

TECHNICKÉ PODMIENKY

**MERANIE A HODNOTENIE NEROVNOSTI VOZOVIEK
POMOCOU ZARIADENIA PROFILOGRAPH GE**

účinnosť od: 15.10.2012

OBSAH

1	ÚVODNÁ KAPITOLA	3
1.1	PREDMET TECHNICKÝCH PODMIENOK (TP)	3
1.2	ÚČEL TP	3
1.3	POUŽITIE TP	3
1.4	VYPRACOVANIE TP	3
1.5	DISTRIBÚCIA TP	3
1.6	ÚČINNOSŤ TP	3
1.7	NAHRADENIE PREDCHÁDZAJÚCICH PREDPISOV	3
1.8	SÚVISIACE A CITOVANÉ PRÁVNE PREDPISY	3
1.9	SÚVISIACE A CITOVANÉ NORMY	4
1.10	SÚVISIACE A CITOVANÉ TECHNICKÉ PREDPISY	4
2	VŠEOBECNE	5
2.1	ZÁKLADNÉ TERMÍNY, DEFINÍCIE A ZNAČKY	5
2.2	ÚČEL MERANIA A HODNOTENIA NEROVNOSTÍ VOZOVIEK	5
3	TEORETICKÉ PODKLADY	6
3.1	POZDĹŽNA NEROVNOSŤ	6
3.1.1	<i>Princípy merania</i>	6
3.1.2	<i>Medzinárodný index nerovnosti IRI (International Roughness Index)</i>	6
3.2	PRIEČNA NEROVNOSŤ	9
3.2.1	<i>Hĺbka koľaje – R (mm)</i>	9
3.2.2	<i>Teoretická hĺbka vody – W (mm)</i>	10
4	MERACIE ZARIADENIE	10
4.1	ZÁKLADNÉ SÚČASTI ZARIADENIA	10
4.2	TECHNICKÉ PARAMETRE	11
4.3	KALIBRÁCIA ZARIADENIA	12
5	PODMIENKY MERANIA	12
6	MERANIE A HODNOTENIE NEROVNOSTÍ	12
6.1	PRÍPRAVA MERACIEHO ZARIADENIA	12
6.2	ROZSAH MERANIA	12
6.3	VLASTNÉ MERANIE	13
6.4	RÝCHLOSŤ MERANIA	13
6.5	POČET MERANÍ	13
6.6	SKÚŠOBNÝ PROTOKOL	13
6.7	VYHODNOTENIE MERANÍ	14
6.8	ZAČLENENIE DO CENTRÁLNEJ DATABÁZY	16
7	HODNOTENIE NEROVNOSTÍ VOZOVKY	16
7.1	REPREZENTATÍVNA HODNOTA POZDĹŽNEJ NEROVNOSTI (IRI)	16
7.2	REPREZENTATÍVNA HODNOTA PRIEČNEJ NEROVNOSTI (HĽBKA VYJAZDENEJ KOĽAJE)	16
7.3	STANOVENIE HOMOGÉNNYCH SEKCIÍ	17
7.4	KLASIFIKÁCIA IRI PRE SYSTÉM HOSPODÁRENIA S VOZOVKOU	17
7.5	KLASIFIKÁCIA HĽBKY VYJAZDENÝCH KOĽAJÍ PRE SYSTÉM HOSPODÁRENIA S VOZOVKOU	18
7.6	HODNOTENIE NEROVNOSTÍ K PREBERACIEMU KONANIU A PRED UKONČENÍM ZÁRUČNEJ LEHOTY	18
8	POUŽITÉ MATERIÁLY A PODKLADY	19
	PRÍLOHA A	20
A.1	PREPOČET PARAMETRA MIERY NEROVNOSTÍ C NA HODNOTY IRI	20

1 Úvodná kapitola

1.1 Predmet technických podmienok (TP)

Tieto TP stanovujú postup merania a hodnotenia pozdĺžnej nerovnosti prostredníctvom Medzinárodného indexu nerovnosti – International Roughness Index (IRI) a priečnej nerovnosti asfaltových vozoviek prostredníctvom hĺbky vyjazdených koľají.

