

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Posouzení kvality geometrických parametrů koleje ve vybraném úseku trati
pomocí měřicího vozíku Krab S – light

Diplomová práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Kuřík**
Osobní číslo: **D20502**
Studijní program: **N0732A260017 Dopravní stavitelství**
Téma práce: **Posouzení kvality geometrických parametrů koleje ve vybraném úseku trati pomocí měřicího vozíku Krab S – Light**
Zadávatel katedra: **Katedra dopravního stavitelství**

Zásady pro vypracování

V rámci práce bude provedeno a analyzováno měření GPK pomocí měřicího vozíku Krab. Dále budou analyzována data získaná z měření měřicím vozem, popř. měřicí drezínou, a vzájemně porovnána. Budou analyzovány případné odchylky měřených parametrů. Měření a analýza dat se bude týkat vybraného úseku trati.

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- ČSN 73 6360-2. Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha. Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba. 2009
- ČSN EN 13848-2. Železniční aplikace – Kolej – Kvalita geometrie koleje – Část 2: Měřicí systémy – Měřicí vozidla. 2021
- Služební rukověť SŽDC SR103/8 (S) – Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha
- Služební rukověť SŽDC S2/4 – Předpis pro zajišťování diagnostiky železničního svršku měřicími prostředky s kontinuálním záznamem
- Předpis SŽ S3 - Železniční svršek
- Předpis SŽ S4 - Železniční spodek
- SŽDC Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Filip Ševčík**
Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání diplomové práce: **26. října 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2021**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Aleš Šmejda, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 28. října 2020

Prohlašuji:

Práci s názvem „Posouzení kvality geometrických parametrů koleje ve vybraném úseku trati pomocí měřicího vozíku Krab S – light“ jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 16. 5. 2023

Bc. Jan Kuřík v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ing. Lukáši Beranovi Ph.D. za uvedení do řešené problematiky i za pomoc při zkušebním měření. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Filipu Ševčíkovi za pomoc, ochotu a cenné připomínky při vedení mé diplomové práce. Rád bych také poděkoval Ing. Petru Vnenkovi Ph.D. za velkou pomoc při organizaci i realizaci měření a Ing. Janu Březinovi z CTD SŽ za poskytnutí dat z měřicího vozu a cenných informací k řešené problematice. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a blízkým, kteří mi byli velkou oporou.

ANOTACE

Diplomová práce se zaměřuje na měření a vyhodnocování geometrických parametrů železniční koleje. Úvodní část diplomové práce je věnována popisu současného stavu diagnostiky železničních tratí a přehledu klíčových měřených parametrů. Obsahuje principy měření a popis měřicích prostředků. Praktická část diplomové práce je zaměřena na měření geometrických parametrů koleje vybraného úseku trati pomocí měřicího vozíku KRAB S – light, vyhodnocení naměřených parametrů včetně hodnocení lokálních závad a úsekového hodnocení. Součástí diplomové práce je také porovnání naměřených parametrů ve vybraném úseku s parametry naměřenými měřicím vozem železničního svršku a poskytnutými provozovatelem dráhy.

KLÍČOVÁ SLOVA

geometrické parametry koleje, KRAB S – light, měřicí vůz, hodnocení lokálních závad, úsekové hodnocení

TITLE

Assessment of the quality of geometric parameters of the track in a selected section of the track using the measuring trolley Krab S – light

ANNOTATION

The thesis focuses on the measurement and evaluation of geometric parameters of railway track. The introductory part of the thesis is devoted to the description of the current state of railway track diagnostics and an overview of the key measured parameters. It contains the principles of measurement and description of measuring devices. The practical part of the diploma thesis is focused on the measurement of geometric parameters of the track of the selected section of the line using the KRAB S – light measuring trolley, evaluation of the measured parameters including the evaluation of local defects and section evaluation. The thesis also includes a comparison of the measured parameters in the selected section with the parameters measured by the track geometry car and provided by the railway operator.

KEYWORDS

track geometry parameters, KRAB S – light, track geometry car, evaluation of local defects, section evaluation

OBSAH

SEZNAM ILUSTRACÍ	9
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK	11
TERMINOLOGIE	12
ÚVOD	14
1 SOUČASNÝ STAV DIAGNOSTIKY ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU	15
2 MĚŘENÉ VELIČINY GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE	17
2.1 rozchod koleje – RK.....	18
2.2 převýšení koleje – PK	20
2.3 směr koleje – SK, resp. směr levého a pravého kolejnicového pásu – SL, SP	21
2.4 podélná výška koleje – VK, resp. podélná výška levého a pravého kolejnicového pásu – VL, VP.....	23
3 PRINCIP MĚŘENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE.....	25
3.1 Tětivový měřicí systém	25
3.2 Inerciální měřicí systém	26
4 PROSTŘEDKY PRO MĚŘENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE	27
4.1 Ruční rozchodky	28
4.2 Měřicí vozík – KRAB S – light.....	28
4.3 Malé měřicí drezíny – MMD.1 a MMD.2.....	30
4.4 Měřicí drezína – MD	32
4.5 Měřicí vůz železničního svršku – MVŽSv.....	33
4.6 Ostatní prostředky pro měření geometrických parametrů koleje.....	37
5 HODNOCENÍ KVALITY GEOMETRIE KOLEJE	38
5.1 Úsekové hodnocení GPK	38
5.2 Hodnocení lokálních závad	40
6 POPIS ÚSEKU TRATI PRO MĚŘENÍ MĚŘICÍM VOZÍKEM KRAB S – LIGHT	44
7 PRŮBĚH MĚŘENÍ	48
7.1 Zkušební měření.....	48

7.2	Měření vybraného úseku koleje	49
8	VYHODNOCENÍ DAT NAMĚŘENÝCH MĚŘICÍM VOZÍKEM KRAB S – LIGHT	53
8.1	Příprava naměřených dat pro vyhodnocení	54
8.2	Hodnocení lokálních závad	55
8.3	Úsekové hodnocení	58
9	GRAFICKÉ POROVNÁNÍ DAT Z MĚŘICÍHO VOZU MVŽŠV S DATY Z MĚŘICÍHO VOZÍKU KRAB S – LIGHT	60
9.1	Porovnávané soubory dat	60
9.2	Práce s daty a úprava dat	61
9.3	Grafické porovnání dat	61
9.4	Výsledek grafického porovnání dat	66
	ZÁVĚR	67
	POUŽITÁ LITERATURA	69
	SEZNAM PŘÍLOH	71

SEZNAM ILUSTRACÍ

Obrázek 1 Grafické znázornění definic veličin konstrukčního a geometrického uspořádání koleje [6].....	18
Obrázek 2 Rozchod koleje pro kolejnice s ojetím [6]	19
Obrázek 3 Převýšení koleje [6].....	21
Obrázek 4 Směr koleje [9] – upraveno	22
Obrázek 5 Podélná výška koleje [9] – upraveno	24
Obrázek 6 Těživový měřicí systém [11]	25
Obrázek 7 Proces práce se signálem [11]	25
Obrázek 8 Rozchodka s nivelací pro převýšení [15]	28
Obrázek 9 Měřicí vozík KRAB S – light.....	29
Obrázek 10 Schémata malých měřicích drezín (MMD.1, MMD.2) [14] – upraveno	31
Obrázek 11 Schéma měřicí dreziny včetně umístění snímacích jednotek a rozměrů [14]	32
Obrázek 12 Schéma měřicího vozu pro železniční svršek [14].....	34
Obrázek 13 Detail měřicích zařízení MVŽSv	35
Obrázek 14 Měřicí vůz železničního svršku MVŽSv odstavený v železniční stanici Hradec Králové hl.n.	36
Obrázek 15 Hustota výskytu směrodatných odchylek a známek kvality [11].....	39
Obrázek 16 Délka překročení mezní hladiny [14].....	43
Obrázek 17 Trať č. 040 Chlumec nad Cidlinou – Trutnov včetně polohy měřeného úseku [18] - upraveno	44
Obrázek 18 Měřený úsek trati [18] – upraveno	45
Obrázek 19 Průběh zkušební měření s Ing. Lukášem Beranem Ph.D.	49
Obrázek 20 Počáteční místo měřeného úseku koleje - 112,000 km trati č.040	50
Obrázek 21 Způsob měření vybraného úseku koleje.....	51
Obrázek 22 Průběh měření vybraného úseku koleje	52
Obrázek 23 Měřicí vozík KRAB S – light složený v přepravní bedně.....	52
Obrázek 24 Editace hlavičky souboru ve vyhodnocovacím programu Krab 10	54
Obrázek 25 Vzájemný posun dat rozchodu koleje	61
Obrázek 26 Porovnání dat pro parametr rozchod koleje.	62
Obrázek 27 Odchytky v parametru rozchodu koleje	63
Obrázek 28 Odchytky v parametru směr levého kolejnicového pásu	64
Obrázek 29 Odchytky v parametru směr pravého kole	64
Obrázek 30 Odchytky v parametru převýšení koleje.....	65
Obrázek 31 Odchytky v parametru zborcení koleje	66

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Prohlídky a měření na dráze celostátní a dráze regionální s rychlostí do 200 km/h včetně [5] – upraveno	16
Tabulka 2 Rozdělení základních geometrických veličin [6]	17
Tabulka 3 GPK měřené vozíkem KRAB S-light [14] [16] – upraveno.....	30
Tabulka 4 Měřené parametry GPK malými měřicími drezínami [14].....	31
Tabulka 5 Měřené parametry GPK měřicí drezínou [14]	33
Tabulka 6 Měřené parametry GPK měřicím vozem železničního svršku [14].....	35
Tabulka 7 Parametry pro hodnocení lokálních závad [14]	41
Tabulka 8 Rychlostní pásma rozhodná pro hodnocení GPK [1]	41
Tabulka 9 Směrové řešení v úseku měření	46
Tabulka 10 Staničení mostů, propustků a přejezdů v daném úseku	47
Tabulka 11 Výškové řešení vybraného úseku	47
Tabulka 12 Provozní a mezní provozní odchylky veličin GPK pro měření bez zatížení [14] .	56
Tabulka 13 Provozní a mezní provozní odchylky zborcení koleje (ZK) pro měření bez zatížení [14].....	56
Tabulka 14 Výsledek hodnocení lokálních závad z programu Krab 10	57
Tabulka 15 Úsekové hodnocení měřeného úseku koleje.....	58
Tabulka 16 Výsledek úsekového hodnocení měřeného úseku koleje.....	59

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

AL	mez sledování (<i>Alert Limit</i>)
CTD	Centrum techniky a diagnostiky
CZK	celková známka kvality
D1	rozsah; pásmo vlnových délek $3\text{ m} < \lambda \leq 25\text{ m}$ [m]
D2	rozsah; pásmo vlnových délek $25\text{ m} < \lambda \leq 70\text{ m}$ [m]
EM100	speciální hnací vozidlo pro diagnostiku železničního svršku
GPK	geometrické parametry koleje
IAL	mez bezodkladného zásahu (<i>Immediate Action Limit</i>)
IL	mez zásahu (opravy) (<i>Intervention Limit</i>)
λ	vlnová délka [m]
MD	měřicí drezína pro železniční svršek
MMD	malá měřicí drezína pro železniční svršek
MVŽSv	měřicí vůz železničního svršku
MVŽSv2	měřicí vůz železničního svršku 2
PK	převýšení koleje [mm]
PKD	převýšení koleje dynamické [mm]
PPK	prostorová poloha koleje
R	poloměr kružnicového oblouku [m]
RK	rozchod koleje [mm]
RKD	rozchod koleje dynamický [mm]
RK100	střední hodnota rozchodu koleje na délce 100 m [mm]
RP	rychlostní pásmo
SDO	směrodatná odchylka
SK	směr koleje v geometrické ose koleje [mm]
SL	směr levého kolejnicového pásu [mm]
SP	směr pravého kolejnicového pásu [mm]
SŽ	Správa železnic, státní organizace
V	rychlost [km/h]
VK	podélná výška koleje v ose [mm]
VL	podélná výška temene levého kolejnicového pásu [mm]
VK	podélná výška temene pravého kolejnicového pásu [mm]
ZK	zborcení koleje [mm/m]
ZKV	známka kvality definovaného úseku
ZO	začátek oblouku
ZP	začátek přechodnice
ZP	známka podbíjení
ZR	změna rozchodu koleje na stanovené délce koleje [mm/m, mm/2m]

TERMINOLOGIE

Kvalita geometrických parametrů koleje – úroveň odchylek od referenčních geometrických charakteristik specifikovaných parametrů ve svislém a příčném směru, které mají vliv na bezpečnost nebo ovlivňují kvalitu jízdy,

geometrické parametry koleje – konstrukční uspořádání koleje, geometrické uspořádání koleje a prostorová poloha koleje,

konstrukční uspořádání koleje – rozchod koleje, vzájemná výšková poloha kolejnicových pásů (převýšení, sklon vzestupnice, vzájemný sklon kolejnicových pásů – zborcení koleje),

geometrické uspořádání koleje – směr, podélná výška a podélný sklon koleje,

temeno hlavy kolejnice – průsečík horní pojížděné plochy hlavy kolejnice s osou symetrie kolejnicového profilu,

spojnice temen kolejnicových pásů – společná tečna k horním plochám obou hlav protilehlých kolejnicových pásů, ležící v rovině příčného řezu,

pravý (levý) kolejnicový pás – kolejnicový pás ležící vpravo (vlevo) od osy koleje ve směru stoupajícího staničení trati,

převýšení koleje – výškový rozdíl kolejnicových pásů daný úhlem, který svírá spojnice temen protilehlých kolejnicových pásů a vodorovná rovina, udává se délkou svislé odvěsny pravoúhlého trojúhelníka, jehož přepona má délku 1 500 mm,

rychlostní pásmo – pásmo traťových rychlostí rozhodné pro hodnocení geometrické kvality koleje,

rozchod koleje – nejmenší vzdálenost mezi kolmicemi ke spojnicí temen kolejnicových pásů dotýkajícími se bočních pojížděných ploch do maximální hloubky až 14 mm od spojnice temen kolejnicových pásů,

změna rozchodu koleje – rozdíl dvou hodnot rozchodu koleje vzájemně vzdálených o délku koleje rovnou 1 metr případně 2 metry,

střední hodnota rozchodu koleje – hodnota rozchodu koleje, která se vztahuje ke středu úseku koleje o délce 100 metrů a je určena aritmetickým průměrem změřených hodnot rozchodu koleje v tomto úseku s krokem měření maximálně 1 metr,

zborcení koleje (vzájemný sklon kolejnicových pásů – při hodnocení za provozu) – změna převýšení koleje na zvolené měřické základně, vyjádřená hodnotou mm/m,

podélná výška koleje v ose – bokorysný průmět středu spojnic temen hlav protilehlých kolejnicových pásů,

podélná výška kolejnicového pásu – bokorysný průmět temen kolejnicového pásu,

směr koleje v geometrické ose – půdorysný průmět středů příčných spojnic pojížděných hran protilehlých kolejnicových pásů,

směr kolejnicového pásu – půdorysný průmět pojížděné hrany kolejnicového pásu,

provozní odchylka – odchylka od projektované nebo předepsané hodnoty geometrické veličiny na provozované trati, definovaná ve dvou stupních – mez sledování a mez zásahu – opravy,

mezní provozní odchylka – odchylka od projektované nebo předepsané hodnoty geometrické veličiny na provozované trati, která nesmí být překročena, definovaná jako mez bezodkladného zásahu,

tětivový měřicí systém – hodnocení podélné výšky a směru koleje na principu měření výškového a směrového vzepětí asymetrickou tětivou měřicími prostředky a měřicím zařízením traťových strojů,

inerční měřicí systém – hodnocení geometrie koleje z polohy kolejnic ve svislém a příčném směru, vzhledem k inerčnímu vztažnému bodu,

měření pod zatížením – měření se provádí při zatížení koleje železničními vozidly, kdy zatížení v bodě měření na kolejnici musí v takovém případě odpovídat minimálnímu svislému kolovému zatížení 25 kN. [1]

ÚVOD

Železniční dopravu lze považovat za výrazný faktor ve vývoji společnosti v uplynulých dvou staletích. Budování železniční sítě na našem území v druhé polovině osmnáctého století dalo impuls k rozvoji měst a uspořádalo průmyslovou revoluci. Intenzita, se kterou byla železniční síť budována, je v dnešní době, vezmeme-li v úvahu značnou členitost terénu České republiky, jen těžko představitelná. Stavba tratí v tomto období tak zůstává pozoruhodným inženýrským dílem. V dnešní době je vyžadována správa této rozsáhlé železniční sítě s péčí řádného hospodáře. Z hlediska bezpečnosti a provozuschopnosti má proto provozovatel dráhy, kterým je na české železniční síti až na výjimky Správa železnic, státní organizace, povinnost zajišťovat diagnostiku železničního svršku a spodku měřicími prostředky s kontinuálním záznamem.

Diplomová práce je v úvodu teoretické části věnována popisu současného stavu diagnostiky železničního svršku, konkrétněji pak legislativním požadavkům na vlastníka dráhy a provozovatele dráhy. Následně je v diplomové práci uvedeno základní rozdělení geometrických parametrů koleje společně s popisem principu měření jednotlivých parametrů. Dále jsou popsány prostředky pro měření geometrických parametrů koleje včetně základních technických údajů, principu měření a rozsahu měřených parametrů. V poslední kapitole teoretické části diplomové práce je vysvětlen způsob hodnocení kvality geometrických parametrů koleje s využitím úsekového hodnocení a hodnocení lokálních závad.

Praktická část diplomové práce je věnována měření geometrických parametrů vybraného úseku koleje pomocí měřicího vozíku KRAB S – light. V úvodní kapitole praktické části je popsán vybraný úsek koleje, kde měření geometrických parametrů provedl. Dále je podrobněji shrnut průběh přípravného měření v areálu Výukového a výzkumného centra v dopravě v Pardubicích i průběh měření šest set metrů dlouhého vybraného úseku na trati č. 040 mezi zastávkou Chotěvice a stanicí Pilníkov. Naměřené hodnoty geometrických parametrů koleje jsou zpracovány a vyhodnoceny v programu Krab 10. V poslední kapitole praktické části diplomové práce jsou vybrané geometrické parametry získané měřením porovnány s týmiž parametry naměřenými pomocí měřicího vozu železničního svršku Správy železnic, státní organizace. V závěru práce jsou shrnuty výhody a nevýhody měření geometrických parametrů pomocí měřicího vozíku KRAB – S light, je popsána vyhodnocená kvalita geometrických parametrů měřeného úseku a jsou odůvodněny příčiny rozdílů v porovnávaných geometrických parametrech.

1 SOUČASNÝ STAV DIAGNOSTIKY ŽELEZNIČNÍHO SVRŠKU

V historických etapách železniční sítě se diagnostice železničního svršku věnovala výrazně menší pozornost než dnes. Měřících diagnostických prostředků bylo omezené množství, bylo jimi možné měřit zpravidla pouze základní geometrické parametry koleje jako rozchod koleje nebo převýšení koleje. Na bezpečnost a provozuschopnost drah nebyly kladeny stejné požadavky jako v současnosti, kterou do značné míry ovlivňují požadavky interoperability vycházející z práva Evropské unie. Nejběžnějším a také téměř výhradním prostředkem pro zajištění provozuschopnosti dráhy byla vizuální kontrola, již prováděli tzv. pochůzkáři v předepsaných intervalech různících se na základě významu trati v železniční síti a intenzitě provozu železniční dopravy. Kontrolovala se úplnost součástí železničního svršku a technický stav. Kromě těchto vizuálních kontrol byly prováděny výše postavenými zaměstnanci kontrolní jízdy na lokomotivách vlaků, při kterých byly čistě subjektivně hodnoceny odezvy vozu od pohybu po koleji. [2]

Od těchto metod se, pro svoji nízkou vypovídající hodnotu a také časovou náročnost, téměř upustilo a důraz na provádění celkové diagnostiky koleje vzrostl. Množství zjišťovaných veličin, údajů, informací a specializovaná zařízení pro jejich měření tuto skutečnost jen dokládají. Zjišťování a hodnocení technického stavu železničního svršku je důležité z hlediska:

- **bezpečnosti provozu kolejových vozidel**, kdy není možné překročit dané meze vybraných geometrických parametrů koleje, kterými jsou rozchod koleje (RK), převýšení koleje (PK), zborcení koleje (ZK) a křivost koleje,
- **jízdního komfortu**, na který má vliv především podélná výška koleje (VK), směr koleje (SK) a prostorová poloha koleje (PPK),
- **životnosti prvků železničního svršku**, která zahrnuje míru ojetí kolejnic, vady a poruchy kolejnic, vady a poruchy kolejnicových podpor atd.,
- **přejímky provedených stavebních nebo údržbových prací**, aby bylo možné si ověřit garantovanou kvalitu díla. [2]

Podle zákona č. 266/1994 Sb. “zákona o drahách“ je vlastník povinen zajistit údržbu a opravu v rozsahu nezbytném pro její provozuschopnost, což je technický stav zaručující bezpečné a plynulé provozování. Provozovatelům drah, ve vztahu k bezpečnosti a provozuschopnosti, ukládá stejný zákon provozovat dráhu pro potřeby plynulé a bezpečné

drážní dopravy; analyzovat, hodnotit a usměrňovat rizika, případně rizika odstranit nebo přijmout nezbytná opatření. [3]

Provozovatelům drah regionálních a celostátních, kterých je v ČR k 1. 2. 2023 celkem sedm, vyhláška č. 177/1995 Sb., kterou se vydává stavební a technický řád drah podrobněji stanovuje: [4]

- **rozsah a podmínky technickobezpečnostní zkoušky**, kterou se ověřuje stavba nebo její část z hlediska dosažení projektovaných parametrů, funkce stavby a bezpečnosti provozování dráhy a drážní dopravy,
- **technické podmínky a požadavky pro stavby drah a pro stavby na dráze**, které definují např.: prostorové uspořádání, traťové třídy zatížení, geometrické uspořádání koleje, uspořádání staveb železničního svršku i spodku a další,
- **technické podmínky provozuschopnosti dráhy** popsané stavebnětechnickými parametry, dovoleným opotřebením za provozu a funkčností jejich částí (komponentů). [5]

Vyhláška č. 177/1995 Sb. v rámci technických podmínek pro zajištění provozuschopnosti drah stanovuje pravidelné prohlídky včetně jejich časového intervalu. Intervaly pravidelných prohlídek pro geometrické parametry koleje (GPK) měřené měřicími prostředky s kontinuálním záznamem je uveden v následující tabulce.

Tabulka 1 Prohlídky a měření na dráze celostátní a dráze regionální s rychlostí do 200 km/h včetně [5] – upraveno

Pol.	Předmět a způsob prohlídky	Objekt	Časový interval prohlídky
3.	Měření rozchodu, vzájemné výškové polohy kolejnicových pásů a směru kolejí a výhybek měřicími prostředky s kontinuálním záznamem	traťové a hlavní staniční koleje při rychlosti vyšší než 120 km.h ⁻¹	4 měsíce
		traťové a hlavní staniční koleje při rychlosti vyšší než 60 km.h ⁻¹ a nižší nebo rovné 120 km.h ⁻¹	6 měsíců
		traťové a hlavní staniční koleje při rychlosti nižší nebo rovné 60 km.h ⁻¹	12 měsíců
		ostatní dopravní koleje • při měření rozchodu a vzájemné výškové polohy kolejnicových pásů	12 měsíců
		• při měření směru oblouků kolejí	36 měsíců
		manipulační koleje	určí provozovatel

2 MĚŘENÉ VELIČINY GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE

V první kapitole diplomové práce byly vysvětleny důvody pro provádění diagnostiky železničního svršku s ohledem na bezpečnost provozu, jízdní komfort, přejímky prací a životnost jednotlivých prvků železničního svršku. Shrnuty byly také požadavky, které vlastníků drah i provozovatelům dráhu ukládá platná legislativa. Diagnostika železničního svršku zahrnuje systém dílčích měření, která se zaměřují na geometrické parametry koleje, průjezdný profil, profil kolejnic či na vady kolejnic a další.

Nadále bude pojednáváno pouze o geometrických parametrech koleje, které jsou předmětem diplomové práce. V této kapitole jsou popsány definice a způsob měření základních i odvozených veličiny geometrických parametrů koleje (GPK). Pokud je to účelné, jsou veličiny znázorněny v příčném či podélném řezu železničního svršku.

Geometrii jízdní dráhy určují prostorové (vytvářející) křivky. Hodnotit kvalitu koleje na základě těchto křivek by bylo velmi složité. Přistupuje se tedy k určitému zjednodušení a zavádí se základní geometrické veličiny – směr koleje, podélná výška koleje, rozchod koleje a převýšení koleje.

Tabulka 2 Rozdělení základních geometrických veličin [6]

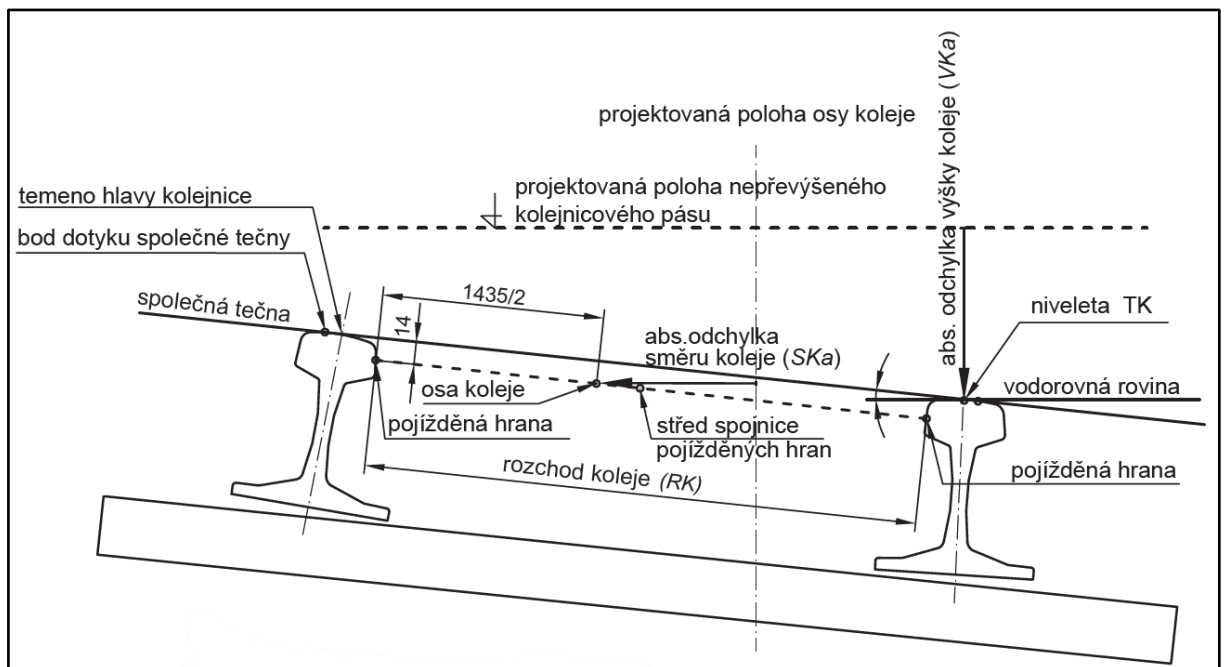
	geometrické uspořádání koleje (GUK) (relativní odchylky od střednice geometrické veličiny)	konstrukční uspořádání koleje (KUK) (přímé míry na koleji)
příčný směr	směr koleje (SL, SP, SK)	rozchod koleje (RK)
svislý směr	podélná výška koleje (VL, VP, VK)	převýšení koleje (PK)

Geometrické parametry koleje (GPK) je možné si představit jako soubor mnoha veličin, které jsou definovány ve třech skupinách a které obsahují jak základní, tak i odvozené veličiny:

- geometrické uspořádání koleje (GUK) – měřeno geodetickými prostředky nebo měřicími prostředky s kontinuálním záznamem
 - směr koleje (SK)
 - podélná výška koleje (VK)
 - podélný sklon koleje
- konstrukční uspořádání koleje (KUK) – veličiny přímo měřitelné měřicími prostředky
 - rozchod koleje (RK)

- vzájemná výšková poloha kolejnicových pásů
 - převýšení (PK)
 - sklon vzestupnice
 - vzájemný sklon kolejnicových pásů – zborcení koleje (ZK)
- změna rozchodu na měřičské základně 1 resp. 2 m (ZR)
- prostorová poloha koleje (PPK) – vytýčení polohové a výškové polohy osy koleje a nivelety temene kolejnicového pásu pomocí geodetických metod a posouzení absolutních odchylek [6]

Grafické znázornění vybraných měřených veličin a důležitých termínů konstrukčního uspořádání koleje je obsaženo na následujícím obrázku:



Obrázek 1 Grafické znázornění definic veličin konstrukčního a geometrického uspořádání koleje [6]

2.1 rozchod koleje – RK

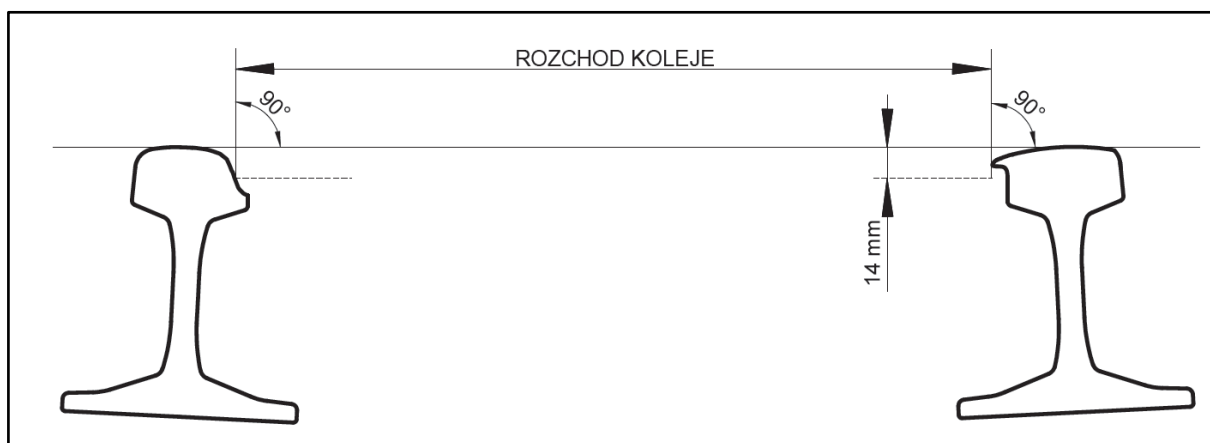
OBECNĚ

Rozchod koleje je jednou ze základních veličin měřených na koleji. Zásadním způsobem určuje vztah kolo kolejnice. Méně příznivý stav, i z pohledu provozních a mezních provozních odchylek, nastává v případě, kdy je naměřená hodnota rozchodu menší než hodnota návrhová. Meze pro naměřené hodnoty větší než návrhové hodnoty rozchodu jsou zhruba třikrát větší než meze pro naměřené hodnoty, které jsou menší než návrhové hodnoty rozchodu. Skutečný naměřený rozchod, který je menší než návrhová hodnota, totiž způsobuje nepříznivý pohyb dvojkolí v koleji, při němž hrozí vystoupení okolku kola na temeno kolejnice a tím

i vykolejení dvojkolí nápravy. Nicméně vždy je třeba hodnotit daný úsek trati i pomocí ostatních veličin GPK. Například ve spojení s nevyhovujícími hodnotami parametru zborcení koleje bude riziko vykolejení mnohem větší. Hodnota zborcení koleje totiž ovlivňuje odlehčení vodícího kola železničního vozidla a tím zmenšuje odpor proti vystoupaní okolku kola na temeno kolejnice.

