

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2022

Daniel Joudal



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV ŽELEZNIČNÍCH KONSTRUKCÍ A STAVEB

INSTITUTE OF RAILWAY STRUCTURES AND CONSTRUCTIONS

HODNOCENÍ KVALITY GEOMETRIE KOLEJE

TRACK QUALITY EVALUATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Joudal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. OTTO PLÁŠEK, Ph.D.

BRNO 2022



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Daniel Joudal
Název	Hodnocení kvality geometrie koleje
Vedoucí práce	doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

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

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Vyhláška č. 177/1995 Sb. Stavební a technický řád drah, v platném znění.

ČSN 73 6360-2. Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha - Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba.

ČSN EN 13848-1. Železniční aplikace - Kolej - Kvalita geometrie koleje - Část 1: Popis geometrie koleje.

Předpis SŽDC S2/4. Předpis pro zajišťování diagnostiky železničního svršku měřicími prostředky s kontinuálním záznamem.

Offenbacher, Stefan & Neuhold, Johannes & Veit, Peter & Landgraf, Matthias. (2020).

Analyzing Major Track Quality Indices and Introducing a Universally Applicable TQI. Applied Sciences. 10. 8490. 10.3390/app10238490.

ZAPLATÍLEK, Karel a Bohuslav DOŇAR. MATLAB pro začátečníky. 2. vyd. Praha: BEN

- technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0175-6.

data z měření diagnostických prostředků (poskytne Správa železnic).

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Diagnostika železničního svršku, konkrétně měření geometrických parametrů koleje (GPK), je nedílnou součástí zajišťování provozuschopnosti železničních drah. Na síti Správy železnic je tato diagnostika centrálně zajišťována prostředky pro měření GPK. Vyhodnocení měřených dat probíhá na úrovni zajištění bezpečnosti a dodržení kvalitativních požadavků na konstrukci železničního svršku. K tomuto účelu jsou využity lokální závady a úseková hodnocení. V rámci zpracování bakalářské práce budou porovnány metody úsekového hodnocení využívané na síti Správy železnic s metodou navrženou Technickou univerzitou ve Štýrském Hradci. Porovnání bude provedeno na několika vybraných úsecích v rámci sítě Správy železnic.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

V této bakalářské práci se zabývám porovnáváním dvou metod pro hodnocení kvality geometrických parametrů koleje. Porovnávané metody jsou Celková známka kvality, která je v současné době používána na železničních tratích v České republice (CZK), a index vyvinutý ve Štýrském Hradci v roce 2020 (TUG_TQI). Data z měřících vozů poskytnutá Správou železnic jsem zpracoval pomocí programu Matlab. Hodnotil jsem úseky tří železničních tratí. Jedná se o tratě Malšice – Sudoměřice, Sklené – Křižanov a Velim – Kolín. Pro všechny hodnocené úseky jsem vytvořil grafy průběhů indexů kvality vypočítané oběma metodami a poté průběhy grafů porovnal.

KLÍČOVÁ SLOVA

geometrické parametry koleje, Celková známka kvality, Index univerzity ve Štýrském Hradci

ABSTRACT

This bachelor's thesis is focused on comparison of two track geometry parameters quality evaluation methods. The compared methods are CZK, track quality index currently used in the Czech Republic, and TUG, track quality index developed at the Graz technical university in 2020. Data from the measuring carriages provided by Správa železnic (the Czech Republic's infrastructure manager) were processed using the Matlab programme. There were three railway track section embraced in the thesis: Malšice – Sudoměřice, Sklené – Křižanov and Velim – Kolín. Track quality index graphs were made for all three railway stretches using both CZK and TUG methods, that were then compared.

KEYWORDS

Track geometry parameters

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Daniel Joudal *Hodnocení kvality geometrie koleje*. Brno, 2022. 43 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí práce doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Hodnocení kvality geometrie koleje* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22. 5. 2022

Daniel Joudal
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Hodnocení kvality geometrie koleje* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2022

Daniel Joudal
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Pavlu Kulichovi za vstřícný přístup a rychlé jednání kdykoliv bylo něco potřeba. Jeho rady a cenné zkušenosti mi pomohly dokončit tuto práci nejen v teoretické, ale i výpočetní části.

Děkuji také panu doc. Ing. Ottovi Pláškov, Ph.D. za umožnění zpracování tohoto tématu.

OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	SYSTÉM MĚŘENÍ GPK	2
2.1	NORMY A PŘEDPISY	2
2.2	GEOMETRICKÉ PARAMETRY KOLEJE	2
2.2.1	ROZDĚLENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE	2
2.2.2	ZÁVAZNÉ GEOMETRICKÉ PARAMETRY KOLEJE	3
2.2.3	DOPORUČENÉ GEOMETRICKÉ PARAMETRY KOLEJE	3
2.2.4	VLNOVÉ PÁSMO D1 A D2	4
2.2.5	RYCHLOSTNÍ PÁSMO.....	5
2.3	MĚŘÍCÍ PROSTŘEDKY GPK	5
2.3.1	ROZCHODKA	5
2.3.2	MĚŘÍCÍ VOZÍK KRAB.....	6
2.3.3	MALÁ MĚŘÍCÍ DREZÍNA – MMD.1 a MMD.2	7
2.3.4	MĚŘÍCÍ DREZÍNA – MD	9
2.3.5	MĚŘÍCÍ VŮZ PRO ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK – MVŽSv	11
2.3.6	MĚŘÍCÍ VŮZ PRO ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK – MVŽSv 2	14
2.3.7	MĚŘÍCÍ DREZÍNA EM100.....	15
3	HODNOCENÍ GPK.....	16
3.1	ÚSEKOVÉ HODNOCENÍ	16
3.2	LOKÁLNÍ ZÁVADY.....	16
4	POROVNÁVANÉ METODY HODNOCENÍ GPK.....	17
4.1	INDEX CELKOVÉ ZNÁMKY KVALITY CZK/ZP.....	17
4.2	INDEX KVALITY TRATI TUG-TQI.....	18
5	CÍL PRÁCE	21
6	PRÁCE S DATY.....	22
6.1	VÝPOČET INDEXU CZK	22
6.1.1	VÝBĚR 200 m ÚSEKU	22
6.1.2	VÝPOČET SMĚRODATNÉ ODCHYLKY.....	22
6.1.3	VÝPOČET ZNÁMEK KVALITY JEDNOTLIVÝCH PARAMETRŮ.....	23
6.1.4	VÝPOČET CELKOVÉ ZNÁMKY KVALITY	23
6.2	VÝPOČET INDEXU TUG_TQI.....	23
6.2.1	VÝBĚR 200 m ÚSEKU	23

6.2.2	ROZDĚLENÍ ROZCHODU NA Kladné a záporné odchylky	24
6.2.3	NORMALIZACE SIGNÁLŮ A SLOUČENÍ ROZCHODU	25
6.2.4	VÝPOČET DÉLKY „Li“	25
6.2.5	VÝPOČET INDEXŮ KVALITY TQI _i a TUG_TQI	26
7	VÝSLEDKY A HODNOCENÍ	27
7.1	TRAŤ SKLENÉ – KŘÍŽANOV	27
7.1.1	ROZCHOD KOLEJE	28
7.1.2	PŘEVÝŠENÍ KOLEJE.....	28
7.1.3	SMĚR KOLEJE	29
7.1.4	GRAF VÝŠKY KOLEJE.....	30
7.1.5	GRAF CZK a TUG_TQI.....	31
7.2	TRAŤ VELIM – KOLÍN	31
7.2.1	ROZCHOD KOLEJE	32
7.2.2	PŘEVÝŠENÍ KOLEJE.....	33
7.2.3	SMĚR KOLEJE	33
7.2.4	VÝŠKA KOLEJE	34
7.2.5	GRAF CZK A TUG_TQI	35
7.3	TRAŤ MALŠICE – SUDOMĚŘICE U BECHYNĚ.....	36
7.3.1	ROZCHOD KOLEJE	37
7.3.2	PŘEVÝŠENÍ KOLEJE.....	37
7.3.3	SMĚR KOLEJE	38
7.3.4	VÝŠKA KOLEJE	39
7.3.5	GRAF CZK a TUG_TQI.....	40
8	ZÁVĚR	41
	ZDROJE	42
	POUŽITÉ ZKRATKY	43

1 ÚVOD

Kvalita geometrie koleje je stěžejní pro pohodlný a bezpečný provoz na železničních tratích. Při provozu na železniční síti dochází ke změnám v geometrii koleje, a proto je velmi důležité sledovat jednotlivé geometrické parametry koleje a detekovat případné závady, které by mohly v krajním případě způsobit mimořádnou událost v podobě, například, vykolejení vozidla. Sledování stavu geometrických parametrů koleje je také velmi důležité pro plánování údržby železniční sítě. Správci sítě využívají tzv. úseková hodnocení (spolu s dalšími parametry tratí) pro rozdělování finančních prostředků. Pro účely úsekových hodnocení bylo v minulosti vytvořeno mnoho indexů, jejich cílem je popsat celkový stav železniční trati. Tyto indexy jsou mnohdy založeny na statistických hodnotách jednotlivých parametrů a mohou využívat i lokální závady.

Jedním takovým indexem kvality je i Celková známka kvality trati (CZK), která je v současné době používána na železničních sítích v České republice. Metoda výpočtu Celkové známky kvality je založena na výpočtu směrodatných odchylek, ze kterých se, při využití statistických koeficientů, dále počítají známky kvality jednotlivých geometrických parametrů a taky celková známka kvality.

V roce 2020 Technická univerzita ve Štýrském Hradci vyvinula nový index kvality trati TUG_TQI (Track quality index of Graz University of Technology). Index TUG_TQI používá odlišnou metodu výpočtu oproti Celkové známce kvality, například ve využití tzv. klouzavé metody, nebo počítání s tzv. délkou prostorové křivky. Porovnání indexu TUG_TQI a CZK na tratích ve správě Správy železnic je předmětem této bakalářské práce.

2 SYSTÉM MĚŘENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE

2.1 NORMY A PŘEDPISY

Podmínky pro stavbu, provozování a údržbu železničních, lanových, tramvajových a trolejbusových drah v České republice určuje zákon 266/1994 Sb. Zákon o drahách. Požadavky tohoto zákona uvádí Vyhláška č. 177/1995 Sb. Stavební a technický řád drah. Geometrické parametry koleje se měří v intervalech, které určuje právě výše zmíněná vyhláška. Pro traťové a hlavní staniční koleje:

- $V \leq 60$ km/h - 12 měsíců
- 60 km/h $< V \leq 120$ km/h - 6 měsíců
- $V > 120$ km/h - 4 měsíce

Podrobnosti upravuje předpis Správy železnic S2/3 - Organizace a provádění prohlídek a měření na dráze celostátní a drahách regionálních. Tento předpis ještě doplňuje předpis SŽ S2/4 – Předpis pro zajišťování diagnostiky železničního svršku měřicími prostředky s kontinuálním záznamem. V tomto předpise, jsou dále rozepsané postupy, jak hodnotit výsledky měření. Metodika hodnocení vychází z hodnocení lokálních závad a úsekového hodnocení. Měření GPK je také nutno provést pro zavedení nové či rekonstruované dráhy do provozu v rámci přejímky prací.

Pro hodnocení výsledků z měření GPK je zde ČSN 73 6360-2 – Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha. Konkrétně Část 2 – Stavba a přejímka, provoz a údržba, která stanovuje stavební, mezní a mezní provozní odchylky.

2.2 GEOMETRICKÉ PARAMETRY KOLEJE

2.2.1 ROZDĚLENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE

Geometrické parametry koleje se dělí do tří skupin:

- KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ KOLEJE
 - Rozchod koleje
 - Vzájemná výšková poloha kolejnicových pásů (převýšení, sklon vzestupnice, vzájemný sklon kolejnicových pásů – zborcení koleje)
 - Změna rozchodu
- GEOMETRICKÉ USPOŘÁDÁNÍ KOLEJE
 - Směr koleje
 - Podélná výška
 - Podélný sklon koleje
 - Veličiny přímo měřitelné geodetickými prostředky nebo měřicími prostředky s kontinuálním a pomocí ručního měření vzepětí

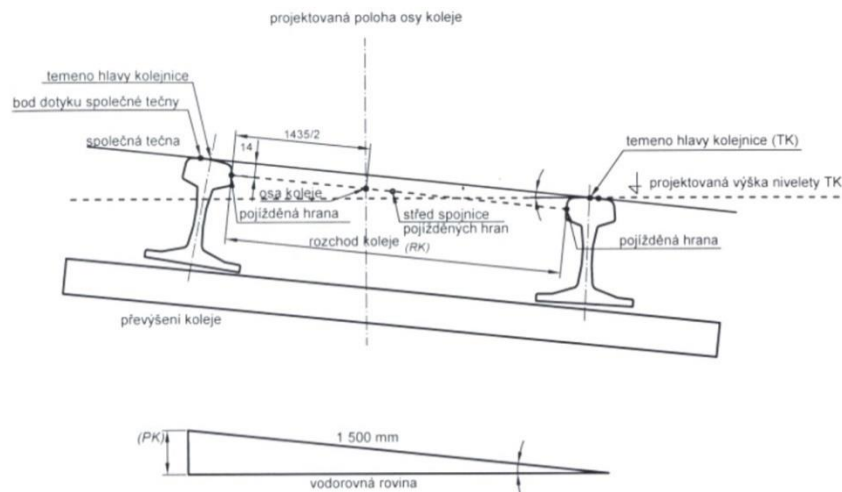
- **PROSTOROVÁ POLOHA KOLEJE**
 - Množina bodů osy koleje a niveleta temene kolejnicového pásu jednoznačně určených polohopisnými souřadnicemi a nadmořskou výškou
 - Měřeno geodetickými metodami

2.2.2 ZÁVAZNÉ GEOMETRICKÉ PARAMETRY KOLEJE

- **ROZCHOD KOLEJE (RK)** - Nejmenší vzdálenost mezi kolejnicemi ke spojnici temen kolejnicových pásů dotýkajícími se bočních pojížděných ploch do maximální hloubky až 14 mm od spojnice temen kolejnicových pásů.
- **PŘEVÝŠENÍ KOLEJE (PK)** - 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 1500 mm.
- **PODÉLNÁ VÝŠKA KOLEJE**
 - Pásmo D1 (VL, VP) - Bokorys průmětu temene kolejnicového pásu
 - Pásmo D2 (VK) - Bokorys průmětu středů spojníc temen hlav protilehlých kolejnicových pásů
- **SMĚR KOLEJE**
 - Pásmo D1 (SL, SP) - Púdorysný průmět pojížděné hrany kolejnicového pásu
 - Pásmo D2 (SK) - Púdorysný průmět středů příčných spojníc pojížděných hran protilehlých kolejnicových pásů
- **ZBORCENÍ KOLEJE (ZK)** – Změna převýšení koleje na zvolené měřické základně vyjádřená hodnotou mm/m
 - Báze 3 m pro přejímku prací
 - Báze 13 základů pro provoz

2.2.3 DOPORUČENÉ GEOMETRICKÉ PARAMETRY KOLEJE

- **KŘIVOST KOLEJE**
- **ODVOZENÉ PARAMETRY**
 - Nedostatek převýšení a rychlost jeho změny
- **MĚŘENÍ KOLEJNIC**
 - Opotřebení hlavy kolejnic, vlnkovitost
 - Příčný profil

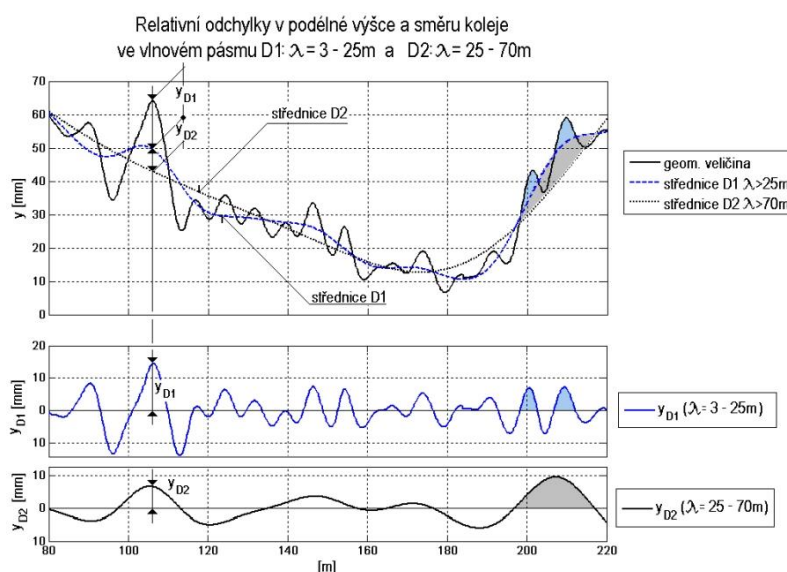


Obrázek 1: Grafické znázornění Geometrických parametrů koleje [7]

2.2.4 VLNOVÉ PÁSMO D1 A D2

Odchytky geometrických parametrů koleje jsou relativní, vztahované ke střednici měřené geometrické veličiny. Tato střednice je ve skutečné geometrii koleje myšlená jako průběh hodnot, které by vznikly filtrací geometrické veličiny měřené ve vlnovém pásmu $1 \leq \lambda < \infty$ m.

