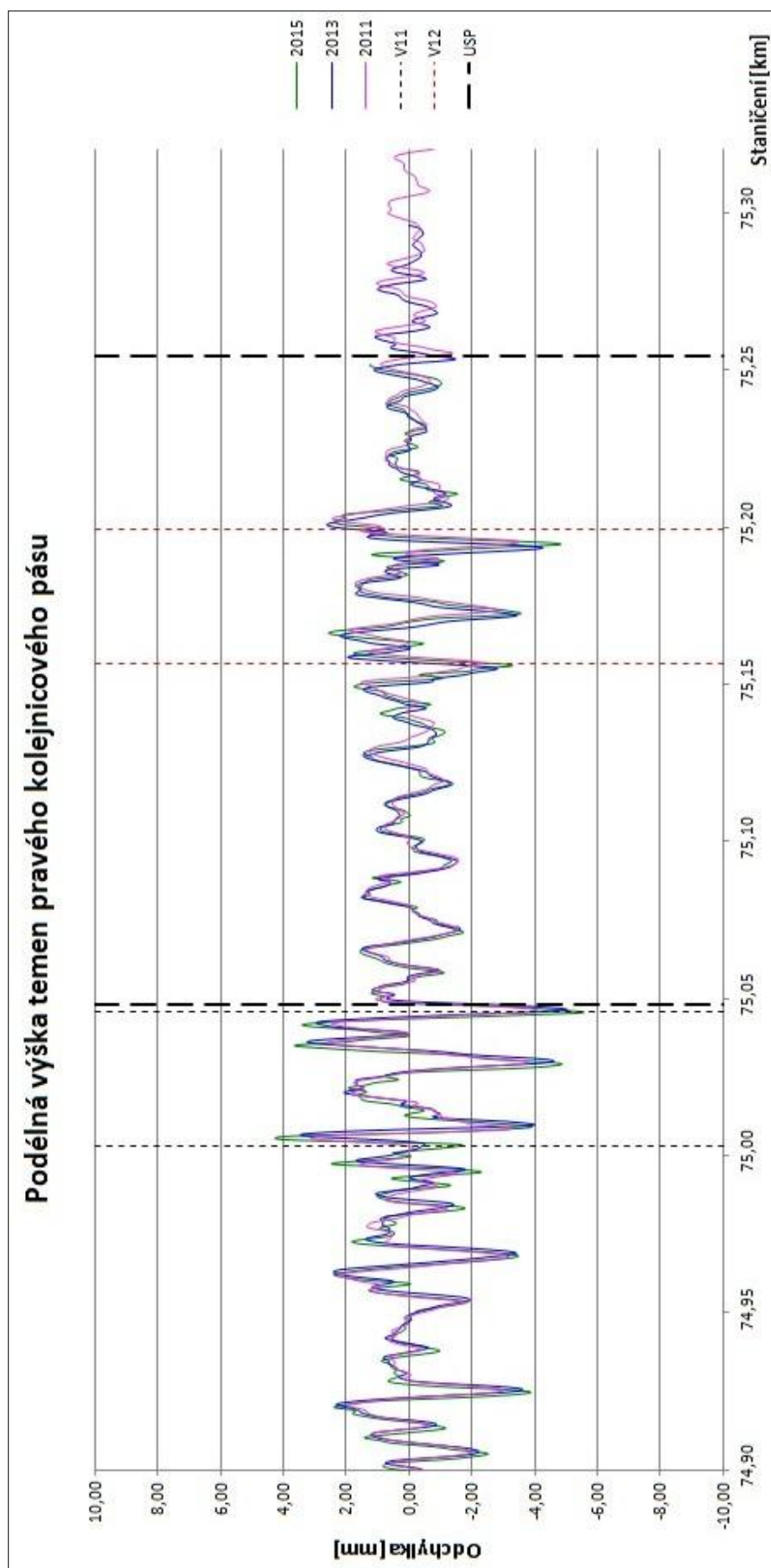


## SEZNAM OBRÁZKŮ

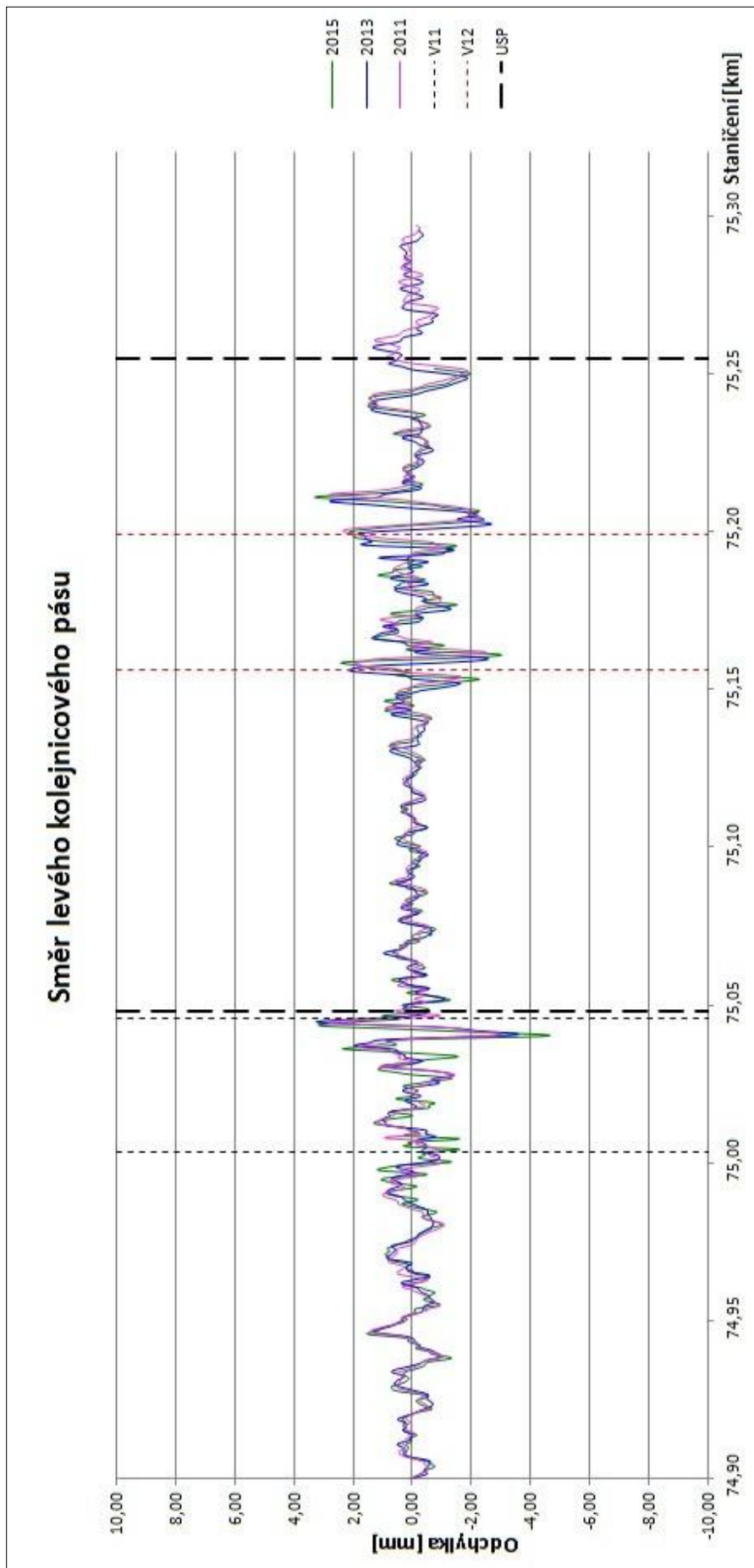
<i>Obr. 1 – Podélná výška temen levého KP .....</i>	<i>4</i>