Jmenovitá hodnota normálního rozchodu koleje na železnici v ČR je 1435 milimetrů. Návrhová hodnota rozchodu byla v souladu s Technickými specifikacemi Interoperability evropského železničního systému nově stanovena na hodnotu 1437 milimetrů a jako doposud může být navýšena v závislosti na rozšíření rozchodu koleje v obloucích malých poloměrů. Maximální projektované zvětšení návrhové hodnoty rozchodu koleje je o 16 milimetrů v obloucích s poloměrem menším než 275 metrů a zároveň rovným nebo větším než 150 metrů. V případech oblouků s poloměrem méně než 150 metrů se postupuje podle zásad vlastníka dráhy. [7]

Aby bylo možné v jakémkoliv místě trati bez ohledu na míru ojetí kolejnic rozchod koleje změřit, je rozchod koleje normou definován jako nejmenší vzdálenost mezi kolmicemi ke spojnici temen kolejnicových pásů dotýkajícími se bočních pojížděných ploch do maximální hloubky až 14 mm od spojnice temen kolejnicových pásů. Hranice rozsahu 14 mm pod spojnicí temen kolejnicových pásů platí pro Vignolovy kolejnice. [1] Vystihující je v tomto směru níže uvedený obrázek.



Obrázek 2 Rozchod koleje pro kolejnice s ojetím [6]

METODA MĚŘENÍ

Rozchod koleje je měřen mechanickými snímači pomocí systému kladek a válečků přitlačovaných k vnitřním hranám obou kolejnic nebo bezkontaktními snímači laserového paprsku, které jsou upevněny na podvozku nebo skříni vozidla. [8]

ROZSAH VLNOVÝCH DÉLEK

Pro měření rozchodu koleje není stanoven rozsah vlnových délek, neboť se jedná o přímo měřitelnou veličinu. Respektive je rozchod koleje měřitelný v celém rozsahu vlnových délek $\lambda = 1 \div \infty$ metrů.

ROZSAH MĚŘENÍ

Rozsah měření je -15 milimetrů / +50 milimetrů od hodnoty jmenovitého rozchodu.

ODVOZENÉ VELIČINY

Mimo základní veličinu rozchod koleje je hodnocena také změna rozchodu koleje (ZR) na dva metry délky koleje, která je z původního rozchodu vypočtena. Měřicími prostředky s kontinuálním záznamem je dále hodnocena také střední hodnota rozchodu koleje (RK100), která je určena aritmetickým průměrem naměřených hodnot rozchodu koleje v daném úseku s krokem měření maximálně 1 m. Střední hodnota rozchodu koleje se hodnotí pouze pro kolej za provozu. [6]

2.2 převýšení koleje – PK

OBECNĚ

Převýšení koleje spadá, podobně jako rozchod, do základních měřených veličin. Převýšení koleje projektované podle zásad normy ČSN 73 6360-1: [7]

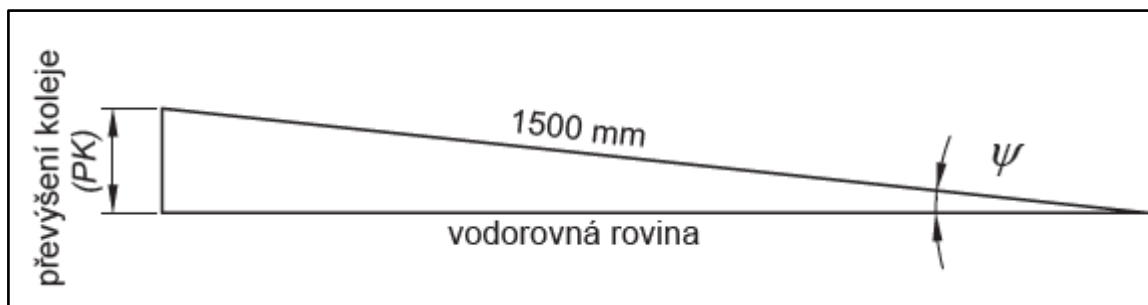
- zajišťuje stabilní vazbu kola a kolejnice v obloucích různých poloměrů tím, že je rovnoměrně rozloženo zatížení od tíhy vozidla na oba kolejnicové pásy,
- minimalizuje opotřebení kolejnicových pásů,
- zvyšuje jízdní komfort snížením účinků odstředivých a dostředivých sil na cestující.

Převýšení koleje je převážně spojeno s návrhem kružnicových oblouků projektované trati, přičemž v přímých úsecích koleje je převýšení rovné nule. Skutečná výška obou kolejnicových pásů však v praxi není naprosto totožná, i v přímé části koleje je možné naměřit odchylky od nulového převýšení. A to vyjma případů v kolejových rozvětveních nebo v dezinfekční koleji, kde se převýšení zřizuje cíleně i přesto, že je kolej v přímé.

Maximální hodnota převýšení vnějšího kolejnicového pásu v oblouku v kolejovém loži je podle platné normy 73 6360-1 v České republice 160 milimetrů. Pokud je trať zřízena formou pevné jízdní dráhy, může být hodnota převýšení koleje až 180 milimetrů. [7]

Převýšení koleje je definováno jako výškový rozdíl kolejnicových pásů daný úhlem ψ , který svírá spojnice temen protilehlých kolejnicových pásů a vodorovná rovina. Převýšení se

udává délkou kratší odvěsny pravoúhlého trojúhelníka, jehož přepona má délku 1500 mm. Tímto způsobem odvození není převýšení závislé na skutečné hodnotě rozchodu koleje. [1]



Obrázek 3 Převýšení koleje [6]

METODA MĚŘENÍ

Převýšení koleje může být určeno buď měřením úhlu ψ mezi vodorovnou rovinou a jízdní plochou (spojnice temen kolejnicových pásů) nebo rozdílem ve výškách temen hlav kolejnic. Pro měření úhlu náklonu ψ může být použit velmi přesný inklinometr.

ROZSAH VLNOVÝCH DÉLEK

Pro měření převýšení koleje není stanoven rozsah vlnových délek, neboť se jedná o přímo měřitelnou veličinu. Respektive je převýšení koleje měřitelné v celém rozsahu vlnových délek $\lambda = 1 \div \infty$ metrů.

ROZSAH MĚŘENÍ

Rozsah měření je ± 225 milimetrů. Jedná se o veličinu s největším rozsahem měření.

ODVOZENÉ VELIČINY

Z převýšení koleje je možné vypočítat tzv. zborcení koleje (ZK) jako algebraický rozdíl mezi dvěma převýšeními koleje dělený vzdáleností mezi oběma místy převýšení koleje. Zborcení koleje v zásadě vyjadřuje změnu převýšení koleje na zvolené měřičské základně. Pro měřicí prostředky s kontinuálním záznamem je zborcení koleje počítáno pro třináct měřičských základů odstupňovaných po jednom a půl metru z hodnoty převýšení koleje. [6] Vyjadřuje se v milimetrech na metr. [9]

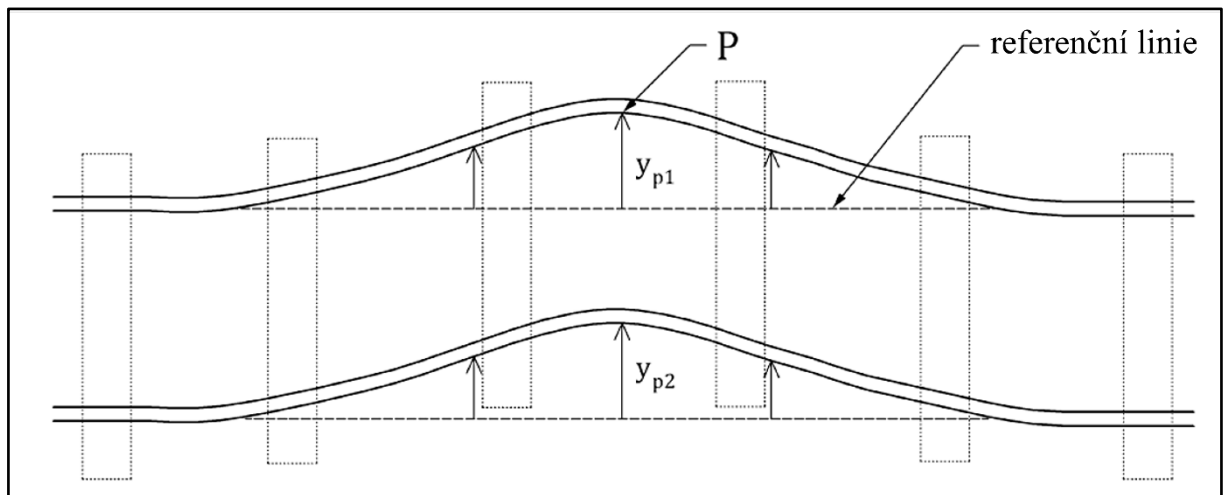
2.3 směr koleje – SK, resp. směr levého a pravého kolejnicového pásu – SL, SP

OBECNĚ

Dle zásad pro projektování je směrové řešení navrhováno buď v přímé nebo v oblouku. Směrové řešení osy koleje je tvořeno přímými úseky, kružnicovými oblouky a přechodnicemi

(nejběžněji se používá klotoida), které tvoří plynulý přechod křivosti mezi přímým úsekem a kružnicovým obloukem. Odchyšky směru koleje od projektovaného směrového řešení zvyšují hodnotu příčné kolové síly a snižují stabilitu vozidla. Společně s parametrem zborcení koleje je směr koleje nejvýznamnější parametr z hlediska bezpečnosti proti vykolejení. Směr koleje má také vliv na parametr komfortu – příčné zrychlení vozové skříně. [2] [10]

Směr koleje je definován jako odchyłka y_p ve směru y daného bodu P na ose koleje nebo na kolejnici v půdorysném průmětu od vyhlazené boční polohy – referenční linie, která je odpovídající zájmovému rozsahu vlnových délek. Definici znázorňuje následující obrázek.



Obrázek 4 Směr koleje [9] – upraveno

METODA MĚŘENÍ

Směr koleje se zjišťuje pomocí inerciálního měření, které poskytuje relativní údaje o poloze při známém počátečním bodu. Případně se pro měření směru koleje používá těťivový systém na principu měření výškového a směrového vzepětí asymetrickou těťivou. Pro těťivový měřicí systém je charakteristická jeho komplikovaná přenosová funkce. [8]

ROZSAH VLNOVÝCH DÉLEK

Pro směr koleje jsou uvažovány tři rozsahy vlnových délek λ :

- D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$, využíváný pro hodnocení SL, SP (směru levého a pravého kolejnicového pásu) pro rychlostní pásmo RP0 až RP5,
- D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$, využíváný pro hodnocení SK (směru koleje) pro rychlostní pásmo RP3 až RP5,
- D3: $70 \text{ m} < \lambda \leq 200 \text{ m}$, využíváný pro dlouhovlnné závady pro tratě s návrhovou rychlostí vyšší než 230 km/h. [9]

ROZSAH MĚŘENÍ

Rozsah měření směru koleje, resp. směru levého nebo pravého kolejnicového pásu je stanoven normou pro rozsah vlnových délek $D1 \pm 50$ mm, pro $D2 \pm 100$ mm a pro $D3 \pm 300$ mm.

ODVOZENÉ VELIČINY

S veličinou směr koleje souvisí také absolutní příčná odchylka projektovaných souřadnic osy koleje (SKa) měřená v milimetrech. Nejedná se přímo o veličinu odvozenou od veličiny směr koleje, který je udáván jako relativní odchylka, nicméně s ním souvisí. Absolutní příčná polohová odchylka SKa je odchylka od projektované hodnoty koleje a určuje se porovnáním kontinuálního geodetického záznamu měření prostorové polohy koleje (PPK) a projektu nebo odměřením osových vzdáleností k prostorové poloze zajišťovacích značek.

2.4 podélná výška koleje – VK, resp. podélná výška levého a pravého kolejnicového pásu – VL, VP

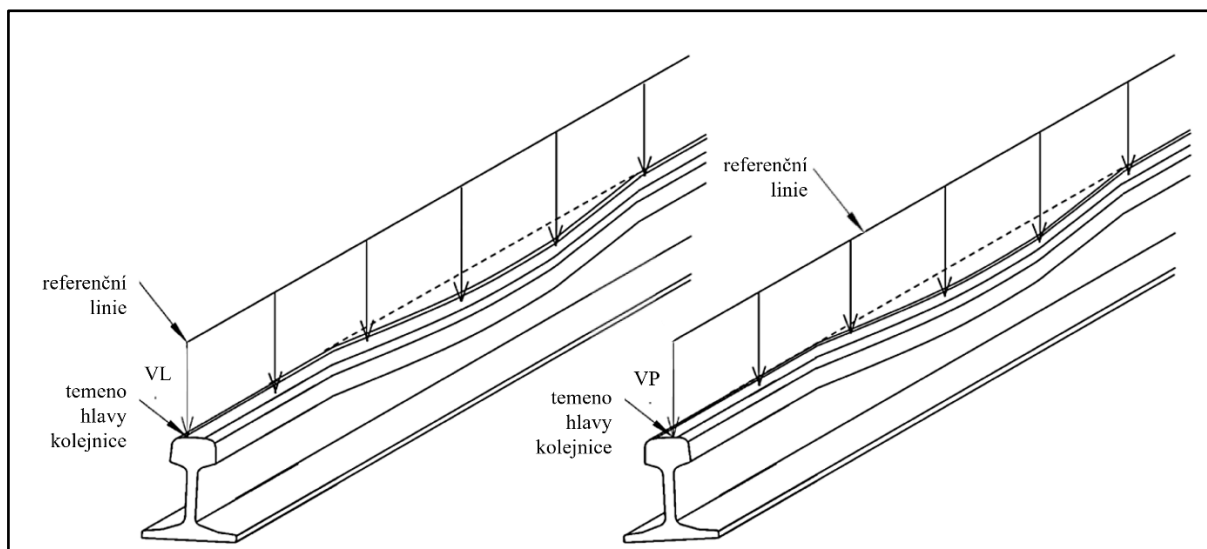
OBECNĚ

Podélná výška koleje spadá do skupiny veličin geometrického uspořádání koleje. Tuto veličinu nelze přímo měřit v koleji a odchylky jsou hodnoceny jako relativní, vztažené ke střednici geometrické veličiny, které je odvozena ze skutečné geometrie. Její vliv na chování vozidla a bezpečnost provozu není tak zásadní jako u zborcení koleje (ZK), rozchodu (RK) nebo směru koleje (SK). Přesto změny v podélné výšce koleje ovlivňují jak svislou kolovou sílu, tak i svislé zrychlení a tím i komfort jízdy. Svislá kolová síla má vliv na poměr mezi příčnou a svislou kolovou silou, který určuje riziko vykolejení. [6]

Podélná výška koleje je definována jako bokorysný průmět středů spojnic temen hlav protilehlých kolejnicových pásů, případně pro podélnou výšku kolejnicového pásu jako bokorysný průmět jeho temene. [1] Znázornění veličiny je patrné na obrázku 5 na následující straně.

METODA MĚŘENÍ

Měření podélné výšky koleje se provádí jednak pomocí inerciálního systému, jednak pomocí tětiového systému, případně kombinací obou metod. Geometrické parametry koleje měřené tětiovým systémem jsou však zkreslené a je nutné je opravit, aby se eliminoval vliv přenosové funkce.



Obrázek 5 Podélná výška koleje [9] – upraveno

ROZSAH VLNOVÝCH DÉLEK

Pro výšku koleje i výšku obou kolejnicových pásů jsou uvažovány tři rozsahy vlnových délek λ :

- D1: $3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$, využíváný pro hodnocení VL, VP (výšku levého a pravého kolejnicového pásu) pro RP0 až RP5
- D2: $25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$, využíváný pro hodnocení VK (výšku koleje) pro RP3 až RP5
- D3: $70 \text{ m} < \lambda \leq 150 \text{ m}$, využíváný pro dlouhovlnné závady pro tratě s rychlostí vyšší než 230 km/h. [9]

ROZSAH MĚŘENÍ

Rozsah měření podélné výšky koleje, resp. podélné výšky levého, pravého kolejnicového pásu je stanoven pro rozsah vlnových délek $D1 \pm 50 \text{ mm}$, pro $D2 \pm 100 \text{ mm}$ a pro $D3 \pm 200 \text{ mm}$.

ODVOZENÉ VELIČINY

S veličinou podélné výšky koleje souvisí také absolutní výšková odchylka od projektované hodnoty (VKa) měřená v milimetrech. Absolutní výšková odchylka VKa je odchylka nivelety temene nepřevýšeného kolejnicového pásu od její projektované nadmořské výšky a určuje se porovnáním kontinuálního geodetického záznamu měření prostorové polohy koleje (PPK) a projektu nebo odměřením osových vzdáleností k prostorové poloze zajišťovacích značek.

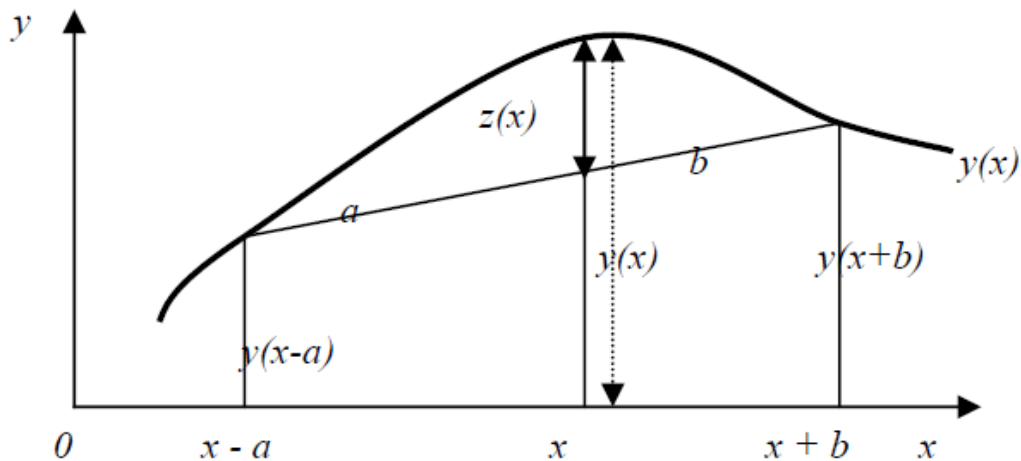
3 PRINCIP MĚŘENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE

KOLEJE

Před samotným popisem prostředků pro měření geometrických parametrů koleje je důležité stručně uvést dva základní principy měření. Těchto principů využívají v různých formách všechna měřicí zařízení zmíněné dále v této kapitole.

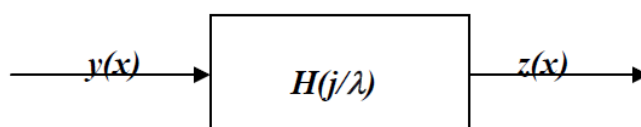
3.1 Tětivový měřicí systém

Tětivový měřicí systém je založen na principu vzepětí ze středního bodu tětivy (přímky) ke kolejnici. Tětiva je rozdělena asymetricky na dvě části, které se nazývají a a b . Délka obou tětiv a míra asymetrie ovlivňuje výsledek. Pokud by byla báze (střední bod) tětivy symetrická, mohlo by dojít k nulovým hodnotám pro některé vlnové délky. Čím kratší je délka tětivy, tím více jsou podceňovány dlouhé nerovnosti. Tuto skutečnost lze popsat tzv. přenosovou funkcí, která charakterizuje výpočet vzepětí $z(x)$ ze vstupního signálu $y(x)$. [11] [12]



Obrázek 6 Tětivový měřicí systém [11]

V principu je možné proces popsat tak, že buzení systému (tedy odezva od měření GPK) představuje signál $y(x)$, který vstupuje do systému popsaného přenosovou funkcí $H(j/\lambda)$. Odezvou systému přenosové funkce je výstupní signál $z(x)$. Proces je znázorněn na následujícím obrázku. [11]



Obrázek 7 Proces práce se signálem [11]

Posun (vzepětí tětiny) je měřen pomocí mechanických snímačů (vozíků a válečků) v případě vozíku KRAB S – light nebo pomocí bezkontaktních snímačů (optických nebo indukčních) v případě MVŽSv. Tětinové měření není závislé na minimální rychlosti měření. [12] [13]

3.2 Inerciální měřicí systém

Inerciální měřicí systém pracuje s principem vztažného – inerciálního bodu, ve kterém začíná měření a od něhož se pomocí měření úhlových rychlostí a akcelerací dopočítávají tzv. prostorové křivky pohybu vozu. Pro návaznost inerciální měřicí jednotky s kolejnicí jsou používány doplňkové snímače (čidla). Poloha v jakémkoliv místě je zjišťována pomocí akcelerometrů a gyroskopů. Tento princip měření má na rozdíl od tětinového měřicího systému jednotkovou přenosovou funkci. Pro dosažení spolehlivých výsledků je obvykle nezbytná určitá minimální rychlost měření. [1] [13]

4 PROSTŘEDKY PRO MĚŘENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE

Díky postupnému vývoji měřicích prostředků je v současnosti možné měřit veškeré geometrické parametry koleje kontinuálně, za provozu a v rychlostech až do 200 km/h. V případě Centra techniky a diagnostiky CTD (dříve Technické ústředny dopravní cesty), která je organizační složkou Správy železnic, státní organizace zajišťující diagnostiku a měření GPK železničních tratí, jsou k dispozici diagnostické prostředky s různým využitím, rychlostí měření i dobou provozu od 90. let minulého století po nejnovější stroje používané od roku 2021. Konkrétně se pro měření GPK jedná o:

- dva měřicí vozy železničního svršku (MVŽSv, MVŽSv2),
- měřicí vozidlo EM100,
- měřicí drezínu (MD),
- dvě malé měřicí drezíny (MMD.1, MMD.2),
- měřicí vozík KRAB,
- ruční rozchodky.

Konkrétně je s těmito prostředky zajištěna, dle platné legislativy, diagnostika celé sítě tratí provozovaných SŽ s intervaly měření každé čtyři měsíce pro traťové a staniční koleje s rychlostí vyšší než 120 km/h po měření každých 12 měsíců pro traťové a staniční koleje s rychlostí do 60 km/h. Měření GPK v ostatních dopravních kolejích má interval měření 12 až 36 měsíců. Je patrné, že v takovýchto intervalech měření železniční sítě provozované SŽ s relativně malým počtem diagnostických prostředků je nutný přesný plán měření. Ten je připravován Centrem techniky a diagnostiky s ohledem na dodržení četnosti měření pro daná rychlostní pásma tratí i s ohledem na plán traťových výluk. Z těchto informací je vytvořena pro každé vozidlo trasa měření. Trasy jsou podrobněji rozepsané v předpise SŽ S2/4 – Zajišťování diagnostiky železničního svršku a spodku měřicími prostředky s kontinuálním záznamem. [14]

Pro pochopení odlišností mezi jednotlivými diagnostickými prostředky měřící GPK jsou dále popsány jejich základní technické údaje, měřené veličiny vč. principu měření a pro názornost je také uveden náčrt či obrázek daného prostředku. Prostředky jsou řazeny od jednoduchých ručních měřidel až po nejpokročilejší stroje s kontinuálním bezkontaktním způsobem měření.

4.1 Ruční rozchodky

Ruční rozchodky jsou nezákladnějším nástrojem pro měření vybraných parametrů GPK. Jedná se o poměrně jednoduché zařízení, jehož hlavní část je tvořena profilem z lehkého kovu, které se přikládá na kolejnice kolmo ke směru koleje. S ručními rozchodkami je měřen pouze rozchod a převýšení koleje – dva nejdůležitější parametry z hlediska bezpečnosti. Tento typ diagnostického prostředku je určen k bodovému měření v krátkých úsecích. Produktivita práce je oproti ostatním prostředkům pro měření GPK velmi nízká. Použijí se však s úspěchem při revizích a kontrolách nebo při opravách kolejových konstrukcí.

V současné době se využívají mechanické rozchodky, které jsou vybaveny odečítací stupnicí pro přímé zobrazení měřených hodnot s přesností odečtu na 1 mm. Existují také rozchodky pro revizi výhybek, které jsou navíc vybaveny specifickými pomůckami pro odečet parametrů výhybek. [2]

Spolu s mechanickými rozchodkami se využívají také digitální rozchodky, které zobrazují hodnoty měřených veličin přímo na displeji přístroje. Data lze ukládat, zpětně hodnotit a vypočítat i zborcení koleje.



Obrázek 8 Rozchodka s nivelací pro převýšení [15]

4.2 Měřicí vozík – KRAB S – light

KRAB S – light je mobilní měřicí zařízení vyráběné firmou KŽV s.r.o. Jedná se o subtilní příhradový vozík, jehož hlavní část tvoří čtvercový dutý profil, na němž jsou upevněna kola s okolky, které jsou díky pružinám v neustálém kontaktu s vnitřními hranami kolejnic. Na

hlavní části vozíku jsou dále upevněna sklopná ramena, která se rozevřou kolmo k této části vozíku a aretují pomocí příčných vzpěr, čímž se vozík stabilizuje a je možné ho přenést a umístit na kolejnice. Na takto složený měřicí vozík se dále osazují přídatné moduly jako IP kamera, laserový dálkoměr DISTO, laserový skener profilu kolejnic, Krab kamera nebo dlouhé rameno pro hodnocení směru koleje a výšky koleje ve vlnové délce D2.

KRAB S – light je poměrně lehký a váží v základní konfiguraci okolo 35 kg. Dvoučlenná obsluha pohodlně dokáže, dle zkušenosti z měření, měřicí vozík umístit na kolej i ho snést. Pro tyto situace je vozík opatřen dvěma madly. Pohyb měřicího vozíku je zajištěn tažením nebo tlačáním řídítek kloubově spojených s vozíkem, na kterých je upevněno ovládací zařízení se softwarem KrabDroid2.0 pro nastavení celého měření a sledování hodnot přímo při měření. Minimální výdrž baterie je 8 hodin, rychlost měření je omezena na 15 km/h. [16]



Obrázek 9 Měřicí vozík KRAB S – light

Pomocí vozíku KRAB S – light jsou měřeny a zaznamenávány tyto veličiny:

- rozchod koleje (RK)
- směr koleje (SK)
- výšku koleje (VK)
- převýšení koleje (PK)

Veličiny jsou kontinuálně zaznamenávány se vzorkovací frekvencí 0,25 m. Měření s tímto vozíkem je založeno na mechanickém snímání kontaktními čidly. Systém je vytvořen kombinací těživového snímání asymetrickou těživou pouze pro jeden kolejnicový pás a inklinometru. [14]

Rozchod koleje je měřen potenciometrickým snímačem na levém samostatném kole, směr koleje a výška koleje je měřena kontaktem jednostranné asymetrické těživy s kolejnicí na pravém kolejnicovém pásu. Převýšení koleje je měřeno velmi spolehlivým inklinometrem. [16] V následující tabulce je uvedený výčet měřených parametrů GPK:

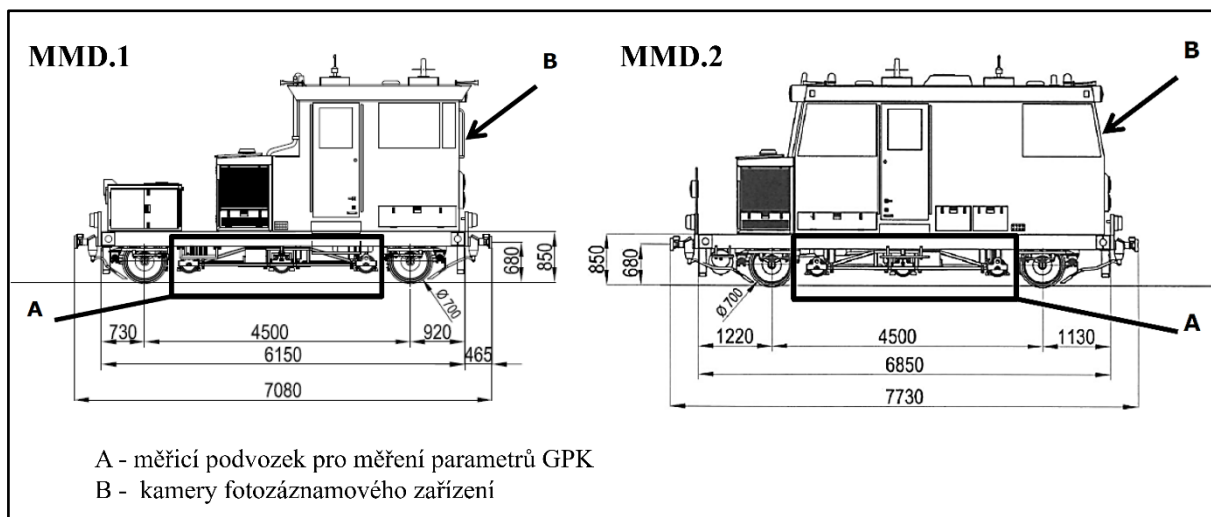
Tabulka 3 GPK měřené vozíkem KRAB S-light [14] [16] – upraveno

Parametr	šířka pásma [m]	symbol	jednotka	rozsah	přesnost
Směr levého, pravého kolejnicového pásu	3 ÷ 25	<i>SL, SP</i>	mm	± 25	±1,0 mm
Podélná výška levého, pravého kolejnicového pásu	3 ÷ 25	<i>VL, VP</i>	mm	-15, +12	±0,7 mm
Převýšení koleje celkové	1 ÷ ∞	<i>PK</i>	mm	± 180	±1,0 mm
Celkový rozchod koleje	1 ÷ ∞	<i>RK</i>	mm	-15, +40	±0,45 mm

4.3 Malé měřicí drezíny – MMD.1 a MMD.2

Malé měřicí drezíny jsou drezíny upravené pro měření geometrických parametrů koleje a vytváření fotozáznamu z měření. V oblasti podvozku mezi dvojkolími se nachází samonosný mechanický měřicí podvozek tvořený prostorovou příhradovou konstrukcí s vysokou tuhostí. Tento podvozek s elektronickými čidly a analogovo-digitální elektronikou je zdvihán pomocí čtyř pneumatických válců pod rám vozidla. Maximální přepravní rychlost obou malých měřicích drezín je 75 km/h, zatímco měřicí rychlost je stanovena od 2 km/h do maximálně 50 km/h. Jmenovitá hmotnost 14 až 15 tun na délce přes nárazníky do osmi metrů s měřicím podvozkem mezi dvojkolími je důvodem, že se jedná o tzv. měření pod zatížením. Schémata obou malých měřicích drezín včetně rozměrů a umístění měřicího podvozku a kamery jsou zobrazena na obrázku 10 na následující straně. [14]

Jak je ze schémat patrné, mají obě malé měřicí drezíny shodný rozvor náprav 4 500 milimetrů. Z hlediska dalších technických údajů lze uvést hodnotu minimálního jmenovitého poloměru oblouku při měření, která činí 150 metrů. Hodnota minimálního jmenovitého průjezdného poloměru oblouku je ještě o 60 metrů nižší. Rozmezí pracovních teplot mají malé měřicí drezíny shodně od -10 °C až do +40 °C.



