

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta stavební

Konstrukce a dopravní stavby



**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Posouzení kvality geometrických parametrů koleje  
ve vybraných úsecích s provozním ověřováním  
geokompozitu pod kolejovým ložem

Vyhotovila: Bc. Zuzana Mašková

Vedoucí diplomové práce: Ing. Leoš Horníček, Ph.D.

Praha 2019



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Mašková</u>	Jméno: <u>Zuzana</u>	Osobní číslo: <u>423663</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra železničních staveb</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce a dopravní stavby</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Posouzení kvality geometrických parametrů koleje ve vybraných úsecích s provozním ověřováním geokompozitu pod kolejovým ložem</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Quality assessment of track geometric parameters in selected sections with operational verification of geocomposite under the rail bed</u>	
Pokyny pro vypracování: Popište postup měření a hodnocení geometrických parametrů koleje pomocí měřicího vozu pro železniční svršek a vozíku Krab S - Light. Proveďte analýzu datových souborů s výsledky z měřicího vozu za delší časové období z vybraných úseků, kde probíhalo provozní ověřování účinnosti výztužného/stabilizačního geokompozitu vloženého pod kolejové lože. Zaměřte se na problematiku hodnocení účinnosti geokompozitu a na extrapolaci dat do následného časového období a porovnání výsledků s reálným měřením. Zúčastněte se měření vozíkem Krab S - Light v těchto úsecích a porovnejte získané výsledky s výsledky z měřicího vozu. Zpracujte doporučení pro hodnocení geometrických parametrů koleje v krátkých úsecích provozního ověřování.	
Seznam doporučené literatury: ČSN 736360-2 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha - Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba. ČSN EN 13848-2 Železniční aplikace - Kolej - Kvalita geometrie koleje - Část 2: Měřicí systémy - Měřicí vozy. Vyhláška Ministerstva dopravy č. 177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah. SŽDC Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah. SŽDC S3 Železniční svršek. SŽDC SR103/4(S) Využívání měřicích vozů pro železniční svršek s kontinuálním měřením tratě pod zatížením.	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Leoš Homiček, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>15.2.2019</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>20.5.2019</u> <i>Údaj uvěďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

## PODROBNÉ ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Bc. Zuzana Mašková

### Posouzení kvality geometrických parametrů koleje ve vybraných úsecích s provozním ověřováním geokompozitu pod kolejovým ložem

#### I. Zadání

Popište postup měření a hodnocení geometrických parametrů koleje (GPK) pomocí měřicího vozu pro železniční svršek používaného v České republice a vozíku Krab S - Light. Shromážděte prostřednictvím kontaktních osob ze SŽDC/TÚDC datové soubory s výsledky GPK z měřicího vozu z úseků, kde probíhalo provozní ověřování účinnosti výtužného/stabilizačního geokompozitu vloženého pod kolejové lože, konkrétně poblíž žst. Blovice za období 2007–2018 a poblíž žst. Domažlice za období 2015–2018. Proveďte analýzu dat se zaměřením na hodnocení účinnosti geokompozitu v porovnání s přílehlými úseky bez geokompozitu. Zaměřte se též na extrapolaci dat (podélné výšky, příp. směru) do následného časového období a porovnání předpokládaného průběhu s výsledky reálného měření. Zúčastněte se měření vozíkem Krab S - Light v uvedených úsecích a porovnejte získané výsledky vybraných parametrů s výsledky z měřicího vozu. Zpracujte doporučení pro hodnocení GPK v krátkých úsecích provozního ověřování, tj. délky cca 50–150 m.

#### II. Vypracování

1. Rešerše problematiky měření a hodnocení GPK pomocí měřicího vozu pro železniční svršek používaného v ČR a vozíku Krab S - Light
2. Grafické průběhy GPK v obou sledovaných úsecích za dané časové období.
3. Průvodní zpráva k analýzám dat obsahující:
  - a. Porovnání vývoje kvality podélné výšky, příp. směru v obou sledovaných úsecích s odlišením místa uložení geokompozitu (změna po vložení geokompozitu a následný vývoj do současnosti).
  - b. Provedení a posouzení kvality extrapolace dat do následného časového období v porovnání s výsledky reálného měření (podélná výška, příp. směr).
  - c. Provedení měření vozíkem Krab S - Light v uvedených úsecích a porovnání výsledků vybraných parametrů s výsledky z měřicího vozu.
  - d. Zpracování doporučení pro hodnocení GPK v krátkých úsecích provozního ověřování.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Posouzení kvality geometrických parametrů koleje ve vybraných úsecích s provozním ověřováním geokompozitu pod kolejovým ložem** zpracovala samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne ...

.....

Bc. Zuzana Mašková

## Poděkování

Děkuji Ing. Leoši Horníčkoví, Ph.D. za jeho odborné vedení a užitečné rady při zpracování diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala Ing. Stanislavu Schollemu, CSc. z TÚDC za poskytnutí dat a jeho ochotu a trpělivost při konzultacích. Mé díky dále patří Ing. Janu Březinovi z TÚDC a Ing. Kotajnému z KŽV s.r.o. za jejich čas a zodpovězení dotazů. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a svým blízkým, kteří mi byli po celou dobu zpracování práce velkou oporou.

**POSOUZENÍ KVALITY  
GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE  
VE VYBRANÝCH ÚSECÍCH S PROVOZNÍM  
OVĚŘOVÁNÍM GEOKOMPOZITU  
POD KOLEJOVÝM LOŽEM**

QUALITY ASSESSMENT OF TRACK  
GEOMETRIC PARAMETERS IN SELECTED  
SECTIONS WITH OPERATIONAL VERIFICATION  
OF GEOCOMPOSITE UNDER THE RAIL BED

## Anotace

Diplomová práce se zabývá problematikou měření a hodnocení geometrických parametrů koleje na úsecích s provozním ověřováním geokompozitu. V úvodní části práce je provedena rešerše, ve které jsou vysvětleny základní pojmy, jsou popsány způsoby měření GPK, používané měřicí prostředky a interpretace a hodnocení naměřených dat.

Těžiště práce leží ve zpracování dat z měřicího vozu z uskutečněných pravidelných měření na dvou zkušebních úsecích, na kterých je dlouhodobě sledován účinek geokompozitu instalovaného pod kolejové lože. Na zkušebních úsecích, které se nachází v Blovicích a v Domažlicích, bylo také provedeno měření pomocí ručního měřicího vozíku typu KRAB S - Light. Součástí práce je porovnání naměřených parametrů z obou měřicích prostředků.

Zpracovaná data jsou použita pro posouzení účinnosti geokompozitu na vybraných zkušebních úsecích. V rámci zpracování poskytnutých dat je vypracován algoritmus pro jednoduchou extrapolaci vybraného měřeného parametru. Kvalita extrapolace je ověřena porovnáním vypočtených odhadů s daty z posledního dostupného měření z měřicího vozu.

## Klíčová slova

geometrické parametry koleje, geokompozit, kolejové lože, měřicí vůz, ruční měřicí vozík KRAB - S light, měřicí systém, směrodatná odchylka, extrapolace dat

## Summary

The diploma thesis deals with measurement and evaluation of track geometric parameters in sections with operational verification of geocomposite. In the opening part of the thesis there is a research which explains the basic terms, describes the methods of measuring the track geometric parameters, used measuring devices and interpretation and evaluation of measured data.

The thesis focuses on processing of data from the track recording vehicle from regular measurements carried out on two test sections, where the effect of the geocomposite installed under the rail bed has been monitored for a long time. There was performed a measurement using the measuring trolley KRAB S - Light on both test sections located in Blovice and Domažlice. Part of the thesis is a comparison of measured parameters from both measuring devices.

The processed data are used to assess the efficiency of the geocomposite applied on selected test sections. Furthermore, an algorithm for simple extrapolation of the selected measured parameter is created within the data processing. The extrapolation quality is verified by a comparison of the estimated values with the data from the last available measurement taken by the track recording vehicle.

## Key words

track geometric parameters, geocomposite, rail bed, track recording vehicle, measuring trolley KRAB - S light, measuring system, standard deviation, data extrapolation



# OBSAH

<b>1. ÚVOD</b>	<b>8</b>
<b>2. PROBLEMATIKA MĚŘENÍ GPK</b>	<b>9</b>
2.1 Základní pojmy	9
2.2 Měřené veličiny	11
2.3 Organizace a intervaly měření GPK	12
<b>3. PROSTŘEDKY K MĚŘENÍ GPK</b>	<b>13</b>
3.1 Měřicí vůz železničního svršku	13
3.1.1 Měřicí systémy	14
3.1.1.1 Systém TMS - Track Measuring System	15
3.1.1.2 Systém CMS - Corrugation Measuring System	16
3.1.1.3 Měřicí systém příčného profilu kolejnic	16
3.2 Měřicí drezína	16
3.3 Ruční měřicí vozíky	19
3.3.1 Měřicí vozíky KRAB	21
3.3.1.1 KRAB S - Light	21
3.4 Elektronické, mechanické a ruční rozchodky	22
<b>4. HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ A VÝSTUPY Z MĚŘICÍHO VOZU ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU</b>	<b>24</b>
4.1 Hodnocení GPK	24
4.1.1 Úsekové hodnocení	24
4.1.2 Hodnocení lokálních závad	26
4.2 Hodnocení ostatních měření	29
4.3 Výstupy z měřicích vozů železničního svršku	29
<b>5. POPIS ZKUŠEBNÍCH ÚSEKŮ S PROVOZNÍM OVĚŘOVÁNÍM GEOKOMPOZITU POD KOLEJOVÝM LOŽEM</b>	<b>33</b>
5.1 Důvody pro aplikaci geokompozitu do konstrukce trati	33
5.2 Představení zkušebních úseků	34
5.2.1 Blovice	34
5.2.2 Domažlice	36
5.3 Popis aplikovaných geokompozitů	38
<b>6. MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ DAT</b>	<b>41</b>
6.1 Vyhodnocení dat – Měřicí vůz železničního svršku	41
6.2 Posouzení účinnosti aplikace geokompozitu	46
6.2.1 Blovice	46
6.2.2 Domažlice	48

6.3 Extrapolace dat a předpověď budoucího chování konstrukce, porovnání a ověření správnosti odhadu -----	52
6.3.1 Úvodní analýza dat pro extrapolaci-----	52
6.3.2. Tvorba algoritmů pro extrapolaci -----	57
6.3.3 Posouzení kvality extrapolace -----	61
6.4 Měření a vyhodnocení dat – Ruční měřicí vozík typu KRAB S - Light-----	62
6.4.1 Popis a podmínky měření -----	62
6.4.2 Zpracování naměřených dat -----	64
6.4.3 Porovnání naměřených dat z obou měřicích prostředků -----	65
6.4.3.1 Blovice -----	66
6.4.3.2. Domažlice -----	68
6.5 Souhrn a doporučení pro hodnocení GPK v krátkých úsecích provozního ověřování-----	69
<b>7. ZÁVĚR -----</b>	<b>71</b>
<b>8. SEZNAM LITERATURY -----</b>	<b>73</b>
<b>9. SEZNAM OBRÁZKŮ -----</b>	<b>75</b>
<b>10. SEZNAM PŘÍLOH -----</b>	<b>77</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AL	Mez sledování (= <i>Alert Limit</i> )
CESTI	Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu
CZK	Celková známka kvality
ČR	Česká Republika
ČSN	Česká technická norma
EN	Evropská norma
GCO	Geokompozit
GPK	Geometrické parametry koleje
GUK	Geometrické uspořádání koleje
IL	Mez zásahu - opravy (= <i>Intervention Limit</i> )
IAL	Mez bezodkladného zásahu (= <i>Immediate Action Limit</i> )
KL	Kolejové lože
KP	Kolejnicový pás
KUK	Konstrukční uspořádání koleje
KŽV	Komerční železniční výzkum
MD	Měřicí drezína
MMD	Malá měřicí drezína
MV	Měřicí vůz železničního svršku
PK	Převýšení koleje
PPK	Prostorová poloha koleje
PTŽS	Pláň tělesa železničního spodku
RK	Rozchod koleje
SDO	Směrodatná odchylka
SK	Směr koleje
SL	Směr levého kolejnicového pásu
SP	Směr pravého kolejnicového pásu
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
TK	Temeno kolejnice
TÚDC	Technická ústředna dopravní cesty
TUDU	Traťový definiční úsek
VK	Podélná výška koleje
VL	Podélná výška levého kolejnicového pásu
VP	Podélná výška pravého kolejnicového pásu
ZK	Zborcení koleje

ZKS	Zborcení koleje syntetické
ZKV	Známka kvality
ZP	Známka podbíjení
ŽST	Železniční stanice

# 1. ÚVOD

Dopravu lze obecně považovat za jeden z nejdůležitějších faktorů v moderní společnosti. Neustálý vývoj a modernizace dopravních cest jednoznačně přispívají k civilizačnímu rozmachu a k všeobecnému usnadnění a zvýšení pohodlí během cestování. Železniční doprava tvoří neopomenutelnou část dopravního systému celosvětově i na našem území. Česká republika se může pyšnit vysokou hustotou železniční sítě, což s sebou nese velkou zodpovědnost z hlediska pravidelné a kvalitní údržby všech tratí. Bezpečná jízdní dráha je základním kamenem pro spolehlivý provoz, a to bez ohledu na její význam. Pochopitelně jsou zde patrné odlišnosti v nárocích na kvalitu a chování například průmyslových vleček oproti nejvytíženějším koridorovým tahům, nicméně pro všechny typy tratí platí podmínka pravidelných měření kvality jízdní dráhy.

Tato diplomová práce se zabývá měřením a posouzením kvality geometrických parametrů koleje, a to v obecné rovině i na specifických vybraných úsecích. V rámci rešeršní části je zde objasněna problematika měření geometrických parametrů koleje, konkrétně pak měřenými veličinami, samotnými měřicími prostředky a vyhodnocením a prezentací naměřených hodnot.

Praktická část se zaměřuje na problematiku hodnocení geometrických parametrů koleje ve vztahu k aplikaci geokompozitu do konstrukce železniční trati. Zbývá se dvěma zkušebními úseky s provozním ověřováním geokompozitu umístěného pod kolejovým ložem. Soustředí se na vyhodnocení dat z měřicího vozu v rámci dlouhodobé série měření na zkušebních úsecích poblíž žst. Blovice a žst. Domažlice. Mimo jiné obsahuje vlastní měření geometrických parametrů koleje pomocí ručního měřicího vozíku KRAB S - Light na obou zkušebních úsecích, stejně jako samotné vyhodnocení naměřených dat.

V závěrečné části je zhodnocena účinnost aplikace geokompozitu do konstrukce trati a jsou zde porovnány výsledky obou druhů měření. Dále je zde ověřena kvalita extrapolace dat do následného časového období srovnáním s reálně naměřenými hodnotami. Jako finální výsledek práce poskytuje doporučení pro hodnocení geometrických parametrů koleje v krátkých úsecích provozního ověřování.

## 2. PROBLEMATIKA MĚŘENÍ GPK

### 2.1 Základní pojmy

V diplomové práci se vyskytuje řada odborných termínů, jež jsou stěžejní pro přesný a srozumitelný výklad problematiky geometrických parametrů koleje. Tato podkapitola proto obsahuje shrnutí a vysvětlení nejdůležitějších základních pojmů týkajících se geometrického i konstrukčního uspořádání koleje a její prostorové polohy. Dále pak pro úplnost a přehlednost popisuje pojmy v obecnější železniční rovině i pojmy z oblasti provozu tratí a vyhodnocování kvality geometrie koleje.

**Geokompozit** – dle [1] se jedná o průmyslově vyrobený sdružený materiál, který mezi svými složkami obsahuje alespoň jeden geosyntetický výrobek

**Geometrické parametry koleje (GPK)** – souhrnné označení pro konstrukční uspořádání koleje, geometrické uspořádání koleje a prostorovou polohu koleje [2]

**Geometrické uspořádání koleje (GUK)** – skládá se ze směru, podélné výšky a podélného sklonu koleje [2]

**Jmenovitá (nominální) hodnota** – dle [2] jde o nominální hodnotu geometrické veličiny stanovené podle daného způsobu hodnocení, může se lišit od projektované hodnoty

**Konstrukční uspořádání koleje (KUK)** – skládá se z rozchodu koleje, vzájemné výškové polohy kolejnicových pásů (převýšení, sklon vzestupnice, vzájemný sklon kolejnicových pásů - zborcení koleje) [2]

**Mezní provozní odchylka** – dle [2] se jedná o odchylku od projektované nebo předepsané hodnoty geometrické veličiny na provozované trati, která nesmí být překročena

**Projektovaná hodnota** – dle [2] se jedná o hodnotu geometrické veličiny definované projektem

**Prostorová poloha koleje (PPK)** – dle [2] se jedná o množinu bodů osy koleje jednoznačně určených v projektu polohopisnými souřadnicemi a nadmořskou výškou

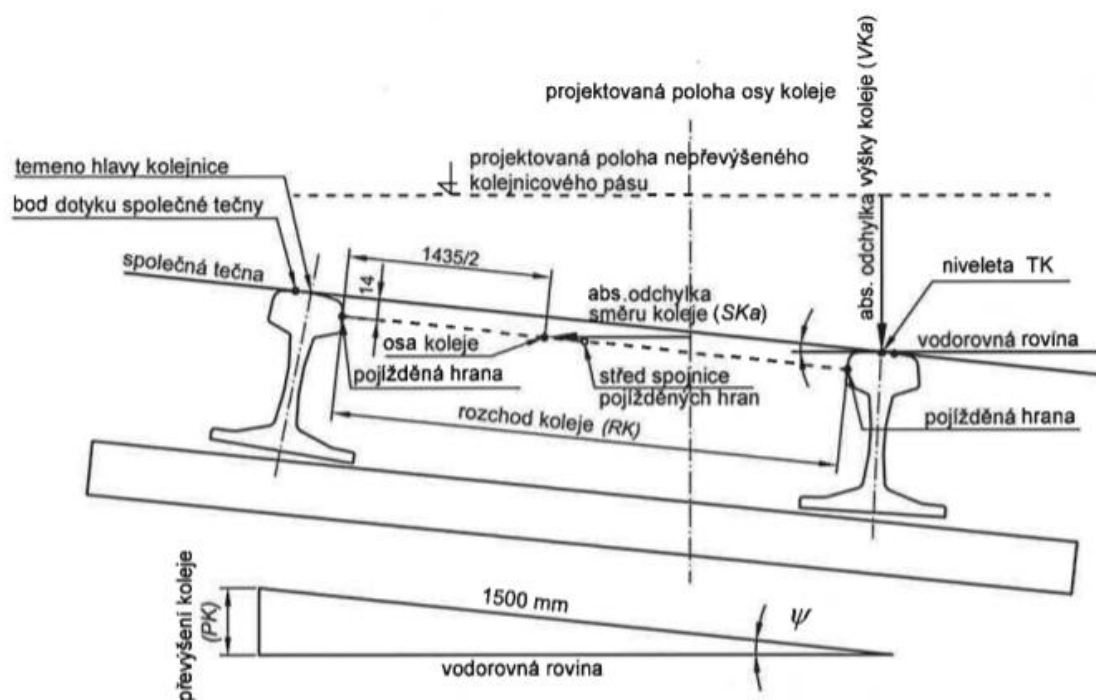
**Provozní odchylka** – dle [2] se jedná o odchylku od projektované nebo předepsané hodnoty geometrické veličiny na provozované trati

**Rychlostní pásmo** – pásmo traťových rychlostí, podle kterého se hodnotí geometrická kvalita koleje. Rozhodujícím parametrem pro rozlišení rychlostního pásma je projektovaná traťová rychlost  $V$  [km/h] [2]

**Stavební odchyłka** – dle [2] se jedná o odchytku od projektované nebo jmenovité hodnoty geometrické veličiny při přejímce prací v koleji

**Železniční svršek** – základní část železniční dopravní cesty, která tvoří jízdní dráhu a zajišťuje bezpečné vedení kolejových vozidel. Její součástí jsou základní konstrukce tvořené kolejemi, výhybkami a výhybkovými konstrukcemi a zvláštní (účelové) konstrukce či konstrukční články, které ji doplňují [3]

Pro lepší orientaci jsou na obr. 2.1 k vidění základní veličiny konstrukčního a geometrického uspořádání koleje.



Obr. 2.1 - Grafické znázornění definic a pomocných definic veličin KUK a GUK [4]

## 2.2 Měřené veličiny

Měření geometrických parametrů koleje je jednou z dílčích částí diagnostiky železničního svršku. Geometrické parametry koleje tvoří:

- konstrukční uspořádání koleje,
- geometrické uspořádání koleje,
- prostorová poloha koleje. [2]

V rámci pravidelných měření mají být za provozu kontrolovány tyto veličiny:

- rozchod koleje (RK),
- podélná výška koleje (VK),
- převýšení koleje (PK),
- směr koleje (SK),
- zborcení koleje (ZK). [2]

RK, VK, PK a SK jsou definovány jako základní veličiny KUK a GUK. Veličiny konstrukčního uspořádání koleje, jimiž jsou rozchod koleje a převýšení koleje jsou přímo měřitelné v koleji, a to v celém rozsahu vlnových délek. Směr a podélná výška koleje, coby veličiny geometrického uspořádání koleje, naproti tomu nejsou přímo měřitelné v koleji. Jejich odchylky jsou tudíž hodnoceny jako relativní, vztažené ke střednici geometrické veličiny. Kromě těchto základních veličin se u KUK hodnotí ještě dvě další veličiny – tzv. odvozené veličiny. Jedná se o zborcení koleje (ZK) a změnu rozchodu koleje na 2 m délky koleje (ZR). Ve spojitosti s rozchodem koleje se navíc hodnotí střední hodnota rozchodu koleje RK100, definovaná jako aritmetický průměr naměřených hodnot rozchodu koleje na úseku délky 100 m s maximálním krokem měření 1 m. [4]

Důležitým krokem nejen pro účely měření a hodnocení kvality GPK je rozdělení tratí do šesti rychlostních pásem označených jako RP0 až RP5. Rozhodujícím faktorem pro rozlišení rychlostního pásma je přirozeně parametr  $V$  - projektovaná traťová rychlost [km/h]. Jednotlivá rychlostní pásma jsou vymezena takto:

- RP0  $V \leq 60$  km/h
- RP1  $60 < V \leq 80$  km/h



- RP2  $80 < V \leq 120$  km/h
- RP3  $120 < V \leq 160$  km/h
- RP4  $160 < V \leq 230$  km/h
- RP5  $230 < V \leq 300$  km/h. [2]

Neméně důležitou součástí teoretické základny pro měření kvality GPK je tzv. rozsah (pásmo) vlnových délek, což je dle [5] definováno jako prostorová oblast, kterou zaujímají parametrické složky. V praxi jsou uvažovány následující rozsahy:

- D1:  $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$
- D2:  $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$
- D3:  $70 \text{ m} < \lambda \leq 150 \text{ m}$  (běžně využíváno pro traťové rychlosti vyšší než 250 km/h). [5]

## 2.3 Organizace a intervaly měření GPK

Měření pomocí měřicího vozu či měřicí drezíny musí být, v závislosti na charakteru trati, provedeno minimálně 3 dny po zahájení zkušebního provozu. Měření koleje jiným měřicím zařízením, což je například ruční měřicí vozík KRAB, záznamové zařízení ASP apod., se využívá pouze jako součást technicko-bezpečnostní zkoušky pro uvedení dotčeného úseku koleje do zkušebního provozu [6].

