

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta stavební

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Brno, 2024

Bc. 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

**NOVÉ PŘÍSTUPY K ÚSEKOVÉMU HODNOCENÍ KVALITY
GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE**

NEW APPROACHES TO SECTION EVALUATION OF TRACK QUALITY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Daniel Joudal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav železničních konstrukcí a staveb
Student: **Bc. Daniel Joudal**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: N0732A260026 Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Nové přístupy k úsekovému hodnocení kvality geometrických parametrů koleje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Předmětem diplomové práce je výzkum vlastností nových přístupů k úsekovému hodnocení geometrických parametrů koleje. Nově vyvíjené postupy hodnocení ve srovnání s standardním hodnocením pomocí směrodatných odchylek parametrů v daném úseku umožňují postihnout další charakteristiky kvality geometrických parametrů koleje a umožňují správci infrastruktury lépe rozhodovat a plánovat údržbové zásahy. Na základě výsledků investice vlastností nových metod a přístupů bude navržena úprava současného úsekového hodnocení v ČR včetně algoritmů výpočtu kvalitativních ukazatelů - známek kvality.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem diplomové práce je studie implementace vyhodnocení TUG_TQI (index kvality TU Graz) do úsekového hodnocení kvality koleje v podmínkách tratí v ČR. Zvláštní pozornost bude věnována těm parametrům koleje, jejichž odchylky jsou definovány asymetricky, např. rozchod koleje, kde užívané CZK zahrnují směrodatnou odchylkou, která totožně vyhodnotí rozchod koleje symetricky, což z pohledu dynamiky jízdy vozidla není totéž. Výsledkem bude návrh nového algoritmu pro výpočet CZK, užívající výpočet TUG_TQI. Práce bude obsahovat:

- přehled současného stavu poznání vztaženého k hodnocení kvality koleje;
- přehled standardů, podle nichž se počítají známky kvality / indexy kvality;
- studie vlivu nesymetrickosti definovaných odchylek na výsledné ukazatele kvality koleje;
- vyhodnocení kvality koleje jako příkladová studie, rozsah studie bude stanoven v průběhu zpracování práce.

Seznam doporučené literatury a podklady:

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

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

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)

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 29. 3. 2023

L. S.

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

doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá hodnocením geometrických parametrů kvality koleje. Konkrétně je zkoumána nová metoda hodnocení určená pro správce trati, která bude zahrnovat moderní poznatky z této oblasti. V teoretické části jsou stručně popsány měřicí prostředky používané na železniční síti v České republice a další metody hodnocení kvality koleje používané ve světě. Praktická část ukazuje výhody a nevýhody nové metody. Tato metoda je v práci porovnávána se současně používanou Celkovou známkou kvality a je provedena analýza vývoje indexu kvality v čase.

KLÍČOVÁ SLOVA

Směrodatná odchylka, aritmetický průměr, geometrické parametry koleje, Celková známka kvality, úsekové hodnocení, index kvality

ABSTRACT

This diploma thesis addresses track geometry parameters quality assessment. It specifically studies a new assessment method intended to be used by the track manager. The theoretical background consists of description of measuring means used on the railway network in the Czech Republic and other methods of track quality assessment used around the world. The practical part lists the advantages and disadvantages of the new method. There's also a comparison of this new method with the method currently used method CZK and an analysis of the quality index evolution.

KEYWORDS

Standard deviation, arithmetic mean, track geometry parameters, section assessment, quality index

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JOUDAL, Daniel. *Nové přístupy k úsekovému hodnocení kvality geometrických parametrů koleje*. Brno, 2024. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb. Vedoucí doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Nové přístupy k úsekovému hodnocení kvality geometrických parametrů koleje* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 12. 01. 2024

Bc. Daniel Joudal

autor

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Nové přístupy k úsekovému hodnocení kvality geometrických parametrů koleje* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 01. 2024

Bc. Daniel Joudal

autor

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu doc. Ing. Ottovi Pláškoví, Ph.D. za umožnění zpracování tohoto tématu. Rád bych poděkoval také panu Ing. Pavlu Kulichovi za rychlé jednání a cenné rady, které mi pomohly zpracovat tuto práci. Poděkování patří i mé rodině, která mi bez problémů umožnila vysokoškolské studium.

OBSAH

1	ÚVOD.....	1
2	SOUČASNÝ STAV PRO HODNOCENÍ KVALITY TRATI.....	2
2.1	NORMY A PŘEDPISY	2
2.2	GEOMETRICKÉ PARAMETRY KOLEJE.....	3
2.2.1	ROZDĚLENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE.....	3
2.2.2	PARAMETRY DLE ČSN 73 6360-2.....	3
2.2.3	DOPLŇKOVÉ GEOMETRICKÉ PARAMETRY KOLEJE	4
2.3	HODNOCENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE.....	5
2.3.1	ÚSEKOVÉ HODNOCENÍ	5
2.3.2	LOKÁLNÍ ZÁVADY.....	5
2.3.3	VÝSTUPY DIAGNOSTICKÝCH PROSTŘEDKŮ	6
2.4	DIAGNOSTICKÉ PROSTŘEDKY	8
2.4.1	RUČNÍ ROZCHODKA.....	8
2.4.2	MĚŘÍCÍ VOZÍK KRAB.....	9
2.4.3	MALÁ MĚŘÍCÍ DREZÍNA – MMD.1 a MMD.2	10
2.4.4	MĚŘÍCÍ DREZÍNA – EM100	11
2.4.5	MĚŘÍCÍ VŮZ PRO ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK – MVŽSv 2.....	12
2.5	METODY PRO VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH GPK	14
2.5.1	CELKOVÁ ZNÁMKA KVALITY – CZK.....	14
2.5.2	INDEX KVALITY TRATI TUG_TQI.....	16
2.5.3	SYNTETICKÝ KOEFICIENT J.....	17
2.5.4	INDEX GEOMETRIE KOLEJE TGI	18
2.5.5	ČÍSLO MDZ-A.....	19
2.5.6	INDEX KVALITY TRATI CN.....	19
2.5.7	HODNOTA Q	20
2.5.8	INDEX PĚTIPARAMETROVÉ ZÁVADNOSTI KOLEJE W ₅	20
3	CÍLE PRÁCE.....	21
4	NÁVRH INDEXU HODNOCENÍ GPK.....	22
4.1	DYNAMICKÉ SLOŽKY GPK V iCP.....	22
4.2	CELKOVÉ SLOŽKY GPK V iCP.....	23
4.3	VLASTNOSTI INDEXU iCP	24

4.4	ARITMETICKÝ PRŮMĚR x SMĚRODATNÁ ODCHYLKA.....	24
4.4.1	GRAFY CELKOVÝCH SLOŽEK GPK	25
4.4.2	GRAFY DYNAMICKÝCH SLOŽEK GPK	26
5	PRÁCE S DATY.....	29
5.1	POTŘEBNÁ DATA A PRACOVNÍ KONSTANTY	29
5.2	VÝBĚR HODNOCENÉHO ÚSEKU (200 m)	30
5.3	ROZDĚLENÍ VZORKŮ NA Kladné a záporné hodnoty.....	30
5.4	NORMALIZACE SIGNÁLŮ + SLOUČENÍ CELKOVÉHO ROZCHODU	32
5.5	VÝPOČET INDEXŮ KVALITY i_{CP_i}	32
5.6	ULOŽENÍ DAT DO MATIC	34
5.7	SYSTÉMOVÉ KROKY	34
6	HODNOCENÍ A VÝSLEDKY	35
6.1	HODNOCENÉ ÚSEKY.....	35
6.1.1	ÚSEK SKLENÉ – KŘIŽANOV	35
6.1.2	ÚSEK VELIM – KOLÍN	35
6.1.3	TRAŤ MALŠICE – SUDOMĚŘICE U BECHYNĚ.....	35
6.2	HODNOCENÍ CELKOVÝCH SLOŽEK GPK.....	36
6.2.1	CELKOVÝ ROZCHOD KOLEJE.....	36
6.2.2	CELKOVÉ PŘEVÝŠENÍ KOLEJE	38
6.2.3	SHRNUTÍ CELKOVÝCH SLOŽEK GPK	39
6.3	HODNOCENÍ DYNAMICKÝCH SLOŽEK GPK.....	39
6.3.1	DYNAMICKÝ ROZCHOD KOLEJE.....	40
6.3.2	DYNAMICKÉ PŘEVÝŠENÍ KOLEJE	41
6.3.3	DYNAMICKÝ SMĚR KOLEJE.....	43
6.3.4	DYNAMICKÁ VÝŠKA KOLEJE.....	44
6.3.5	SHRNUTÍ DYNAMICKÝCH SLOŽEK GPK	45
6.4	HODNOCENÍ VÝSLEDNÝCH INDEXŮ KVALITY	46
7	ANALÝZA HODNOCENÍ V ČASE.....	48
7.1	CELKOVÉ SLOŽKY GPK.....	48
7.1.1	CELKOVÝ ROZCHOD KOLEJE.....	48
7.1.2	CELKOVÉ PŘEVÝŠENÍ KOLEJE	49
7.2	DYNAMICKÉ SLOŽKY GPK.....	50
7.2.1	DYNAMICKÝ ROZCHOD KOLEJE.....	50

7.2.2	DYNAMICKÉ PŘEVÝŠENÍ KOLEJE	51
7.2.3	DYNAMICKÝ SMĚR KOLEJE.....	52
7.2.4	DYNAMICKÁ VÝŠKA KOLEJE.....	53
7.3	CELKOVÝ INDEX KVALITY.....	54
8	ZÁVĚR.....	55
	ZDROJE.....	56

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Přehled GPK [5]	4
Obrázek 2: Lokální závady [4]	6
Obrázek 3: Grafická výstupní sestava [4]	6
Obrázek 4: Výstupní sestava úsekového hodnocení [4]	7
Obrázek 5: Foto Ruční rozchodka [6]	8
Obrázek 6: Schéma vozíku krab [4]	9
Obrázek 7: Foto vozíku Krab [7]	9
Obrázek 8: Schéma MMD.2 [4]	10
Obrázek 9: Foto MMD.2 [9]	10
Obrázek 10 Foto MMD.1 [8]	10
Obrázek 11: Schéma MMD.1 [4]	10
Obrázek 12: Foto měřícího systému EM100 [10]	11
Obrázek 13: Foto EM100 [10]	11
Obrázek 14: Foto MVŽSv 2 [11]	12
Obrázek 15: Foto MVŽSv 2 [11]	12
Obrázek 16: Délka prostorové křivky [12]	16
Obrázek 17: Ukázka normalizace signálu [12]	16
Obrázek 18: Princip výpočtu pro dynamické složky GPK	22
Obrázek 19: Princip výpočtu pro celkové složky GPK	23
Obrázek 20: Graf RK, trať Malšice – Sudoměřice	25
Obrázek 21: Graf PK, trať Malšice – Sudoměřice	25
Obrázek 22: Graf RK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice	26
Obrázek 23: Graf PK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice	26
Obrázek 24: Graf SK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice	27
Obrázek 25: Graf VK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice	27
Obrázek 26: Graf iCP_RK, trať Sklené – Křižanov	36
Obrázek 27: Graf iCP_RK, trať Velim – Kolín	37
Obrázek 28: Graf iCP_RK, trať Malšice – Sudoměřice	37
Obrázek 29: Graf iCP_PK, trať Sklené – Křižanov	38
Obrázek 30: Graf iCP_PK, trať Velim – Kolín	38
Obrázek 31: Graf iCP_PK, trať Malšice – Sudoměřice	39
Obrázek 32: Graf RK_DYN, trať Sklené – Křižanov	40
Obrázek 33: Graf RK_DYN, trať Velim – Kolín	40
Obrázek 34: Graf RK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice	41
Obrázek 35: Graf PK_DYN, trať Sklené – Křižanov	41
Obrázek 36: Graf PK_DYN, trať Velim – Kolín	42
Obrázek 37: Graf PK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice	42
Obrázek 38: Graf SK_DYN, trať Sklené – Křižanov	43
Obrázek 39: Graf SK_DYN, trať Velim – Kolín	43
Obrázek 40: Graf SK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice	44

Obrázek 41: Graf VK_DYN, trať Sklené – Křižanov	44
Obrázek 42: Graf VK_DYN, trať Velim – Kolín.....	45
Obrázek 43: Graf VK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice.....	45
Obrázek 44: Graf iCP/CZK, trať Sklené – Křižanov	46
Obrázek 45: Graf iCP/CZK, trať Velim – Kolín.....	46
Obrázek 46: Graf iCP/CZK, trať Malšice – Sudoměřice.....	47
Obrázek 47: Graf iCP_RK, trať Velim – Kolín.....	48
Obrázek 48: Graf iCP_RK (detail úseku), trať Velim Kolín.....	49
Obrázek 49: Graf iCP_PK, trať Velim – Kolín.....	49
Obrázek 50: Graf iCP_RK_DYN, trať Velim – Kolín.....	50
Obrázek 51: Graf ZKV_RK_DYN, trať Velim – Kolín	50
Obrázek 52: Graf iCP_PK_DYN, trať Velim – Kolín	51
Obrázek 53: Graf ZKV_PK_DYN, trať Velim – Kolín.....	51
Obrázek 54: Graf iCP_SK_DYN, trať Velim – Kolín.....	52
Obrázek 55: Graf ZKV_SK_DYN, trať Velim – Kolín	52
Obrázek 56: Graf iCP_VK_DYN, trať Velim – Kolín.....	53
Obrázek 57: Graf ZKV_VK_DYN, trať Velim – Kolín.....	53
Obrázek 58: Graf iCP, trať Velim – Kolín	54
Obrázek 59: Graf CZK, trať Velim – Kolín.....	54

SEZNAM SYMBOLŮ

V	rychlost
n	počet vzorků měření
x_i	odchylka od střednice hodnocené geometrické veličiny
$\bar{x}$	střední hodnota
SDO	směrodatná odchylka příslušné veličiny
b	číselná konstanta stanovené na základě statistik SDO
m	číselná konstanta stanovené na základě statistik SDO
ZKV	známky kvality pro jednotlivé GPK
w	váhové koeficienty jednotlivých veličin
k	koeficient respektující jednotlivá RP
q	koeficient respektující jednotlivá RP
x_j	hodnoty na souřadnicích x
y_j	hodnoty na souřadnicích y
L_i	délka signálu
L_0	délka měřeného úseku
TQ_k	jednotlivé indexy kvality trati
UI	index pro podélnou výšku koleje
TI	index pro zborcení koleje
GI	index pro rozchod koleje
AI	index pro podélný směr koleje
SDO_{mes}	směrodatná odchylka naměřených GPK
SDO_{maint}	předepsaná směrodatná odchylka pro nově položené koleje
SDO_n	předepsaná směrodatná odchylka pro údržbu
Δv	odchylka výšky koleje
Δh	odchylka směru koleje
$\Delta \ddot{u}$	odchylka převýšení koleje
c	škálovací koeficient
L	délka zkoumaného úseku
Δx	měřicí krok
C	koeficient zohledňující typ tratě
SDO_H	směrodatná odchylka výšky koleje
SDO_S	směrodatná odchylka kombinace směru a převýšení koleje
SDO_{Hlim}	předepsaná směrodatná odchylka výšky koleje
SDO_{Slim}	předepsaná směrodatná odchylka směru a převýšení koleje
k	počet lokálních závad v měřeném úseku
c	celkový počet naměřených hodnot v měřeném úseku
W_i	poměry pro jednotlivé GPK
$-\bar{X}$	aritmetický průměr záporných hodnot
$+\bar{X}$	aritmetický průměr kladných hodnot
iCP	index kvality iCP

POUŽITÉ ZKRATKY

AL	mez sledování (alert limit)
AP	aritmetický průměr
DYN	dynamický
GNSS	globální družicový polohový systém
GPK	geometrické parametry koleje
IAL	mez bezodkladného zásahu (immediate action limit)
iCP	index kvality trati
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
SORUT	systém operativního řízení a údržby tratí
SP	směr pravého kolejnicového pásu
SŽ	správa železnic
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

1 ÚVOD

Vytížení železniční sítě v České republice je v poslední době na hranici kapacity. Vysoké zatížení železnice má za následek rychlejší se zhoršování geometrických parametrů koleje a celkového technického stavu trati. Bezpečný a hospodárný provoz na železniční síti je jednou z hlavních priorit pro správce trati, a proto je důležité tento technický stav trati pečlivě sledovat.

V současné době se v České republice pro úsekové hodnocení geometrických parametrů koleje (GPK) používá Celková známka kvality (CZK) založená na statistické analýze. Tato metoda byla v minulosti nastavena tak, aby určité procento tratí, pro jednotlivá rychlostní pásma, nevyhovělo. Toto nastavení bylo určeno hlavně pro účelné a rovnoměrné rozdělení finančních prostředků do železniční sítě. Velkou roli pro CZK hrají statistické koeficienty, které by se měly po každém zásahu do infrastruktury přepočítat právě proto, aby tento systém fungoval správně (aby bylo procento nevyhovujících tratí pokaždé přibližně stejné). V praxi se však koeficienty CZK přepočítávají po velmi dlouhých časových intervalech a CZK pak nemusí úplně plnit svůj původní účel. Za předpokladu změny těchto statistických koeficientů dochází ke ztrátě porovnatelnosti CZK pro daný úsek v čase. Tento případ nemusí pro správce trati žádoucí.

Z výše uvedených důvodů hledá správce infrastruktury nové přístupy k úsekovému hodnocení, které umožní jak ekonomické hodnocení, tak snadný způsob porovnání v čase. V současné době proto Správa železnic zvažuje vývoj systému, který využije podkladní data z pasportu, výstupní data z měřicích vozů (GPK, defektoskopie), záznamy ze systému SORUT (Systém operativního řízení a údržby tratí) a další.

V diplomové práci je navržena nová metoda, která by měla zohlednit počátky problematiky výše uvedených požadavků, na nově vyvíjený systém. V této nové metodě jsou zároveň zahrnuty nové poznatky z problematiky úsekového hodnocení jako např. rozdílné jevy průjezdu vozidla pro kladný a záporný rozchod koleje, nebo rozdíl skutečného stavu koleje od stavu projektovaného.

2 SOUČASNÝ STAV PRO HODNOCENÍ KVALITY TRATI

2.1 NORMY A PŘEDPISY

Pro stavbu, údržbu a provoz železničních, lanových, tramvajových a trolejbusových drah v České republice určuje podmínky zákon 266/1994 Sb. Zákon o drahách. Tento zákon se nevztahuje na dráhy důlní, průmyslové a přenosné. Požadavky tohoto zákona dále uvádí Vyhláška č. 177/1995 Sb. Stavební a technický řád drah, která také definuje intervaly mezi jednotlivými jízdami pro měření geometrických parametrů koleje. 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

[1][2]

Provozovatel drah ve vlastnictví České republiky, kterým je u nás Správa železnic, státní organizace, vytvořil předpis S2/3 – Organizace a provádění prohlídek a měření na dráze celostátních a drahách regionálních, který upravuje požadavky na vyhlášku č. 177/1995. Tento předpis ještě doplňuje předpis SŽ S2/4 - Předpis pro zajišťování diagnostiky železničního svršku a spodku měřicími prostředky s kontinuálním záznamem, který určuje postupy pro hodnocení výsledků z dat získaných z měřících vozů. Hodnocení kvality trati vychází z hodnocení lokálních závad a úsekového hodnocení. [3][4]

ČSN 73 6360-2 - Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 2 - Stavba a přejímka, provoz a údržba , tato norma slouží pro hodnocení výsledků z naměřených hodnot GPK a požadované limitní odchylky. Geometrické parametry je třeba zkontrolovat vždy při přejímce prací čili při uvedení nové tratě do provozu, nebo po rekonstrukci stávající tratě. [5]

2.2 GEOMETRICKÉ PARAMETRY KOLEJE

2.2.1 ROZDĚLENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE

- KONSTRUKČNÍ USPOŘÁDÁNÍ KOLEJE

- Rozchod koleje
- Změna rozchodu koleje
- Vzájemná výšková poloha kolejnicových pásů (převýšení, sklon vzetupnice, zborcení koleje – vzájemný sklon kolejnicových pásů)
- Změna rozchodu koleje

- GEOMETRICKÉ USPOŘÁDÁNÍ KOLEJE

Veličiny přímo měřitelné geodetickými prostředky nebo měřícími prostředky s kontinuálním a pomocí ručního měření vzepětí.