Vlnové pásmo D1 vytváří křivku, do které jsou započítány vlny $3 \leq \lambda < 25$ m. Ve vlnovém pásmu D2 jsou zase započítány do křivky vlny délky $25 \leq \lambda < 70$ m. Tyto křivky poté vytvářejí nulové čáry pro dynamické geometrické parametry, ke kterým jsou vztaheny veškeré odchylky a od kterých jsou hodnoceny lokální závady.



Obrázek 2: Grafické znázornění vlnového pásma D1 a D2 [7]

2.2.5 RYCHLOSTNÍ PÁSMA

Pro hodnocení geometrických parametrů koleje se tratě rozdělují do šesti rychlostních pásem:

- 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

Rychlostní pásmo je zásadní pro určení mezí lokálních závad a koeficientů úsekového hodnocení. Pro zařazení trati do příslušného rychlostního pásma je rozhodující projektovaná traťová rychlost skupiny vlaků využívající nejvyšší hodnotu rychlosti.

2.3 MĚŘÍCÍ PROSTŘEDKY GPK

Měřicí prostředky se rozdělují:

- Dle záznamu dat
 - Bodové
 - Kontinuální
- Dle působení na kolej
 - Měření pod zatížením
 - Měření bez zatížení

2.3.1 RUČNÍ ROZCHODKA



Obrázek 3: Foto Rozchodka. [15]

Rozchodka je zařízení využívané k bodovému měření bez zatížení. Většinou používaná pro hodnocení lokálních závad. Dle účelu měření může být

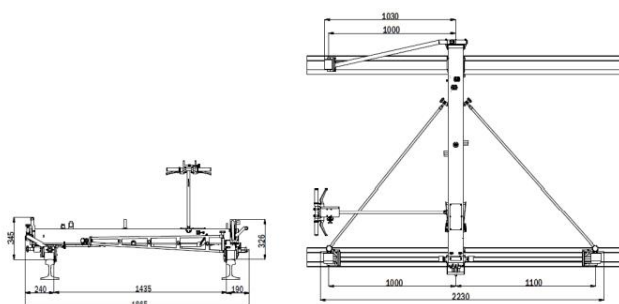
rozchodka doplněna o další zařízení (např. pravítko pro měření nástupní hrany). Rozchodkou můžeme měřit:

- Rozchod koleje
- Převýšení
- Další rozchodové parametry ve výhybkách
- Vzdálenosti nástupních hran

2.3.2 MĚŘÍCÍ VOZÍK KRAB



Obrázek 4: Foto Krab [14]



Obrázek 5: Schéma Krab [5]

Kontinuální měření a dopočítávání GPK bez zátěže do rychlosti 15 km/h. Výstupem jsou tištěné sestavy, lokální závady a úsekové hodnocení.

Princip snímání veličin je založen na mechanickém snímání pomocí kontaktních čidel. Systém snímání GPK je vytvořen kombinací těživového snímání asymetrickou tětivou pro jeden kolejnicový pás a inklinometru.

Před zahájením měření se MĚŘÍCÍ VOZÍK KRAB sestaví a usadí na temeno kolejnice. Poté uživatel aktivuje měřicí systémy a ovládá vozík pomocí mobilního zařízení. Měřicí vozík umožňuje měření následujících geometrických parametrů koleje.

- **ROZCHOD KOLEJE** – RK je snímán kontaktními čidly umístěnými na středových kolečkách měřícího vozíku. Rozchod je pak určen rozdílem hodnot z čidel.
- **SMĚR KOLEJE** – SK levého a pravého kolejnicového pásu je měřen kontaktem jednostranné asymetrické tětiny s kolejnicí. Druhý směr se dopočítává pomocí rozchodu koleje.
- **KŘIVOST KOLEJE** – KK je snímána pomocí kontaktních čidel tříbodového tětivového systému. Poloměr měřeného oblouku se dopočítá pomocí vztahu $R[m] = 10000[m.mm] / K[mm]$, kde K je pořadnice křivosti.

- **PŘEVÝŠENÍ KOLEJE – PK** je snímáno inklinometrem, který měří úhel náklonu měřicího podvozku. Výsledná hodnota převýšení je dále zpracována filtrací ve složku dynamického převýšení.
- **ZBORCENÍ KOLEJE – ZK** je počítaný parametr, který se počítá pro normou stanovené základny pomocí nefiltrovaného převýšení pro 13 základen délek 1,5 – 19,5m.
- **PODÉLNÁ VÝŠKA KOLEJE – VK** levého a pravého kolejnicového pásu je měřena těťivovým systémem asymetrické těťivy s kontaktními čidly.

Získání všech statických a dynamických veličin probíhá v reálném čase, přičemž všechny nutné operace se provádějí digitálně v počítači měřicího vozíku.

Určení polohy naměřených dat je řešeno zadáním počáteční geometrické polohy uživatelem a v následných kilometrických korekcích v průběhu měření.

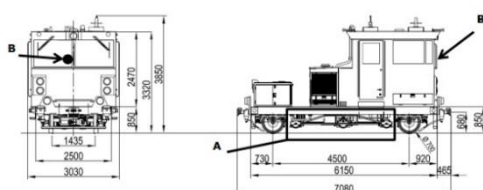
2.3.3 MALÁ MĚŘÍCÍ DREŽÍNA – MMD.1 a MMD.2



Obrázek 6: Foto MMD.1 [12]

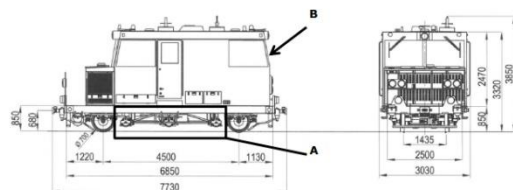


Obrázek 7: Foto MMD.2 [13]



-A měřicí podvozek pro měření parametrů GPK
-B kamery fotozáznamového zařízení

Obrázek 8: Schéma MMD.1 [5]



-A měřicí podvozek pro měření parametrů GPK
-B kamery fotozáznamového zařízení

Obrázek 9: Schéma MMD.2 [5]

Kontinuální měření pod zatížením. Drežína je vybavena kontaktním měřícím systémem pro měření GPK a foto-záznamovým zařízením. Používá se pro předjízdny koleje do rychlosti 50 km/h. Výhybky projíždí s omezením, nelze projíždět křižovatkové výhybky bez pohyblivých hrotů srdcovky v přímém

směru, nelze projíždět kolejnicové brzdy na spádovištích. Výstupem jsou klasické tištěné sestavy dle předpisu SŽ S2/4.

MMD používá pro měření GPK kontaktní TMS (Track Measurement systém), jehož základem je měřicí podvozek s elektronickými čidly a analogovo-digitální elektronikou. Měřicí podvozek je samonosná konstrukce, zvedaná čtyřmi pneumatickými válci pod rám vozidla.

Princip snímání veličin je založen na mechanickém snímání pomocí kontaktních čidel. Systém snímání GPK je tvořen kombinací těťivového snímání asymetrickou těťivou pro jeden kolejnicový pás a inerciální jednotky.

Pro zahájení měření je podvozek spuštěn na temeno kolejnice a čidla jsou vertikálně i horizontálně přitlačena k oběma kolejnicím. Kvůli vertikálnímu přitlaku musí vozidlo při projíždění výhybkou tento přitlak snížit. V těchto místech tak mohou vzniknout falešné závady rozchodu koleje a směru koleje.

- **ROZCHOD KOLEJE – RK** je snímán pomocí kontaktních čidel, které jsou umístěny na středových kolečkách měřicího podvozku. Rozchod je určen rozdílem údajů z čidel.
- **SMĚR KOLEJE – SK** levého a pravého kolejnicového pásu je měřen kontaktními čidly na jedné straně podvozku. Mechanická čidla tvoří jednostrannou asymetrickou měřicí těťivu. Druhý směr je dopočítán z rozchodu koleje.
- **KŘIVOST KOLEJE – KK** je snímána pomocí kontaktních čidel tříbodového těťivového systému a inerciální jednotkou. Poloměr měřeného oblouku se dopočítá pomocí vztahu $R [m] = 10000 [m.mm] / K [mm]$, kde K je pořadnice křivosti.
- **PŘEVÝŠENÍ KOLEJE – PK** je snímáno inerciálním systémem, který měří úhel náklonu měřicího podvozku. Výsledná hodnota celkového převýšení je dále zpracována filtrací ve složku dynamického převýšení.
- **ZBORCENÍ KOLEJE – ZK** je počítaný parametr, který se počítá pro normou stanovené základny pomocí nefiltrovaného převýšení pro 13 základen délek 1,5 – 19,5 m.
- **PODÉLNÁ VÝŠKA KOLEJE – VK** levého a pravého kolejnicového pásu je měřena těťivovým systémem asymetrické těťivy s kontaktními čidly. Výsledky měření jsou ve vztahu k rychlosti měření průběžně kompenzovány inerciálním systémem.

Získání všech statických i dynamických veličin probíhá v reálném čase, přičemž všechny nutné operace se signály jednotlivých snímačů se provádějí digitálně v počítači měřícího vozu.

Přesnost polohové identifikace závad GPK je dána jednak přesností snímání dráhy vozu a dále přesností určení polohy drezíny (cca 1 m na 1 km). Pro dosažení požadované přesnosti a reprodukovatelnosti při opakovaném měření jsou v části sítě osazeny magnetické značky, pro automatickou korekci dráhy během jízdy vozu.

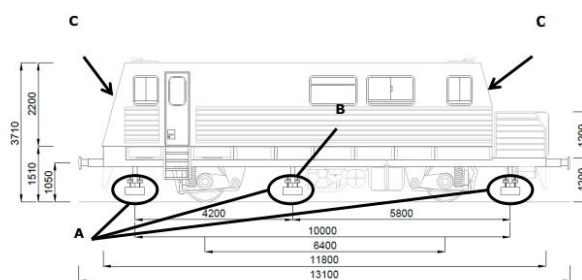
FOTOZÁZNAMOVÉ ZAŘÍZENÍ

Měřicí prostředky jsou vybaveny jednou kamerou umístěnou v přední části vozidla. Snímací krok je 20 m. Kamera je nastavena tak, aby snímala celé kolejové lože. MMD.1 a MMD.2 provádějí pouze čelní snímkování.

2.3.4 MĚŘÍCÍ DREZÍNA – MD



Obrázek 10: Foto MD [11]



- A snímací jednotky tětiového systému měřených parametrů GPK
- B snímací jednotka příčného profilu kolejnic
- C kamery fotozáznamového zařízení

Obrázek 11: Schéma MD [5]

Kontinuální měření pod zatížením. Vozidlo měří GPK, příčné profily kolejnic a je vybaveno fotozáznamovým zařízením. Používá se pro měření regionálních tratí a dokáže měřit v rychlosti 10–80 km/h. Výhybky projíždí bez omezení. Výstupem jsou klasické tištěné sestavy dle předpisu SŽ S2/4.

MMD využívá bezkontaktní TMS pro měření GPK a měřené parametry jsou prezentovány ve dvou vlnových pásmech D1 a D2.

Princip snímání veličin je založen na rozměrovém snímání světelné stopy laserového paprsku, které se snímá bezkontaktní optický systém kamer. Systém snímání GPK je tvořen kombinací tětiového snímání asymetrickou tětivou pro oba kolejnicové pásy a inerciální jednotky. Vzájemnou rychlostně závislou kombinací se dosáhne požadované přesnosti měření pro měřicí rychlosti až do 80 km/h.

Z naměřených hodnot počítá počítačový systém následující GPK:

- **ROZCHOD KOLEJE – RK** je snímán bezkontaktně pomocí kamer, které jsou umístěné ve střední jednotce těťivového systému. Kolejnice jsou osvětleny laserovým zdrojem světla. Rozchod je určen rozdílem hodnot snímačů kamer.
- **SMĚR KOLEJE – SK** levého a pravého kolejnicového pásu je měřen těťivovým systémem asymetrické těťivy optickými jednotkami. Výsledky měření jsou ve vztahu k rychlosti měření průběžně kompenzovány inerciálním systémem umístěným ve střední snímací jednotce. Směr koleje v ose parametru D2 je měřen inerciální jednotkou.
- **KŘIVOST KOLEJE – KK** je snímána pomocí optických jednotek tříbodového těťivového systému a inerciální jednotkou měřícího vozu. Výsledná hodnota je dána kombinací naměřených hodnot obou systémů, vážená v závislosti na rychlosti měření. Při nízkých rychlostech převažuje ve výsledku hodnoty křivosti měřená těťivou, při vyšších rychlostech měření inerciální jednotkou. Křivost se počítá ze vztahu: $R [m] = 10000 [m.mm] / K [mm]$, kde K je pořadnice křivosti.
- **PŘEVÝŠENÍ KOLEJE – PK** je snímáno inerciálním systémem, který měří úhel náklonu vozové skříně v místě středních optických jednotek. Výsledná hodnota celkového převýšení je dále zpracovaná filtrací ve složku dynamického převýšení.
- **ZBORCENÍ KOLEJE – ZK** je počítaný parametr, který se počítá pro normou stanovené základny z hodnoty nefiltrovaného převýšení pro 13 základen délek 1,5 až 19,5 m.
- **PODÉLNÁ VÝŠKA KOLEJE – VK** levého a pravého kolejnicového pásu je měřena těťivovým systémem asymetrické těťivy optickými jednotkami. Výsledky měření jsou ve vztahu k rychlosti průběžně kompenzovány inerciálním umístěním ve střední snímací jednotce. Podélná výška koleje v ose parametru D2 je měřena inerciální jednotkou.