Obrázek 10 Schémata malých měřicích drezín (MMD.1, MMD.2) [14] – upraveno

Měření geometrie koleje je založeno na mechanickém snímání pomocí kontaktních čidel, jež jsou osazeny na měřicím podvozku drezíny. Před zahájením jízdy s měřením je měřicí podvozek usazen na temena kolejnic, vertikálně přitlačen a přitlačena jsou i čidla pro měření rozchodu koleje v horizontálním směru k hlavám kolejnic. Systém snímání geometrických parametrů koleje je vytvořen kombinací těživového snímání asymetrickou těživou pro jeden kolejnicový pás a inerciální jednotky.

Tabulka 4 Měřené parametry GPK malými měřicími drezínami [14]

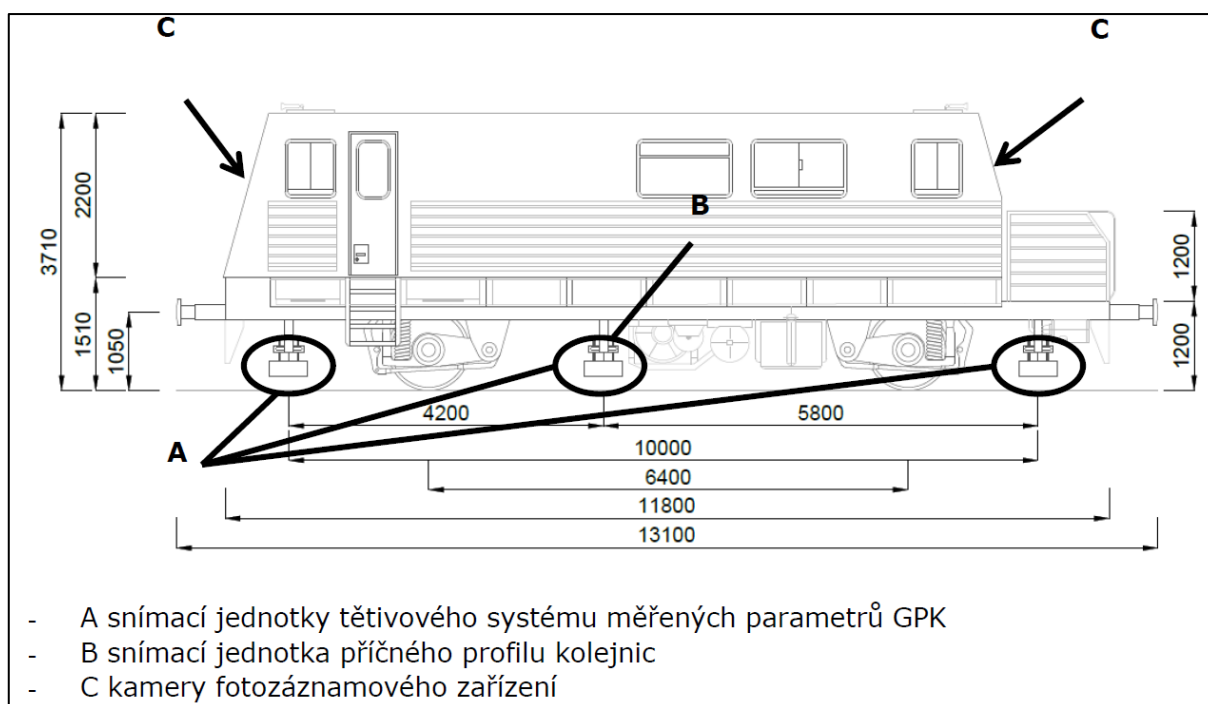
Parametr	šířka pásma [m]	symbol	jednotka	rozsah	přesnost
Směr levého, pravého kolejnicového pásu	3 ÷ 25	<i>SL, SP</i>	mm	±25	±0,3 mm
Podélná výška levého, pravého kolejnicového pásu	3 ÷ 25	<i>VL, VP</i>	mm	±25	±0,3 mm
Převýšení koleje celkové	1 ÷ ∞	<i>PK</i>	mm	±200	±2 %
Převýšení koleje dynamické	3 ÷ 25	<i>PKD</i>	mm	±25	±0,3 mm
Převýšení koleje kvazistatické	70 ÷ ∞	<i>PK_{KS}</i>	mm	±200	±2 %
Celkový rozchod koleje	1 ÷ ∞	<i>RK</i>	mm	-10, +40	±0,2 mm
Rozchod koleje dynamický	3 ÷ 25	<i>RK</i>	mm	±25	±0,2 mm
Křivost koleje	70 ÷ ∞	<i>RK</i>	m ⁻¹	≥ 150	R ≤ 250 m ±2 % R ≥ 10 ³ m ±10 %

Kontaktními čidly umístěnými na středových kolech měřicího podvozku je snímán rozchod koleje. Mechanická čidla na jedné straně podvozku tvoří jednostrannou asymetrickou měřicí těživu pro směr levého nebo pravého kolejnicového pásu. Druhý směr koleje je dopočítáván z rozchodu koleje. Převýšení koleje je měřeno inerciálním systémem, který snímá

úhel náklonu podvozku. Podélná výška levého a pravého kolejnicového pásu je měřena stejně jako směr levého a pravého kolejnicového pásu s tím, že výsledky měření jsou průběžně doplňovány inerciálním systémem. Seznam měřených parametrů GPK je uveden v předchozí tabulce 4.

4.4 Měřicí drezína – MD

Měřicí drezína je vybavena systémy pro měření geometrických parametrů koleje, měření příčného profilu kolejnic a fototozáznamovým zařízením. Na rozdíl od malých měřicích drezín zde probíhá měření GPK bezkontaktním měřicím systémem a měřené parametry jsou prezentovány ve dvou vlnových pásmech D1 a D2. Rychlost měření je od 10 km/h do 80 km/h, maximální přepravní rychlost je shodná s nejvyšší měřicí rychlostí. Měřicí drezína s hmotností 31 tun, o délce 13,1 metru a rozvorem náprav 6,4 metru je schopna měřit v obloucích koleje o minimálním poloměru 150 metrů. Minimální jmenovitý průjezdný poloměr oblouku činí 100 metrů. Měřicí drezína dovoluje měření v teplotách od -5 °C do +45 °C. Na následujícím obrázku se nachází schéma drezíny včetně rozměrů a umístění snímacích jednotek. [14]



Obrázek 11 Schéma měřicí drezíny včetně umístění snímacích jednotek a rozměrů [14]

Měření geometrie koleje funguje způsobem rozměrového snímání světelné stopy laserového paprsku, která je snímána bezkontaktním optickým systémem kamer shodně s měřicím vozem železničního svršku. Použitím triangulačního principu rozměrového měření není potřeba dalších snímačů pro kompenzaci polohy snímacích jednotek. Systém snímání GPK je tvořen kombinací těživového snímání asymetrickou těživou (4,2 a 5,8 metrů) pro oba

kolejnicové pásy a inerciální jednotky. Rozchod koleje je měřen pomocí středových snímacích jednotek těťivového systému. Těťivovým systémem asymetrické těťivy za pomoci třech optických jednotek jsou měřeny směr levého a pravého kolejnicového pásu a podélná výška levého a pravého kolejnicového pásu. Výsledky měření jsou ve vztahu k rychlosti měření průběžně kompenzovány inerciálním systémem. Směr koleje a podélná výška koleje jsou měřeny inerciální jednotkou. Převýšení koleje je měřeno inerciálním systémem, který snímá úhel náklonu podvozku. Seznam měřených parametrů GPK měřicí drezíny je uveden v následující tabulce. [14]

Tabulka 5 Měřené parametry GPK měřicí drezínou [14]

Parametr	šířka pásma [m]	symbol	jednotka	rozsah	přesnost
Směr levého, pravého kolejnicového pásu	3 ÷ 25	<i>SL, SP</i>	mm	±25	±0,3 mm
Směr koleje v ose	25 ÷ 70	<i>SK</i>	mm	±25	±0,5 mm
Podélná výška levého, pravého kolejnicového pásu	3 ÷ 25	<i>VL, VP</i>	mm	±25	±0,3 mm
Podélná výška v ose	25 ÷ 70	<i>VK</i>	mm	±25	±0,5 mm
Převýšení koleje celkové	1 ÷ ∞	<i>PK</i>	mm	±200	±2 %
Převýšení koleje dynamické	3 ÷ 25	<i>PKD</i>	mm	±25	±0,3 mm
Převýšení koleje kvazistatické	70 ÷ ∞	<i>PK_{KS}</i>	mm	±200	±2 %
Celkový rozchod koleje	1 ÷ ∞	<i>RK</i>	mm	-10, +40	±0,2 mm
Rozchod koleje dynamický	3 ÷ 25	<i>RK</i>	mm	±25	±0,2 mm
Křivost koleje	70 ÷ ∞	<i>K_{KS}</i>	m ⁻¹	≥ 150	R ≤ 250 m ±2 % R ≥ 10 ³ m ±10 %
Celková křivost koleje	1 ÷ ∞	<i>Kn</i>	m ⁻¹	≥ 150	dtto křivost

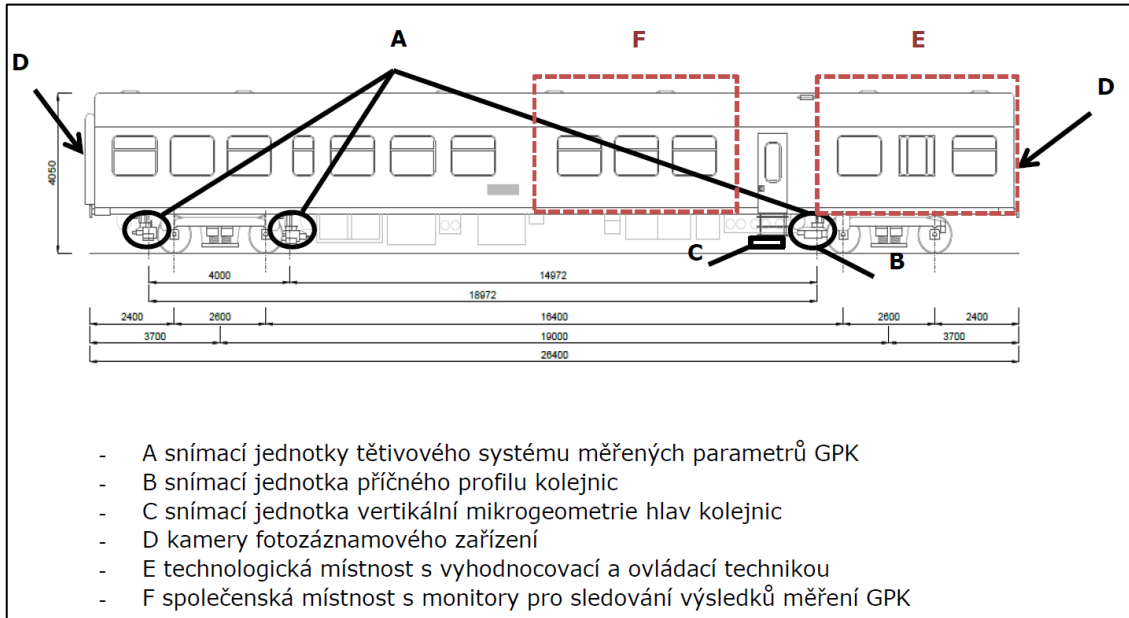
4.5 Měřicí vůz železničního svršku – MVŽSv

Měřicí vůz s rychlostí měření do 160 km/h je určen k měření na tratích většího významu s vyšší traťovou rychlostí. Jedná se o upravený vůz řady Bdmtee275 pro účely měření GPK, příčného profilu kolejnic a vertikální mikrogeometrie kolejnic. MVŽSv je v provozu od roku 1997. Interiér vozu je rozdělený na základní tři části:

- technickou místnost s vyhodnocovací a ovládací technikou,
- společenskou místnost s monitory pro sledování výsledků měření GPK,
- kabiny pro ubytování posádky.

Měřicí vůz železničního svršku, je vybaven čtyřmi měřicími systémy:

- měřením geometrických parametrů koleje (GPK),
- měřením příčného profilu kolejnic,
- měřením vertikální mikrogeometrie kolejnic,
- fotozáznamovým zařízením. [14]



Obrázek 12 Schéma měřicího vozu pro železniční svršek [14]

Měřicí systém GPK

Jak už bylo zmíněno výše, MVŽSv je vybaven mimo jiné systémem TMS (Track Measuring System) pro měření geometrických parametrů koleje. TMS je bezkontaktní měřicí systém s měřenými parametry prezentovanými ve dvou vlnových pásmech. Měření probíhá na principu snímání světelné stopy laserového paprsku promítaného na kolejnicové pásy pomocí bezkontaktního optického systému kamer. Systém snímání GPK je tvořen kombinací těživého snímání asymetrickou těživou (4,000 a 14,972 metrů) pro oba kolejnicové pásy a inerciální jednotky. Rozchod koleje je měřen pomocí středových snímacích jednotek těživého systému. Těživým systémem asymetrické těivy za pomoci třech optických jednotek jsou měřeny směr levého a pravého kolejnicového pásu a podélná výška levého a pravého kolejnicového pásu. Výsledky měření jsou ve vztahu k rychlosti měření průběžně kompenzovány inerciálním systémem. Směr koleje a podélná výška koleje jsou měřeny inerciální jednotkou. Převýšení koleje je měřeno inerciálním systémem, který snímá úhel náklonu podvozku. [14] Seznam měřených parametrů GPK měřicí dreziny je uveden v tabulce 6 na následující straně.

Tabulka 6 Měřené parametry GPK měřicím vozem železničního svršku [14]

Parametr	šířka pásma [m]	symbol	jednotka	rozsah	přesnost
Směr levého, pravého kolejnicového pásu	3 ÷ 25	<i>SL, SP</i>	mm	±25	±0,3 mm
Směr koleje v ose	25 ÷ 70	<i>SK</i>	mm	±25	±0,5 mm
Podélná výška levého, pravého kolejnicového pásu	3 ÷ 25	<i>VL, VP</i>	mm	±25	±0,3 mm
Podélná výška v ose	25 ÷ 70	<i>VK</i>	mm	±25	±0,5 mm
Převýšení koleje celkové	1 ÷ ∞	<i>PK</i>	mm	±200	±2 %
Převýšení koleje dynamické	3 ÷ 25	<i>PKD</i>	mm	±25	±0,3 mm
Převýšení koleje kvazistatické	70 ÷ ∞	<i>PK_{KS}</i>	mm	±200	±2 %
Celkový rozchod koleje	1 ÷ ∞	<i>RK</i>	mm	-10, +40	±0,2 mm
Rozchod koleje dynamický	3 ÷ 25	<i>RK</i>	mm	±25	±0,2 mm
Křivost koleje	70 ÷ ∞	<i>K_{KS}</i>	m ⁻¹	≥ 150	R ≤ 250 m ±2 % R ≥ 10 ³ m ±10 %
Celková křivost koleje	1 ÷ ∞	<i>Kn</i>	m ⁻¹	≥ 150	dtto křivost

Měřicí systém vertikální mikromeetrie kolejnic

Měřicí systém vertikální mikromeetrie koleje je tvořen dvěma měřicími jednotkami, které jsou umístěny v blízkosti temen kolejnice na pravé a levé straně. K osvětlení kolejnic je opět používán laserový paprsek, jenž vytváří světelnou úsečku kolmou na podélnou osu kolejnice. Snímání je zajištěno bezkontaktním optickým zařízením. [14]



Obrázek 13 Detail měřicích zařízení MVŽSv

Měřicí systém příčného profilu kolejnic

Pro měření příčného profilu kolejnic jsou využity zadní snímací jednotky tětívového systému. Laserový paprsek promítaný na profil obou kolejnicových pásů je snímán a zaznamenáván digitálními kamerami. Následně je provedena analýza zaznamenaného obrazu a jsou vypočteny příslušné parametry kolejnice. Snímání profilů obou kolejnicových pásů se odehrává v minimálním kroku jeden metr s přesností měření 1 mm. Pro měření profilů není nutné zadávat jednotlivé tvary a jejich lokalizaci v trati. Měřené tvary jsou předem definovány a kalibrovány v softwaru systému. [14]

Fotozáznamové zařízení

Měřicí vůz je vybaven dvojicí kamer, které jsou umístěny v přední a v zadní části vozidla, jak je vidět na schématu měřicího vozu pro železniční svršek. Kamery jsou orientované ve směru jízdy, aby zabíraly celé kolejové lože, snímkovací krok je 20 metrů a pořízené fotografie jsou přenášeny do informačního systému. [14]



Obrázek 14 Měřicí vůz železničního svršku MVŽSv odstavený v železniční stanici Hradec Králové hl.n.

4.6 Ostatní prostředky pro měření geometrických parametrů koleje

Mezi zatím nejmenované vozy patří druhá verze měřicího vozu pro železniční svršek s označením MVŽSv2 a měřicí drezína EM100. Oba měřicí prostředky jsou v provozu od roku 2021 a jedná se tedy o nejnovější měřicí zařízení, kterými Správa Železnic disponuje. Měřicí vůz druhé generace je na rozdíl od svého předchůdce vybaven systémem pro měření zrychlení, který je umístěn na ložiskových domcích na jedné nápravě měřicího podvozku, a systémem měření příčného profilu kolejového lože, osových vzdáleností mezi pojížděnou kolejí a sousedními kolejemi a kontroly průjezdného průřezu. Samotný systém měření geometrických parametrů koleje měřicího vozu MVŽSv2 i měřicí drezíny EM100 je založen na inerciální měřicí jednotce obsahující tři snímače úhlové rychlosti a tři akcelerometry a přesný snímač globálního navigačního satelitního systému. Z naměřených hodnot se vyhodnocují prostorové křivky pohybu vozidla, z nichž jsou vypočítány parametry jako směr koleje, výška koleje, převýšení koleje a křivost koleje. Měření rozchodu koleje, návaznost polohy inerciální měřicí jednotky vůči koleji a snímání příčného profilu kolejnic zajišťují čtyři optické jednotky s lasery, z toho dvě jsou použity i pro měření profilu kolejnic. MVŽSv2 umožňuje zaznamenávat veškeré měřené parametry až do rychlosti 200 km/h, měřicí drezína EM100 do 100 km/h a naměřené signály jsou vyhodnocovány i ve vlnovém pásmu D0 díky dvěma dvojicím optických jednotek. Z uvedených informací je patrný technologický pokrok oproti měřicímu vozu první generace či měřicí drezíně MD. [14]

5 HODNOCENÍ KVALITY GEOMETRIE KOLEJE

V předchozích kapitolách byly popsány postupné kroky v procesu zajištění bezpečnosti a provozuschopnosti tratí z hlediska geometrických parametrů koleje. Legislativní rámec určuje důvody pro jakékoliv zjišťování stavu a stanovuje časové intervaly pro měření geometrických parametrů koleje. V dalších kapitolách byly podrobněji představeny veličiny konstrukčního a geometrického uspořádání koleje, tedy jaké veličiny jsou předmětem měření. Následoval popis principu měření a výčet měřicích prostředků. Po proběhnuvším měření zbývá pouze naměřená data vyhodnotit. Stanovit úroveň kvality geometrie koleje a přijmout případná opatření vzhledem ke zjištěné kvalitě geometrických parametrů koleje. V současné době se hodnocení naměřených geometrických parametrů koleje (GPK) v České republice provádí dvěma způsoby:

- úsekovým hodnocením kvality geometrie koleje,
- hodnocením lokálních závad koleje.

Měřicí prostředky s kontinuálním záznamem, používané SŽ, musí umožňovat úsekové hodnocení i hodnocení lokálních závad. Oba zmíněné způsoby mají své opodstatnění v informacích, které vyhodnocovateli poskytují. Úsekové hodnocení vychází ze statistické analýzy směrodatných odchylek základních veličin pro úseky o délce 200 m. Pro výstup a další využití se směrodatné odchylky (SDO) veličin GPK přepočítají na bezrozměrné parametry tzv. známky kvality (ZK). Tato skutečnost umožňuje výbornou porovnatelnost kvality geometrických parametrů koleje jakýchkoliv úseků s provedeným úsekovým hodnocením o minimální délce 200 m.

Hodnocení lokálních závad je naopak zaměřeno na geometrické parametry každého jednotlivého místa měřeného úseku. V rámci procesu hodnocení je zjišťováno, zda naměřené hodnota vybraného parametru nepřekračuje pro dané rychlostní pásmo (mezí) provozní odchylky. Zjednodušeně řečeno, čím více mezí na delší vzdálenosti hodnota naměřeného parametru překročí, tím větší (zásadnější) musejí být přijata opatření v daném úseku trati. V obou případech je hodnocení vztaženo k danému rychlostnímu pásmu.

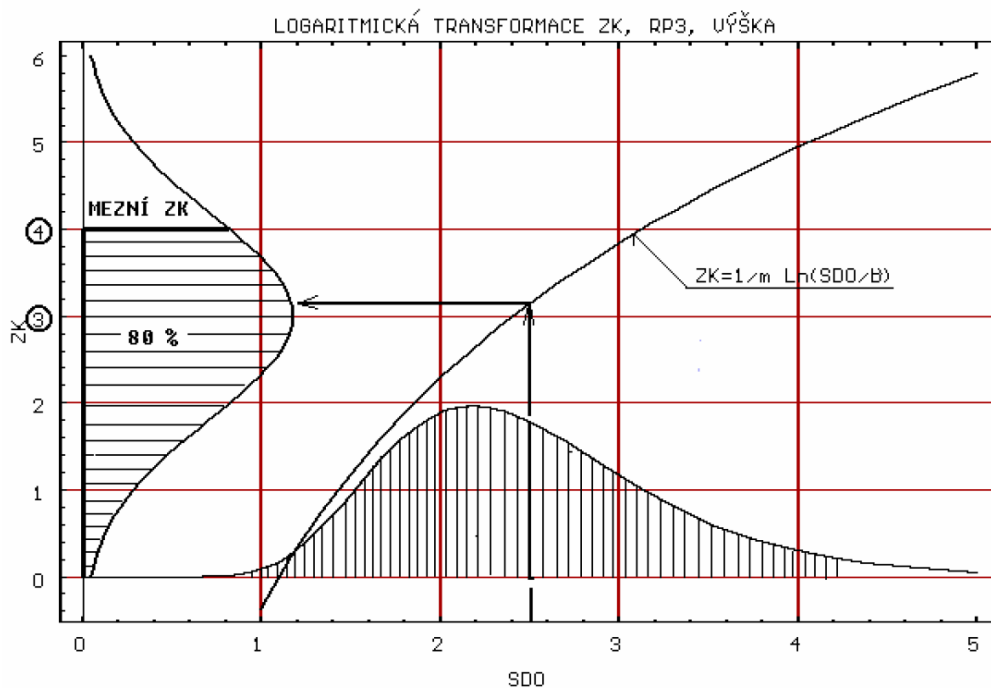
5.1 Úsekové hodnocení GPK

Úsekové hodnocení je nástrojem pro celkové hodnocení úseků dlouhých 200 metrů. Princip úsekového hodnocení je založen na výpočtu směrodatných odchylek (SDO), přepočtených na známky kvality (ZKV).

Známky kvality (ZKV) patří k bezrozměrným parametrům úsekového hodnocení, jež se dělí do třech skupin:

- Znamka kvality jednotlivých parametrů (ZKV)
- Celková známka kvality (CZK)
- Znamka podbíjení (ZP) [14]

Znamky kvality mají pro dané rychlostní pásmo statistické rozdělení pravděpodobností s průměrem 3 a směrodatnou odchylkou $s_{80}=1.188$, která zabezpečuje, že osmdesát procent všech hodnot jakékoliv známky je menší nebo rovno hodnotě čtyři, jak je vidět na následujícím obrázku. [11]



Obrázek 15 Hustota výskytu směrodatných odchylek a známek kvality [11]

Stupnice známek kvality je uvažována v hodnotách od nuly – reprezentující nejlepší kvalitu s nejmenší směrodatnou odchylkou pro hodnoty čtyři a vyšší, které se považují za nevyhovující. Tyto hodnoty nejsou samy o sobě bezpečnostním kritériem, ale vyjadřují žádoucí standard údržby. [11]

Pro hodnocení vyhovujících tratí za provozu pro jednotlivé známky je mezní hladinou hodnota 4 včetně. Mezní hladiny jednotlivých známek kvality a celkových známek kvality pro přejímku dokončených prací v koleji ve všech rychlostních pásmech jsou:

- 2,4 – pro rekonstrukce novým materiálem
- 3,0 – pro rekonstrukce užitým materiálem
- 3,3 – pro ostatní práce v koleji. [14]

Výpočet známek kvality probíhá následujícím způsobem:

a) výpočet směrodatné odchylky příslušné veličiny podle vztahu:

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

kde:

n – počet vzorků měření

x_i – odchylka od střednice hodnocené geometrické veličiny

b) výpočet známky kvality podle vztahu:

$$ZKV = 6 * \left(1 - \exp\left(\frac{-SDO^m}{b}\right) \right),$$

kde:

SDO – směrodatná odchylka příslušné veličiny

b, m – číselné konstanty, stanovené na základě statistik SDO příslušné veličiny a příslušného rychlostního pásma

c) výpočet celkové známky kvality a známky podbíjení podle vztahů:

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

$$ZP = \langle k \cdot \max\{(w_{SK} \cdot ZKV_{SK}), (w_{PK} \cdot ZKV_{PK} + w_{VK} \cdot ZKV_{VK})\} \rangle^q$$

kde:

w – váhové koeficienty jednotlivých veličin stanovené na základě korelační analýzy, které jsou rozdílné pro CZK a ZP

k, q – koeficienty respektující jednotlivá rychlostní pásma [17]

5.2 Hodnocení lokálních závad

Hodnocení lokálních závad má za cíl odhalit místa na měřeném úseku, ve kterých vybraný parametr koleje překračuje mez nebo meze stanovené normou ČSN 73 6360-2. U takových míst je, dle rychlostního pásma a míry překročení meze, potřeba přistoupit k odpovídajícím opatřením, aby byla zajištěna provozuschopnost a bezpečnost trati. Při hodnocení lokálních závad se vychází z faktu, že parametry jsou měřeny jako skutečná

geometrie koleje nebo, že jsou matematickým modelem s přenosovou funkcí na tzv. skutečnou geometrii přepočteny. [1] Lokální závady se hodnotí ve třech hladinách u těchto parametrů koleje:

Tabulka 7 Parametry pro hodnocení lokálních závad [14]

Název hodnocené veličiny	Zkratka	Minimální délka vypisované závady [m]	Rozsah vlnového pásma
Směr koleje levého a pravého kolejnicového pásu	SL, SP	1	ve vlnovém pásmu D1
Směr koleje v ose koleje	SK	1	ve vlnovém pásmu D2 ^a
Podélná výška koleje levého a pravého kolejnicového pásu	VL, VP	1	ve vlnovém pásmu D1
Podélná výška v ose koleje	VK	7	ve vlnovém pásmu D2 ^a
Rozchod koleje	RK	1	celkový rozchod koleje
Zborcení koleje	ZK	2	počítané z celkového převýšení
Změna rozchodu	ZR	2 ^c	počítané z celkového rozchodu koleje na stanovené délce
Střední hodnota RK	RK100	1	střední hodnota celkového rozchodu koleje v délce 100 m
Převýšení koleje	PK	-	Celkové převýšení koleje ^b

^a platí pouze pro MVŽSv, MD-1, MVŽSv2 a EM100
^b výstup měření PK celkové se využívá pouze v grafické výstupní sestavě viz čl. 20
^c každý metr se vyhodnocuje polovina mezní hodnoty stanovené pro 2 m

Podle normy ČSN 73 6360-2 je hodnocení lokálních závad vztaženo k danému parametru, stupni odchylky, odpovídajícímu rychlostnímu pásmu RP0 až RP5 a dále k účelu hodnocení, zda se jedná o přejímku stavebních prací nebo posuzování GPK za provozu. [1]

Tabulka 8 Rychlostní pásma rozhodná pro hodnocení GPK [1]

Rychlostní pásmo	projektovaná traťová rychlost
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

Navíc příslušná norma rozlišuje mezi hodnocením pod zatížením a bez zatížení a dle toho se mezní provozní odchylky odlišují pro měření pomocí MVŽSv, MVŽSv2, EM100, MD,

MMD od hodnot pro měření měřicím vozíkem KRAB. Na základě výše zmíněných aspektů (rychlostní pásmo, měření pod zatížením atd.) je v normě ČSN 73 6360-2 zvolena příslušná tabulka obsahující limitní hodnoty (odchylky) pro všechny hodnocené meze, se kterými je naměřený signál porovnáván. [1] [14]

Jsou definovány dvě kategorie odchylek. První se nazývá provozní odchylka, jež je definovaná ve dvou stupních, druhou je mezní provozní odchylka, která má pouze jeden stupeň. Systém mezí pro lokální závady je dále schematicky rozepsán včetně popisu jednotlivých stupňů.

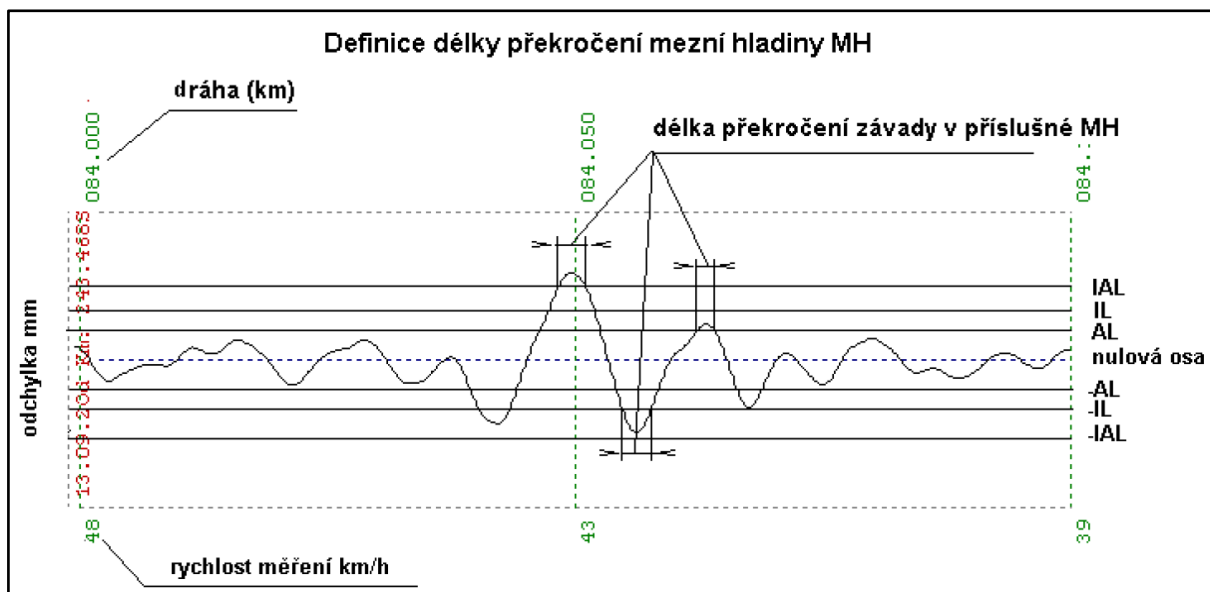
PROVOZNÍ ODCHYLKA – odchylka od projektované nebo předepsané hodnoty geometrické veličiny na provozované trati, má dva stupně:

- **AL** (*Alert Limit*) – **mez sledování**
 - V případě překročení této meze je třeba stav GPK posoudit a vzít v úvahu při plánování udržovacích prací, jedná se o první stupeň lokální závady, která musí být řešena, ale ne bezodkladně.
- **IL** (*Intervention Limit*) – **mez zásahu – opravy**
 - V případě překročení je potřeba provést udržovací práce tak, aby před následující kontrolou nedošlo k překročení mezní provozní odchylky.