1.2 Účel TP

Účelom týchto TP je vytvoriť kompletný súbor zásad pre meranie a hodnotenie pozdĺžnej a priečnej nerovnosti asfaltovej vozovky (ďalej len vozovky) zariadením PROFILOGRAPH GE. Kritériá uvedené v týchto TP platia iba pre asfaltové vozovky.

1.3 Použitie TP

TP sa použijú pre meranie a hodnotenie pozdĺžnej a priečnej nerovnosti vozovky na nasledujúcich pozemných komunikáciách (PK):

1. diaľnice a rýchlostné cesty,
2. cesty I., II. a III. triedy.

V prípade potreby je ich možné použiť aj pre miestne komunikácie.

Klasifikačné stupnice pre hodnotenie nerovností vozovky uvedené v týchto TP je možné použiť aj pre dáta namerané inými zariadeniami, spôsobmi a metódami.

1.4 Vypracovanie TP

Tieto TP na základe objednávky Slovenskej správy ciest (SSC) vypracovala Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra cestného staviteľstva.

Zodpovední riešitelia – prof. Dr. Ing. Martin Decký, martin.decky@fstav.uniza.sk, 041/513 5907,
Ing. Matúš Kováč, PhD., matus.kovac@fstav.uniza.sk, 041/513 5947,
prof. Ing. Ján Čelko, CSc., jan.celko@fstav.uniza.sk, 041/513 5904.

1.5 Distribúcia TP

Elektronická verzia TP sa po schválení zverejní na webovej stránke SSC: www.ssc.sk (technické predpisy) a na webovej stránke MDVRR SR: www.mindop.sk (doprava, cestná doprava, cestná infraštruktúra, technické predpisy).

1.6 Účinnosť TP

Tieto TP nadobúdajú účinnosť dňom uvedeným na titulnej strane.

1.7 Nahradenie predchádzajúcich predpisov

Tieto TP nahrádzajú TP SSC 04/2000 Meranie a hodnotenie nerovností vozoviek pomocou zariadenia PROFILOGRAPH GE, SSC Bratislava z roku 2000 v celom rozsahu.

1.8 Súvisiace a citované právne predpisy

[Z1] Vyhláška FMV č. 35/1984 Zb., ktorou sa vykonáva zákon o pozemných komunikáciách (cestný zákon) v znení neskorších predpisov;

[Z2] vyhláška MV SR č. 9/2009 Z. z., ktorou sa vykonáva zákon o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;

[Z3] vyhláška MZ SR č. 549/2007 Z. z., ktorou sa ustanovujú podrobnosti o prípustných hodnotách hluku, infrazvuku a vibrácií a o požiadavkách na objektivizáciu hluku, infrazvuku a vibrácií v životnom prostredí v znení neskorších predpisov;

[Z4] zákon č. 50/1976 Zb. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku (stavebný zákon) v znení neskorších predpisov;

- [Z5] zákon č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z6] zákon č.135/1961 Zb. o pozemných komunikáciách (cestný zákon) v znení neskorších predpisov;
- [Z7] zákon č. 355/2007 Z. z. o ochrane, podpore a rozvoji verejného zdravia a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z8] zákon č. 90/1998 Z. z. o stavebných výrobkoch (v úplnom znení vyhlásený zákonom č. 69/2009 Z. z.) v znení neskorších predpisov;
- [Z9] zákon č. 124/2006 Z. z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z10] vyhláška MVRR SR č. 558/2009 Z. z., ktorou sa ustanovuje zoznam stavebných výrobkov, ktoré musia byť označené, systémy preukazovania zhody a podrobnosti o používaní značiek zhody, v znení neskorších predpisov.