Získání všech statických a dynamických veličin probíhá v reálném čase, přičemž všechny nutné operace se signály jednotlivých snímačů se provádějí digitálně v počítači měřícího vozu.

Přesnost polohové identifikace závad GPK je dána jednak přesností snímání dráhy vozu a dále přesností určení polohy drezíny (cca 1 m na 1 km). Pro dosažení požadované přesnosti a reprodukovatelnosti při opakovaném měření jsou v části sítě osazeny magnetické značky, pro automatickou korekci dráhy během jízdy vozu.

- MĚŘÍCÍ SYSTÉM PŘÍČNÉHO PROFILU KOLEJNIC

Měřicí systém umožňuje měření pojezděné části příčného profilu obou kolejnicových pásů. Pro tato měření jsou využity zadní snímací jednotky těťivového systému GPK. Kamery těchto jednotek snímají obraz příčného profilu vytvořený laserovým paprskem. Tento obraz je pak porovnán se vzorovým tvarem kolejnice, který je stojem automaticky detekován.

- PRINCIP MĚŘENÍ

Systém pro svoji činnost využívá vestavěného zdroje laserového světla, kterým je kolejnice osvětlena a pomocí digitální kamery je obraz snímán a zaznamenán. Následně je provedena analýza obrazu a vypočteny příslušné parametry koleje.

Použitím neviditelného infračerveného světla se dosahuje necitlivosti vůči rušivým vlivům okolního světla, a tím i velké spolehlivosti za nepříznivých povětrnostních podmínek měření.

- ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY

Snímání profilů je v minimálním kroku 1 m, s přesností 1 mm. Pro měření není nutné zadávat tvar kolejnice vyskytující se v měřeném úseku, počítač vyhodnotí tvar sám.

Systém neměří a nehodnotí kolej v místě přídržnic, přejezdů a všude v místech kde je stojna zastíněna překážkou v bezprostřední blízkosti (např. kolejnicové absorbéry).

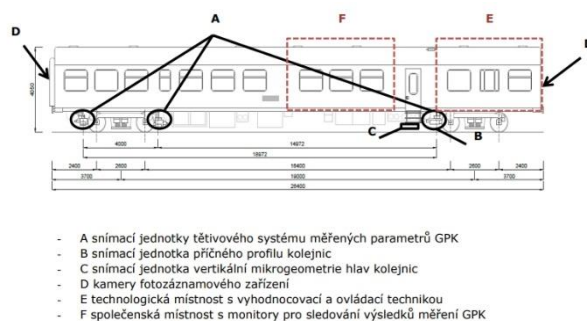
- FOTOZÁZNAMOVÉ ZAŘÍZENÍ

Měřicí prostředek je vybaven dvojicí kamer, které jsou umístěné v přední a zadní části vozidla. Snímací krok je 20 m. Kamery jsou nastaveny tak, aby snímala celé kolejové lože. MD provádí čelní snímání, v případech sunutí je prováděno zadní snímání.

2.3.5 MĚŘÍCÍ VŮZ PRO ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK – MVŽSv



Obrázek 12: Foto MVŽSv [10]



Obrázek 13: Schéma MVŽSv [5]

Kontinuální měření pod zatížením. MVŽSv měří GPK, příčné profily kolejnic, vertikální mikrogeometrii kolejnic a je vybaveno fotozáznamovým zařízením. Měřicí podvozek je nebrzděný a výhybky projíždí bez omezení. Používá se na měření celostátních a koridorových tratí a měří v rychlosti až 160 km/h. Výstupem jsou klasické tištěné sestavy dle předpisu SŽ S2/4.

Vozidlo využívá bezkontaktní TMS pro měření GPK. Měřené parametry jsou prezentovány ve dvou vlnových délkách D1 a D2.

Princip snímání geometrických parametrů koleje je založeno na rozměrovém snímání světelné stopy laserového paprsku, která se snímá bezkontaktním optickým systémem kamer. Použitý triangulační princip rozměrového měření umožňuje vyloučení dalších snímačů pro kompenzaci polohy snímacích jednotek. Systém snímání GPK je tvořen kombinací tětiového snímání asymetrickou tětivou pro oba kolejnicové pásy a inerciální jednotky. Vzájemnou rychlostně závislou kombinací se dosáhne požadované přesnosti měření pro měřící rychlosti až do 160 km/h.

Z naměřených hodnot počítá počítačový systém následující GPK:

- **ROZCHOD KOLEJE – RK** je snímán bezkontaktně pomocí kamer umístěných ve střední jednotce tětiového systému a laserovým zdrojem světla osvětlujícím kolejnici v příslušném bodě. Rozchod koleje je určen rozdílem údajů snímačů kamer.
- **SMĚR KOLEJE – SK** levého a pravého kolejnicového pásu je měřen tětiovým systémem asymetrické tětivy optickými jednotkami. Výsledky měření jsou ve vztahu k rychlosti měření průběžně kompenzovány inerciálním systémem umístěným ve střední snímací jednotce. Směr koleje v ose parametru D2 je měřen inerciální jednotkou.
- **KŘIVOST KOLEJE – KK** je snímána pomocí optických jednotek tříbodového tětiového systému a inerciální jednotkou měřícího vozu. Výsledná hodnota je dána kombinací naměřených hodnot obou systémů, vážená v závislosti na rychlosti měření. Při nízkých rychlostech převažuje ve výsledku hodnoty křivosti měřená tětivou, při vyšších rychlostech měření inerciální jednotkou. Křivost se počítá ze vztahu: $R [m] = 10000 [m.mm] / K [mm]$, kde K je pořadnice křivosti.
- **PŘEVÝŠENÍ KOLEJE – PK** je snímáno inerciálním systémem, který měří úhel náklonu vozové skříně v místě středních optických jednotek. Výsledná hodnota celkového převýšení je dále zpracovaná filtrací ve složku dynamického převýšení.

- **ZBORCENÍ KOLEJE – ZK** je počítaný parametr, který se počítá pro normou stanovené základny z hodnoty nefiltrovaného převýšení pro 13 základen délek 1,5 až 19,5 m.
- **PODÉLNÁ VÝŠKA KOLEJE – VK** levého a pravého kolejnicového pásu je měřena těťivovým systémem asymetrické těťivy optickými jednotkami. Výsledky měření jsou ve vztahu k rychlosti průběžně kompenzovány inerciálním umístěním ve střední snímací jednotce. Podélná výška koleje v ose parametru D2 je měřena inerciální jednotkou.

Získání všech statických a dynamických veličin probíhá v reálném čase, přičemž všechny nutné operace se signály jednotlivých snímačů se provádějí digitálně v počítači měřícího vozu.

Přesnost polohové identifikace závad GPK je dána jednak přesností snímání dráhy vozu a dále přesností určení polohy drezíny (cca 1 m na 1 km). Pro dosažení požadované přesnosti a reprodukovatelnosti při opakovaném měření jsou v části sítě osazeny magnetické značky, pro automatickou korekci dráhy během jízdy vozu.

- **MĚŘÍCÍ SYSTÉM PŘÍČNÉHO PROFILU KOLEJNIC**

Měřicí systém umožňuje měření pojížděné části příčného profilu obou kolejnicových pásů. Pro tato měření jsou využity zadní snímací jednotky těťivového systému GPK. Kamery těchto jednotek snímají obraz příčného profilu vytvořený laserovým paprskem. Tento obraz je pak porovnán se vzorovým tvarem kolejnice, který je stojem automaticky detekován.

- **PRINCIP MĚŘENÍ**

Systém pro svoji činnost využívá vestavěného zdroje laserového světla, kterým je kolejnice osvětlena a pomocí digitální kamery je obraz snímán a zaznamenán. Následně je provedena analýza obrazu a vypočteny příslušné parametry koleje.

Použitím neviditelného infračerveného světla se dosahuje necitlivosti vůči rušivým vlivům okolního světla, a tím i velké spolehlivosti za nepříznivých povětrnostních podmínek měření.

- **ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ PARAMETRY**

Snímání profilů je v minimálním kroku 1 m, s přesností 1 mm. Pro měření není nutné zadávat tvar kolejnice vyskytující se v měřeném úseku, počítač vyhodnotí tvar sám.

Systém neměří a nehodnotí kolej v místě přídržnic, přejezdů a všude v místech kde je stojna zastíněna překážkou v bezprostřední blízkosti.

- **MĚŘÍCÍ SYSTÉM VERTIKÁLNÍ MIKROGEOMETRIE KOLEJNIC**

Měřicí systém je vybaven 2 měřicími jednotkami které jsou umístěny v blízkosti temene kolejnice na pravé a levé straně. Systém je bezkontaktní využívající optické zařízení. Zdrojem světla je laser. Vyhodnocovací systém zpracovává data ve 4 vlnových pásmech.

- **PRINCIP MĚŘENÍ**

Měřicí systém využívá 4 laserové zdroje světla, které svítí na hlavu kolejnice a vytváří světelnou úsečku kolmou na podélnou osu kolejnice. Kamery tuto osu snímají a předávají ji do vyhodnocovacího systému.

- **FOTOZÁZNAMOVÉ ZAŘÍZENÍ**

Měřicí prostředek je vybaven dvojicí kamer, které jsou umístěné v přední a zadní části vozidla. Snímací krok je 20 m. Kamery jsou nastaveny tak, aby snímala celé kolejové lože. MVŽSv provádí zadní snímkování, protože vpředu je umístěné externí hnací vozidlo. V případech sunutí je prováděno čelní snímkování.

2.3.6 MĚŘÍCÍ VŮZ PRO ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK – MVŽSv 2



Obrázek 14: Foto MVŽSv 2 [9]

Bezkontaktní měřicí systém GPK, je založen na inerciální měřicí jednotce obsahující 3 snímače úhlové rychlosti a 3 akcelerometry. Z naměřených úhlových rychlostí a akcelerací se vyhodnocují tzv. prostorové křivky pohybu vozu. Měření rozchodu koleje a snímání příčného profilu kolejnic je zajištěno pomocí 4 optických jednotek s lasery. Hodnotící krok je 0,25 m a vozidlo může měřit až do rychlosti 200 km/h. Naměřené signály jsou vyhodnocovány ve 3 standardních vlnových pásmech (D0, D1 a D2). Vůz je vybaven snímači čipů RFID, které budou do budoucna instalovány v koleji a dále tak zpřesní lokalizaci měření. Měřicí systémy MVŽSv 2 jsou velmi podobné jako na MVŽSv. Předpokládané uvedení měřicího vozu MVŽSv2 do provozu je v průběhu roku 2022.

2.3.7 MĚŘÍCÍ DREZÍNA EM100



Obrázek 15: Foto EM100 [8]

Měřicí drezína EM100 je vybavena stejnými měřicími systémy jako MVŽSv 2. S tím rozdílem, že měřicí drezína má zajištěný vlastní pohon. A může měřit do rychlosti 100 km/h. Předpokládané uvedení měřicí drezíny EM100 do provozu je v průběhu roku 2022.

3 HODNOCENÍ GPK

Hodnocení GPK vychází z úsekového hodnocení a hodnocení lokálních závad. Všechny měřicí prostředky s kontinuálním záznamem musí umožňovat obojí způsob hodnocení. Výstupy všech těchto měřících prostředků musí být převoditelné do IS PSST (informační systém provozního stavu sítě tratí). Hodnocení je vždy vztaženo k danému rychlostnímu pásmu.

3.1 ÚSEKOVÉ HODNOCENÍ

Úsekové hodnocení je založeno na výpočtu indexu kvality pro úseky dané délky. Pro tyto úseky jsou pak počítány indexy kvality pro jednotlivé GPK, pomocí různých metod výpočtů. Jednotlivé známky kvality GPK jsou pak zkombinovány do celkové známky kvality úseku a známky podbití. Pro výpočet jednotlivých známek kvality je využito koeficientů závislých na daném parametru a rychlostním pásmu.

3.2 LOKÁLNÍ ZÁVADY

Hodnocení lokálních závad vychází z faktu, že GPK jsou měřeny jako skutečná geometrie koleje, anebo jsou na skutečnou geometrii přepočteny, což je dáno matematickým modelem, který zabezpečuje jednotkovou přenosovou funkci. Norma ČSN 73 6360–2 rozlišuje odchylky dle toho, zda se jedná o přejímku nové trati tzv. stavební odchylky, anebo jde o provoz trati tzv. provozní odchylky. Pro všechna rychlostní pásma je stanoveno hodnocení provozních odchylek GPK (AL, IL) a hodnocení mezních provozních odchylek (IAL).

- MEZ SLEDOVÁNÍ AL (ALERT LIMIT) – pokud je stanovená hodnota překročena, je třeba stav GPK posoudit a vzít v úvahu při plánování udržovacích prací.
- MEZ ZÁSAHU IL (INTERVENTION LIMIT) – pokud je stanovená hodnota překročena, je třeba provést udržovací práce tak, aby před příští kontrolou nedošlo k překročení mezní provozní odchylky.
- MEZ BEZODKLADNÉHO ZÁSAHU IAL (IMMEDIATE ACTION LIMIT) – pokud je stanovená hodnota překročena, je nutné provést bezodkladně opatření k zajištění bezpečnosti provozu.

4 POROVNÁVANÉ METODY HODNOCENÍ GPK

4.1 INDEX CELKOVÉ ZNÁMKY KVALITY CZK/ZP

Výpočet CZK/ZP je založen na výpočtu směrodatných odchylek (SDO) pro úseky dlouhé 200 m. Tyto směrodatné odchylky jsou poté přepočítány na známky kvality. Zámky kvality jsou bezrozměrné parametry úsekového hodnocení, rozdělené do tří skupin:

- ZNÁMKA KVALITY JEDNOTLIVÝCH PARAMETRŮ (ZKV)
- CELKOVÁ ZNÁMKA KVALITY (CZK)
- ZNÁMKA PODBÍJENÍ (ZP)

Zámky kvality jsou navrženy tak, aby pro dané rychlostní pásmo měly statistické rozdělení pravděpodobností s průměrem 3 a stanovený podíl všech hodnot kterékoliv ze známek byl menší nebo roven 4. Mezní hladinou pro hodnocení vyhovujících tratí za provozu pro jednotlivé známky je hodnota 4. Tato hodnota není sama o sobě bezpečnostním kritériem, ale vyjadřuje žádoucí standard údržby.