MEZNÍ PROVOZNÍ ODCHYLKA – odchylka od projektované nebo předepsané hodnoty geometrické veličiny na provozované trati, která nesmí být překročena a je definována jako:

- **IAL** (*Immediate Action Limit*) – **mez bezodkladného zásahu**
 - V případě překročení stanovené hodnoty, se musí provést bezodkladné opatření k zajištění bezpečnosti provozu, které si můžeme představit jako škálu různých přístupů od snížení traťové rychlosti v rámci řízení dopravy až po lokální ruční podbití pražců.

Členění provozních odchylek do tří mezí umožňuje velmi dobré sledování vývoje lokálních závad v čase a tím i plánování případných budoucích odstranění závad nebo i rekonstrukcí celých úseků. Pro každou měřenou veličinu je zaznamenávána délka překročení mezní hladiny, jak je znázorněno na obrázku 14 na následující straně.



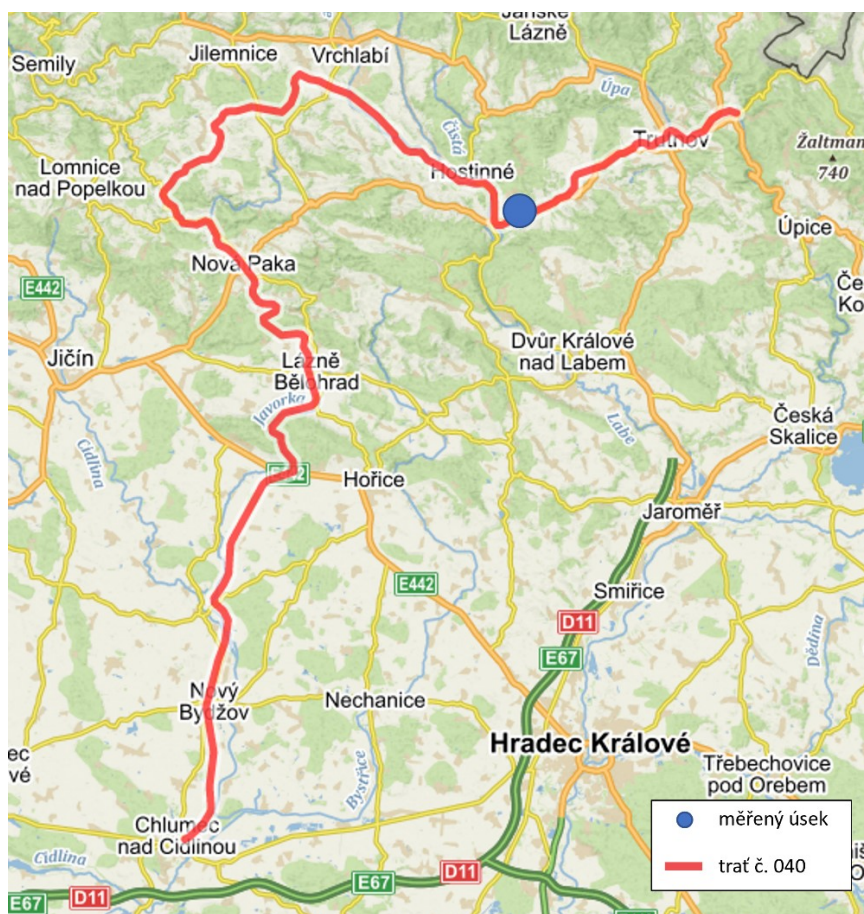
Obrázek 16 Délka překročení mezní hladiny [14]

Jak je z obrázku patrné, příslušné mezní hladiny jsou symetrické okolo nulové osy, což je běžné pro většinu parametrů (SL, SP, SK, VL, VP, VK). Pouze pro parametr rozchodu koleje je použito asymetrického rozdělení mezních hladin AL, IL a IAL. [14]

6 POPIS ÚSEKU TRATI PRO MĚŘENÍ MĚŘICÍM VOZÍKEM KRAB S – LIGHT

Tato kapitola popisující vybraný úsek trati uvozuje druhou část diplomové práce. V rámci praktické (experimentální) části práce bylo úkolem realizovat měření s měřicím vozíkem KRAB S – light ve vybraném úseku trati. Naměřená data zpracovat a vyhodnotit kvalitu geometrických parametrů koleje. Dále bylo, dle zadání, úkolem získat data z měření totožného úseku měřicím vozem MVŽSv Správy železnic, která bylo úkolem porovnat s hodnotami geometrických parametrů z měření provedeného měřicím vozíkem KRAB S – light a vyvodit závěry ohledně příčin případných rozdílů mezi oběma soubory dat.

Úsek trati, který byl pro měření vybrán, se nachází v severní části Královéhradeckého kraje mezi železniční stanicí Hostinné a železniční stanicí Pilníkov na trati č. 040 Chlumeck nad Cidlinou – Trutnov. Jedná se o ostatní celostátní jednokolejnou neelektrifikovanou železniční trať vedoucí přes Ostroměř, Starou Paku, Martinice v Krkonoších, Kunčice nad Labem, Hostinné až do Trutnova s celkovou délkou 101,9 km.



Obrázek 17 Trať č. 040 Chlumeck nad Cidlinou – Trutnov včetně polohy měřeného úseku [18] - upraveno

Trat' č. 040 s dovoleným traťovým zatížením C2, tedy s maximálním zatížením 20 tun na nápravu resp. 6,4 tuny na běžný metr je denně využívána čtyřmi desítkami vlaků. Tento úsek trati č. 040 byl vybrán z důvodu, že zde probíhalo tenzometrické měření pana dr. Vnenka a bylo tak možné měření realizovat v rámci jednoho měřicího dne při jednom oznámení o měření za provozu na oblastní ředitelství správy železnic a využití jedné traťové hlídky. Navíc zde bylo Katedrou dopravního stavitelství provedeno měření geometrických parametrů koleje měřicím vozíkem KRAB S – light při podbíjení trati v závěru její rekonstrukce na jaře roku 2022. Nabízela se tedy zajímavá možnost porovnání dat s měřením provedeným v rámci této diplomové práce. Posledním důvodem k výběru tohoto úseku trati č. 040 je skutečnost, že se nachází v rodné oblasti autora diplomové práce.

Měřený úsek trati č. 040 se nachází v katastrálním území obce Chotěvice a má délku 600 metrů se začátkem ve staničení 112,000 km a koncem ve staničení 112,600 km. Úsek začíná v pravém oblouku několik metrů za železničním přejezdem č. P4544 ve směru na Pilníkov. Trať je v úseku vybraném pro měření v souběhu s Pilníkovským potokem a se silnicí I/16, jak je vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 18 Měřený úsek trati [18] – upraveno

Z hlediska železničního svršku se jedná o úsek trati, ve kterém byla v průběhu roku 2021 provedena rekonstrukce zahrnující výměnu kolejnic, upevňovadel a pražců, zřízení bezстыkové koleje, výměnu nebo vyčištění šterkového lože a rekonstrukci železničního mostu přes Pilníkovský potok. Rekonstrukce proběhla v úseku od km 111,900 do km 112,831. V současné době je železniční svršek tvořen kolejnicemi tvaru S 49 s pružným bezpodkladnicovým upevněním k betonovým pražcům B 70TT.

Podle informací z Centra techniky a diagnostiky SŽ je vybraný úsek trati v rychlostním pásmu RP2 s rychlostí vyšší než 80 km/h a zároveň nižší než 120 km/h. Směrové řešení vybraného úseku lze charakterizovat třemi po sobě následujícími protisměrnými oblouky s poloměrem 300 m nebo menšími, s nesymetrickými délkami přechodnic a s krátkými mezipřímými úseky. Podrobnosti směrového řešení vybraného úseku trati jsou uvedeny v následující tabulce, kde je začátek přechodnice označen ZP, konec přechodnice označen KP, začátek oblouku označen ZO a konec oblouku označen KO.

Tabulka 9 Směrové řešení v úseku měření

Č. oblouku	Popis bodu	Staničení [km]	Délka [m]	Poloměr oblouku [m]	Převýšení [mm]
	přímá		194,000		
1	ZP	111,928		300	137
			84,000		
	KP=ZO	112,010			
			152,720		
	KO=ZP	112,163			
			82,000		
	KP	112,247			
	přímá		25,280		
2	ZP	112,272		297	141
			86,000		
	KP=ZO	112,356			
			94,740		
	KO=ZP	112,451			
			84,000		
	KP	112,537			
	přímá		43,260		
3	ZP	112,580		300	122
			102,500		
	KP=ZO	112,660			
			53,360		
	KO=ZP	112,713			
			80,000		
	KP	112,816			
	přímá		472,140		

V rámci šest set metrů dlouhého vybraného úseku trati se nachází čtyři propustky a jeden železniční přejezd. V následující tabulce jsou objekty sepsány včetně jejich označení, staničení a poznámek o konstrukčním provedení s tím, že tabulka obsahuje také objekty nacházející se přímo před nebo za měřeným úsekem trati.

Tabulka 10 Staničení mostů, propustků a přejezdů v daném úseku

Typ objektu	Označení	Staničení středu [km]	Poznámka
přejezd	P4544	111,985	
propustek		112,012	
propustek		112,163	
propustek		112,386	
přejezd	P4545	112,464	
propustek		112,526	
most		112,652	ocelový s průběžným kolejovým ložem do 50 m
přejezd	P4546	112,697	

Z hlediska sklonových poměrů je vybraný úsek trati v mírném stoupání s narůstajícím staničením směrem k železniční stanici Pilníkov. Sklonové poměry podrobněji uvádí následující tabulka.

Tabulka 11 Výškové řešení vybraného úseku

Staničení lomu sklonu [km]	Sklon trati mezi lomy sklonu [‰]	Délka mezi lomy sklonu [m]
111,907		
	-4,36	113
112,020		
	-6,03	130
112,150		
	-2,72	110
112,260		
	-7,26	123
112,383		
	-4,71	168
112,551		
	-6,09	71
122,622		
	-3,53	79
122,701		

7 PRŮBĚH MĚŘENÍ

Součástí této diplomové práce bylo provedení měření měřicím vozíkem KRAB S – light na vybraném úseku koleje, jenž byl popsán v předchozí kapitole. Celý proces měření se skládal z více kroků, které na sebe navazovaly. Tato kapitola pojednává o přípravě na měření i o průběhu samotného měření včetně práce s měřicí technikou.

7.1 Zkušební měření

Před samotným měřením za provozu na trati č.040 bylo důležité si osvojit způsob sestavení vozíku, připojení jednotlivých modulů, umístění na kolej i nastavení samotného měření v měřicím softwaru. Pro tyto účely má Dopravní fakulta Jana Pernera v Pardubicích zázemí v podobě Výukového a výzkumného centra v dopravě (VVCD). V areálu VVCD byla na začátku akademického roku 2022/2023 zřízena zkušební kolej s celkovou délkou přibližně dvaceti metrů, na které bylo možné provést zkoušku měřicí techniky. Fakulní měřicí vozík KRAB S – light je uskladněn v laboratořích Katedry dopravního stavitelství, kde byl v rámci příprav sestaven a umístěn na kolejnice. Zde dále proběhlo seznámení s ovládacím rozhraním aplikace KrabDroid 2.0, upevnění jednotlivých modulů na měřicí vozík a připojení vozíku i těchto modulů k ovládacímu zařízení tak, aby se ověřilo, že byla měřicí technika řádně připojena k ovládacímu zařízení, které má zároveň paměť pro uložení dat z měření.

Následně byl měřicí vozík včetně modulů odpojen, vypnut, rozebrán a přemístěn ke zkušební koleji mimo laboratoře. Zde došlo k simulaci měření za provozu realizované jako příprava na měření vybraného úseku trati za provozu. Měřicí vozík byl mimo kolej smontován a umístěn na kolej. Došlo k jeho zapnutí i zapnutí jednotlivých modulů a ke spárování s oběma ovládacími zařízeními.

Dále bylo provedeno měření od začátku na konec zkušební koleje. Zde byl měřicí vozík obsluhou otočen a následovalo stejné měření v obráceném směru. A dále probíhal stejný postup jako při přípravě na měření jen v obráceném pořadí kroků, tedy vypnutí, snesení mimo kolej a rozložení měřicího vozíku KRAB S-light.



Obrázek 19 Průběh zkušebního měření s Ing. Lukášem Beranem Ph.D.

7.2 Měření vybraného úseku koleje

Měření vybraného úseku koleje na trati č.40 Chlumeck nad Cidlinou – Trutnov bylo dohodnuto s p. Ing. Petrem Vnenkem Ph.D., který ve stejném úseku koleje realizoval tenzometrické měření chování bezстыkové koleje a zařizoval komunikaci a nahlášení měření provozovateli dráhy. Došlo tedy ke spojení dvou nezávislých měření.

Naplánované měření se uskutečnilo 24. října 2022 od 10:00 hod do 14:30 hod. Podmínky pro měření byly příznivé – teplota 15 °C, polojasno, beze srážek. Vybraný měřený úsek koleje je dlouhý 600 metrů neboli tři dvěsetmetrové úseky, což je důležité z hlediska úsekového hodnocení. Počátek měření byl stanoven ve staničení 112,000 km přesně, s ohledem

na velmi příznivou polohu kilometrovníku vůči přejezdu č. 4544, který byl dobrým přístupem ke koleji, jak je vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 20 Počáteční místo měřeného úseku koleje - 112,000 km trati č.040

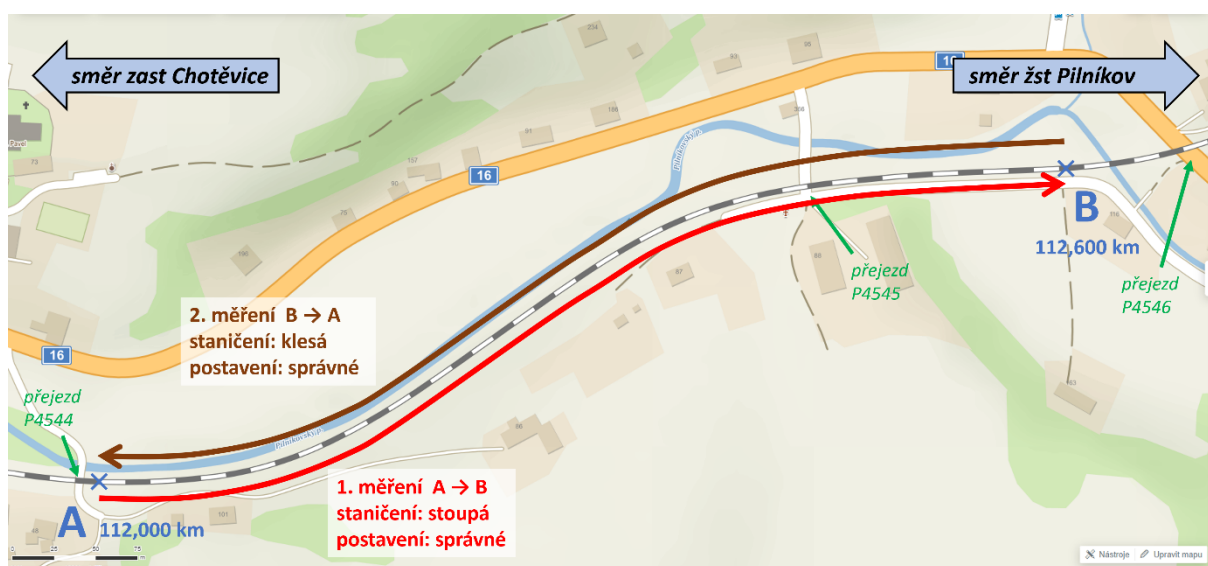
Měření bylo provedeno ve dvou osobách a organizováno s pomocí dvou hlídek s dobrým výhledem na trať u zastávky Chotěvice a nad přejezdem č. 4546, které byly skrze vysílačky ve spojení s obsluhou měřicího vozíku a hlásily případný blížící se vlak tak, aby obsluha měřicí vozík bezpečně snesla z koleje. Kromě rozmístění hlídek byly předem známy časy pohybu vlaků po trati tak, aby bylo měření co nejefektivnější a nebylo nutné měřicí vozík snášet příliš často.

Měřicí vozík KRAB S – light byl na místo začátku měření (bod A viz obrázek 17) dopraven na valníku v přepravní bedně. Přepravní bedna byla upnuta k valníku a řádně vypodložena molitanem, aby nedošlo k poškození měřicích zařízení vlivem otřesů během jízdy. Před začátkem měření byly provedeny kroky v tomto pořadí:

- sestavení hlavní části vozíku mimo kolej,
- osazení přídatných modulů – ramena pro zborcení koleje, laserového dálkoměru Leica DISTO, modulu pro měření vlnkovitosti koleje a modul pro měření profilu kolejnic,

- propojení modulů s měřicím vozíkem pomocí konektorů,
- uchycení ovládacích zařízení s měřicím softwarem KrabDroid 2.0,
- umístění vozíku na kolej,
- namontování dlouhého ramene pro hodnocení ve vlnové délce D2,
- zapnutí měřicího vozíku, zapnutí přídavných modulů,
- nastavení aktuálního data a času v měřicím softwaru a spárování softwaru s měřicím vozíkem i s přídavnými moduly,
- založení a provedení zkušební měření pro ověření, že se data ukládají do ovládacího zařízení.

Následně byl měřicí vozík ustaven do polohy počátečního staničení 112,000 km ve „správném“ postavení, při kterém je dlouhé rameno taženo za měřicím vozíkem. Na ovládacím zařízení bylo zadáno počáteční staničení a postavení vozíku a započalo měření dle obrázku níže.



Obrázek 21 Způsob měření vybraného úseku koleje

Během měření byly zaznamenávány do měřicího softwaru tzv. události jako např. přejezdy a propustky včetně fotografií. Na konci měřeného úseku koleje (bod B na obrázku 17) ve staničení 112,600 km bylo první měření ukončeno, odpojeno dlouhé rameno pro měření ve vlnovém pásmu D2 a vozík otočen tak, aby byl pro druhé měření opět ve „správném“ postavení. Druhé měření proběhlo identicky s měřením prvním, jen s klesacím staničením zpět do výchozího bodu „A“. Dále byl měřicí systém vozíku vypnut, snesen mimo kolej, rozmontován a uložen zpět do přepravní bedny. Odvolány byly také hlídky a měření bylo ukončeno.



Obrázek 22 Průběh měření vybraného úseku koleje



Obrázek 23 Měřicí vozík KRAB S – light složený v přepravní bedně

8 VYHODNOCENÍ DAT NAMĚŘENÝCH MĚŘICÍM VOZÍKEM KRAB S – LIGHT

Po úspěšně provedeném měření geometrických parametrů vybraného úseku koleje byla měření uložena v paměti ovládacího zařízení se systémem Android skrze program KrabDroid 2.0. Z paměti tohoto zařízení byly soubory importovány do počítače ve výchozím formátu .krx a .cam, přičemž soubory formátu .krx obsahovaly veškerá naměřená data geometrických parametrů koleje s krokem měření 0,25 m a soubory formátu .cam obsahující snímky z přední IP kamery měřicího vozíku z průběhu měření s krokem snímkování 20 m. Konkrétně se jednalo o tyto soubory:

- 221024123524_Camera 1. cam
- 221024123524_Chotevice_24.10.2022_FW_Test_.krx
- 221024125356_Camera 1.cam
- 221024125356_Chotevice_24.10.2022_FW_.krx
- 221024131922.krx
- 221024132534_Camera 1.cam
- 221024132534_Chotevice_24.10.2022_FW_back_.krx
- 221024134215.krx

První dva soubory (xx_Camera 1. cam, xx_Chotevice_24.10.2022_FW_Test_.krx) obsahovaly data z krátkého měření pro zkoušku funkčnosti veškerých měřicích modulů měřicího vozíku. Další dvojice souborů odpovídala prvnímu měření se „správným“ postavením vozíku (z anglického slova „forward“ – FW). Soubor 221024131922.krx patřil předčasně ukončenému druhému měření z důvodu použití funkce „odměřit vzdálenost“, pro kterou měřicí systém využíval laserový dálkoměr DISTO a která druhé měření neočekávaně ukončila. Bylo nutné druhé měření opakovat a vyvarovat se použití funkce „odměřit vzdálenost“, aby se eliminovala možnost předčasného ukončení měření. Paradoxní je, že zmíněný laserový dálkoměr DISTO bez problémů fungoval při zkušebním měření (viz. kapitola 7.1) a dané měření neočekávaně neukončil. Dvojice souborů 221024132534_Camera 1.cam a 221024132534_Chotevice_24.10.2022_FW_back_.krx již obsahovala celé druhé měření provedené se „správným“ postavením měřicího vozíku s klesajícím staničením. Poslední soubor patřil krátkému spuštění měření pro účely videozáznamu běžného ukončení měření a snesení měřicího vozíku mimo kolej.

Pro účely vyhodnocení naměřených hodnot geometrických parametrů koleje byl využit tento soubor .krx:

- 221024125356_Chotevice_24.10.2022_FW_.krx (první měření)

8.1 Příprava naměřených dat pro vyhodnocení

Pro práci s přípravou souborů pro vyhodnocení naměřených hodnot geometrických parametrů koleje ve formátu .krx je určen program Krab 10. Jedná se o program firmy Komerční železniční výzkum, s.r.o., který je určený k vyhodnocování dat z měřicího vozíku KRAB S – light, který je zmíněnou firmou dodáván také. Veškeré následující kroky probíhaly právě v tomto programu.

Po otevření prvního měření v programu Krab 10 nejprve došlo v okně „editace hlavičky souboru“ k přejmenování prvního měření na „Chotevice_24.10.2022_FW_.krx“ a ke kontrole takzvaných „událostí“ zadaných v průběhu měření. Součástí „editace hlavičky souboru“ jsou informace o proběhlém měření:

- počáteční kilometr – staničení začátku měření,
- dx [m] – vzorkovací frekvence definující vzdálenost mezi jednotlivými vzorky,
- počet vzorků,
- datum a čas provedeného měření,
- parametry měřicího zařízení KRAB,
- správné, nesprávné postavení,
- stoupající, klesající kilometráž.

Edítace Hlavičky souboru

Měření

Popis: Chotevice_24.10.2022_FW_

Poznámka: 24.10.2022

Line Code:

Počáteční Kilometr: 112,000000 dx [m]: 0,250 Počet vzorků: 2403

Datum a čas

24. 10. 2022

12:53

Parametry kraba

Číslo: 958 Počet veličin: 0

Owner: Univerzita Pardubice, ČR

Postavení

Správné

Nesprávné

Kilometráž

Stoupá

Klesá

Parametry převzorkování

Nominální rozchod [mm]: 1500 Umístění IRC: Vlevo

Události

Kalibrace

Návrhové hodnoty

Primární Data

OK

Obrázek 24 Editace hlavičky souboru ve vyhodnocovacím programu Krab 10

Následně bylo zkontrolováno, jestli není nutné použít některou z funkcí pro práci s primárními daty. Data však byla v pořádku a nebylo nutné je žádným způsobem upravovat před samotným vyhodnocením.

V dalším kroku došlo k nastavení šablony pro vyhodnocení, která se volila při spuštění programu. V editoru šablony jsou nastavovány měrné jednotky, rychlostní pásma. Dále je voleno, jaká vstupní data bude program využívat. Důležitými částmi v nastavení šablon byly tyto kroky:

- výběr geometrických parametrů pro zobrazení v grafickém hodnocení,
- zadání provozních a mezních provozních odchylek pro měření bez zatížení pro úsekové hodnocení v souladu s normou ČSN 73 6360-2,
- kontrola nastavení délky úseku pro úsekové hodnocení, která byla zvolena v délce 200 metrů dle normy ČSN 73 6360-2.

Po nastavení šablon, kontrole primárních dat a editaci informací o měření byl soubor připravený k vyhodnocení. Vyhodnocení kvality geometrických parametrů koleje bylo provedeno pomocí hodnocení lokálních závad a pomocí úsekového hodnocení.

8.2 Hodnocení lokálních závad

Lokální závady měřeného úseku koleje byly, podle normy ČSN 73 6360-2, hodnoceny ve třech hladinách (AL, IL, IAL) pro druhé rychlostní pásmo RP2 s projektovanou rychlostí do 120 km/h jako takzvané měření bez zatížení, které se liší od měření pod zatížením v parametrech rozchodu a jeho odvozené veličiny změny rozchodu. Odchytky měřených geometrických veličin byly hodnocené ve skutečné geometrii z jejich dynamické části. Na základě údajů z normy ČSN 73 63660-2 jsou relativní odchytky v podélné výšce (výška levého, pravého kolejnicového pásu VL, VP) a ve směru koleje (směr levého, pravého kolejnicového pásu) hodnoceny v prvním vlnovém pásmu D1 ($3 \text{ m} < \lambda \leq 25 \text{ m}$) s maximálním krokem 1 m pro všechna rychlostní pásma. Na rozdíl od geometrických veličin výšky koleje VK a směru koleje SK, jejichž odchytky ve druhém vlnovém pásmu D2 ($25 \text{ m} < \lambda \leq 70 \text{ m}$) jsou hodnoceny až pro třetí rychlostní pásmo RP3 a vyšší. V rámci měřeného úseku koleje, který spadá do druhého rychlostního pásma RP2 nebyly vyhodnocovány lokální závady pro geometrické veličiny směr koleje SK a výšky koleje VK. [1]

V tabulkách 12 a 13 jsou uvedeny, pro jednotlivá rychlostní pásma a pro jednotlivé meze při měření bez zatížení tak, jak je definuje norma ČSN 73 6360-2, tyto hodnoty:

- provozní odchylky a mezní provozní odchylky rozchodu koleje (RK), změny rozchodu koleje na dva metry délky koleje (ZR) a střední hodnoty rozchodu koleje na 100 metrů délky koleje (RK100),
- relativní provozní a relativní mezní provozní odchylky podélné výšky levého, pravého kolejnicového pásu (VL, VP),
- provozní a mezní provozní hodnoty zborcení koleje (ZK),
- relativní provozní a relativní mezní provozní odchylky směru levého, pravého kolejnicového pásu (SL, SP).

Tabulka 12 Provozní a mezní provozní odchylky veličin GPK pro měření bez zatížení [14]

RP	Příčný směr												Svislý směr								
	RK [mm] celkový			ZR [mm/2m]			RK100 [mm]			SL,SP [mm]			SK [mm]			VL, VP [mm]			VK [mm]		
	D1			D2			D1			D2			D1			D2					
	.	:	!	.	:	!	.	:	!	.	:	!	.	:	!	.	:	!	.	:	!
RP0	+30 -7	+33 -8	+33 -8	6	7	7	+28 -4	+30 -5	+32 -5	±16	±18	±21	-	-	-	±17	±20	±24	-	-	-
RP1	+25 -7	+30 -8	+30 -8	6	7	7	+22 -4	+28 -5	+32 -5	±13	±15	±18	-	-	-	±14	±18	±21	-	-	-
RP2	+20 -7	+28 -8	+28 -8	5	6	6	+18 -4	+25 -5	+27 -5	±9	±11	±14	-	-	-	±11	±13	±16	-	-	-
RP3	+18 -5	+22 -7	+27 -8	4	5	6	+16 -3	+18 -4	+20 -5	±7	±8	±11	±12	±14	±18	±7	±10	±13	±12	±18	±22
RP4	+10 -3	+15 -4	+20 -6	4	5	6	+10 -1	+15 -2	+15 -3	±5	±7	±9	±10	±12	±14	±5	±9	±12	±10	±16	±20
RP5	+10 -3	+12 -4	+15 -5	3	4	5	+10 -1	+12 -1	+15 -1	±4	±6	±8	±8	±10	±12	±4	±8	±11	±8	±14	±18

Tabulka 13 Provozní a mezní provozní odchylky zborcení koleje (ZK) pro měření bez zatížení [14]

Rychlostní Pásma (RP)	ZK1(1,5m)			ZK2(3m)			ZK3(4,5m)			ZK4(6m)			ZK5(7,5m)			ZK6(9m)		
	.	:	!	.	:	!	.	:	!	.	:	!	.	:	!	.	:	!
RP0	4	5	5	4	5	5	4	5	5	3,5	4,2	4,2	3,2	3,7	3,7	3,1	3,4	3,4
RP1	4	5	5	4	5	5	4	5	5	3,5	4,2	4,2	3,2	3,7	3,7	3,1	3,4	3,4
RP2	4	5	5	4	5	5	4	5	5	3,5	4,2	4,2	3,2	3,7	3,7	3,1	3,4	3,4
RP3	4	5	6	4	5	6	4	5	6	3,2	4	4,8	2,8	3,5	4,2	2,5	3,1	3,7
RP4	3	4	5	3	4	5	3	4	5	2,6	3,4	4,2	2,4	3	3,8	2,2	2,9	3,5
RP5	3	4	5	3	4	5	3	4	5	2,4	3,2	4	2,1	2,8	3,5	1,7	2,5	3,1

RP	ZK7(10,5m)			ZK8(12m)			ZK9(13,5m)			ZK10(15m)			ZK11(16,5m)			ZK12(18m)			ZK13(19,5m)		
	.	:	!	.	:	!	.	:	!	.	:	!	.	:	!	.	:	!	.	:	!
RP0	2,9	3,1	3,1	2,8	3	3	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9
RP1	2,9	3,1	3,1	2,8	3	3	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9
RP2	2,9	3,1	3,1	2,8	3	3	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9
RP3	2,3	2,8	3,4	2,1	2,6	3,2	2	2,5	3	2	2,5	3	2	2,5	3	2	2,5	3	2	2,5	3
RP4	2,1	2,7	3,3	2	2,6	3,1	2	2,5	3	2	2,5	3	2	2,5	3	2	2,5	3	2	2,5	3
RP5	1,7	2,3	2,8	1,6	2,1	2,6	1,5	2	2,5	1,5	2	2,5	1,5	2	2,5	1,5	2	2,5	1,5	2	2,5

Legenda k tabulkám 9 a 10:

“.” – mez sledování (AL – Alert Limit)

“:” – mez zásahu (opravy) (IL – Intervention Limit)

“!” – mez bezodkladného zásahu (opravy) (IAL – Immediate Action Limit)

Provozní a provozní mezní odchylky pro výše zmíněné parametry byly zadány do programu Krab 10 a bylo provedeno vyhodnocení, při kterém byly naměřené hodnoty jednotlivých geometrických parametrů koleje porovnány s mezemi sledování, zásahu a bezodkladného zásahu. V případě, že byla daná mez překročena, byla uvedena také délka a překročení dané meze včetně vrcholové hodnoty daného parametru.

V programu Krab 10 byly veškeré provozní a mezní provozní odchylky, kterými byla data posuzována, zkontrolovány a upraveny tak, aby byly shodné s hodnotami v tabulce 12. Následně bylo spuštěno vyhodnocení a byly zobrazeny výsledky v podobě grafického hodnocení, úsekového hodnocení a hodnocení lokálních závad, jež je zobrazeno v následující tabulce.