Pro splnění podmínky bezpečné a provozuschopné jízdní dráhy je nutno provádět pravidelné prohlídky a měření v závislosti na významu trati. Jednotlivé časové intervaly jsou pro dráhy celostátní a dráhy regionální do rychlosti  $V = 200$  km/h následující:

- traťové a hlavní staniční koleje pro  $V > 120$  km/h **4 měsíce**
- traťové a hlavní staniční koleje pro  $V > 60$  km/h **6 měsíců**
- traťové a hlavní staniční koleje pro  $V \leq 60$  km/h **12 měsíců**
- ostatní dopravní koleje **12 měsíců.**

[7]

### 3. PROSTŘEDKY K MĚŘENÍ GPK

Pro kontinuální měření a výpočet kompletní sady parametrů se u provozovatelů železniční dopravy na území ČR využívá řada měřicích prostředků. Technická ústředna dopravní cesty (TÚDC) využívá pro účely kontroly tratí za provozu i v rámci přejímkových a opravných prací následující diagnostické prostředky:

- měřicí vůz pro železniční svršek (MV),
- měřicí drezíny (MD; malá měřicí drezína = MMD),
- ruční měřicí vozíky (+ jejich modifikace pro oblasti výhybek; např. KRAB),
- elektronické, mechanické a ruční rozchodky. [8]

Jednotlivé prostředky pro měření geometrických parametrů koleje, zejména pak měřicí vůz a ruční měřicí vozík, jsou náležitě popsány v podkapitolách níže.

#### 3.1 Měřicí vůz železničního svršku

Obecně je měřicí vůz vozidlem s vlastním pohonem (či vozidlo tažené), na kterém jsou pevně instalovány zařízení a specifické systémy pro měření geometrických parametrů koleje pod zatížením, jejich vyhodnocení a záznam. Výsledky z měřicího vozu musí být konzistentní, a to bez ohledu na rychlost měření a směr jízdy. Pouze tak lze průběžně sledovat kvalitu geometrie koleje a používat data k plánování údržbových prací a zajištění bezpečnosti provozu na dané koleji v souvislosti s geometrií koleje. Všechna měření musí být prováděna a ukládána během jízdy, graficky zaznamenávána a analyzována v přísném vztahu k reálné poloze vozu. [5]

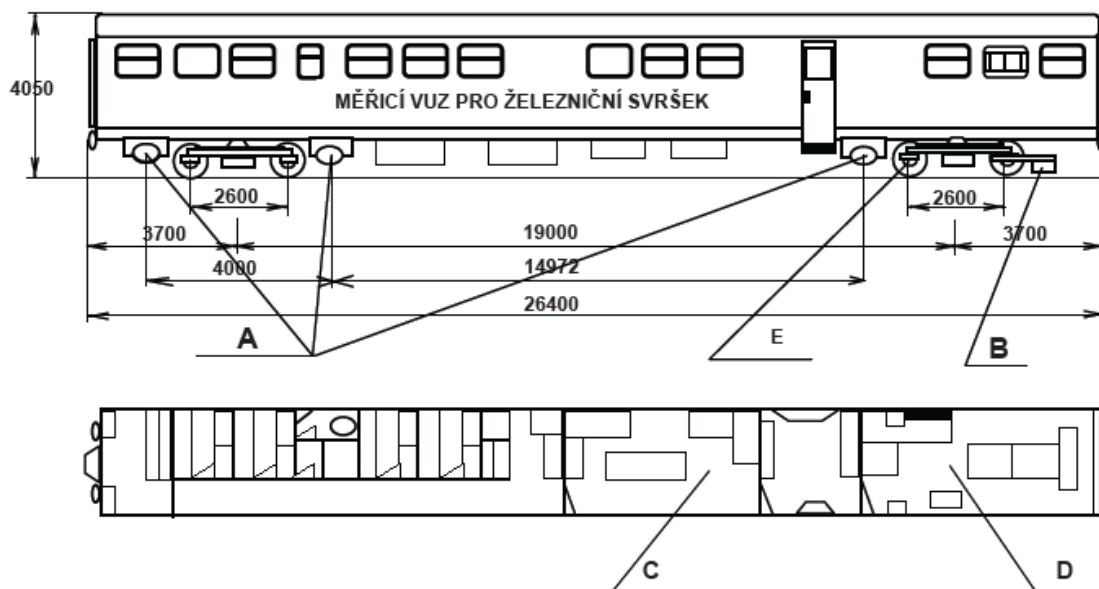
Měřicí vůz pro železniční svršek se využívá pro měření s krokem měření 0,25 m a vyhodnocování následujících parametrů:

- měření geometrických parametrů koleje,
- měření vertikální mikrogeometrie kolejnic,
- měření příčného profilu kolejnic,
- hodnocení odezvy vozidla. [8]

Během měřicí jízdy dochází vždy ke snímání reálného obrazu trati za měřicím vozem pomocí kamery umístěné právě v jeho zadní části. Obraz je po celou dobu

zobrazován na monitoru a ukládán pro budoucí použití. Vůz může měřit v obou směrech jízdy, což je dáno tzv. *správným (S)* a *nesprávným (N)* postavením vozu. [8]

Pro lepší přehled je na obr. 3.1 k vidění základní uspořádání měřicího vozu s popisem hlavních částí měřicího systému. Přední část vozu je orientována nalevo.



**Obr. 3.1 - Uspořádání měřicího vozu [8]**

- A *snímací jednotky těživového systému měřených parametrů GPK*
- B *snímací jednotka příčného profilu kolejnic*
- C *společenská místnost s monitory pro sledování výsledků měření GPK*
- D *prostor s vyhodnocovací a ovládací technikou a tiskárnami výstupních sestav*
- E *snímače vertikálního povrchu kolejnic*

### 3.1.1 Měřicí systémy

Před samotným popisem jednotlivých měřicích systémů využívaných měřicím vozem je třeba alespoň stručně představit základní principy měření parametrů koleje. Dosud jsou uvažovány dva hlavní principy:

- *tětivový měřicí systém*
- *inerční měřicí systém. [2]*

V praxi systém měřicího vozu využívá kombinace vysoké přesnosti těťivového měřicího systému při nízkých rychlostech a kvality inerčního měřicího systému pro rychlosti vyšší. [4]

### ***Těťivový měřicí systém***

Těťivový měřicí systém se využívá pro hodnocení podélné výšky a směru koleje, a to na principu měření výškového a směrového vzepětí asymetrickou těťivou. Naměřené veličiny, tedy odchylky měřené v mezilehlém bodě od pásu přímé koleje, lze přepočítat do tzv. skutečné geometrie pomocí vhodné korekce přenosové funkce na jednotkovou přenosovou funkci. Právě komplikovaná přenosová funkce je typickým znakem těťivového měřicího systému. V praxi se proto využívají analytické metody oprav a korekcí přenosových funkcí ve vztahu k daným rozsahům vlnových délek a eliminaci naměřených potenciálně nulových odchylek. Pro tento měřicí systém není požadovaná žádná minimální rychlost. [2] [9]

### ***Inerční měřicí systém***

Geometrie koleje je brána z polohy kolejnic vzhledem k inerčnímu vztažnému bodu, a to ve svislém i příčném směru. Tato poloha bývá zpravidla zjišťována pomocí akcelerometrů a gyroskopů. Vzhledem k umístění snímačů inerčního systému měření (na podvozku vozidla či ve skříní vozu) jsou k měření vzdálenosti mezi kolejnicemi a inerčním vztažným systémem používány doplňkové snímače (čidla). Tento měřicí systém má oproti těťivovému měřicímu systému jednotkovou přenosovou funkci a pro získání spolehlivých výsledků je nezbytná minimální rychlost měření. [2] [9]

#### **3.1.1.1 Systém TMS - Track Measuring System**

TMS je bezkontaktní měřicí systém pro měření geometrických parametrů koleje na měřicím voze. Měřené parametry jsou prezentované ve dvou vlnových pásmech, konkrétně v pásmu D1 (3 - 25 m) a v pásmu D2 (25 - 70 m). Dotčenými parametry jsou směr koleje levý i pravý, směr koleje v ose, podélná výška levá i pravá, podélná výška v ose, převýšení koleje celkové, dynamické i kvazistatické, celkový a dynamický rozchod koleje, křivost koleje a celková křivost koleje. Podrobnosti ohledně produkovaných parametrů jsou uvedeny v Tabulce 6 v předpisu SŽDC SR103/4(S) [8].

Měření traťové geometrie probíhá na principu snímání laserového paprsku bezkontaktním optickým systémem kamer (optické jednotky). Tento systém snímání

GPK kombinuje těživové snímání asymetrickou těživou obou kolejnicových pásů a inerciální jednotku. Výsledné geometrické parametry koleje systém vypočítá z naměřených hodnot jednotlivých snímacích jednotek. [8]

### **3.1.1.2 Systém CMS - Corrugation Measuring System**

Systém CMS je systémem pro orientační měření vertikální mikrogeometrie kolejnic, konkrétně vlnovitosti kolejnice, a pro lokalizaci geometricky vadných svarů a styků. Výsledky tohoto měření se využívají například pro plánování broušení kolejnic. Princip systému spočívá v měření vertikální složky zrychlení ložiskových domků dvojkolí měřicího podvozku. Systém CMS získané hodnoty z jednotlivých vlnových pásem (celkem v rozsahu 0,03 - 3 m) převádí na vlastní geometrii a přepočítává směrodatné odchylky na srovnávací úroveň rychlosti. [8]. Výstupní data jsou definována:

- pro vlnu 0,03 - 0,3 m – zrychlení krátké, geometrie krátká a svary krátké (vše pro levý i pravý kolejnicový pás)
- pro vlnu 0,3 - 3 m – styky dlouhé (opět pro oba kolejnicové pásy). [8]

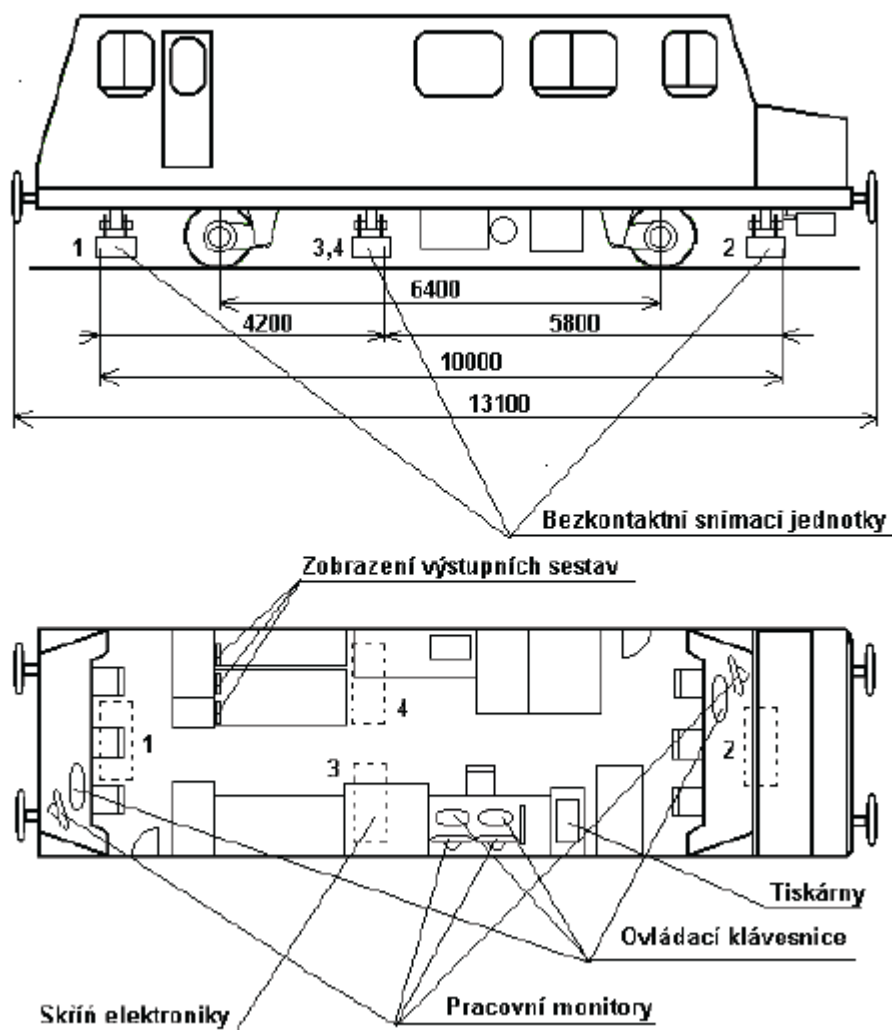
### **3.1.1.3 Měřicí systém příčného profilu kolejnic**

Jak už z názvu vyplývá, tento systém se soustředí na měření příčného profilu kolejnic. Systém využívá vestavěného zdroje světla - laseru. Kamery snímacích jednotek těživového systému GPK umístěné v zadní části vozu snímají a zaznamenávají obraz příčného profilu kolejnic vytvořeného právě laserovým paprskem. Zaznamenávaný obraz je porovnáván se vzorovým, měřicím vozem automaticky rozpoznávaným tvarem kolejnice, z čehož je nakonec určena míra ojetí kolejnice (bočního i svislého). [8]

## **3.2 Měřicí drezína**

Jedná se o zařízení s vlastním pohonem měřicím pod zatížením veličiny totožné s výše uvedenými. Měřicí drezína je určena k měření geometrických parametrů koleje a pro kontrolní měření příčného profilu kolejnic, a to zejména pro staniční koleje. Princip měření měřicí drezínou je v základě obdobný jako u měřicího vozu pro železniční svršek. Měřicí drezína využívá bezkontaktní optické snímače, jež tvoří

asymetrickou měřicí těživu, a jednodušší inerciální jednotky, což jsou stěžejní prvky pro snímání jednotlivých veličin GPK. Snímací jednotky drezíny jsou vybaveny kamerami a laserem. Obraz laserového paprsku z kolejnic je kamerami snímán a je přenášen do počítače, kde dochází k jeho zpracování, a kde se vyhodnocují jednotlivé parametry koleje [4][8] Základní uspořádání měřicí drezíny je viditelné na obr. 3.2.



**Obr. 3.2 - Uspořádání měřicí drezíny [8]**

Mimo klasické měřicích drezín (MD) se lze setkat i s tzv. *malými měřicími drezínami (MMD)*. Ty jsou navrženy zejména pro měření regionálních tratí a vleček a při její konstrukci bylo využito pozitivních zkušeností s některými prvky vozíku KRAB (popis vozíku KRAB viz dále). [4] [10] Měření je mechanické kontaktní a využívá inerciálního principu. Měřicí zařízení je tvořeno měřicím podvozkem, který je určen

k montáži do vhodného železničního vozidla, se kterým pak vytváří kompletní jednotku pro měření GPK (viz obr. 3.3). Měřicí podvozek však tvoří samostatný funkční celek pro měření GPK a má dvě hlavní části:

- vlastní mechanismus podvozku,
- snímače měřených veličin (+ nutná elektronika). [10]

Samotné vozidlo pak slouží pouze jako jeho nosič a zdroj zatížení. Zde jsou umístěny další části nutné pro vyhodnocení a záznam veličin GPK:

- řídicí a vyhodnocovací jednotka,
- tiskárny pro tisk vyhodnocených veličin a hodnocení kvality trati v reálném čase. [10]



**Obr. 3.3 - Měřicí podvozek a jeho umístění v rámci malé měřicí drezíny [10]**

### 3.3 Ruční měřicí vozíky

Vozík pro měření geometrie koleje (taktéž známý pod zkratkou TGMT = track geometry measuring trolley) je definován jako vozík konstruovaný pro měření jednoho nebo více geometrických parametrů koleje, který:

- má vlastní pohon, je tažen nebo veden lidskou silou,
- je přenosný (je zde možnost jeho nakolejení a vyjmutí z koleje),
- je schopný měření z klidové polohy do jeho maximální provozní rychlosti,
- musí disponovat koly, které nevyvozuji zatížení definované v kapitole 5 ČSN EN 13484-1+A1. [11]

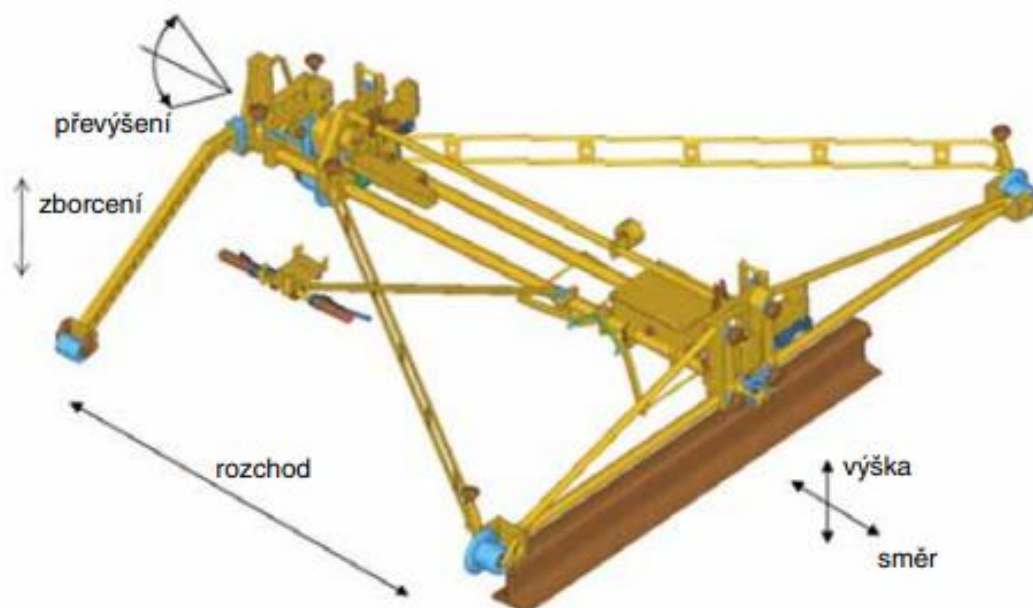
Obecně je systém pro měření geometrie koleje umístěný na TGMT určený pro měření GPK, měření ujeté dráhy v průběhu měření, propojení měřených dat s přesnou polohou měření, zpracování měřených dat (nejlépe přímo na místě) a zaznamenání naměřených hodnot. Oproti zařízením umístěným na měřicích vozech, nemusí měřicí zřízení na TGMT měřit v obou směrových postavení (správný x nesprávný). [11]

Měřicí systémy umístěné na TGMT musí být schopny měření a zpracování minimálně následujících parametrů:

- rozchod koleje
- podélná výška
- převýšení koleje
- směr koleje
- zborcení koleje. [11]

Přehledné zobrazení parametrů je uvedeno na obr. 3.4, kde je k jejich znázornění využit ruční měřicí vozík typu KRAB (jeho popis viz dále).





**Obr. 3.4 - Znáornění měřených veličin na vozíku KRAB [12]**

Stejně jako v případě měřicího vozu železničního svršku jsou jako principy měření uvažovány dva hlavní způsoby:

- měření vzepětí na tětivě
- inerční měření. [11]

### ***Tětivový měřicí systém***

Z měření vzepětí v mezilehlé části přímé tětivy je získávána kýžená geometrie koleje. Tento tětivový systém používá vztažný systém, který je tvořen například pevným rámem či světelným paprskem. Vzdálenost tětivy od koleje je měřena kontaktně (dotykovými senzory) či bezkontaktně (optickými nebo indukčními senzory). [11]

### ***Inerční měřicí systém***

Geometrie koleje je získávána z polohy kolejnicového pásu ve vodorovném i svislém směru, opět vztaženému k inerčnímu systému. Ten může být tvořen akcelerometry a gyroskopy, v případě TGMT je akcelerometr obvykle inklinometr. [11]

### 3.3.1 Měřicí vozíky KRAB

Měřicí vozíky KRAB české společnosti KŽV s.r.o. jsou určeny ke kontinuálnímu kontaktnímu měření GPK, disponují vlastním softwarem a zaznamenávají a vyhodnocují naměřená data. [4] [12] Společnost KŽV nabízí několik modelů tohoto měřicího prostředku, které se odlišují svou velikostí, konstrukcí apod. Obecně KRAB využívá tětívového měřicího systému, kdy se podélný směr koleje a podélná výška měří pomocí vzepětí na asymetrické tětívě, avšak pouze na jednom kolejnicovém pásu. Pro případ druhého kolejnicového pásu je nutno parametry dopočítat, a to za využití signálů udávajících rozchod a převýšení koleje. Aby byly výsledky měření převýšení přesnější, je KRAB vybaven dalším pomocným ramenem zborcení. [12]

#### 3.3.1.1 KRAB S - Light

Měřicí vozík KRAB S - Light je nejnovějším modelem v sérii měřicích vozíků KRAB (viz obr. 3.5). Návrh tohoto konkrétního modelu se soustředil na nízkou hmotnost prostředku a na možnost snadné manipulace. Je schopen měření na tratích s rozchodem 760 - 1676 mm, ale rychlost měření je omezena zhruba na 15 km/h. [13].

Pro rekapitulaci nejdůležitějších informací tedy KRAB S - Light měří, ve výsledném vzorkovacím kroku 0,25 m, tato data:

- rozchod koleje (pomocí potenciometrového snímače na levém kole),
- směr pravého kolejnicového pásu (pomocí vodorovného vzepětí, po přepočtu dat je následně zaznamenán i směr levého kolejnicového pásu),
- výška pravého kolejnicového pásu (pomocí svislého vzepětí, po přepočtu dat je následně opět zaznamenána i výška levého kolejnicového pásu),
- převýšení koleje (pomocí nového, přesného a vysoce spolehlivého inklinometru),
- zborcení koleje kvazistatické (základna 0,9 m napomáhá ke zpřesnění měření převýšení),
- sklon koleje (volitelný),
- dráhu ujetou při měření (měřeno optickými snímači na obou kolejnicových pásech),
- rychlost měření. [14] [15]



**Obr. 3.5 - KRAB S - Light [13]**

### **3.4 Elektronické, mechanické a ruční rozchodky**

Kromě již výše zmíněných měřicích prostředků umožňujících měření všech základních veličin GUK i KUK jsou používány i další zařízení. Jsou specifická především tím, že jsou použitelná pouze pro omezenou sadu geometrických veličin konstrukčního uspořádání koleje (KUK), konkrétně tedy pouze pro přímo měřitelné geometrické veličiny. [4] Základními typy jsou stručně popsány níže.

#### ***Elektronické pojízdné rozchodky (např. EPR-E či RBP-E)***

Tato zařízení využívají kontaktního snímání veličin KUK (kontinuální měření rozchodu a převýšení koleje, které je pak i graficky zaznamenáno) a elektronický přenos, záznam a vyhodnocení naměřených dat pro parametry rozchodu koleje, změnu rozchodu a zborcení koleje. Konkrétními zástupci jsou. [4]

#### ***Mechanické pojízdná rozchodka RBP II***

Tato rozchodka slouží ke kontaktnímu snímání dvou základních veličin, a to ke kontinuálnímu měření rozchodu a převýšení koleje, mechanickému přenosu

a grafickému záznamu naměřených dat. Možnost hodnocení zborcení koleje na základě grafického záznamu převýšení je pouze orientační. [4]

### ***Ruční rozchodky s vodováhou***

Tato zařízení taktéž umožňují kontaktní snímání dvou základních veličin KUK - rozchodu a převýšení koleje - nikoli však kontinuálně, ale bodově. Z rozdílu sousedních hodnot rozchodu koleje na měřičské základně lze místně hodnotit veličinu změnu rozchodu, z rozdílu hodnot převýšení na měřičské pak i veličinu zborcení koleje. Pro oblast výhybek se využívají ruční výhybkové rozchodky s vodováhou typu GEISMAR RCA nebo ROBEL 83.07 (viz obr. 3.6). [4]



***Obr. 3.6 - Ruční výhybková rozchodka s vodováhou typu ROBEL 83.07 [16]***

## 4. HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ A VÝSTUPY Z MĚŘICÍHO VOZU ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU

Jak již bylo výše popsáno, měřicí vůz pro železniční svršek se zabývá měřením jednotlivých parametrů z oblasti geometrie koleje, nicméně je taktéž využíváný pro získávání informací o vertikální mikrogeometrii kolejnic (vlnkovitost) a příčného profilu kolejnic. Ve vztahu k měřeným parametrům koleje jsou aplikovány konkrétní přístupy k hodnocení naměřených výsledků popsané v následujících podkapitolách. Kapitola taktéž uvádí požadované výstupy z měřicích vozů.

