Daniel Joudal[1], Pavel Kulich[2], Otto Plášek[3]

Porovnání metodik hodnocení kvality geometrie koleje

Klíčová slova geometrické parametry koleje, statistické hodnocení, celková známka kvality koleje

Keywords track geometry parameters, statistical evaluation, overall track quality score

Anotace

V článku je porovnána v současnosti v České republice používaná metodika hodnocení kvality geometrie koleje pomocí celkové známky kvality (CZK) s nově vytvořenou metodikou indexu kvality trati, vyvinutou na Technické univerzitě ve Štýrském Hradci (TU Graz Track Quality Index – TUG_TQI). Cílem porovnání je zjistit vzájemné výhody a nevýhody obou hodnoticích metodik a pomocí nich vypočtených hodnoticích indexů.

Pro tento účel byl vybrán vhodný úsek trati, který byl vyhodnocen pomocí obou metodik. Úsek byl vybrán tak, aby ve výsledcích co nejlépe vynikly vlastnosti obou metodik pro různé parametry tratí z hlediska geometrických parametrů a konstrukce železničního svršku.

Abstract

The paper compares the method currently used in the Czech Republic to assess the quality of track geometry using the overall quality score (CZK) with a track quality index method newly developed at the Technical University of Graz (TU Graz Track Quality Index – TUG_TQI). The aim of the comparison is to find out the mutual advantages and disadvantages of both evaluation methods and the evaluation indexes calculated using them.

For this purpose, the suitable track section was selected, evaluated using both methods and then the results obtained were compared. The selected section was chosen in such a way that the characteristics of both methods for different track parameters in terms of geometric parameters, track quality and superstructure stand out as much as possible in the results.

[1] Bc. Daniel Joudal – Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb, Veveří 331/95, Brno, daniel.joudal@vutbr.cz

[2] Ing. Pavel Kulich – Správa železnic, státní organizace, Dlážděná 1003/7, Praha, 110 00, kulich@spravazeleznic.cz

[3] doc. Ing. Otto Plášek, Ph.D. – Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav železničních konstrukcí a staveb, Veveří 331/95, Brno, otto.plasek@vutbr.cz

Úvod

Současné hodnocení geometrických parametrů koleje (GPK) v České republice vychází z úsekového hodnocení a hodnocení lokálních závad [2]. Všechny měřicí prostředky s kontinuálním záznamem, využívané pro centrální diagnostiku, umožňují obojí způsob hodnocení. Výstupy všech těchto měřicích prostředků musí být převoditelné do Informačního systému provozního stavu sítě tratí (IS PSST). Hodnocení kvality geometrických parametrů koleje je vždy vztaženo k danému rychlostnímu pásmu [1].

Úsekové hodnocení je založeno na výpočtu známek kvality (ZKV) pro úseky dané délky. Pro tyto úseky jsou pak ZKV počítány pro jednotlivé parametry GPK, a to pomocí různých metod a postupů výpočtů. Jednotlivé známky kvality GPK jsou pak zkombinovány do celkové známky kvality (CZK) úseku a známky podbití (ZP). Pro výpočet jednotlivých ZKV je využito koeficientů závislých na daném parametru a rychlostním pásmu [2].

Hodnocení lokálních závad v současnosti vychází ze skutečnosti, že GPK jsou měřeny jako skutečná geometrie koleje nebo jsou na skutečnou geometrii přepočteny, a to pomocí matematického modelu s příslušnou přenosovou funkcí. Norma ČSN 73 6360–2 [1] rozlišuje odchylky GPK dle toho, zda se jedná o přejímku nové trati (stavební odchylky) anebo o provoz trati (provozní odchylky). Pro všechna rychlostní pásma je stanoveno hodnocení provozních odchylek GPK:

- 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.

Index kvality trati vyvinutý na Technické univerzitě ve Štýrském Hradci (TUG_TQI), vybraný k porovnání se současně používanými ZKV, používá pro hodnocení jiný přístup. V případě TUG_TQI se při uplatnění vlivu rychlostního pásma zohledňují hodnoty mezí, sledované pro lokální závady. Při výpočtu tedy lze zohlednit dohodnutou mez daného parametru v daném rychlostním pásmu [3].