Tabulka 14 Výsledek hodnocení lokálních závad z programu Krab 10

Lokální závady - obecné									
Název : Chotovice_24.10.2022_FW_									
Poznámka : 24.10.2022									
Meze pro : AL Hladina 1; IL Hladina 2; IAL Hladina 3;					Datum, čas : 24/10/2022, 12:53,				
Km Od Do : 112.000000 - 112.600500 [km]					Postavení : Správné				
1: [SZ 2: 80 < V < 120 km/h]									
KM [km]	SK_dyn	FSK_dyn	L RK_celk	ZR	PK_celk	ZK1	VK_dyn	FVK_dyn	L
1 - AL Hladina 1	-9 9	-9 9	-7 20	-5 5	-16 16	-12 12	-11 11	-11 11	
2 - IL Hladina 2	-11 11	-11 11	-8 28	-6 6	-18 18	-15 15	-13 13	-13 13	
3 - IAL Hladina 3	-14 14	-14 14	-8 28	-6 6	-20 20	-18 18	-16 16	-16 16	
112.000000									Scanner Left\Inside : LeftIN_30deg
112.162750 (112.528000)									Propustek
112.467750									Prejezd

Z vyhodnocení lokálních závad v programu Krab 10, které jsou zobrazeny v tabulce 14, vyplynul závěr, že se v měřeném úseku koleje nenachází jediná lokální závada. Tedy, že v žádném místě šest set metrů dlouhého úseku nenastalo překročení ani jedné z mezí žádnou z hodnocených veličin. Z hlediska kvality geometrických parametrů koleje se jedná o velmi příznivý stav. Ve vybraném měřeném úseku trati nenastává potřeba sledování, zásahu (opravy) ani bezodkladného zásahu (opravy). Opodstatněním bezvadného stavu daného úseku koleje na trati č. 040 mezi zastávkou Chotěvice a stanicí Pilníkov staničení 112,000 – 112,600 km je realizace rekonstrukce železničního svršku v roce 2021, při které došlo k výměně kolejnic, upevňovadel i pražců a byla zřízena bezстыková kolej.

8.3 Úsekové hodnocení

Úsekové hodnocení bylo provedeno pro 200metrové úseky tak, jak je doporučeno vnitřním předpisem SŽ. Dle staničení se jednalo o tyto tři úseky:

- úsek č.1 - 112,000 km až 112,200 km,
- úsek č.2 – 112,200 km až 112,400 km,
- úsek č. 3 – 112,400 km až 112,600 km.

Úsekové hodnocení je založeno na výpočtu směrodatných odchylek (SDO) přepočtených na známky kvality (ZKV) – bezrozměrné parametry úsekového hodnocení. Tyto známky kvality jsou počítány pro každý vybraný parametr GPK (směr koleje, rozchod koleje, převýšení koleje a výšku koleje). Z jednotlivých známek kvality parametrů GPK je vypočítána celková známka kvality úseku a také známka podbíjení, jež se liší pouze tím, že nezahrnuje do výpočtu ZKV rozchodu koleje. Způsob výpočtu i jeho kroků je podrobněji popsán v kapitole 5. Mezní hladinou pro hodnocení vyhovujících kolejí za provozu pro jednotlivé známky je hodnota 4 včetně. Tato hodnota sama o sobě není bezpečnostním kritériem, ale vyjadřuje žádaný standard údržby. Pokud by byla posuzována známka kvalita (ZKV) a celková známka kvality (CZK) z hlediska přejímky dokončených prací v koleji, pak jsou mezní hladiny stanoveny pro rekonstrukci novým materiálem na hodnotu 2,4, pro rekonstrukci užitým materiálem na hodnotu 3,0 a pro ostatní práce v koleji na hodnotu 3,3 ve všech rychlostních pásmech. [14]

V programu Krab 10 došlo ke kontrole dat, úpravě informací o souboru a také bylo detailně prostudováno nastavení šablon. Následně bylo spuštěno vyhodnocení a byly zobrazeny výsledky v podobě grafického hodnocení, hodnocení lokálních závad a úsekového hodnocení, které je zobrazeno v následující tabulce.

Tabulka 15 Úsekové hodnocení měřeného úseku koleje

Úsekové hodnocení											
Název : Chotevice_24.10.2022_FW_											
Poznámka : 24.10.2022											
Km Od Do : 112.000000 - 112.600000 [km]						Datum, čas : 24/10/2022, 12:53;					
Postavení : Správné											

1: [SZ 2: 80 < V < 120 km/h]

[km]	Příčný směr				Svislý směr				CZK	ZP	CK
	Směr		Rozchod		Převýšení		Výška				
	SDO	ZKv	SDO	ZKv	SDO	ZKv	SDO	ZKv			
Zakl. úsek: 200											
112.000 - 112.200 [km]	0.89	1.93	0.44	0.66	0.79	1.74	1.11	1.57	1.37	1.63	0.00
112.200 - 112.400 [km]	0.72	1.50	0.45	0.70	1.15	2.55	0.72	0.99	1.48	1.48	0.00
112.400 - 112.600 [km]	0.76	1.61	0.38	0.53	0.83	1.82	1.47	2.07	1.65	1.65	0.00

Report úsekového hodnocení z tabulky 15 byl pro lepší čitelnost převeden do této tabulky.

Tabulka 16 Výsledek úsekového hodnocení měřeného úseku koleje

		ÚSEK Č. 1	ÚSEK Č. 2	ÚSEK Č. 3
		112,000 - 112,200 [km]	112,200 - 112,400 [km]	112,400 - 112,600 [km]
PŘÍČNÝ SMĚR				
Směr koleje – SK	SDO	0,89	0,72	0,76
	ZKV	1,93	1,50	1,61
Rozchod koleje – RK	SDO	0,44	0,45	0,38
	ZKV	0,66	0,70	0,53
SVISLÝ SMĚR				
Převýšení koleje – PK	SDO	0,79	1,15	0,83
	ZKV	1,74	2,55	1,82
Výška koleje – VK	SDO	1,11	0,72	1,47
	ZKV	1,57	0,99	2,07
celková známka kvality – CZK		1,37	1,48	1,65
známka podbíjení – ZP		1,63	1,48	1,65

Z hodnot jednotlivých známek kvalit pro parametry GPK je patrné, že kvalita geometrických parametrů koleje v daném úseku je velmi dobrá. Pokud uvážíme, že mezní hladina pro hodnocení vyhovující koleje za provozu pro jednotlivé známky je rovna hodnotě 4 včetně, musíme konstatovat, že výsledky CZK jsou hluboko pod touto hranicí. Nejnížší (nejlepší) dosažená známka kvality má hodnotu 0,66 a přísluší rozchodu koleje v prvním úseku koleje se staničením 112,000 – 112,200 km. Naopak nejvyšší (nejhorší) známku kvality vykazuje parametr převýšení koleje v úseku koleje se staničením 112,200 – 112,400 km. Vybraný úsek koleje by až na tuto hodnotu stále prošel i přejímkou dokončených prací pro rekonstrukci novým materiálem.

Opodstatnění takto dobrých výsledků úsekového hodnocení, a tudíž vysoké kvality geometrických parametrů koleje pro úsek trati č.040 mezi zastávkou Chotěvice a stanicí Pilníkov se staničením 112,000 – 112,600 km, se nachází v provedené rekonstrukci železničního svršku v roce 2021, při které došlo k výměně kolejnic, upevňovadel i pražců a byla zřízena bezстыková kolej.

9 GRAFICKÉ POROVNÁNÍ DAT Z MĚŘICÍHO VOZU MVŽSV S DATY Z MĚŘICÍHO VOZÍKU KRAB S – LIGHT

Poslední kapitolou této diplomové práce je porovnání dat naměřených pomocí měřicího vozíku KRAB S – light s daty naměřenými měřicím vozem železničního svršku Správy železnic, státní organizací. Záměrem porovnání bylo zjistit, jaké odlišnosti data vykazují s ohledem na rozdílné způsoby měření. Výsledky měření oběma diagnostickými prostředky pro měření GPK, vzhledem k jejich odlišné konstrukci a rozdílnému zatížení na nápravu, jsou sice porovnatelné, ale ne identické. Principiální odlišnost je zřejmá mezi měřením pod zatížením koleje, což je případ měřicího vozu pro železniční svršek (MVŽSv) a měřením bez zatížení koleje pro měřicí vozík KRAB S – light.

9.1 Porovnávané soubory dat

Pro získání dat z vybraného úseku koleje, měřeného měřicím vozem pro železniční svršek, byla podána žádost o jejich poskytnutí Centru techniky a diagnostiky Správy železnic, státní organizaci. Žádosti bylo vyhověno a byla poskytnuta naměřená data včetně staničení (111,990 – 112,620 km) a datumu měření pro parametry:

- RK – rozchod koleje,
- SL – směr levého kolejnicového pásu,
- SP – směr pravého kolejnicového pásu,
- PK – převýšení koleje,
- ZKS – syntetické zborcení koleje,
- VL – podélná výška levého kolejnicového pásu,
- VP – podélná výška pravého kolejnicového pásu.

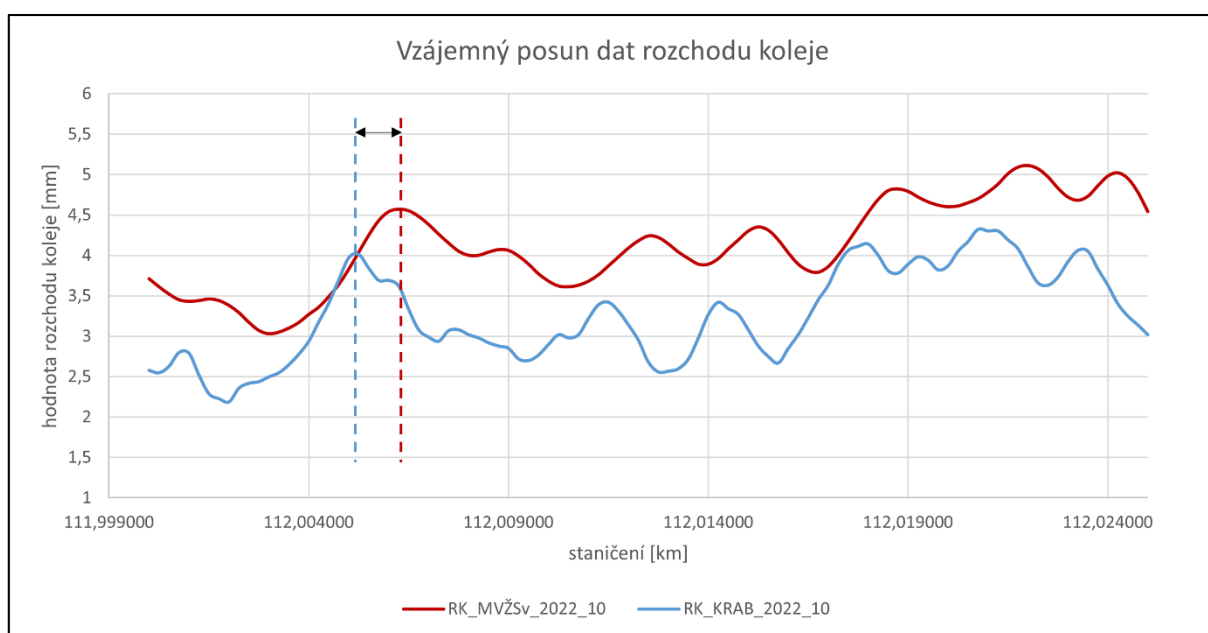
Tyto parametry jsou na vybrané železniční trati měřeny měřicím vozem dvakrát ročně. Poskytnutá data byla naměřena dne 25. 10. 2022. Měření s měřicím vozíkem KRAB S – light proběhlo o den dříve 24. 10. 2022. Skutečnost, že byla porovnáována data měřená s rozdílem pouhého jednoho dne vylučuje případné rozdíly vlivem provozních zatížení nebo dalších skutečností.

K výše uvedeným datům, získaným od CTD SŽ, byly z programu Krab 10 exportovány odpovídající parametry GPK měřené měřicím vozíkem KRAB S – light. V případě směru levého a pravého kolejnicového pásu a podélné výšky levého a pravého kolejnicového pásu

bylo využito dynamických složek měřených parametrů, neboť reprezentují měřené parametry ve vlnovém pásmu D1.

9.2 Práce s daty a úprava dat

Pro práci s daty a následné grafické porovnání byl zvolen program Microsoft Excel. Data z MVŽSv byla poskytnuta ve formátu .xlsx a bylo možné s nimi přímo dále pracovat v tomto programu. Data z měřicího vozíku KRAB S – light byla po otevření v programu Krab 10 exportována do formátu .xls. Po importu dat do programu Excel byly pro jednotlivé parametry vytvořeny grafy, obsahující data z měření MVŽSv i měřicím vozíkem KRAB S – light.



Obrázek 25 Vzájemný posun dat rozchodu koleje

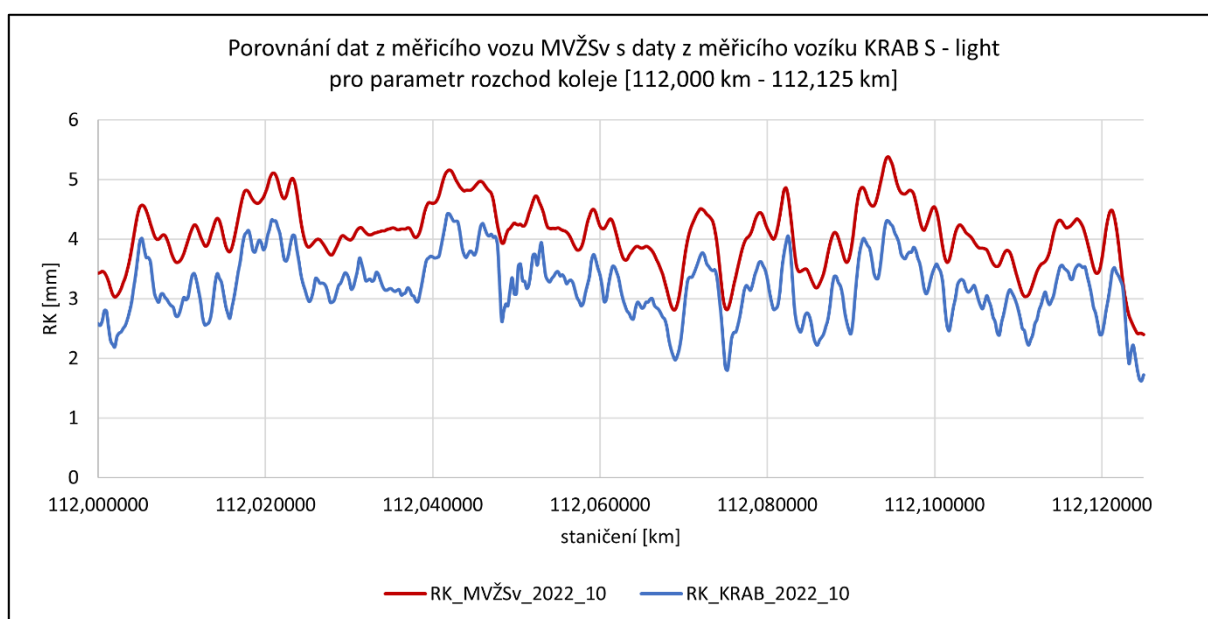
Z vytvořených grafů bylo jasně patrné vzájemné posunutí z hlediska staničení. Dalším krokem tedy byla synchronizace dat. Data z měřicího vozu byla posunuta o jeden metr proti směru staničení a tím se vyrovnalo vzájemné posunutí začátku hodnoceného úseku. Na datech z měřicího vozu ve staničení 112,566750 km byl nalezen vynechaný metrový úsek. Poslední úpravou bylo oříznutí dat z měřicího vozu, které byly poskytnuty v rozsahu 111,990 – 112,620 km, dle dat z měřicího vozíku KRAB S – light, tedy v rozsahu 112,000 – 112,600 km.

9.3 Grafické porovnání dat

Po úpravě dat byly znovu vytvořeny grafy pro jednotlivé parametry GPK s porovnáním dat z obou měřicích prostředků. Grafy průběhu parametrů pro oba naměřené soubory jsou v přílohách B.1 až B.7. Následně byly grafické soubory kontrolovány a byly hledány vzájemné

rozdíly mezi vzorkem dat naměřeným měřicím vozem MVŽSv a měřicím vozíkem KRAB S – light.

Obecně, pro grafy všech porovnávaných parametrů, lze konstatovat, že data naměřená měřicím vozem MVŽSv velmi dobře korelují s daty, která byla naměřena měřicím vozíkem KRAB S – light. Charakter průběhu jednotlivých parametrů je z velké většiny identický nebo se u vybraných parametrů liší v hodnotách v řádu desetin milimetru, což je zanedbatelný rozdíl. Například porovnání dat z měřicího vozu MVŽSv s daty z měřicího vozíku KRAB S – light pro parametr rozchod koleje na 125 metrů dlouhém úseku je znázorněno na následujícím obrázku a dobře dokládá korelaci obou datových souborů.



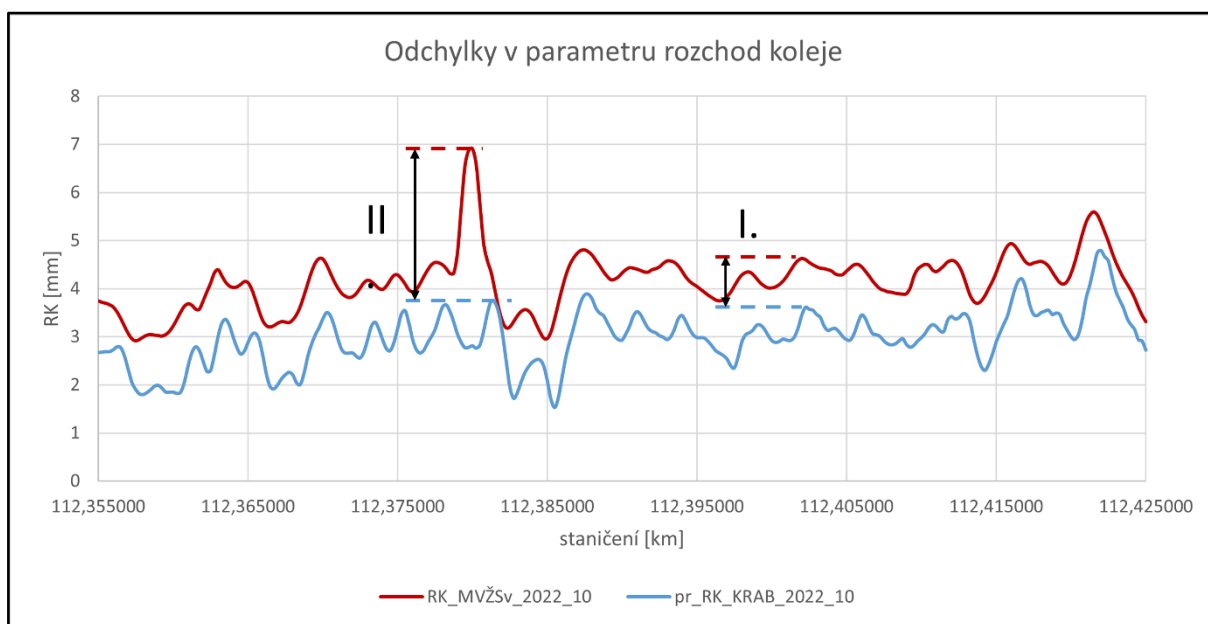
Obrázek 26 Porovnání dat pro parametr rozchod koleje.

Jedinou odlišností, projevující se ve všech naměřených souborech dat, je posunutí hodnot parametrů v koncovém staničení měřeného úseku o jeden metr i přesto, že jsou na začátku staničení průběhy parametrů zarovnané. Jedná se o chybu, která lze přičítat odlišnému způsobu měření ujeté vzdálenosti obou měřicích prostředků. Zbylé odlišnosti obou vzorků dat měřených parametrů jsou již pouze lokálního charakteru a jsou podrobněji rozepsány níže včetně možných příčin vzniku odlišností.

Vzájemné odchytky dat v parametru rozchod koleje

V parametru rozchodu koleje byly nalezeny dvě odchytky. První odchylkou – rozdílem mezi oběma měřeními bylo, jak je zobrazeno na obrázku 27 s označením "I.", vertikální odsazení hodnot parametru rozchodu koleje měřeného MVŽSv od hodnot parametru rozchodu koleje měřeného měřicím vozíkem KRAB S – light. Toto vertikální odsazení je v datech patrné

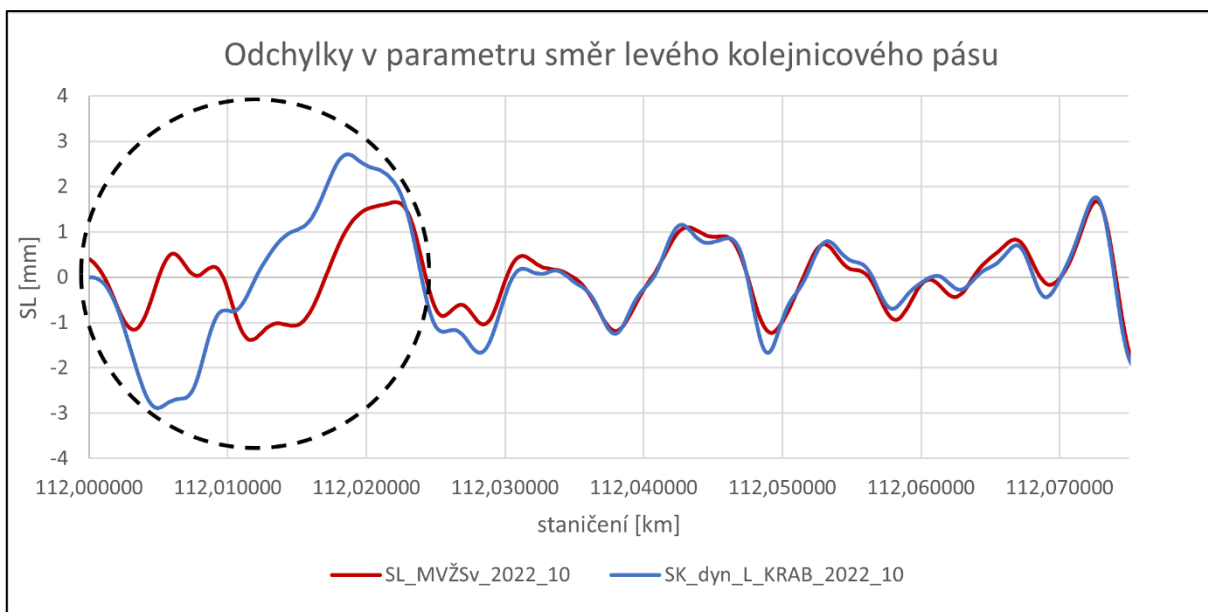
po celé délce měřeného úseku a mohlo by být způsobené pouze rozdílnou kalibrací vozidla, neboť se jedná o vzájemný posun o hodnotách přibližně o velikosti jednoho milimetru. Druhou odchylkou je lokální vrchol rozchodu koleje naměřený MVŽSv, zobrazený na následujícím obrázku pod označením “ II.“, s hodnotou 6,91 mm ve staničení 112,379500 km. Jedná se o místo v těsné blízkosti propustku, nicméně na obrazovém záznamu z měření není patrné, že by dané místo vykazovalo zjevné odlišnosti. S ohledem na fakt, že tento vrchol není zaznamenán měřicím vozíkem KRAB S – light by se mohlo jednat o důsledek měření pod zatížením, kdy se pod projíždějícím měřicím vozem s jmenovitou hmotností 49,3 tuny mohla projevit jistá odchylka rozchodu koleje.



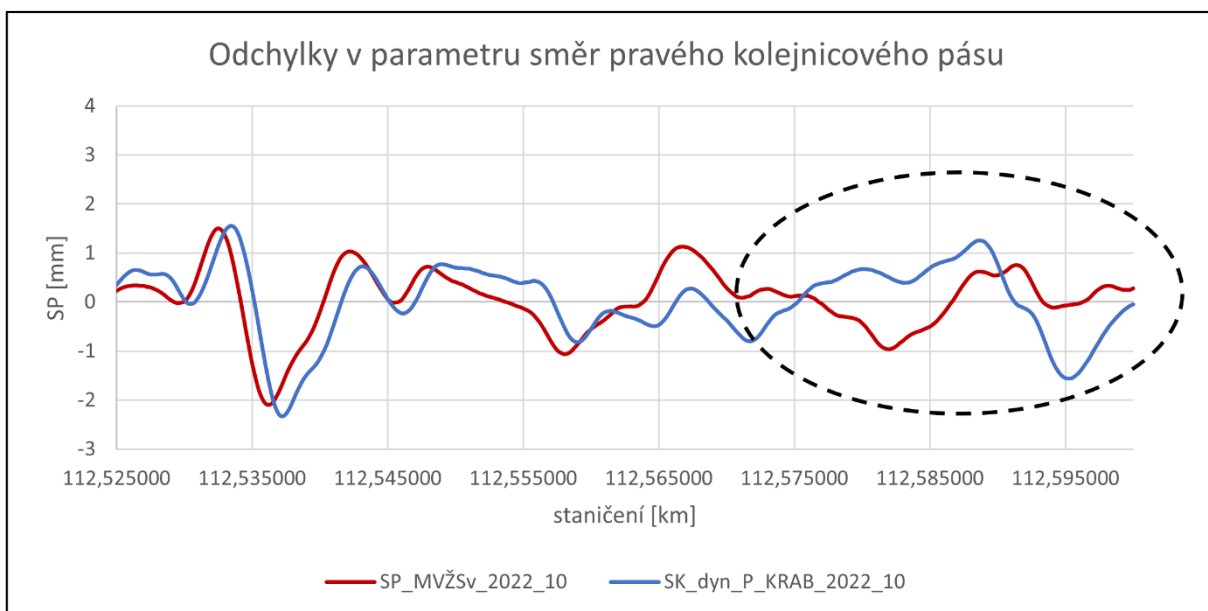
Obrázek 27 Odchylky v parametru rozchodu koleje

Vzájemné odchylky dat v parametrech směr levého, pravého kolejnicového pásu

V parametru směru levého, pravého kolejnicového pásu byly zjištěny odchylky mezi oběma porovnávanými průběhy na začátku a konci měřeného úseku. Jedná se o dvacetimetrový až třicetimetrový úsek, ve kterém se průběh hodnot SL, SP, naměřených měřicím vozíkem KRAB S – light, velmi odlišuje od hodnot naměřených měřicím vozem MVŽSv. Důvodem jsou použité dynamické složky parametrů SL, SP. Zmiňované oblasti jsou zvýrazněny na obrázcích 28 a 29.



Obrázek 28 Odchylky v parametru směr levého kolejnicového pásu

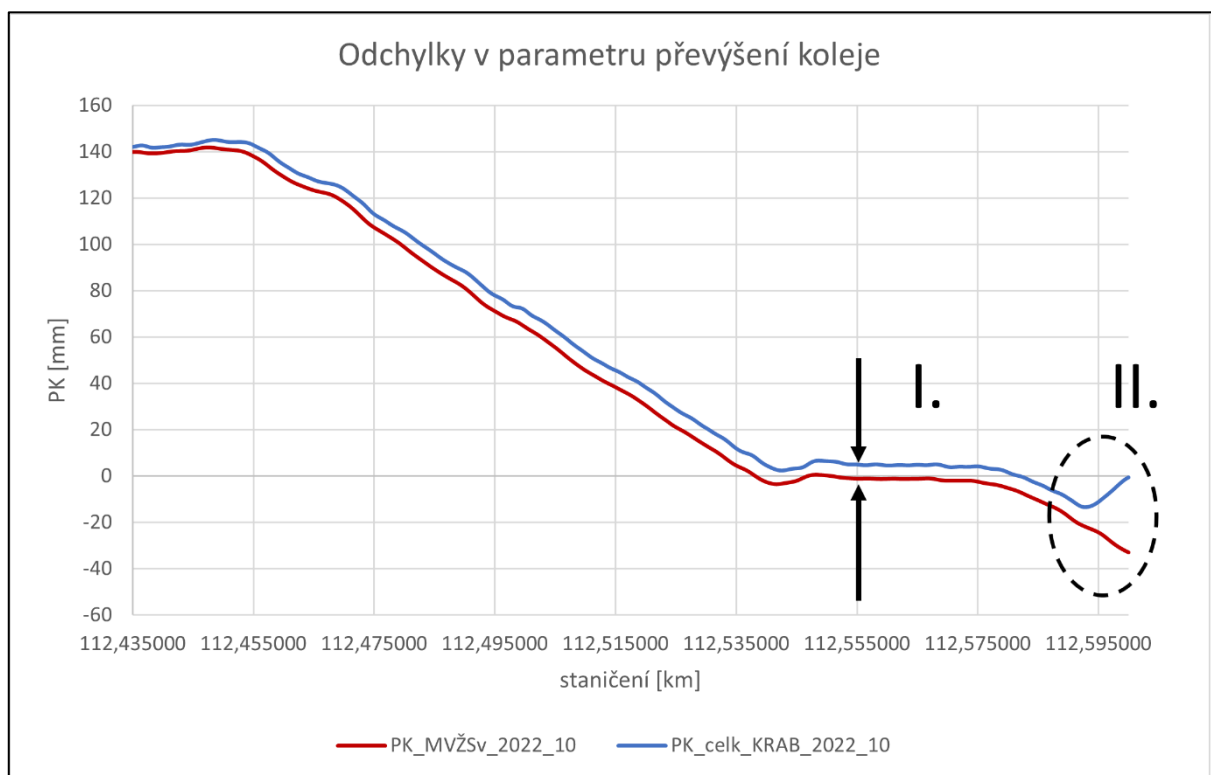


Obrázek 29 Odchylky v parametru směr pravého kole

Vzájemné odchylky dat v parametru převýšení koleje

V parametru převýšení koleje byly zjištěny dvě odchylky mezi oběma porovnávanými průběhy. I. odchylka byla zjištěna v rozdílu hodnot v téměř všech bodech staničení. V zobrazeném místě "I." na obrázku 30 byl rozdíl v hodnotách parametru převýšení 5,9 mm. Rozdíly v hodnotách parametrů se v průběhu staničení různily. Na některých místech se data překrývala nebo byly jejich odchylky minimální, v jiných úsecích byly odchylky o velikosti až 3 mm. Uvedené místo "I." na obrázku 30 nabývalo největších odchylek v hodnotách měřených parametrů z obou měřících zařízení. Mohlo by se v tomto případě jednat o odchylku způsobenou principem měření nebo méně citlivým inklinometrem měřícího vozíku

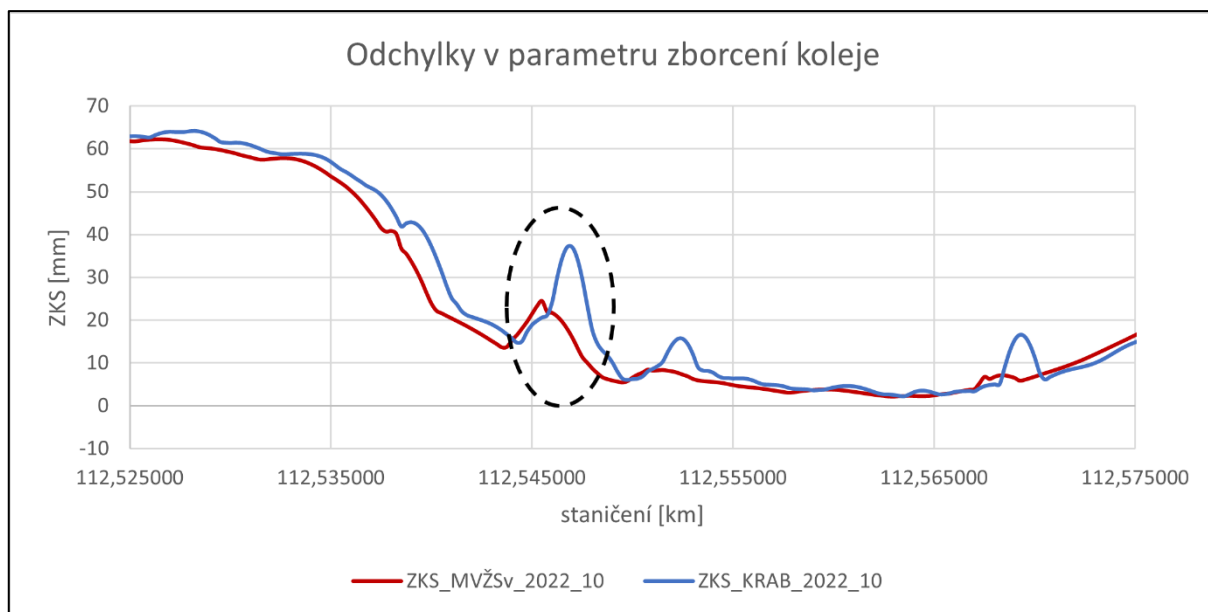
KRAB S – light. Zakreslené místo “II.“ na obrázku 30 zobrazuje odklon hodnot parametru převýšení koleje na konci měřeného úseku, který byl zjištěn také na začátku měřeného úseku. Začátek měření měřicím vozíkem KRAB S - light by měl být zvolen několik metrů před požadovaným počátečním staničením měřeného úseku koleje, aby nedošlo ke zkreslení hodnot.