### 4.1 Hodnocení GPK

Obecně je metodika vyhodnocování GPK založena na statistické analýze hodnot směrodatných odchylek (SDO) jednotlivých základních veličin pro úseky trati o délce 200 m. K hodnocení parametrů geometrie koleje existují dva základní přístupy:

- úsekové hodnocení GPK
- hodnocení lokálních závad. [8]

#### 4.1.1 Úsekové hodnocení

V rámci úsekového hodnocení jsou místo směrodatných odchylek SDO jednotlivých veličin GPK použity bezrozměrné parametry - tzv. známky kvality. Výpočet směrodatných odchylek a jejich převod na známky kvality je v zásadě převod hodnot SDO na číselné hodnoty stejného významu pro libovolné kategorie trati, libovolné rychlostí pásma i libovolné parametry koleje.

Známky kvality, coby bezrozměrné parametry úsekového hodnocení, jsou rozděleny do tří skupin:

- známky kvality definovaných parametrů (ZKV)
- celková známka kvality (CZK)
- známka podbíjení (ZP).

Známky kvality jsou pro daná rychlostní pásma navrženy vždy tak, aby měly statistické rozdělení pravděpodobností s průměrem 3. Stanovený podíl všech hodnot

jakékoliv ze známek má být menší nebo roven 4, avšak tato krajní hodnota není brána jako bezpečnostní kritérium, nýbrž jako žádoucí údržbový standard.

Jako mezní hladiny jednotlivých ZKV a CZK pro přejímku dokončených prací v koleji jsou pro všechna RP stanoveny tyto hodnoty:

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

Známka kvality jednotlivých měřených parametrů je počítána pomocí následujícího exponenciálního transformačního vztahu:

$$ZKV = 6 * (1 - \exp(-SDO^m / b)) \quad (1)$$

přičemž hodnota směrodatné odchylky je dána vztahem

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

kde **n** je počet vzorků,

**x<sub>i</sub>** je odchylka od střednice hodnocené geometrické veličiny,

**b**, **m** jsou číselné konstanty stanovené na základě statistik SDO příslušné veličiny a konkrétního RP.

Celková známka kvality a známka podbíjení jsou obě stanoveny z jednotlivých známek kvality ZKV, a to na základě tzv. hybridního kritéria ze vzorce:

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

kde **w** jsou váhy jednotlivých veličin stanovené na základě korelační analýzy, rozdílné pro CZK a ZP,

**k**, **q** jsou koeficienty zahrnující konkrétní RP.

Známka podbíjení ZP je definována jako celková známka kvality CZK, kde ovšem není do výpočtu započítán vliv rozchodu koleje. [8]

#### 4.1.2 Hodnocení lokálních závad

Druhý přístup k vyhodnocování měření GPK je hodnocení lokálních závad a vychází z faktu, že parametry jsou měřeny jako skutečná geometrie koleje, a nebo jsou na tzv. skutečnou geometrii přepočítávány. To je dáno matematickým modelem, který zabezpečuje jednotkovou přenosovou funkci. [8]

Lokální závady jsou hodnoceny ve třech hladinách provozních a mezních provozních odchylek geometrických veličin, které jsou odstupňovány podle rychlosti do příslušných rychlostních pásem (rozdělení RP viz oddíl 2.2). Za úsek rychlostního pásma, coby rozmezí traťových rychlostí definovaného spodní a horní hranicí rychlosti příslušného traťového úseku, je z důvodů statistického hodnocení považován souvislý úsek koleje s nejvyšší rychlostí spadající do jednoho RP. Pokud je úsek kratší než 500 m, je uměle přiřazen k sousednímu úseku s vyšším rychlostním pásem. Připojit úsek kratší 500 m k úseku s nižším RP nelze, a tak je jim ponecháno RP stávající. Při posuzování lokálních závad je pak k těmto úsekům přístupováno individuálně. [8]

Provozní odchylky geometrických veličin od projektované či předepsané hodnoty jsou dle ČSN 73 6360-2 definovány ve dvou stupních:

- **AL – mez sledování** (z angl. *Alert Limit*): v případě překročení stanovené hodnoty je nutné posoudit stav GPK a vzít ho v úvahu při plánování udržovacích prací,
- **IL – mez zásahu - opravy** (z angl. *Intervention Limit*): v případě překročení stanovené hodnoty je nutné provést udržovací práce tak, aby při příštím kontrolním měření nebyla překročena mezní provozní odchylka. [2]

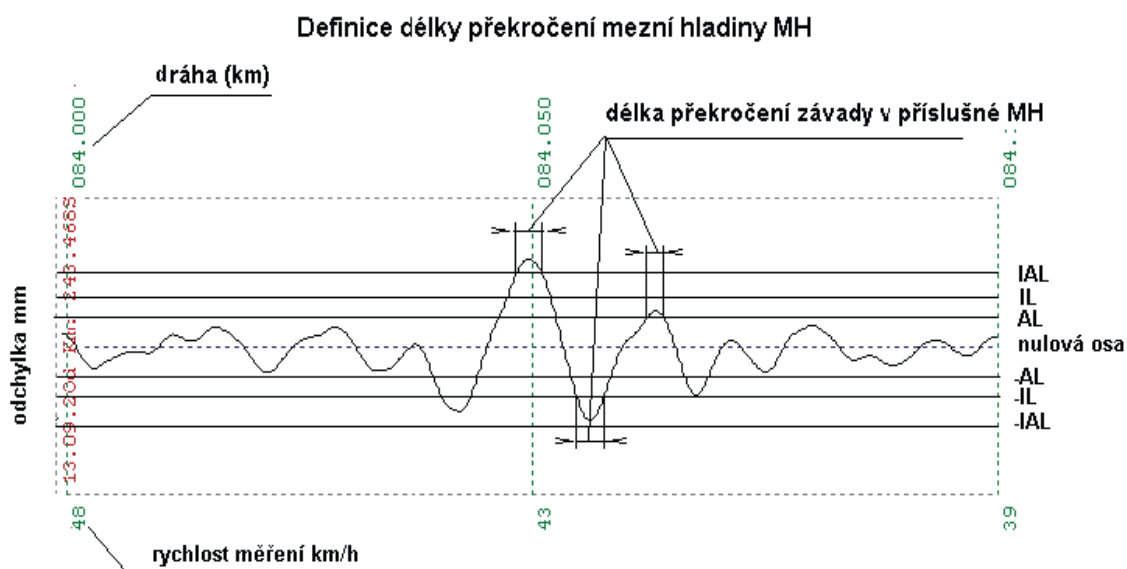
Mezní provozní odchylka geometrických veličin od projektované či předepsané hodnoty je dle ČSN 73 6360-2 definována jako:

- **IAL – mez bezodkladného zásahu** (z angl. *Immediate Action Limit*): v případě překročení stanovené hodnoty je nutné provést bezodkladné opatření k zajištění bezpečného provozu. [2]

Z hlediska správné terminologie je třeba zmínit, že u všech veličin definujeme *provozní odchylky veličin* s výjimkou zborcení koleje ZK, kde je definována *provozní hodnota veličiny*. [4]

Na základě výše popsaných odchylek se plánují budoucí udržovací práce, jejichž vyhodnocení se provádí v souladu s mezními stavebními odchylkami, též definovanými v ČSN 73 6360-2. Nesporná výhoda členění provozních odchylek na tři různé stupně spočívá v možnosti lepšího sledování vývoje lokálních závad a tím i plánování termínů pro odstranění odhalených závad. [4]

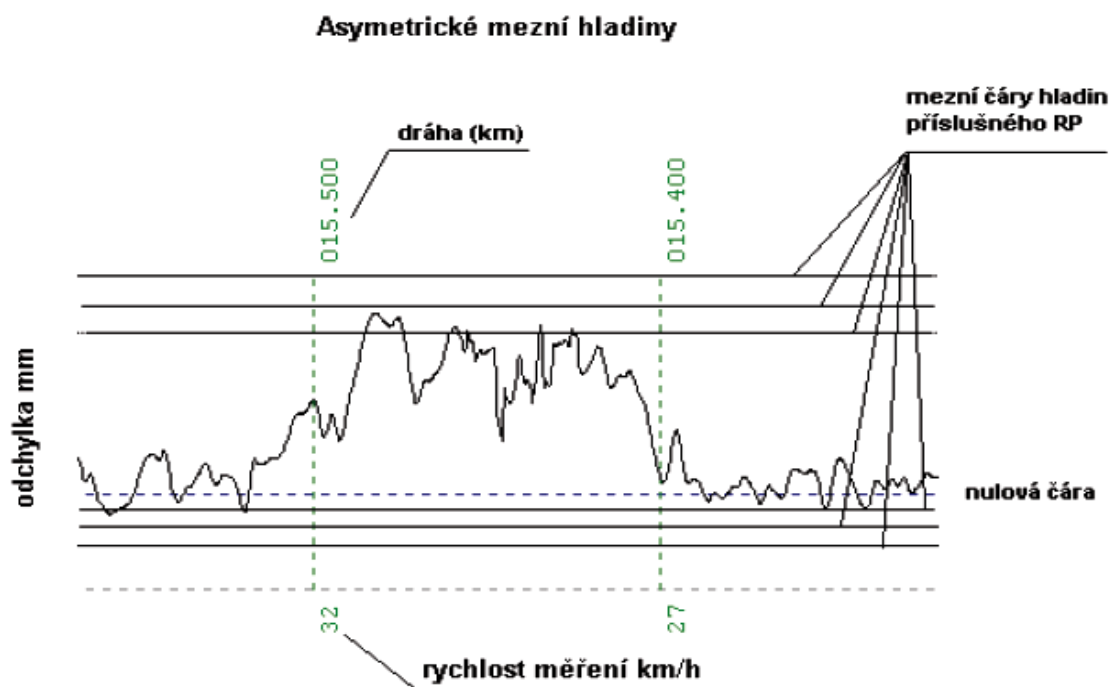
Pro lepší pochopení je na obr. 4.1 vyobrazen a popsán graf průběhu blíže nespecifikované veličiny, jsou zde vyznačeny jednotlivé meze a zvýrazněny délky jejich překročení. Konkrétní rychlostní pásmo je vždy uvedeno v záhlaví výpisu lokálních závad i úsekového hodnocení. V souvislosti s daným RP jsou automaticky nastavovány mezní hodnoty jednotlivých hladin. Výpis lokálních závad a úsekového hodnocení vždy obsahuje informaci o překročení nejvíce nebezpečné hladiny, včetně odpovídající délky konkrétní závady. [8]



**Obr. 4.1 - Grafické znázornění překročení mezní hladiny veličiny [8]**

Podoba grafického výstupu se může lišit v případě asymetrických mezních hladin lokální závady. To je specifikováno postavením mezních hladin závad vůči nulové ose vyhodnocovaného signálu. Jediný parametr, který se asymetrie týká je rozchod koleje RK (viz obr. 4.2). [8]





**Obr. 4.2 - Ukázka asymetrické mezní hladiny [8]**

Symetrické rozdělení mezních hladin lokálních závad se týká parametrů:

- směr koleje obou kolejnicových pásů SL a SP v pásnu D1,
- směr koleje v ose SK v pásnu D2,
- podélná výška obou kolejnicových pásů VL a VP v pásnu D1,
- podélná výška v ose VK v pásnu D2. [8]

Samostatnou skupinu parametrů pak tvoří ty, které jsou dopočítávány v průběhu měřicí jízdy (také viz kapitola 2.2). Jedná se o následující veličiny:

- zborcení koleje ZK,
- změna rozchodu ZR,
- střední hodnota celkového rozchodu koleje RK100. [8]

## 4.2 Hodnocení ostatních měření

Kromě hodnocení geometrické polohy koleje se přímo na měřicím voze vyhodnocují jiné parametry z hlediska kvality jízdní dráhy. Jedná se konkrétně o hodnocení:

- vertikální mikrogeometrie kolejnic,
- příčného profilu kolejnic,
- odezvy vozidla.

Základní principy prvních dvou příkladů již byly naznačeny v kapitole 3.1.1. Mezní hladiny hodnot překročení jsou definovány v SŽDC SR103/4(S).

Třetím a posledním případem je *hodnocení odezvy vozidla - VRA*. VRA je *hodnocení bezpečnosti proti vykolejení vozidla* na základě poměru vodorovných příčných sil a svislé kolové síly a *bezpečnosti proti příčnému posunu koleje* (stabilita koleje) od výslednice příčných sil. Toto hodnocení využívá obdobného způsobu jako v případě hodnocení lokálních závad geometrických parametrů koleje. Využívá sil počítaných ze změřených GPK (nikoliv z opravdových sil, přímo změřených na uvažovaném vozidle) a předpokládaných charakteristik vozidla. [8]

## 4.3 Výstupy z měřicích vozů železničního svršku

Během měřicí jízdy jsou měřicím systémem vozu vytvářeny dvě základní výstupní sestavy:

- grafické zobrazení průběhu GPK,
- tištěný přehled úsekového hodnocení a lokálních závad. [8]

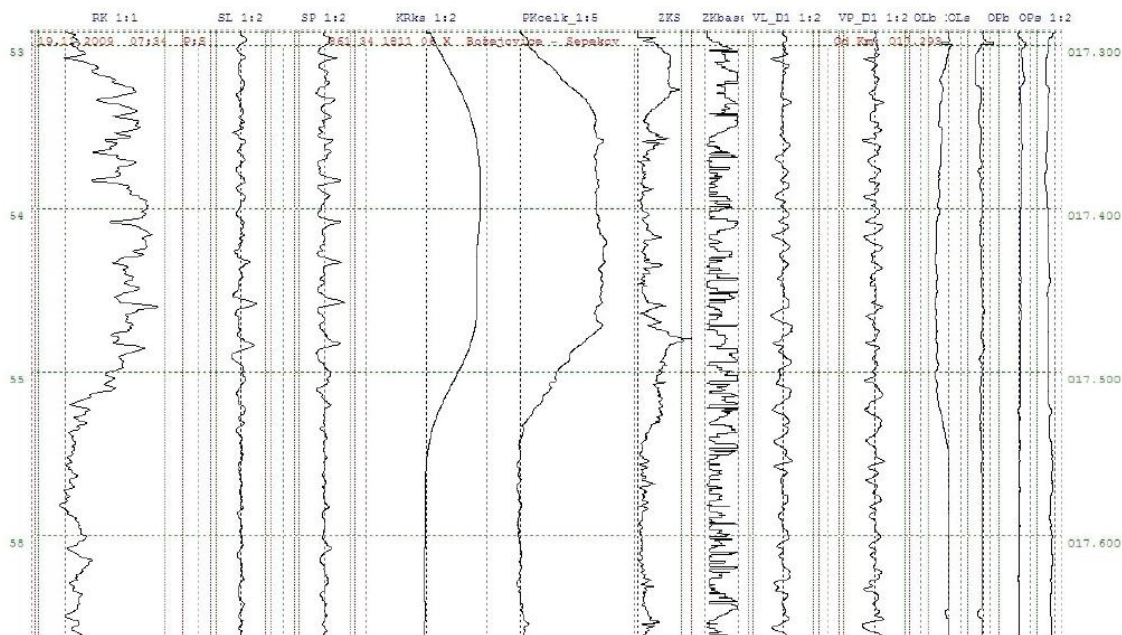
### **Grafická výstupní sestava**

Graf základních parametrů koleje je během měřicí jízdy průběžně tištěn, a to v měřítku 1:2000, kdy 100 m změřeného úseku odpovídá 50 mm na grafu. Napříč grafem jsou vždy na začátku měřeného úseku uvedeny jeho základní údaje (zleva):

- datum a čas měření, číslo měřen koleje,
- identifikační číslo ST (správce tratí), TO (traťmistrovský okrsek), MT (měřicí trasa), MÚ (měřicí úsek),

- název MÚ (měřicí úsek),
- km začátku staničení,
- název měřeného parametru včetně měřítka. [8]

V levé části grafu je uvedena rychlost měřicí jízdy v km/h v každém hektometru a operátorem zadané objekty ve formě úsečky daného stylu (výhybka - vodorovná čára jednoduchá, přejezd - vodorovná čára dvojitá atd.). Pravý okraj v oblasti grafu pak nese informace o kilometrácii, značkách bodů, pro něž jsou stanovené souřadnice GPS, informace o koncích objektů jako je např. přejezd, most, výhybka, přídržnice levá/pravá a v neposlední řadě informace o platnosti dat (Data\_OK, Data\_KO atd.). Ve střední části je samotný grafický průběh jednotlivých veličin. [8] [17] Příklad takového grafického výstupu je k vidění na Obr. 4.3.



**Obr. 4.3 - Grafická výstupní sestava MV pro vlnové pásmo D1 [8]**

### ***Tištěný přehled úsekového hodnocení a lokálních závad***

Stejně jako v případě grafického výstupu je v průběhu měřicí jízdy tištěn i přehled lokálních závad a úsekového hodnocení. Tento přehled musí v záhlaví opět obsahovat základní informace o měření a měřicím úseku, jedná se o následující údaje:

- označení měřicího prostředku (MV či MD),
- postavení MV / MD při měření,
- datum měření,
- strana tištěné sestavy,
- identifikační číslo měřené trati,
- označení zaváděcího souboru,
- název měřeného úseku,
- km začátku a konce měřicího úseku a to včetně označení rychlostních pásem. [8]

Následující údaje se týkají výpisu lokálních závad, kde jsou v příslušných řádcích vypsány jednotlivé závady (příklad tištěného přehledu viz obr. 4.4). Číslo v prvním sloupci reprezentuje metrickou polohu závady v příslušném měřeném kilometru, číslo "03" (viz příklad na obr. 4.3) udává délku závady překročené meze, znaménko + / - značí smysl závady, číslo "25" pak značí maximální dosaženou hodnotu měřené veličiny [mm]. Symbol stojící na konci popisu závady symbolizuje překročení mezní hladiny, užívají se symboly:

- "mezera" pro překročení meze AL,
- " : " pro překročení meze IL,
- " ! " pro překročení meze IAL.

Přehled měřeného úseku zakončuje pasáž s výpisem známek kvality dynamických parametrů (opět patrné z Obr. 4.4) pro úsek délky 200 m i pro celý kilometr. [8] [17]

```

MV          Postavení: S Datum měření: 19.11.2009 07:34                      Strana: 1
*****
861 34 1811 06 X                      Zaváděcí soubor: DC1474.TXT
Božejovice - Sepekov
017,290 1 023,194
RP 0-5, v07.21=====MH2010=====
Km: 17 Příklad směr                    Svislý směr                    |RP1 MH1
SL      SP      ZR      RK      | PK      ZKS      (zks_max)      VL      VP      | Y/Q      Pd      |Objekt
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
330                                           |      04/124 327/02.9/12.0      |      |
418                      03+25 |      |      |      |      |      |      |      |
462                      03+27 |      |      |      |      |      |      |      |
482                                           |      03/160:480/03.0/13.5      |      |
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
HZ      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
SDO 20m      0      100      200      300      400      500      600      700      800      900      1000      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0      0
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
Směr                . : ! !
Rozchod              : ! ! ! ! ! ! ! !
Převýšení            ! ! ! ! ! ! ! ! ! !      ! !
Výška
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
Mez.hl. RK100
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
Znamky kvality      SK      RK      PK      VK      CZK      ZP
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
017.400              3.38      5      5      2.19      3.92      3.70
017.600              3.74      4.28      5      2.78      3.93      3.93
017.704              2.80      3.10      4.52      2.54      3.25      3.25
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
Km                  3.46      4.45      5      2.58      3.78      3.78
*****
Znamky kvality      SK      RK      PK      VK      CZK      ZP
-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
Celk. hodnocení    3.46      4.45      5      2.58      3.78      3.78

```

**Obr. 4.4 - Tištěný přehled lokálních závad a úsekového hodnocení měřených veličin GPK měřícím vozem železničního svršku pro RP0 - RP2 [8]**

Veškeré výstupy z měřicího vozu jsou po ukončení měření posádkou MV (popřípadě MD) dále zaslány odpovědnému zaměstnanci příslušné správy dopravní cesty, popřípadě objednateli měření. Veškeré výstupy měření jsou obvykle do 14 dní ode dne měření k dispozici správci vyhodnocovacího střediska prostřednictvím IS PSST (Informační systém - Provozní stav sítě tratí) k dalšímu zpracování. Detailnější analýza obdržených dat napomáhá k usnadnění plánování opravných prací. [8]

## **5. POPIS ZKUŠEBNÍCH ÚSEKŮ S PROVOZNÍM OVĚŘOVÁNÍM GEOKOMPOZITU POD KOLEJOVÝM LOŽEM**

Tato kapitola se týká dvou zkušebních úseků, kde bylo realizováno provozní ověřování účinnosti geokompozitu instalovaného pod kolejové lože. Jsou zde popsány důvody vedoucí k myšlence aplikace geokompozitů do vybraných tratí. V návaznosti na to jsou zde představeny samostatně i jednotlivé zkušební úseky.

### **5.1 Důvody pro aplikaci geokompozitu do konstrukce trati**

Komplexní geologické podmínky a postupná degradace železničních tratí na území ČR - zejména tratí s velkým provozním zatížením, mají za určitých podmínek za následek výskyt zablácených míst. Ta jsou způsobena migrací jemných částic zeminy z pražcového podloží do kolejového lože, zejména tam, kde nebyla zřízena žádná konstrukční vrstva. Doprovázejícími jevy k výše uvedenému pak bývají i lokální snížení svislé tuhosti koleje stejně jako celkové zhoršení geometrických parametrů koleje. Často dochází i ke snížení únosnosti pláně tělesa železničního spodku či k omezení odvodňovací funkce kolejového lože. Tato situace vyžaduje buď účinné opravy jako je čištění kolejového lože a podbíjení či jednotlivé rozsáhlé a finančně náročné zásahy do celé koleje. Standardní proces sestávající z opravy zablácených míst prostřednictvím čištění kolejového lože, doplnění chybějícího kameniva a následného podbití koleje bohužel často nevede k vyřešení problému, ba právě naopak k jeho pravidelnému opakování.

Alternativní dlouhodobější řešení výše zmíněného problému je, bez nutnosti rozsáhlých a drahých zákroků, aplikace vhodných geomřížek či geokompozitů pod kolejové lože nebo do jeho spodní části. Účinné zaklesnutí kameniva kolejového lože do geokompozitu vede k omezení horizontálních pohybů částic kameniva v okolí geomřížky a k redukci vertikálních deformací kolejového lože. Tento fakt se příznivě projevuje zvýšenou stabilitou geometrických parametrů koleje, méně častými údržbovými pracemi a prodlouženou služební životností kameniva či sníženou degradací částic kameniva vlivem častého podbíjení. [18]

## 5.2 Představení zkušebních úseků

Provozní ověřování stabilizace kolejového lože geomřížkami a geokompozity bylo v České republice započato již v roce 2008. Tato práce se zabývá dvěma konkrétními úseky v oblasti Plzeňského kraje, a to úseky poblíž žst. Blovice a žst. Domažlice, které byly vybrány z důvodu častých výskytů zablácených míst. [18] Druhý ze zmíněných zkušebních úseků je sledován v rámci výzkumné činnosti Centra pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI) a je zde nově, v součinnosti se SŽDC, kompozit uložený na příčně ukloněnou PTŽS pro efektivní odvodnění kolejového lože.

### 5.2.1 Blovice

První zkušební úsek se nachází cca 23 km jižně od Plzně na severním okraji obce Blovice. Leží na jednokolejné elektrifikované celostátní trati České Budějovice – Plzeň (trať č. 190), konkrétně v traťovém úseku TUDU 04150 Blovice – Nezvěstice. Sledovaný úsek začíná za výhybkou č. 9 v km 326,060 a pokračuje do km 326,350, má tedy celkovou délku 290 m. [19] Umístění zkušebního úseku je patrné na obr. 5.1.