- Směr koleje
- Podélná výška koleje
- Podélný sklon koleje

- PROSTOROVÁ POLOHA KOLEJE

- Množina bodů osy koleje a niveleta temene kolejnicového pásu jednoznačně určených polohopisnými souřadnicemi a nadmořskou výškou (měřeno geodetickými metodami)

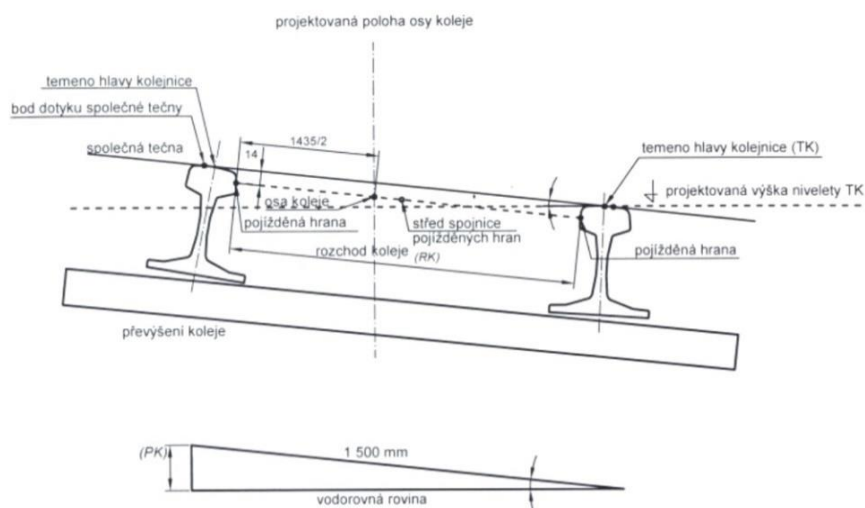
2.2.2 PARAMETERY DLE ČSN 73 6360-2

- ROZCHOD KOLEJE (RK) - Nejmenší vzdálenost mezi kolejnicemi ke spojnici temen kolejnicových pásů dotýkajícími se bočních pojezdových 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 spojnic temen hlav protilehlých kolejnicových pásů
- SMĚR KOLEJE
 - Pásmo D1 (SL, SP) - Půdorysný průmět pojezdové hrany kolejnicového pásu

- Pásmo D2 (SK) - Půdorysný průmět středů příčných spojnic poježděných hran protilehlých kolejnicových pásů
- ZBORCENÍ KOLEJE (ZK) - Změna převýšení koleje na zvolené měřické základně vyjádřená hodnotou mm/m
 - Báze 3 m pro přejímku prací
 - 13 různých bází pro provoz

2.2.3 DOPLŇKOVÉ GEOMETRICKÉ PARAMETRY KOLEJE

- KŘIVOST KOLEJE
- ODVOZENÉ PARAMETRY
 - Nedostatek převýšení a rychlost jeho změny
- MĚŘENÍ KOLEJNIC
 - Opatření hlavy kolejnice, vlnovitost
 - Příčný profil kolejnice



Obrázek 1: Přehled GPK [5]

2.3 HODNOCENÍ GEOMETRICKÝCH PARAMETRŮ KOLEJE

Vyhodnocení naměřených dat lze rozdělit na dvě základní části, a to hodnocení lokálních závad a úsekové hodnocení. Toto musí splňovat všechny diagnostické prostředky s kontinuálním záznamem používané na naší železniční síti. Výstupy všech těchto měřicích prostředků musí být převoditelné do IS PSST (informační systém provozního stavu sítě tratí). Většina měřicích prostředků využívá k měření těťivový systém, který lze klasifikovat jako nepřímý způsob měření. Proto jsou hodnoty naměřené těmito systémy přepočteny pomocí matematického modelu s jednotkovou přenosovou funkcí. Měření je rozděleno podle projektované traťové rychlosti do šesti rychlostních pásem, které jsou zásadní pro určení mezí lokálních závad a koeficientů úsekového hodnocení. Dle rychlostního pásma je také přiděleno vhodné vlnové pásmo pro filtraci naměřeného signálu. Standardní vlnová pásma D0 (1 – 5 m), D1 (3 – 25 m), D2 (25 – 70 m) a celkový signál.

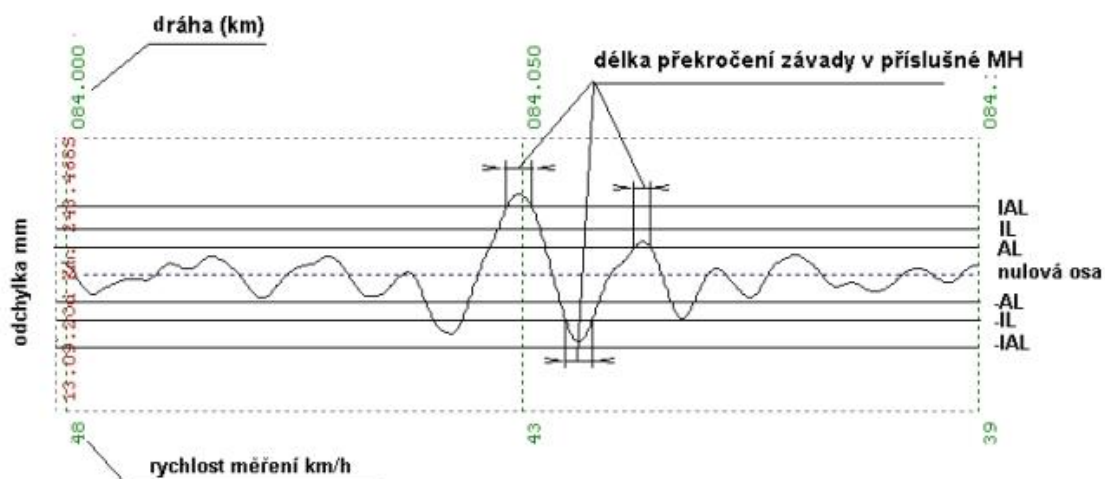
2.3.1 ÚSEKOVÉ HODNOCENÍ

Pro úsekové hodnocení se používají různé metody. Princip je však založen na výpočtu známky kvality pro úsek dané délky. To znamená že pro např. 200 m dlouhý úsek vyjde jedno číslo vyjadřující kvalitu úseku, kterému říkáme právě známka kvality. Tato známka se většinou počítá z dílčích známek kvality pro jednotlivé GPK za pomoci různých statistických a váhových koeficientů.

2.3.2 LOKÁLNÍ ZÁVADY

Výše zmíněná norma ČSN 736360-2 rozděluje předepsané odchylky do dvou kategorií tzv. provozní odchylky (limitní hodnoty při provozu) a stavební odchylky (limitní hodnoty pro přejímku prací na trati). Lokální závadou se myslí právě to, když naměřená hodnota překročí tuto odchylku. Pro jednotlivá rychlostní pásma jsou stanoveny provozní odchylky geometrických parametrů koleje (AL, IL) a mezní provozní odchylky (IAL).

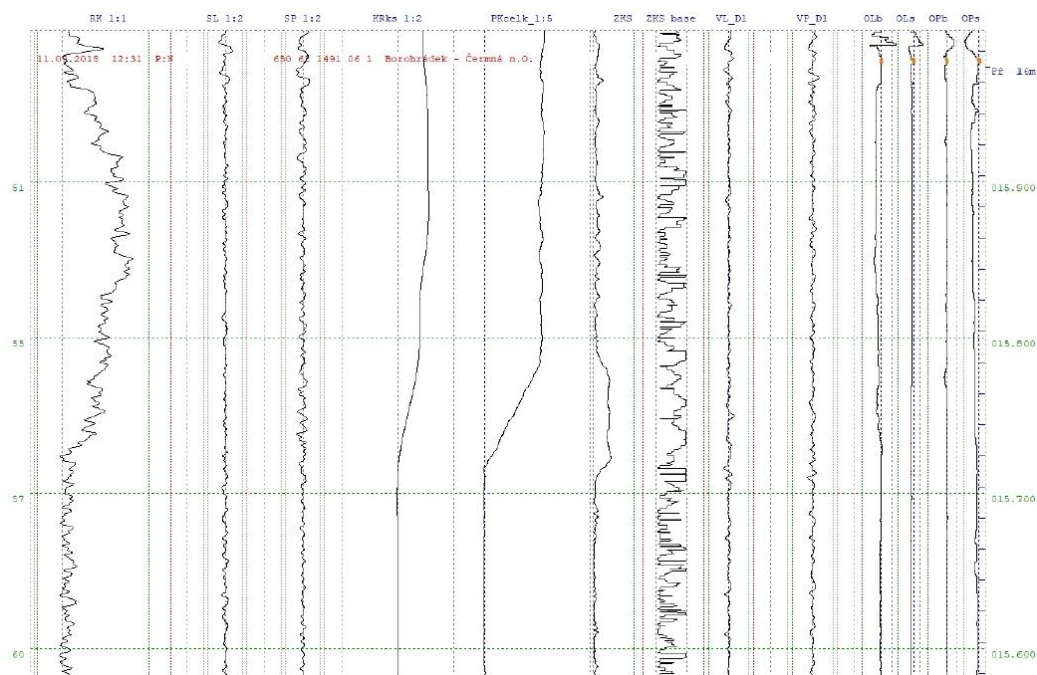
- MEZ SLEDOVÁNÍ „AL“ (ALERT LIMIT) – při překročení hodnoty AL, je třeba stav GPK posoudit a vzít v úvahu při plánování udržovacích prací
- MEZ ZÁSAHU „IL“ (INTERVENTION LIMIT) – pokud je stanovená hodnota překročena, je třeba provést udržovací práce tak, aby před příští kontrolou nedošlo k překročení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



Obrázek 2: Lokální závady [4]

2.3.3 VÝSTUPY DIAGNOSTICKÝCH PROSTŘEDKŮ

Grafická sestava zobrazuje průběh měřených GPK v předepsaném formátu. Výstupní sestavy se ve většině měřicích vozů počítají již během jízdy a ukazují jednotlivé známky kvality GPK, Znamku podbíjení a Celkovou známku kvality.



Obrázek 3: Grafická výstupní sestava [4]

MVT

Postavení: N Datum měření: 11.09.2018 12:31

Strana: 1

650 62 1491 06 1 (1577720)

Zaváděcí soubor:

Borohrádek - Černá n.O.

015,983 011,519

RP 0-5, v08.9b-----MH2010-----

Km: 15

Příčný směr [mm]

ZR

RK

PK

Svislý směr [mm]

ZKS

(zks_max)

VL

VP

RP2 MH1

Objekt

SL

SP

974

887

882

864

837

04+21

03+21

03+21

15+22

PP 16m

nH2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

SDO 20m 1000 900 800 700 600 500 400 300 200 100 0

Směr

Rozchod

Převýšení

Výška

Mez.h1. RK100

Známky kvality

SK

RK

PK

VK

CZK

ZP

015.800

2.30

3.67

1.83

1.39

2.57

1.99

015.600

1.60

2.68

1.63

1.23

1.73

1.30

015.400

1.79

2.09

1.57

1.14

1.60

1.49

015.200

1.64

2.32

1.58

0.91

1.60

1.34

015.000

2.12

2.13

1.88

1.14

1.82

1.81

014.800

1.98

2.12

1.24

1.32

1.73

1.67

Km

1.92

2.56

1.63

1.19

1.87

1.61

Ojetí 20m

1000

900

800

700

600

500

400

300

200

100

0

levé boční

levé svislé

pravé boční

pravé svislé

Obrázek 4: Výstupní sestava úsekového hodnocení [4]

2.4 DIAGNOSTICKÉ PROSTŘEDKY

Měřicí prostředky jsou nepostradatelnou částí pro údržbu provozované trati i přejímku prací (novostavby i rekonstrukce). Při provozu se používají zpravidla speciálně upravené vozy či drezíny určené přímo pro měření GPK. Měřicí jízdy probíhají v časových intervalech dle Vyhlášky 177/1995 Sb. každý rok od března do prosince v závislosti na klimatických podmínkách.

Diagnostické prostředky rozdělujeme dle:

- Záznamu dat
 - Bodové
 - Kontinuální
- Působení na kolej
 - Měření pod zatížením
 - Měření bez zatížení

2.4.1 RUČNÍ ROZCHODKA



Obrázek 5: Foto Ruční rozchodka [6]

Měřicí prostředek k bodovému měření bez zatížení. Využívá se především pro měření lokálních závad ve výhybkách nebo při přejímce prací. Dle účelu se měření se může doplnit o další zařízení (např. pravítko pro měření nástupní hrany).

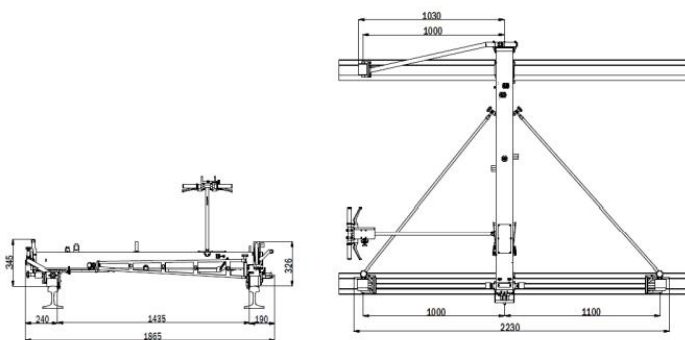
Pomocí rozchodky měříme tyto parametry:

- Rozchod koleje
- Převýšení koleje
- Míry v srdcovkách výhybek (např. míra L a míra A)
- Vzdálenosti a výšky nástupních hran

2.4.2 MĚŘÍCÍ VOZÍK KRAB



Obrázek 7: Foto vozíku Krab [7]



Obrázek 6: Schéma vozíku krab [4]

Vozík se používá ke kontinuálnímu měření bez zatížení. Výstupem vozíku jsou klasické tištěné sestavy, lokální závady a úsekové hodnocení. Maximální rychlost vozíku při měření je 15 km/h a proces měření se ovládá pomocí mobilního zařízení (dnes nejčastěji mobilní telefon).

Princip snímání veličin je založen na mechanickém snímání pomocí kontaktních čidel. Systém snímání GPK je tvořen inklinometrem v kombinaci s těťivovým snímáním pomocí asymetrické těťivy pro jeden kolejnicový pás. Naměřené hodnoty jsou na skutečné hodnoty převedeny pomocí jednotkové přenosové funkce.

Před zahájením měření se měřicí vozík sestaví a usadí na temeno kolejnice. Poté uživatel aktivuje měřicí systémy a ovládá vozík pomocí mobilního zařízení.

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 polohy uživatelem a v následných kilometrických korekcích v průběhu měření.

Měřené geometrické parametry koleje:

- Rozchod koleje
- Směr koleje
- Křivost koleje
- Převýšení koleje
- Zborcení koleje
- Podélná výška koleje

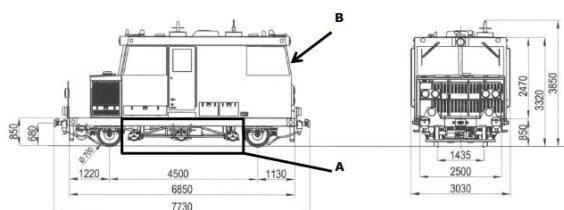
2.4.3 MALÁ MĚŘÍCÍ DREZÍNA – MMD.1 a MMD.2



Obrázek 10 Foto MMD.1 [8]

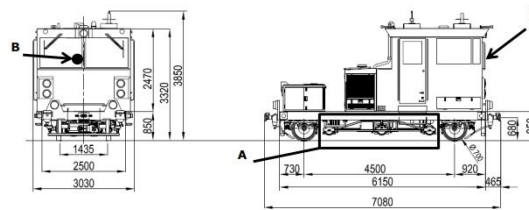


Obrázek 9: Foto MMD.2 [9]



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

Obrázek 11: Schéma MMD.1 [4]



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

Obrázek 8: Schéma MMD.2 [4]

Malá měřicí drezína se používá pro předjízdné koleje pro rychlost nepřevyšující 50 km/h a výhybky projíždí s omezením. Je vybavena kontaktním měřicím systémem pro měření GPK a foto-záznamovým zařízením. Nelze použít v křižovatkových výhybkách bez pohyblivých hrotů srdcovky v přímém směru ani v kolejnicových brzdách na spádovištích. Výstupem jsou klasické tištěné sestavy dle předpisu SŽ S2/4.

Princip snímání veličin je založen na mechanickém snímání pomocí kontaktních čidel. Systém snímání GPK je tvořen kombinací tětiového snímání asymetrickou tětívou pro jeden kolejnicový pás a inerciální jednotky. Měřicí podvozek je samostatná konstrukce, která je pro potřebu měření spuštěna na temeno kolejnice pomocí pneumatických válců.

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

Přesnost polohové identifikace závad GPK je dána jednak přesností snímání dráhy vozu a dále přesností určení polohy drezíny (odhadovaná chyba 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.

Měřené geometrické parametry koleje:

- Rozchod koleje
- Směr koleje
- Křivost koleje
- Převýšení koleje
- Zborcení koleje
- Podélná výška koleje

2.4.4 MĚŘÍCÍ DREZÍNA – EM100



Obrázek 13: Foto EM100 [10]



Obrázek 12: Foto měřicího systému EM100 [10]

Měřicí drezína EM100 je diagnostická jednotka železničního svršku s vlastním pohonem používaná na regionálních tratích. Maximální rychlost pro měření je 100 km/h. Drezína měří geometrické parametry koleje, příčný profil kolejnic a snímkuje trať (foto-záznamové zařízení).

Hlavní měřicí systém vozu je založen na inerciální měřicí jednotce (IMU) ve spojení s informacemi GNSS (Globální družicový polohový systém). Návaznost na kolejnici a snímání příčného profilu zajišťují 4 optické jednotky s lasery. Naměřené signály jsou hodnoceny přímo na voze v reálném čase ve všech základních vlnových pásmech. Drezína během jízdy vyhodnocuje lokální závady a dopočítává jednotlivé známky kvality včetně Celkové známky kvality. Tato data pak odesílá do vyhodnocovacího střediska Správy železnic.

Drezína je vybavena jednotným lokalizačním systémem Správy železnic, který se skládá ze synchronizační jednotky SU a lokalizačního systému MP Host. Celý lokalizační systém komunikuje s měřicími systémy pomocí sítě LAN.

Měřené geometrické parametry koleje:

- Rozchod koleje
- Směr koleje
- Křivost koleje
- Převýšení koleje

- Zborcení koleje
- Podélná výška koleje

2.4.5 MĚŘÍCÍ VŮZ PRO ŽELEZNIČNÍ SVRŠEK – MVŽSv 2



Obrázek 15: Foto MVŽSv 2 [11]



Obrázek 14: Foto MVŽSv 2 [11]

Měřicí vůz je určen k diagnostice železničního svršku na celostátních tratích. Maximální rychlost měření je 200 km/h a na rozdíl od měřících drezín potřebuje externí pohonnou jednotku.

Měřicí technologie na voze:

- Geometrické parametry koleje
- Příčný profil kolejnic
- Mikrogeometrie kolejnic
- Měření laterálního zrychlení a vertikálního zrychlení ložiskových domků
- Profil šterkového lože
- Kontrola průjezdného profilu a osových vzdáleností
- Snímkování trati

Hlavní měřicí systém vozu je založen na inerciální měřicí jednotce (IMU) ve spojení s informacemi GNSS (Globální družicový polohový systém). Návaznost na kolejnici a snímání příčného profilu zajišťují 4 optické jednotky s lasery. Naměřené signály jsou hodnoceny přímo na voze v reálném čase ve všech základních vlnových pásmech. Drezína během jízdy vyhodnocuje lokální závady a dopočítává jednotlivé známky kvality včetně Celkové známky kvality. Tato data pak odesílá do vyhodnocovacího střediska Správy železnic.

Měřicí vůz je vybaven jednotným lokalizačním systémem Správy železnic, který se skládá ze synchronizační jednotky SU a lokalizačního systému MP Host. Celý lokalizační systém komunikuje s měřicími systémy pomocí sítě LAN.