1.9 Súvisiace a citované normy

STN EN ISO 13473-5 (73 6177)	Charakterizovanie textúry vozovky s použitím profilov povrchu. Časť 5: Stanovenie megatextúry (ISO 13473-5: 2009)
STN EN 13036-6 (73 6171)	Charakteristiky povrchu ciest a letísk. Skúšobné metódy. Časť 6 : Meranie rovnosti priečnych a pozdĺžnych profilov a vln megatextúry
STN EN 13036-7 (73 6171)	Povrchové vlastnosti vozoviek. Skúšobné metódy Časť 7: Meranie nerovností vrstiev vozovky latou
STN EN 13036-8 (73 6171)	Charakteristiky povrchu ciest a letísk. Skúšobné metódy. Časť 8: Stanovenie parametrov priečnej nerovnosti
STN ISO 2631-1 (01 1405)	Mechanické kmitanie a otrasy. Hodnotenie expozície človeka kmitaniu na celé telo. Časť 1: Všeobecné požiadavky
STN ISO 2631-2 (01 1405)	Mechanické kmitanie a otrasy. Hodnotenie expozície človeka kmitaniu na celé telo. Časť 2: Kmitanie v budovách (od 1 do 80 Hz)
STN ISO 2041 (01 1400)	Mechanické kmitanie a otrasy. Názvoslovie
STN 30 0560	Perovanie vozidiel. Meranie dynamických súčiniteľov pri jazde vozidla cez prekážky
STN 73 6100	Názvoslovie pozemných komunikácií
STN 73 6101	Projektovanie ciest a diaľnic
STN 73 6110	Projektovanie miestnych komunikácií
STN 73 6114	Vozovky pozemných komunikácií. Základné ustanovenia pre navrhovanie
STN 73 6121	Stavba vozoviek. Hutnené asfaltové vrstvy
STN 73 6122	Stavba vozoviek. Liaty asfalt na pozemné komunikácie
STN 73 6123	Stavba vozoviek. Cementobetónové kryty

1.10 Súvisiace a citované technické predpisy

- MP 01/2009 Používanie programu HDM-4 v podmienkach SR, MDPT SR: 2009.
- TKP časť 0 Všeobecne, MDPT SR: 2009.
- TKP časť 5 Podkladové vrstvy, MDPT SR: 2010.
- TKP časť 6 Hutnené asfaltové zmesi, MDPT SR: 2010.
- TKP časť 6.1 Asfaltový koberec drenážny, MDVRR SR: 2011.
- TKP časť 6.2 Asfaltový koberec veľmi tenký, MDVRR SR: 2011.
- TKP časť 7 Liaty asfalt, MDPT SR: 2010.
- TKP časť 36 Kalové zákryty, MDPT SR: 2010.
- TP 01/2004 Opravy a rekonštrukcie vozoviek. Zosilňovanie asfaltových vozoviek, MDPT SR: 2004.
- TP 01/2009 Meranie a hodnotenie únosnosti asfaltových vozoviek pomocou zariadenia FWD KUAB + Prílohy A, B, C, D, MDPT SR: 2009.
- TP SSC 02/2002 Katalóg porúch asfaltových vozoviek, SSC: 2002.
- TP 03/2009 Navrhovanie netuhých a polotuhých asfaltových vozoviek, MDPT SR: 2009.

TP 03/2011 Asfaltový koberec veľmi tenký, MDVRR SR: 2011.

TP 06/2011 Asfaltový koberec drenážny, MDVRR SR: 2011.

TP 10/2006 Systém hospodárenia s vozovkami. Technické podmienky, MDPT SR: 2006.

TS 0803 Navrhovanie cementobetónových vozoviek na pozemných komunikáciách, MDPT SR: 2003.

2 Všeobecne

Jednou zo základných požiadaviek kvality cestnej vozovky je rovnosť jej povrchu. V dôsledku prevádzkového zaťaženia, nevhodne navrhnutej konštrukcie vozovky a v dôsledku zlej technológie výstavby vozovky môžu na vozovke vzniknúť odchýlky od požadovaného stavu, ktoré sa prejavujú ako nerovnosť. Nerovnosti vozovky nepriaznivo ovplyvňujú odpor proti valeniu, účinnosť pneumatiky s vozovkou, bezpečnosť a pohodlie jazdy. Nerovnosti v dôsledku kmitania vozidiel taktiež urýchľujú poškodzovanie vozovky i vozidla a nepriaznivo ovplyvňujú zdravie cestujúcich. Pri hodnotení nerovnosti vozoviek je preto potrebné chápať vozovku nie ako samostatne existujúci fenomén, ale ako príčinu vzniku rôznych nežiaducich procesov prejavujúcich sa na jej užívateľoch.