**Obr. 5.1 - Umístění zkušebního úseku Blovice**

Zkušební úsek se nachází v zářezu o hloubce 1,0 - 5,0 m a ve směrové přímé s podélným sklonem 3,2 - 4,0 ‰. Trať má normální rozchod 1435 mm a železniční svršek je tvořen z části dřevěnými pražci (v oblasti výhybky a těsně za ní) a pražci SB 8 e, kolejnice jsou typu S49. Maximální traťová rychlost zde dosahuje 100 km/h.



**Obr. 5.2 - Pohled na začátek zkušebního úseku (směr žst. Blovice)**

Zemní pláň je tvořena v délce zkušebního úseku jílem se střední plasticitou F6/Cl, jež je předpisem SŽDC S4 - Železniční spodek charakterizován jako materiál nepropustný až velmi málo propustný a nebezpečně namrzavý. Zdejší geologické poměry a nefunkční odvodnění vedlo na zkušebním úseku ke vzniku několika zablácených míst (viz Obr. 5.3). [19]



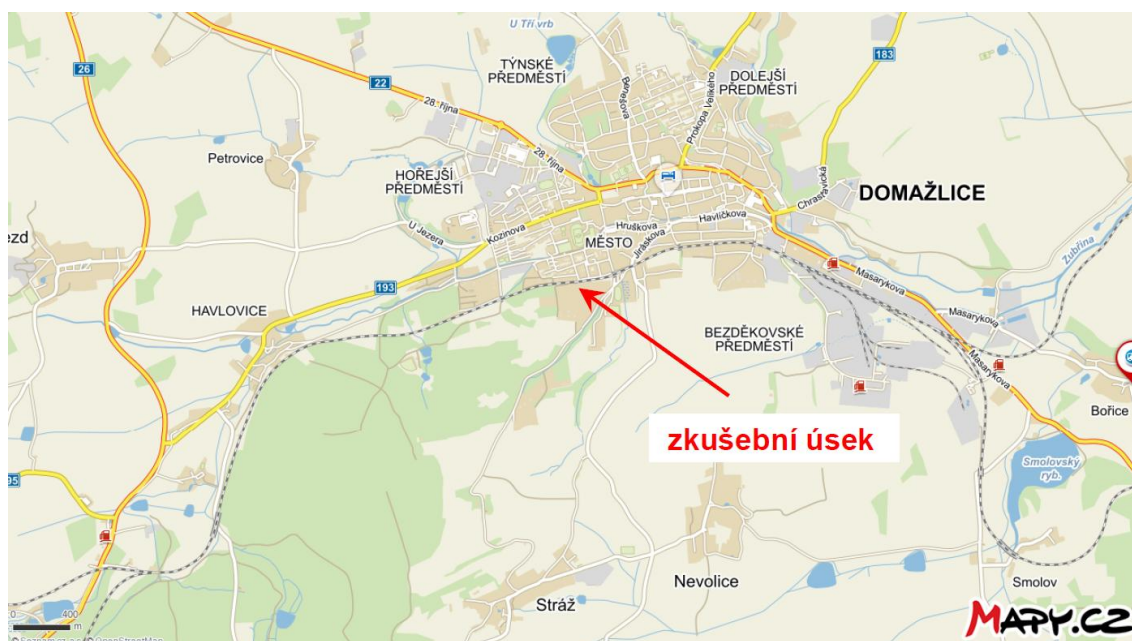
**Obr. 5.3 - Pohled na zablácené místo ve zkušebním úseku v Blovicích (03/2008) [19]**



Geokompozit typu TENSAR SS30-G byl do zkušebního úseku instalován pomocí čističky SČ 600 dne 20. 5. 2008 za současného čištění a renovace kolejového lože. Geokompozit byl ukládán po cca 12,5 m dlouhých dílech s přesahem ve 195 m dlouhém úseku, km 326,095 až km 326,280. [19]

## 5.2.2 Domažlice

Umístění druhého zkušebního úseku bylo vybráno na neelektrifikované jednokolejné státní železniční trati Plzeň hl. n. – Česká Kubice st. hr. / Furth im Wald (trať č. 180) a trati Domažlice – Planá u Mariánských lázní (trať č. 184), v traťovém úseku Domažlice – Domažlice-Pasečnice (TUDU 030122) s umístěním geokompozitu v části km 169,850 až km 169,945, což odpovídá délce 95 m. Vzhledem k možnosti porovnání chování konstrukce s geokompozitem, byl ke zkušebnímu úseku přidružen z každé strany 100 m dlouhý úsek bez uložení geokompozitu. Celý sledovaný úsek tak začíná v km 169,750 a končí v km 170,045. [20] Umístění druhého zkušebního úseku je patrné na obr. 5.4.



**Obr. 5.4 - Umístění zkušebního úseku Domažlice**

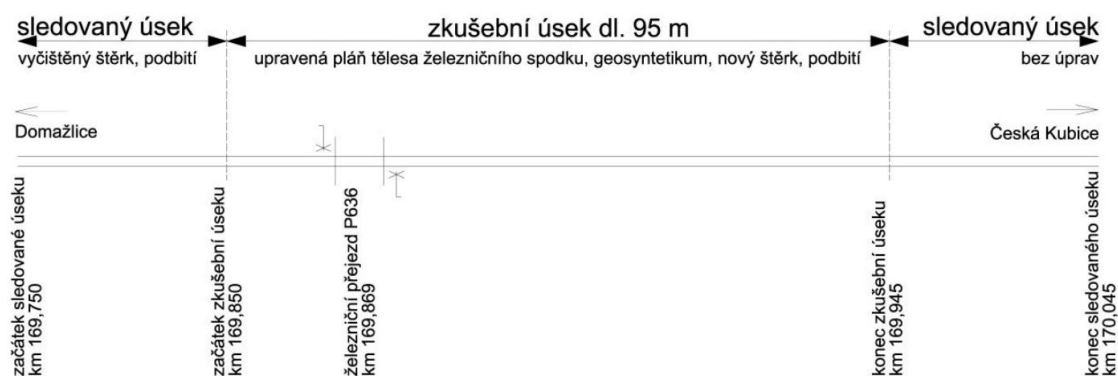
Převážná část sledovaného úseku je ve směrové přímé, pouze začátek úseku začíná v přechodnici oblouku směrem k žst. Domažlice. Podélný sklon se pohybuje v rozmezí 8,80 - 9,05 ‰. V rámci zkušebního úseku se cca v km 169,869 vyskytuje úroňový železniční přejezd č. P636 přes místní komunikaci (viz obr. 5.5). Trať má

normální rozchod 1435 mm a železniční svršek je tvořen pražci SB 8 e a kolejnicemi typu S49. Oblast sledovaného úseku má pražcové podloží typu 1, neboť zde nejsou žádné konstrukční vrstvy. Maximální traťová rychlost zde dosahuje 90 km/h. [20]



**Obr. 5.5 - Pohled na přejezd ve zkušebním úseku v Domažlicích**

Pro lepší orientaci v dílčích částech sledovaného úseku je na obr. 5.6 zobrazeno schéma zkušebního úseku a vedlejších navazujících úseků včetně popisu na nich provedených zásahů. Rekonstrukce zkušebního úseku v Domažlicích proběhla ve dnech 12. - 13. 6. 2015.



**Obr.5.6 - Schéma dílčích částí sledovaného úseku v Domažlicích [20]**

## 5.3 Popis aplikovaných geokompozitů

V každém ze zkušebních úseků byl aplikován jiný druh geokompozitu. V obou případech však geokompozit představuje spojení geotextilie s geomřížkou.

### **Blovice – Geokompozit TENSAR SS 30-G**

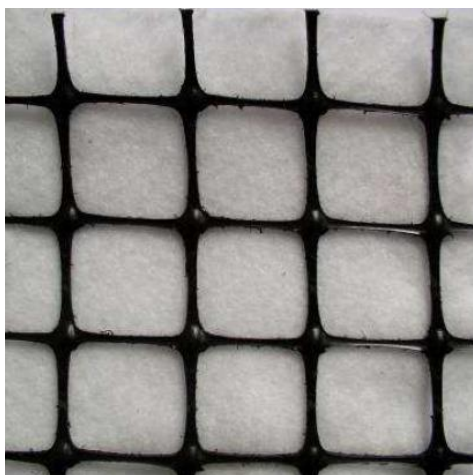
Pro zkušební úsek v Blovicích byl zvolen geokompozit označovaný jako TENSAR SS 30-G. Sestává z dvouosé monolitické geomřížky a netkané geotextilie (viz obr. 5.7). Dvouosá výztužná mřížka je vyrobena z děrované polypropylenové fólie, vyznačuje se vysokou pevností v tahu a nízkou průtažností. Zazubení hrubých zrn šterku ležícím na geomřížce zajišťují otvory o rozměrech 39 x 39 mm. Netkaná polypropylenová geotextilie plní separační funkci. Ke geomřížce byla pevně spojena během tepelného procesu. [19]

Technické parametry geokompozitu TENSAR SS 30-G jsou shrnuty v Tab. 1.

**Tab. 1 - Technické parametry geokompozitu TENSAR SS 30-G**

<b>Geokompozit Tensar SS30-G</b>			
Polymer	polypropylen		
Šířka role	m	3,8	
Délka role	m	50	
Hmotnost role	kg	105	
<b>Geomřížka SS30</b>		<b>MD</b>	<b>CMD</b>
Pevnost v tahu	kN/m	31,6 (-0,9)	33,2 (-1,3)
Zatížení při 2% deformaci	kN/m	10,5	10,5
Zatížení při 5% deformaci	kN/m	21,0	21,0
Protažení při max. zatížení	%	15,0 (±3,7)	10,0 (±1,6)
Pevnost spoje	%	90	86
Minimální množství uhlíku	%	2	
Plošná hmotnost	kg/m <sup>2</sup>	0,33	
<b>Geotextilie</b>			
Min. odolnost proti proražení CBR	N	1640 (-140)	
Efektivní velikost otvorů	µm	125	
Permeabilita	m/s	0,135	
Plošná hmotnost	kg/m <sup>2</sup>	0,16	

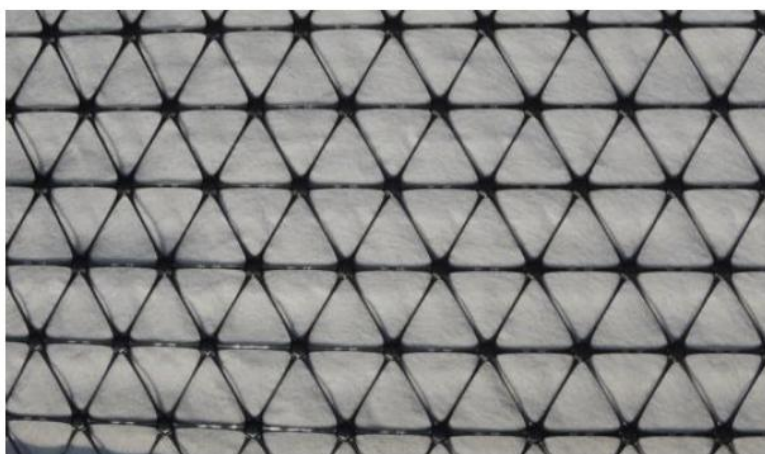
MD = podélný směr, CMD = příčný směr



**Obr. 5.7 - Geokompozit TENSAR SS 30-G [19]**

#### **Domažlice – Geokompozit TENSAR TriaX TX 190L-GN**

Provoznímu ověřování na zkušebním úseku v Domažlicích byl vystaven stabilizační geokompozit TENSAR TriaX TX190L-GN. Je tvořen hexagonální monolitickou geomřížkou pevně spojenou s netkanou geotextilií (viz obr. 5.8). Geokompozit plní funkci stabilizace kolejového lože, ke které dochází zaklesnutím zrn kameniva do otvorů v geomřížce, přičemž velikost otvorů geomřížky odpovídá standardní frakci kameniva kolejového lože - 32/63. Mimo stabilizační funkce má zmíněný geokompozit taktéž funkci separační - zabraňuje pronikání jemnozrné zeminy z podloží do kolejového lože. Detailní parametry geokompozitu jsou opět uvedeny v Tab. 2. [20]



**Obr. 5.8 - Geokompozit TENSAR TriaX TX190L-GN [20]**

**Tab. 2 - Technické parametry geokompozitu TENSAR TriaX TX190L-GN [20]**

Geokompozit TriaX TX190L-GN		
Polymer	polypropylen	
Šířka role	m	3,8
Délka role	m	50
Hmotnost role	kg	111
Rozteč hexagonu	mm	120 (±6)
Radiální tuhost při prodloužení 0,5 %	kN/m	540 (-90)
Radiální tuhost při prodloužení 2,0 %	kN/m	400 (-100)
Izotropní poměr tuhosti	-	0,75 (-0,15)
Účinnost uzlu	%	100 (-10)
Odolnost proti statickému protržení (CBR test)	kN	3,1 (-0,1)
Odolnost proti dynamickému protržení	mm	17 (+3)
Plošná hmotnost geokompozitu	kg/m <sup>2</sup>	0,585
Plošná hmotnost geotextilie	kg/m <sup>2</sup>	0,265
Efektivní velikost otvorů geotextilie	µm	95 (±28,5)
Propustnost vody kolmo k rovině	m/s	0,070 (-0,021)
Minimální množství uhlíku	%	2
Minimální trvanlivost	rok	50 (pH zeminy 4–9)

## 6. MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ DAT

Tato kapitola se týká zpracování a vyhodnocení obdržených dat z měřicího vozu pro oba sledované zkušební úseky. Soustředí se na tvorbu grafů zobrazujících vývoj jednotlivých GPK v čase. Dále se zaměřuje na stanovení účinnosti aplikace geokompozitu v obou zkušebních úsecích. Dalším, neméně důležitým bodem této kapitoly je provedení extrapolace dat pro vybraný parametr a následné ověření její kvality porovnáním vypočtených hodnot s hodnotami z nejnovějšího dostupného měření z měřicího vozu.

V neposlední řadě tato část práce řeší provedené měření GPK pomocí ručního měřicího vozíku typu KRAB S - Light. Je zde popsána organizace a průběh samotného měření, zpracování naměřených dat a jejich porovnání s výsledky z měřicího vozu. Závěrem jsou pak formulována doporučení pro hodnocení sledování GPK na úsecích provozního ověřování výztužného geokompozitu.

### 6.1 Vyhodnocení dat – Měřicí vůz železničního svršku

Pro zpracování diplomové práce byla odborníky laskavě poskytnuta data z měřicího vozu železničního svršku pro oba, již výše popsané zkušební úseky. Jedná se o sérii hrubých, dále nečištěných dat v .dm formátu, která byla pro potřebu diplomové práce převedena do textových souborů.

Pro zkušební úsek v Domažlicích byla poskytnuta data z let 2012 - 2018, vždy pro jarní měřicí kampaň (označeno číslem 1) a podzimní měřicí kampaň (označeno číslem 3). Pro zkušební úsek v Blovicích byla poskytnuta data z let 2007 - 2018, opět pro jarní a podzimní měřicí kampaň (kromě roku 2007, kde je k dispozici pouze podzimní měření). V souladu s procesem získávání dat byl zkušební úsek Blovice pracovním rozdělen na části *Blovice* pro roky 2011 - 2018 a *Blovice - starší* pro roky 2007 - 2010. Důvodem pro toto rozdělení byl jednak časový odstup v poskytnutí dat, ale především náročnost procesu převedení potřebných datových souborů ze starších formátů od oslovených odborníků.

Série poskytnutých dat pro Domažlice a pro Blovice obsahují následující parametry GPK:

- rozchod koleje RK
- směr levého kolejnicového pásu SLD1
- směr pravého kolejnicového pásu SPD1

- zborcení koleje ZKS
- báze zborcení koleje  $\ell$
- podélná výška levého kolejnicového pásu VLD1
- podélná výška pravého kolejnicového pásu VPD1
- podélná výška koleje v ose VKD2.

Dříve užívaný starší měřicí systém neuměl rozlišit parametr směru koleje zvlášť pro levý a pravý kolejnicový pás, měřil tedy pouze v ose. Kromě toho tento systém neměřil ve vlnovém pásmu D2. Obě tyto věci umožňoval až novější měřicí systém pro měření GPK používaný od roku 2011. Soubor dat pro *Blovice - starší* proto obsahují tyto parametry GPK:

- rozchod koleje RK
- směr koleje v ose SK D1
- zborcení koleje ZKS
- báze zborcení koleje  $\ell$
- podélná výška levého kolejnicového pásu VL D1
- podélná výška pravého kolejnicového pásu VP D1
- podélná výška koleje v ose VK D1.

Ke zpracování dat z obou měřicích úseků bylo v základě přistoupeno stejně. Vznikly celkem tři soubory dat a grafů - Domažlice, Blovice a Blovice - starší. Proces získávání, kontrolování a zpracování dat a následné tvorby potřebných grafů lze shrnout v několika bodech popsaných níže.

### **1. Import dat do Microsoft Excelu a jejich následná kontrola**

Nejprve byla všechna data z textových souborů importována do programu Microsoft Excel, a to v podobě po sebou jdoucích měřicích kampaních. Pro všechny měřicí kampaně byla provedena základní analýza, kterou měly být odhaleny případné anomálie týkající se plynulosti a úplnosti dat z jednotlivých měření - zdali jsou k dispozici všechna provedená měření, zdali jsou přítomny hodnoty pro všechny

parametry apod. V rámci této analýzy byly hned v několika případech odhaleny následující problémy:

- absence měřicí kampaně
- absence části dat v rámci měřicí kampaně (chyběla data pro jeden parametr)
- dvě různé měřicí kampaně obsahovaly totožná data, která byla podle staničení vůči sobě posunutá
- opakování části úseku/absence části úseku - ve smyslu staničení, ale včetně příslušných dat.

## **2. Kompletace dat**

Po odhalení výše popsaných problémů byl kontaktován příslušný odborník a bylo požádáno o doplnění chybějících dat. Proces získání dat, jejich následné kontrola a odhalení nedostatků se dokonce i několikrát opakoval, což naznačuje nelehkou práci při stahování potřebných dat z databází minulých měření a jejich přeformátování pro potřeby této práce. Nakonec se podařilo potřebná data zkompletovat. Soubory dat, jež měly v sobě opakující se či chybějící části dat byly řešeny tak, že byla využita pro grafické zobrazení celá, plynule naměřená data (bez opakování a přerušení), coby sekvence dat, jež není fixně závislá na uvedeném staničení. Problém lokalizace pak byl řešen v jednom z pozdějších kroků.

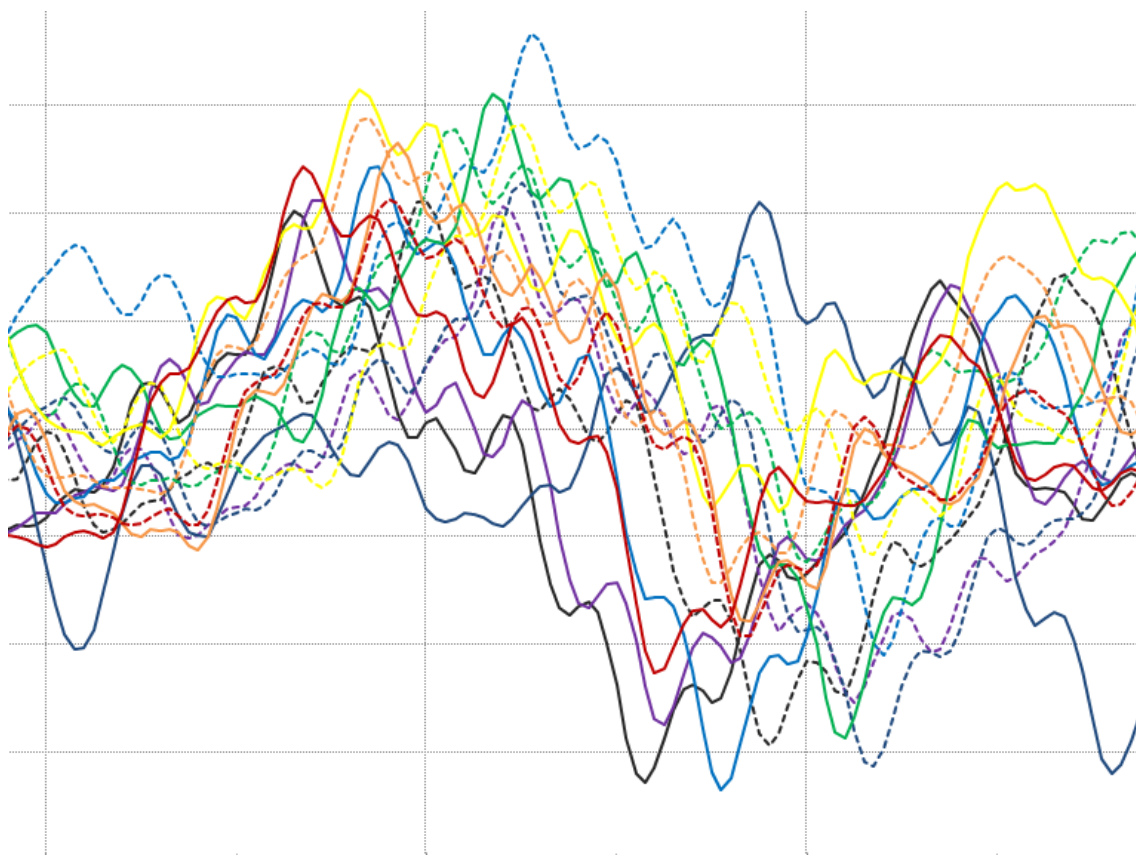
## **3. Vynesení hodnot pro jednotlivé parametry**

Další krok vedl již k samotnému zpracování zkompletovaných dat. Soubory byly rozděleny dle jednotlivých měřených parametrů tak, že pro každý parametr byla nashromážděna data ze všech dostupných měřících kampaní v časové návaznosti od nejstaršího po nejnovější měření. Data byla sestavena v souladu s originálním staničením v jednotlivých měřících kampaních, přičemž jako počáteční staničení celé sekvence dat bylo stanoveno staničení odpovídající reálnému kilometrickému začátku zkušebního úseku.



#### **4. Posuv a synchronizace jednotlivých měření**

Po vynesení všech dat pro daný rozsah staničení reprezentující příslušný zkušební úsek byl vytvořen primární graf pro jednotlivé veličiny. Z grafů byly jasně patrné obdobné charaktery jednotlivých průběhů měřeného parametru a jejich vzájemné posuvy vůči sobě - ve vztahu ke staničení. Vzhledem k této skutečnosti bylo nutné průběhy jednotlivých měření synchronizovat. Pro synchronizaci dat byl jako vstupní parametr zvolen rozchod koleje RK, který byl i odborníky doporučen jako nejvhodnější. V primárním grafu byl vybrán nejpřehlednější úsek s jasně definovaným lokálním extrémem a typickým charakterem průběhu parametru v rámci sledovaného úseku. Pro lepší názornost problému je na obr. 6.1 ukázán zvolený výřez grafu z měření v úseku v Blovicích. Posuvem jednotlivých měření vůči sobě bylo poté dosaženo stavu, kdy data z jednotlivých měření korelovala a vykazovala lokální extrémy ve stejných bodech staničení.



**Obr. 6.1 - Příklad grafického průběhu parametru RK před provedením synchronizace jednotlivých měření pro datový soubor Blovice**

## **5. Lokalizace**

Po dokončení posuvu měření, vyvstala nutnost přesné lokalizace dat ve spojitosti s konkrétním staničením. Protože na základě obdržených sad dat nebylo možné nijak určit, které z měření představuje věrnou polohu měření v souladu s reálným staničením, byla provedena korekce staničení na základě osobního měření GPK pomocí ručního měřicího vozíku KRAB S - Light, kde byla poloha vztažena k jasně definovanému místu staničení. Tento postup byl zvolen na základě pozitivních výsledků z měření pomocí ručního měřicího vozíku KRAB S - Light, což je detailněji popsáno v kapitole 6.4.