Směrodatnou odchylku vypočítáme podle vztahu:

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

n ... počet vzorků měření

x_i ... odchylka od střednice hodnocené geometrické veličiny

Zámka kvality jednotlivých GPK je dána vztahem:

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

SDO ... směrodatná odchylka příslušné veličiny

b, m ... číselné konstanty stanovené na základě statistik SDO

Celková známka kvality a Znamka podbíjení se poté vypočte kombinací jednotlivých ZKV pomocí vztahu:

$$CZK = [k * \max \{ (w_{SK} * ZKV_{SK} + w_{RK} * ZKV_{RK}); (w_{PK} * ZPK_{PK} + w_{VK} * ZPK_{VK}) \}]^q$$

$$ZP = [k * \max \{ (w_{SK} * ZKV_{SK}); (w_{PK} * ZPK_{PK} + w_{VK} * ZPK_{VK}) \}]^q$$

w ... váhové koeficienty jednotlivých veličin
k, q ... koeficienty respektující jednotlivá RP

4.2 INDEX KVALITY TRATI TUG-TQI

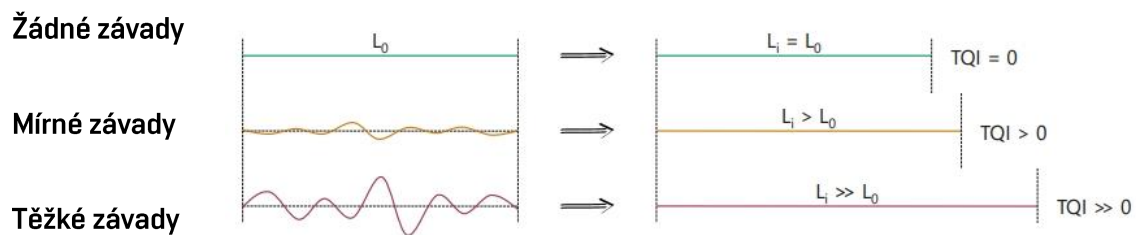
Hlavním cílem Indexu trati Technické univerzity v Grazu (TUG_TQI) bylo vytvořit univerzální systém pro hodnocení GPK, který by se dal využít na všech tratích. Index má eliminovat všechny nevýhody dosud používaných metod např. počítání vad GPK bez závažnosti, používání subjektivních váhových faktorů atd.

Index byl navržen tak aby splňoval tyto podmínky:

- Index popisuje celkovou kvalitu geometrie koleje, která zahrnuje jak lokální závady, tak rozptyl jednotlivých signálů
- Index se opírá o fyzikální principy a vyhýbá se subjektivním váhovým faktorům
- Umožňuje kombinaci všech GPK, pro které jsou definované meze
- Použitelnost pro různé konstrukce koleje (rozchod, rychlost atd.)
- Index není ovlivněn rozšířením rozchodu či sklonem na vzesupnicích

Délka prostorové křivky:

Indexy kvality pro jednotlivé parametry využívají pro svůj výpočet tzv. délku prostorové křivky. Jedná se v zásadě o délku křivky vytvořenou naměřenými odchylkami. Čím je tato křivka delší tím je index kvality horší.

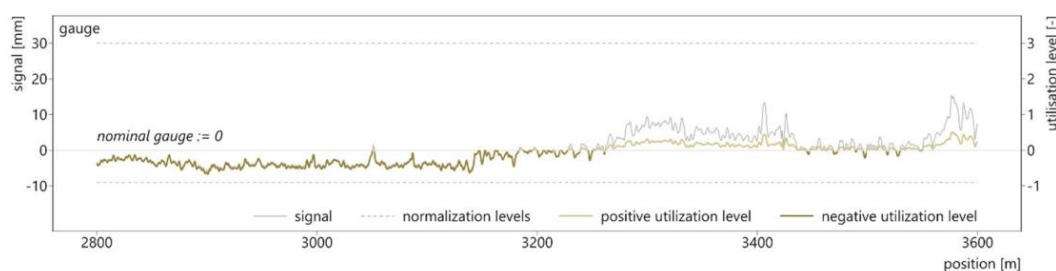


Obrázek 16: Délka prostorové křivky

Normalizace naměřených signálů:

Normalizace signálů se dělá z důvodu zanesení váhy měřeného parametru do celkového hodnocení trati. Normalizace spočívá ve vydělení signálu předem definovanou hodnotou. Lze využít například hodnotu meze zásahu (IL). V této práci bude využito meze „IL“ dle ČSN 73 6360-02.

Zajímavá je normalizace signálů, které mají rozdílnou mez zásahu pro kladné a záporné hodnoty. Například rozchod koleje.



Obrázek 17: Příklad normalizace rozchodu

Na obrázku je vidět, že záporné hodnoty rozchodu koleje mají po normalizaci mnohem vyšší vliv délku prostorové křivky než kladné hodnoty, a tudíž i větší vliv na index rozchodu trati.

Princip výpočtu TUG. TQI je popsán v šesti krocích:

- Prvním krokem je rozdělení GPK na kladné a záporné hodnoty, pokud je to zapotřebí. Rozdělují se pouze hodnoty, které mají jinou mezní hodnotu pro kladné a záporné hodnoty.
- V druhém kroku se znormalizují všechny signály.
- Třetí krok je sloučení všech rozdělených signálů.

- Ve čtvrtém kroku se vypočítají délky čar signálů (L_i) dle vztahu:

$$L_i = \sum_{j=1}^{m-1} \sqrt{(x_{j+1} - x_j)^2 + (y_{i(j+1)} - y_{ij})^2}$$

x_j, y_j ... hodnoty na souřadnicích

- V pátém kroku se počítají indexy kvality (TQI_i) pro jednotlivé parametry dle vztahu:

$$TQI_i = \left(\frac{L_i}{L_0} - 1 \right) * 10^x$$

L_i ... délka signálu

L_0 ... délka měřeného úseku

10^x ... (TQI_i vychází ve velmi malých řádech) zvětšení řádu pro přehlednost

- Šestý krok je zprůměrování hodnot TQI_i pro levou a pravou kolejnici.
- V posledním sedmém kroku se vypočte celková index (TUG_TQI) pomocí jednotlivých indexů TQI_i dle vztahu:

$$TUG_TQI = \frac{\sum_{i=1}^n TQI_i}{n}$$

TQI_i ... jednotlivé indexy

n ... počet započítaných indexů

Velkým rozdílem ve výpočtu TUG_TQI oproti CZK je, že index TUG_TQI využívá tzv. klouzavou metodu při výběru zkoumaného úseku, zatímco CZK využívá statickou metodu. Statická metoda spočívá ve výpočtu jednoho indexu kvality pro 200metrový úsek a poté se přesune na další úsek např. výběr úseku km 0,2 – 0,4 ze kterého se vypočte požadovaný index a poté se pokračuje na úsek km 0,4 – 0,6 a tak dále. Pohyblivá metoda vypočítá hodnotu kvality ve středu hodnoceného úseku, a poté se přesune pouze o délku měřičského kroku, kde výpočet provede znovu. Měřené úseky se tak překrývají.

5 CÍL PRÁCE

Cílem práce je porovnat v současnosti v České republice používanou metodu Celkové známky kvality s nově vytvořenou metodou Indexu kvality trati z Grazu a zjistit vzájemné výhody a nevýhody obou porovnávaných metod. Dále si práce klade za cíl zjistit výhody a nevýhody jednotlivých metod.

Pro tento účel bylo vybráno několik úseků trati, které se vyhodnotí pomocí obou metod a posléze se porovnají výsledky. Zvolené úseky se vybírali tak, aby ve výsledcích lépe vynikli předpokládané výhody a nevýhody obou metod. Vybrána byla například trať s vysokým počtem lokálních závad, anebo trať, kde jsou použity pražce s návrhovou hodnotou rozchodu 1437 mm atd.

6 PRÁCE S DATY

Tato část bakalářské práce se věnuje objasnění algoritmů CZK a TUG_TQI. Pro zpracování dat jsem vybral program Matlab.

6.1 VÝPOČET INDEXU CZK

6.1.1 VÝBĚR 200 m ÚSEKU

Prvním krokem v algoritmu je výběr 200 m úseku z měřené trati. Pro tento úsek se budou následně počítat SDO, ZKV a CZK pro každý z vybraných geometrických parametrů koleje. Po výpočtu indexů se začátek úseku přesune na konec předešlého, tento postup se opakuje, dokud se nedojde na konečný úsek zkoumané trati.

% VÝBĚR ÚSEKU

start = X;

konec = Y;

while true

ST = DATA.KM_EXT(DATA.KM_EXT >= start & DATA.KM_EXT <= (start + 0.2));

RK = DATA.RK(DATA.KM_EXT >= start & DATA.KM_EXT <= (start + 0.2));

SL = DATA.SL(DATA.KM_EXT >= start & DATA.KM_EXT <= (start + 0.2));

SP = DATA.SP(DATA.KM_EXT >= start & DATA.KM_EXT <= (start + 0.2));

VL = DATA.VL(DATA.KM_EXT >= start & DATA.KM_EXT <= (start + 0.2));

VP = DATA.VP(DATA.KM_EXT >= start & DATA.KM_EXT <= (start + 0.2));

SK = (SL + SP)/2;

VK = (VL + VP)/2;

PK = VL - VP;

if start >= konec

break;

end

6.1.2 VÝPOČET SMĚRODATNÉ ODCHYLKY

Následuje výpočet směrodatné odchylky dle předpisu SŽ S2/4. Pro každý měřený parametr.

% VÝPOČET SMĚRODATNÝCH ODCHYLEK

SDO_RK = sqrt((sum(RK.^2))/(N_RK-1));

SDO_SK = sqrt((sum(SK.^2))/(N_SK-1));

SDO_VK = sqrt((sum(VK.^2))/(N_VK-1));

SDO_PK = sqrt((sum(PK.^2))/(N_PK-1));

6.1.3 VÝPOČET ZNÁMEK KVALITY JEDNOTLIVÝCH PARAMETRŮ

Ze směrodatných odchylek se za pomoci koeficientů „m“ a „b“, vypočítají známky kvality jednotlivých parametrů. Parametry „m“ a „b“, poskytla Správa železnic a jsou pro každý parametr a rychlostní pásma odlišné.

% VÝPOČET JEDNOTLIVÝCH ZNÁMEK KVALITY

```
ZKV_RK = 6*(1-(exp((( -SDO_RK^m_RK)/b_RK))));  
ZKV_SK = 6*(1-(exp((( -SDO_SK^m_SK)/b_SK))));  
ZKV_VK = 6*(1-(exp((( -SDO_VK^m_VK)/b_VK))));  
ZKV_PK = 6*(1-(exp((( -SDO_PK^m_PK)/b_PK))));
```

6.1.4 VÝPOČET CELKOVÉ ZNÁMKY KVALITY

Posledním krokem je výpočet celkové známky kvality. Po tomto kroku se celý proces zopakuje, jak už bylo řečeno výše. Váhové koeficienty „w“ a koeficienty „k“ a „q“ opět poskytla Správa železnic.

% CELKOVÁ ZNÁMKA KVALITY / ZNÁMKA PODBÍJENÍ

```
CZK = (k*(max((w_SK*ZKV_SK + w_RK*ZKV_RK), (w_PK*ZKV_PK +  
w_VK*ZKV_VK))))^q;  
  
ZP = (k*(max((w_SK_ZP*ZKV_SK), (w_PK_ZP*ZKV_PK + w_VK_ZP*ZKV_VK))))^q;
```

6.2 VÝPOČET INDEXU TUG_TQI

6.2.1 VÝBĚR 200 m ÚSEKU

Princip výběru úseku je velmi podobný jako u CZK. Rozdíl je v tom, že zde se hodnotí každý jednotlivý krok, a ne celý úsek. Zájmový bod se nachází uprostřed vybraného úseku a posouvá se po měřičském kroku 0,25 m. Z dat z vybraného úseku se poté pro určený bod počítají jednotlivé indexy TUG_TQI. Celý proces se opakuje, dokud se nedojde na konec měřeného úseku trati.

% VÝBĚR ÚSEKU

```
zacatek = X;  
konc1 = Y;  
Lo = 0.2; % DÉLKA ÚSEKU  
L = 0.1; % PŘEKRYV  
Li = 0.00025; %MĚŘÍČÍ KROK
```

```
while true
```

```
ST_TUG = TRATSKLENEKRIZANOV.KM_EXT(TRATSKLENEKRIZANOV.KM_EXT >= (zacatek - L)  
& TRATSKLENEKRIZANOV.KM_EXT <= (zacatek + L));
```

```

RK_TUG = TRATSKLENEKRIZANOV.RK(TRATSKLENEKRIZANOV.KM_EXT >= (zacatek - L) &
TRATSKLENEKRIZANOV.KM_EXT <= (zacatek + L));
SL_TUG = TRATSKLENEKRIZANOV.SL(TRATSKLENEKRIZANOV.KM_EXT >= (zacatek - L) &
TRATSKLENEKRIZANOV.KM_EXT <= (zacatek + L));
SP_TUG = TRATSKLENEKRIZANOV.SP(TRATSKLENEKRIZANOV.KM_EXT >= (zacatek - L) &
TRATSKLENEKRIZANOV.KM_EXT <= (zacatek + L));
VL_TUG = TRATSKLENEKRIZANOV.VL(TRATSKLENEKRIZANOV.KM_EXT >= (zacatek - L) &
TRATSKLENEKRIZANOV.KM_EXT <= (zacatek + L));
VP_TUG = TRATSKLENEKRIZANOV.VP(TRATSKLENEKRIZANOV.KM_EXT >= (zacatek - L) &
TRATSKLENEKRIZANOV.KM_EXT <= (zacatek + L));
PK_TUG = VL_TUG - VP_TUG;

```

```

if zacatek > konec1
    break;
end

```

6.2.2 ROZDĚLENÍ ROZCHODU NA Kladné a záporné odchylky

Kvůli rozdílným mezním hodnotám je zapotřebí rozdělit signál rozchodu pro 200 m úsek rozdělit na kladné a záporné hodnoty. Rozdělené signály zůstanou stejné délky a místo nežádoucích hodnot se dosadí 0, aby mohli být znormalizované signály zase snadno sloučeny.

```

% ROZDĚLENÍ ROZCHODU KOLEJE +,-

c = 1;

while true

    if c > length(RK_TUG)
        break;
    end

    if RK_TUG(c,1) > 0
        RK_TUG_kl(c,1) = RK_TUG(c,1);
    elseif RK_TUG(c,1) <= 0
        RK_TUG_kl(c,1) = 0;
    end

    if RK_TUG(c,1) < 0
        RK_TUG_zp(c,1) = RK_TUG(c,1);
    elseif RK_TUG(c,1) >= 0
        RK_TUG_zp(c,1) = 0;
    end

    c = c+1;
end

```

6.2.3 NORMALIZACE SIGNÁLŮ A SLOUČENÍ ROZCHODU

V tomto kroku se znormalizují jednotlivé signály. Pro normalizaci jsou použity hodnoty meze zásahu „IL“ dle ČSN 73 6360-02. Dále se sloučí znormalizované kladné a záporné hodnoty signálu.

% SEČTENÍ ROZCHODU + NORMALIZACE

```
RK_TUG_kl_N = RK_TUG_kl / IL_RK_kl;  
RK_TUG_zp_N = RK_TUG_zp / IL_RK_zp;  
  
RK_TUG_N = RK_TUG_kl_N + RK_TUG_zp_N;  
SP_TUG_N = SP_TUG / IL_SK;  
SL_TUG_N = SL_TUG / IL_SK;  
VP_TUG_N = VP_TUG / IL_VK;  
VL_TUG_N = VL_TUG / IL_VK;  
PK_TUG_N = PK_TUG / IL_PK;
```

6.2.4 VÝPOČET DÉLKY „Li“

Pokračuje se výpočtem délky prostorové křivky dle předepsaného vzorce. Délky jsou počítané jako rozdíly délek mezi jednotlivými body „x“ a „y“.