Pro výpočet TUG_TQI byla pro porovnání zvolena mez zásahu IL.

Porovnávané metodiky hodnocení GPK

Index celkové známky kvality a známka podbíjení

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

- Známka kvality jednotlivých parametrů (ZKV)
- Celková známka kvality (CZK)
- Známka podbíjení (ZP)

Výpočet CZK a ZP je založen na výpočtu směrodatných odchylek (SDO) pro úseky dlouhé 200 m [2]. Tyto směrodatné odchylky jsou poté přepočítány na známky kvality.

Známky 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 [1, 2].

Výpočet známek se provádí následujícím způsobem:

a) směrodatná odchylka jednotlivého parametru je vypočítána podle vztahu:

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

kde:

n … počet vzorků měření

x_i … odchylka od střednice hodnocené geometrické veličiny

b) Známka kvality jednotlivých GPK je dána vztahem:

$$ZKV = 6 * \left(1 - exp\left(\frac{-SDO^m}{b}\right)\right), \tag{2}$$

kde:

SDO … směrodatná odchylka příslušné veličiny

b, *m* … číselné konstanty stanovené na základě statistik SDO

c) celková známka kvality a známka podbíjení se poté vypočtou:

$$CZK = [k * max\{(w_{SK} * ZKV_{SK} + w_{RK} * ZKV_{RK}); (w_{PK} + ZP_{PK} + w_{VK} * ZP_{VK})\}]^q, \tag{3}$$

$$ZP = [k * max\{(w_{SK} * ZKV_{SK}); (w_{PK} * ZP_{PK} + w_{VK} * ZP_{VK})\}]^q, \tag{4}$$

kde:

ZKV … známka kvality, index označuje příslušný parametr

ZP … známka podbíjení, index označuje příslušný geometrický parametr

w… váhové koeficienty jednotlivých veličin

k, q … koeficienty respektující jednotlivá rychlostní pásma

Index kvality trati TUG_TQI

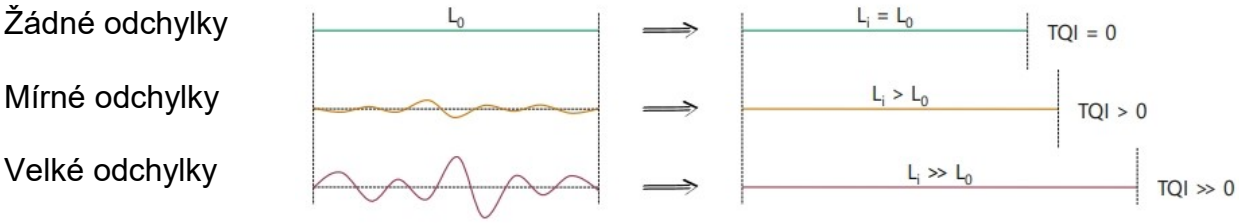
Hlavním cílem indexu kvality trati Technické univerzity v Grazu bylo vytvořit univerzální systém pro hodnocení GPK, který by se dal využít na všech tratích [3]. Index má eliminovat všechny nevýhody dosud používaných metodik, např. počítání vad GPK bez závažnosti, používání subjektivních váhových faktorů atd.

Index byl navržen tak, aby splňoval tyto podmínky:

- popsat celkovou kvalitu geometrie koleje, která zahrnuje jak lokální závady, tak rozptyl jednotlivých signálů,

- opírat se o fyzikální principy a vyhýbat se subjektivním váhovým faktorům,
- umožnit hodnotit kombinaci všech GPK, pro které jsou definované meze,
- použitelnost pro různé konstrukce koleje (rozchod, rychlost atd.),
- nebýt ovlivněn rozšířením rozchodu či projektovanou strmostí ve vzestupnicích.