2.1 Základné termíny, definície a značky

nerovnosť povrchu vozovky z geometrického hľadiska predstavuje určitý výškový rozdiel kót medzi teoretickým a skutočným povrchom vozovky vo vymedzenom rozsahu dĺžok vln nerovností a ich amplitúd

pozdĺžna nerovnosť povrchu vozovky z dynamického hľadiska predstavuje rozdiel medzi teoretickým a skutočným profilom vozovky v smere jazdy vozidiel spôsobujúci vibrácie vozidiel ovplyvňujúce pohodlie, bezpečnosť jazdy, poškodenie vozidiel

priečna nerovnosť povrchu vozovky predstavuje rozdiel medzi teoretickým a skutočným profilom vozovky v smere kolmom na jazdu vozidiel

IRI (angl. **International Roughness Index**) – parameter pôvodne spracovaný pre profilometrické merania, pri ktorých poznáme skutočný priebeh pozdĺžneho profilu komunikácie; je vyjadrením miery nerovností tzv. referenčným priemerným rektifikovaným sklonom, získaným matematicky použitím simulácie prejazdu modelu štvrtiny vozidla; IRI sa vyjadruje v (m/km), resp. v (mm/m)

hlbka koľaje je vzdialenosť medzi najnižším bodom povrchu vozovky od myšlenej referenčnej priamky, ktorá vznikne ako spojnica dvoch najvyšších bodov priečného profilu vozovky v jednej jazdnej stope; táto vzdialenosť sa meria kolmo na túto referenčnú priamku v každej jazdnej stope kolesa

teoretická hĺbka vody je zvislá vzdialenosť medzi vodorovnou priamkou preloženou v mieste najnižšieho vrcholu vlny priečného profilu vozovky a najnižším bodom povrchu v každej jazdnej stope

Ďalšie súvisiace definície sú uvedené v STN EN ISO 13473-5, STN EN 13036-6, STN EN 13036-7, STN EN 13036-8.

2.2 Účel merania a hodnotenia nerovností vozoviek

Účelom merania a hodnotenia nerovností vozoviek pomocou zariadenia PROFILOGRAPH GE je rýchle a presné stanovenie kvality krytu vozovky z hľadiska rovnosti v pozdĺžnom a priečnom smere. Skúška sa používa na:

- zber dát pre Cestnú databanku (CDB):** súvislé ťahy diaľnic a ciest sú merané na základe analýzy potrieb naplňania dátových súborov pre hodnotenie stavu cestnej siete a pre použitie v rámci Systému hospodárenia s vozovkami (SHV) na hodnotenie konkrétnych úsekov,
- opakované meranie dlhodobo sledovaných úsekov na účel tvorby degradačných modelov:** výber úsekov musí zodpovedať podmienkam, stanoveným pre tvorbu degradačných modelov podľa metodiky STU Bratislava [L14],

- c) **spracovanie projektovej dokumentácie stavebných úprav**: úsek je jednoznačne špecifikovaný rozsahom projektovej dokumentácie,
- d) **meranie pre potreby správcu cestnej komunikácie na jeho požiadanie**: merací úsek určuje správca. (napr. meranie dokončených stavieb na účely preberacích konaní, a pod.),
- e) merania na účely riešenia úloh vedecko-technického rozvoja, výskumných úloh a pod.