## **6. Tvorba finálních grafů**

Po konečné korekci staničení byly vytvořeny finální grafické průběhy GPK pro oba zkušební úseky, které jsou přiloženy v Příloze A. Příloha A.1 je věnována souboru dat Blovice, A.2 souboru dat Blovice - starší a A.3 pak souboru dat Domažlice. Ve všech třech souborech dat bylo jednotně zavedeno pravidlo grafické interpretace výsledků, kdy je provedené měření pro daný rok zobrazeno vždy ve stejné barvě, přičemž jarní kampaň je znázorněna plnou čarou a kampaň podzimní je znázorněna čarou přerušovanou. V rámci finálních grafických výstupů nejsou zobrazeny mezní hladiny odchylek pro jednotlivé parametry, neboť v převážné většině případů se hodnoty k těmto mezím nepřibližovaly a jejich znázorněním by byla omezena přehlednost výstupů. Mezní hladiny provozních odchylek definované ČSN 73 6360-2 jsou k dispozici v rámci Přílohy E. Grafy obsahují zvýraznění úseku s aplikovaným geokompozitem i jeho sousedních úseků, včetně stručného popisu jejich změn v rámci rekonstrukce.

## 6.2 Posouzení účinnosti aplikace geokompozitu

Pro posouzení účinnosti aplikace geokompozitu na zkušebních úsecích byly vytvořeny přehledné grafy zobrazující průběhy tří nejdůležitějších měření GPK, resp. měření mapujících stav před aplikací geokompozitu do konstrukce trati (resp. před rekonstrukcí), stav po aplikaci geokompozitu a stav při nejnovějším dostupném měření.

Jako reprezentativní parametr GPK byla zvolena podélná výška koleje, resp. podélná výška levého / pravého kolejnicového pásu (VLD1 / VPD1). Ve spojitosti s aplikací výztužného / stabilizačního geokompozitu jsou směr a podélná výška koleje parametry reprezentujícími stabilitu koleje. Příslušné grafy vybraného parametru jsou uvedeny v Příloze B.

### 6.2.1 Blovice

Grafické zobrazení průběhu parametrů podélné výšky levého i pravého kolejnicového pásu jsou pro zkušební úsek v Blovicích uvedeny v Příloze B.1. Na grafech jsou zobrazeny, jak bylo již dříve nastíněno, tři, pro posouzení účinnosti geokompozitu nejdůležitější měření:

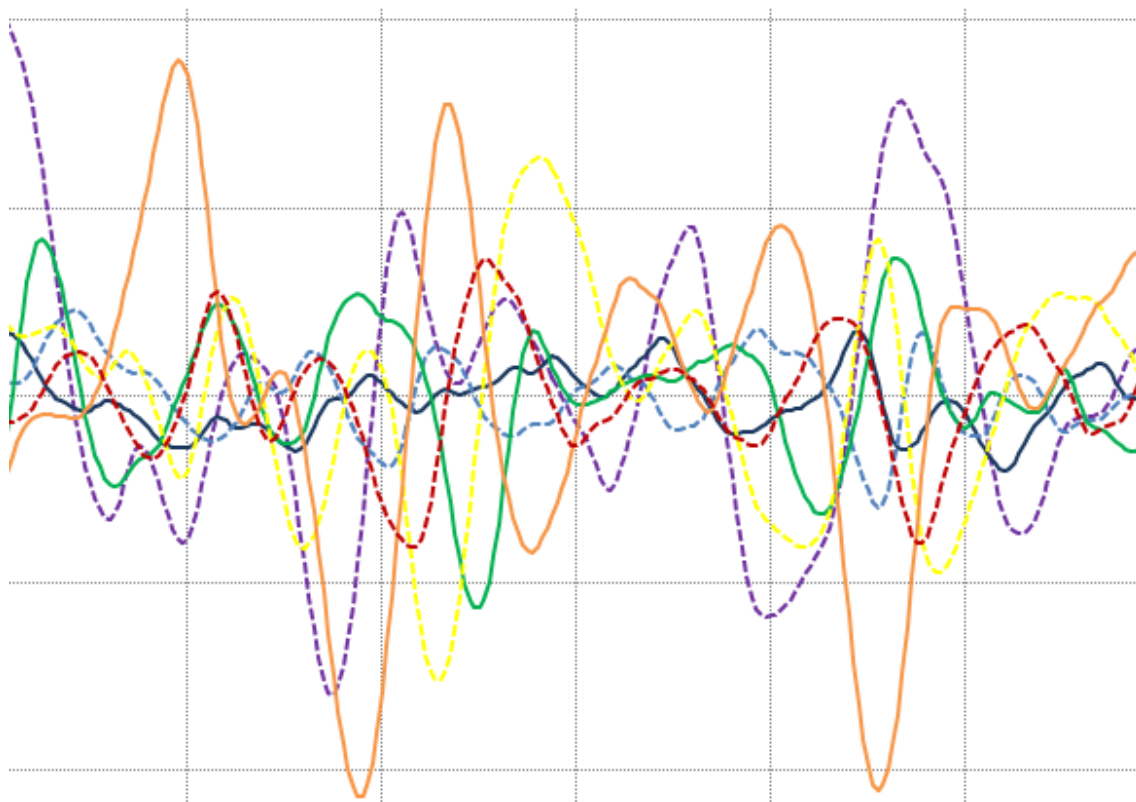
- 3. měřicí kampaň z roku 2007 mapující stav před aplikací geokompozitu (zobrazeno modře)
- 1. měřicí kampaň z roku 2008 mapující stav po aplikaci geokompozitu (zobrazeno zeleně)
- 3. měřicí kampaň z roku 2018 reprezentující stav během nejnovějšího dostupného měření úseku (zobrazeno červeně).

Pro lepší přehlednost je v grafech zvýrazněna oblast uložení geokompozitu ve staničení km 326,095 až km 326,280.

Rekonstrukce provedená v květnu roku 2008, v rámci které bylo na celém úseku upraveno kolejové lože, přinesla razantní zlepšení geometrických parametrů koleje. Největší výchylky podélné výšky obou kolejnicových pásů se převážně vyskytovaly v právě později vybraném úseku pro umístění GCO. Rekonstrukcí byly výchylky sraženy na minimální hodnoty v celém sledovaném úseku. V průběhu posledních deseti let sledování daného úseku je vidět značný nárůst výchylek, a to i v úseku s aplikovaným geokompozitem. Konkrétně se jedná o oblast okolo km 326,245, kde

vzhledem ke geologickým vlastnostem úseku a výši naměřených výchylek zřejmě došlo ke vzniku zabláčeného místa. To je v rozporu s předpokládanou funkcí geokompozitu, který by vzniku právě takovýchto míst měl zabránit. Nabízí se tedy vysvětlení, že došlo k nekvalitní instalaci geokompozitu (nedodržení technologického postupu pokládky, porušení geokompozitu, nedodržení požadovaných přesahů apod.). Další možností je následné mechanické porušení vloženého geokompozitu, které mohlo být způsobeno například pojezdem automatické strojní podbíječky. Vibrující lopatky podbíjecího agregátu mohly potřhat instalovaný geokompozit, resp. v něm vytvořit díry, kterými později pronikal jemnozrný materiál směrem vzhůru do kolejového lože.

Na základě tohoto zjištění byla podrobněji analyzována data z měřicích kampaní následujících po aplikaci geokompozitu, která by mohla upřesnit dobu vzniku defektu, resp. objasnit, zdali došlo k výraznějšímu zhoršení v nějakém konkrétním roce nebo byl nárůst výchylek pozvolný. Z obr. 6.2 je patrné, že již v rámci prvních tří let provozního ověřování došlo ke značnému nárůstu výchylek. Mezi oběma měřicími kampaněmi z roku 2010 (zobrazeno oranžovou plnou a červenou přerušovanou čarou) jsou pozorovatelná výrazná zlepšení výchylek měřeného parametru, pravděpodobně z důvodu mimořádného opravného zásahu.



**Obr. 6.2 - Průběh parametru VLD1 v čase (ZÚ Blovice)**

V místech přechodových oblastí mezi úseky s geokompozitem a bez něj by se daly očekávat větší výchylky hodnot v důsledku změn tuhosti podloží. Zdejší výchylky ovšem nejsou nijak výjimečně velké v porovnání s výchylkami vyskytujícími se napříč celým úsekem.

Obecně lze konstatovat, že na zkušebním úseku v Blovicích nebyl prokázán výrazný pozitivní vliv aplikace geokompozitu na parametr podélné výšky koleje. Na celém sledovaném úseku byly během dlouholetého sledování často zpozorovány významné nárůsty výchylek. Přestože byly z grafických průběhů podélné výšky koleje vyčteny pravděpodobné opravné zásahy (2010\_3, 2012\_3, 2015\_3), docházelo i po provedení oprav k opětovnému výraznému nárůstu výchylek. To vypovídá o nedokonalé funkci aplikovaného geokompozitu. S vysokou pravděpodobností došlo během rekonstrukce, či krátkého období po rekonstrukci, k mechanickému poškození geokompozitu, což mělo za následek narušení jeho separační funkce. Z dlouhodobého hlediska, a na základě pravidelných měření, lze konstatovat, že na daném zkušebním úseku nebyl, z pohledu průběhu parametru podélné výšky koleje, prokázán stabilizační účinek geokompozitu TENSAR SS 30-G.

### 6.2.2 Domažlice

Grafické zobrazení průběhu parametrů podélné výšky levého i pravého kolejnicového pásu jsou pro druhý zkušební úsek v Domažlicích přiloženy v Příloze B.2. Obdobně jako v případě zkušebního úseku v Blovicích jsou v grafech vynesena tři měření:

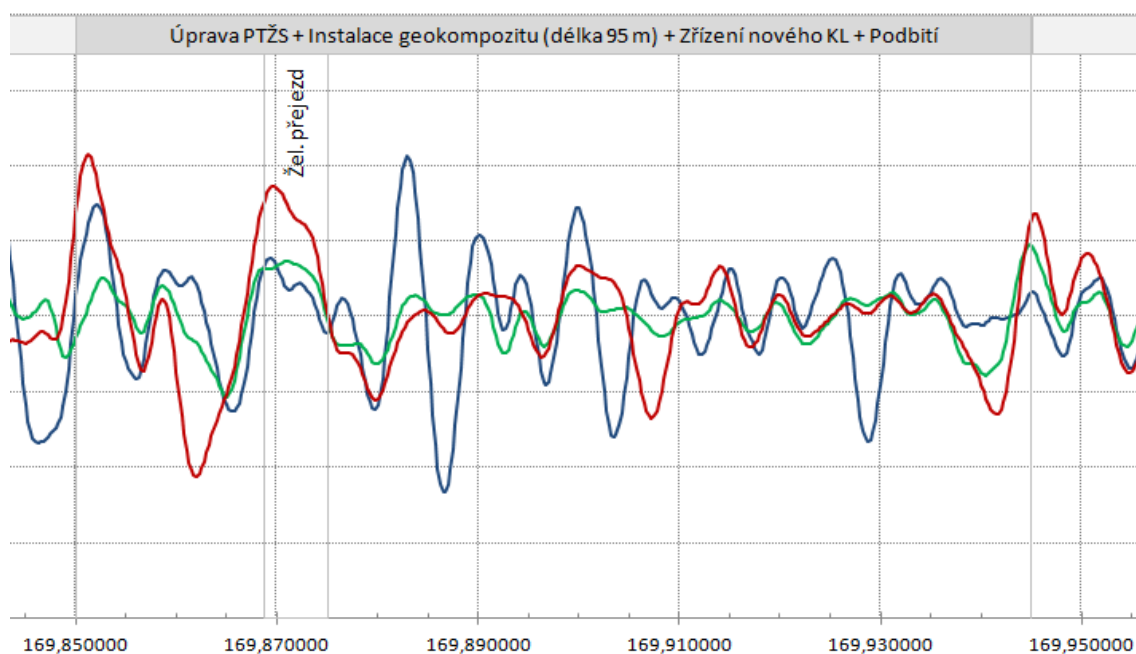
- 1. měřicí kampaň z roku 2015 mapující stav před aplikací geokompozitu (zobrazeno modře)
- 3. měřicí kampaň z roku 2015 mapující stav po aplikaci geokompozitu (zobrazeno zeleně)
- 3. měřicí kampaň z roku 2018 reprezentující stav během nejnovějšího dostupného měření úseku (zobrazeno červeně).

K situaci posouzení účinnosti geokompozitu ve zkušebním úseku v Domažlicích je třeba přistupovat jinak, než ke zkušebnímu úseku v Blovicích. Jak již bylo řečeno, celý sledovaný úsek je rozdělen do tří dílčích úseků, přičemž na každém z nich byly provedeny jiné úpravy (podrobněji zobrazeno na obr. 5.6 viz výše). Základní informace o provedených úpravách na jednotlivých dílčích úsecích jsou pro lepší přehled uvedeny

i v popisu jednotlivých grafů. Nejdůležitější informací je pak rozsah umístění geokompozitu ve staničení km 169,850 až km 169,945.

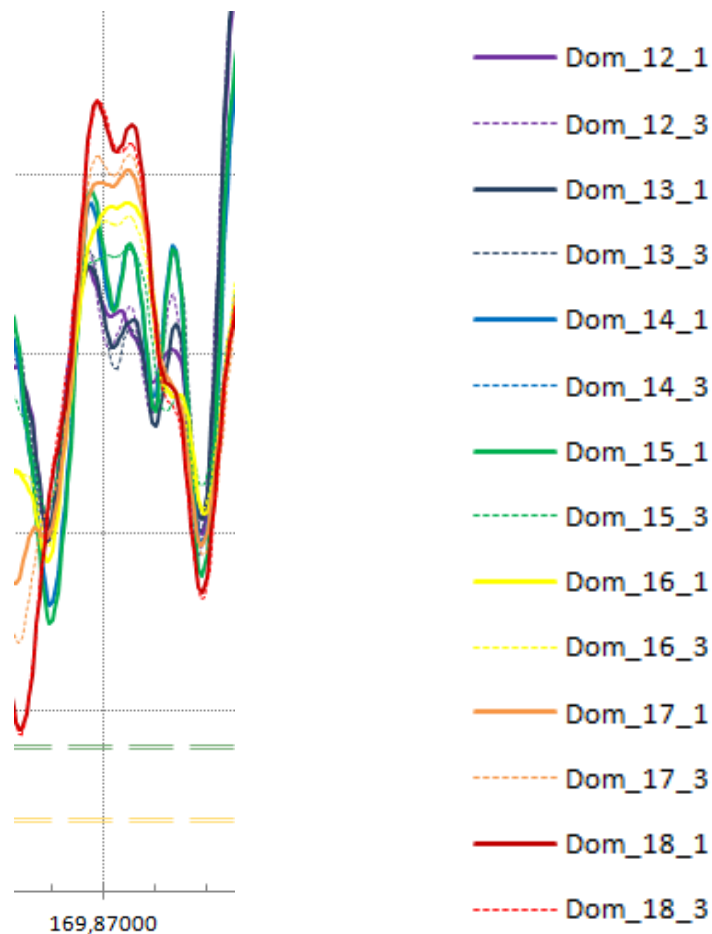
Rekonstrukce konaná v červnu roku 2015 měla za následek výrazné zlepšení parametrů GPK v případě prvních dvou dílčích úseků, kde byla provedena úprava kolejového lože. To je velmi dobře viditelné na výrazném snížení výchylek naměřených hodnot v uvedených grafech. Velký význam rekonstrukce je patrný zejména při porovnání prvního a třetí dílčího navazujícího úseku. Třetí, tedy poslední dílčí úsek nijak rekonstruován nebyl; rozdíl zde viditelný není. V průběhu dlouholetého sledování úsek bez úprav vykazuje pozvolné a plynulé narůstání výchylek sledované podélné výšky koleje. Tento fakt je jasně patrný i ze zobrazení grafických průběhů všech naměřených parametrů (viz Příloha A.3).

Rozdíly naměřených hodnot po rekonstrukci úseku od roku 2015 v časovém rozmezí tří let, jsou v grafech patrné, a to i v porovnání jednotlivých dílčích úseků mezi sebou. Pominou-li se přechodové oblasti mezi úseky s geokompozitem a bez něj, stejně jako oblasti v bezprostřední blízkosti úrovnového přejezdu, lze konstatovat, že naměřené hodnoty výchylek po provedené rekonstrukci (zobrazeno zeleně) oproti hodnotám výchylek dostupných z neaktuálnějšího měření měřicím vozem (zobrazeno červeně) pro úsek s instalovaným geokompozitem významně nenarůstají. Až na výjimku v blízkosti km 169,910 se průběhy výrazněji neliší ani kvantitativně. Výraznější nárůst výchylek je pak viditelný v oblasti přejezdu v km 169,870 a před ním. Komentovaná oblast je podchycena na obr. 6.3.



**Obr. 6.3 - Průběh parametru VLD1 pro posouzení účinnosti GCO (ZÚ Domažlice)**

Úsek 95 m je však v porovnání se starším zkušebním úsekem v Blovicích mnohem kratší a navíc je ovlivněn přítomností úrovnového přejezdu, který se vyskytuje cca 15 m od počátku aplikace geokompozitu. V bezprostřední blízkosti obdobných specifických míst se vyskytují kratší či delší přechodové oblasti, ve kterých dochází ke změně tuhosti podloží a ke změnám z hlediska namáhání konstrukce. Z těchto přechodových oblastí není možné spolehlivě vyčíst typické chování vyztužené konstrukce trati. Úrovnový přejezd je přirozeně namáhán jinak, neboť je oproti běžnému pojezdu drážních vozidel zatížen navíc i automobilovou dopravou. Proto je pro určení typického průběhu veličiny a stanovení účinku geokompozitu k dispozici pouze cca 65 m. Důležitým poznatkem však zůstává, že navýšení výchyly podélné výšky v oblasti přejezdu není nikterak zlepšeno aplikací geokompozitu. Z obr. 6.4 lze vyčíst, že rychlost nárůstu výchyly podélné výšky v čase se po aplikaci geokompozitu nijak zvlášť nemění. Zhodnocení efektu geokompozitu v oblasti přejezdu je obtížné. Pro komplexní zhodnocení účinnosti geokompozitu v oblasti přejezdu by bylo nutné vzít v potaz i data týkající se jeho namáhání automobilovým provozem.



**Obr. 6.4 - Průběh parametru VLD1 v oblasti přejezdu ve ZÚ v Domažlicích**

První dílčí úsek sousedící s úsekem s aplikovaným geokompozitem je úsekem, kde bylo během rekonstrukce strojně vyčištěno kolejové lože a následně bylo podbito. Takto opravený úsek vykazuje po třech letech provozního ověřování významnější zvětšení výchylek hlavně ve svém středu, tj. zhruba v km 169,775 až km 169,835. Pouze začátek tohoto dílčího úseku (část levostranného oblouku v přechodnici) ukazuje velice dobrou korelaci dat naměřených po rekonstrukci a během posledního měření.

Vzájemné porovnání všech tří navazujících sledovaných úseků bylo dobře proveditelné, neboť jednotlivé úseky vykazovaly odlišné vlastnosti vzhledem ke konkrétním provedeným úpravám. Třetí dílčí úsek, tedy úsek bez jakýchkoliv provedených úprav, je bezpečně odlišitelný od ostatních dvou dílčích úseků díky vysoké korelaci a plynulému nárůstu výchylek měřených veličin. Rozdíl mezi prvním dílčím úsekem a druhým úsekem s instalovaným geokompozitem je taktéž pozorovatelný a poukazuje na pozitivní vliv umístění geokompozitu pod kolejové lože. Účinnost aplikace geokompozitu TENSAR TriaX TX190L-GN se pro zkušební úsek v Domažlicích jeví jako dobrá.



## **6.3 Extrapolace dat a předpověď budoucího chování konstrukce, porovnání a ověření správnosti odhadu**

Pro účely této práce byla na základě dostupných dat z měřicího vozu provedena základní extrapolace dat do následného časového období a byla posouzena její kvalita porovnáním vypočtených odhadů s hodnotami z reálného měření. Pro výpočet odhadu budoucího chování konstrukce trati byl opět vybrán parametr podélné výšky koleje, resp. podélná výška levého / pravého kolejnicového pásu (VLD1 / VPD1). Grafická znázornění porovnávaných hodnot podélné výšky obou kolejnicových pásů jsou přiložena v Příloze C.

### **6.3.1 Úvodní analýza dat pro extrapolaci**

Vzhledem k velkému množství dostupných dat a jejich nerovnoměrnému časovému vývoji, který je definován častými nárůsty výchylek jednotlivých parametrů a jejich následnými redukcemi způsobenými provedením opravných prací, nebyl takto nepravidelný a nejasný časový průběh veličin vhodný pro provedení základní extrapolace. Vezme-li se navíc v úvahu fakt, že nebyly k dispozici spolehlivé informace o době uskutečnění a charakteru oprav, nebylo by možné řádně provést extrapolaci na základě dlouhodobé série dat. Jelikož tato práce pojednává o sledování úseků s aplikovaným výztužným / stabilizačním geokompozitem, je nasnadě, aby předpověď budoucího chování konstrukce proběhla až na základě několika dostupných měření již z let provozního ověřování instalovaného geokompozitu. Podle tohoto kritéria byla provedena extrapolace na základě tří sad měření za tři roky provozního ověřování geokompozitu na obou zkušebních úsecích.

Pro přehlednost a zjednodušení byla vždy vybrána pouze jedna měřicí kampaň za rok. Pro oba zkušební úseky byla zvolena jednotně 3. (podzimní) měřicí kampaň, a to rovnou z několika důvodů. Rekonstrukce úseku a pokládka geokompozitu proběhla v roce 2015 mezi 1. a 3. měřicí kampaní, a tudíž první dostupné měření po aplikaci geokompozitu je podzimní měření z roku 2015. Poslední dostupné měření proběhlo taktéž na podzim. Tyto dvě skutečnosti vedly k využití rovnoměrného časového intervalu mezi jednotlivými měřicími kampaněmi pro následnou extrapolaci.

Výchozí sady dat pro výpočet odhadu budoucího průběhu parametru podélné výšky se týkaly roků 2015, 2016 a 2017 pro oba zkušební úseky. Extrapolované hodnoty vypočtené na základě dat ze zmíněných let pak byly porovnány s reálně

naměřenými hodnotami VLD1 / VPD1 z 3. měřicí kampaně roku 2018, tzn. s nejnovějším dostupným měřením. Jako základní soubor dat pro stanovení algoritmu extrapolace byl vybrán zkušební úsek v Domažlicích, neboť je průběh zvolené analyzované veličiny (VPD1) v tomto úseku přehlednější než u staršího zkušebního úseku v Blovicích.