% VÝPOČET DÉLEK Li

```
d = 1;  
  
while true  
    if d == length(RK_TUG)  
        break;  
    end  
  
    xi_ST = ST_TUG(d,1)*10^3;  
    xi_1_ST = ST_TUG(d+1,1)*10^3;  
  
    yi_RK = RK_TUG_N(d,1);  
    yi_1_RK = RK_TUG_N(d+1,1);  
  
    yi_SL = SL_TUG_N(d,1);  
    yi_1_SL = SL_TUG_N(d+1,1);  
  
    yi_SP = SP_TUG_N(d,1);  
    yi_1_SP = SP_TUG_N(d+1,1);  
  
    yi_VL = VL_TUG_N(d,1);  
    yi_1_VL = VL_TUG_N(d+1,1);  
  
    yi_VP = VP_TUG_N(d,1);  
    yi_1_VP = VP_TUG_N(d+1,1);  
  
    yi_PK = PK_TUG_N(d,1);  
    yi_1_PK = PK_TUG_N(d+1,1);
```

Tyto dílčí vzdálenosti se ukládají do matic. Δx je pro nás vzdálenost měřicího kroku takže se může nahradit konstantou 0,25 m.

```
m_Li_RK(d,1) = (sqrt(((0.25)^2 + (yi_1_RK - yi_RK)^2)));
m_Li_SL(d,1) = (sqrt(((0.25)^2 + (yi_1_SL - yi_SL)^2)));
m_Li_SP(d,1) = (sqrt(((0.25)^2 + (yi_1_SP - yi_SP)^2)));
m_Li_VL(d,1) = (sqrt(((0.25)^2 + (yi_1_VL - yi_VL)^2)));
m_Li_VP(d,1) = (sqrt(((0.25)^2 + (yi_1_VP - yi_VP)^2)));
m_Li_PK(d,1) = (sqrt(((0.25)^2 + (yi_1_PK - yi_PK)^2)));
```

A celková délka prostorové křivky se spočítá jako součet dílčích vzdáleností.

```
Li_RK = sum(m_Li_RK);
Li_SL = sum(m_Li_SL);
Li_SP = sum(m_Li_SP);
Li_VL = sum(m_Li_VL);
Li_VP = sum(m_Li_VP);
Li_PK = sum(m_Li_PK);
```

6.2.5 VÝPOČET INDEXŮ KVALITY TQI_i a TUG_TQI

V tomto kroku se počítají indexy kvality pro vybrané geometrické parametry koleje, pomocí délky prostorové křivky a délky řešeného úseku. Celkový index kvality trati se poté vypočítá jako aritmetický průměr jednotlivých indexů TQI_i.

% VÝPOČET TUG_TQI

```
TQI_i_RK = ((Li_RK/(Lo*10^3))-1)*10^2;
TQI_i_SL = ((Li_SL/(Lo*10^3))-1)*10^2;
TQI_i_SP = ((Li_SP/(Lo*10^3))-1)*10^2;
TQI_i_VL = ((Li_VL/(Lo*10^3))-1)*10^2;
TQI_i_VP = ((Li_VP/(Lo*10^3))-1)*10^2;
TQI_i_PK = ((Li_PK/(Lo*10^3))-1)*10^2;
TQI_i_SK = (TQI_i_SL + TQI_i_SP)/2;
TQI_i_VK = (TQI_i_VL + TQI_i_VP)/2;
TUG_TQI = (TQI_i_RK+TQI_i_SK+TQI_i_VK+TQI_i_PK)/4;
```


7 VÝSLEDKY A HODNOCENÍ

7.1 TRAŤ SKLENÉ – KŘÍŽANOV

Trať Sklené – Křižanov se nachází kousek od města Žďár nad Sázavou. Zkoumaný úsek je 5,4 km dlouhý a staničení je od km 62,5 do km 67,9. Trať spadá do rychlostního pásma $RP = 3$. Jedná se o nový úsek, kde jsou použity pražce B 91T, s nominálním rozchodem 1437 mm. Na úseku jsou použity svorky Skl 14 s kolejnicemi 60E2. V obloucích o poloměrech < 275 m je navíc zřízeno rozšíření rozchodu. Hodnocená je traťová kolej č. 1.

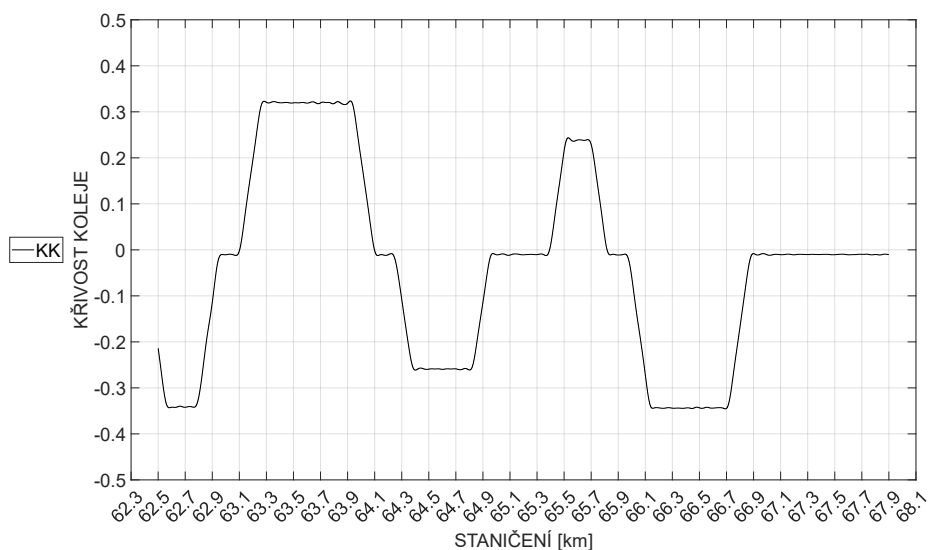
Použité mezní hodnoty pro $RP3$:

$$IL_{RK} = -7 \text{ a } +22 \text{ mm}$$

$$IL_{PK} = \pm 18 \text{ mm}$$

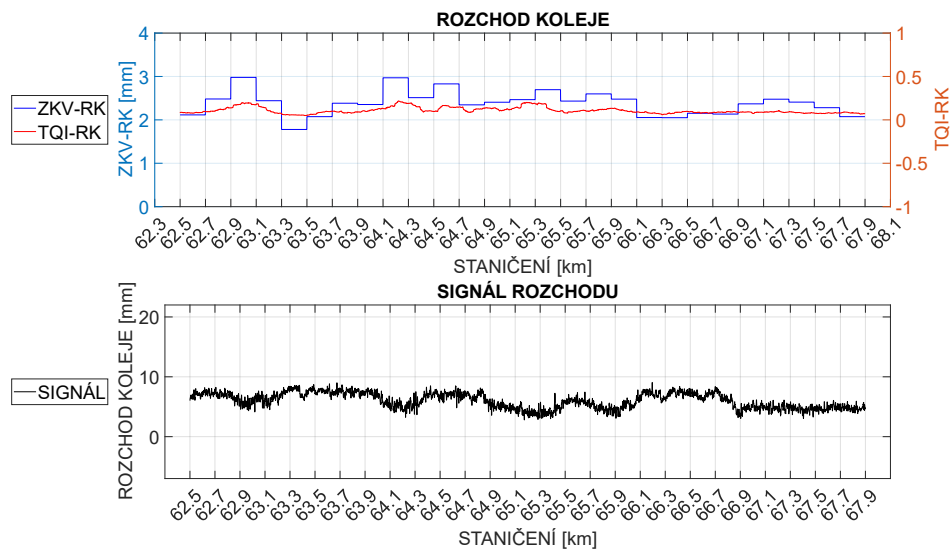
$$IL_{SK} = \pm 8 \text{ mm}$$

$$IL_{VK} = \pm 10 \text{ mm}$$



Obrázek 18: Graf KŘIVOSTI KOLEJE, SKLENÉ – KŘÍŽANOV km 62,5 – 67,9

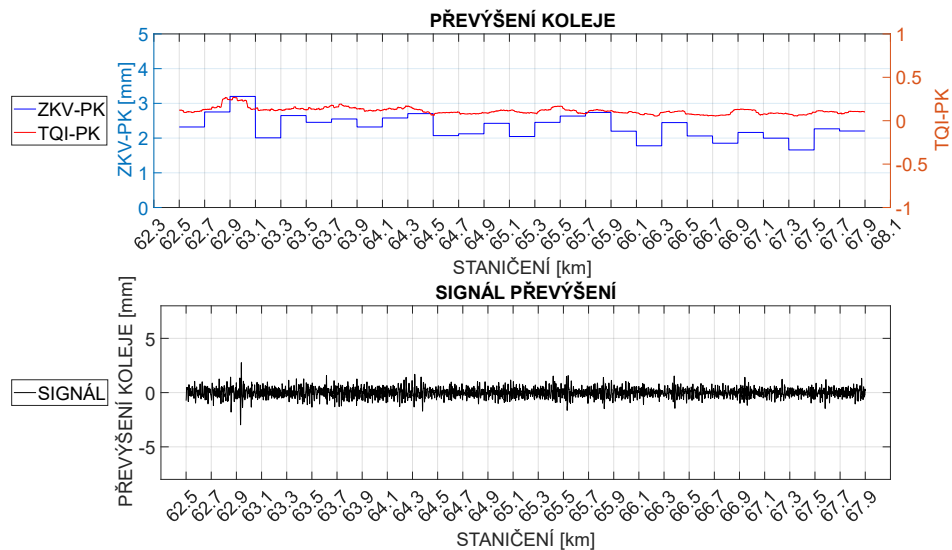
7.1.1 ROZCHOD KOLEJE



Obrázek 19: Graf ROZCHODU KOLEJE, SKLENÉ – KŘÍŽANOV km 62,5 – 67,9

ZKV_RK je počítán z dynamického rozchodu koleje a dosahuje hodnot mezi 2,5 a 4,5. Index TQI_RK vykazuje daleko mírnější nárůst hodnot v místech rozšíření rozchodu.

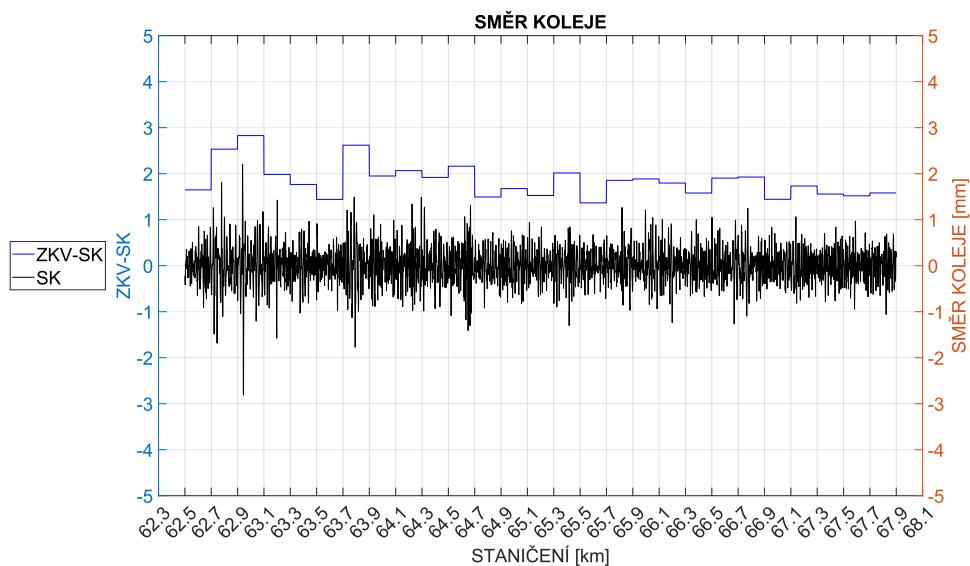
7.1.2 PŘEVÝŠENÍ KOLEJE



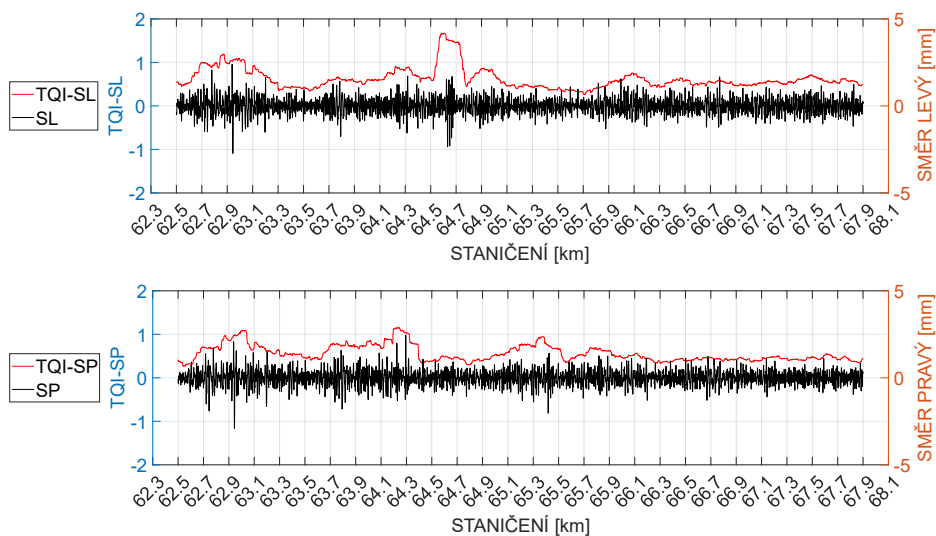
Obrázek 19: Graf PŘEVÝŠENÍ KOLEJE, SKLENÉ – KŘÍŽANOV km 62,5 – 67,9

Index ZKV_PK i TQI_PK jsou počítány z dynamického převýšení koleje. Průběhy převýšení jsou u obou metod velmi podobné.