3 Teoretické podklady

3.1 Pozdĺžna nerovnosť

3.1.1 Princípy merania

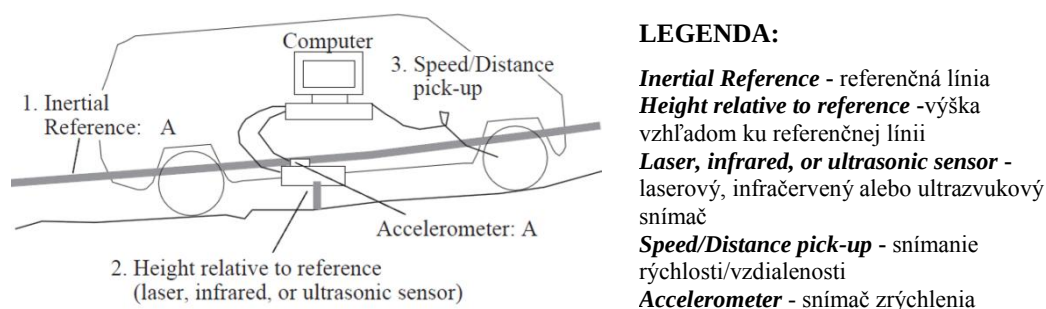
Pre zisťovanie nerovností vozoviek v pozdĺžnom smere existuje celý rad metód. Všeobecne je snahou hodnotiť pozdĺžnu nerovnosť ako kvalitatívny parameter vozovky z hľadiska jej prevádzkovej spôsobilosti, pričom pre použitie v systéme hospodárenia s vozovkami (SHV) je požadovaná klasifikácia v predpísanej škále. Vo všeobecnosti sa na meranie pozdĺžnych nerovností používajú prístroje, ktoré rozdelíme do 2 základných skupín:

- **Profilometrické prístroje**, získavajúce priamy obraz pozdĺžneho profilu vozovky danej stopy, ktorý sa spracúva rôznymi matematickými metódami.
- **Odozvové prístroje**, získavajúce index nerovnosti, stanovený z dynamickej odozvy meracieho vozidla alebo špeciálneho meracieho prístroja.

Ďalším kritériom, pomocou ktorého môžeme rozdeliť tieto prístroje, je počet diagnostikovaných parametrov. Na základe tohto kritéria ich delíme na:

- **Jednouúčelové diagnostické prístroje** sledujúce len pozdĺžnu nerovnosť.
- **Multifunkčné diagnostické prístroje** sledujúce súčasne viacero parametrov.

PROFILOGRAPH GE je multifunkčné profilometrické zariadenie, vytvárajúce referenčnú líniu. Vytvorenie referenčnej línie spočíva na nasledujúcom princípe: akcelerometrom merané vertikálne zrýchlenie je algoritmami pre spracovanie dát konvertované do referenčnej roviny (Inertial Reference), ktorá je vymedzená okamžitou výškou akcelerometra vo vozidle.



LEGENDA:

- Inertial Reference** - referenčná línia
- Height relative to reference** - výška vzhľadom ku referenčnej línii
- Laser, infrared, or ultrasonic sensor** - laserový, infračervený alebo ultrazvukový snímač
- Speed/Distance pick-up** - snímanie rýchlosti/vzdialenosti
- Accelerometer** - snímač zrýchlenia

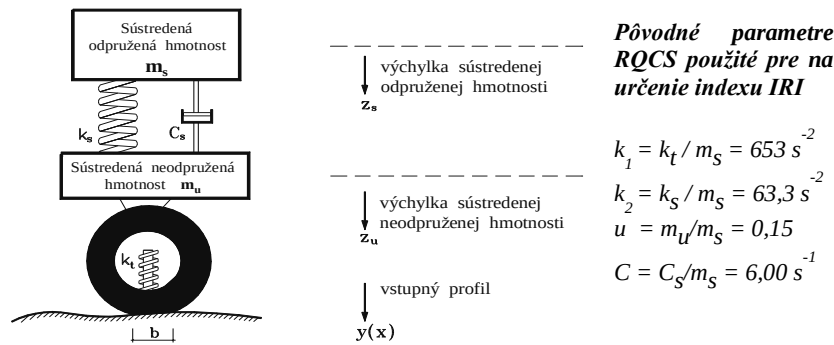
Obrázok 1 Princíp vytvorenia referenčnej línie meracieho zariadenia pre meranie nerovností vozoviek [L17]

Výška povrchu vozovky vo vzťahu k referenčnej rovine je teda vzdialenosť medzi akcelerometrom vo vozidle a povrchom vozovky pod ním (obrázok 1 týchto TP). Táto výška sa meria bezkontaktným snímačom, ktorými sú v tomto prípade laserové snímače.