Pro zmapování průběhu parametru podélné výšky bylo vytipováno šest oblastí s rozdílným průběhem (nárůstem nebo poklesem) výchylek v čase, resp. mezi jednotlivými podzimními kampaněmi. Snahou bylo podchytit co nejvíce kombinací průběhu výchylek a poukázat na nejednotný vývoj parametru v čase. K uskutečnění tohoto kroku byl vybrán parametr VPD1 (podélná výška pravého kolejnicového pásu) ze zkušebního úseku v Domažlicích. Graf vývoje podélné výšky v letech 2015 - 2018 je zobrazen v Příloze C.1. Jsou zde zvýrazněna vybraná místa pro analýzu typického vývoje výchylek. Výchozí roky pro následnou extrapolaci jsou v grafu takto barevně odlišeny:

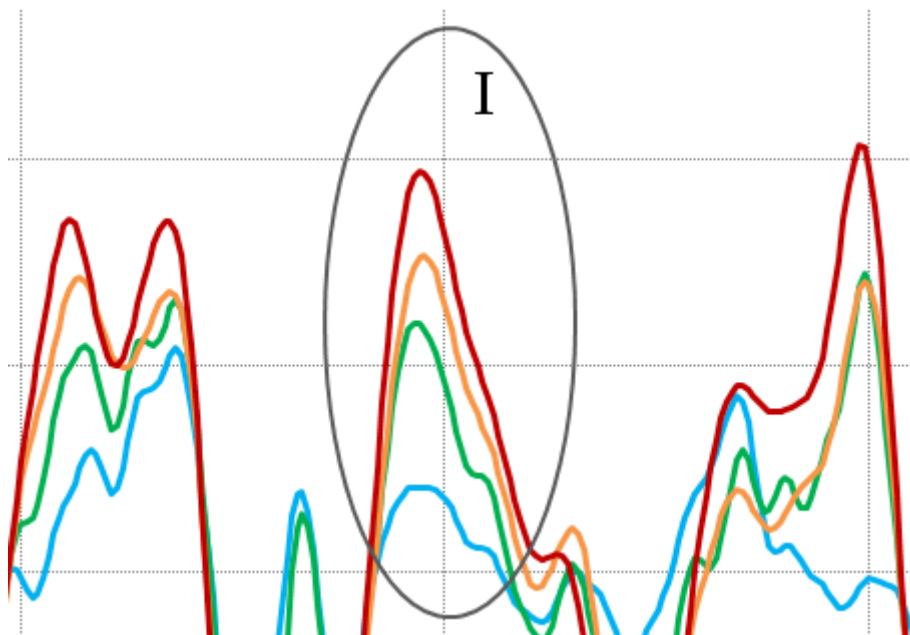
- modře rok 2015
- zeleně rok 2016
- oranžově rok 2017
- červeně rok 2018.

Jak je z grafu v Příloze C.1 patrné, vybraná místa mají přiřazeny římské číslice od **I** do **VI**, a každému z nich připadá odlišný vývoj podélné výšky pravého kolejnicového pásu. Na detailu **I** (viz obr. 6.5) lze vidět případ plynule rostoucí kladné výchylky.

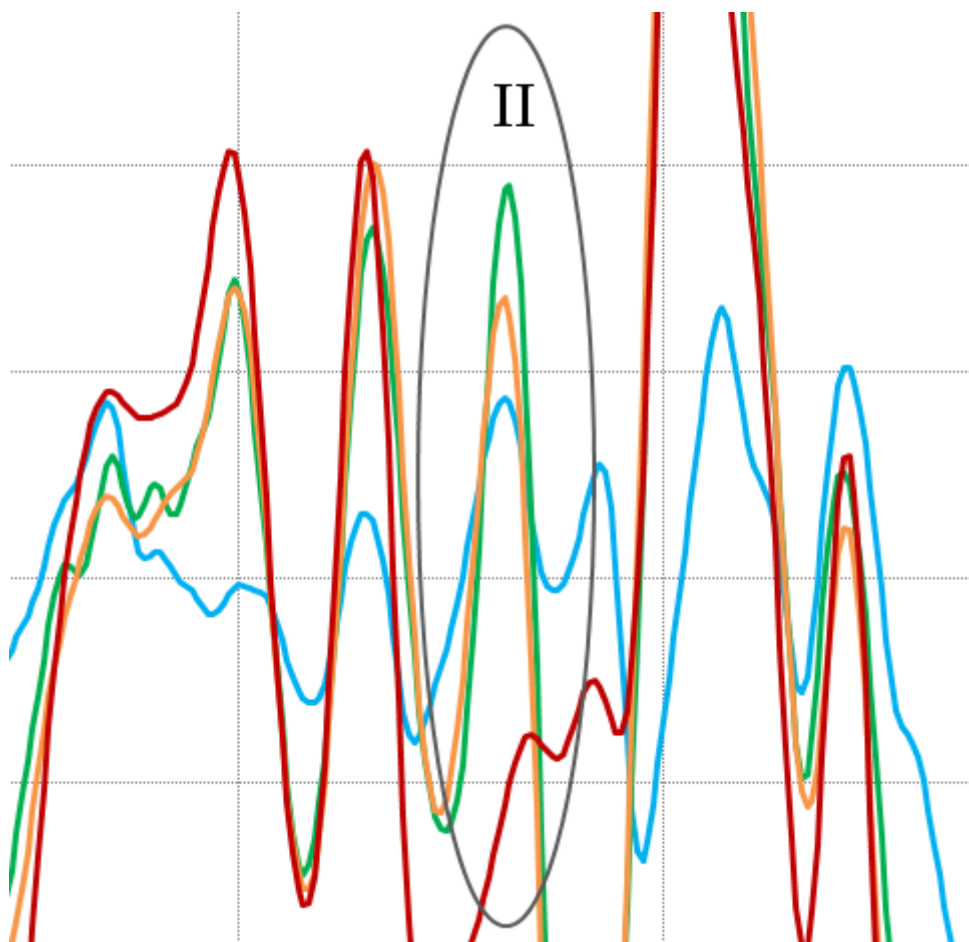
Odlišný průběh výchylky je k vidění v detailu **II** vyobrazeném na obr. 6.6, kdy výchylka pro první roky narůstá, ale během dalších roků opět klesá.

Detail číslo **III** pak ukazuje obdobný charakter nárůstu výchylky jako v detailu **I**, ovšem v tomto případě se jedná o nárůst záporné výchylky. Detail **IV** zobrazuje skoro totožné hodnoty výchylek pro roky 2015 - 2016, nicméně lze pozorovat nárůst výchylek v následujících letech. Detaily **III** a **IV** zobrazuje obr. 6.7.

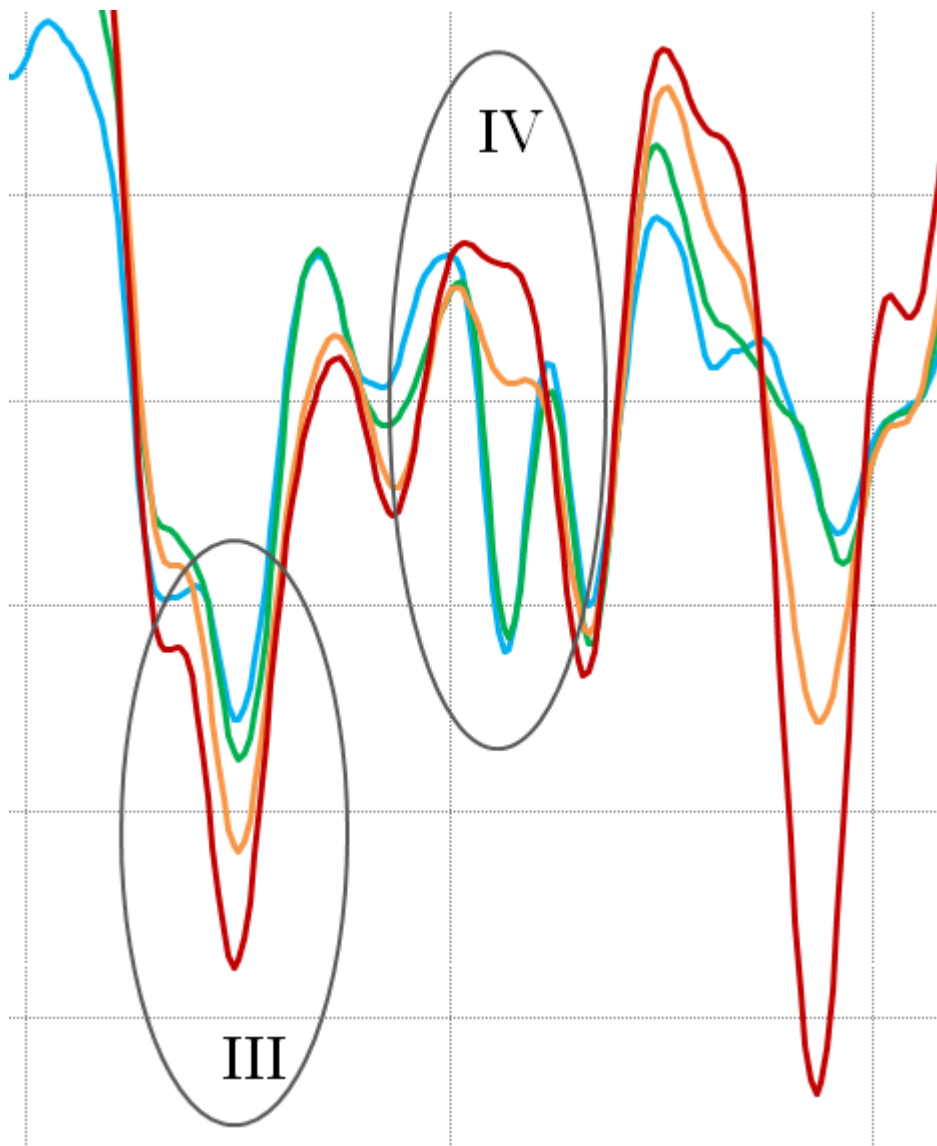
Na detailu **V** (viz obr. 6.8) je viditelná skoková změna ve vývoji parametru. Poslední detail **VI** zobrazuje nárůst výchylky z let 2015 - 2016 a její následnou stagnaci během dalších let (viz obr. 6.9).



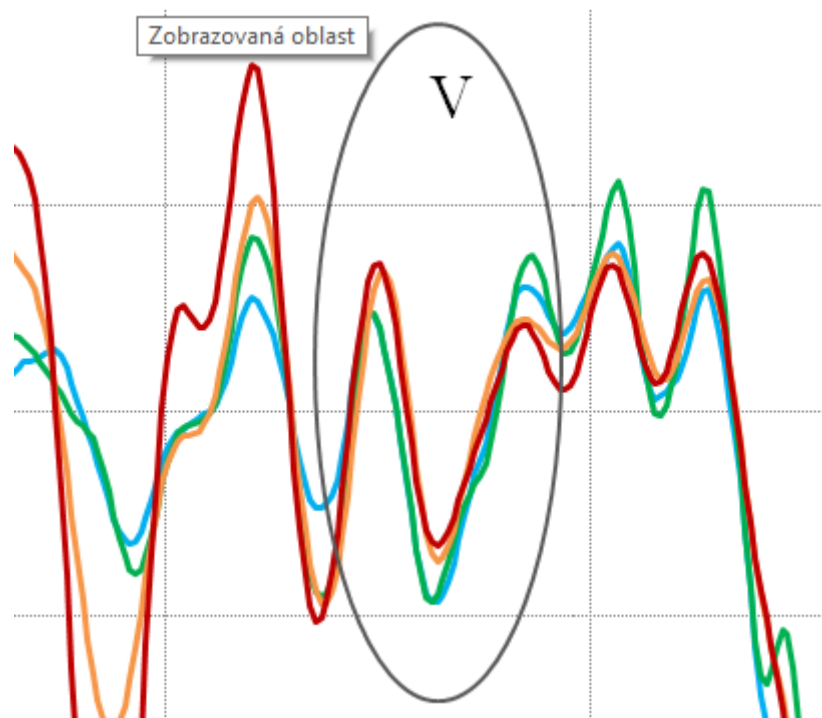
**Obr. 6.5 - Detail I průběhu parametru VPD1 pro roky 2015 - 2018**



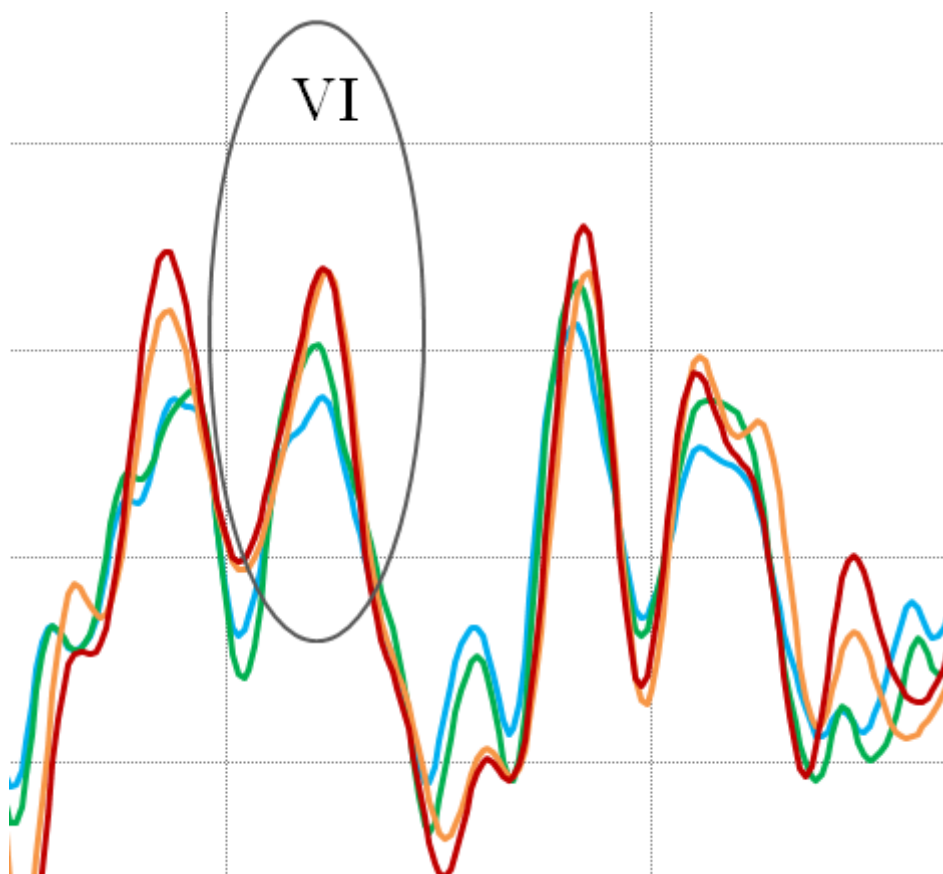
**Obr. 6.6 - Detail II průběhu parametru VPD1 pro roky 2015 - 2018**



**Obr. 6.7 - Detail III a IV průběhu parametru VPD1 pro roky 2015 - 2018**



**Obr. 6.8 - Detail V průběhu parametru VPD1 pro roky 2015 - 2018**



**Obr. 6.9 - Detail IV průběhu parametru VPD1 pro roky 2015 - 2018**

### 6.3.2. Tvorba algoritmů pro extrapolaci

Po provedení základní analýzy konkrétních detailů napříč zkoumaným úsekem bylo přistoupeno k návrhům algoritmu extrapolace. Původní předpoklad byl, že výchylka s postupem času bude dále narůstat v původním směru. Zkoumané detaily však prokázaly, že skutečnost je mnohem složitější a v daném úseku se relativně často objevují místa s původně neočekávaným vývojem výchylek. V rámci předpovídání budoucího chování konstrukce (reprezentovaného parametrem podélné výšky) byly formulovány celkem tři jednoduché algoritmy extrapolace. Protože je vývoj výchylek obtížně odhadnutelný, byly algoritmy koncipovány jako odhady budoucích výchylek vycházejících z vývoje výchylek předchozích.

První typ extrapolace, pro jednoduchost nazvaný jako *Odhad 1*, je definován následujícím způsobem:

$$\text{Odhad 1} = VPD1_{2017} + (\Delta 2 - \Delta 1), \quad (4)$$

$$\text{kde } \Delta 1 = VPD1_{2016} - VPD1_{2015}$$

$$\Delta 2 = VPD1_{2017} - VPD1_{2016}.$$

Druhý typ extrapolace nazvaný *Odhad 2* popisuje tato rovnice:

$$\text{Odhad 2} = VPD1_{2017} + (|\Delta 2| - |\Delta 1|). \quad (5)$$

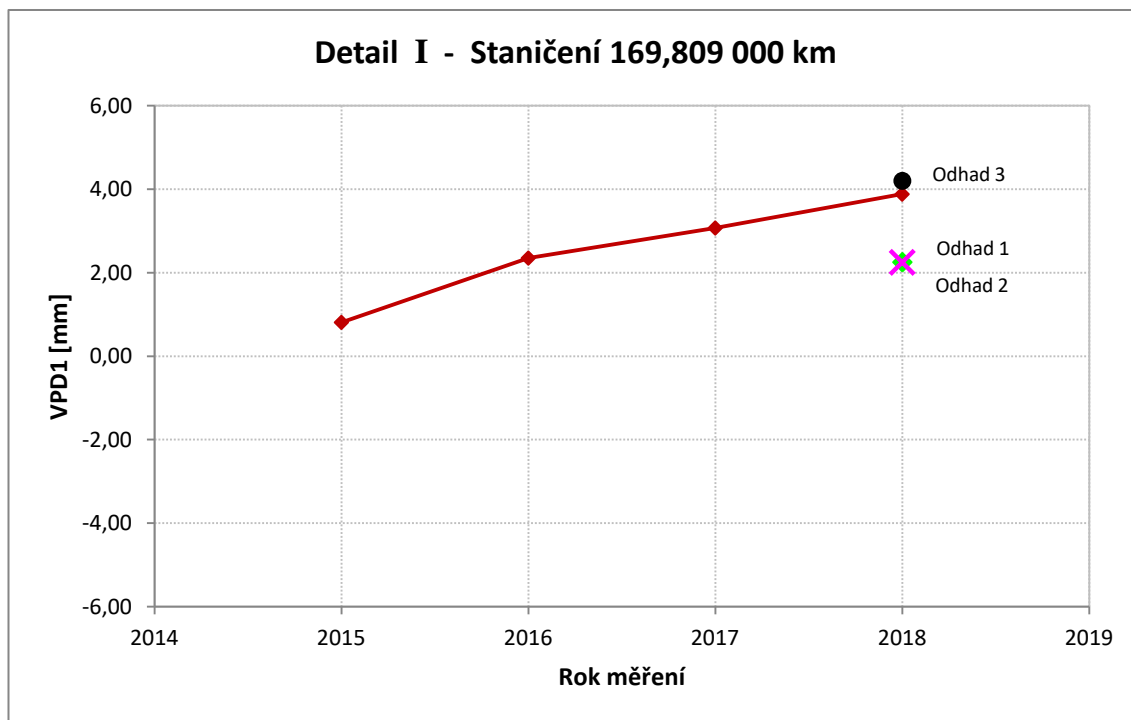
Třetí a poslední typ extrapolace je *Odhad 3* definovaný takto:

$$\text{Odhad 3} = VPD1_{2017} + (\Delta 2 + \Delta 1)/2. \quad (6)$$

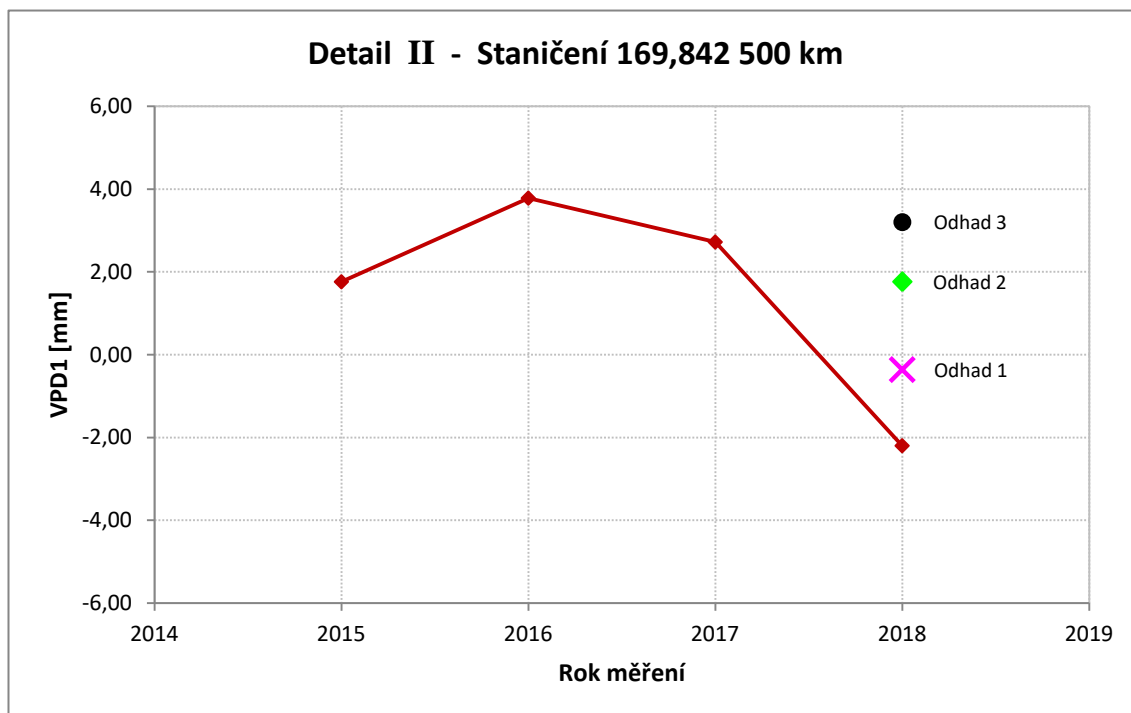
Všechny tři typy extrapolace byly aplikovány na parametr podélné výšky obou kolejnicových pásů v obou zkušebních úsecích. Pro jednotlivé zkušební úseky a zkoumané parametry byly vytvořeny přehledné grafy zobrazující průběhy všech typů extrapolace spolu s naměřenými hodnotami v podzimní měřicí kampani roku 2018. Tyto grafy jsou přiloženy v Příloze C.2 pro Blovice a v Příloze C.3 pro Domažlice. Pro všechny výsledné grafy extrapolací platí následné barevné rozlišení:

- červeně - reálně naměřené hodnoty 18\_3
- růžově - hodnoty Odhadu 1
- zeleně - hodnoty Odhadu 2
- černě - hodnoty Odhadu 3.

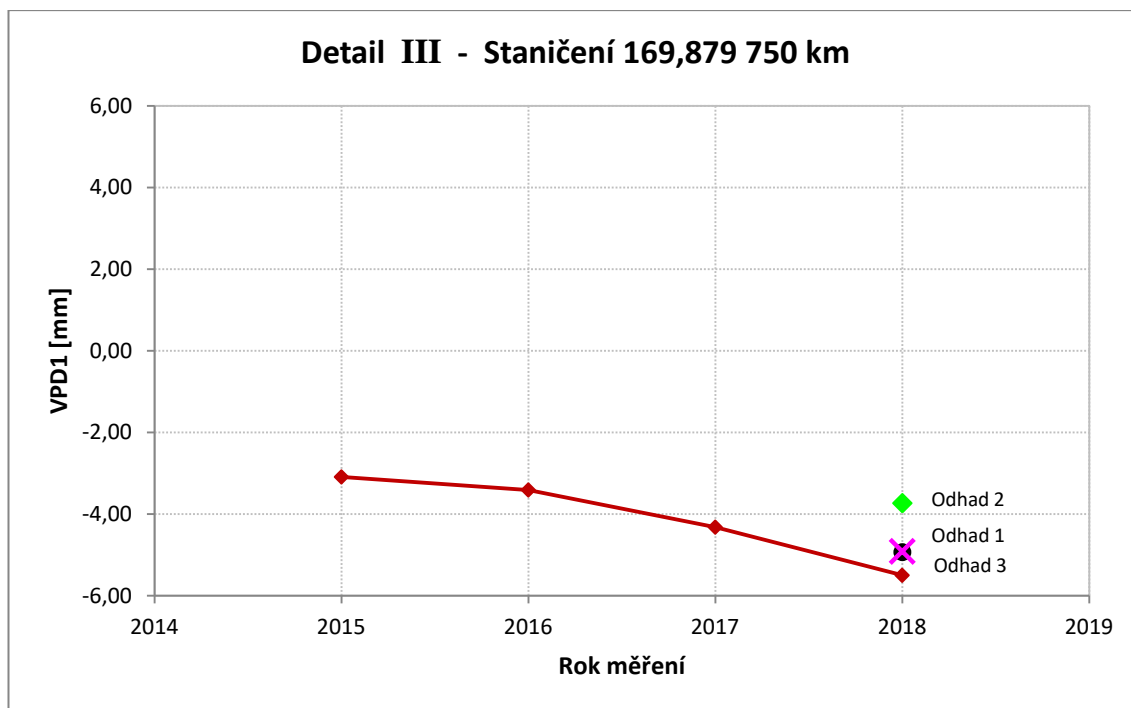
Názorný průběh vývoje výchylek v jednotlivých vybraných detailech je zobrazen v řadě grafů viz níže (obr. 6.10 - 6.15.). V každém grafu jsou vyznačeny všechny tři extrapolované hodnoty pro rok 2018. Barevné rozlišení zůstává zachováno.