Měřené geometrické parametry koleje:

- Rozchod koleje
- Směr koleje

- Křivost koleje
- Převýšení koleje
- Zborcení koleje
- Podélná výška koleje

2.5 METODY PRO VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH GPK

V současné době existuje mnoho metod, pomocí kterých zhodnotit stav železniční trati pomocí naměřených geometrických parametrů koleje. Tyto metody se mohou výrazně lišit způsobem, jakým s naměřenými daty pracují. Vybrány byly typické metody hodnocení a v této kapitole jsou ukázány jejich základní vlastnosti a odlišnosti mezi nimi.

2.5.1 CELKOVÁ ZNÁMKA KVALITY – CZK

[4] Celková známka kvality se počítá pro úseky na zkoumané trati o délce 200 m, při použití statické metody. Hodnocené úseky se vzájemně nepřekrývají, vždy se do výpočtu hodnocení berou jen ty vzorky, které náleží do daného úseku.

Výpočet CZK je založen na výpočtu směrodatné odchylky (SDO). Zde je vhodné podotknout, že vzorec v předpisu S2/4 pro výpočet směrodatné odchylky není totožný s výpočtem klasické statistické směrodatné odchylky.

Vzorec směrodatné odchylky pro CZK:

$$SDO = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (2.5.1.1)$$

n ... počet vzorků měření

x_i ... odchylka od střednice hodnocené geometrické veličiny

Vzorec klasické směrodatné odchylky:

$$SDO = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.5.1.2)$$

n ... počet vzorků měření

x_i ... odchylka od střednice hodnocené geometrické veličiny

$\bar{x}$... střední hodnota

Jelikož CZK pracuje s dynamickými složkami GPK, kde hodnoty oscilují kolem nuly, tudíž by se střední hodnota měla blížit nule, tak je zbytečné ji do vzorce uvádět. Vzorec (2.5.1.1) se dá však použít pro práci s celkovými složkami GPK, jak je ukázáno v kapitole 4.4 této práce.

Tyto směrodatné odchylky se přepočítají na známky kvality jednotlivých geometrických parametrů pomocí statistických koeficientů, které se mění dle rychlostního pásma dané trati. Tyto koeficienty jsou nastaveny tak, aby známky kvality 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.

Vzorec pro známky kvality jednotlivých GPK:

$$ZKV = 6 * (1 - \exp\left(\frac{-SDO^m}{b}\right)) \quad (2.5.1.3)$$

SDO ... směrodatná odchylka příslušné veličiny

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

Z jednotlivých známek kvality se poté vypočítá Celková známka kvality CZK. Výpočet je doplněn o váhové koeficienty, které zohledňují důležitost jednotlivých GPK. Pro hodnocení je důležitou hodnotou ještě Znamka podbíjení ZP, která se počítá velmi podobně, ale zahrnuje pouze ty parametry, které se dají opravit při průjezdu strojní podbíječkou.

Vzorec pro výpočet Celkové známky kvality:

$$CZK = [k * \max\{(w_{SK} * ZKV_{SK} + w_{RK} * ZKV_{RK}); (w_{PK} * ZPK_{PK} + w_{VK} * ZPK_{VK})\}]^q \quad (2.5.1.4)$$

ZKV ... známky kvality pro jednotlivé GPK

w ... váhové koeficienty jednotlivých veličin

k, q ... koeficienty respektující jednotlivá RP

Vzorec pro výpočet Znamky podbíjení:

$$ZP = [k * \max\{(w_{SK} * ZKV_{SK}); (w_{PK} * ZPK_{PK} + w_{VK} * ZPK_{VK})\}]^q \quad (2.5.1.5)$$

ZKV ... známky kvality pro jednotlivé GPK

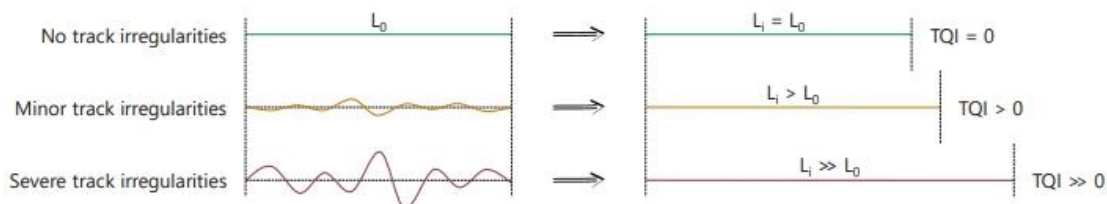
w ... váhové koeficienty jednotlivých veličin

k, q ... koeficienty respektující jednotlivá RP

2.5.2 INDEX KVALITY TRATI TUG_TQI

Tuto metodu v roce 2020 navrhl tým z technické univerzity v Grazu, odtud je i její jméno „The track quality index of Graz University of Technology (TUG_TQI)“. Tato metoda využívá tzv. klouzavou metodu. To znamená, že se vezmou hodnoty z určené délky úseku, a pro střed tohoto úseku se vypočítá index kvality. Celý tento úsek se poté přesune o jeden vzorek dále, a celý výpočet se opakuje pro další hodnocený úsek. [12]

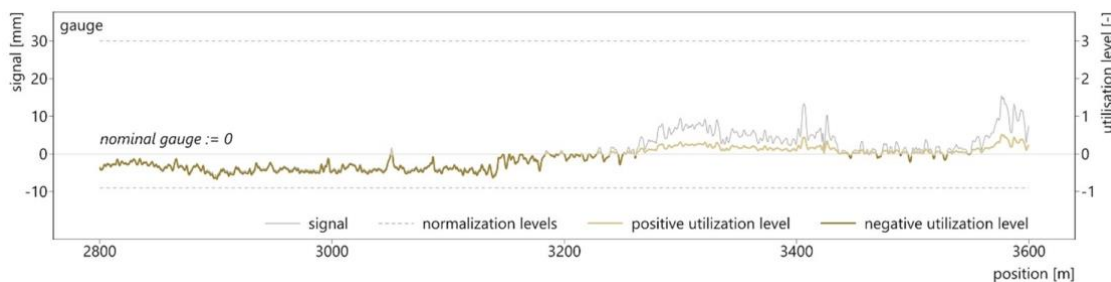
Principem této metody je porovnání délek dvou křivek. Délka první křivky L_i vzniká po normalizaci naměřeného signálu (viz. níže). To znamená že čím více nepravidelností se na měřeném úseku vyskytuje, tím je délka L_i větší. Druhá délka L_0 se bere jako délka křivky úseku bez jakékoliv vady, tudíž hodnotíme – li např. 200 m dlouhý úsek je délka křivky L_0 rovna 200 m. Tyto křivky se poté vzájemně porovnají. Z toho vyplývá, že čím je délka L_i větší, tím je větší hodnota indexu hodnoceného úseku.



Obrázek 16: Délka prostorové křivky [12]

Princip normalizace naměřeného signálu:

Normalizací rozumíme vydělení naměřeného signálu danou hodnotou (v této práci je dále uvažováno s mezí zásahu IL dle ČSN 73 6360-2 pro příslušné rychlostní pásmo). Tím odpadne potřeba použití váhových koeficientů při výpočtu. Každý počítaný parametr může mít svou mezní hodnotu podle které se normalizuje. Výhodou normalizace je možnost pracování s rozdílnými mezní hodnotami pro kladné a záporné hodnoty signálu např. u rozchodu koleje.



Obrázek 17: Ukázka normalizace signálu [12]

Vzorec pro výpočet délky křivky:

$$L_i = \sum_{j=1}^{m-1} \sqrt{(x_{j+1} - x_j)^2 + (y_{i(j+1)} - y_{ij})^2} \quad (2.5.2.1)$$

$x_i, y_i \dots$ hodnoty na souřadnicích

Vzorec pro výpočet jednotlivých indexů kvality TQI:

$$TQI_i = \left(\frac{L_i}{L_0} - 1 \right) * 10^x \quad (2.5.2.2)$$

$L_i \dots$ délka signálu

$L_0 \dots$ délka měřeného úseku

$10^x \dots$ (TQI_i vychází ve velmi malých řádech) zvětšení řádu pro přehlednost

Vzorec pro výpočet celkového indexu kvality TUG_TQI:

Z jednotlivých indexů se poté vypočítá celkový index velmi jednoduše pomocí aritmetického průměru.

$$TUG_TQI = \frac{\sum_{i=1}^n TQI_i}{n} \quad (2.5.2.3)$$

$TQI_i \dots$ jednotlivé indexy

$n \dots$ počet započítaných indexů

2.5.3 SYNTETICKÝ KOEFICIENT J

Tato metoda byla vyvinuta polskými železnicemi v roce 2002. Tato metoda ukazuje kvalitu na základě směrodatné odchylky jednotlivých GPK. Pracuje se těmito čtyřmi parametry koleje: výška koleje, směr koleje, zborcení koleje a rozchod koleje. Vliv rozchodu koleje je zde snížen na polovinu, což má za cíl zmírnit zastoupení rozchodu koleje i v předchozích geometrických parametrech vstupujících do výpočtu. [13]

Rovnice pro výpočet indexu J:

$$J = \sqrt{\frac{SDO_z + SDO_y + SDO_w + 0,5 * SDO_e}{3,5}} \quad (2.5.3.1)$$

$SDO_i \dots$ směrodatné odchylky jednotlivých GPK

Rovnice pro výpočet směrodatných odchylek:

$$SDO = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.5.3.2)$$

n ... počet vzorků měření

x_i ... odchylka od střednice hodnocené geometrické veličiny

$\bar{x}$... střední hodnota

Výsledný syntetický koeficient J je poté porovnán s přípustnou odchylkou, pokud je index J větší než předepsaná odchylka, tak kolej vyžaduje údržbu. Předepsané odchylky jsou určeny pro jednotlivá rychlostní pásma. [13]

2.5.4 INDEX GEOMETRIE KOLEJE TGI

Tento index je rovněž založen na výpočtu směrodatných odchylek. Byl vyvinut indickými železnicemi v roce 2006. TGI se počítá pro 200 m dlouhé úseky, průměrná hodnota těchto úseků pak dává obecnou hodnotu TGI pro každý kilometr trati. Vliv každého měřeného parametru na hodnocení trati je jiný, proto mají při výpočtu různou hodnotu. Index TGI počítá s těmito parametry: podélná výška koleje, zborcení koleje, rozchod koleje a směr koleje. [13]

Vzorec pro výpočet indexu TGI:

$$TGI = \frac{2*UI+TI+GI+6*AI}{10} \quad (2.5.4.1)$$

UI ... index pro podélnou výšku koleje

TI ... index pro zborcení koleje

GI ... index pro rozchod koleje

AI ... index pro podélný směr koleje

Vzorec pro výpočet jednotlivých indexů:

$$UI, TI, GI, AI = 100 * e^{-\left(\frac{SDO_{mes} - SDO_n}{SDO_{maint} - SDO_n}\right)} \quad (2.5.4.2)$$

SDO_{mes} ... směrodatná odchylka naměřených GPK

SDO_{maint} ... předepsaná směrodatná odchylka pro nově položené koleje

SDO_n ... předepsaná směrodatná odchylka pro údržbu

2.5.5 ČÍSLO MDZ-A

Číslo MDZ-A se používá za účelem popisu účinků geometrických parametrů koleje na projíždějící vozidlo. Metoda výpočtu tedy kombinuje výšku koleje, směr koleje a převýšení koleje. Ve výpočtu je také zohledněna maximální traťová rychlost. Vliv rychlosti je zahrnut pomocí exponentu rychlosti v hodnotě 0,65, a představuje efekt odpružení vozidel. [12]

Výpočet čísla MDZ-A:

$$MDZ = c * \frac{1}{L} * V^{0,65} * \sum_{i=1}^{\frac{L}{\Delta x}} \sqrt{(\Delta v)^2 + (\Delta h + \Delta \ddot{u})^2} \quad (2.5.5.1)$$

Δv ... odchylka výšky koleje

Δh ... odchylka směru koleje

$\Delta \ddot{u}$... odchylka převýšení koleje

c ... škálovací koeficient

V ... maximální rychlost

L ... délka zkoumaného úseku

Δx ... měřicí krok

2.5.6 INDEX KVALITY TRATI CN

Index používaný v Kanadě společností Canadian National Railway Company (CN). Výpočet zahrnuje směrodatné odchylky podélné výšky pravé a levé kolejnice, směru pravé a levé kolejnice, rozchodu koleje a převýšení koleje. [12]

Výpočet indexů kvality pro jednotlivé GPK:

$$TQI_i = 1000 - C * SDO_i^2 \quad (2.5.6.1)$$

C ... koeficient zohledňující typ tratě

SDO_i ... směrodatná odchylka parametru

Výpočet celkového indexu kvality:

$$TQI = \frac{\sum_{i=1}^6 TQI_i}{6} \quad (2.5.6.2)$$

TQI_i ... jednotlivé indexy kvality trati

2.5.7 HODNOTA Q

Metoda používaná ve Švédsku používá směrodatnou odchylku podélné výšky koleje a směrodatnou odchylku kombinace směru a převýšení koleje. Ve výpočtu se dále objevují mezní odchylky závisející na typu trati, které by měli zajišťovat požadovaný komfort jízdy. Index se počítá pro úsek délky 1000 m. [12]

Výpočet hodnoty Q:

$$Q = 150 - 100 * \left[\frac{SDO_H}{SDO_{Hlim}} + 2 * \frac{SDO_S}{SDO_{Slim}} \right] / 3 \quad (2.5.7.1)$$

SDO_H ... směrodatná odchylka výšky koleje

SDO_S ... směrodatná odchylka kombinace směru a převýšení koleje

SDO_{Hlim} ... předepsaná směrodatná odchylka výšky koleje

SDO_{Slim} ... předepsaná směrodatná odchylka kombinace směru a převýšení koleje

2.5.8 INDEX PĚTIPARAMETROVÉ ZÁVADNOSTI KOLEJE W_5

Index W_5 nepočítá se směrodatnými odchylkami, ale dává do poměru počet lokálních závad na daném úseku ku celkovému počtu naměřených hodnot. Tyto poměry se počítají jednotlivě pro podélnou výšku koleje (průměr pravé a levé kolejnice), směr koleje (průměr pravé a levé kolejnice), rozchod koleje, převýšení koleje a zborcení koleje. [12]

Výpočet jednotlivých parametrů:

$$W_i = \frac{k}{c} \quad (2.5.8.1)$$

k ... počet lokálních závad v měřeném úseku

c ... celkový počet naměřených hodnot v měřeném úseku

Výpočet celkového indexu:

$$W_5 = 1 - (1 - W_e) * (1 - W_g) * (1 - W_w) * (1 - W_y) * (1 - W_z) \quad (2.5.8.2)$$

W_i ... poměry pro jednotlivé GPK

3 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem diplomové práce je navrhnout metodu pro hodnocení geometrických parametrů koleje, která bude obsahovat nové a moderní poznatky z této oblasti. Bude určena pro správce trati k průběžné kontrole technického stavu trati. Tohoto cíle bude dosaženo splněním dílčích cílů:

- Seznámením se se současně používanými normami a předpisy, platnými v České republice, a jejich představení (kap. 2.1), představit jednotlivé parametry GPK (kap. 2.2) a jejich hodnocení (kap. 2.3)
- Představení diagnostických prostředků používaných na železniční síti v České republice (kap. 2.4)
- Představením různých metod pro vyhodnocení kvality trati z naměřených GPK, používaných ve světě. (kap. 2.5)
- Představení návrhu a výpočtu nového indexu kvality iCP (kap. 4)
- Vyhodnocení indexu iCP, a porovnání se současně používanou metodou CZK (kap. 6) na těchto třech úsecích:
 - Sklené – Křižanov (km 62,400 – 67,400)
 - Velim – Kolín (km 350,400 – 355,400)
 - Malšice – Sudoměřice u Bechyně (km 11,000 – 16,000)
- Analýza indexů iCP v čase a porovnání s CZK, pro zjištění, jak se tato metoda chová při více měřeních po předepsaném časovém intervalu (kap. 7). Časová analýza bude realizována na úseku:
 - Velim – Kolín (km 350,400 – 355,400)

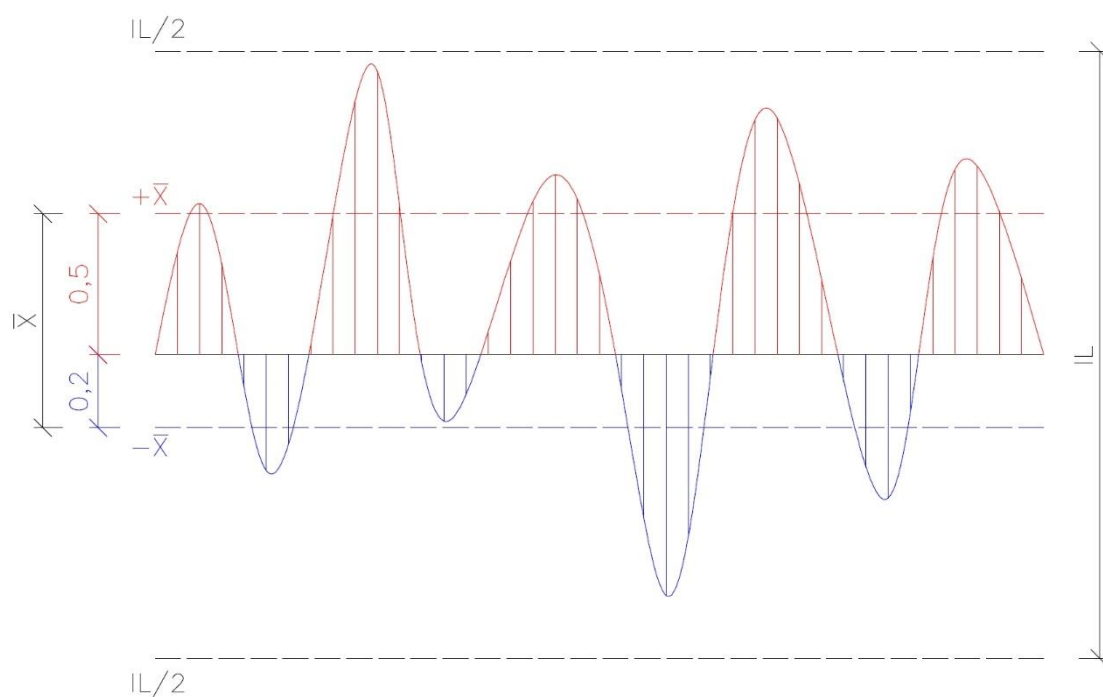
4 NÁVRH INDEXU HODNOCENÍ GPK

Nově navržený index hodnocení GPK pod označením iCP zahrnuje proces normalizace signálů, který je převzat z indexu TUG_TQI (kap. 2.5.2). V této práci je pro normalizaci použita Mez zásahu (IL). Po normalizaci se vypočítá jednoduchý aritmetický průměr pro úsek délky 200 m. Tato délka je převzata z výpočtu CZK (kap. 2.5.1), protože je to pro správce infrastruktury jednoduše interpretovatelný údaj. Výpočet celkového indexu kvality iCP zahrnuje celkem šest parametrů, jsou to:

- Dynamický rozchod koleje
- Dynamické převýšení koleje
- Dynamický směr koleje
- Dynamická výška koleje
- Celkový rozchod koleje
- Celkové převýšení koleje

4.1 DYNAMICKÉ SLOŽKY GPK V iCP

Všechny čtyři dynamické složky parametrů GPK ovlivňují chování vozidla během jízdy po dané trati. Tak bylo přistoupeno i k výpočtu jednotlivých dynamických indexů kvality, proto u bylo dynamických veličin sledováno, jak moc se v průběhu signálu liší kladné a záporné hodnoty. Část vzorce s dynamickými složkami tedy zkoumá především dynamiku vozidla.