3.1.2 Medzinárodný index nerovnosti IRI (International Roughness Index)

V súčasnosti svetovo najpoužívanejším parametrom na hodnotenie pozdĺžnych nerovností vozoviek je Medzinárodný index nerovnosti IRI (International Roughness Index). Tento parameter je získaný matematicky použitím simulácie referenčného modelu štvrtiny osobného vozidla (*Reference Quarter-*

Car Simulation – RQCS) uvedeného na obrázku 2 týchto TP.



Obrázok 2 Referenčný model štvrtiny osobného vozidla na určenie indexu IRI

RQCS model podľa obrázka 2 týchto TP možno matematicky popísať pomocou dvoch diferenciálnych rovníc druhého rádu:

$$\ddot{z}_s \cdot m_s + C_s \cdot (\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_s \cdot (z_s - z_u) = 0 \quad (2)$$

$$\ddot{z}_s \cdot m_s + m_u \cdot \ddot{z}_u + k_t \cdot z_u = k_t \cdot y \quad (3)$$

kde:

m_s, m_u	sú hmotnosti odpruženej a neodpruženej hmoty (kg),
k_s, k_t	pružinové konštanty pružiny a pneumatiky ($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$),
C_s	súčiniteľ lineárneho tlmenia tlmiča ($\text{Ns} \cdot \text{m}^{-1}$),
z_s, z_u	zvislé výchylky odpruženej a neodpruženej hmoty (m),
$\dot{z}_s = z(1) = dz_s / dt$	vertikálna rýchlosť odpruženej hmoty ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),
$\ddot{z}_s = z(2) = d^2 z_s / dt^2$	vertikálne zrýchlenie odpruženej hmoty ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$),
$\dot{z}_u = z(3) = dz_u / dt$	vertikálna rýchlosť neodpruženej hmoty ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$),
$\ddot{z}_u = z(4) = d^2 z_u / dt^2$	vertikálne zrýchlenie neodpruženej hmoty ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$),
$y(t)$	vstupný profil výškových nerovností vozovky (m).

Uvedený model je možné aplikovať na rôzne typy automobilov, pričom je možné simulovať ľubovoľnú jazdnú rýchlosť. Zavedením pomocných konštánt podľa obrázka 1 týchto TP možno diferenciálne rovnice (2) a (3) vyjadriť v nasledujúcej forme:

$$\ddot{z}_s + C \cdot (\dot{z}_s - \dot{z}_u) + k_2 \cdot (z_s - z_u) = 0 \quad (4)$$

$$\ddot{z}_s + u \cdot \ddot{z}_u + k_1 \cdot z_u = k_1 \cdot y \quad (5)$$

Rovnice (4) a (5) platia pre časovú oblasť. Vzhľadom na riešenie uvedeného modelu v lineárnej oblasti, poznáme výšky skutočného pozdĺžneho profilu (najčastejšie každých 25 cm), musíme nájsť vektor geometrických derivácií $\mathbf{Z}^T(\mathbf{x})_{(i)} = (z_{1i}, z_{2i}, z_{3i}, z_{4i})$ pomocou nasledujúcich vzťahov:

$$z'_{s,i} = s_{11} \cdot z'_{s,i-1} + s_{12} \cdot z''_{s,i-1} + s_{13} \cdot z'_{u,i-1} + s_{14} \cdot z''_{u,i-1} + r_1 \cdot y'_i \quad (6)$$

$$z''_{s,i} = s_{21} \cdot z'_{s,i-1} + s_{22} \cdot z''_{s,i-1} + s_{23} \cdot z'_{u,i-1} + s_{24} \cdot z''_{u,i-1} + r_2 \cdot y'_i \quad (7)$$

$$z'_{u,i} = s_{31} \cdot z'_{s,i-1} + s_{32} \cdot z''_{s,i-1} + s_{33} \cdot z'_{u,i-1} + s_{34} \cdot z''_{u,i-1} + r_3 \cdot y'_i \quad (8)$$

$$z''_{u,i} = s_{41} \cdot z'_{s,i-1} + s_{42} \cdot z''_{s,i-1} + s_{43} \cdot z'_{u,i-1} + s_{44} \cdot z''_{u,i-1} + r_4 \cdot y'_i \quad (9)$$