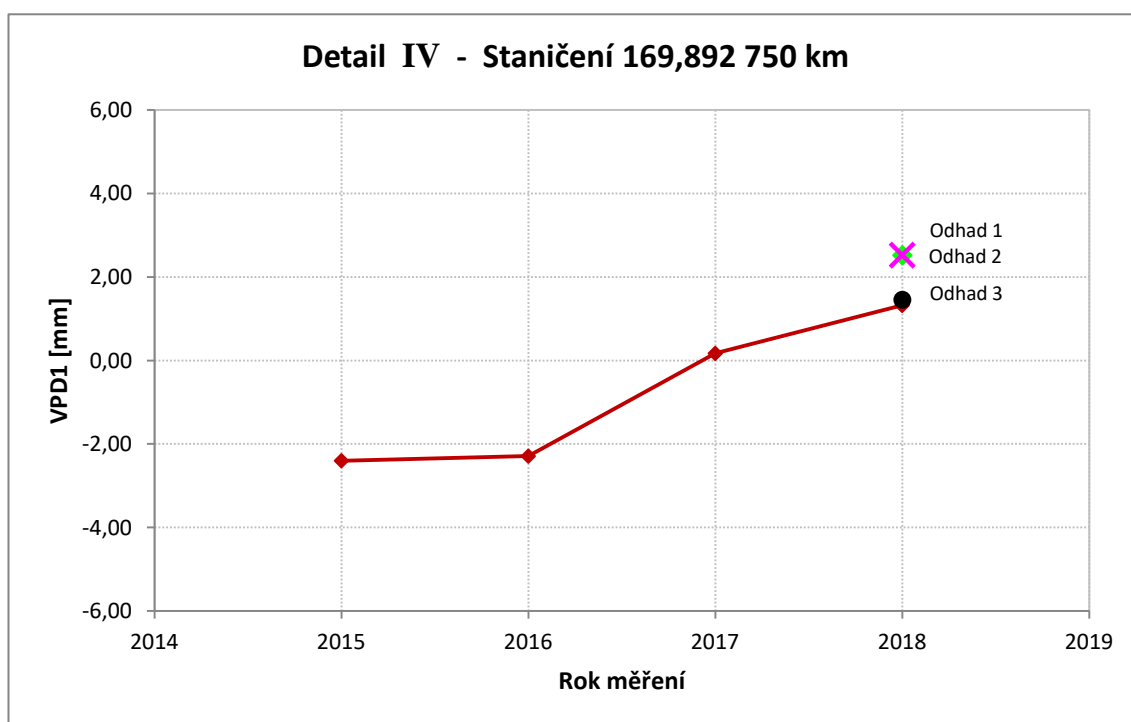
**Obr. 6.10 - Hodnoty parametru VPD1 pro ZÚ v Domažlicích pro Detail I**



**Obr. 6.11 - Hodnoty parametru VPD1 pro ZÚ v Domažlicích pro Detail II**

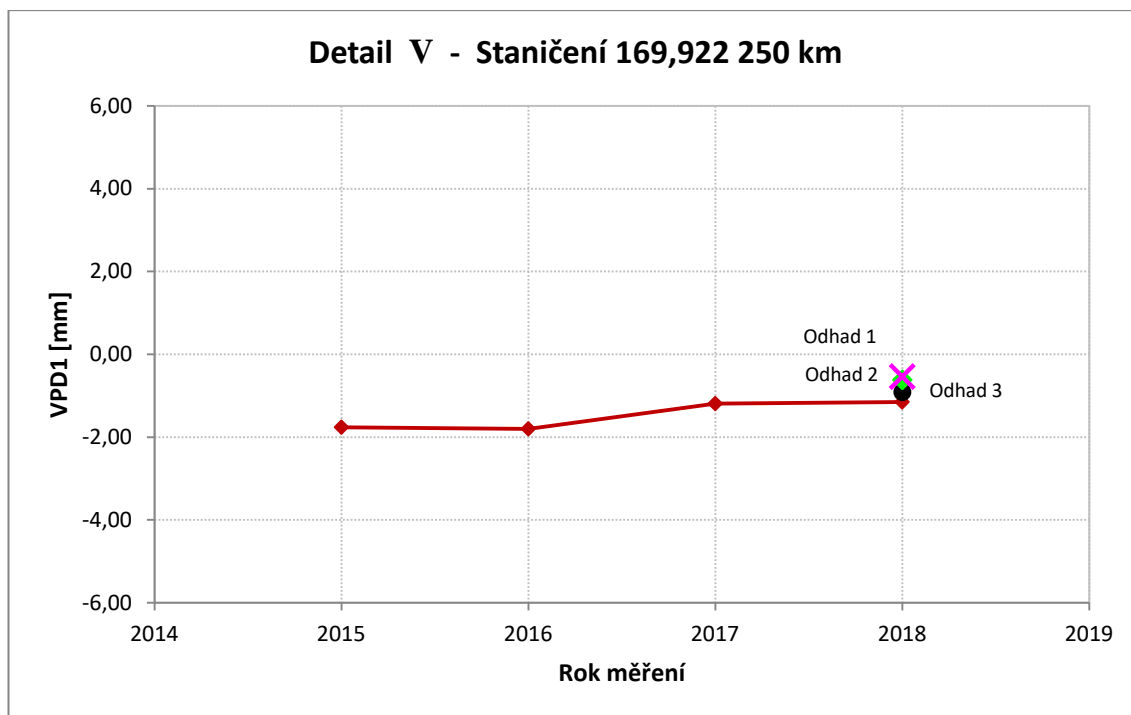


**Obr. 6.12 - Hodnoty parametru VPD1 pro ZÚ v Domažlicích pro Detail III**

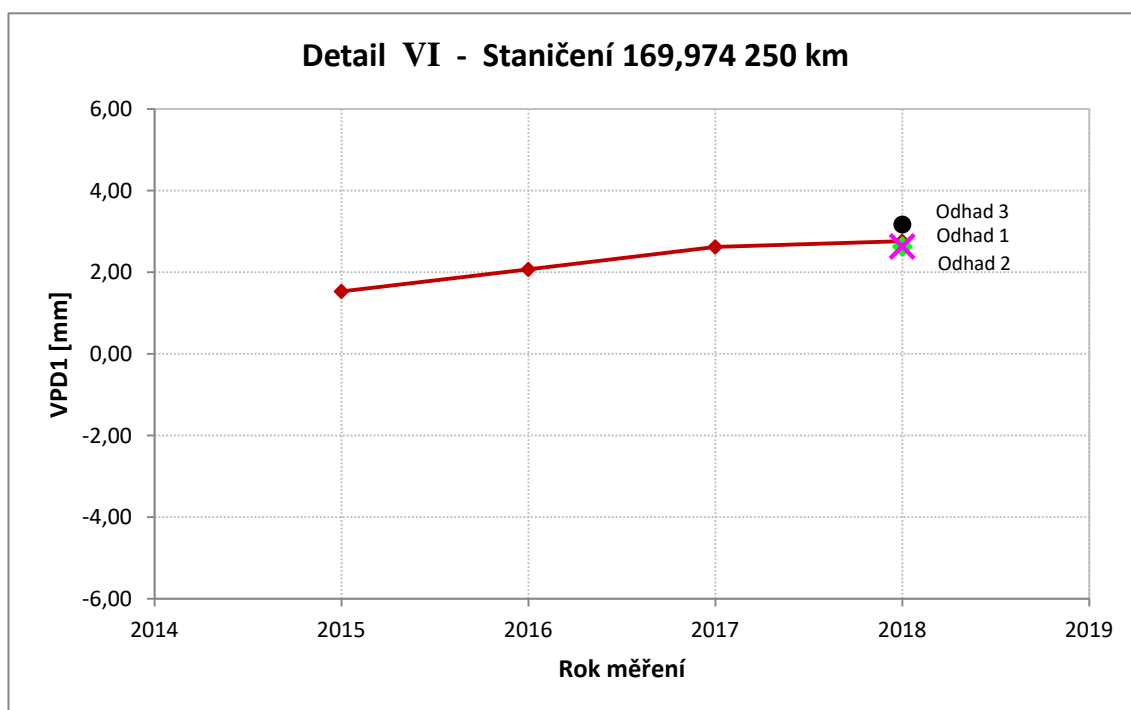


**Obr. 6.13 - Hodnoty parametru VPD1 pro ZÚ v Domažlicích pro Detail IV**





**Obr. 6.14 - Hodnoty parametru VPD1 pro ZÚ v Domažlicích pro Detail V**



**Obr. 6.15 - Hodnoty parametru VPD1 pro ZÚ v Domažlicích pro Detail VI**

### 6.3.3 Posouzení kvality extrapolace

Na základě vytvořených grafů přiložených v Příloze C a grafů uvedených v minulé kapitole, lze konstatovat, že průběh extrapolovaných hodnot Odhadu 3 (zobrazen černou barvou) s reálně naměřenými hodnotami parametru podélné výšky levého / pravého kolejnicového pásu koreluje nejlépe. Původní typy extrapolace jsou v grafech ponechány pro znázornění rozdílů mezi jednotlivými přístupy k předpovědi budoucího chování výchylek podélné výšky koleje. V následujících odstavcích je detailněji popsán proces tvorby finální extrapoláční křivky a následné posouzení kvality předpovědi výsledků.

Předpoklad formulování odhadu 1 je, že difference mezi jednotlivými měřeními bude každý rok větší a bude odpovídat směru původní výchylky. Oproti předpokladu se objevují nedokonalosti a nesoulady v kopírování charakteru finální naměřené křivky. Dochází k useknutí špiček výchylek nebo k přechodu extrapolovaných hodnot do protifáze (viditelné ve staničení 169,930). To je důkazem toho, že původní předpoklad byl chybný. Difference mezi jednotlivými měřeními se v čase nenavýšovala.

Na základě tohoto zjištění došlo k modifikaci Odhadu 1 a k vytvoření Odhadu 2. Cílem Odhadu 2 bylo nalézt lepší korelaci nově extrapolovaných dat s naměřenými hodnotami v problematických částech staničení zmíněných u Odhadu 1. Při použití upraveného algoritmu u Odhadu 2 skutečně došlo k odstranění uvedených anomálií - hodnoty okolo staničení 169,930 už nebyly v protifázi, stejně tak hodnoty ve staničení 169,970. Zároveň však Odhad 2 vedl k zavedení chyby, která se projevila v oblastech některých lokálních extrémů jejich výrazným zkreslením. Příkladem právě popsaného jevu jsou situace ve staničení 169,907 a 169,941.

Po zvážení výsledků Odhadu 2 byl přehodnocen přístup k tvorbě algoritmu nového typu extrapolace. Algoritmus vytvořený u Odhadu 1 a 2 byl opuštěn. Předpokladem nového algoritmu pro Odhad 3 bylo stanovení extrapolované hodnoty jako průměru diferencí z předchozích let. Byl akceptován fakt, že nový odhad neodstraní problém v některých extrémech, nicméně vedl k lepší korelaci dat s reálně naměřenými hodnotami.

Závěrem lze říci, že finální (černá) extrapoláční křivka až překvapivě dobře kopíruje průběh parametru podélné výšky obou kolejnicových pásů s výjimkou již zmíněných oblastí některých extrémů. Tuto jednoduchou extrapolaci lze považovat za úspěšnou.

## **6.4 Měření a vyhodnocení dat – Ruční měřicí vozík typu**

### **KRAB S - Light**

Součástí této diplomové práce bylo provedení měření pomocí ručního měřicího vozíku typu KRAB S - Light na obou zkušebních úsecích. Náplň této kapitoly spočívá v popisu uskutečněného měření, zpracování naměřených dat a jejich následného porovnání s obdrženými, již dříve zpracovanými daty z měřicího vozu železničního svršku. Průběhy jednotlivých veličin změřených měřicím vozem i pomocí ručního měřicího vozíku KRAB S - Light jsou graficky porovnány. Grafické průběhy jednotlivých měřených veličin jsou v Příloze D.

#### **6.4.1 Popis a podmínky měření**

Měření bylo provedeno ve dvou osobách; společně se mnou byl přítomen vedoucího diplomové práce. Termín měření na obou zkušebních úsecích byl řešen v předstihu a s odpovědnými osobami pro dané traťové definiční úseky. V rámci přípravy měření byly prostudovány grafiky vlakové dopravy a na jejich základě byly stanoveny časové úseky, ve kterých se mělo měření uskutečnit. Měření na zkušebních úsecích v Blovicích i Domažlicích bylo realizováno během jednoho dne - 17. 4. 2019. Pro potřeby měření byl v obou úsecích zajištěn dohled, jež byl ve spojení s příslušnými traťmistry, podával informace o aktuálních spojích a dohlížel na bezpečnost během měření.

#### ***Domažlice***

Jako první bylo během dopoledních hodin uskutečněno měření na zkušebním úseku v Domažlicích. Před zahájením měření byla v rámci přípravy provedena krátká obchůzka měřeného úseku a byla vytipována místa začátku a konce měřeného úseku. Následně byl poblíž železničního přejezdu sestaven vozík KRAB a byl umístěn na zkoušenou kolej, aby mohla být provedena kalibrace vozíku dle instrukcí stanovených výrobcem. Po kalibraci vozíku byl stanoven a označen začátek úseku. Staničení začátku úseku - km 169,750 bylo odměřeno od tyčového hektometrovníku (viz obr. 6.16) označujícího km 169,800 přímo měřicím vozíkem KRAB. Konec úseku pak vyplýval přímo ze změřené délky úseku.



**Obr. 6.16 - Pohled na hektometrovník 169,800 km - vztažný bod pro určení začátku zkušebního úseku**

Měření zkušebního úseku bylo zajištěno dvěma pojezdy měřicího vozíku. Nejprve ve směru rostoucího staničení (jízda TAM), poté byl vozík obrácen a jízda byla opakována v opačném směru (jízda ZPĚT). Vozík byl tedy pro oba případy ve správném postavení. Délka kroku měření byla zvolena tradičně na 0,25 m, což souhlasí s krokem měření měřicího vozu. Během samotného měření byly zaznamenány specifické body / události vyskytující se na měřeném úseku přímo do databáze měřicího prostředku, případně byly doplněny o fotografii míst výskytu událostí. Jako příklad lze uvést konec přechodnice, začátek a konec přejezdu, poloha hektometrovníku či výskyt zabláceného místa. Na základě těchto informací bylo v dalších krocích přistupováno k vyhodnocení a lokalizaci dat.

### **Blovic**

V brzkých odpoledních hodinách bylo uskutečněno měření vozíkem KRAB i v druhém zkušebním úseku - v Blovicích. Pro toto měření byl vyhrazen pouze krátký časový úsek, během kterého bylo možné bezpečně vykonat potřebné měření. Před zahájením měření byla provedena krátká obchůzka úseku a byl stanoven začátek a konec měřeného úseku. Začátek úseku v km 326,050 byl odměřen od kamenného hektometrovníku označujícího staničení km 326,100, který je zobrazen na obr. 6.17. Konec úseku pak vyplýval přímo z požadované délky měření na daném úseku.



**Obr. 6.17 - Pohled na hektometrovník 326,100 km - vztahný bod pro určení začátku zkušebního úseku**

Před samotným měřením byl vozík KRAB snesen ze svahu a byl smontován na bezpečném místě v okolí začátku úseku, resp. v blízkosti výhybky č. 9. Po domluvě s příslušným dozorem bylo zahájeno měření, které bylo opět realizováno dvěma pojezdy měřicího vozíku. Nejprve ve směru rostoucího staničení - směrem na Nezvěstice (jízda TAM), poté byl měřicí vozík obrácen a měření proběhlo i v opačném směru (jízda ZPĚT). Pro oba případy byl vozík ve správném postavení. Krok měření byl opět zvolen v klasickém rozmezí 0,25 m. Specifické body jako je například poloha hektometrovníku, změna typu pražců či oblast opravy zabláceného místa byly opět zaneseny do měřicího zařízení a fotograficky zdokumentovány, aby mohly být následně použity při další práci s daty.

#### **6.4.2 Zpracování naměřených dat**

Po úspěšně absolvovaných měřeních bylo nutné přistoupit ke zpracování naměřených dat. Soubory byly z měřicího zařízení importovány do počítače ve výchozím .krx formátu. Následně byly otevřeny v programu Krab10, kde byly definovány vstupní parametry k výpočtu jako je například nastavení rychlostního pásma (v tomto případě RP2) či případná korekce počátečního staničení. V následujícím kroku byla data přepočítána dle zadaných kritérií a byly zobrazeny

jejich grafické průběhy, včetně kilometrického umístění událostí (včetně jejich doprovodných fotografií) poznamenaných během měření. Pro každý zkušební úsek byla provedena dvě měření - první TAM a druhé ZPĚT. V případě druhého měření musel být upraven směr rostoucího staničení, přesněji řečeno byla změřená sekvence dat v programu otočena tak, aby data plynula ve stejném staničení jako tomu bylo u prvního měření.

Pro potřeby porovnání grafických průběhů dat z obou měřících prostředků byla přepočtená data exportovaná do textových souborů, které byly následně importovány do Microsoft Excelu. Pro co nejuvěrnější porovnání hodnot z obou měřících prostředků byly po konzultaci s odborníkem z programu Krab10 exportovány do formátu .txt tyto vybrané parametry:

- RK (rozchod koleje celkový)
- SLD1 (směr levého kolejnicového pásu dynamický)
- SPD1 (směr pravého kolejnicového pásu dynamický)
- ZKS (zborcení koleje syntetické) + příslušné báze zborcení  $l$
- VLD1 (podélná výška levého kolejnicového pásu dynamická)
- VPD1 (podélná výška pravého kolejnicového pásu dynamická).

Nutno zdůraznit, že bylo využito dynamických složek měřených parametrů, neboť právě ty reprezentují měřené parametry ve vlnovém pásmu D1. Celkové hodnoty jednotlivých parametrů nejsou plně kompatibilní s hodnotami z měřícího vozu a nedaly by se přímo porovnávat.

### **6.4.3 Porovnání naměřených dat z obou měřících prostředků**

Porovnání naměřených dat pomocí ručního měřícího vozíku KRAB S - Light s daty z měřícího vozu bylo realizováno graficky, opět v programu Microsoft Excel. Po importu dat naměřených vozíkem KRAB do Excelu byly pro oba zkušební úseky vytvořeny grafy pro jednotlivé, výše zmíněné parametry obsahující vždy dvě sady dat reprezentující obě provedená měření (v grafu zobrazeno světle a tmavě modrou). Do těchto grafů byla následně vložena data získaná z měřícího vozu. Konkrétně se jedná o dvě poslední dostupná měření - 2018\_1 a 2018\_3 (v grafu zobrazeno červenou a oranžovou barvou). Po kompletaci dat byl z grafů jasně patrný vzájemný posun měření vozíkem KRAB a měření měřícím vozem. Dalším krokem byla

synchronizace obou druhů dat. Základním parametrem pro polohovou synchronizaci byl opěr rozchod koleje RK. Obdobným způsobem jako v kapitole 6.1 v bodě 4 byla data vůči sobě posunuta, resp. byla posunuta data z měřicího vozu tak, aby svým charakterem kopírovala data získaná z vozíku KRAB. Tímto způsobem byla data z měřicího vozu lokalizovaná. Přesné staničení pro data z měřicího vozu bylo zpětně aplikováno do souborů s výsledky parametrů z měřicího vozu, čímž došlo ke svázání všech dostupných měření a sjednocení staničení u všech grafů. Příslušná grafická porovnání hodnot jednotlivých parametrů pro oba měřicí prostředky jsou k dispozici v Příloze D.

Obecně lze konstatovat, že data naměřená pomocí ručního měřicího vozíku KRAB S - Light velice dobře korelují s daty z měřicího vozu. Charakter průběhu jednotlivých parametrů je v převážné většině skoro identický. Změny jsou však viditelné na velikostech odchylek. Zejména pro parametry RK a ZKS jsou místy kvantitativně velmi odlišné. Rozdílné hodnoty odchylek mohou být v případě rozchodu koleje způsobené jiným výchozím nastavením v obou měřicích prostředcích případně se může jednat o nějaký offset.

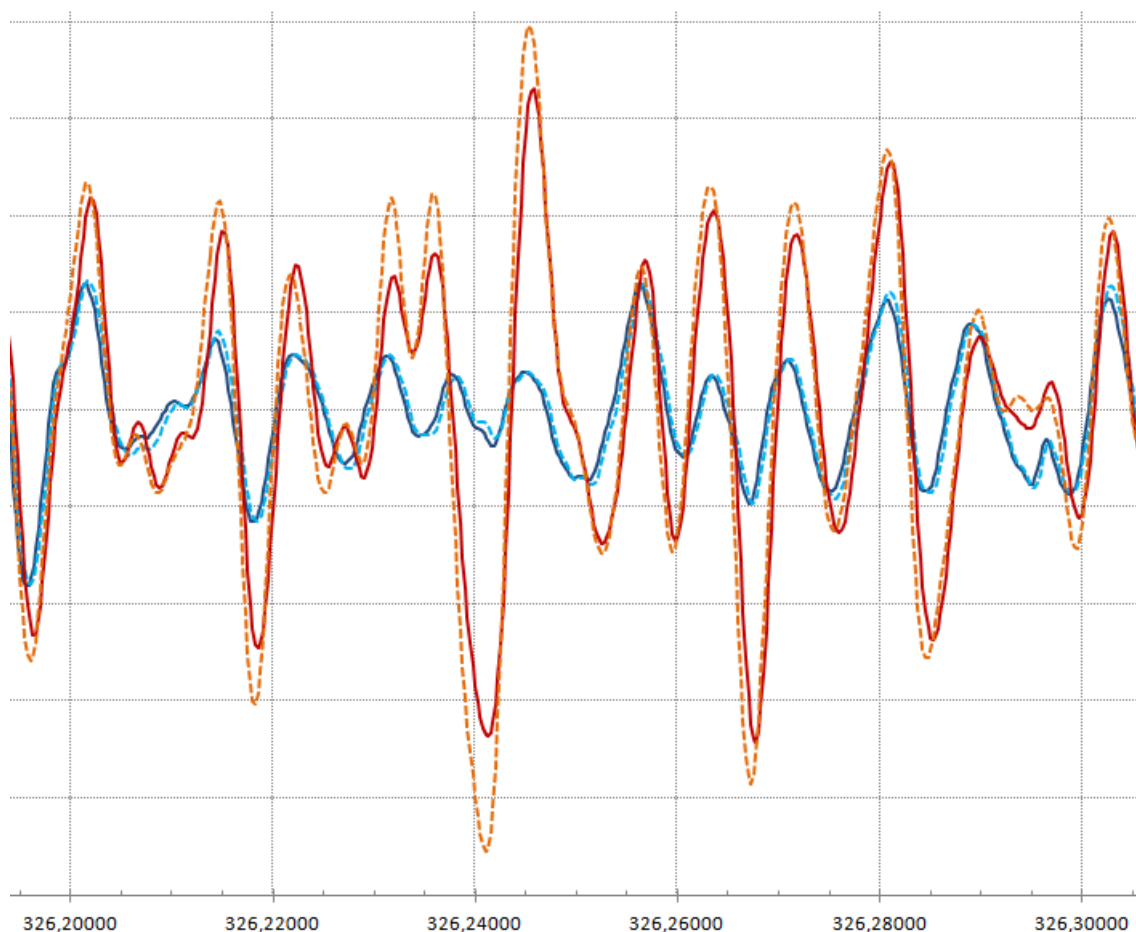
Druhým parametrem, kde dochází k větším kvantitativním rozdílům je zborcení koleje. Tento parametr je v případě obou měřicích prostředků přímo porovnatelný, neboť vychází ze stejného principu tvorby syntetické čáry zborcení na základě nejméně příznivé hodnoty ze všech hodnot počítaných na třinácti měřičských základnách. Je obecně známo, že zborcení koleje je počítáno z převýšení, a tudíž jeho průběh odráží hodnoty parametru převýšení koleje PK. Protože v rámci této práce nebyl řešen parametr PK, nelze přesně určit proč jsou výchyly u parametru ZKS o tolik větší u měření vozíkem KRAB než v případě měřicího vozu. Pro možné zdůvodnění by bylo zapotřebí prozkoumání a porovnání parametru převýšení koleje.