Obrázek 18: Princip výpočtu pro dynamické složky GPK

Na obrázku můžeme vidět princip vyhodnocení pro dynamické složky GPK. Naměřený signál se rozdělí na kladné a záporné hodnoty, které se potom normalizují na polovinu Meze zásahu (IL). Pro kladnou i zápornou stranu signálu je na 200 m dlouhém úseku vypočítaný aritmetický průměr záporných vzorků $-\bar{X}$ a kladných vzorků $+\bar{X}$ (vzorkovací interval se může dle potřeby libovolně měnit) dle vzorce:

$$-\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{i<0}}{N} \quad (4.1.1)$$

n ... počet vzorků měření

x_i ... odchylka od střednice hodnocené geometrické veličiny

$$+\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{i>0}}{N} \quad (4.1.2)$$

n ... počet vzorků měření

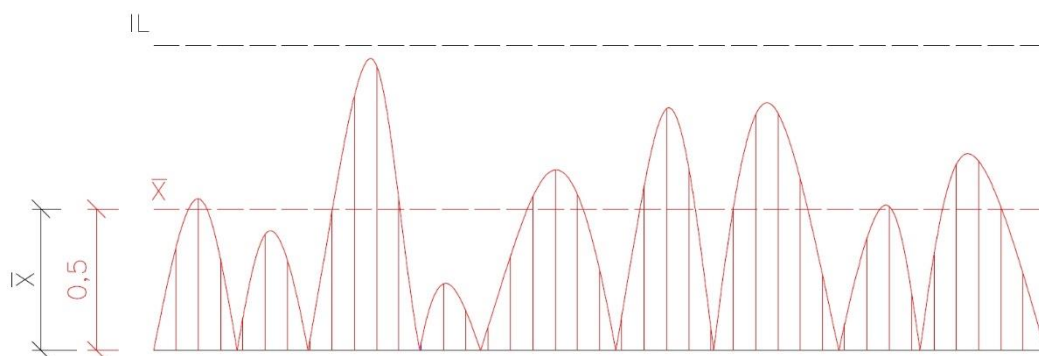
x_i ... odchylka od střednice hodnocené geometrické veličiny

Sečtením absolutních hodnot obou průměrů pak dostáváme výsledný index kvality jednotlivých parametrů iCP_{RK_DYN} , iCP_{PK_DYN} , iCP_{SK_DYN} , iCP_{VK_DYN} .

$$iCP_{i_DYN} = |-\bar{X}| + |+\bar{X}| \quad (4.1.3)$$

4.2 CELKOVÉ SLOŽKY GPK V iCP

Celkové složky pro rozchod koleje a převýšení koleje jsou do výpočtu zahrnuty pomocí pasportních dat tak, že se od naměřených hodnot signálu odečtou hodnoty, které byly na trati naprojektovány. Tyto indexy poté ukazují, jak moc se trať odlišuje od projektovaného stavu.



Obrázek 19: Princip výpočtu pro celkové složky GPK

Zde už signál není rozdělen na kladné a záporné hodnoty, ale pomocí normalizace, kde se záporný vzorek vydělí záporným IL, se všechny vzorky převedou do kladných hodnot. Poté už vypočítám aritmetický průměr pro 200 m úsek, kterým dostávám index kvality iCP_{RK} a iCP_{PK} .

$$iCP_i = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \quad (4.2.1)$$

n ... počet vzorků měření

x_i ... odchylka od střednice hodnocené geometrické veličiny

4.3 VLASTNOSTI INDEXU iCP

Díky normalizaci všechny dílčí indexy iCP_i s nižší hodnotou než IL, vychází jako hodnota mezi 0 a 1, pokud by index dosahoval vyšší hodnoty než 1, drtivá většina vzorků přesahuje Mez zásahu IL. Váhový vliv jednotlivých GPK je započítán pomocí různých Mezí zásahu. Celkový index kvality je poté jejich aritmetickým průměrem.

$$iCP = \frac{iCP_{RK} + iCP_{PK} + iCP_{RK_DYN} + iCP_{PK_DYN} + iCP_{SK_DYN} + iCP_{VK_DYN}}{6} \quad (4.3.1)$$

Tato vlastnost zaručuje jednoduché přidání dalšího zkoumaného parametru do výpočtu, stačí pouze zařídit taková úprava, aby do vzorce vstupoval též s hodnotou mezi 0 a 1 a jeho váhový vliv byl zahrnut stejným principem jako má normalizace.

Tento index je neměnný pro po sobě jdoucí časové intervaly, aby mohl správce trati vidět, jestli se stav trati zhoršuje či ne. Do výpočtu je ale také velmi jednoduché přidat libovolné váhové či statistické koeficienty před jednotlivé členy, pomocí kterých by se dal vzorec upravit např. pro podobné vlastnosti jako má CZK (určité procento tratí nevyhoví). Váhové koeficienty proto doporučuji využít pro výpočet mezních hladin indexu iCP. Tento přístup zajistí, že budou hodnoty indexu porovnatelné v čase a zároveň jej bude možné využít jako ukazatel ekonomického rázu (podobně jako CZK).

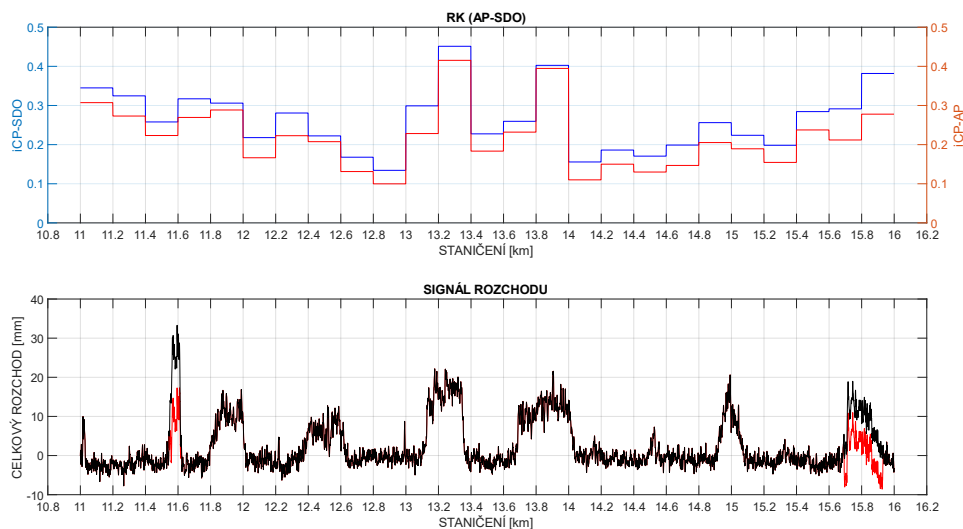
4.4 ARITMETICKÝ PRŮMĚR x SMĚRODATNÁ ODCHYLKA

Pro rozhodnutí, zda při výpočtu indexu iCP použít směrodatnou odchylku (SDO) počítanou dle vzorce (2.5.1.1) či aritmetický průměr (AP), byly indexy kvality počítány oběma metodami. Průběh křivky indexů je velmi podobný. U dynamických veličin vykazuje aritmetický průměr vyšší hodnoty než u směrodatné odchylky. U celkových

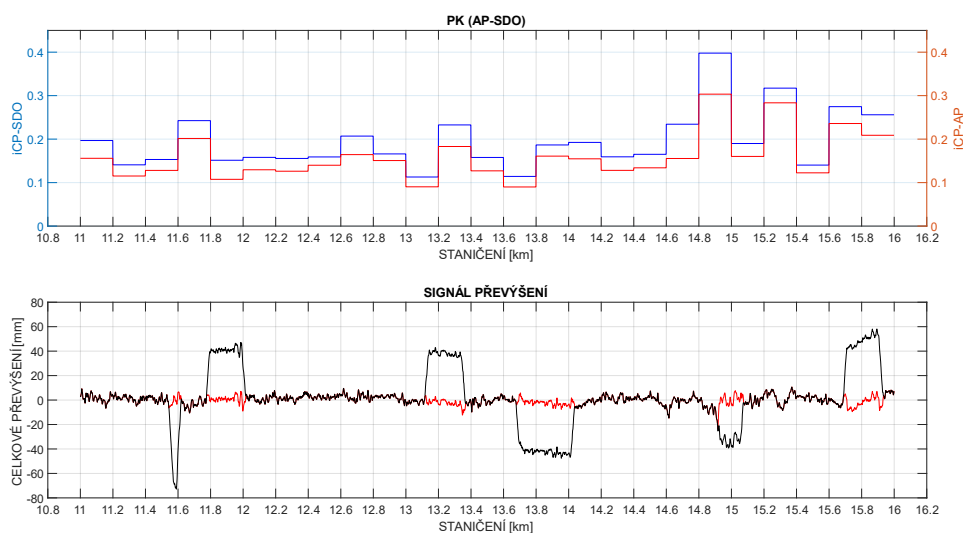
je tomu naopak, je to způsobeno tím, že ze stejných vstupních hodnot má směrodatná odchylka vyšší výslednou hodnotu než aritmetický průměr průměru.

Níže jsou na ukázkou grafy z trati Malšice – Sudoměřice u Bechyně.

4.4.1 GRAFY CELKOVÝCH SLOŽEK GPK



Obrázek 20: Graf RK, trať Malšice – Sudoměřice



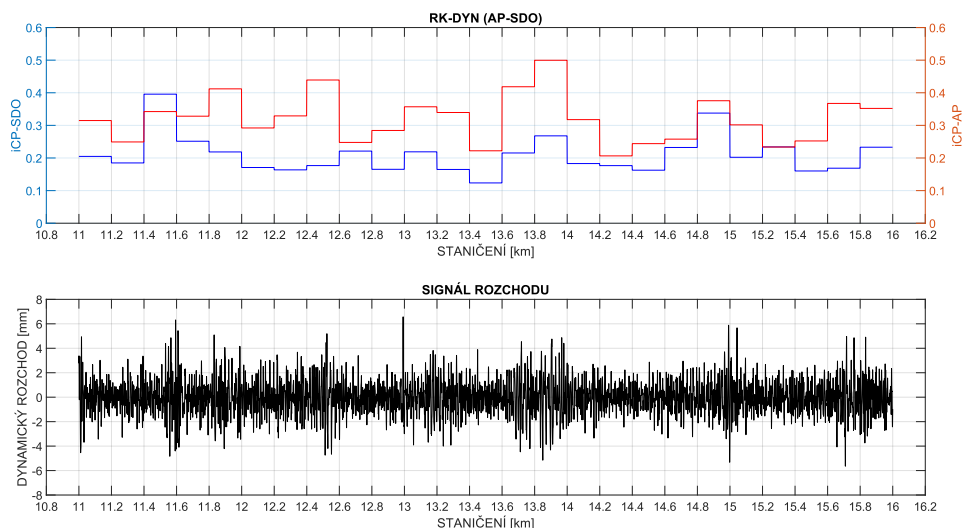
Obrázek 21: Graf PK, trať Malšice – Sudoměřice

Grafy celkových složek rozchodu a převýšení jsou rozděleny na dvě části. V horní polovině vidíme dva průběhy, jeden počítaný pomocí směrodatné odchylky (modrá) a druhý počítaný z aritmetického průměru (oranžová). V dolní části je poté průběh

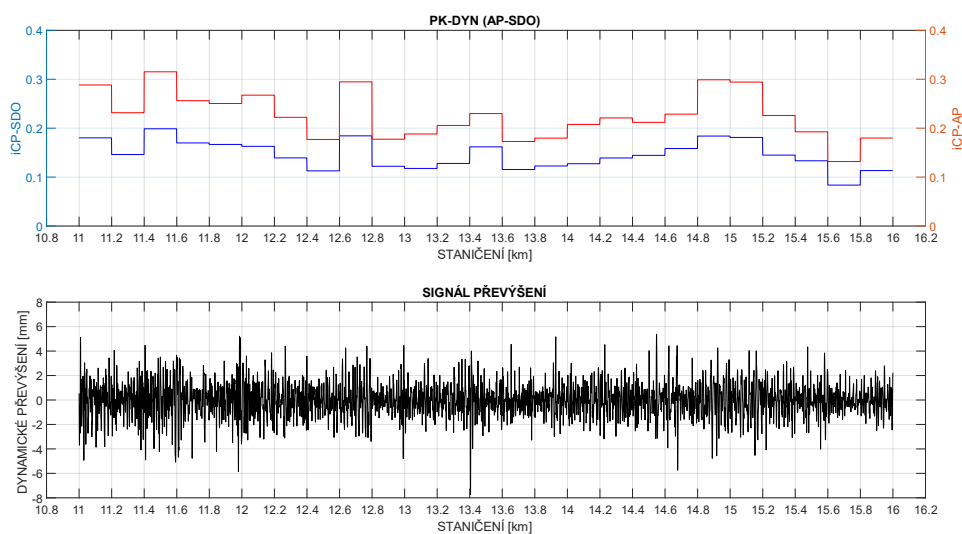
celkového naměřeného signálu (černá) a celkový signál po odečtu pasportních dat (červená).

Průběhy obou indexů jsou velmi podobné, směrodatná odchylka však vykazuje vyšší hodnoty než aritmetický průměr.

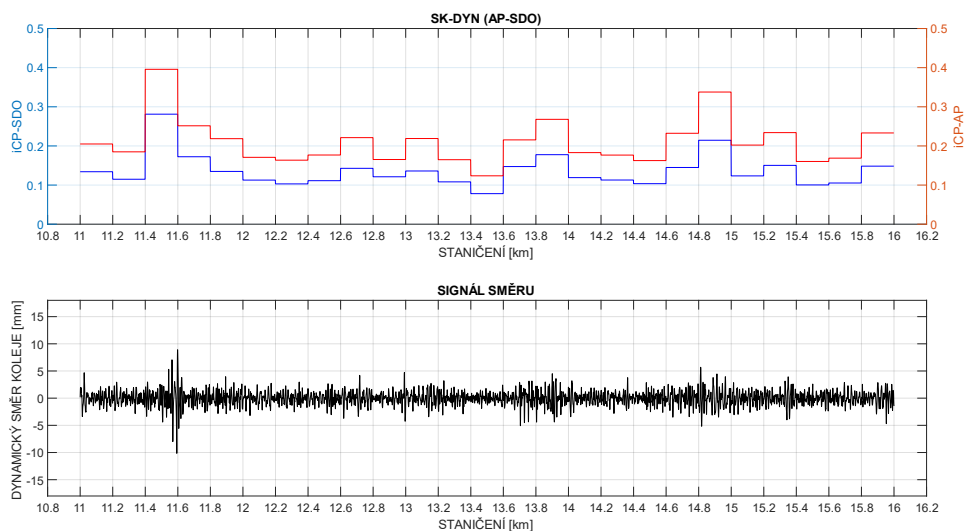
4.4.2 GRAFY DYNAMICKÝCH SLOŽEK GPK



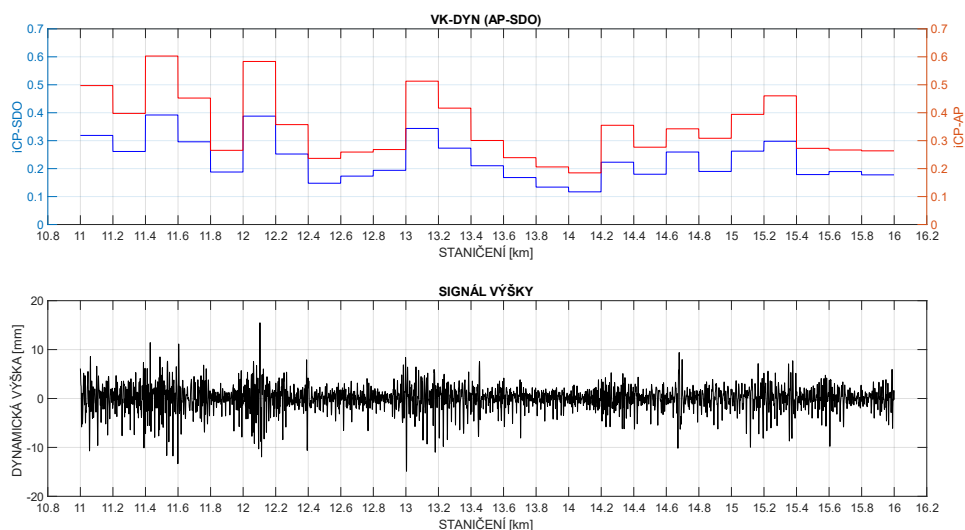
Obrázek 22: Graf RK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice



Obrázek 23: Graf PK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice



Obrázek 24: Graf SK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice



Obrázek 25: Graf VK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice

Grafy dynamických složek jsou též rozděleny na dvě části, kde v horní je opět porovnání průběhů křivek počítaných ze směrodatné odchylky (modrá) a aritmetického průběhu (oranžová). V dolní části je průběh naměřeného dynamického signálu.

Průběh křivek je téměř totožný, zde dosahuje vyšších hodnot naopak index počítaný z aritmetického průměru. To může být z důvodu odlišných váhových vlivů mezi váhovými koeficienty ZKV a Mezí zásahu IL.

Směrodatná odchylka má tu vlastnost, že čím vyšší hodnoty se použijí pro výpočet, tím vyjde vyšší i samotná směrodatná odchylka (jak už je psáno výše). Proto byl pro výpočet indexu iCP vybrán aritmetický průměr. Je to také z důvodu, že aritmetický průměr je jednodušší na výpočet než směrodatná odchylka dle vzorce (2.5.1.1).

5 PRÁCE S DATY

Měřicí krok pro všechny měřicí vozy je 25 cm, na 5 km dlouhém úseku je to veliké množství dat, které je třeba zpracovat. Pro zpracování byl využit program MATLAB.

5.1 POTŘEBNÁ DATA A PRACOVNÍ KONSTANTY

Na začátek je potřeba nahrát upravená vstupní data z měřičských vozů. Upravená v tomto případě znamená doplněná o údaje z pasportních dat. Z celkového rozchodu koleje a celkového převýšení koleje byly hodnoty pasportních dat odečteny v programu Excel ještě před vstupem do hodnocení v programu MATLAB. Pro jednodušší práci byly vybrány stejně dlouhé 5kilometrové úseky.