Obrázek 30 Odchylky v parametru převýšení koleje

Vzájemné odchylky dat v parametru zborcení koleje

V parametru zborcení koleje byly zjištěny odchylky mezi oběma porovnávanými průběhy na začátku a konci měřeného úseku. Tyto odchylky vychází z principu měření zborcení koleje z třinácti měřičských základů. Druhou zjištěnou odchylkou v naměřených datech byly opakující se vrcholy s řádově větší odchylkou v hodnotách měřených parametrů z obou měřicích zařízení. Staničení těchto vrcholů odpovídá staničení změn v převýšení koleje, což de facto vystihuje definici zborcení koleje. Popsané odchylky v parametru zborcení koleje jsou zobrazeny na obrázku 31 na následující straně.



Obrázek 31 Odchyly v parametru zborcení koleje

9.4 Výsledek grafického porovnání dat

Z výše uvedených rozdílů mezi oběma soubory dat naměřenými měřicím vozem MVŽSv pod zatížením a měřicím vozíkem KRAB S – light bez zatížení vyplývá, že průběhy veškerých parametrů velmi dobře korelují nebo se shodují ve více než 95 % staničení. Z hlediska zjištěných odchylek se jedná o minimální procento případů, mnohdy navíc způsobených samotným principem výpočtu parametrů pro obě měřicí zařízení. Porovnání obou souborů naměřených dat ukázalo, že v koleji s velmi dobrou kvalitou geometrických parametrů koleje se na měřených veličinách neprojeví účinky zatížení od měřicího vozu a je možné, pokud by to situace žádala, pro měření a vyhodnocení geometrických parametrů koleje takových úseků využít měřicího vozíku KRAB S – light.

ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá posouzením kvality geometrických parametrů koleje vybraného úseku trati, které byly naměřeny měřicím vozíkem KRAB S – light. V úvodu teoretické části diplomové práce je stručně popsán současný stav diagnostiky tratí z hlediska legislativních požadavků na vlastníka dráhy a provozovatele dráhy. Uvedeno je základní rozdělení geometrických parametrů koleje společně s popisem principu měření jednotlivých parametrů a jsou podrobněji popsány prostředky pro měření GPK. V závěru teoretické části diplomové práce je vysvětlen způsob hodnocení kvality geometrických parametrů koleje s využitím úsekového hodnocení a hodnocení lokálních závad.

Podrobnější popis vybraného úseku trati č. 040 Chlumeck nad Cidlinou – Trutnov uvozuje praktickou část diplomové práce. V další kapitole je shrnut průběh přípravného měření v areálu Výukového a výzkumného centra v dopravě v Pardubicích i průběh měření 600 metrů dlouhého vybraného úseku trati č. 040 od staničení 112,000 km do staničení 112,600. Měření prováděné za provozu potvrdilo velmi dobrou manipulaci a flexibilitu použití měřicího vozíku KRAB S – light. Nejdelší část celého procesu měření tímto zařízením představovalo sestavení měřicího vozíku, osazení jednotlivých modulů a krátké zkušební měření včetně jeho nastavení. Je nutné podotknout, že tento čas by se s přibývajícím praxí a použitím méně rozšiřujících modulů výrazně zkrátil.

Naměřené hodnoty geometrických parametrů koleje byly dále uloženy a zpracovány v programu Krab 10 od společnosti KŽV, s.r.o. V programu bylo před vyhodnocením nutné přesně specifikovat požadované meze hodnocení, vstupní data i parametry grafického hodnocení. Výsledek vyhodnocení kvality geometrických parametrů koleje ve vybraném úseku je velice dobrý až výborný. Na 600 metrů dlouhém úseku nebyla zjištěna jediná lokální závada ani v jednom stupni odchylek. Úsekové hodnocení, prováděné na úsecích o délkách 200 metrů, potvrdilo výborný stav vybraných parametrů GPK. Celkové známky kvality se pohybovaly od 1,37 do 1,65, což jsou hodnoty nejen výrazně pod hranicí 4,0, která je mezní hodnotou pro provozované tratě, ale které by i splňovaly mezní hranici pro přejímku prací s užitím nového materiálu. Na základě obou provedených hodnocení byla shledána kvalita geometrických parametrů ve výborném stavu. Opodstatněním těchto výsledků byl fakt, že trať prošla v roce 2021 rekonstrukcí železničního svršku včetně výměny kolejnic, upevňovadel a pražců. Nicméně zjištěné výsledky dokládají, že úsek koleje je od doby rekonstrukce stále ve výborném stavu.

V závěru praktické části diplomové práce byla porovnána data vybraných parametrů GPK naměřených měřicím vozíkem KRAB S – light s daty naměřenými měřicím vozem železničního svršku a poskytnutými Správou železnic, státní organizací. Data z obou měření byla porovnáována v programu Microsoft Excel, kde byly vytvořeny grafy pro dílčí parametry GPK. Grafické průběhy obou měření, uvedené v přílohách B.1 až B.5, byly dále zkoumány a byly hledány vzájemné rozdíly včetně odůvodnění, čím byly rozdíly způsobeny. Porovnání obou souborů dat ukázalo, že ve více než 95 % délky posuzovaného úseku spolu výrazně koreluje nebo je shodných. Z hlediska zjištěných odchylek se jedná o minimální procento případů, způsobených samotným principem měření a výpočtem měřených parametrů. Závěrem vyplynulo, že se v koleji s velmi dobrou kvalitou GPK na měřených veličinách téměř neprojeví účinky od zatížení měřicím vozem a je možné pro měření a vyhodnocení geometrických parametrů koleje takovýchto úseků poměrně spolehlivě využít měřicího vozíku KRAB S – light. Hlavní výhodou použití měřicího vozíku KRAB S – light je jeho cena, skladnost a flexibilita, jež umožňuje rychlé operativní nasazení.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] ČSN 73 6360-2: *Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2009, 36 s.
- [2] *Technologie prací na železničním svršku*. 1. vydání. Praha: ČKAIT, 2019, 399 s. ISBN 978-80-88265-17-7.
- [3] Zákon č. 266/1994 Sb.: Zákon o dráhách. In: *Zákony pro lidi* [online]. AION CS, 2010-2023 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1994-266>
- [4] Přehled provozovatelů dráhy celostátní nebo regionální v ČR. In: *Drážní úřad* [online]. 2016 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: https://www.ducr.cz/images/drurad/2023/Seznam_provozovatelu__drahy__celostatni_nebo_regionalni_1_2_2023.pdf
- [5] Vyhláška č. 177/1995 Sb.: Vyhláška Ministerstva dopravy, kterou se vydává stavební a technický řád drah. In: *Zákony pro lidi* [online]. AION CS, 2010-2023 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1995-177>
- [6] *SŽDC SR103/8(S): Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha*. Praha: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 2011, 198 s.
- [7] ČSN 73 6360-1: *Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha - Část 1: Projektování*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020, 52 s.
- [8] ČSN EN 13848-2: *Železniční aplikace - Kolej - Kvalita geometrie koleje - Část 2: Měřicí systémy - Měřicí vozidla*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2021, 40 s.
- [9] ČSN EN 13848-1: *Železniční aplikace - Kolej - Kvalita geometrie koleje - Část 1: Popis geometrie koleje*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2021, 44 s.
- [10] ČSN EN 13848-5: *Železniční aplikace - Kolej - Kvalita geometrie koleje - Část 5: Hladiny kvality geometrie koleje - Běžná kolej a kolejová rozvětvení*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018, 24 s.
- [11] *Technická dokumentace systému KRAB: 1. část - Teoretické základy*. Praha: Komerční železniční výzkum, 2002.
- [12] ČSN EN 13848-4: *Železniční aplikace - Kolej - Kvalita geometrie koleje - Část 4: Měřicí systémy - Lehké kolejové prostředky a ruční zařízení*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2012, 28 s.

- [13] ČSN EN 13848-3: *Železniční aplikace - Kolej - Kvalita geometrie koleje - Část 3: Měřicí systémy - Stroje pro stavbu a údržbu koleje*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2022, 28 s.
- [14] *SŽ S2/4: Zajišťování diagnostiky železničního svršku a spodku měřicími prostředky s kontinuálním záznamem*. Praha: Správa železnic, státní organizace, 2022, 289 s.
- [15] Rozchodka s nivelací pro převýšení. In: *Cominvest* [online]. [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://www.cominvest.cz/p/rozchodka-s-nivelaci-pro-prevyseni#>
- [16] *KRAB S-light: Super low weight measuring trolley for track geometry* [online]. In: . Komerční železniční výzkum, spol. s r.o., s. 2 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://kzv.cz/wp-content/uploads/2021/10/S-light-EN.pdf>
- [17] JOUDAL, Daniel, Pavel KULICH a Otto PLÁŠEK. Porovnání metodik hodnocení kvality geometrie koleje. In: *Vědeckotechnický sborník Správy železnic*. 2022.
- [18] *Mapy.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, a.s., 2023 [cit. 2023-05-08]. Dostupné z: <https://mapy.cz/turisticka?x=15.8441000&y=50.2137000&z=11>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A: Grafické hodnocení signálů měřicího vozíku KRAB S – light

Příloha B.1: Porovnání dat pro parametr rozchod koleje

Příloha B.2: Porovnání dat pro parametr směr levého kolejnicového pásu

Příloha B.3: Porovnání dat pro parametr směr pravého kolejnicového pásu

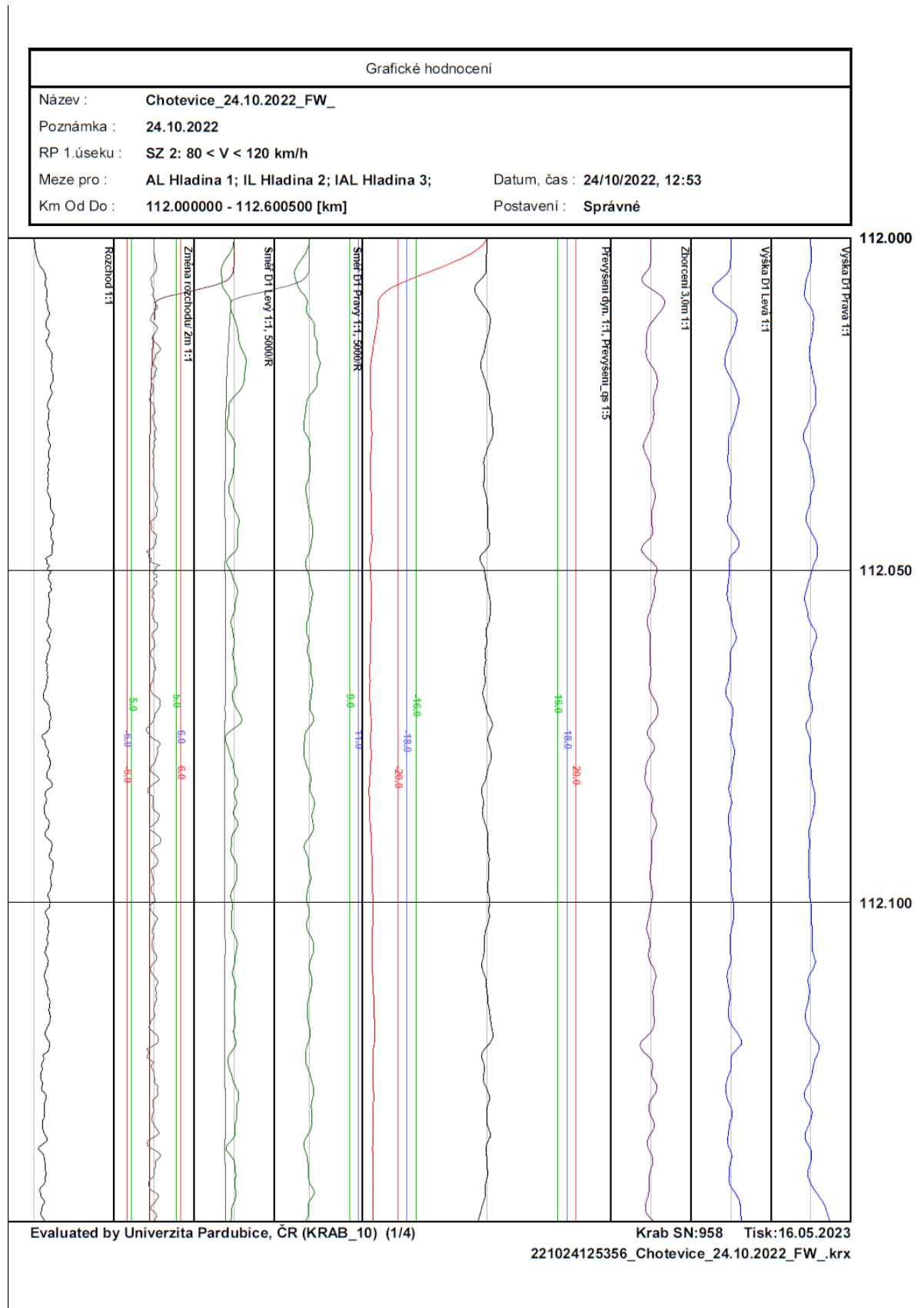
Příloha B.4: Porovnání dat pro parametr převýšení koleje

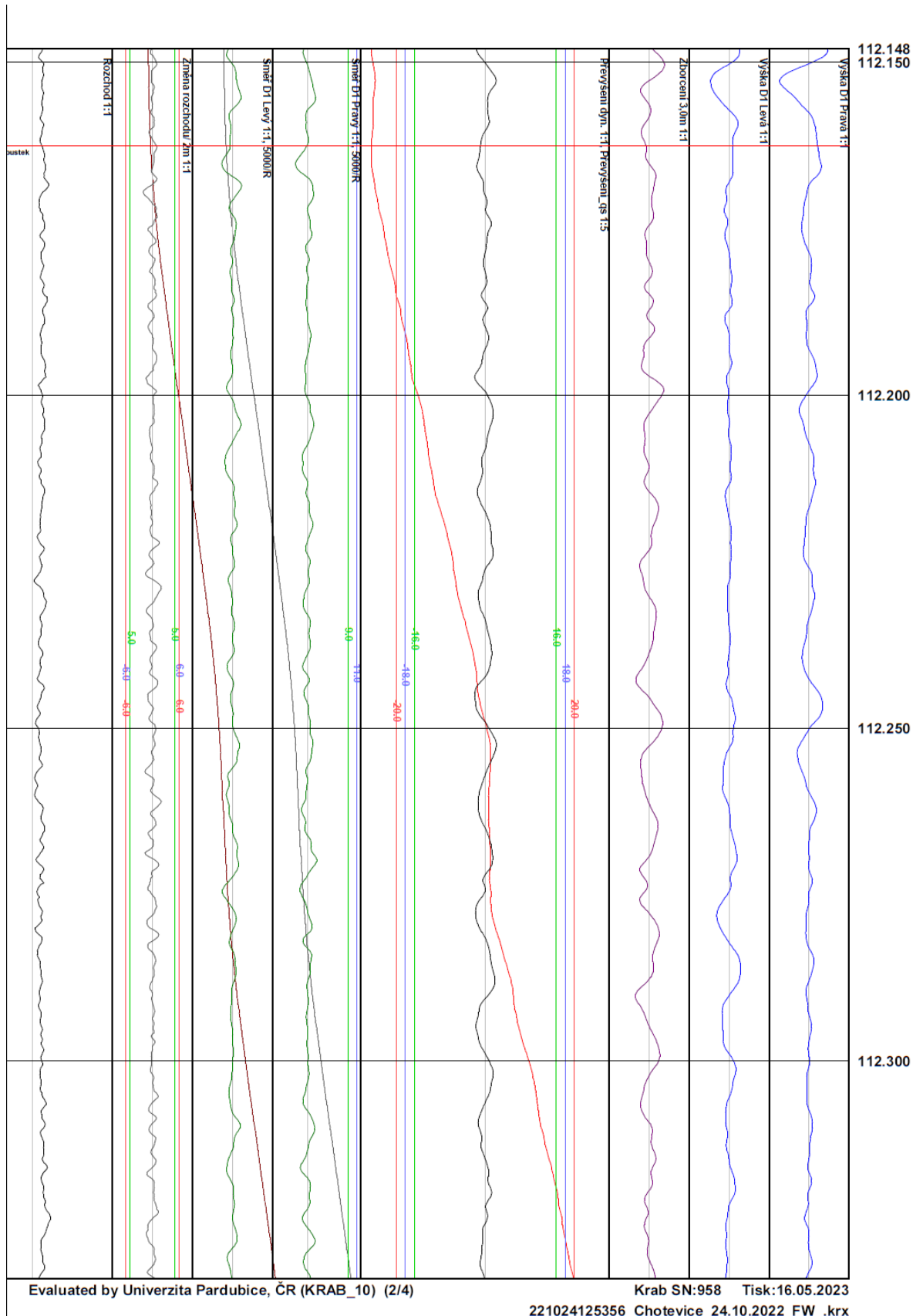
Příloha B.5: Porovnání dat pro parametr zborcení koleje

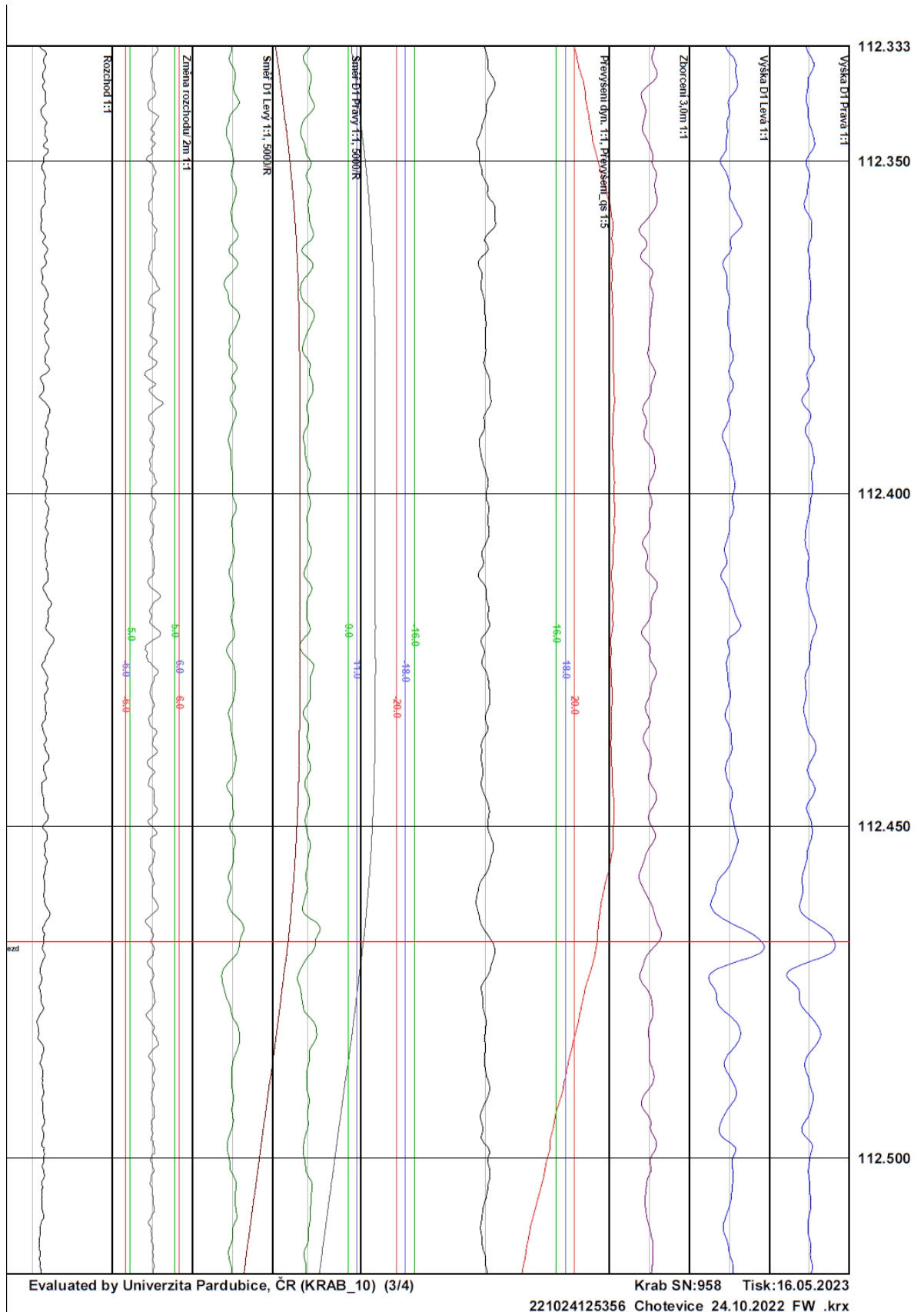
Příloha B.6: Porovnání dat pro parametr podélné výšky levého kolejnicového pásu

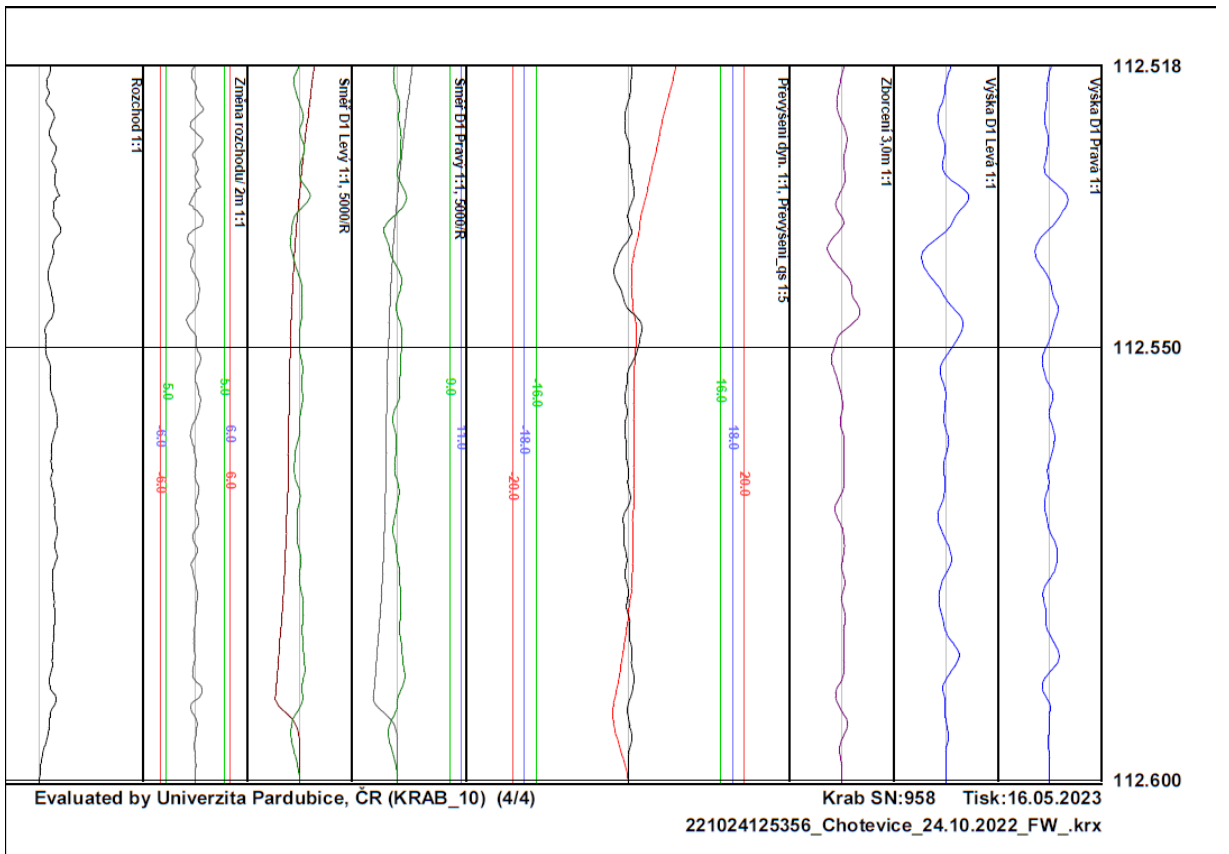
Příloha B.7: Porovnání dat pro parametr podélné výšky pravého kolejnicového pásu