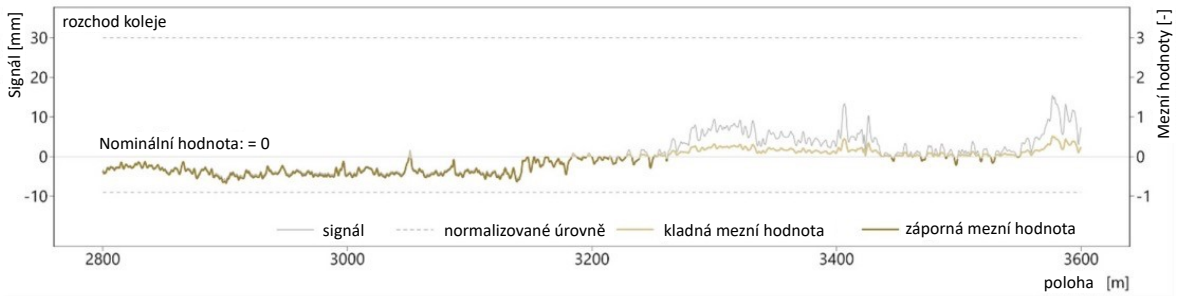
Dílčí indexy kvality pro jednotlivé parametry využívají pro svůj výpočet tzv. délku prostorové křivky. Jedná se v zásadě o délku křivky vytvořené naměřenými odchylkami. Čím je tato křivka delší, tím je index kvality horší [3].



Obr. 1 Délka prostorové křivky a její vztah k odchylkám GPK (3)

Za účelem porovnání konstrukčních a geometrických parametrů koleje a jejich odchylek se jednotlivé signály normalizují. Normalizace signálů se provádí z důvodu zanesení váhy měřeného parametru do celkového hodnocení trati. Normalizace spočívá ve vydělení signálu předem definovanou hodnotou, přičemž lze využít například hodnotu meze zásahu (IL). Pro srovnávací výpočty byly použity meze „IL“ dle ČSN 73 6360-2 [1].

Zajímavá je normalizace signálů, které mají rozdílnou mez zásahu pro kladné a záporné hodnoty odchylek, tj. např. pro parametr rozchod koleje (RK).



Obr. 2 Příklad normalizace parametru RK (3)

Z obr. 2 je patrné, že záporné hodnoty odchylek rozchodu koleje mají po normalizaci mnohem vyšší vliv na délku prostorové křivky než kladné hodnoty, a tudíž mají i větší vliv na hodnotu indexu vztaženého k rozchodu koleje.

Výpočet TUG_TQI probíhá v následujících krocích:

1) Rozdělení parametrů GPK a jejich mezí na kladné a záporné hodnoty, pokud je to zapotřebí. Rozdělují se pouze parametry, které mají jinou mezní hodnotu pro kladné a záporné hodnoty. Pro účely porovnání byly jako mezní zvoleny hodnoty IL.
2) Normalizace všech signálů s ohledem na zvolené nebo stanovené mezní hodnoty.
3) Sloučení všech signálů, u nichž byly zavedeny rozdílné kladné a záporné meze.

4) Vypočet délky prostorové křivky (L_i – viz výše) signálů jednotlivých parametrů dle vztahu:

$$L_i = \sum_{j=1}^{m-1} \sqrt{(x_{j+1} - x_j)^2 + (y_{i(j+1)} - y_{ij})^2}, \quad (5)$$

kde:

x_j … poloha normalizované hodnoty parametru

y_j … hodnota normalizovaného parametru

5) Výpočet dílčího indexu kvality (TQI_i) pro jednotlivé parametry dle vztahu:

$$TQI_i = \left(\frac{L_i}{L_0} - 1\right) * 10^x \quad (6)$$

kde:

L_i … délka signálu vypočtená podle vztahu (5)

L_o … délka hodnoceného úseku

10^x… zvětšení řádu pro přehlednost (TQI_i vychází ve velmi malých řádech), typická hodnota používaná ve výpočtu *TQI* je 10^4

6) Zprůměrování hodnot dílčích indexů TQI_i pro levou a pravou kolejnici, pokud jsou u daného parametru GPK takto sledovány.
7) Výpočet celkového indexu (TUG_TQI) pomocí dílčích indexů TQI_i jako jejich průměr:

$$TUG_TQI = \frac{\sum_{i=1}^{n} TQI_i}{n} \quad (7)$$

kde:

TQI_i … dílčí indexy kvality jednotlivých parametrů

n … počet indexů

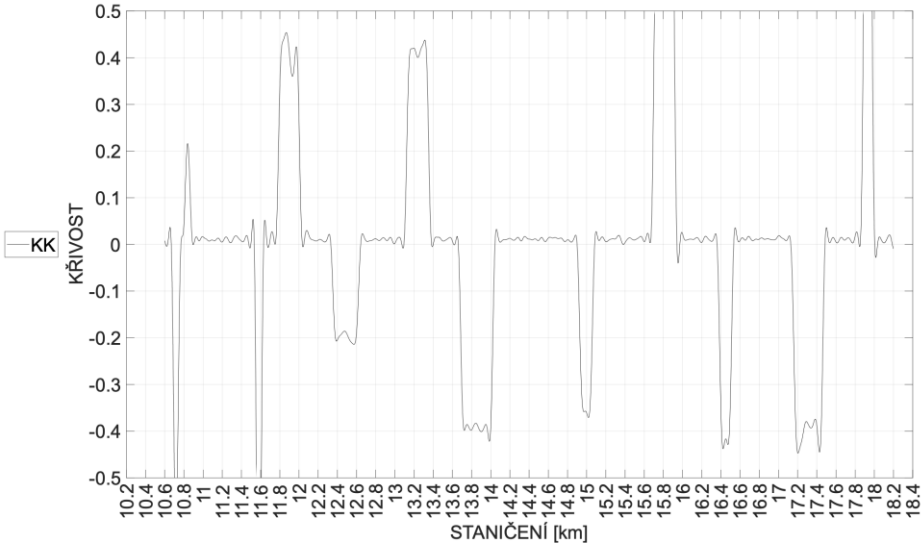
Velkým rozdílem ve výpočtu TUG_TQI oproti CZK je, že využívá tzv. klouzavou metodu při výběru zkoumaného úseku. Ta spočívá v tom, že vypočítá hodnotu kvality ve středu hodnoceného úseku a poté se přesune o délku měřičského kroku, kde výpočet provede znovu. Měřené úseky se tak překrývají. Délka měřičské základny je pro tento výpočet 200 m, což je typická hodnota pro CZK [2].

Příklad hodnocení kvality geometrických parametrů koleje a porovnání metodik

Pro porovnání výše uvedených metodik hodnocení kvality GPK byl zvolen úsek trati Malšice – Sudoměřice u Bechyně. Jedná se o jednokolejnou trať nacházející se v rychlostním pásmu RP0 s oblouky malých poloměrů. Sledovaný úsek je dlouhý 7,8 km, začíná ve staničení km 10,6 a končí v km 18,2. Železniční svršek je soustavy S49 s pražci SB 5, kolejnice jsou upevněny na podkladnicích TR 5.

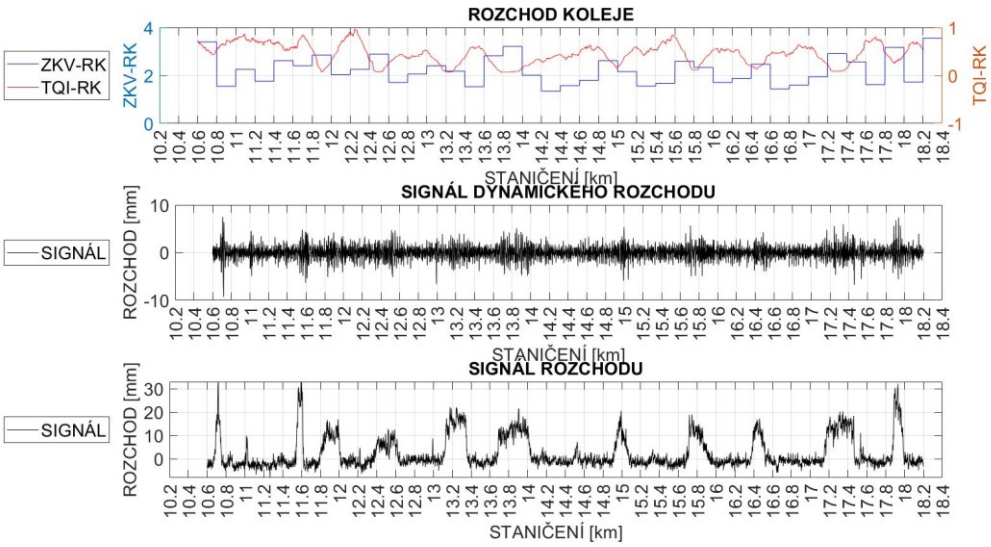
Pro výpočet TQI byly použity mezní hodnoty pro rychlostní pásmo RP0:

IL rozchodu koleje (RK)	-8 mm a +33 mm
IL převýšení koleje (PK)	± 18 mm
IL směru koleje (SK)	± 18 mm
IL výšky koleje (VK)	± 20 mm



Obr. 3 Přehled hodnoceného úseku – průběh křivosti koleje

Rozchod koleje

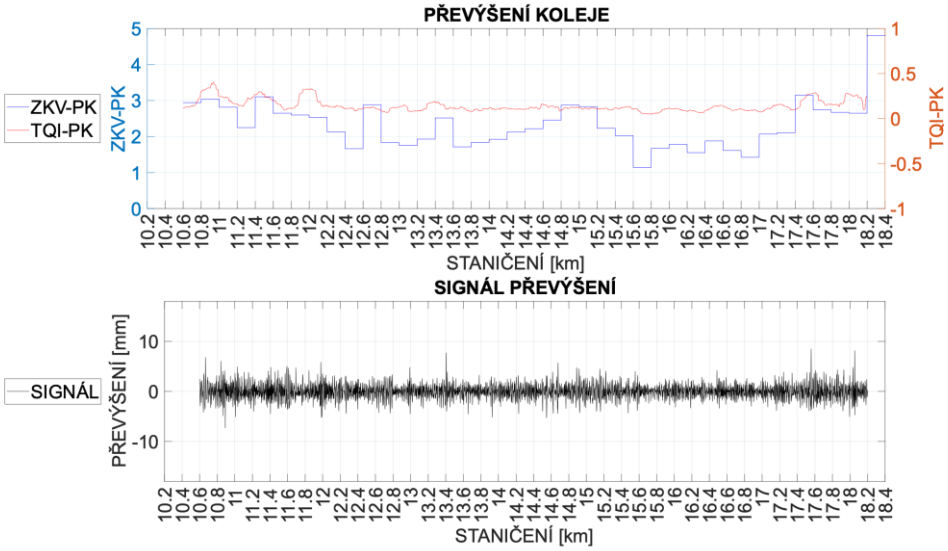


Obr. 4 Graf parametru Rozchod koleje (RK), Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2

ZKV_RK je počítána ze signálu dynamického rozchodu koleje. Dynamickou hodnotou rozchodu koleje je myšlena krátkovlnná složka RK (v pásmu λ = 3–25 m), která je zbavena hodnot rozšíření RK v obloucích. V místech rozšíření rozchodu (viz graf křivosti na obr. 3) vykazují ZKV_RK vysoké hodnoty. Naopak dílčí index TQI_RK je počítán z hodnot celkového rozchodu a má vyšší hodnoty v místech, kde jsou

odchylky rozchodu v záporných hodnotách. Z pohledu jízdy vozidla jsou záporné odchylky rozchodu nepříznivější než odchylky kladné, a proto lze říct, že svým průběhem vystihuje TQI_RK lépe skutečnost.