Celý výpočet se opakuje po jednotlivých hodnocených úsecích, proto je potřeba zadat si i pracovní konstanty pro ukládání jednotlivých výsledků do vektorů. Start a konec jsou meze pro výběr 5 km dlouhého úseku z celé tratě.

```
%% iCP  
DATA = UPRAVENA_DATA_Z_MERICICH_VOZU;
```

```
% Konstanty pro normalizaci
```

```
IL_RK_z = -8;  
IL_RK_k = 33;  
IL_PK = 18;  
IL_SK = 18;  
IL_VK = 20;
```

```
IL_RK_z_DYN = IL_RK_z/2;  
IL_RK_k_DYN = IL_RK_k/2;  
IL_PK_DYN = IL_PK/2;  
IL_SK_DYN = IL_SK/2;  
IL_VK_DYN = IL_VK/2;
```

```
% Pracovní konstanty
```

```
i = 1;  
t = 2;
```

```
o = 1;  
p = 2;
```

```
h = 1;
```

```
start = X;  
konec = Y;
```

5.2 VÝBĚR HODNOCENÉHO ÚSEKU (200 m)

Dalším krokem je načtení vzorků pro zkoumaný 200 m dlouhý úsek. V tomto úseku se poté vypočítají indexy kvality pro jednotlivé GPK. Po vyhodnocení prvního úseku se algoritmus přesune na konec tohoto úseku, kde vybere vzorky pro další 200 m dlouhý úsek. Takto vznikne vektor o 800 prvcích se kterým se dále pracuje. Toto se opakuje, než algoritmus dojde k poslednímu úseku.

```
%% Výběr 200 m úseku
```

```
while true
```

```
    ST = DATA.ST(DATA.ST >= start & DATA.ST <= (start + 0.2));  
    RK = DATA.RK(DATA.ST >= start & DATA.ST <= (start + 0.2));  
    PK = DATA.PK(DATA.ST >= start & DATA.ST <= (start + 0.2));  
    SL = DATA.SL(DATA.ST >= start & DATA.ST <= (start + 0.2));  
    SP = DATA.SP(DATA.ST >= start & DATA.ST <= (start + 0.2));  
    VL = DATA.VL(DATA.ST >= start & DATA.ST <= (start + 0.2));  
    VP = DATA.VP(DATA.ST >= start & DATA.ST <= (start + 0.2));  
    RK_DYN = SP - SL;  
    PK_DYN = VP - VL;  
    SK_DYN = (SP + SL)/2;  
    VK_DYN = (VP + VL)/2;
```

```
    if start >= konec  
        break;  
    end
```

5.3 ROZDĚLENÍ VZORKŮ NA Kladné a záporné hodnoty

Pro hodnocení dynamických složek byl zvolen takový postup, který vyžaduje všechny vektory dynamických složek rozdělit na kladné a záporné hodnoty, se zachováním stejné velikosti vektoru. Tím vznikají problémy, které jsou popsány detailněji v kapitole 5.5 této práce. U celkového rozchodu koleje je tomu tak proto, že pro kladné a záporné hodnoty je jiná mez zásahu IL potřebná pro následnou normalizaci.

```
%% Rozdělení parametrů +, -
```

```
    c = 1;
```

```
    while true
```

```
        if c > length(RK)  
            break;  
        end
```

```
    % Rozchod celkový
```

```
    if RK(c,1) > 0  
        RK_k(c,1) = RK(c,1);  
    elseif RK(c,1) <= 0  
        RK_k(c,1) = 0;
```

```

end

if RK(c,1) < 0
    RK_z(c,1) = RK(c,1);
elseif RK(c,1) >= 0
    RK_z(c,1) = 0;
end

% Rozchod dynamický
if RK_DYN(c,1) > 0
    RK_DYN_k(c,1) = RK_DYN(c,1);
elseif RK_DYN(c,1) <= 0
    RK_DYN_k(c,1) = 0;
end

if RK_DYN(c,1) < 0
    RK_DYN_z(c,1) = RK_DYN(c,1);
elseif RK_DYN(c,1) >= 0
    RK_DYN_z(c,1) = 0;
end

% Převýšení dynamické
if PK_DYN(c,1) > 0
    PK_DYN_k(c,1) = PK_DYN(c,1);
elseif PK_DYN(c,1) <= 0
    PK_DYN_k(c,1) = 0;
end

if PK_DYN(c,1) < 0
    PK_DYN_z(c,1) = PK_DYN(c,1);
elseif PK_DYN(c,1) >= 0
    PK_DYN_z(c,1) = 0;
end

% Směr dynamický
if SK_DYN(c,1) > 0
    SK_DYN_k(c,1) = SK_DYN(c,1);
elseif SK_DYN(c,1) <= 0
    SK_DYN_k(c,1) = 0;
end

if SK_DYN(c,1) < 0
    SK_DYN_z(c,1) = SK_DYN(c,1);
elseif SK_DYN(c,1) >= 0
    SK_DYN_z(c,1) = 0;
end

% Výška dynamická
if VK_DYN(c,1) > 0
    VK_DYN_k(c,1) = VK_DYN(c,1);

```

```

elseif VK_DYN(c,1) <= 0
    VK_DYN_k(c,1) = 0;
end

if VK_DYN(c,1) < 0
    VK_DYN_z(c,1) = VK_DYN(c,1);
elseif VK_DYN(c,1) >= 0
    VK_DYN_z(c,1) = 0;
end

c = c+1;

end

```

5.4 NORMALIZACE SIGNÁLŮ + SLOUČENÍ CELKOVÉHO ROZCHODU

Normalizace je pro tuto práci stěžejním prvkem, a je převzata z Rakouského indexu TUG_TQI (kap. 2.5.2). Pro celkový rozchod koleje je třeba znormalizované kladné a záporné části vektoru opět sloučit s tím, že jsou už všechny hodnoty s kladným znaménkem stejně jako u celkového převýšení.

%% Normalizace + sloučení celkového rozchodu

```

RK_k_N = abs(RK_k / IL_RK_k);
RK_z_N = abs(RK_z / IL_RK_z);
RK_N = RK_k_N + RK_z_N;

PK_N = abs(PK / IL_PK);

RK_DYN_k_N = abs(RK_DYN_k / IL_RK_k_DYN);
RK_DYN_z_N = abs(RK_DYN_z / IL_RK_z_DYN);

PK_DYN_k_N = abs(PK_DYN_k / IL_PK_DYN);
PK_DYN_z_N = abs(PK_DYN_z / IL_PK_DYN);

SK_DYN_k_N = abs(SK_DYN_k / IL_SK_DYN);
SK_DYN_z_N = abs(SK_DYN_z / IL_SK_DYN);

VK_DYN_k_N = abs(VK_DYN_k / IL_VK_DYN);
VK_DYN_z_N = abs(VK_DYN_z / IL_VK_DYN);

```

5.5 VÝPOČET INDEXŮ KVALITY iCP_i

Výpočet indexů kvality je založen na aritmetickém průměru. Pro celkové složky rozchodu koleje a převýšení je v MATLABU použit jednoduchý příkaz „mean“. U dynamických složek, kde je vektor rozdělený na kladnou a zápornou část, je nutno udržet stejnou velikost kladného i záporného vektoru, tzn. v kladné části jsou místo záporných hodnot nuly a naopak. Tyto nuly pak výrazně zmenšují počítaný průměr,

proto jsou pro výpočet dynamických indexů iCP_i použity jen nenulové členy vektoru. Celkový index kvality iCP je pak aritmetickým průměrem dílčích indexů kvality iCP_i .

%% Výpočet iCP

```
iCP_RK = mean(RK_N);
iCP_PK = mean(PK_N);

SUM_RK_DYN_k_N = sum(RK_DYN_k_N);
S_SUM_RK_DYN_k_N = sum(RK_DYN_k_N > 0);
SUM_RK_DYN_z_N = sum(RK_DYN_z_N);
S_SUM_RK_DYN_z_N = sum(RK_DYN_z_N > 0);
iCP_RK_DYN = (SUM_RK_DYN_k_N/S_SUM_RK_DYN_k_N) +
(SUM_RK_DYN_z_N/S_SUM_RK_DYN_z_N);

SUM_PK_DYN_k_N = sum(PK_DYN_k_N);
S_SUM_PK_DYN_k_N = sum(PK_DYN_k_N > 0);
SUM_PK_DYN_z_N = sum(PK_DYN_z_N);
S_SUM_PK_DYN_z_N = sum(PK_DYN_z_N > 0);
iCP_PK_DYN = (SUM_PK_DYN_k_N/S_SUM_PK_DYN_k_N) +
(SUM_PK_DYN_z_N/S_SUM_PK_DYN_z_N);

SUM_SK_DYN_k_N = sum(SK_DYN_k_N);
S_SUM_SK_DYN_k_N = sum(SK_DYN_k_N > 0);
SUM_SK_DYN_z_N = sum(SK_DYN_z_N);
S_SUM_SK_DYN_z_N = sum(SK_DYN_z_N > 0);
iCP_SK_DYN = (SUM_SK_DYN_k_N/S_SUM_SK_DYN_k_N) +
(SUM_SK_DYN_z_N/S_SUM_SK_DYN_z_N);

SUM_VK_DYN_k_N = sum(VK_DYN_k_N);
S_SUM_VK_DYN_k_N = sum(VK_DYN_k_N > 0);
SUM_VK_DYN_z_N = sum(VK_DYN_z_N);
S_SUM_VK_DYN_z_N = sum(VK_DYN_z_N > 0);
iCP_VK_DYN = (SUM_VK_DYN_k_N/S_SUM_VK_DYN_k_N) +
(SUM_VK_DYN_z_N/S_SUM_VK_DYN_z_N);

iCP = (iCP_RK + iCP_PK + iCP_RK_DYN + iCP_PK_DYN +
iCP_SK_DYN + iCP_VK_DYN)/6;
```

5.6 ULOŽENÍ DAT DO MATIC

Celý tento výpočet je pro jeden 200metrový úsek, tato data je teda nutné si uložit pro následné použití (např. do grafu).

```
%% Matice indexů iCP
m_iCP_RK(h,1) = iCP_RK;
m_iCP_PK(h,1) = iCP_PK;

m_iCP_RK_DYN(h,1) = iCP_RK_DYN;
m_iCP_PK_DYN(h,1) = iCP_PK_DYN;
m_iCP_SK_DYN(h,1) = iCP_SK_DYN;
m_iCP_VK_DYN(h,1) = iCP_VK_DYN;

m_iCP(h,1) = iCP;
```

5.7 SYSTÉMOVÉ KROKY

Pro opakování výpočtu je nutno přepsat některé hodnoty, např. aby se výpočet posunul k dalšímu měřenému úseku nebo k dalšímu zapsání indexu do vektoru.

```
%% Systémové kroky

start = start + 0.2;

i = i + 2;
t = t + 2;

o = o + 2;
p = p + 2;

h = h + 1;

end
```

6 HODNOCENÍ A VÝSLEDKY

Index iCP byl pro přehlednost porovnán s Celkovou známkou kvality. Pro tyto účely byly vybrány tři 5 km dlouhé úseky, pro které byl iCP a CZK určen. Tyto úseky už byly vyhodnoceny bakalářské práci *Hodnocení kvality geometrie koleje* [14].

6.1 HODNOCENÉ ÚSEKY

6.1.1 ÚSEK SKLENÉ – KŘIŽANOV

Dvoukolejný úsek Sklené – Křižanov se nachází kousek od města Žďár nad Sázavou. Staničení zkoumaného úseku je od km 62,400 do km 67,400. Této trati náleží rychlostní pásmo RP3. Jsou zde použity pražce B 91T, s nominálním rozchodem 1437 mm. Na úseku jsou použity svěrky Skl 14 s kolejnicemi 60E2. Hodnocená je traťová kolej č. 1.

Použité mezní hodnoty pro RP3:

- $IL_{RK} = -7 \text{ a } +22 \text{ mm}$
- $IL_{PK} = \pm 18 \text{ mm}$
- $IL_{SK} = \pm 14 \text{ mm}$
- $IL_{VK} = \pm 18 \text{ mm}$

6.1.2 ÚSEK VELIM – KOLÍN

Dvoukolejný úsek Velim – Kolín, směřuje z města Kolín na severovýchod. Trať spadá do rychlostního pásma RP3. Železniční svršek na tomto úseku se skládá z pražců B 19S, svěrek Skl 14 a kolejnice 60E2. Zkoumaný úsek má staničení od km 350,4 do km 355,4. Hodnocená je traťová kolej č. 1.

Použité mezní hodnoty pro RP3:

- $IL_{RK} = -7 \text{ a } +22 \text{ mm}$
- $IL_{PK} = \pm 18 \text{ mm}$
- $IL_{SK} = \pm 14 \text{ mm}$
- $IL_{VK} = \pm 18 \text{ mm}$

6.1.3 TRAŤ MALŠICE – SUDOMĚŘICE U BECHYNĚ

Jednokolejný úsek Malšice – Sudoměřice u Bechyně se nachází poblíž města Tábor. Nachází se v rychlostním pásmu RPO. Stará trať s oblouky malých poloměrů. Měřený úsek je ve staničení od km 11,0 do km 16,0. Železniční svršek je tvořen pražci SB 5, podkladnicí TR 5 + svěrkou R a kolejnicí S49.

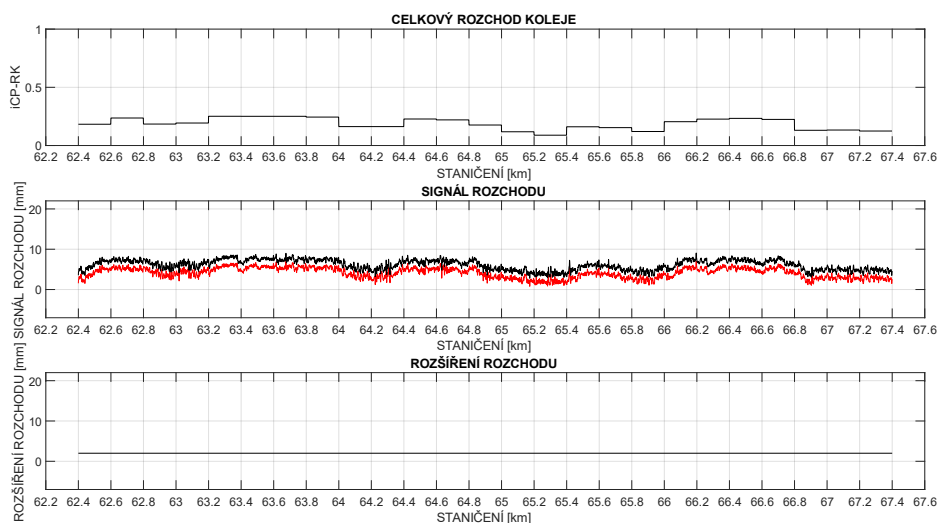
Použité mezní hodnoty pro RPO:

- $IL_{RK} = -8 \text{ a } +33 \text{ mm}$
- $IL_{PK} = \pm 18 \text{ mm}$
- $IL_{SK} = \pm 18 \text{ mm}$
- $IL_{VK} = \pm 20 \text{ mm}$

6.2 HODNOCENÍ CELKOVÝCH SLOŽEK GPK

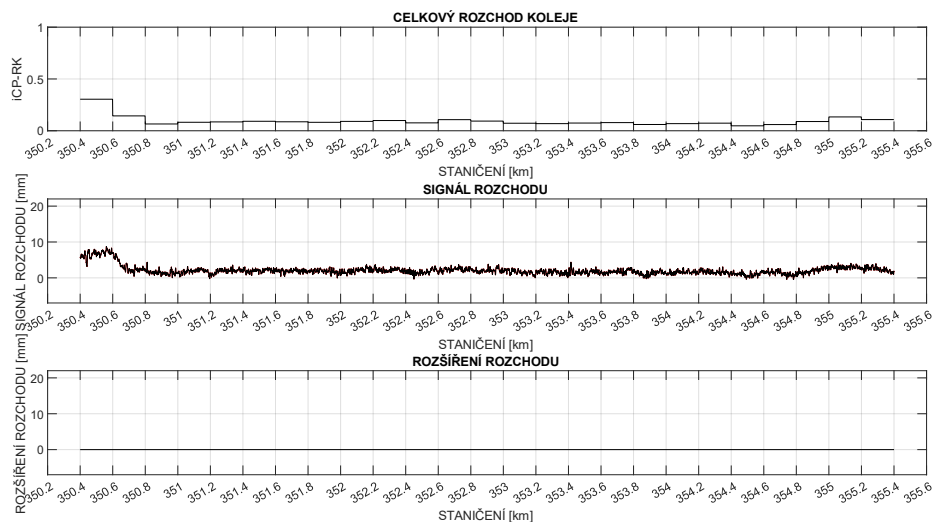
Celková známka kvality ve výpočtu nezahrnuje celkové signály GPK, tudíž zde není indexy iCP_i s čím porovnat. Grafy s celkovými složkami jsou rozděleny do tří částí. Vrchní část ukazuje samotný průběh indexu iCP_i . V prostřední části je průběh celkové části naměřeného signálu (černá), společně s průběhem signálu po odečtu pasportních dat (červená). Dolní část ukazuje navržené hodnoty (pasportní data).

6.2.1 CELKOVÝ ROZCHOD KOLEJE



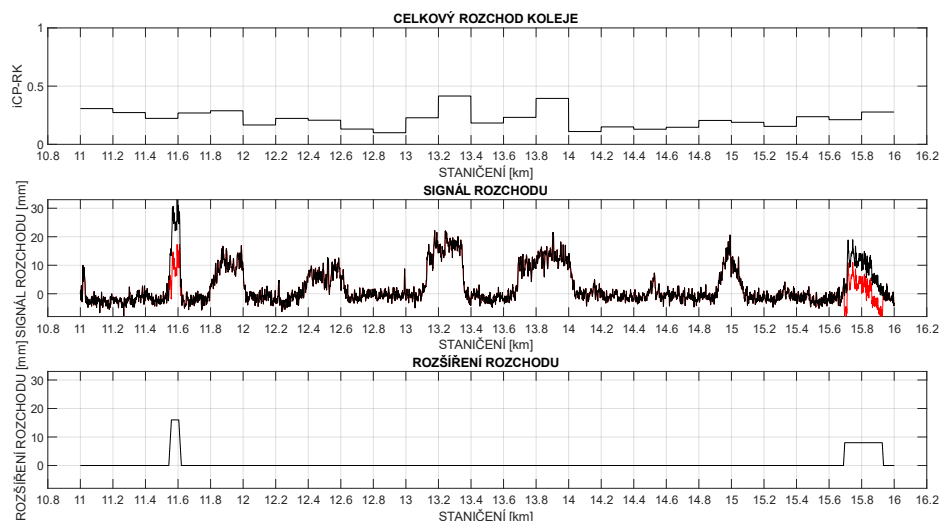
Obrázek 26: Graf iCP_{RK} , trať Sklené – Křižanov

Na této trati jsou pražce s nominálním rozchodem 1437 mm. Měřicí vozy mají však v základu nastaveno 1435 mm, celý úseku je proto brán s rozšířením rozchodu 2 mm. I tak jsou na celém úseku hodnoty rozchodu od nuly výrazně posunuté. Průběh indexu iCP a odečteného signálu je velmi podobný.



Obrázek 27: Graf iCP_RK, trať Velim – Kolín

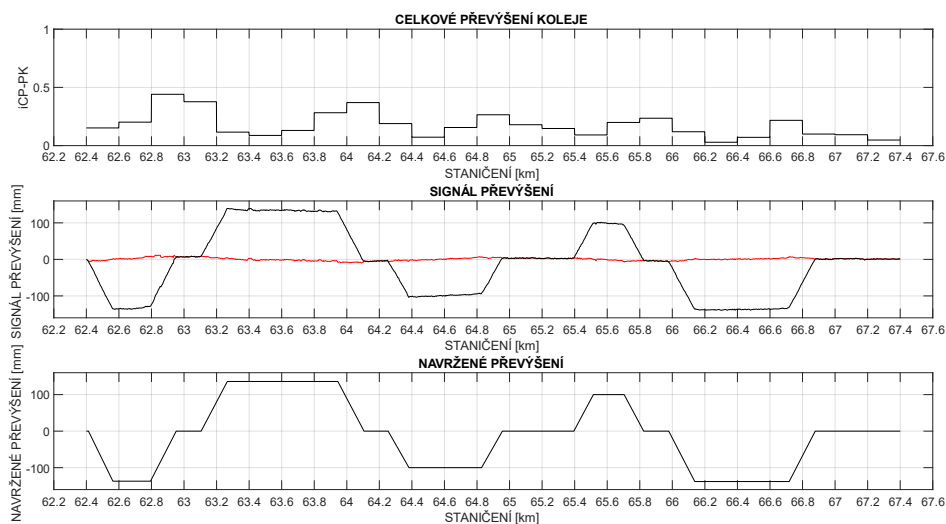
Na tomto úseku není navržené žádné rozšíření rozchodu. Na začátku úseku je však vidět část oblouku, kde dochází k zhoršení hodnot celkového rozchodu koleje. Index iCP v tomto místě vykazuje vyšší hodnoty.



Obrázek 28: Graf iCP_RK, trať Malšice – Sudoměřice

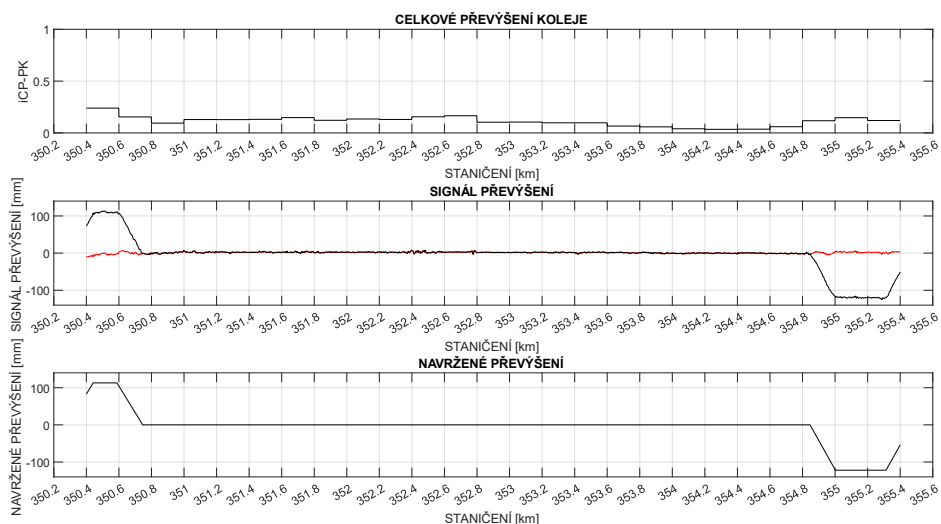
Na tomto úseku jsou taky vidět místa v obloucích, kde dochází k degradaci rozchodu koleje, index iCP opět v těchto místech vykazuje vyšší hodnoty. V obloucích kolem staničení 11,6 a 15,8 je navrženo rozšíření rozchodu, po odečtení pasportních dat dosahují některé hodnoty záporných čísel. I když se tyto hodnoty nachází v rozšíření, ve své práci s těmito hodnotami stejně pracuji jako se zápornými (- IL).