<i>Obr. 2 – Podélná výška temen pravého KP.....</i>	<i>5</i>
<i>Obr. 3 – Odchytky směru levého KP .....</i>	<i>6</i>
<i>Obr. 4 – Odchytky směru pravého KP.....</i>	<i>7</i>
<i>Obr. 5 – Zborcení koleje 30. 11. 2011.....</i>	<i>8</i>
<i>Obr. 6 – Zborcení koleje 2. 8. 2013.....</i>	<i>9</i>
<i>Obr. 7 – Zborcení koleje 6. 8. 2015.....</i>	<i>10</i>



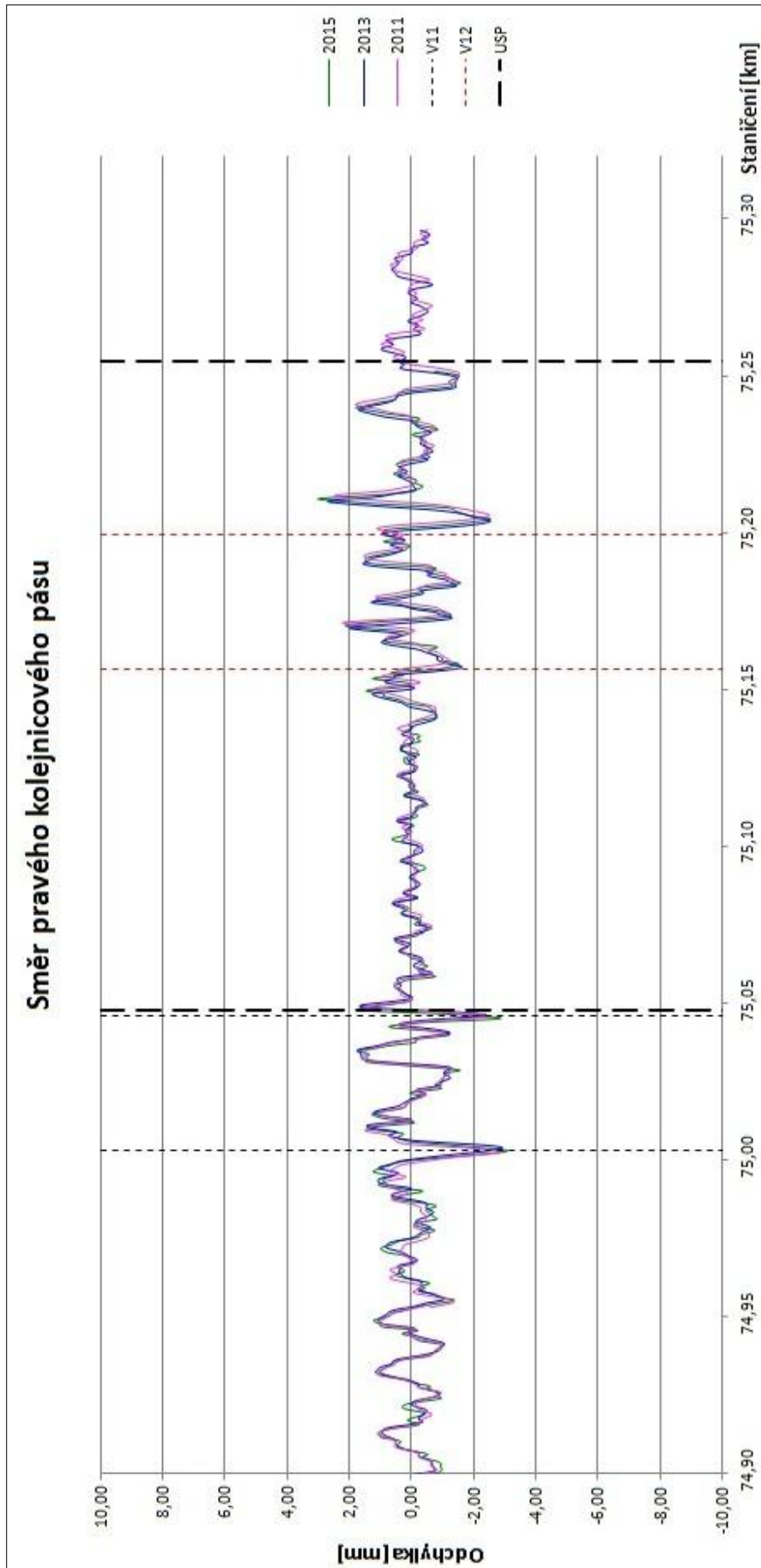
Obr. 1 – Podélná výška temen levého KP



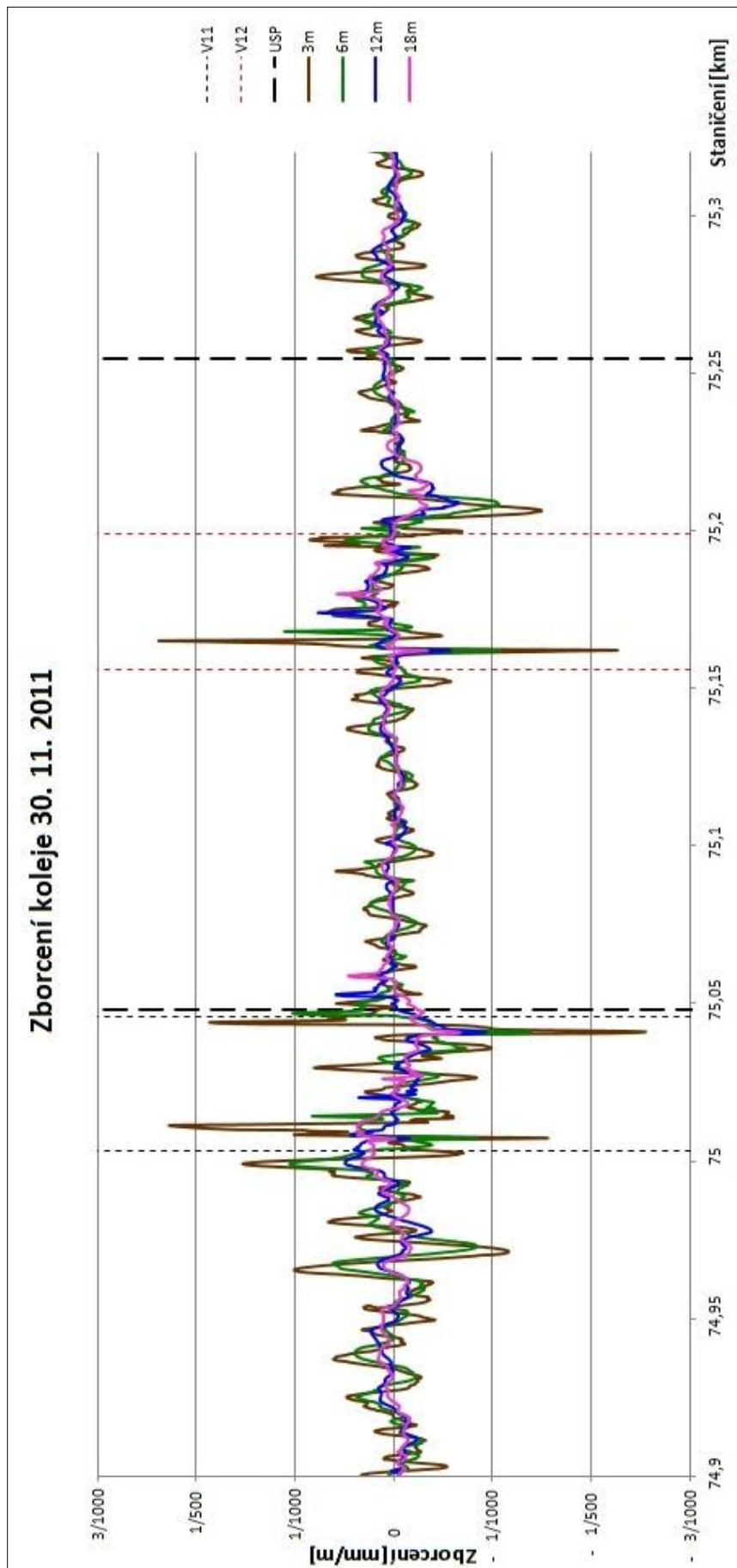