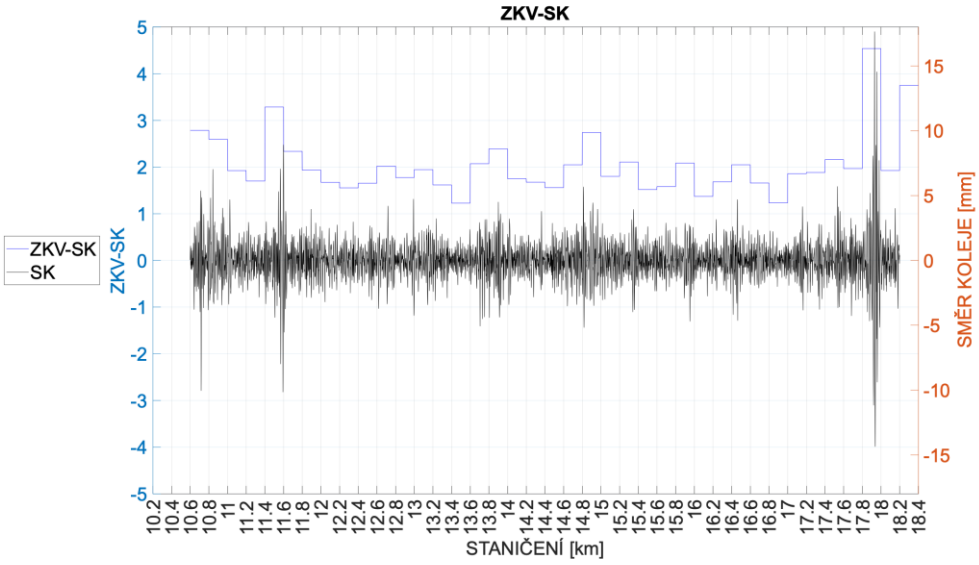
Převýšení koleje



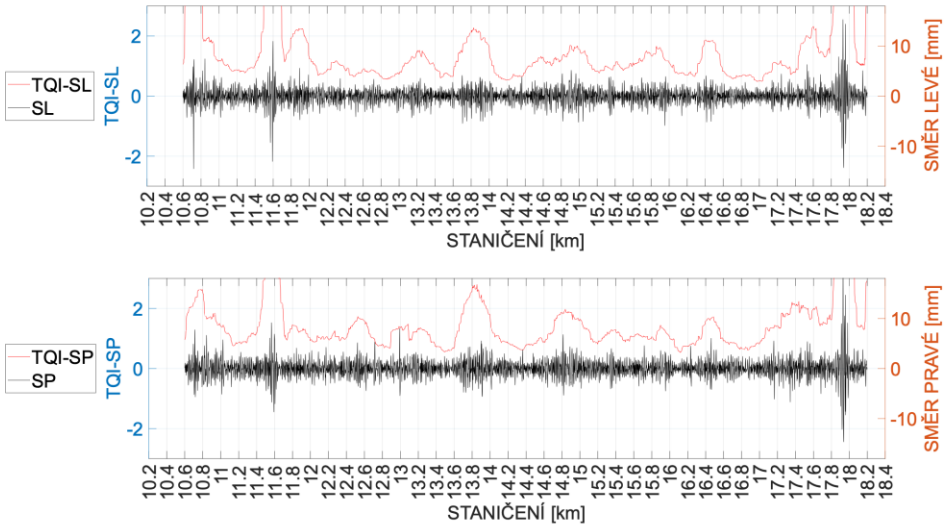
Obr. 5 Graf parametru Převýšení koleje (PK) Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2

ZKV_PK i TQI_PK jsou počítány z dynamického převýšení koleje. Průběh dílčího indexu TQI_PK vykazuje v grafu na obr. 5 plynulejší průběh a hodnoty relativně nižší (vzhledem k uvažovaným mezím) než ZKV_PK.