PŘÍLOHA A: Grafické hodnocení signálů měřicího vozíku KRAB S – light

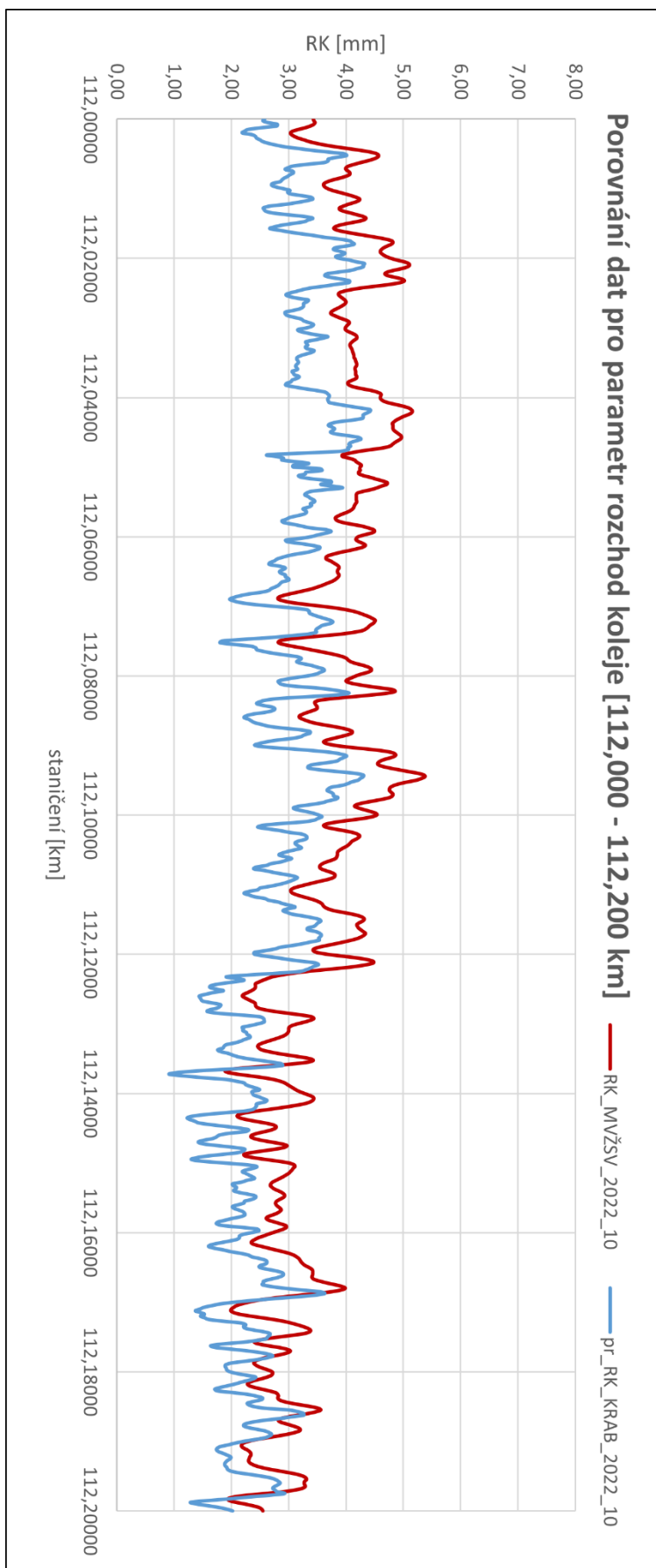


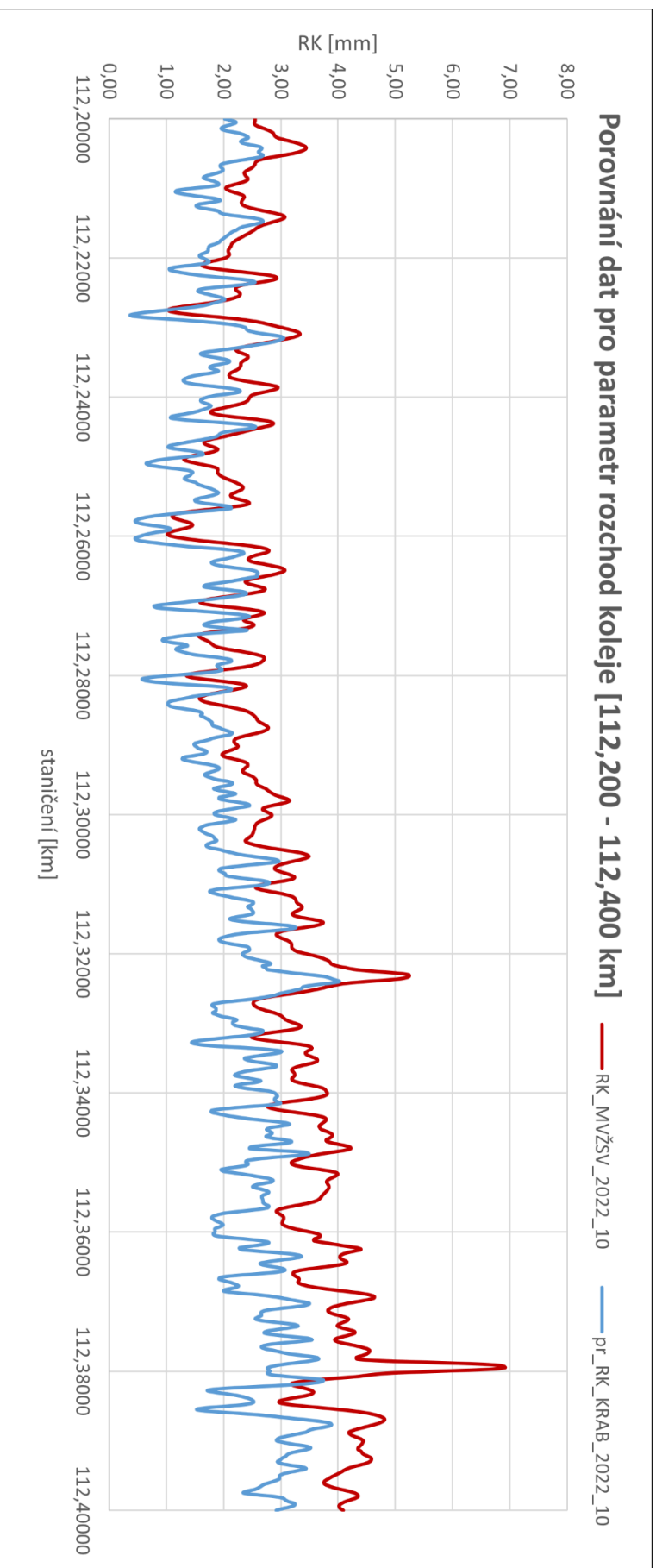


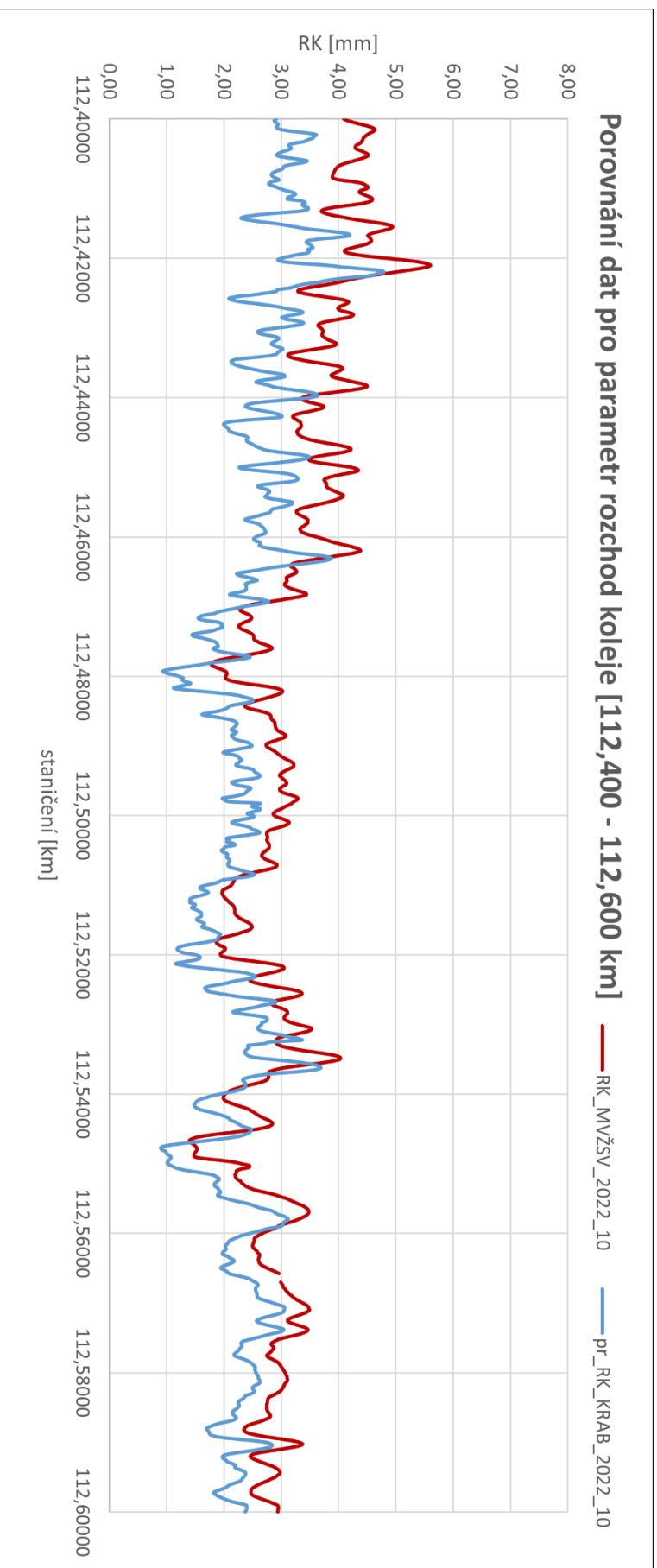




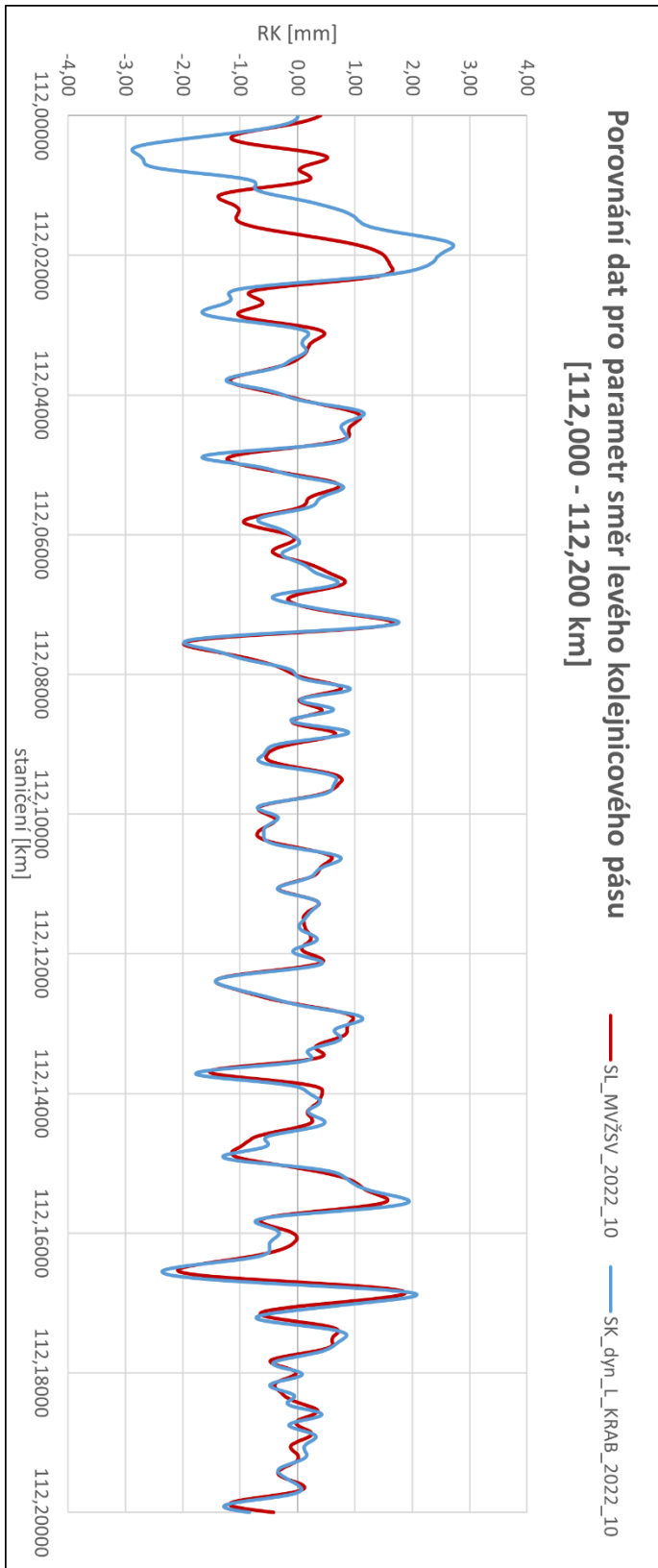
PŘÍLOHA B.1: Porovnání dat pro parametr rozchod koleje

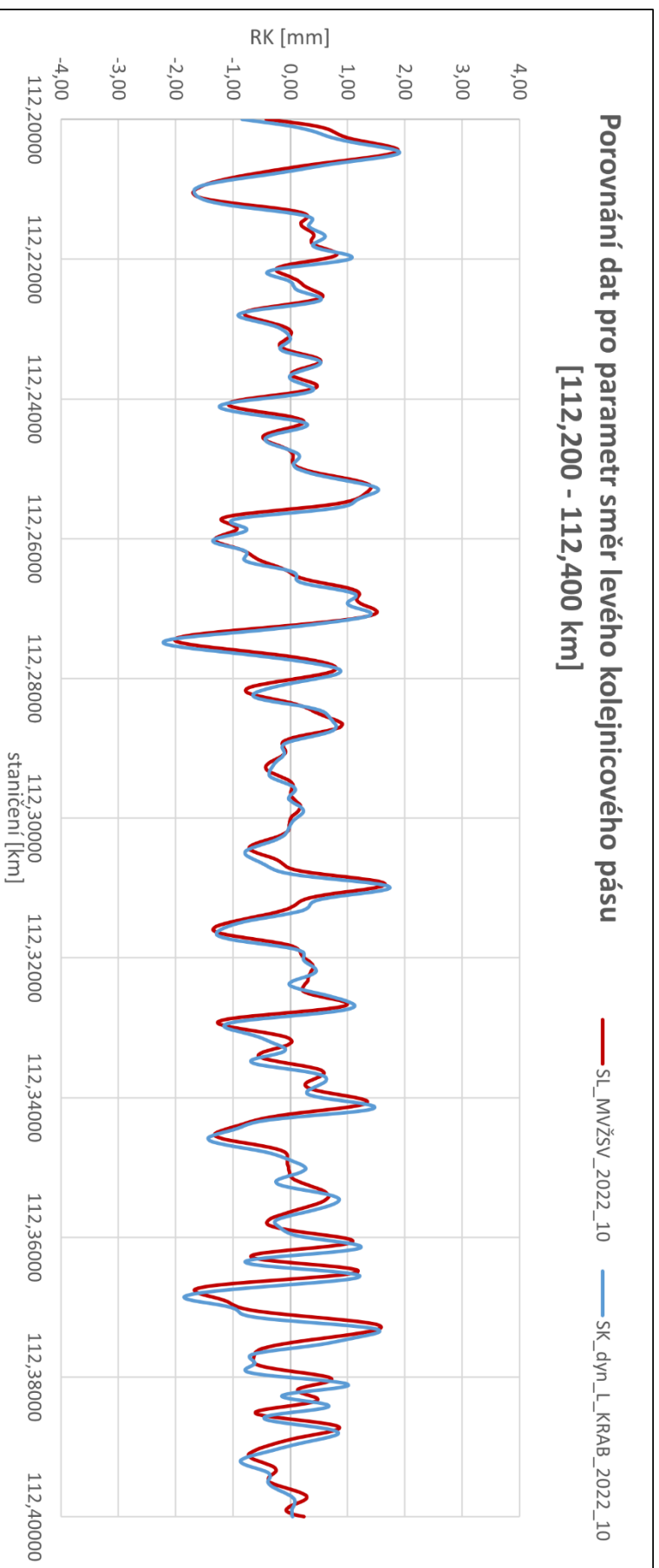




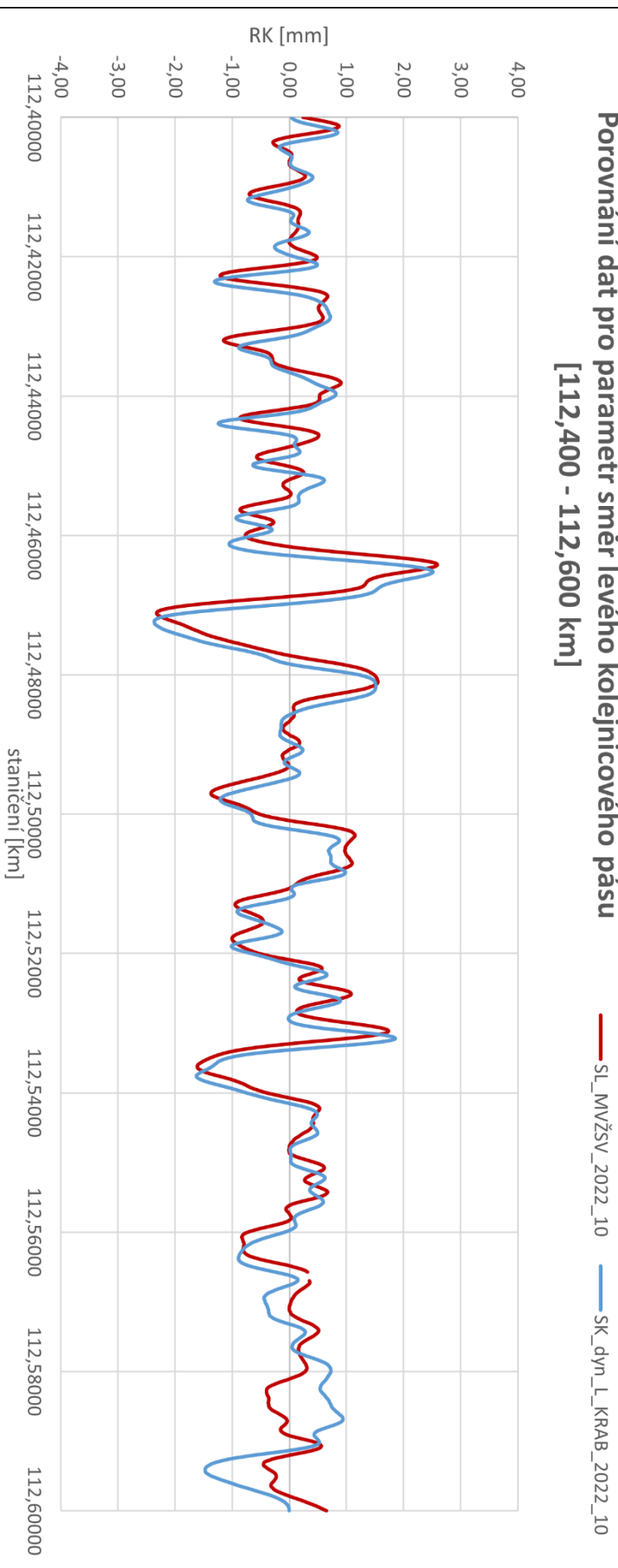


PŘÍLOHA B.2: Porovnání dat pro parametr směr levého kolejnicového pásu

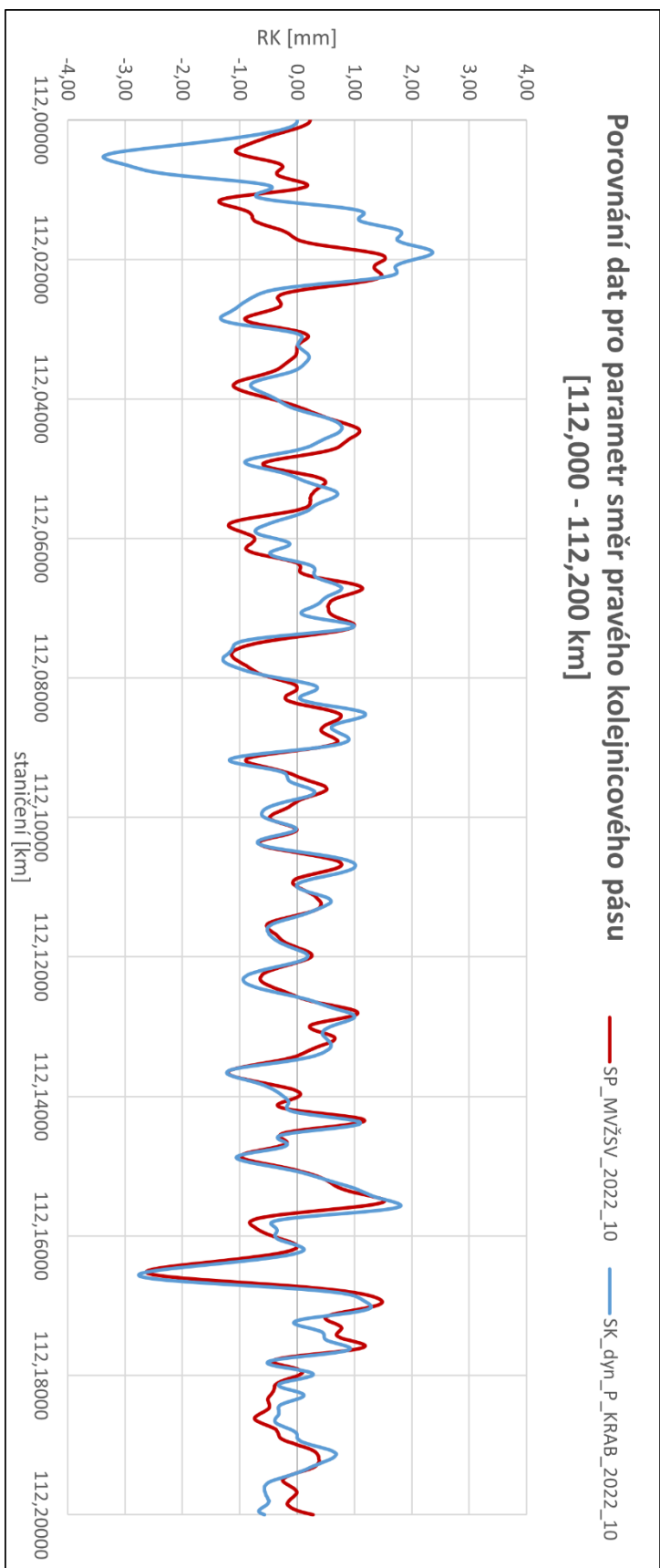




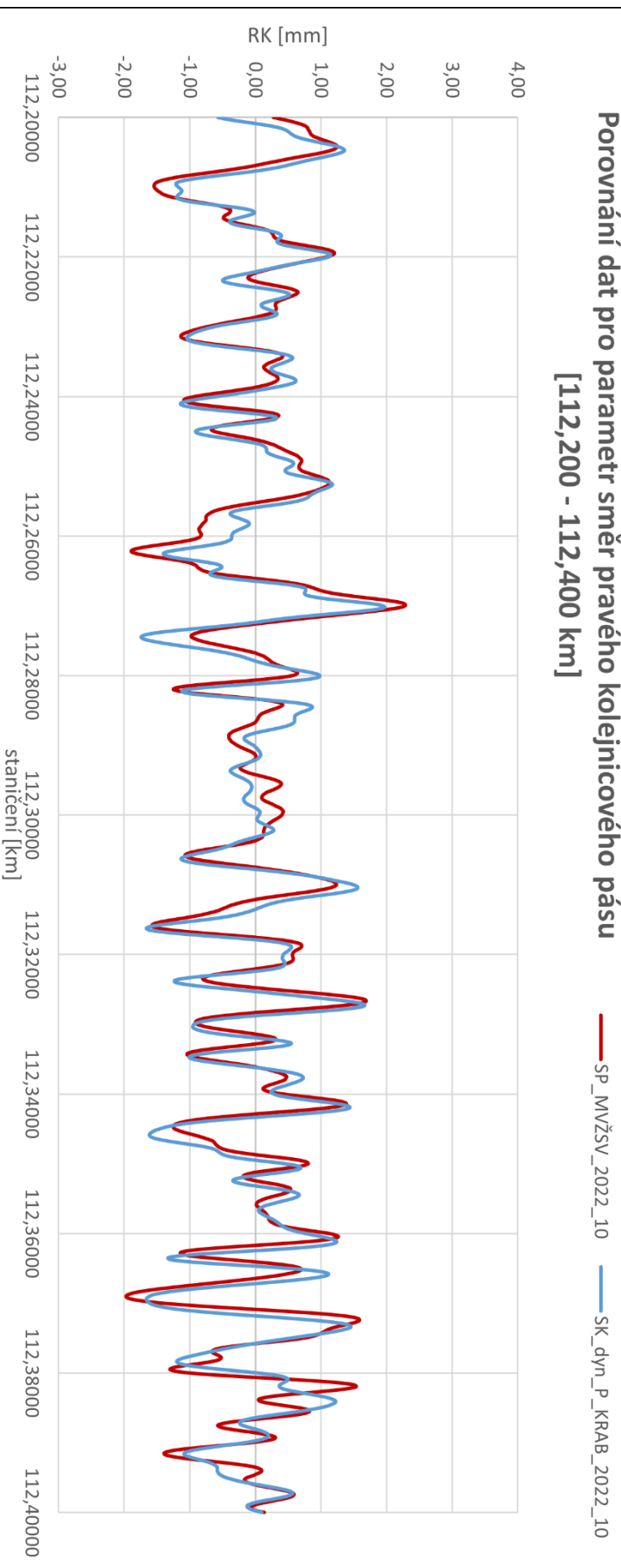
Porovnání dat pro parametr směr levého kolejnicového pásu [112,400 - 112,600 km]



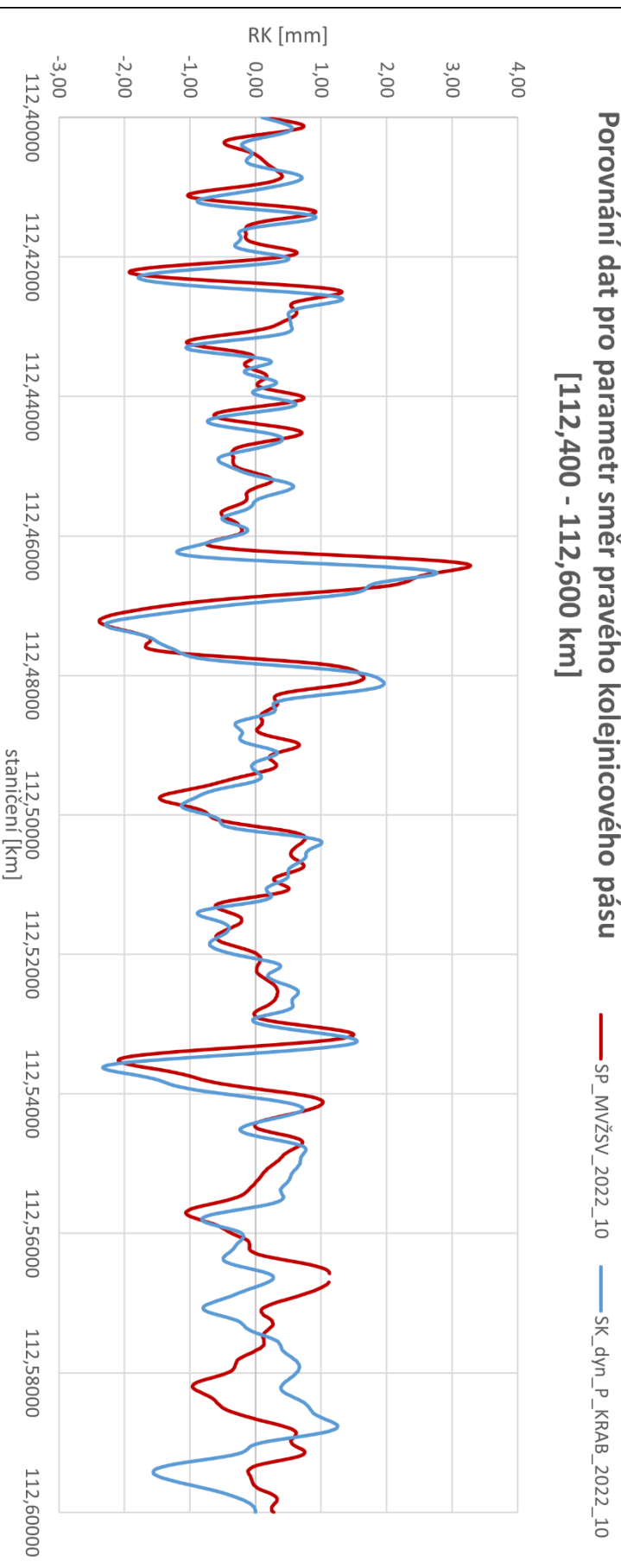
PŘÍLOHA B.3: Porovnání dat pro parametr směr pravého kolejnicového pásu



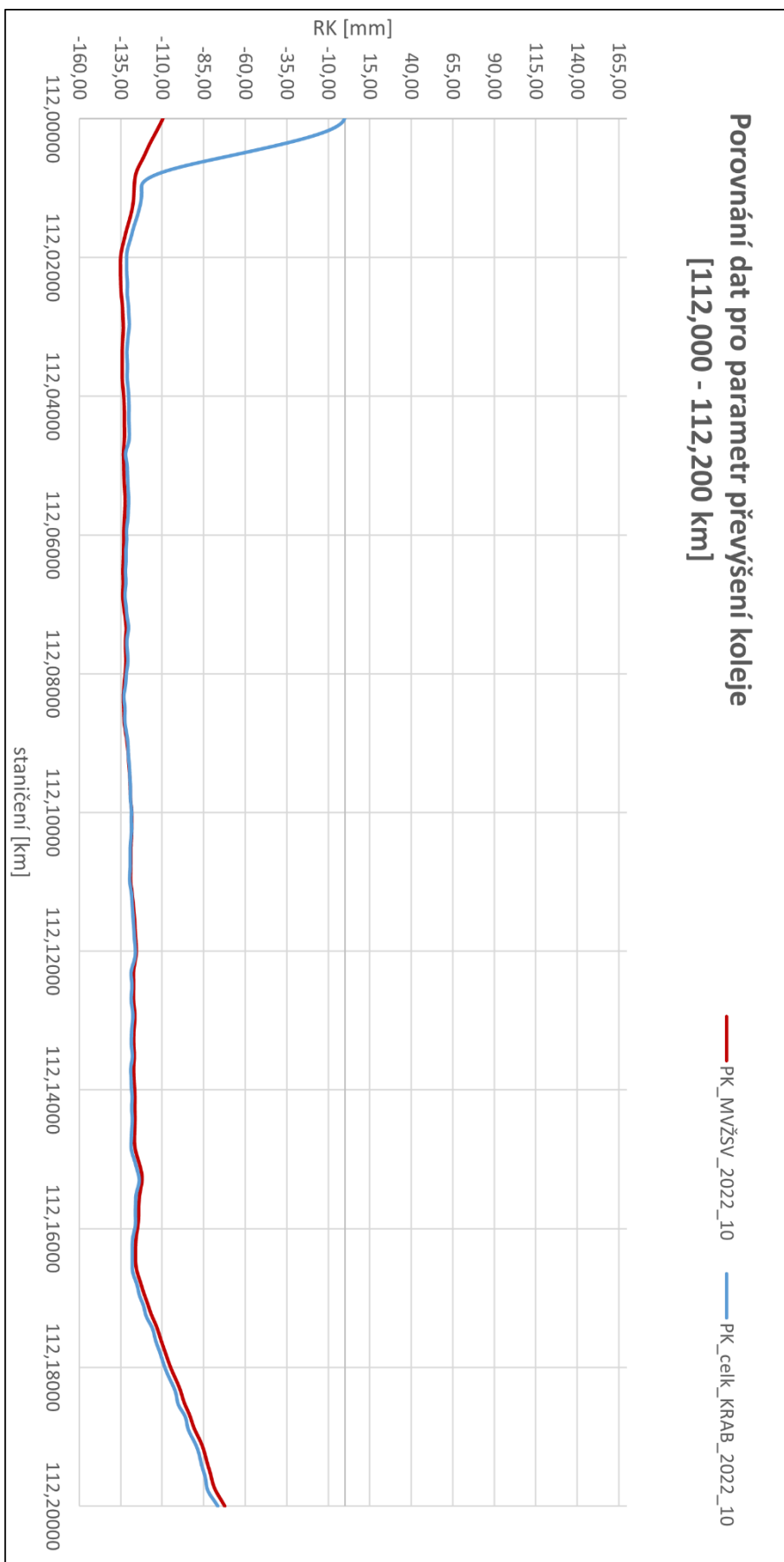
**Porovnání dat pro parametr směr pravého kolejniového pásu
[112,200 - 112,400 km]**



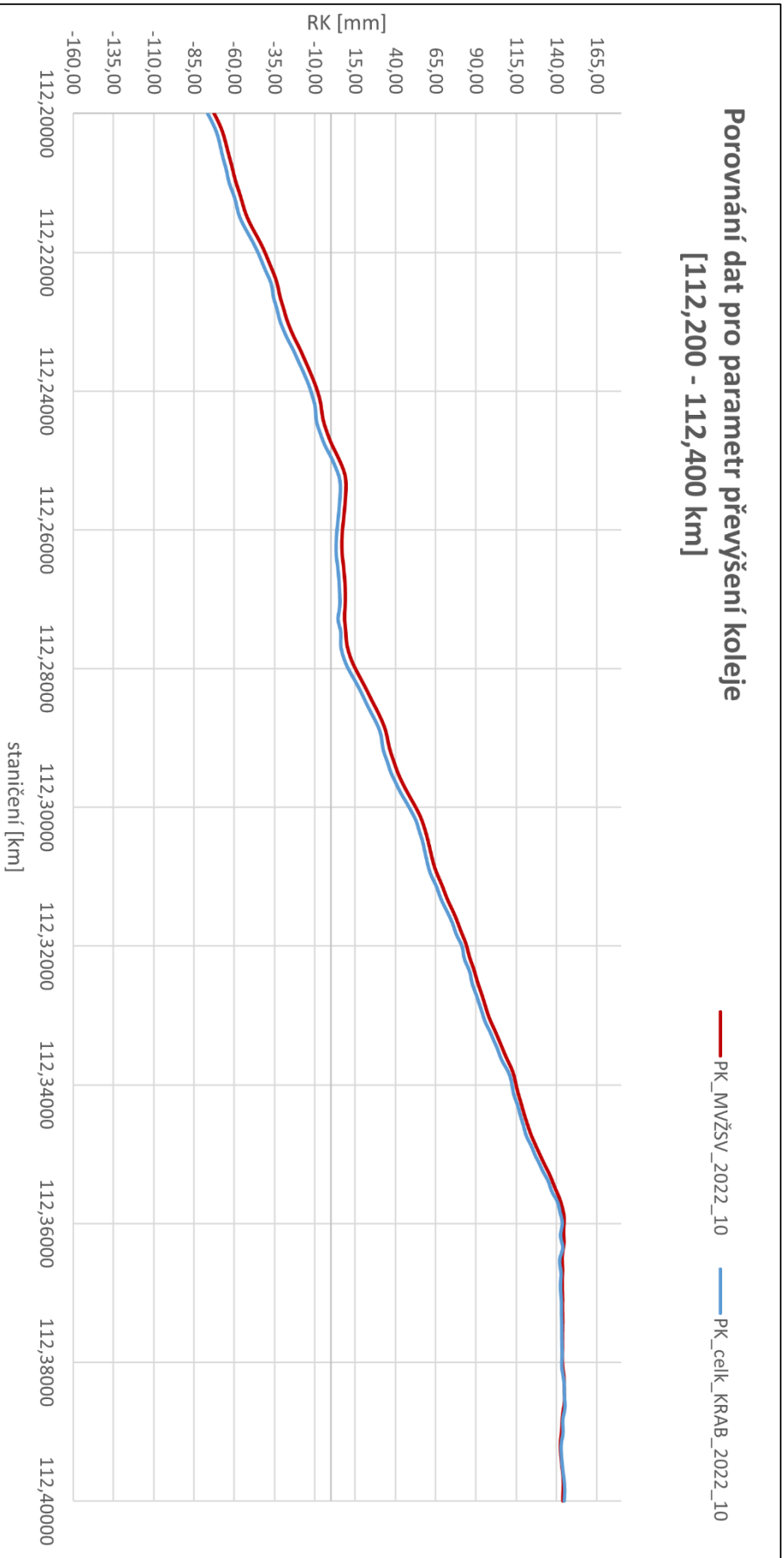
**Porovnání dat pro parametr směr pravého kolejniového pásu
[112,400 - 112,600 km]**