Obr. 2 – Podélná výška temen pravého KP



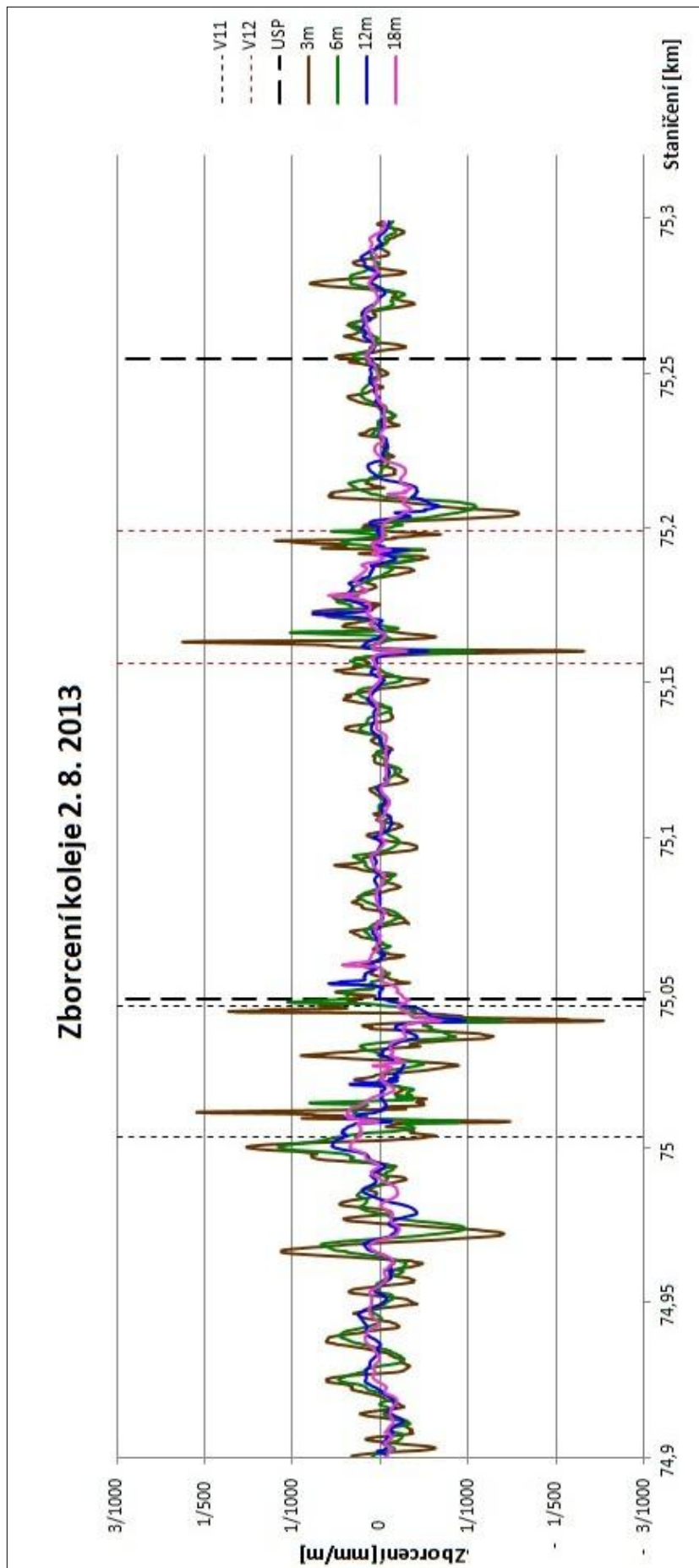
Obr. 3 – Odchyšky směru levého KP



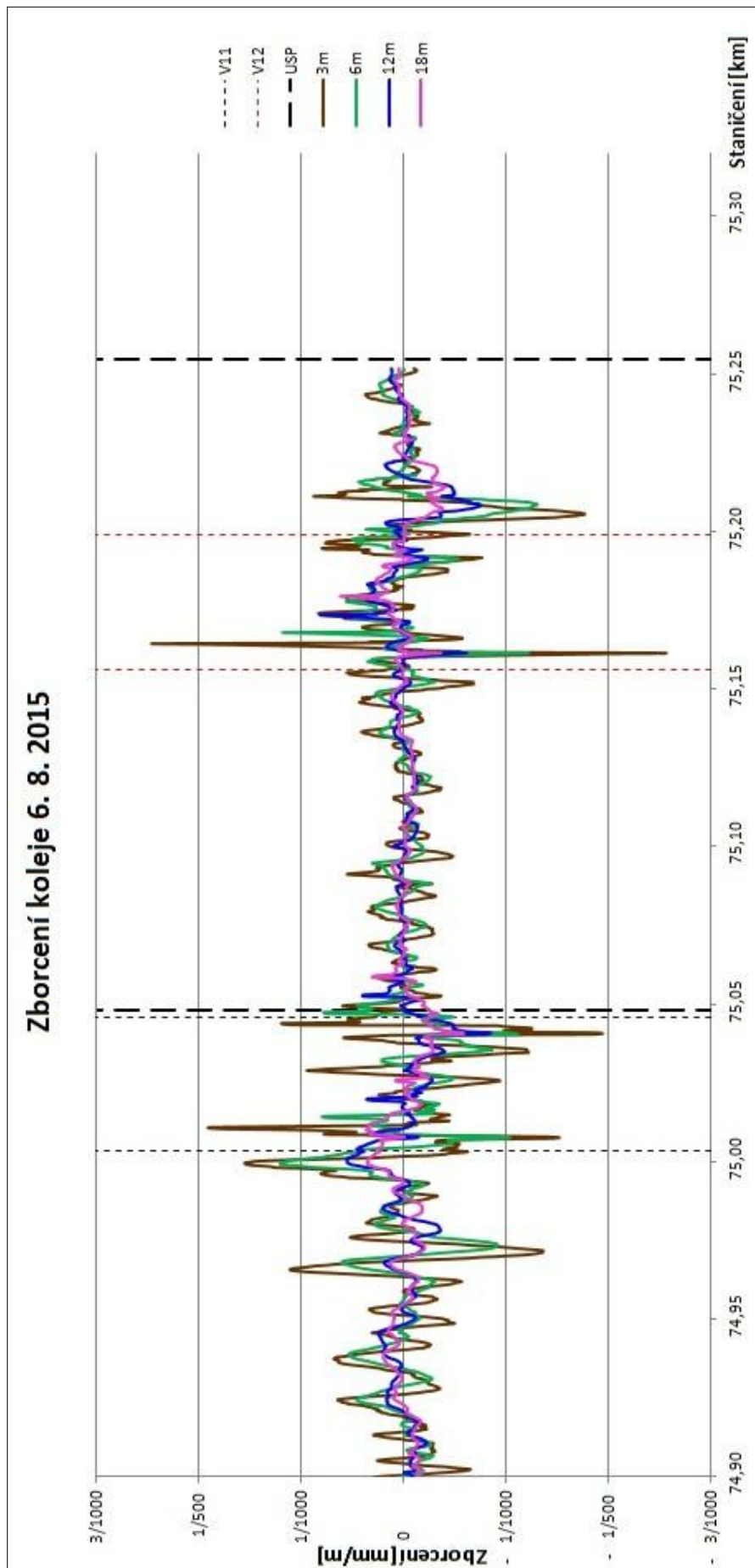
Obr. 4 – Odchyłky směru pravého KP



Obr. 5 – Zborcení koleje 30. 11. 2011



Obr. 6 – Zborcení koleje 2. 8. 2013



Obr. 7 – Zborcení koleje 6. 8. 2015