6.2.2 CELKOVÉ PŘEVÝŠENÍ KOLEJE



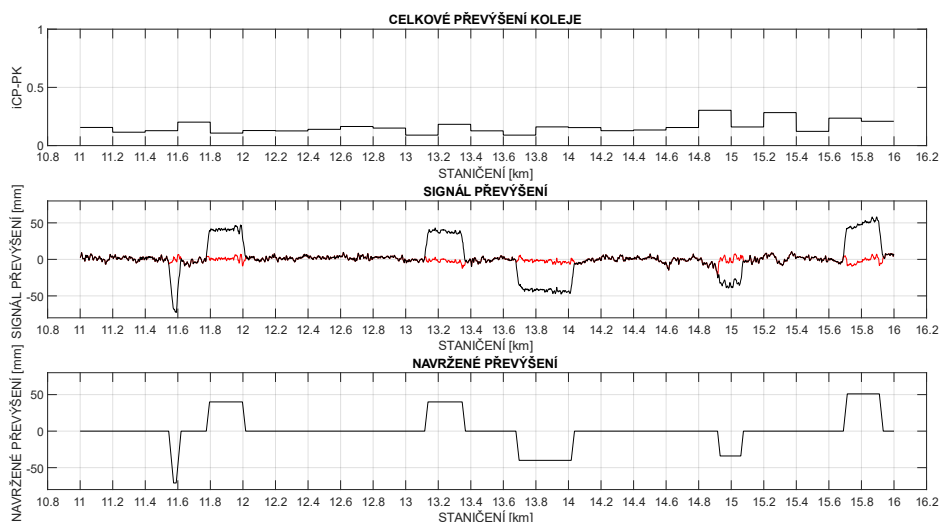
Obrázek 29: Graf iCP_PK, trať Sklené – Křižanov

Pasportní převýšení se odečítá od naměřeného signálu v příslušné kilometrácii. I po odečtení dosahuje signál celkem vysokých hodnot, v těchto místech rostou i hodnoty indexu iCP.



Obrázek 30: Graf iCP_PK, trať Velim – Kolín

V místě kolem staničení 352,4 jsou vidět vady v převýšení koleje, index iCP v tomto místě rovněž stoupá.



Obrázek 31: Graf iCP_PK, trať Malšice – Sudoměřice

Na tomto úseku můžeme opět vidět vysokou degradaci převýšení koleje, průběh signálu po odečtu s průběhem indexu iCP je velmi podobný.

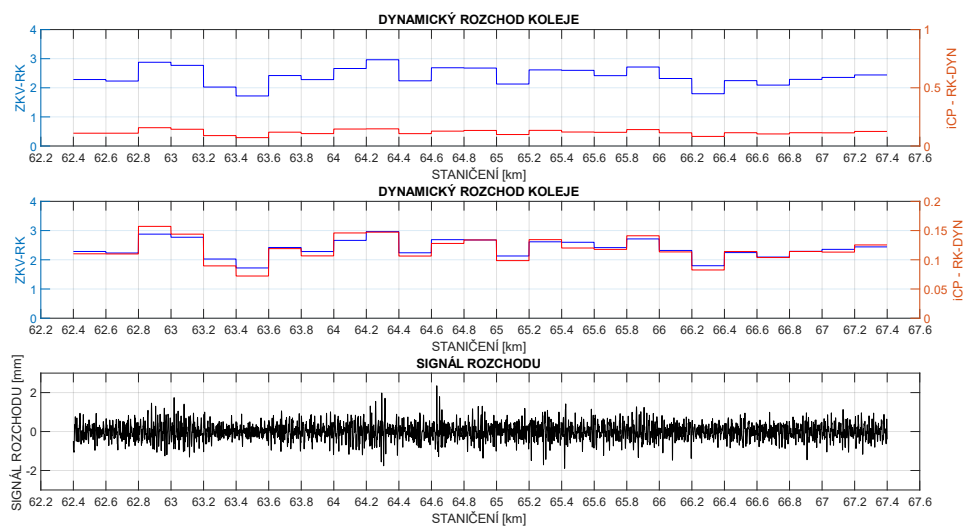
6.2.3 SHRNUTÍ CELKOVÝCH SLOŽEK GPK

V některých místech vykazuje index iCP hodnoty přes 0,4, což znamená že naměřené hodnoty v tomto úseku dosahují téměř poloviny meze zásahu IL. To ve výsledném indexu počítaným aritmetickým průměrem dokáže hodnotu tohoto indexu poměrně zvýšit. Hodnocení celkových složek GPK by se tudíž nemělo přehlížet.

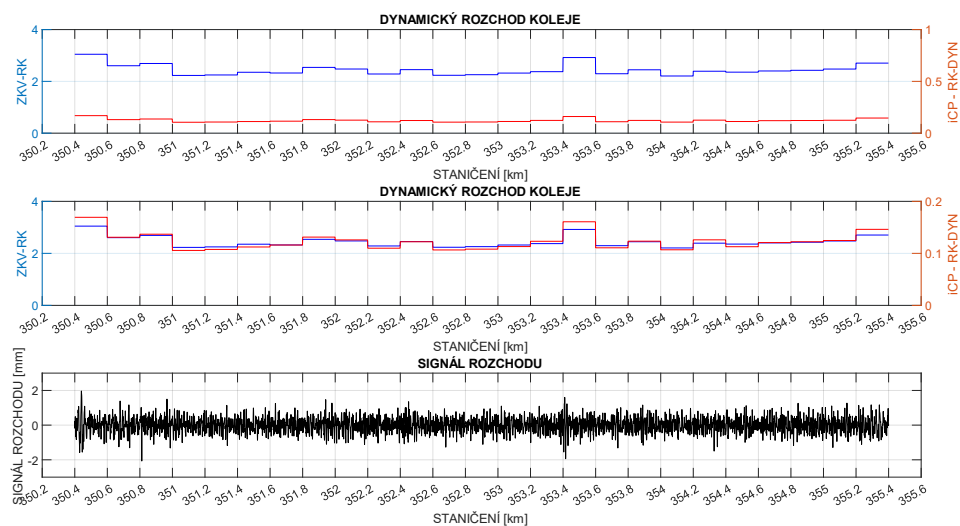
6.3 HODNOCENÍ DYNAMICKÝCH SLOŽEK GPK

Při hodnocení dynamických složek GPK jsou porovnány indexy iCP_i s jednotlivými Známkami kvality. Grafy, které představují práci s dynamickými složkami GPK jsou rozděleny do tří částí. V horní části jsou porovnány průběhy obou metod úsekového hodnocení, tedy ZKV (modrá) a iCP (oranžová). Kvůli porovnatelnosti průběhů obou indexů jsou v prostřední části průběhy posunuty blíže k sobě pro lepší přehlednost. Nejspodnější část grafu poté vyobrazuje průběh dynamického signálu.

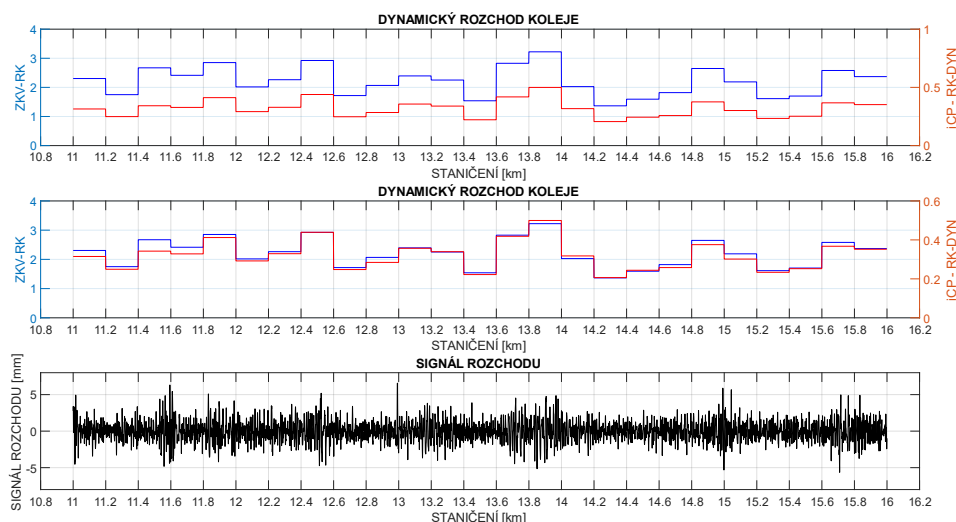
6.3.1 DYNAMICKÝ ROZCHOD KOLEJE



Obrázek 32: Graf RK_DYN, trať Sklené – Křižanov



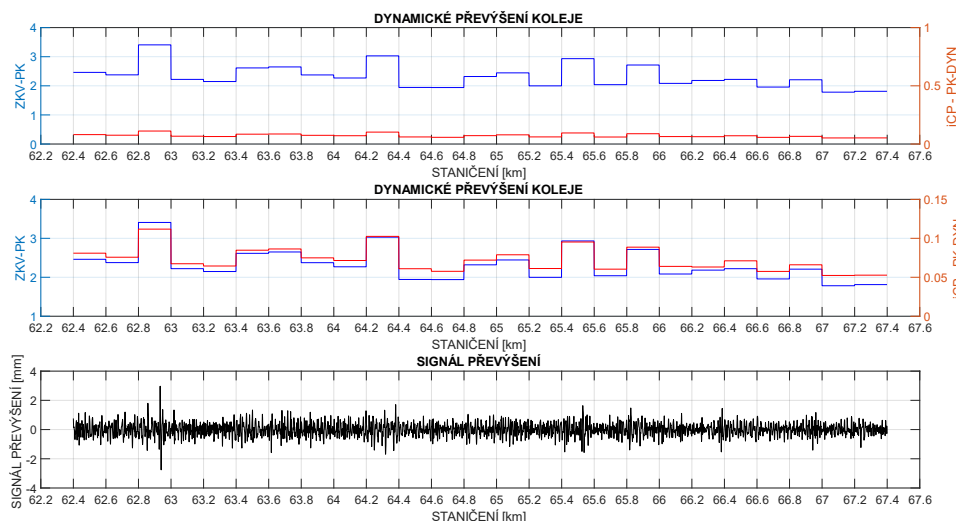
Obrázek 33: Graf RK_DYN, trať Velim – Kolín



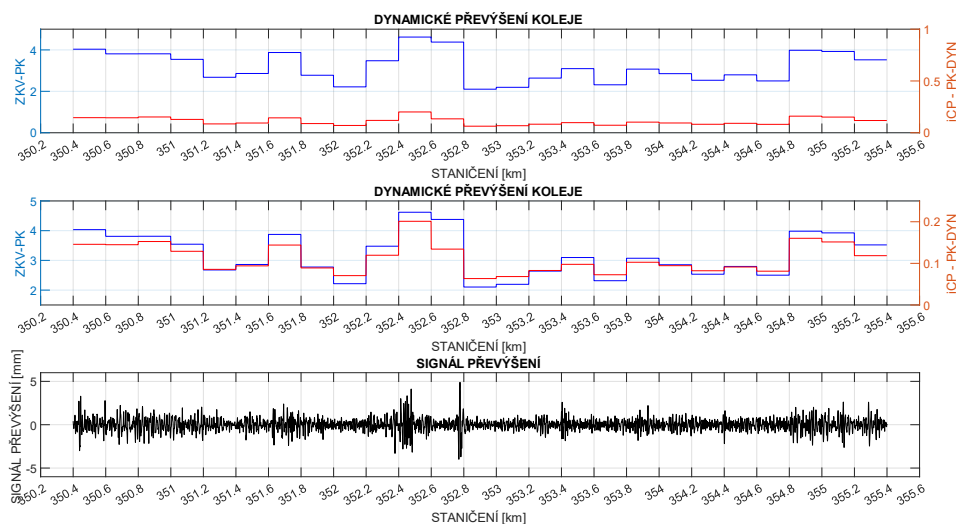
Obrázek 34: Graf RK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice

Všechny grafy popisující dynamický rozchod koleje mají velmi podobné vlastnosti, oba indexy mají podobný průběh. Známky kvality vykazují vyšší hodnoty, ze samé podstaty CZK, která je nastavena 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. Průběhy obou indexů jsou velmi podobné s průběhem dynamického signálu.

6.3.2 DYNAMICKÉ PŘEVÝŠENÍ KOLEJE

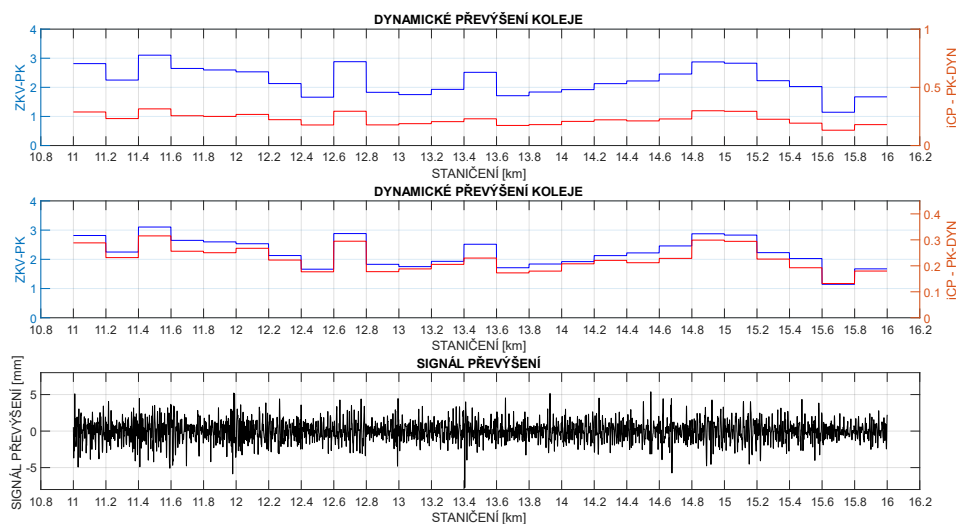


Obrázek 35: Graf PK_DYN, trať Sklené – Křižanov



Obrázek 36: Graf PK_DYN, trať Velim – Kolín

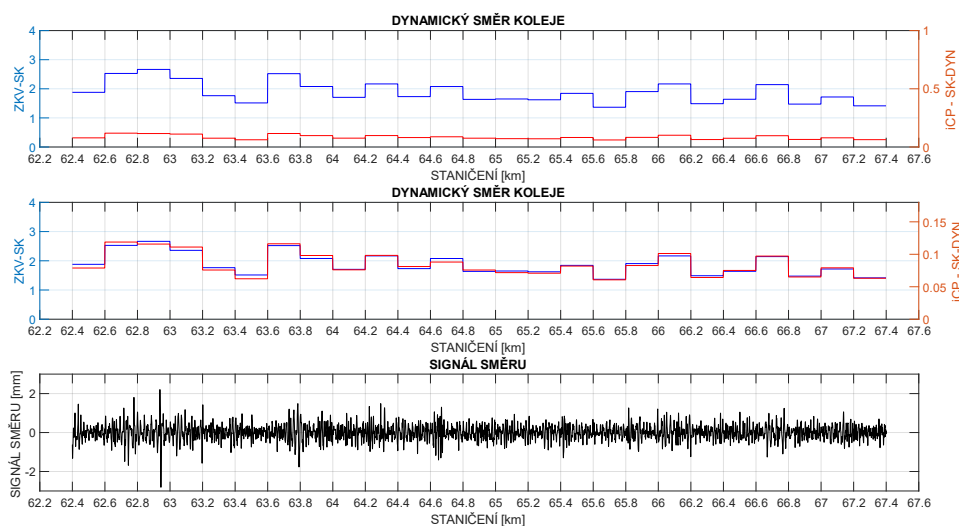
Na tomto úseky si lze na km 352,6 – 352,8 všimnout významného rozdílu mezi indexem iCP a ZKV. Je to způsobeno tím, že index ZKV počítaný pomocí směrodatné odchylky reaguje na krátké a výrazné výchylky citlivěji než aritmetický průměr.



Obrázek 37: Graf PK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice

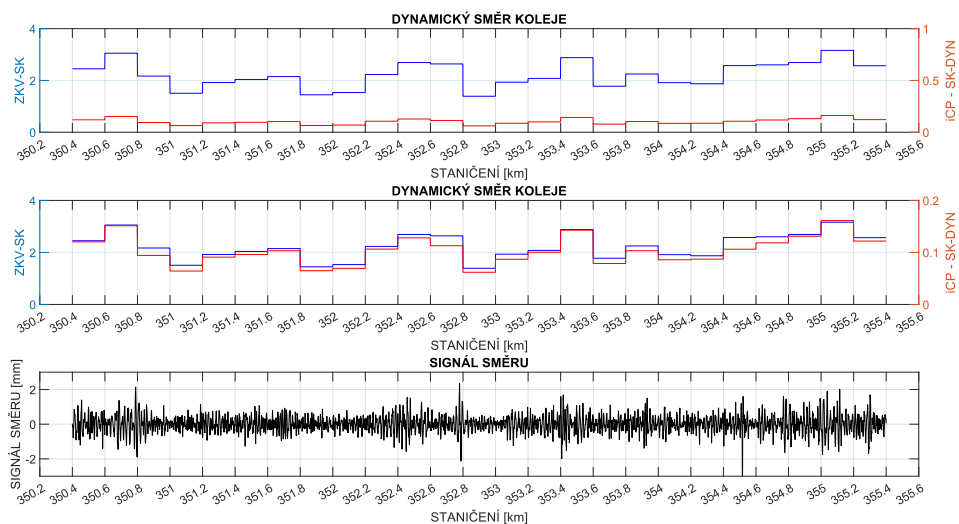
Až na pár 200 m úseků, které tvoří výjimku, se dá říct, že průběhy obou indexů jsou velmi podobné a pěkně kopírují průběh dynamického signálu.

6.3.3 DYNAMICKÝ SMĚR KOLEJE

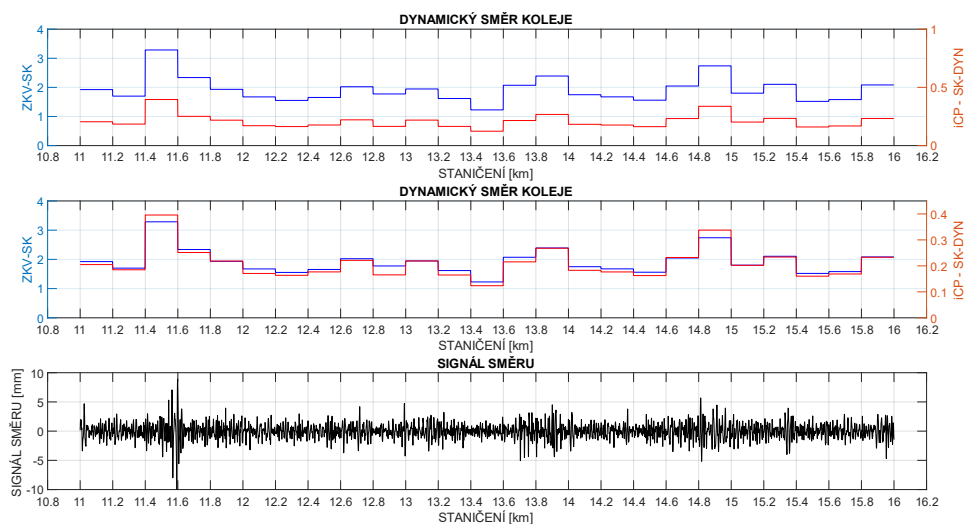


Obrázek 38: Graf SK_DYN, trať Sklené – Křižanov

Dalo by se říct, že na tomto úseku jsou průběhy obou metod jsou téměř totožné a opět pěkně kopírují naměřený signál.