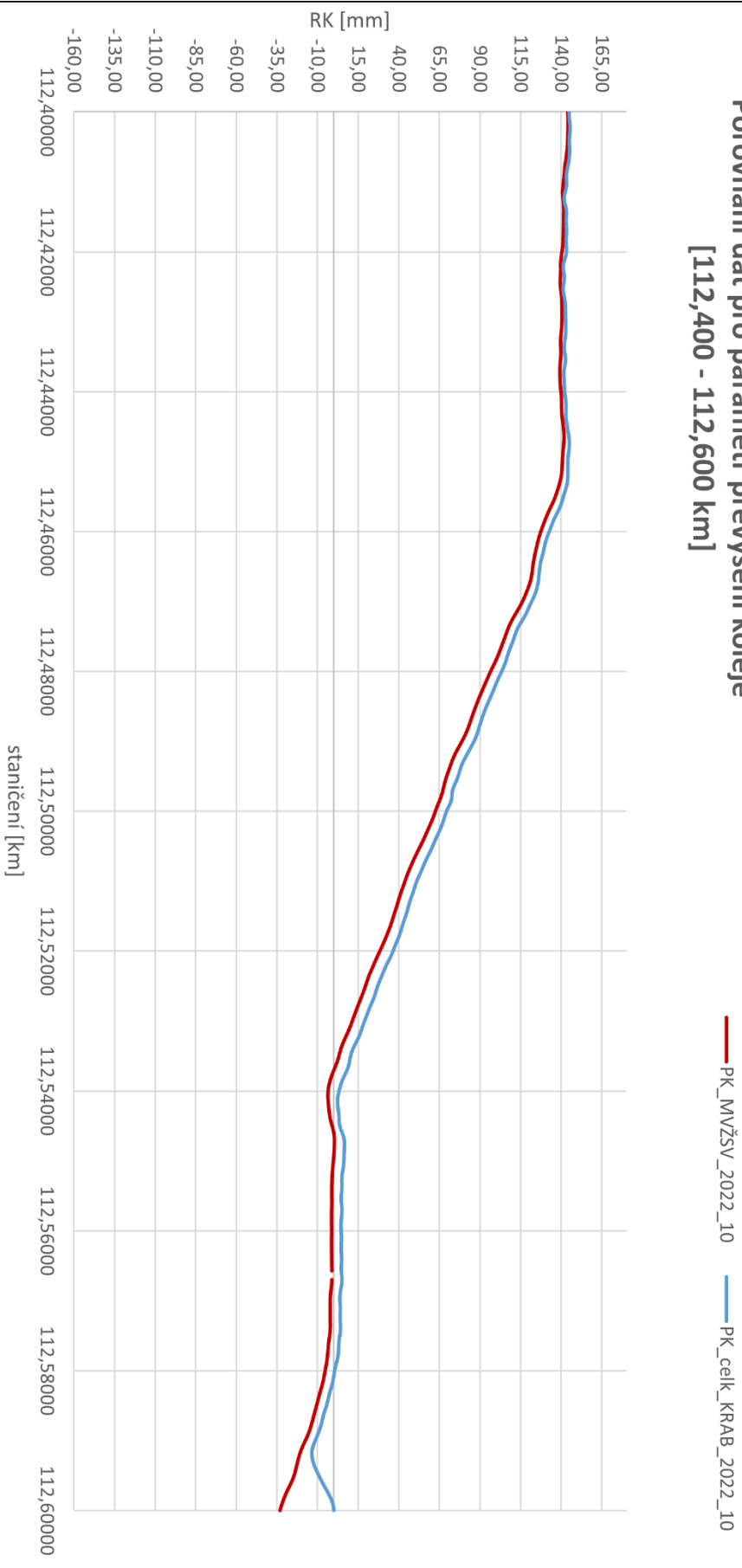
PŘÍLOHA B.4: Porovnání dat pro parametr převýšení koleje



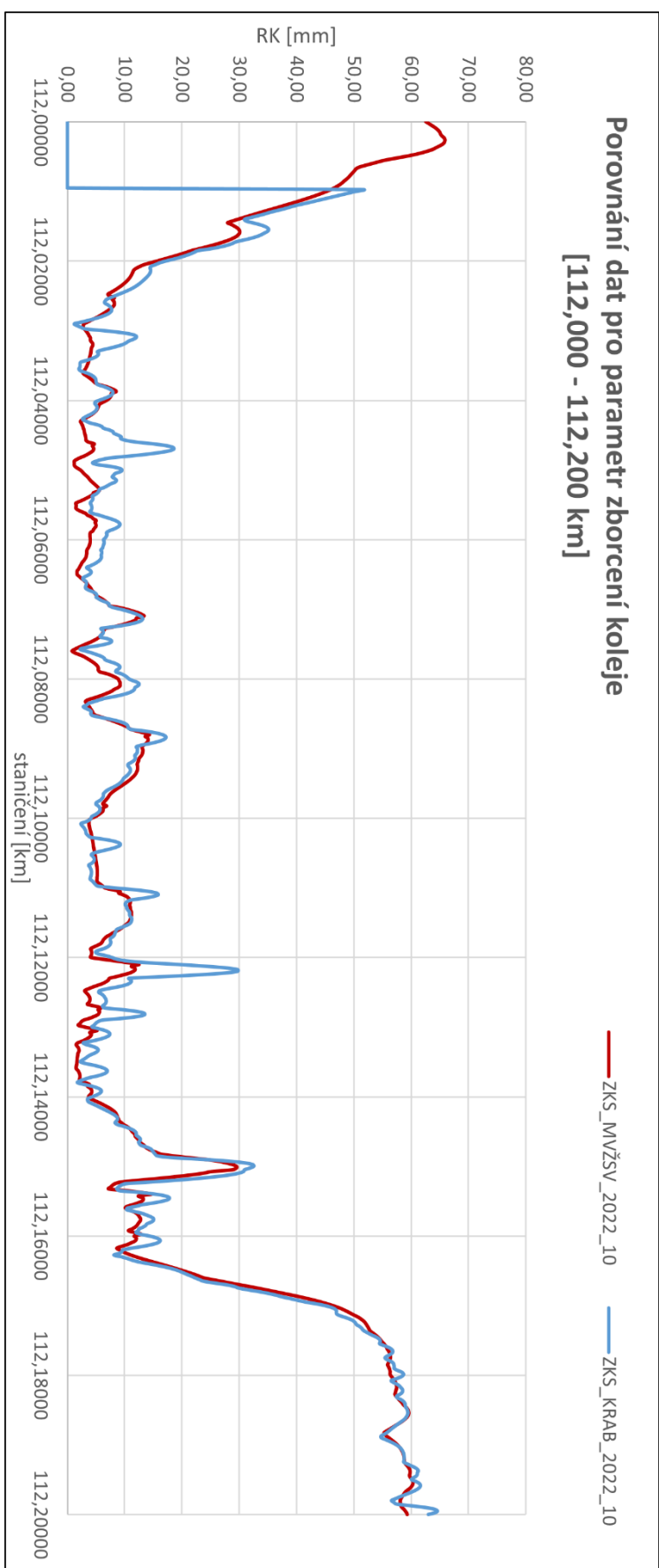
Porovnání dat pro parametr převýšení koleje [112,200 - 112,400 km]

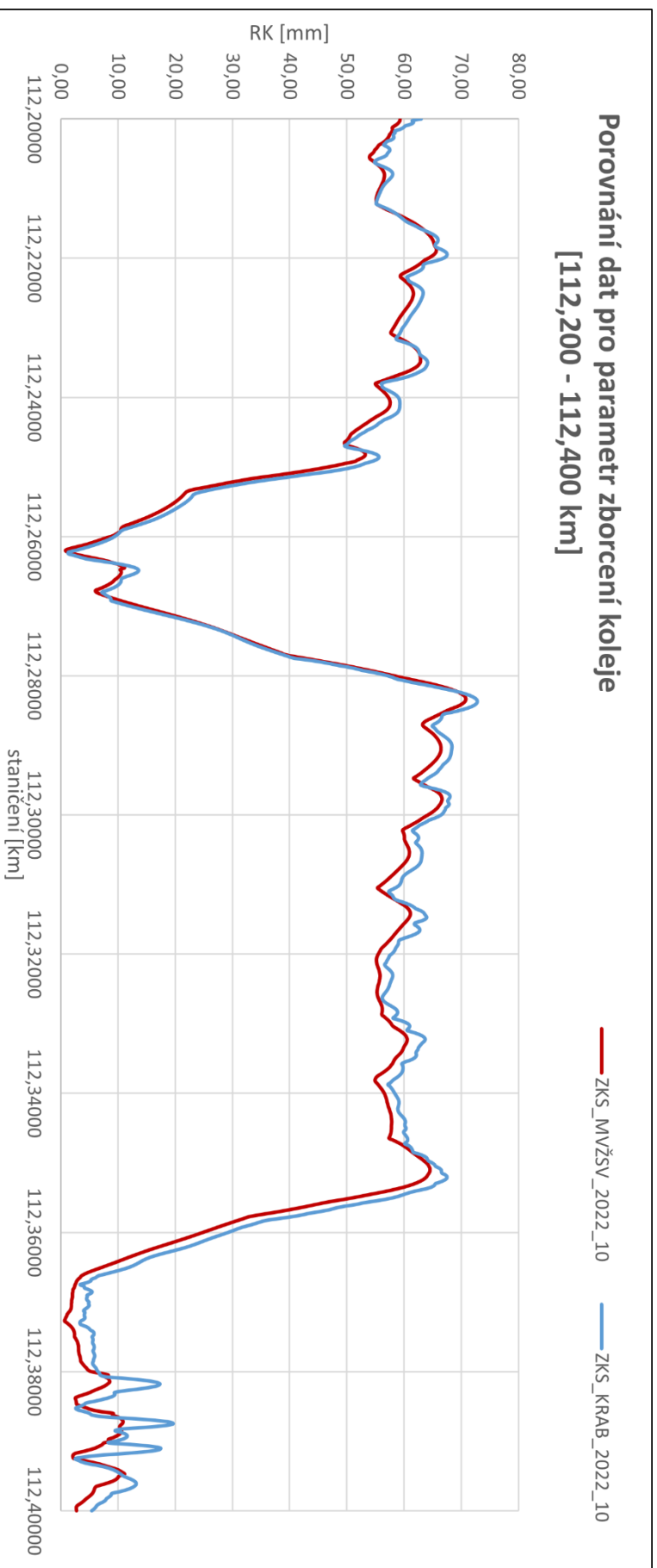


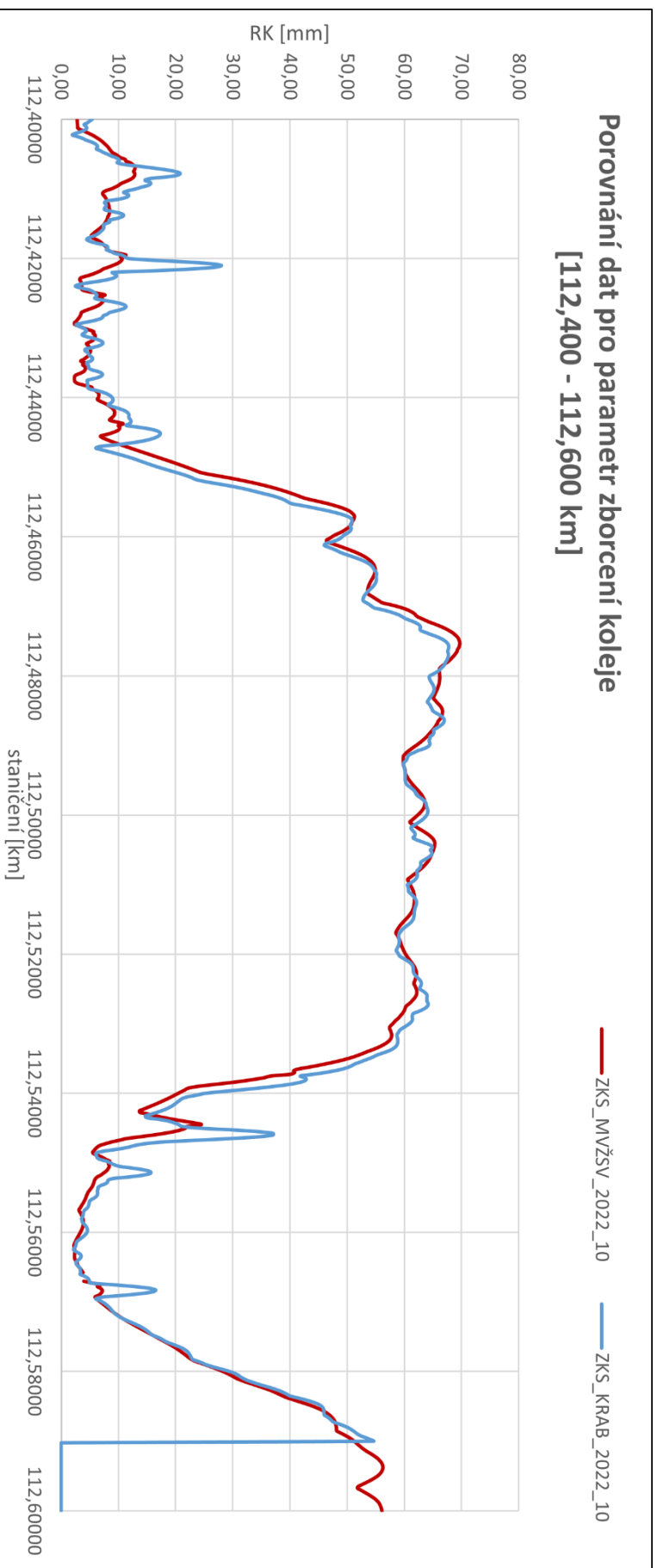
Porovnání dat pro parametr převýšení koleje [112,400 - 112,600 km]



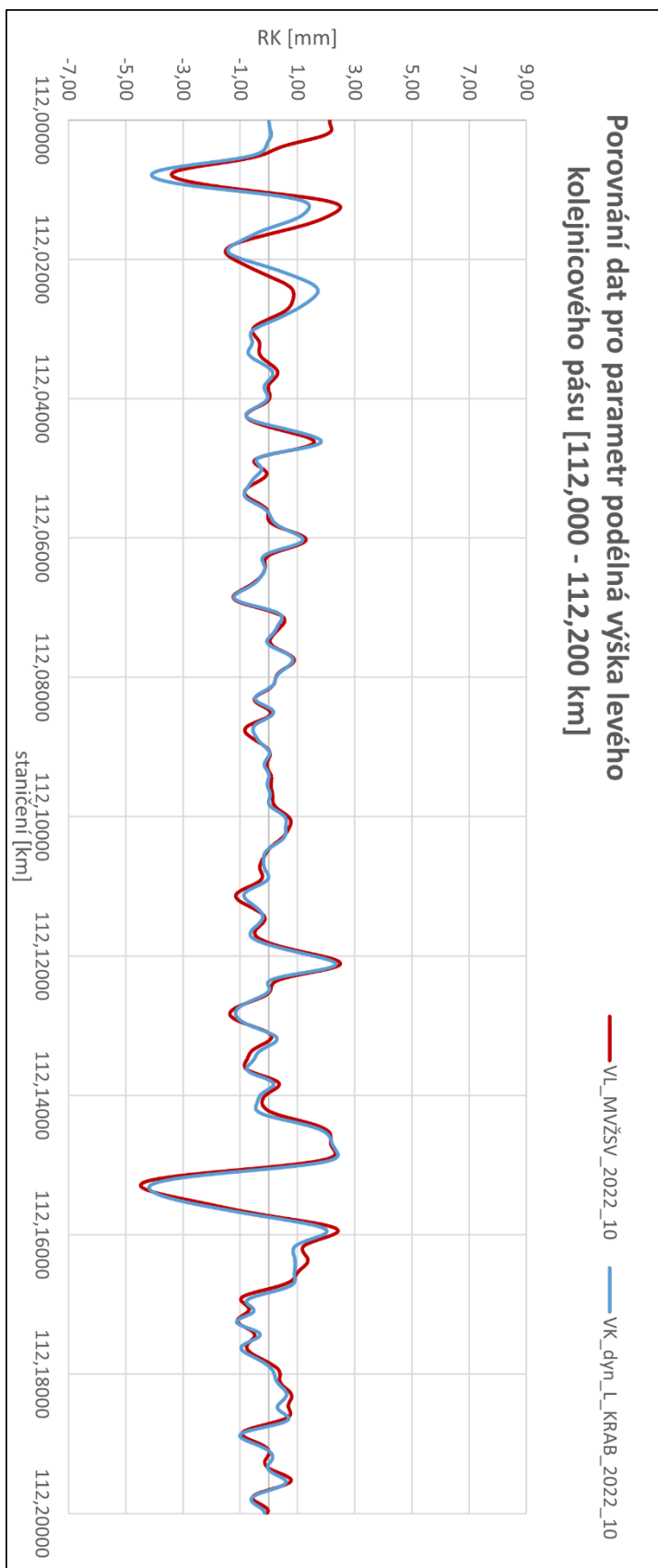
PŘÍLOHA B.5: Porovnání dat pro parametr zborcení koleje



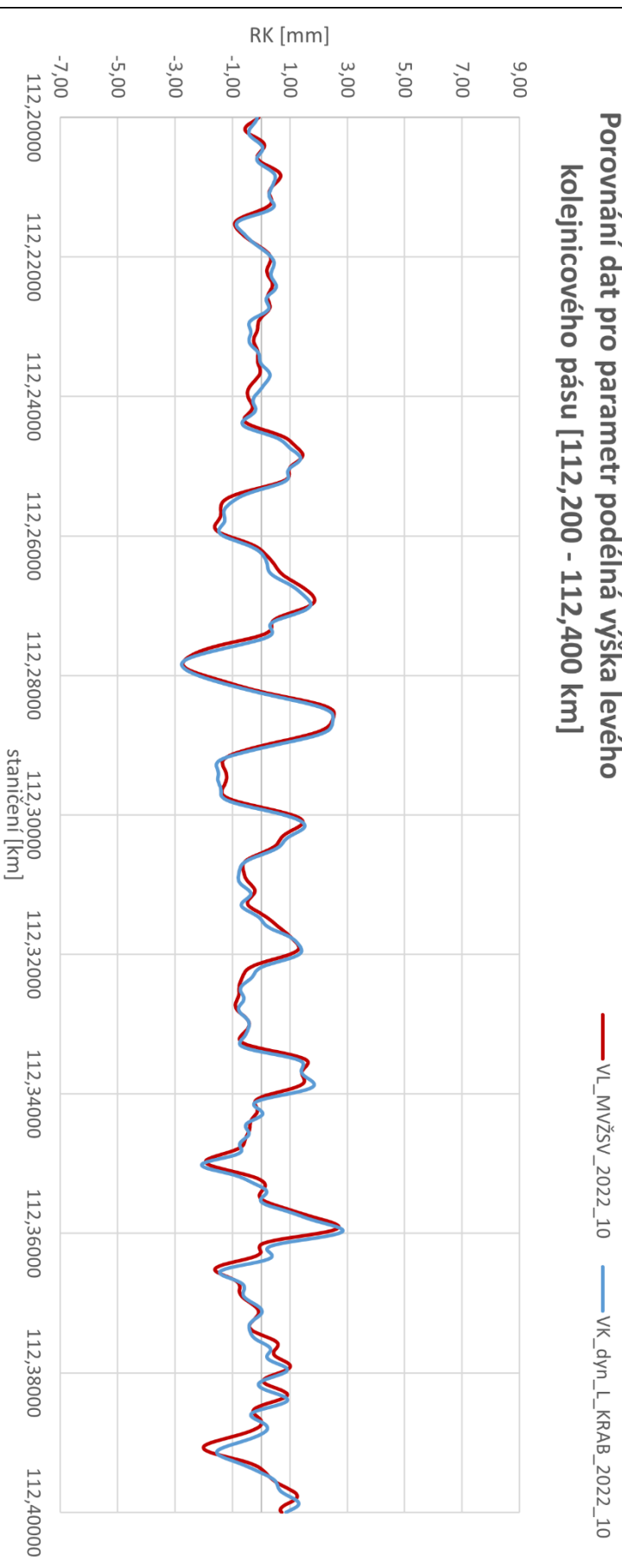




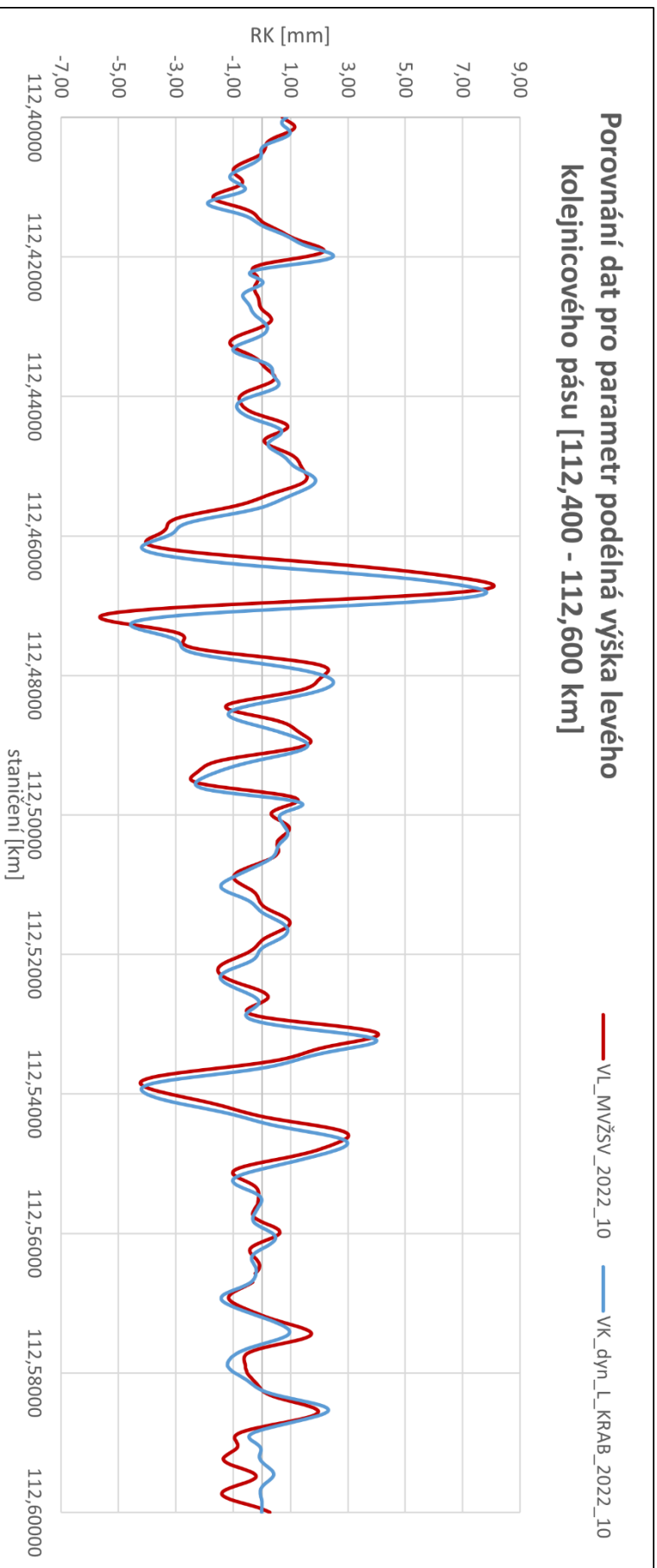
PŘÍLOHA B.6: Porovnání dat pro parametr podélná výška levého kolejnicového pásu



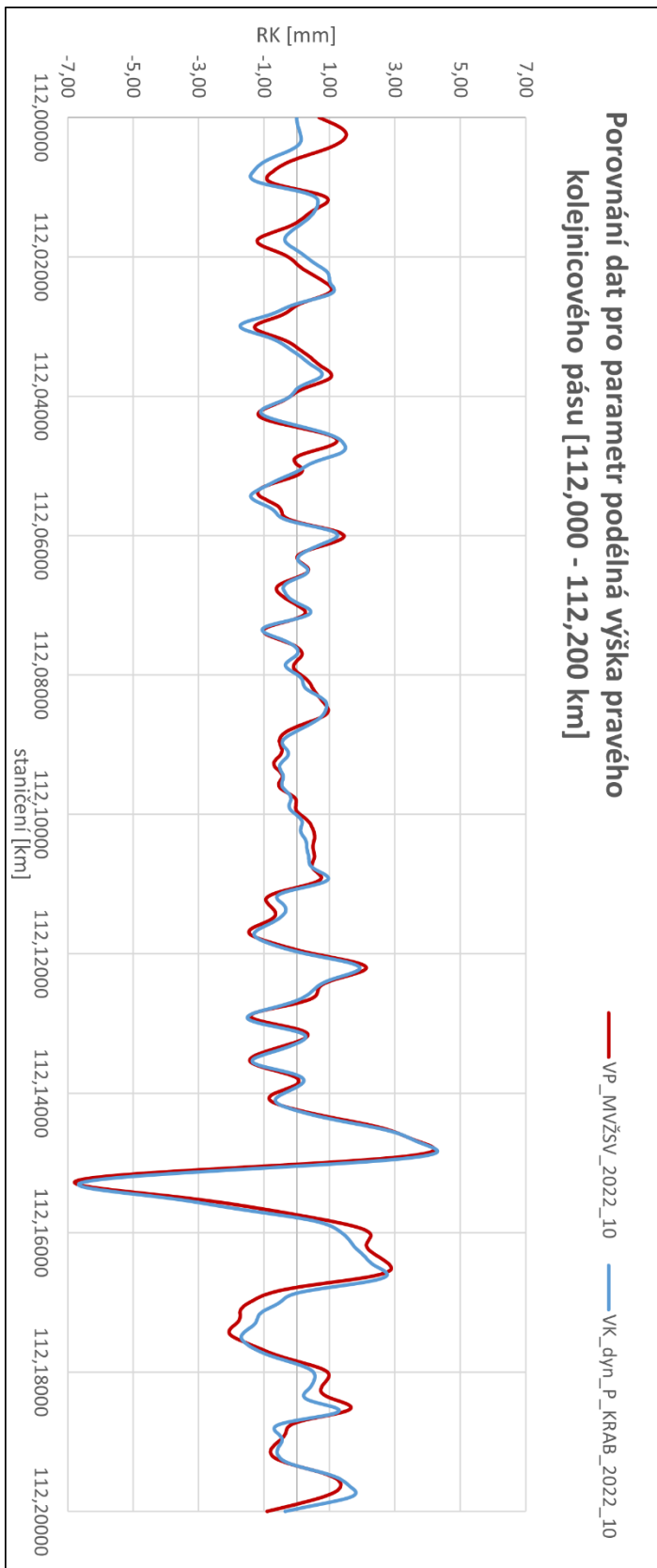
Porovnání dat pro parametr podélná výška levého kolejniového pásu [112,200 - 112,400 km]



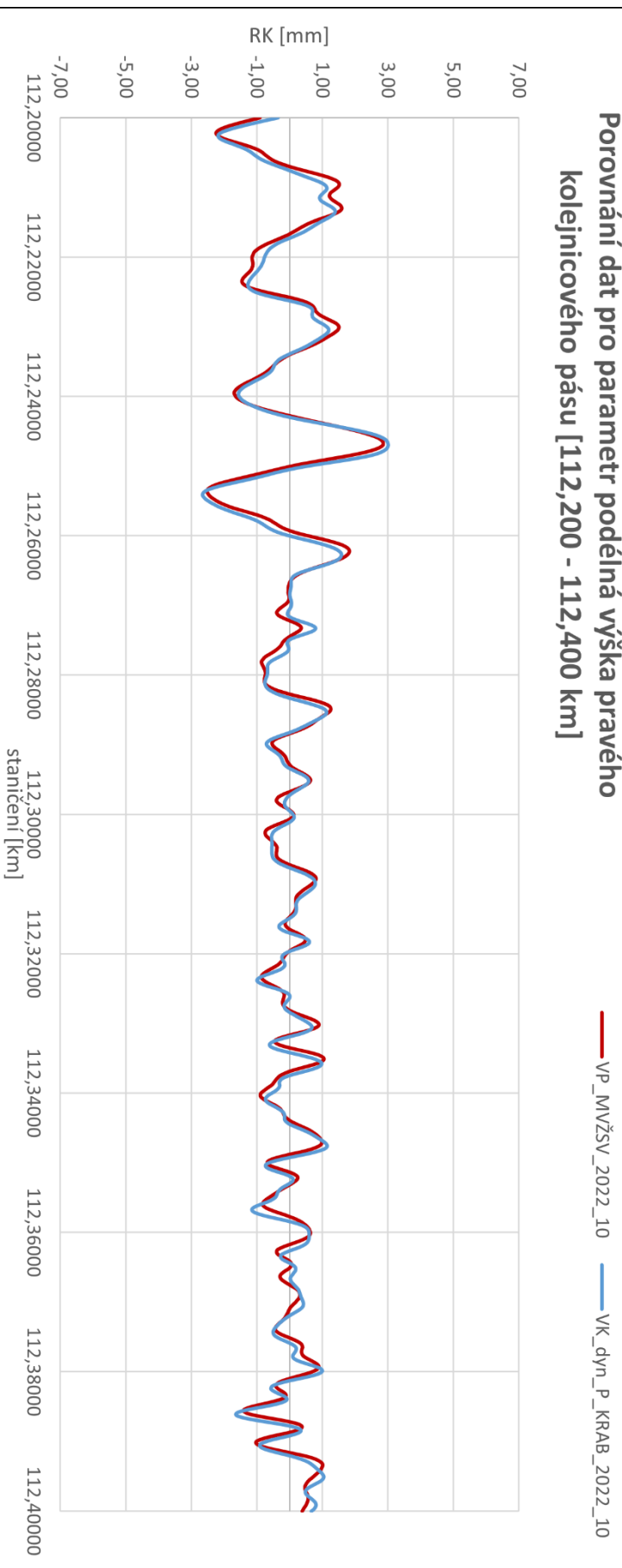
Porovnání dat pro parametr podélná výška levého kolejniového pásu [112,400 - 112,600 km]



PŘÍLOHA B.7: Porovnání dat pro parametr podélná výška pravého kolejnicového pásu



Porovnání dat pro parametr podélná výška pravého kolejnícového pásu [112,200 - 112,400 km]



Porovnání dat pro parametr podélná výška pravého kolejnícového pásu [112,400 - 112,600 km]