7.1.3 SMĚR KOLEJE



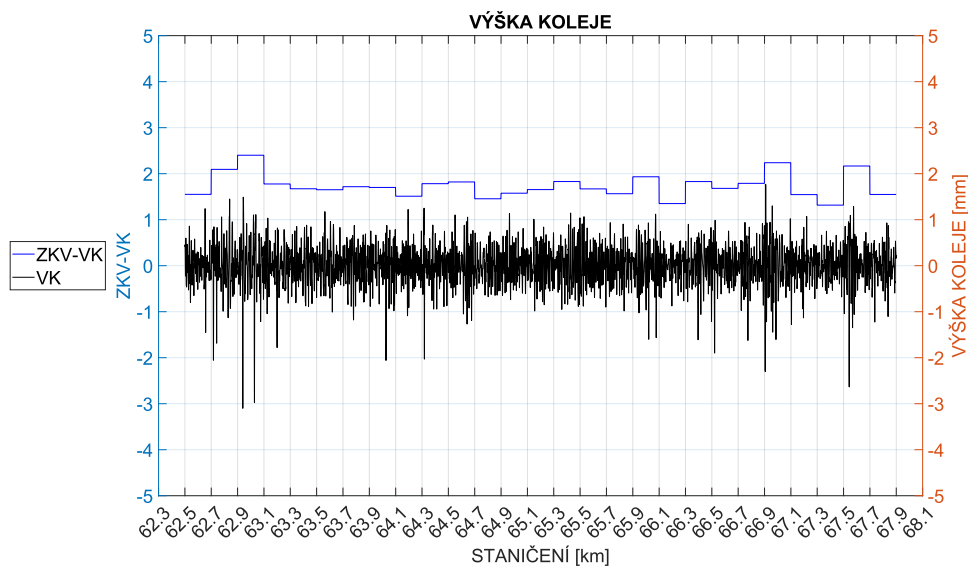
Obrázek 20: Graf SMĚRU KOLEJE, SKLENÉ – KŘÍŽANOV km 62,5 – 67,9



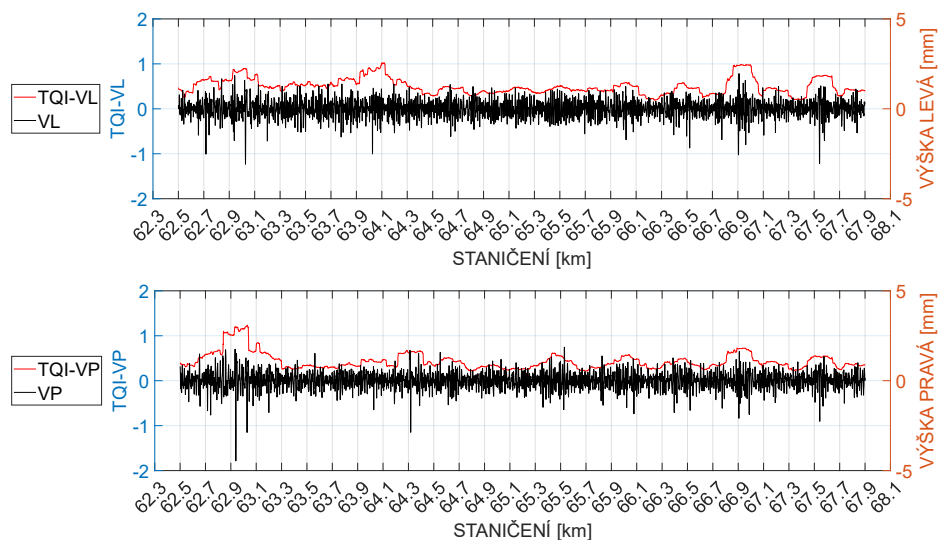
Obrázek 21: Graf SMĚRU PRAVÉ a LEVÉ KOLEJNICE, SKLENÉ – KŘÍŽANOV km 62,5 – 67,9

Pro směr koleje musely být vytvořeny dva grafy, protože zatímco index ZKV počítá s průměrem směrů levé a pravé kolejnice, tak index TQI započítává průběhy směrů jednotlivých kolejnice zvlášť. Hodnoty TQI se nachází na levé modré ose oproti grafům RK a PK.

7.1.4 GRAF VÝŠKY KOLEJE



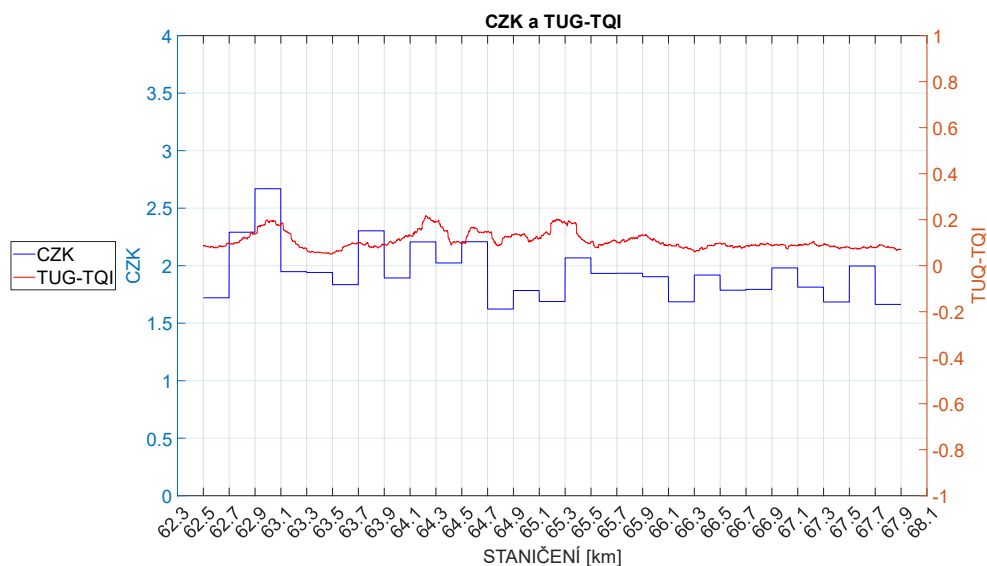
Obrázek 22: Graf VÝŠKY KOLEJE, SKLENÉ – KŘÍŽANOV km 62,5 – 67,9



Obrázek 23: Graf VÝŠKY PRAVÉ a LEVÉ KOLEJNICE, SKLENÉ – KŘÍŽANOV km 62,5 – 67,9

Pro výšky koleje musely být vytvořeny dva grafy, protože zatímco index ZKV počítá s průměrem výšek levé a pravé kolejnice, tak index TQI započítává průběhy výšek jednotlivých kolejnice zvlášť. Hodnoty TQI se nachází na levé modré ose oproti grafům RK a PK.

7.1.5 GRAF CZK a TUG_TQI



Obrázek 24: Graf CZK a TUG_TQI, SKLENÉ – KŘÍŽANOV km 62,5 – 67,9

Z kvalitativního pohledu se průběhy CZK a TUG_TQI podobají, avšak průběh TUG_TQI citlivěji reaguje na závady trati.

7.2 TRAŤ VELIM – KOLÍN

Trať Velim – Kolín vede z Kolína na severovýchod. Trať je v rychlostním pásmu RP3. Železniční svršek se na tomto úseku skládá z pražců B 91S, svorka Skl 14 a kolejnice 60E2. Zkoumaný úsek je dlouhý 5,2 km. A začíná ve staničení km 350,1 do km 355,3. Jedná se o traťovou kolej č. 1.

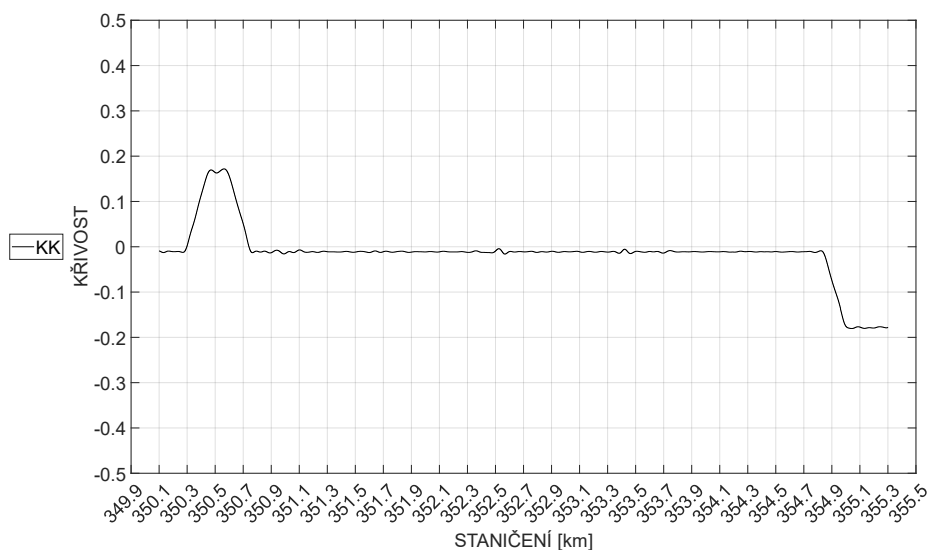
Použité mezní hodnoty pro RP3:

$$IL_{RK} = -7 \text{ a } +22 \text{ mm}$$

$$IL_{PK} = \pm 18 \text{ mm}$$

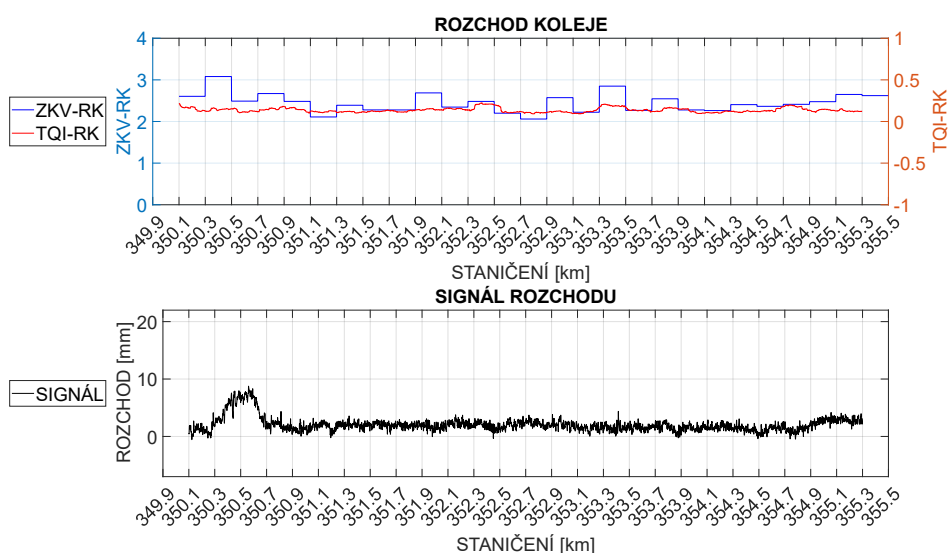
$$IL_{SK} = \pm 8 \text{ mm}$$

$$IL_{VK} = \pm 10 \text{ mm}$$



Obrázek 25: Graf KŘIVOSTI KOLEJE, VELIM – KOLÍN km 350,1 - 355,3

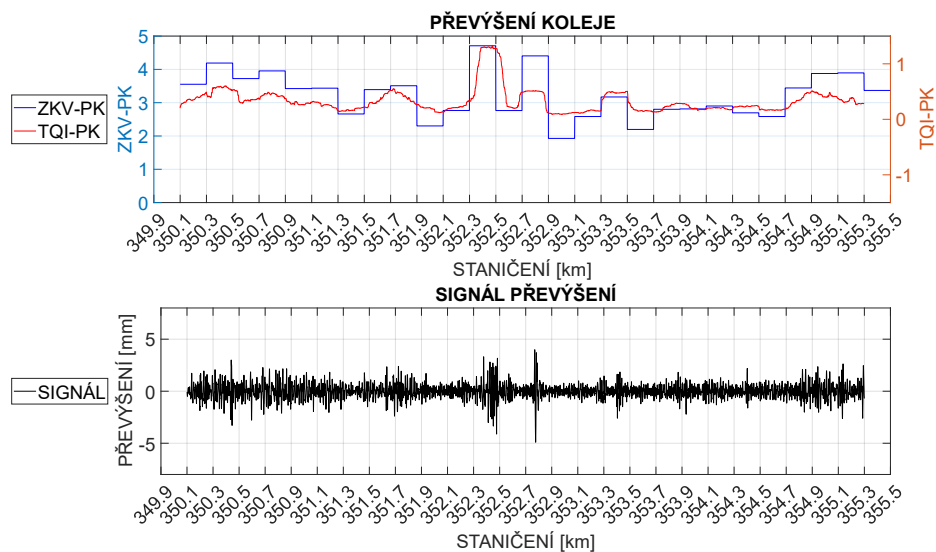
7.2.1 ROZCHOD KOLEJE



Obrázek 26: Graf ROZCHODU KOLEJE, VELIM – KOLÍN km 350,1 - 355,3

ZKV_RK je opět počítáno z dynamického rozchodu koleje. Kolem km 350,5 můžeme pozorovat zhoršení rozchodu koleje do kladného směru, na což index TQI reaguje mírně. V případě záporných hodnot rozchodu index hodnota indexu TQI vzroste.

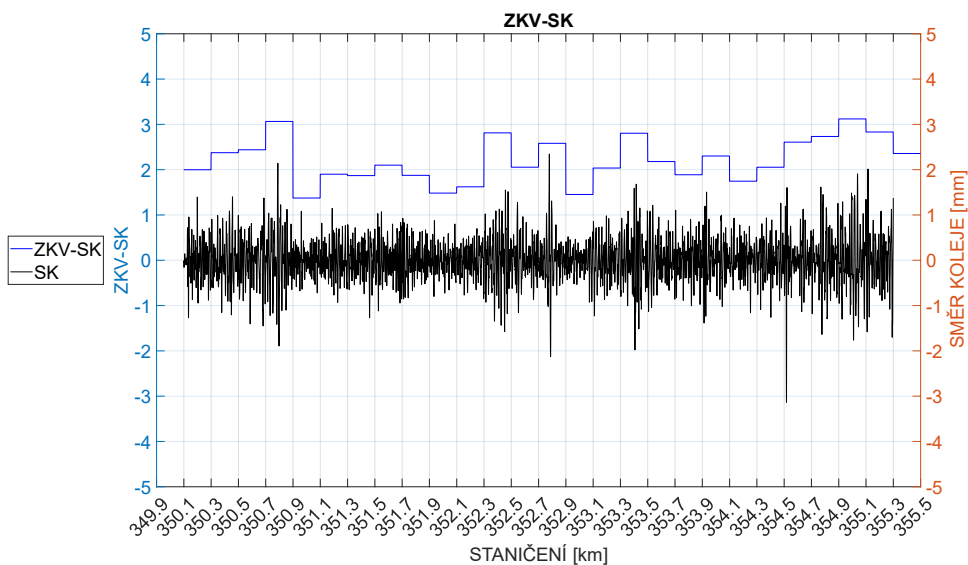
7.2.2 PŘEVÝŠENÍ KOLEJE



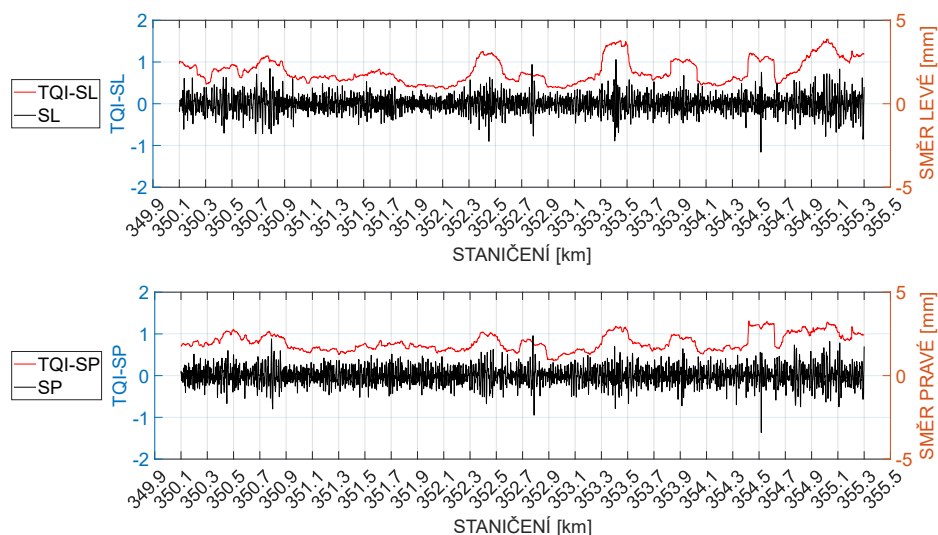
Obrázek 27: Graf PŘEVÝŠENÍ KOLEJE, VELIM – KOLÍN km 350,1 - 355,3

Index ZKV_PK i TUG_TQI jsou počítány z dynamického převýšení koleje.