Směr koleje



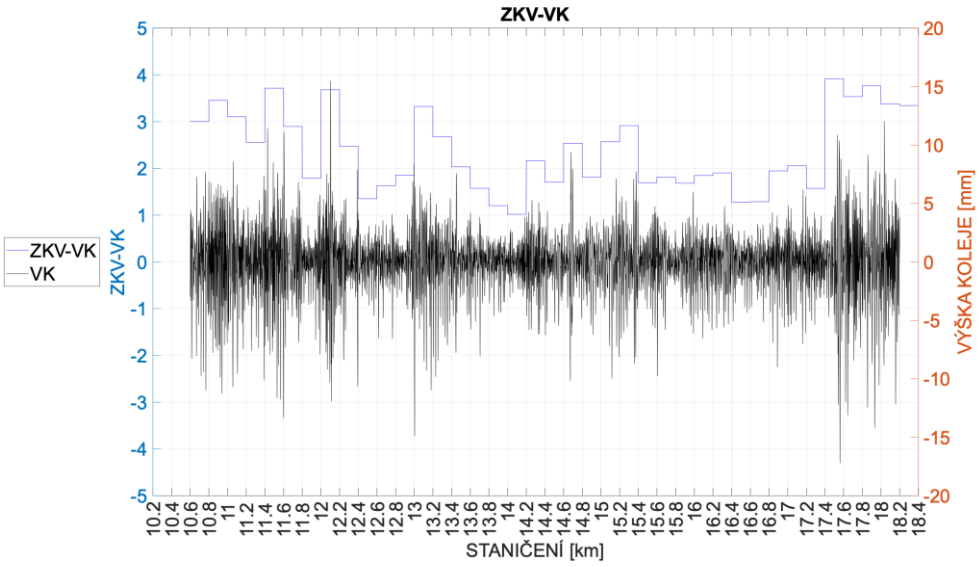
Obr. 6 Graf parametru Směr koleje (SK), Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2



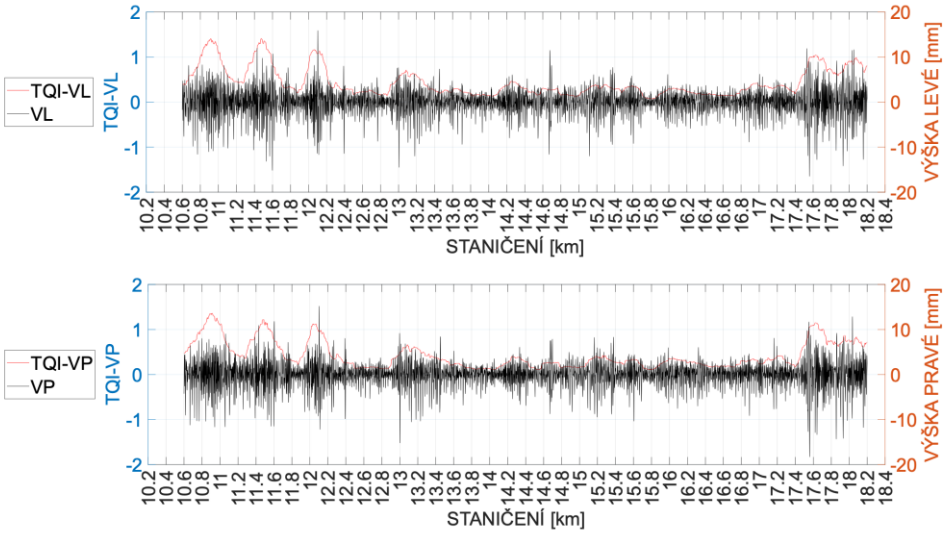
Obr. 7 Grafy parametrů Směr pravé kolejnice (SP) a Směr levé kolejnice (SL), Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2

Pro směr koleje musely být vytvořeny dva grafy, viz obr. 7, protože zatímco index ZKV počítá s průměrem směrů levé a pravé kolejnice, tak dílčí index TQI započítává průběhy směrů jednotlivých kolejnice zvlášť. Hodnoty dílčího indexu TQI na obr. 7 se nachází na levé modré ose (na rozdíl od grafů RK a PK na obr. 6 a obr. 7). Průběhy výstupů obou metodik jsou podobné. Kolem km 18,0 je hodnota směru koleje velmi blízko mezní hodnotě IL. Proto dílčí indexy TQI_SK, SL nabývají v tomto místě vysoké hodnoty.