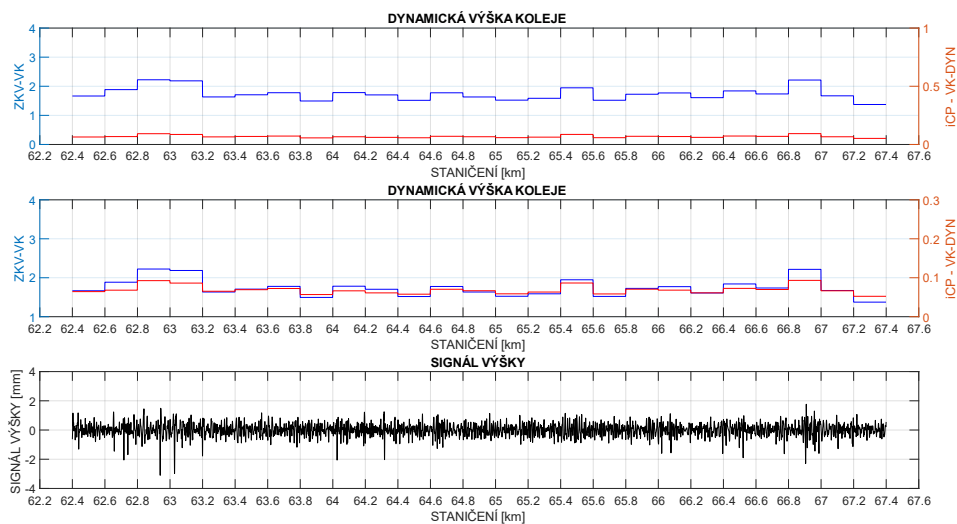
Obrázek 39: Graf SK_DYN, trať Velim – Kolín



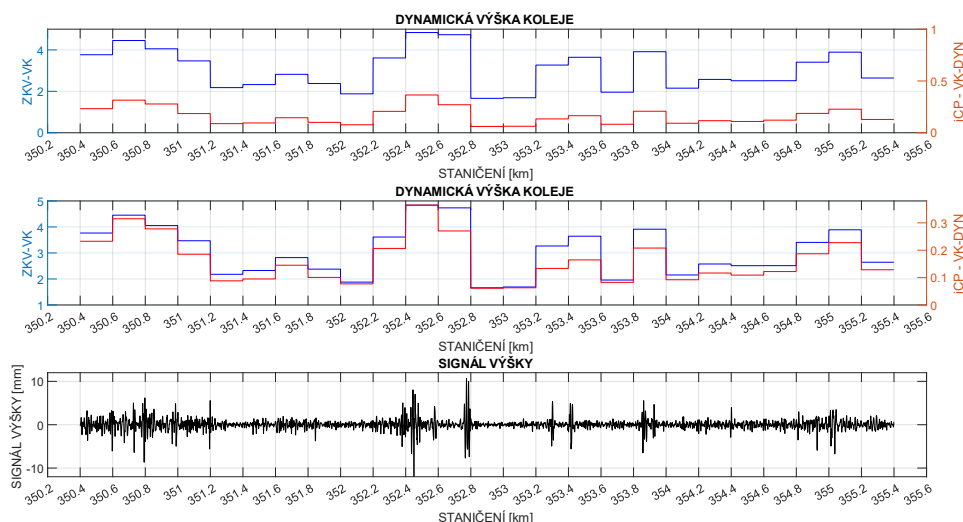
Obrázek 40: Graf SK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice

Všechny grafy popisující dynamický směr koleje ukazují velmi podobný průběh obou indexů.

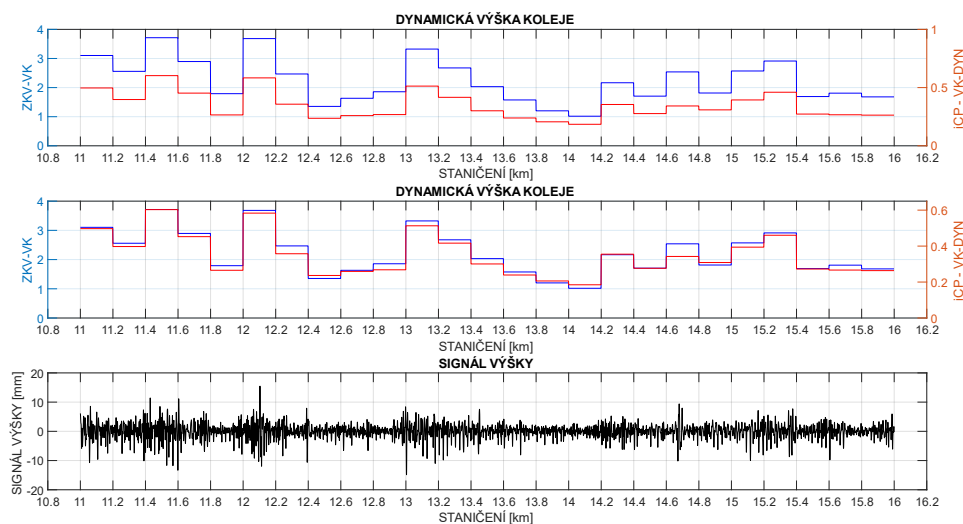
6.3.4 DYNAMICKÁ VÝŠKA KOLEJE



Obrázek 41: Graf VK_DYN, trať Sklené – Křižanov



Obrázek 42: Graf VK_DYN, trať Velim – Kolín



Obrázek 43: Graf VK_DYN, trať Malšice – Sudoměřice

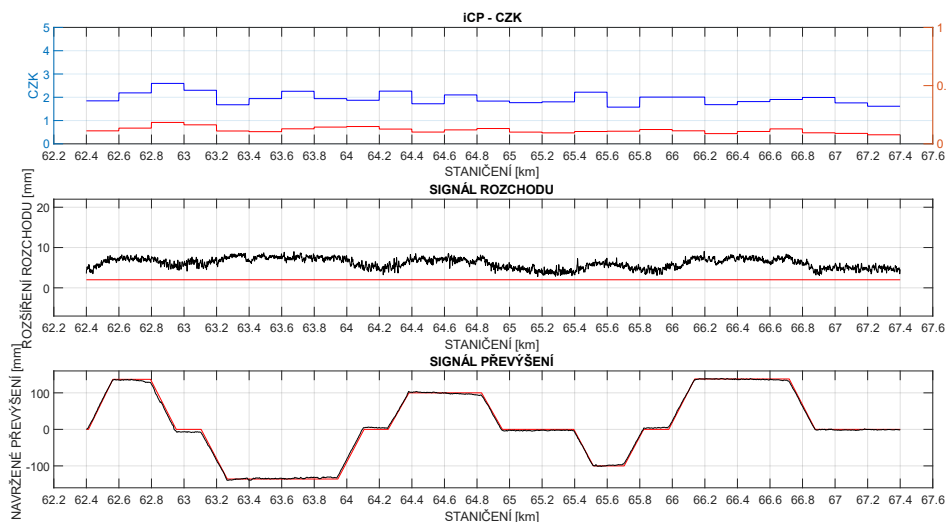
Na všech grafech dynamické výšky můžeme opět vidět velmi podobný průběh obou porovnávaných indexů. Oba průběhy stejně tak kopírují naměřený dynamický signál.

6.3.5 SHRUTÍ DYNAMICKÝCH SLOŽEK GPK

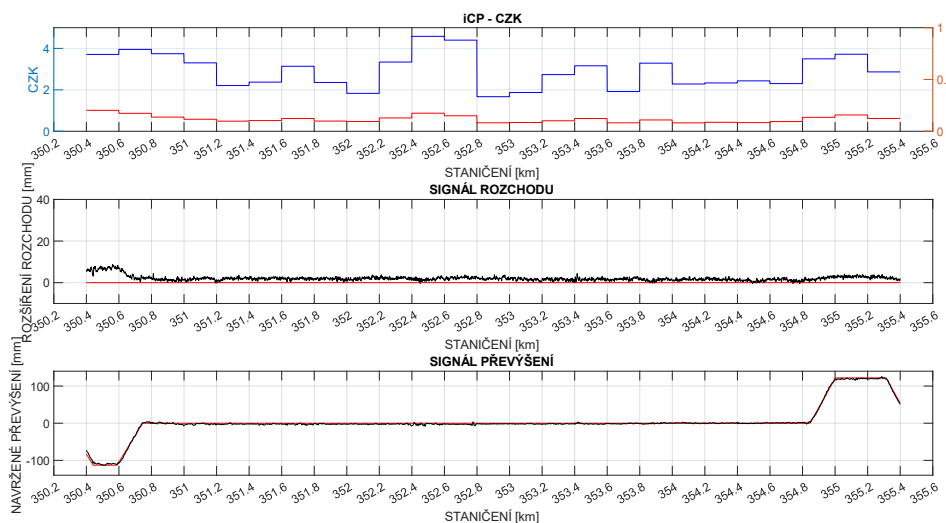
V drtivé většině případů je průběh jednotlivých indexů iCP_i velmi podobný jako průběh jednotlivých ZKV. Jelikož je Celková známka kvality používanou a v praxi fungující metodou úsekového hodnocení, můžeme říct, že nově navržený postup hodnocení dynamických složek GPK nabývá podobného průběhu při využití jednoduchého a transparentního algoritmu.

6.4 HODNOCENÍ VÝSLEDNÝCH INDEXŮ KVALITY

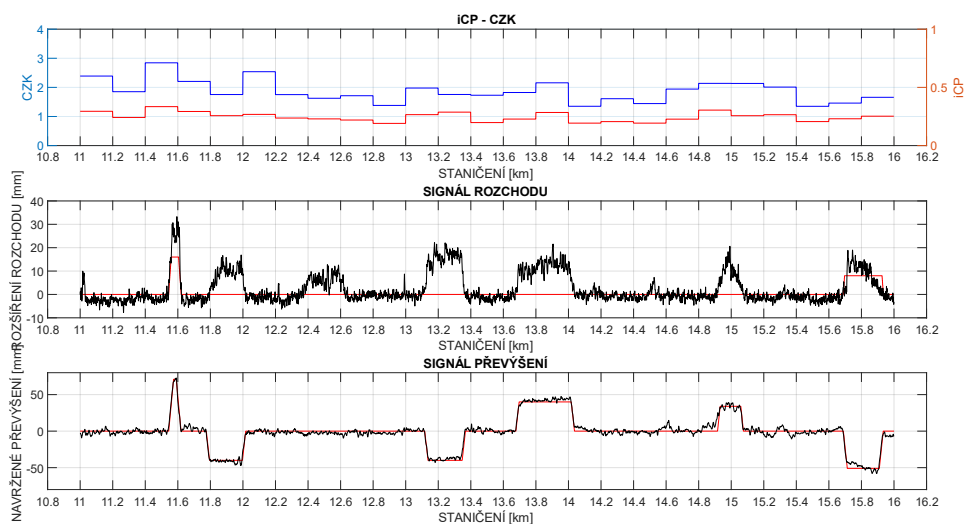
Výsledný index kvality iCP je zde opět porovnán s Celkovou známkou kvality. Grafy pro výsledné indexy jsou rozděleny do tří částí. V horní části je zobrazen průběh indexu iCP (oranžová) a průběh CZK (modrá). V prostřední části je vyobrazený celkový signál rozchodu koleje (černá) a navržené rozšíření rozchodu (oranžová). Dolní část vyobrazuje to samé pro převýšení, tedy celkový signál převýšení (černá), a navržené převýšení (oranžová).



Obrázek 44: Graf iCP/CZK, trať Sklené – Křižanov



Obrázek 45: Graf iCP/CZK, trať Velim – Kolín



Obrázek 46: Graf iCP/CZK, trať Malšice – Sudoměřice

Jelikož index iCP zahrnuje do výpočtu i celkové složky rozchodu koleje a převýšení koleje, tak se průběh v některých místech může lišit od průběhu CZK. Jinak jsou ale oba průběhy opět velmi podobné, dá se tedy opět říct, že index iCP nabývá podobného průběhu při využití jednoduchého a transparentního algoritmu. Další výhodou je, že index iCP je normalizovaný na hodnoty IL s výsledky v rozsahu 0 – 1.

7 ANALÝZA HODNOCENÍ V ČASE

Pro analýzu hodnocení v čase byla použita data z již zmíněného úseku, a to Velim – Kolín. Opět zde porovnávám v čase index iCP s Celkovou známkou kvality. Tato trať náleží do rychlostního pásma RP3, měřící jízdy tedy probíhají 3x do roka. V čase je porovnáno celkem šest měřících jízd z toho tři v roce 2022 a tři v roce 2023.

7.1 CELKOVÉ SLOŽKY GPK

U celkových složek chybí porovnání s ZKV, protože výpočet Celkové známky kvality celkové složky GPK nezahrnuje. Vrchní část grafu zobrazuje průběhy daného indexu v čase. Spodní část pak průběhy daných signálů po odečtu pasportních dat v čase.

7.1.1 CELKOVÝ ROZCHOD KOLEJE



Obrázek 47: Graf iCP_{RK} , trať Velim – Kolín

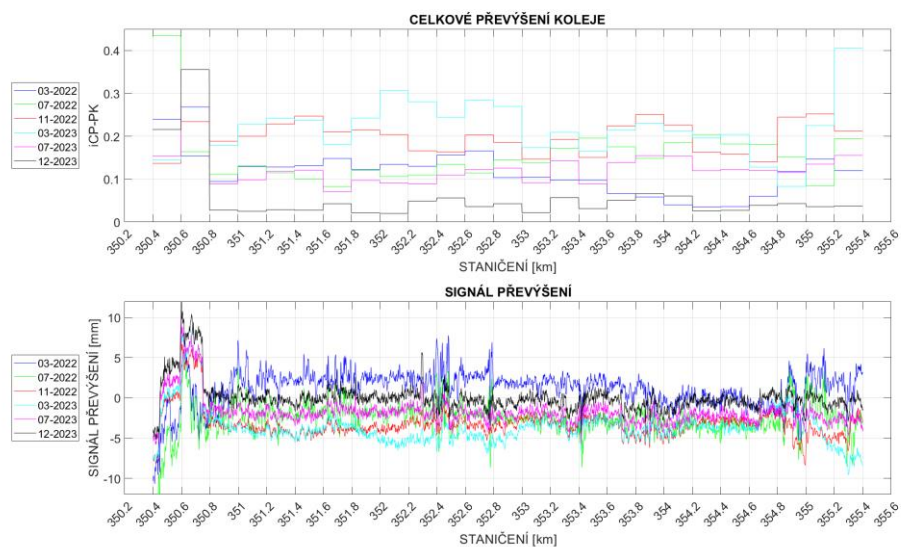
Z grafu je zřejmé, že v roce 2022 mezi druhým a třetím měřením došlo na začátku tohoto úseku k opravě rozchodu koleje. Ukazuje to jak signál celkového rozchodu, tak i index kvality iCP_{RK} . Signály rozchodu jednotlivých měření se liší o velmi malé hodnoty a na grafu jsou velmi blízko u sebe, rozpoznat jejich průběh je tedy obtížné (viz. další graf). Na grafu je ovšem vidět, že měření z července 2023 (fialový signál) je nejbližší k nule, tomu odpovídá i průběh jeho indexu kvality.



Obrázek 48: Graf iCP_RK (detail úseku), trať Velim Kolín

Pro lepší přehlednost byl vybrán detail 400metrového úseku, na kterém lze vidět, jak jednotlivé indexy kvality odpovídají danému signálu.

7.1.2 CELKOVÉ PŘEVÝŠENÍ KOLEJE



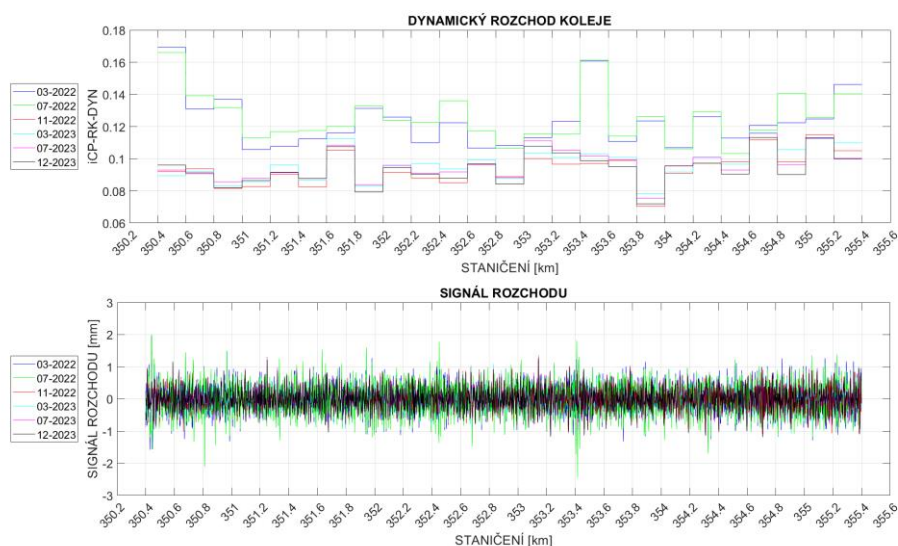
Obrázek 49: Graf iCP_PK, trať Velim – Kolín

V dolní části grafu je vidět, že signál převýšení z prosince 2023 (černá), je nejbližší k nule jeho index tedy vykazuje nejlepší hodnoty. Naopak měření z března 2023 (světle modrý signál), má vysoké záporné hodnoty, jeho index tedy vykazuje nejvyšší hodnoty. Dá se říct, že indexy kvality odpovídají hodnotám signálu.

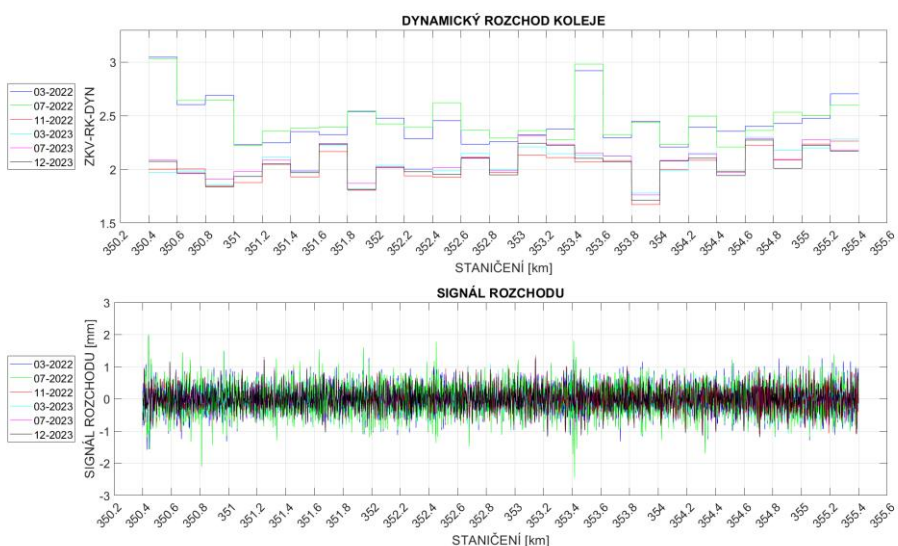
7.2 DYNAMICKÉ SLOŽKY GPK

Pro analýzu dynamických složek GPK v čase jsem bylo použito porovnání indexu iCP_i a známek kvality ZKV. Za zkoumané časové období se statistické koeficienty pro výpočet CZK neměnily. Analýza v čase pro CZK tedy není zatížena proměnností těchto koeficientů a podává hodnoty dobře sledovatelné v čase. V horní polovině grafu jsou uvedeny průběhy daných indexů kvality a ve spodní polovině průběhy dynamických signálů.