7.2.3 SMĚR KOLEJE



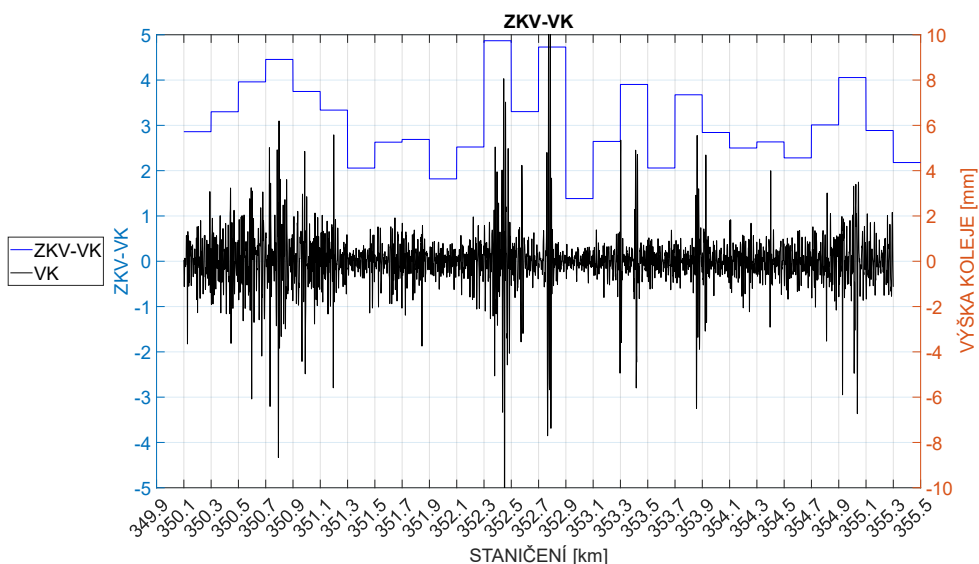
Obrázek 28: Graf SMĚRU KOLEJE, VELIM – KOLÍN km 350,1 - 355,3



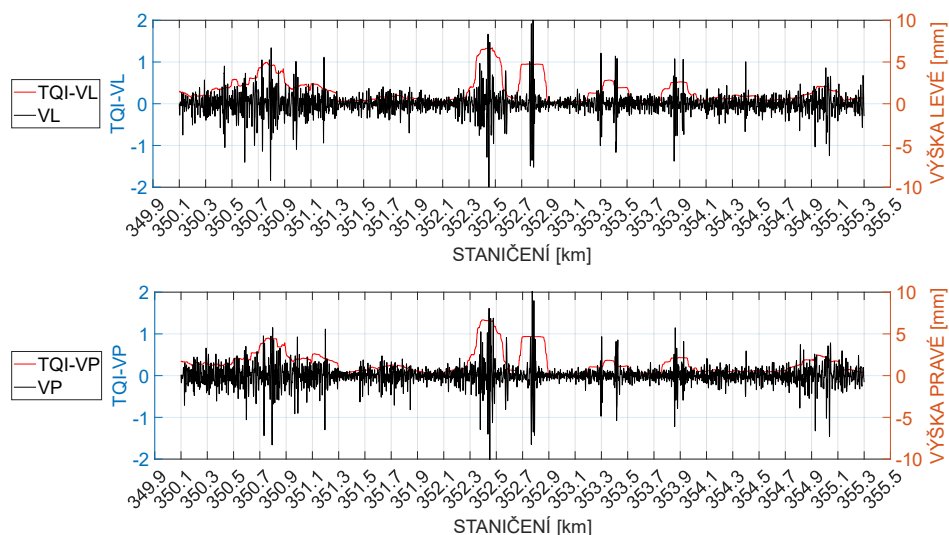
Obrázek 29: Graf SMĚRU PRAVÉ a LEVÉ KOLEJNICE, VELIM – KOLÍN km 350,1 - 355,3

Pro směr koleje musely být vytvořeny dva grafy, protože zatímco index ZKV počítá s průměrem směrů levé a pravé kolejnice, tak index TQI započítává průběhy směrů jednotlivých kolejnice zvlášť. Hodnoty TQI se nachází na levé modré ose oproti grafům RK a PK.

7.2.4 VÝŠKA KOLEJE



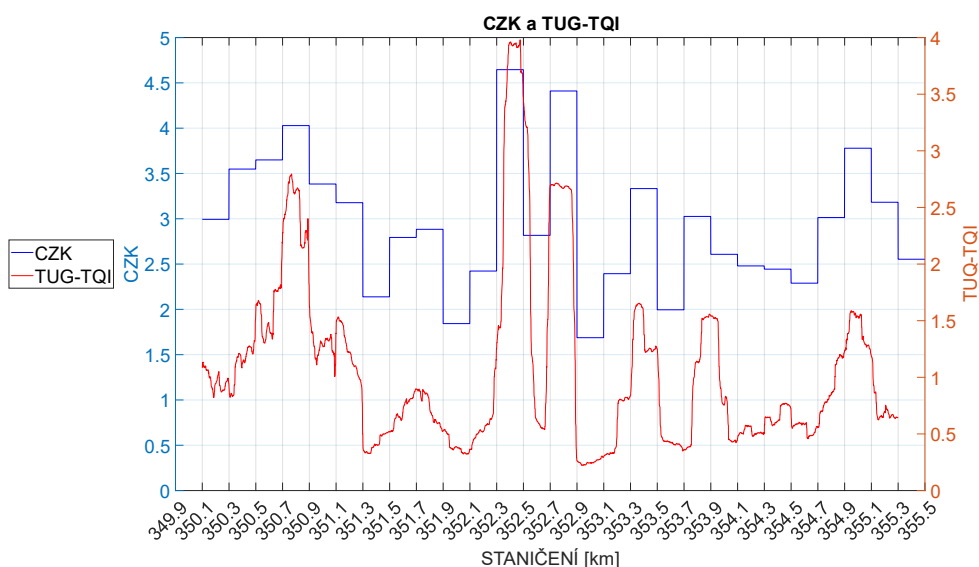
Obrázek 30: Graf VÝŠKY KOLEJE, VELIM – KOLÍN km 350,1 - 355,3



Obrázek 31: Graf VÝŠKY PRAVÉ a LEVÉ KOLEJNICE, VELIM – KOLÍN km 350,1 - 355,3

Pro výšky koleje musely být vytvořeny dva grafy, protože zatímco index ZKV počítá s průměrem výšek levé a pravé kolejnice, tak index TQI započítává průběhy výšek jednotlivých kolejnic zvlášť. Hodnoty TQI se nachází na levé modré ose oproti grafům RK a PK. V hodnoceném úseku se hodnoty výšek blíží k mezní hodnotě IL = 10 mm a můžeme pozorovat nárůst hodnot u obou indexů (ZKV i TQI).

7.2.5 GRAF CZK A TUG_TQI



Obrázek 32: Graf CZK a TUG_TQI, VELIM – KOLÍN km 350,1 - 355,3

TUG_TQI dosahuje hodnot od 0,3 do 4. je vidět že v místech lokální závady je nárůst hodnot opravdu značný. Z kvalitativního pohledu jsou průběhy obou indexů podobné.

7.3 TRAŤ MALŠICE – SUDOMĚŘICE U BECHYNĚ

Trať Malšice – Sudoměřice u Bechyně se nachází poblíž města Tábor. Jedná se o jednokolejnou trať nacházející se v rychlostním pásmu RPO. Jedná se o starou trať s oblouky malých poloměrů. Měřený úsek je dlouhý 7,8 km. Začíná ve staničení km 10,4 do km 18,2. Železniční svršek je tvořen pražci SB 5, podkladnicí TR 5 + svěrkou R, a kolejnicí S 49.

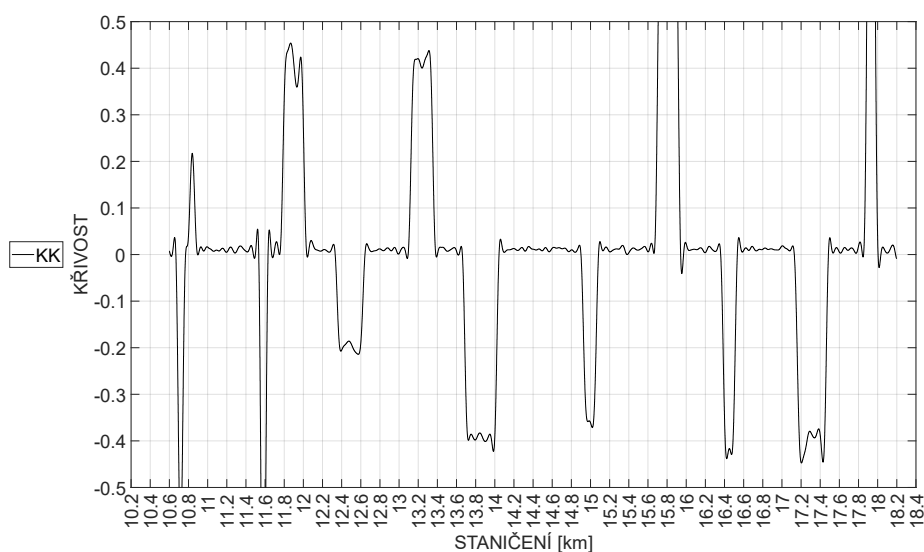
Použité mezní hodnoty pro rychlostní pásmo RPO:

$$IL_{RK} = -8 \text{ a } +33 \text{ mm}$$

$$IL_{PK} = \pm 18 \text{ mm}$$

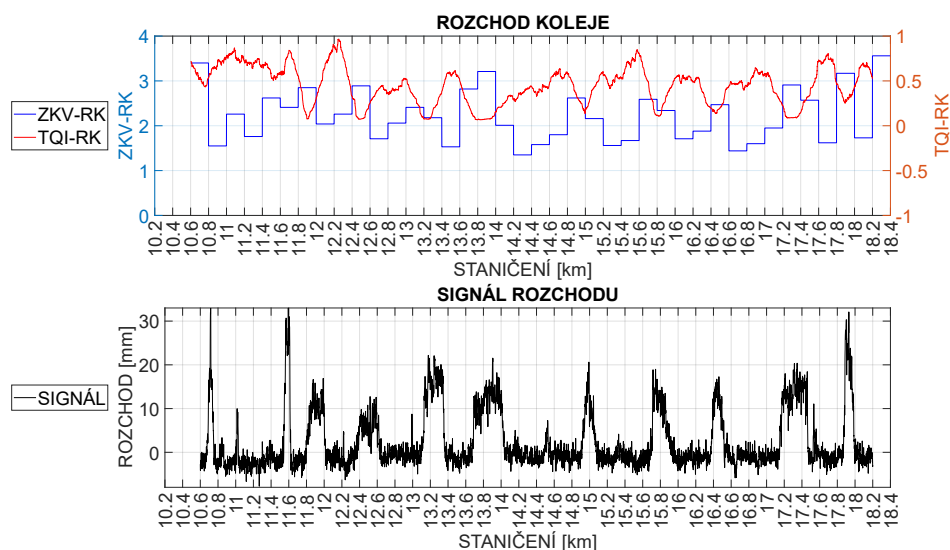
$$IL_{SK} = \pm 18 \text{ mm}$$

$$IL_{VK} = \pm 20 \text{ mm}$$



Obrázek 33: Graf KŘIVOSTI KOLEJE, MALŠICE – SUDOMĚŘICE km 10,6 – 18,2

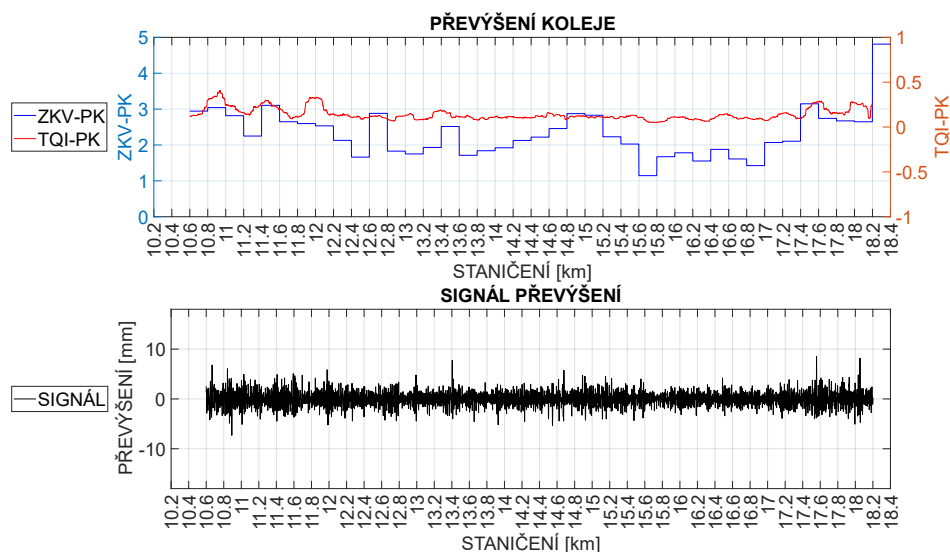
7.3.1 ROZCHOD KOLEJE



Obrázek 34: Graf ROZCHODU KOLEJE, MALŠICE – SUDOMĚŘICE km 10,6 – 18,2

ZKV_RK je počítána z dynamického rozchodu koleje. V místech rozšíření rozchodu (viz. graf křivosti) vykazují ZKV_RK vysoké hodnoty. Naopak index TQI_RK má vyšší hodnoty v místech, kde jsou odchylky rozchodu v záporných hodnotách. Z pohledu jízdy vozidla jsou záporné hodnoty rozchodu nepříznivější než hodnoty kladné, a proto lze říct že svým průběhem vystihuje TQI_RK lépe skutečnost.