Výška koleje



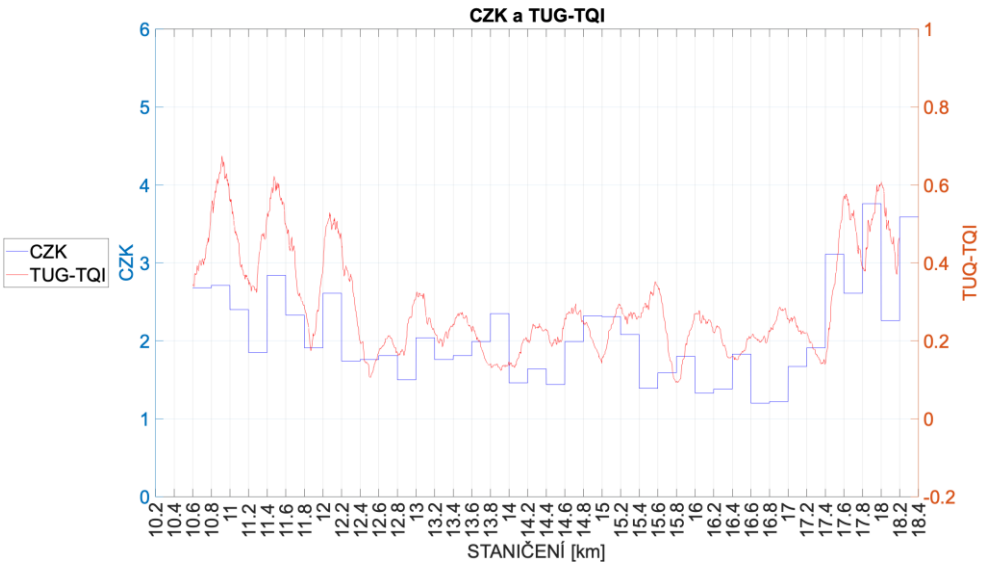
Obr. 8 Graf parametru Výška koleje (VK), Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2



Obr. 9 Grafy parametrů Výška pravé kolejnice (VP) a Výška levé kolejnice (VL), Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2

I pro výšku koleje musely být vytvořeny dva grafy, viz obr. 9, protože zatímco index ZKV počítá s průměrem výšek levé a pravé kolejnice, tak dílčí index TQI započítává průběhy výšek jednotlivých kolejnice zvlášť. Hodnoty dílčího indexu TQI se nachází na levé modré ose. Můžeme vidět, že průběh dílčího indexu TQI lépe kopíruje průběh signálu, avšak průběhy křivek indexů vypočítaných oběma metodikami jsou opět podobné.

Graf CZK a TUG_TQI



Obr. 10 Graf CZK a TUG_TQI, Malšice – Sudoměřice km 10,6 – 18,2

Průběh TUG_TQI je na několika místech významně odlišný od průběhu CZK. Děje se tak v místech, kde jsou záporné hodnoty rozchodu koleje. To je způsobeno značným rozdílem obou metodik v postupu k vyhodnocení rozchodu koleje, viz graf ZKV_RK a TQI_RK na obr. 4.

Závěr

V praktické části byly pro zkoumaný úsek vypočteny známky / indexy jednotlivých geometrických parametrů koleje i celkové známky / indexy kvality trati pomocí obou porovnávaných metodik. Pro obě metodiky byly zvoleny tyto geometrické parametry: rozchod koleje, převýšení koleje, směr koleje, výška koleje. Tyto parametry byly zvoleny z důvodu přímé porovnatelnosti obou metodik, protože CZK počítá právě s těmito geometrickými parametry.

Při porovnání metodik bylo zjištěno, že jak jednotlivé dílčí indexy TQI, 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 metodik v postupu k vyhodnocení rozchodu koleje. V ostatních případech jsou průběhy obou metodik 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 například komplikuje zkoumání vývoje geometrických parametrů v průběhu více let.

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 to, že správce infrastruktury může případně celkový index TUG_TQI konfigurovat z jednotlivých dílčích indexů TQI dle vlastní potřeby.

Literatura

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

[2] Předpis SŽDC S2/4 Předpis pro zajišťování diagnostiky železničního svršku měřícími prostředky s kontinuálním záznamem.

[3] 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)

Lektorovali: Ing. Miloslav Volejník, Správa železnic

Ing. Leoš Horníček, Ph.D., Fakulta stavební ČVUT v Praze