#### **6.4.3.1 Blovice**

Příslušné grafy pro zkušební úsek v Blovicích jsou uvedeny v Příloze D.1. U převážné většiny výstupů je z grafů porovnávajících hodnoty geometrických parametrů koleje naměřených dvěma různými měřicími prostředky jasně zřetelná velice dobrá korelace u obou zkušebních úseků. Je však nezbytné podat vysvětlení k jisté abnormalitě vyskytující se na zkušebním úseku v Blovicích.

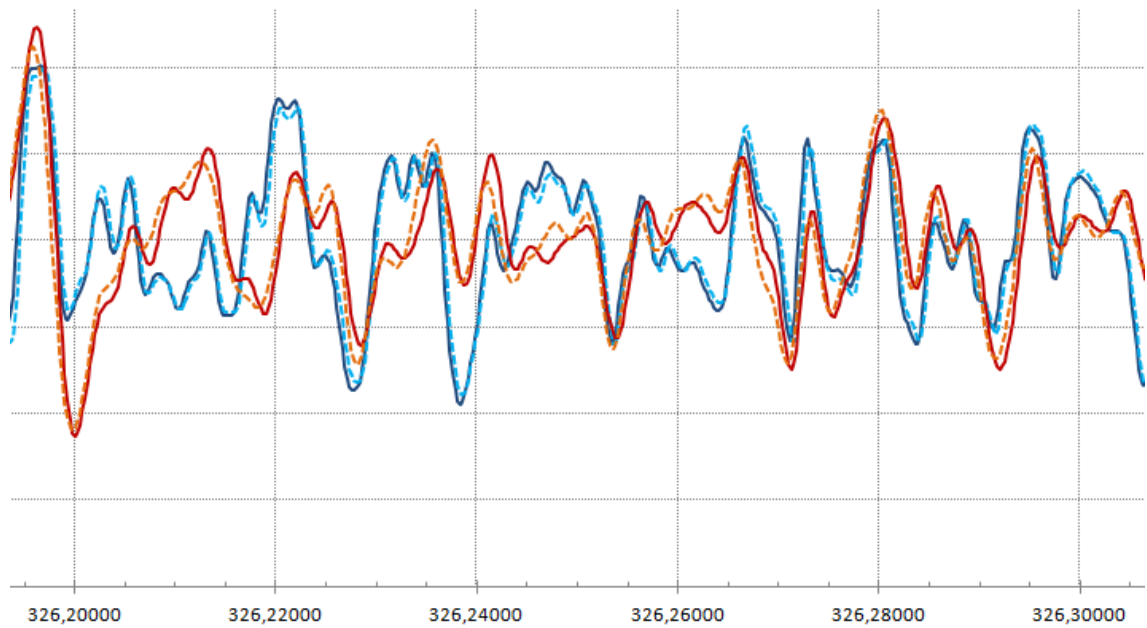
Vyskytující se abnormalita bude vysvětlena zejména na základě Příloh D.1.2, D.1.3, D.1.5 a D.1.6. Právě na parametrech směru a podélné výšky koleje je

popisovaná situace nejnázornější. V rámci zkušební úseku jsou v jeho části zhruba v rozmezí km 326,200 a km 326,300 viditelné výrazné kvantitativní rozdíly mezi hodnotami změřenými měřicím vozem a pomocí vozíku KRAB. Velké výchyly podélné výšky VLD1 v této části úseku upozorňují na výskyt zabláceného místa. Během uskutečněného měření na zdejším zkušebním úseku nám příslušný traťmistr poskytl informaci o nedávné opravě zabláceného místa vyskytujícího se ve staničení km 326,236 840 - 326,243 340, která byla údajně realizována cca tři týdny před provedením plánovaného měření pomocí ručního měřicího vozíku KRAB S - Light, tzn. okolo dne 27. 3. 2019. Jelikož bylo poslední měření měřicím vozem železničního svršku provedeno na podzim roku 2018 (červeně), zablácené místo tehdy ještě nebylo opravené. Měřicím vozíkem (modře) byla ovšem změřena již opravená kolej, a tudíž jsou na grafu patrné velké odchylky změřených veličin. Výřezy z příslušných grafů zobrazující dotčené místo jsou k dispozici na obr. 6.18 a obr. 6.19.



**Obr. 6.18 - Průběh parametru VLD1 v Blovicích v oblasti zabláceného místa**





**Obr. 6.19 - Průběh parametru SLD1 v Blovicích v oblasti zabláčeného místa**

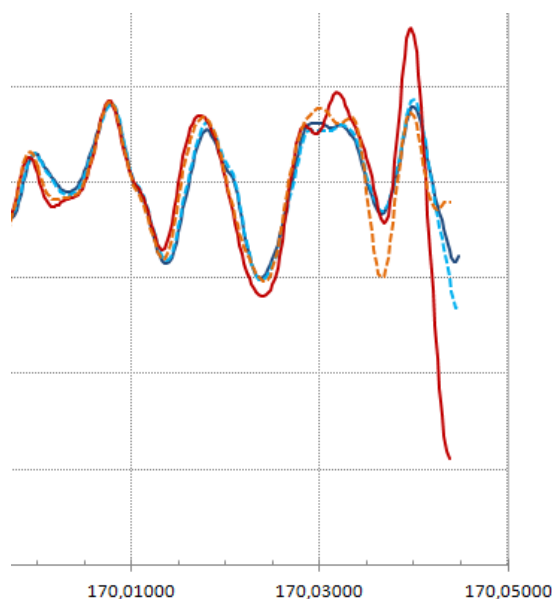
#### **6.4.3.2. Domažlice**

Během měření na zkušebním úseku v Domažlicích bylo taktéž spatřeno zabláčené místo (viz foto na obr. 6.20). Konkrétně se vyskytovalo na samém konci sledovaného úseku, tedy v okolí staničení km 170,045.



**Obr. 6.20 - Pohled na zabláčené místo na konci ZÚ v Domažlicích**

Výskyt zabláceného místa se projevil zejména na hodnotách parametru podélné výšky koleje (viz obr. 6.21).



**Obr. 6.20 - Průběh parametru VLD1 v Domažlicích v oblasti zabláceného místa**

## **6.5 Souhrn a doporučení pro hodnocení GPK v krátkých úsecích provozního ověřování**

Hodnocení ve vztahu MV - KRAB => Měřicí vozík KRAB se během měření osvědčil, a to v tom, že změřená data dobře korelují s daty získanými z MV. Z toho vyplývají následující doporučení. Pro diagnostiku krátkých úseků je možné spolehlivě využít měřicího vozíku KRAB, v tomto případě katedrového vozíku KRAB - S Light. Hlavní výhodou použití KRABa je v první řadě jeho dostupnost, dále snadná manipulace, která umožňuje rychlé operativní nasazení. Díky tomu je měření možné provádět v kratších časových úsecích, popřípadě i v případech výskytu mimořádných událostí, zejména ve spojitosti s výraznými klimatickými změnami. Jako typickou situaci si lze představit situaci dlouhodobého sucha a následných přívalů deště, s čímž bývá spojeno podmáčení půdy.

Hodnocení naměřených parametrů => Díky lepší dostupnosti měřicího prostředku a možnosti častějšího měření (pochopitelně na základně předchozích dohod se správcem trati), kdy nebudeme závislí jen na pravidelné periodě měření (2x za rok) měřicím vozem, bychom mohli KRABa využívat na častější měření v kratších časových intervalech. Díky tomu bychom měli detailnější přehled o vzniku a rozvinu/průběhu

zpozorovaných defektů na trati. Mohly by se tím získat informace o rychlosti prohloubení defektu ve vztahu k okolním podmínkám.

Pro testování aplikace GCO by mohly být využity i úseky tratí menšího významu, konkrétně pravidelně užívané průmyslové vlečky, kde je pravidelná dostupnost měřicího vozu netypická a obtížná.

Informace o žádných opravných zásazích na obou zkušebních úsecích nejsou, nicméně z grafu je patrné, že k nějakým zásahům došlo (viz komentář v kapitole 6.2.1). Tento problém by v situaci sledování konkrétní vlečky, jež není veřejně dostupná, měl být výrazně redukován.

## 7. ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá problematikou měření a hodnocení geometrických parametrů koleje na vybraných úsecích s provozním ověřováním geokompozitu. Lze říci, že práce sestává z rešeršní a praktické části.

Úvod rešeršní části práce obsahuje definice základních pojmů, obsahuje popis měřených veličin (parametrů) a informace o intervalech měření GPK. Dále se zaměřuje na popis měřicích prostředků používaných v České republice. Důraz je kladen zejména na popis měřicího vozu železničního svršku a ručního měřicího vozíku typu KRAB. Nedílnou součástí rešerše je i základní shrnutí výstupů z měření měřicím vozem. Jsou zde uvedeny druhy výstupů včetně popisu používaných metod pro vyhodnocování kvality geometrických parametrů koleje - konkrétně hodnocení lokálních závad a úsekové hodnocení.

Překlenutí mezi rešeršní a praktickou částí diplomové práce je provedeno představením jednotlivých zkušebních úseků s instalovaným geokompozitem pod kolejové lože. Jedná se o zkušební úseky v oblasti Plzeňska poblíž Blovic a poblíž Domažlic. Pro potřeby této práce jsou v této části vysvětleny důvody pro aplikaci výztužného / stabilizačního geokompozitu do konstrukce trati. Stručně jsou zde popsány i zvolené geokompozity, které jsou již po několik let ověřovány reálným provozním zatížením.

V rámci praktické části práce reprezentované kapitolou 6 bylo provedeno zpracování a vyhodnocení obdržených dat z měřicího vozu železničního svršku pro oba zkušební úseky. Z obdržených dat byly vytvořeny sady grafů zobrazujících vývoj jednotlivých parametrů geometrie koleje za konkrétní časové období deseti let pro blovický zkušební úsek a šesti let pro domažlický zkušební úsek.

U každého úseku byla posouzena účinnost aplikovaného výztužného geokompozitu instalovaného pod kolejové lože. Pro posouzení jeho účinnosti byl pro oba zkušební úseky vybrán parametr podélné výšky koleje.

Naměřené hodnoty podélné výšky koleje pro zkušební úsek v Blovicích v průběhu let provozního ověřování ukazují výrazný nárůst maximálních výchylek. Postupná degradace tohoto parametru byla pravděpodobně ovlivněna skutečností, kdy již ve fázi počátečního podbíjení koleje došlo k perforaci aplikovaného geokompozitu, a tím k opětovnému, byť omezenému pronikání jemnozrného materiálu z podloží do kolejového lože. Na základě sledovaného parametru nelze jednoznačně prokázat

pozitivní vliv aplikace geokompozitu. Pro komplexnější zhodnocení účinnosti aplikace geokompozitu by bylo nutné posoudit i ostatní parametry GPK.

Na zkušební úseku v Domažlicích je podle sledovaného parametru podélné výšky koleje zřetelný pozitivní vliv instalovaného geokompozitu. Za období tří let provozního ověřování úseku jsou výsledné parametry geometrie koleje příznivé a nenasvědčují přítomnosti závažnějšího defektu. Je nutné dodat, že na části úseku s geokompozitem je železniční přejezd. Do celkového hodnocení účinnosti geokompozitu nebyla tato část zkušební úseku zahrnuta. Oblast přejezdu by se měla v souvislosti s aplikací geokompozitu řešit zvlášť, neboť konstrukční řešení přejezdu i jeho zatížení je výrazně odlišné od zbytku testovaného úseku.

Součástí zpracování obdržovaných dat bylo nalezení jednoduchého algoritmu pro extrapolaci dat do následného časového období. Pro analýzu a návrh algoritmu predikce byla použita data pro parametr podélné výšky koleje ze zkušební úseku v Domažlicích. Následně byla provedená analýza aplikována i na druhý zkušební úsek v Blovicích. Výsledky extrapolace byly porovnány s nejnovějšími dostupnými daty z měřicího vozu z podzimní měřicí kampaně roku 2018. Výsledné grafické porovnání pro oba zkušební úseky ukazuje dobrou korelaci predikovaných dat s reálnými naměřenými daty.

Poslední bodem diplomové práce bylo provedení osobního měření GPK na obou zkušebních úsecích pomocí ručního měřicího vozíku KRAB S - Light. Naměřené hodnoty geometrických parametrů koleje byly následně porovnány s hodnotami získanými z měřicího vozu. Výsledné porovnání potvrdilo dobrou shodu měřených parametrů. Protože výsledky naměřené pomocí vozíku KRAB se dobře shodují s měřeními pomocí měřicího vozu, lze doporučit aplikaci vozíku KRAB pro častější měření sledovaných zkušebních úseků.

## 8. SEZNAM LITERATURY

[1] ČSN EN ISO 10318-1 A1 Geosyntetika - Část 1: Termíny a definice, 12/2018

[2] ČSN EN 73 6360-2 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba, 10/2009

[3] Předpis SŽDC S3 Železniční svršek, 2008

[4] Předpis SŽDC SR103/8(S) Komentář ČSN 73 6360 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha, schváleno 22.11.2010, č.j.:55549/10-OTH, účinnost od 1.3.2011

[5] ČSN EN 13848-1+A1 Železniční aplikace – Kolej – Kvalita geometrie koleje – Část 1: Popis geometrie koleje, 01/2009

[6] SŽDC Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah: 8 Konstrukce koleje a výhybek, schváleno 27.3.2013, č.j.: S 3916/2012-TÚDC, účinnost od 1.5.2013. Dostupné z: [http://typdok.tudc.cz/typdok/files/tkp/TKP3\\_08\\_8.pdf](http://typdok.tudc.cz/typdok/files/tkp/TKP3_08_8.pdf)

[7] Vyhláška Ministerstva dopravy č. 177/1995 Sb. ze dne 29.8.1995, kterou se vydává stavební a technický řád drah. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-177#cast3>

[8] Předpis SŽDC SR103/4(S) Využívání měřicích vozů pro železniční svršek s kontinuálním měřením tratě pod zatížením. Schváleno dne 7.7.2010, č.j.: S 31722/10-OTH, účinnost od 1.8.2010

[9] ČSN EN 13848-2 Železniční aplikace – Kolej – Kvalita geometrie koleje – Část 2: Měřicí systémy – Měřicí vozy

[10] VLAKY.NET - *Magazín o vlacích a železnicích*. [online]. [cit. 2019-18-05]. Dostupné z: [https://www.vlaky.net/upload/images/reports/003904/MMD\\_inCZ.pdf](https://www.vlaky.net/upload/images/reports/003904/MMD_inCZ.pdf)

[11] ČSN EN 13848-4 Železniční aplikace – Kolej – Kvalita geometrie koleje – Část 4: Měřicí systémy – Lehké kolejové prostředky a ruční zařízení, 08/2012

[12] KOTAJNÝ, Petr. Robotický kalibrační simulační stand pro vozíky na měření geometrické polohy kolejí. *AUTOMA*. [online]. 2010. [cit. 2019.03-24]. Dostupné z: [http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf\\_articles/41748.pdf](http://automa.cz/Aton/FileRepository/pdf_articles/41748.pdf)

[13] KRAB-S-light. *Komerční Železniční Výzkum*. [online]. 2019. [cit. 2019-24-03]. Dostupné z: <https://kzv.cz/krab-s-light/>

- [14] Super low weight measuring trolley KRAB-S-light for track geometry. KŽV s.r.o. [online]. [cit. 2019.03-24]. Dostupné z:  
[http://bconservices.com.au/images/krab\\_slight\\_inan.pdf](http://bconservices.com.au/images/krab_slight_inan.pdf)
- [15] IŽVOLT, Libor a Michal Šmalo. Assessment of the track geometry quality from the aspect of safe and reliable operation of the railway track. *Procedia Engineering*. [online]. 2015. [cit. 2019-24-03]. Dostupné z:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581501348X>
- [16] Výhybková rozchodka 83.07. VHC Trade. [online]. [cit. 2019-18-05]. Dostupné z: <https://www.vhctrade.cz/robel/mereni/vyhybkova-rozchodka-83-07-83/>
- [17] SYCHROVSKÝ, Petr. Aplikace novelizované ČSN 73 6360-2 v oblasti měření a hodnocení GPK. [online]. [cit. 2019-18-05]. Dostupné z:  
[http://www.os.cd.cz/tudc/files/16\\_Sychrovsky-24d6fbbf5e594058f881356bbfed023b.pdf](http://www.os.cd.cz/tudc/files/16_Sychrovsky-24d6fbbf5e594058f881356bbfed023b.pdf)
- [18] HORNÍČEK, Leoš BŘEŠŤOVSKÝ, Petr a JASANSKÝ, Petr. Application of geocomposite placed beneath ballast bed to improve ballast quality and track stability. [online]. 2017. [cit. 2019-18-05]. Dostupné z:  
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/236/1/012039/pdf>
- [19] ČVUT v Praze. Zprávy hodnotitele ze zřízení zkušebního úseku - Blovice
- [20] ČVUT v Praze. Zprávy hodnotitele ze zřízení zkušebního úseku - Domažlice

## 9. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 - Grafické znázornění definic a pomocných definic veličin KUK a GUK [4] .....	10
Obr. 3.1 - Uspořádání měřicího vozu [8] .....	14
Obr. 3.2 - Uspořádání měřicí drezíny [8] .....	17
Obr. 3.3 - Měřicí podvozek a jeho umístění v rámci malé měřicí drezíny [10] .....	18
Obr. 3.4 - Znázornění měřených veličin na vozíku KRAB [12] .....	20
Obr. 3.5 - KRAB S - Light [13] .....	22
Obr. 3.6 - Ruční výhybková rozchodka s vodováhou typu ROBEL 83.07 [16] .....	23
Obr. 4.1 - Grafické znázornění překročení mezní hladiny veličiny [8] .....	27
Obr. 4.2 - Ukázka asymetrické mezní hladiny [8] .....	28
Obr. 4.3 - Grafická výstupní sestava MV pro vlnové pásmo D1 [8] .....	30
Obr. 4.4 - Tištěný přehled lokálních závad a úsekového hodnocení měřených veličin GPK měřícím vozem železničního svršku pro RP0 - RP2 [8] .....	32
Obr. 5.1 - Umístění zkušební úseku Blovice .....	34
Obr. 5.2 - Pohled na začátek zkušební úseku (směr žst. Blovice) .....	35
Obr. 5.3 - Pohled na zablácené místo ve zkušebním úseku v Blovicích (03/2008) [19] .....	35
Obr. 5.4 - Umístění zkušební úseku Domažlice .....	36
Obr. 5.5 - Pohled na přejezd ve zkušebním úseku v Domažlicích .....	37
Obr. 5.6 - Schéma dílčích částí sledovaného úseku v Domažlicích [20] .....	37
Obr. 5.7 - Geokompozit TENSAR SS 30-G [19] .....	39
Obr. 5.8 - Geokompozit TENSAR TriaX TX190L-GN [20] .....	39
Obr. 6.1 - Příklad grafického průběhu parametru RK před provedením synchronizace jednotlivých měření pro datový soubor Blovice .....	44
Obr. 6.2 - Průběh parametru VLD1 v čase (ZÚ Blovice) .....	47
Obr. 6.3 - Průběh parametru VLD1 pro posouzení účinnosti GCO (ZÚ Domažlice) .....	49
Obr. 6.4 - Průběh parametru VLD1 v oblasti přejezdu ve ZÚ v Domažlicích .....	50
Obr. 6.5 - Detail I průběhu parametru VPD1 pro roky 2015 - 2018 .....	54
Obr. 6.6 - Detail II průběhu parametru VPD1 pro roky 2015 - 2018 .....	54
Obr. 6.7 - Detail III a IV průběhu parametru VPD1 pro roky 2015 - 2018 .....	55
Obr. 6.8 - Detail V průběhu parametru VPD1 pro roky 2015 - 2018 .....	56
Obr. 6.9 - Detail IV průběhu parametru VPD1 pro roky 2015 - 2018 .....	56
Obr. 6.10 - Hodnoty parametru VPD1 pro ZÚ v Domažlicích pro Detail I .....	58
Obr. 6.11 - Hodnoty parametru VPD1 pro ZÚ v Domažlicích pro Detail II .....	58
Obr. 6.12 - Hodnoty parametru VPD1 pro ZÚ v Domažlicích pro Detail III .....	59
Obr. 6.13 - Hodnoty parametru VPD1 pro ZÚ v Domažlicích pro Detail IV .....	59
Obr. 6.14 - Hodnoty parametru VPD1 pro ZÚ v Domažlicích pro Detail V .....	60



Obr. 6.15 - Hodnoty parametru VPD1 pro ZÚ v Domažlicích pro Detail VI .....	60
Obr. 6.16 - Pohled na hektometrovník 169,800 km - vztažný bod pro určení začátku zkušebního úseku .....	63
Obr. 6.17 - Pohled na hektometrovník 326,100 km - vztažný bod pro určení začátku zkušebního úseku .....	64
Obr. 6.18 - Průběh parametru VLD1 v Blovicích v oblasti zabláceného místa.....	67
Obr. 6.19 - Průběh parametru SLD1 v Blovicích v oblasti zabláceného místa .....	68
Obr. 6.20 - Pohled na zablácené místo na konci ZÚ v Domažlicích .....	68
Obr. 6.20 - Průběh parametru VLD1 v Domažlicích v oblasti zabláceného místa .....	69

## 10. SEZNAM PŘÍLOH

### Příloha A - Grafické průběhy parametrů GPK

#### A.1 – Blovice

A.1.1 – RK

A.1.2 – SLD1

A.1.3 – SPD1

A.1.4 – ZKS

A.1.5 – VLD1

A.1.6 – VPD1

A.1.7 – VKD2

#### A.2 – Blovice - starší

A.2.1 – RK

A.2.2 – SKD1

A.2.3 – ZKS

A.2.4 – VLD1

A.2.5 – VPD1

A.2.6 – VKD1

#### A.3 – Domažlice

A.3.1 – RK

A.3.2 – SLD1

A.3.3 – SPD1

A.3.4 – ZKS

A.3.5 – VLD1

A.3.6 – VPD1

A.3.7 – VKD2

### Příloha B - Účinnost geokompozitu

#### B.1 – Blovice

B.1.1 – VLD1\_GCO

B.1.2 – VPD1\_GCO

#### B.2 – Domažlice

B.2.1 – VLD1\_GCO

B.2.2 – VPD1\_GCO

## Příloha C - Extrapolace

C.1 – Domažlice - zdroj

C.2 – Blovice

C.2.1 – VLD1\_extrapolace

C.2.2 – VPD1\_extrapolace

C.3 – Domažlice

C.3.1 – VLD1\_extrapolace

C.3.2 – VPD1\_extrapolace

## Příloha D - Porovnání parametrů GPK z MV a vozíku KRAB S – Light

D.1 – Blovice

D.1.1 – RK

D.1.2 – SLD1

D.1.3 – SPD1

D.1.4 – ZKS

D.1.5 – VLD1

D.1.6 – VPD1

D.2 – Domažlice

D.2.1 – RK

D.2.2 – SLD1

D.2.3 – SPD1

D.2.4 – ZKS

D.2.5 – VLD1

D.2.6 – VPD1

## Příloha E - Tabulky provozních a mezních provozních odchylek pro GPK