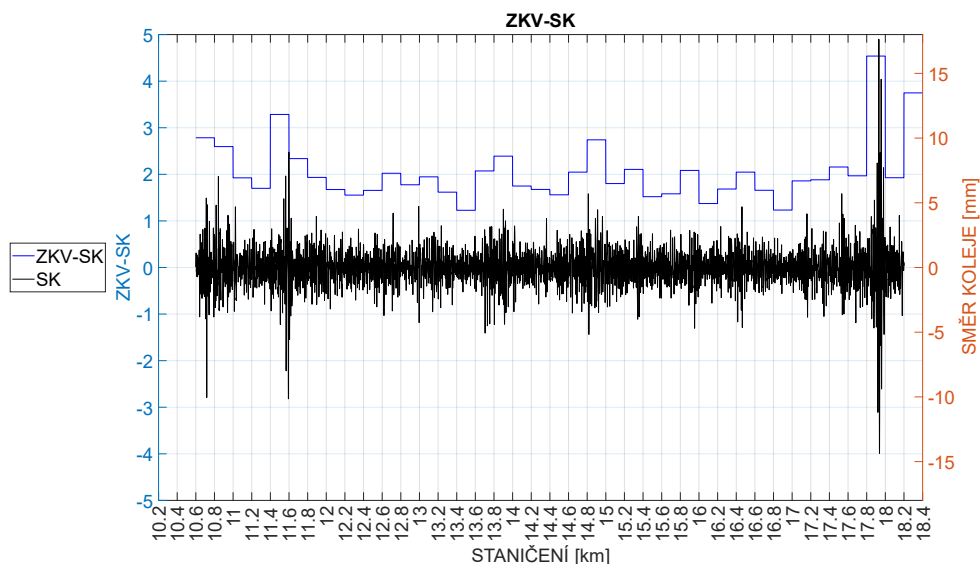
7.3.2 PŘEVÝŠENÍ KOLEJE



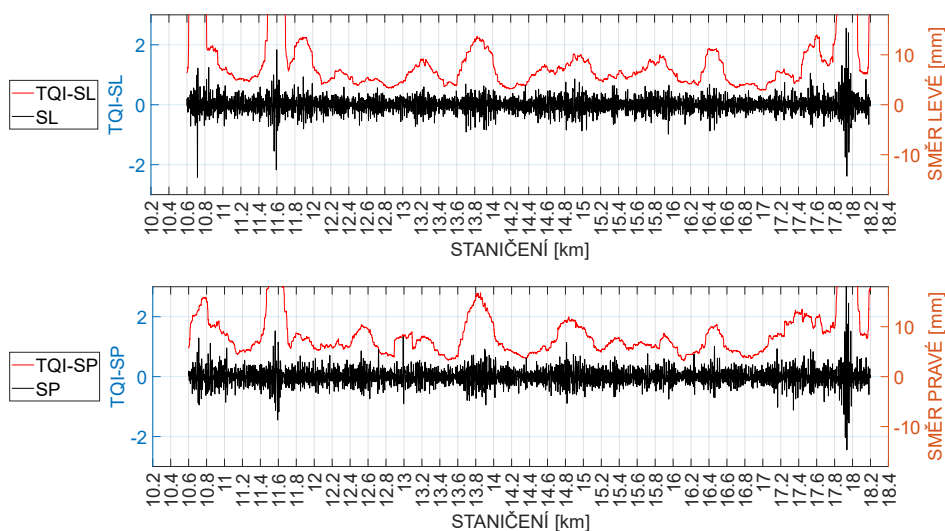
Obrázek 35: Graf PŘEVÝŠENÍ KOLEJE, MALŠICE – SUDOMĚŘICE km 10,6 – 18,2

ZKV_PK i TQI_PK jsou počítána z dynamického převýšení koleje. Průběh TQI_PK vykazuje na tomto grafu mírnější hodnoty než ZKV_PK.

7.3.3 SMĚR KOLEJE



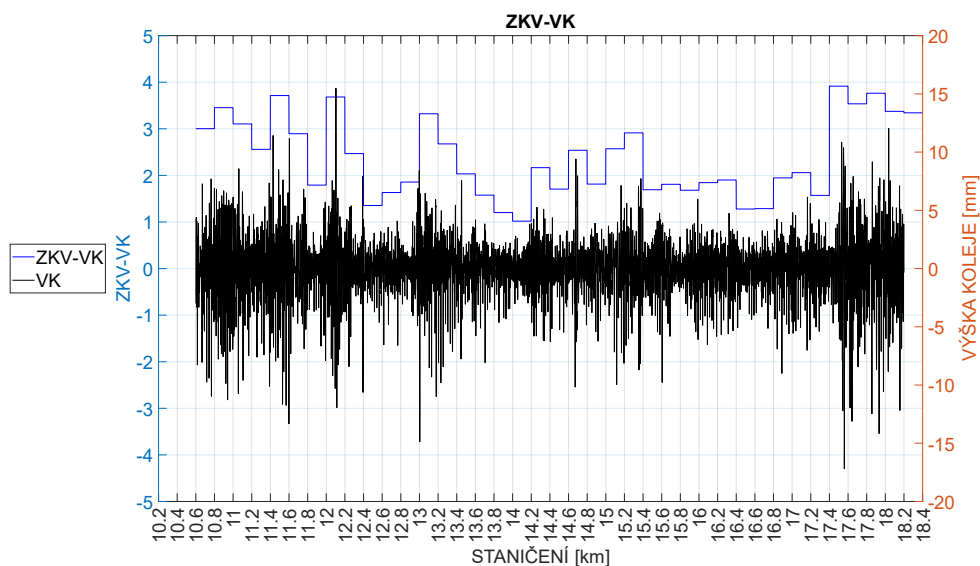
Obrázek 36: Graf SMĚRU KOLEJE, MALŠICE – SUDOMĚŘICE km 10,6 – 18,2



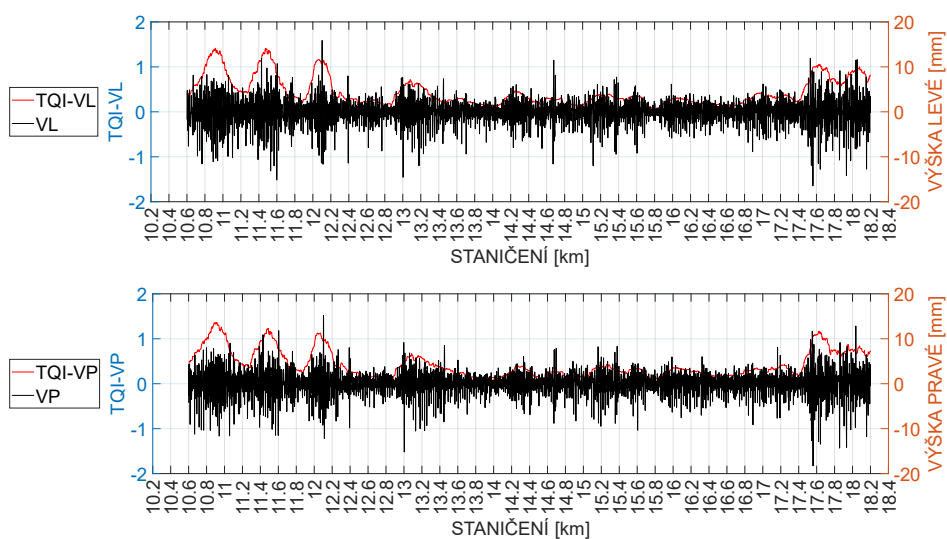
Obrázek 37: Graf SMĚRU PRAVÉ a LEVÉ KOLEJNICE, MALŠICE – SUDOMĚŘICE km 10,6 – 18,2

Pro směr koleje musely být vytvořeny dva grafy, protože zatímco index ZKV počítá s průměrem směrů levé a pravé kolejnice, tak index TQI započítává průběhy směrů jednotlivých kolejnic zvlášť. Hodnoty TQI se nachází na levé modré ose oproti grafům RK a PK. Průběhy obou metod jsou podobné. Kolem km 18,0 je hodnota výšky velmi blízko mezní hodnotě IL. Proto indexy TQI_SK, SL nabývají v tomto místě velmi vysoké hodnoty.

7.3.4 VÝŠKA KOLEJE



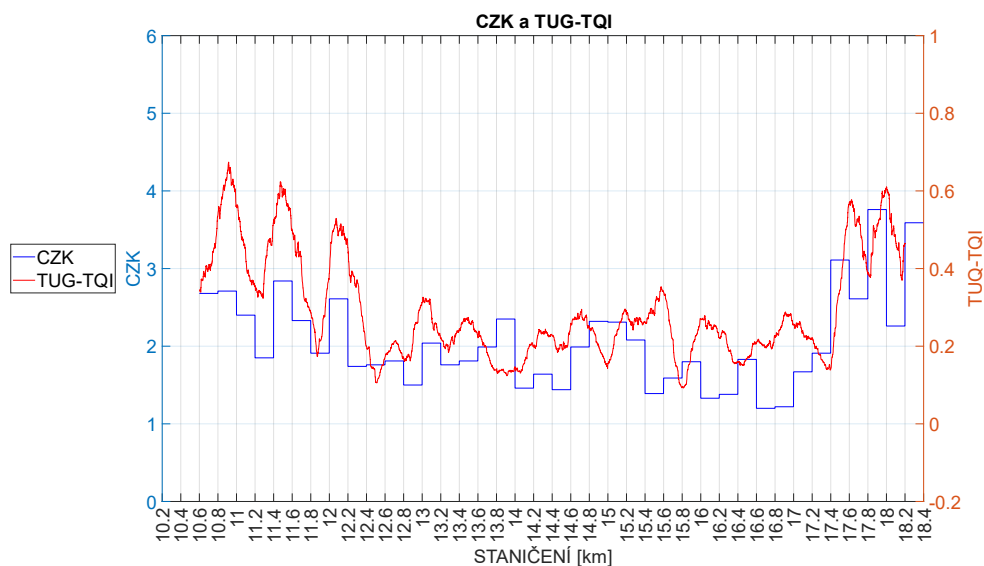
Obrázek 38: Graf VÝŠKY KOLEJE, MALŠICE – SUDOMĚŘICE km 10,6 – 18,2



Obrázek 39: Graf VÝŠKY PRAVÉ a LEVÉ KOLEJNICE, MALŠICE – SUDOMĚŘICE km 10,6 – 18,2

Pro výšky koleje musely být vytvořeny dva grafy, protože zatímco index ZKV počítá s průměrem výšek levé a pravé kolejnice, tak index TQI započítává průběhy výšek jednotlivých kolejnic zvlášť. Hodnoty TQI se nachází na levé modré ose oproti grafům RK a PK. Můžeme vidět, že průběh TQI lépe kopíruje průběh signálu. Avšak průběhy křivek indexů vypočítaných oběma metodami jsou opět podobné.

7.3.5 GRAF CZK a TUG_TQI



Obrázek 40: Graf CZK a TUG_TQI, MALŠICE – SUDOMĚŘICE km 10,6 – 18,2

Zde je průběh TUG_TQI na pár místech odlišný od průběhu CZK. Děje se tak v místech, kde jsou záporné hodnoty rozchodu koleje. To je způsobeno značným rozdílem obou metod v postupu k vyhodnocení rozchodu koleje, viz. graf ZKV_RK a TQI_RK.

8 ZÁVĚR

V teoretické části této práce byly představeny jednotlivé porovnávané metody, způsob měření geometrických parametrů koleje i samotné geometrické parametry. Také byla provedena rešerše diagnostických prostředků pro měření geometrických parametrů koleje.

V praktické části byly pro každý zkoumaný úsek vypočteny indexy jednotlivých geometrických parametrů koleje i celkové indexy kvality trati pomocí obou porovnávaných metod. Pro obě metody jsem zvolil tyto geometrické parametry: ROZCHOD KOLEJE, PŘEVÝŠENÍ KOLEJE, SMĚR KOLEJE, VÝŠKA KOLEJE. Tyto parametry jsem volil z důvodu přímé porovnatelnosti obou metod, protože CZK počítá právě s těmito geometrickými parametry.

Při porovnání metod se zjistilo, že jak jednotlivé indexy TQI_i , tak i celkový index kvality TUG_TQI , citlivěji kopírují průběh naměřených hodnot, a tím lépe upozorňují na lokální závady. V případě rozchodu jsou hodnoty jednotlivých indexů rozdílné v místech záporných hodnot rozchodu koleje. To je způsobeno značným rozdílem obou metod v postupu k vyhodnocení rozchodu koleje. Jinak jsou průběhy obou metod velmi podobné.

Způsob výpočtu CZK je velmi složitý z důvodu potřeby zařazení statistických a váhových koeficientů do výpočtu. Tyto koeficienty se mohou v průběhu času měnit, což znemožní například zkoumání vývoje geometrických parametrů v čase.

Výhodou výpočtu TUG_TQI je, že se dá použít pro všechny tratě a parametry, které mají přiřazenou mezní hodnotu, v našem případě mez zásahu IL. Další výhodou je, že je tento výpočet v čase neměnný (za předpokladu stabilních mezních hladin GPK) a také, že správce infrastruktury může celkový index TUG_TQI konfigurovat z jednotlivých indexů TQI_i dle vlastní potřeby.

ZDROJE

- [1] Analyzing Major Track Quality Indices and Introducing a Universally Applicable TQI. Applied Sciences. 10.8490. 10.3390/app10238490. Offenbacher, Stefan & Neuhold, Johannes & Veit, Peter & Landgraf, Matthias. (2020)
- [2] ČSN 73 6360-2 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba.
- [3] ČSN EN 13848-1 Železniční aplikace – Kolej – Kvalita geometrie koleje – Část 1: Popis geometrie koleje
- [4] data z měření diagnostických prostředků (poskytne Správa železnic).
- [5] Předpis SŽDC S2/4 Předpis pro zajišťování diagnostiky železničního svršku měřicími prostředky s kontinuálním záznamem
- [6] Zaplatílek, Karel a Doňar, Bohuslav. Matlab pro začátečníky. 2.vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0175-6.
- [7] Předpis SŽDC SR103/8(S) Komentář ČSN 73 6360 – Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha.
- [8] Šindelář, Jan. Foto EM100 In: <https://zdopravy.cz/sz-predstavila-diagnosticka-vozidla-za-vice-nez-pul-miliardy-chce-investovat-temer-9-miliard-93115/>
- [9] Sůra, Jan. Foto In: <https://zdopravy.cz/wp-content/uploads/2021/05/mvzsv1.jpg>
- [10] Autor neuveden. Foto. In: <https://www.tudc.cz/index.php/diagnosticke-prostredky/merici-vuz-pro-zeleznicni-svrsek/>
- [11] Autor neuveden. Foto. In: <https://www.tudc.cz/index.php/diagnosticke-prostredky/merici-drezina-md1/>
- [12] Bado, Petr. Foto. In: <https://www.tratovestroje.net/mala-merici-drezina-mmd-1/>
- [13] Brabanec, Daniel. Foto. <http://spz.logout.cz/novinky/novinky.php?poradi=1684>
- [14] Foto. In: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cislocclanku=2011121401>
- [15] Foto. In: <https://www.svoba.cz/Rozchodka-SW-OT82-vyhybkova-d2511.htm>

POUŽITÉ ZKRATKY

AL	mez sledování (alert limit)
CZK	celková známka kvality
GPK	geometrické parametry koleje
IAL	mez bezodkladného zásahu (immediate action limit)
IL	mez zásahu (intervention limit)
IS PSST	informační systém provozního stavu sítě tratí
KK	křivost koleje
MD	měřicí drezína
MMD	malá měřicí drezína
MVŽSv	měřicí vůz pro železniční svršek
PK	převýšení koleje
RK	rozchod koleje
RP	rychlostní pásmo
SDO	směrodatná odchylka
SK	směr koleje
SL	směr levého kolejnicového pásu
SP	směr pravého kolejnicového pásu
TMS	systém měření dráhy (track measurement systém)
TQI _i	index kvality parametru
TUG_TQI	index kvality ze Štýrského Hradce
VK	výška koleje
VL	výška levého kolejnicového pásu
VP	výška pravého kolejnicového pásu
ZK	zborcení koleje
ZKV	známka kvality
ZP	známka podbíjení