7.2.1 DYNAMICKÝ ROZCHOD KOLEJE



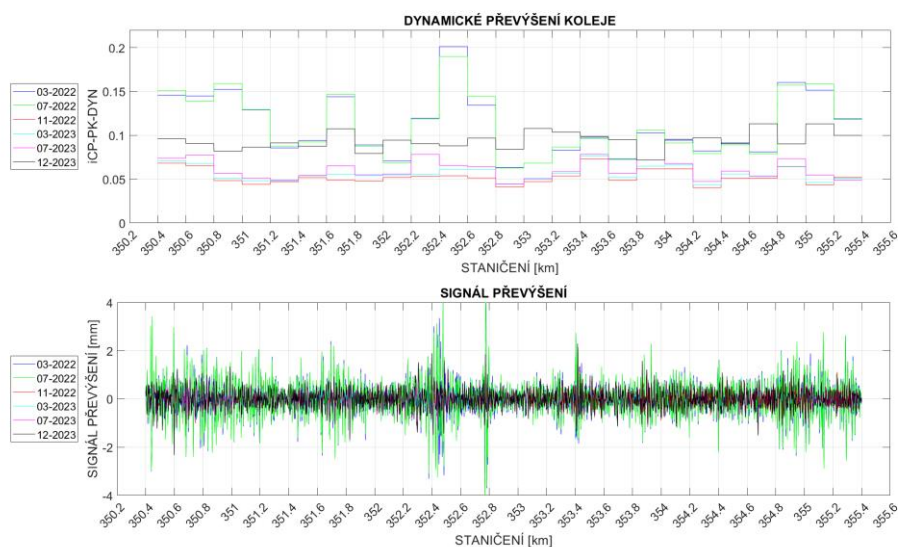
Obrázek 50: Graf iCP_RK_DYN, trať Velim – Kolín



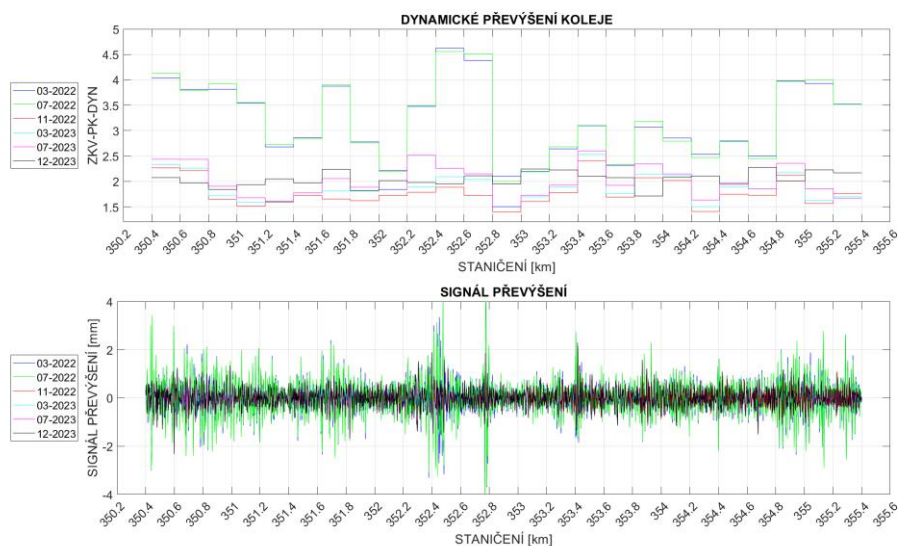
Obrázek 51: Graf ZKV_RK_DYN, trať Velim – Kolín

Vyobrazené dynamické signály nabývají velmi podobných hodnot, v grafu nejsou tedy moc přehledné. Při porovnání indexů kvality RK_DYN můžeme říct, že indexy se chovají velmi podobně.

7.2.2 DYNAMICKÉ PŘEVÝŠENÍ KOLEJE



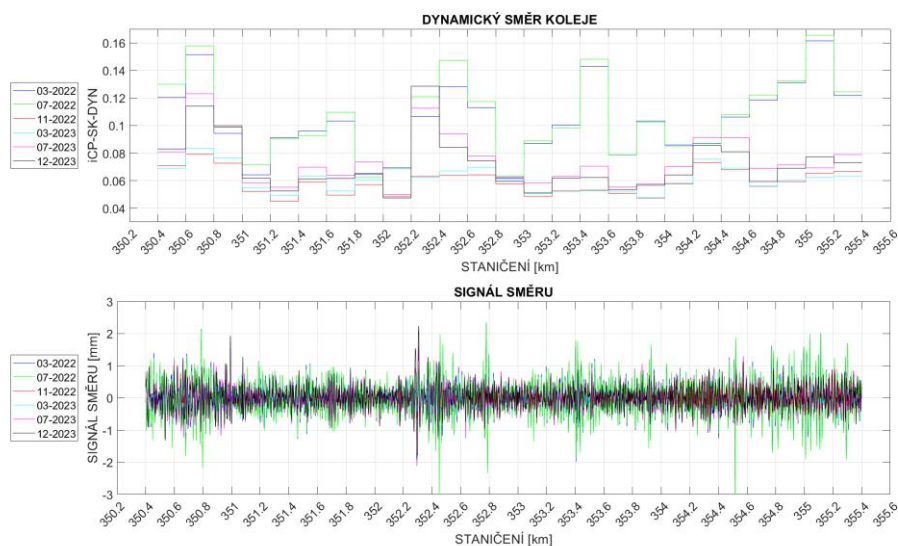
Obrázek 52: Graf iCP_PK_DYN, trať Velim – Kolín



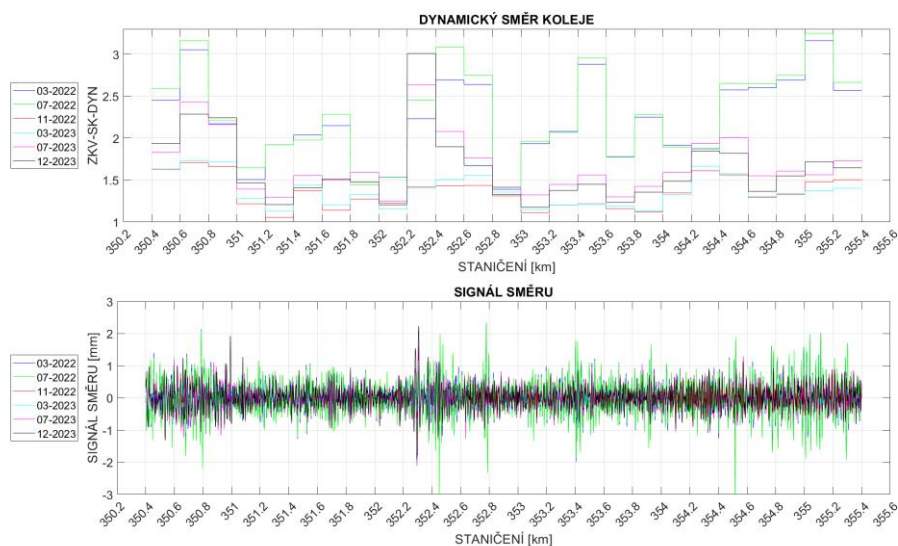
Obrázek 53: Graf ZKV_PK_DYN, trať Velim – Kolín

Měření z března 2022 (modrá) a z července 2022 (zelená), vykazují nejhorší naměřené hodnoty. Oba indexy hodnotící tyto měření vykazují také nejvyšší hodnoty. V úseku km 352,6 – 352,8 se od sebe hodnoty indexů výrazně liší, zde můžeme podotknout, že index ZKV reaguje na výraznou výchylku vyššími hodnotami než iCP.

7.2.3 DYNAMICKÝ SMĚR KOLEJE



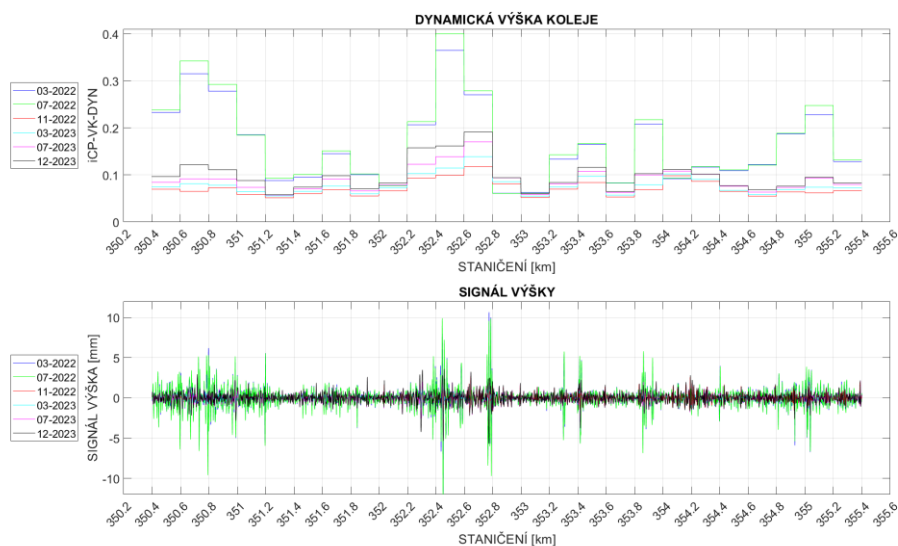
Obrázek 54: Graf iCP_SK_DYN, trať Velim – Kolín



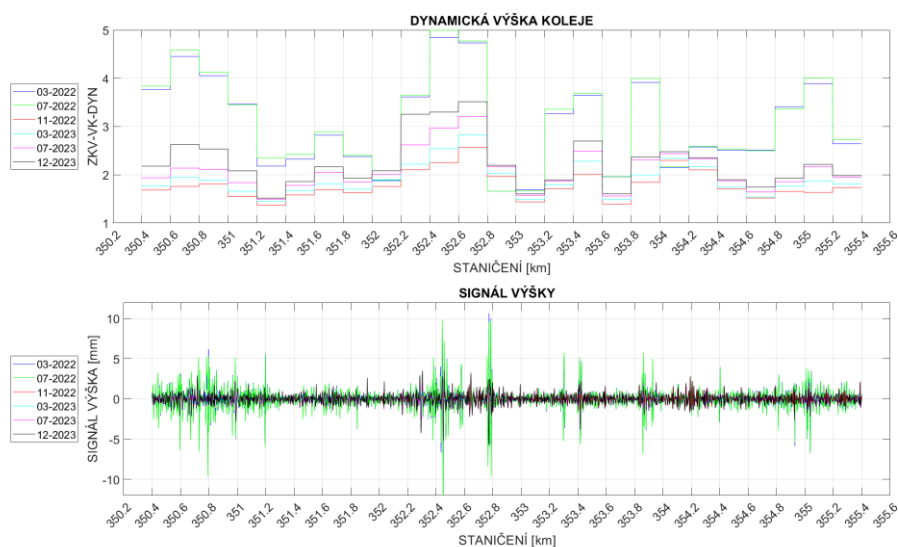
Obrázek 55: Graf ZKV_SK_DYN, trať Velim – Kolín

Oba indexy zde opět vykazují velmi podobný průběh. Na úseku km 352,2 – 352,4 u měření z prosince 2023 vidíme výrazný rozdíl v hodnotách porovnávaných indexů. Zde opět vidíme silnější reakci ZKV na výraznou výchylku.

7.2.4 DYNAMICKÁ VÝŠKA KOLEJE



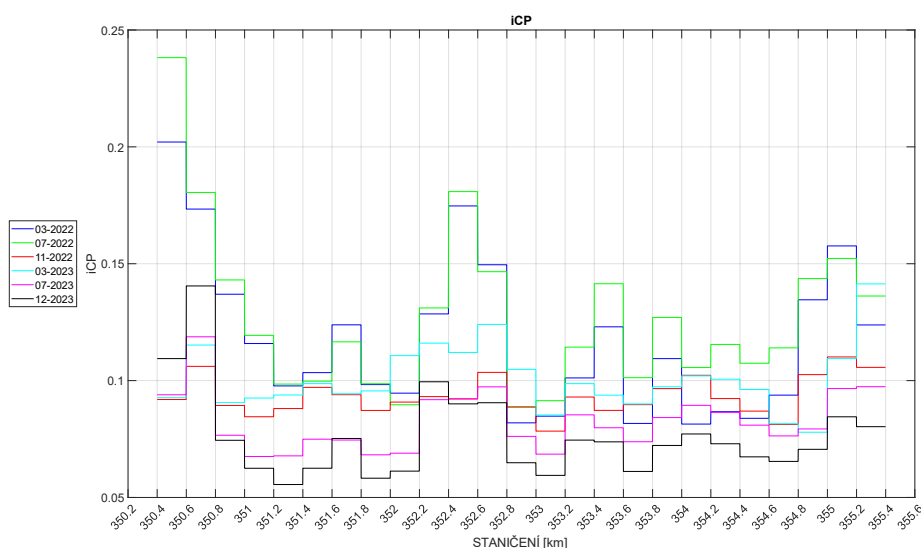
Obrázek 56: Graf ICP_VK_DYN, trať Velim – Kolín



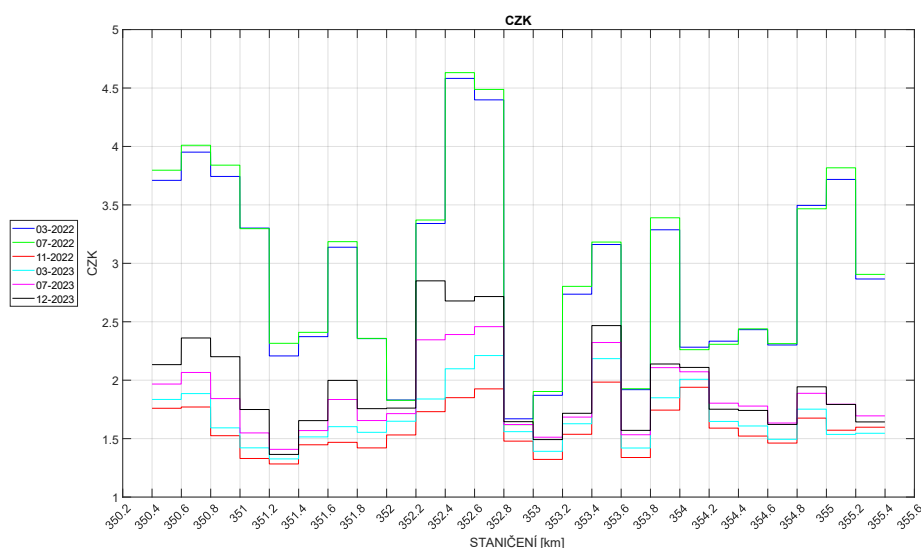
Obrázek 57: Graf ZKV_VK_DYN, trať Velim – Kolín

Na grafech znázorňující dynamické převýšení, je vidět velmi podobný průběh obou porovnávaných indexů kvality.

7.3 CELKOVÝ INDEX KVALITY



Obrázek 58: Graf iCP, trať Velim – Kolín



Obrázek 59: Graf CZK, trať Velim – Kolín

Vysoký rozdíl v hodnotách indexů kvality na začátku úseku je pravděpodobně způsoben započítáním celkových složek do indexu iCP. Jak celkový rozchod, tak celkové převýšení vykazovaly na začátku úseku vysoké hodnoty.

8 ZÁVĚR

V teoretické části této práce (kap. 2) byly popsány normy a předpisy současně používané v České republice (kap. 2.1), dále byly představeny jednotlivé geometrické parametry (kap. 2.2) a jejich hodnocení (kap. 2.3). Byla provedena rešerše diagnostických prostředků používaných v současné době na naší železniční síti (kap. 2.4) a rešerše metod pro vyhodnocení kvality trati používaných ve světě (kap. 2.5).

V praktické části je popsán návrh nového indexu hodnocení trati (kap. 4), zde bylo rozhodnuto, že princip výpočtu indexu kvality iCP bude založen na aritmetickém průměru. Dalším krokem bylo vyhodnocení naměřených dat na zkoumaných úsecích jak indexem iCP, tak CZK (kap. 6). Tyto metody byly vzájemně porovnány. Nakonec byla provedena analýza v čase pro jeden zkoumaný úsek (kap. 7), kde se též porovnávali oba indexy kvality.

Při porovnání obou metod se zjistilo, že nový index iCP má při hodnocení GPK velmi podobné výsledky. Stejně tak se děje při porovnání indexů v časové analýze. Díky těmto zjištěním, lze říct že nový index kvality iCP může v praxi konkurovat Celkové známce kvality.

Hlavní výhodou indexu iCP oproti známce kvality je snadné implementování dalšího parametru do výpočtu (s předpokladem, že se index podaří znormalizovat vhodnou mezní hodnotou, tzn. do výpočtu bude vstupovat s hodnotou mezi 0 – 1). Další výhodou je neměnnost tohoto indexu v čase (za předpokladu stabilních mezních hladin používaných parametrů). Oproti CZK má index iCP snadný princip výpočtu.

Celková známka kvality má oproti indexu iCP velikou výhodu v tom, že statistické koeficienty nastavují výsledné hodnoty tak, aby předepsané procento tratí nevyhovělo. To je velmi dobře použitelný údaj pro správce trati, který tímto může snadno rozdělovat finanční prostředky. Do indexu iCP se dají snadno přidat podobné statistické koeficienty které by zaručil podobné vlastnosti. Další možností, jak dosáhnout této vlastnosti by bylo nastavit mezní hodnoty pomocí váhových koeficientů z CZK. Tento přístup zajistí, že budou hodnoty indexu porovnatelné v čase a zároveň jej bude možné využít jako ukazatel ekonomického rázu.

ZDROJE

- [1] Zákon č. 266/1994 Sb., o dráhách, v platném znění. [cit. 5. ledna 2024].
- [2] Vyhláška č. 177/1995 Sb. Stavební a technický řád drah, v platném znění. [cit. 5. ledna 2024].
- [3] Předpis S2/3 – Organizace a provádění prohlídek a měření na dráze celostátních a drahách regionálních. [cit. 5. ledna 2024].
- [4] Předpis SŽDC S2/4 Předpis pro zajišťování diagnostiky železničního svršku a spodku měřicími prostředky s kontinuálním záznamem. [cit. 5. ledna 2024].
- [5] ČSN 73 6360-2 Konstrukční a geometrické uspořádání koleje železničních drah a její prostorová poloha – Část 2: Stavba a přejímka, provoz a údržba. [cit. 6. ledna 2024].
- [6] SVOBA. [online]. [cit. 2. ledna 2024]. Dostupné z: <https://www.svoba.cz/Rozchodka-SW-OT82-vyhybkova-d2511.htm>
- [7] PRAŽKÉ TRAMVAJE. Pražské tramvaje [online]. [cit. 2. ledna 2024]. Dostupné z: <https://www.prazsketramvaje.cz/view.php?cislocclanku=2011121401>
- [8] BADO, Petr. Traťové stroje [online]. [cit. 2. ledna 2024]. Dostupné z: <https://www.tratovestroje.net/mala-merici-drezina-mmd-1/>
- [9] BRABANEC, Daniel. Stránky přátel železnic [online]. [cit. 3. ledna 2024]. Dostupné z: <http://spz.logout.cz/novinky/novinky.php?poradi=1684>
- [10] SPRÁVA ŽELEZNIC. Centrum techniky a diagnostiky. Měřicí drezína EM100 [online]. [cit. 3. ledna 2024]. Dostupné z: <https://www.tudc.cz/index.php/diagnosticke-prostredky/em100-2/>
- [11] SPRÁVA ŽELEZNIC. Centrum techniky a diagnostiky. Měřicí vůz pro železniční svršek MVŽSv2 [online]. [cit. 3. ledna 2024]. Dostupné z: <https://www.tudc.cz/index.php/diagnosticke-prostredky/mvzsv2-2/>
- [12] OFFENBACHER, Stefan, Johannes NEUHOLD, Peter VEIT a Matthias LANDGRAF. Analyzing Major Track Quality Indices and Introducing a Universally Applicable TQI. [online]. 2020, [cit. 8. ledna 2024]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/23/8490>

- [13] BERAWI, Abdur Rohim Boy Berawi, Raimundo DELGADO, Rui CALÇADA, Cecilia VALE. Evaluating track geometrical quality through different methodologies. [online]. 2010, [cit. 9. ledna 2024]. ISSN 2086-9614 Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/286413084_Evaluating_Track_Geometrical_Quality_through_Different_Methodologies
- [14] JOUDAL, Daniel. *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.
- [15] SPRÁVA ŽELEZNIC. Data z měření diagnostických prostředků.