Systém rovníc (6) až (9) môžeme vyjadriť v maticovej forme pomocou vzťahu (10)

$$Z(x)_{(i)} = \underline{S} \cdot Z(x)_{(i-1)} + R \cdot y'_{(i)} \quad (10)$$

kde: $Z^T(x)_{(i)} = (z_{1,i}; z_{2,i}; z_{3,i}; z_{4,i}) = (z'_{s,i}; z''_{s,i}; z'_{u,i}; z''_{u,i})$
 $= (dz_{s,i}/dx; d^2z_{s,i}/dx^2; dz_{u,i}/dx; d^2z_{u,i}/dx^2)$ – vektor geometrických derivácií
 $\underline{S}$ – stavová prechodová matica koeficientov 4×4
 $\underline{R}$ – vektor parciálnej odozvy 4×1
 $y'_{(i)}$ – smernica vstupného profilu
 i – aktuálny krok, $i-1$ – predchádzajúci krok

$$(11)$$

Systém rovníc (4) a (5) môžeme vyjadriť nasledujúcou maticovou formou

$$Z(t) = \underline{A} \cdot K(t) + B \cdot y(t) \quad (12)$$

kde: $Z^T(t) = (\dot{z}_s, \ddot{z}_s, \dot{z}_u, \ddot{z}_u) = (dz_s/dt, d^2z_s/dt^2, dz_u/dt, d^2z_u/dt^2)$ – vektor časových derivácií
 $K^T(t) = (z_s, \dot{z}_s, z_u, \dot{z}_u)$ – pomocný vektor časových derivácií

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -K_2 & -C & K_2 & C \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ K_2/u & C/u & -(K_1 + K_2)/u & -C/u \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ K_1/u \end{bmatrix} \quad (13)$$

Pre konštantnú dĺžku kroku, na ktorom predpokladáme konštantnú y' , môžu byť matice $\underline{S}$ a $\underline{R}$ vypočítané z matíc $\underline{A}$ a B :

$$\underline{S} = e^{\underline{A} \cdot dt} \quad (14)$$

$$R = \underline{A}^{-1} \cdot (\underline{S} - \underline{I}) \cdot B \quad (15)$$

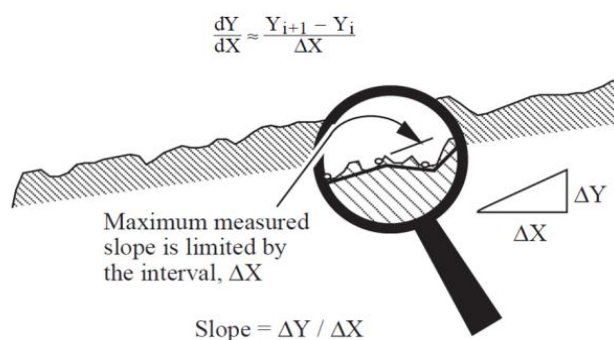
kde: $dt = \frac{dx}{v}$ (16)

dt je čas potrebný na prejazd meracieho intervalu dx (s),
 v simulovaná rýchlosť ($m \cdot s^{-1}$),
 $\underline{I}$ jednotková matica typu 4×4 .

Na pracovisku autorov bol vytvorený hodnotiaci program „IRI-KCS“ v súlade s pôvodnou metodikou [L16]. Vzťahom (17) sa uskutočňuje konverzia výškových kót pozdĺžneho profilu na vyrovnaný sklon vstupu (obrázok 3 týchto TP). Vyrovnávanie vstupného profilu sa uskutočňuje metódou klzavého priemeru, pričom sa najčastejšie používa dĺžka základnice klzavého priemeru $b = 250$ mm.

$$y'_C = \left| \frac{y_{C+1} - y_C}{dx} \right| \quad i = 2, 3, \dots, N \quad (17)$$

kde: $y'_{(i)}$ – vyrovnaná lokálna smernica vstupného profilu



Obrázok 3 Znáznornenie určenia lokálnych smerníc [L17]

Vypočítané lokálne spády sú vstupom do dvojmotovej sústavy, ktorá modeluje referenčné vozidlo, ktorého odozva je priebežne vyhodnocovaná. Pre výpočet štvorzložkového vektora odozvy $Z^T(x)_{(i)} = (z_{1,i}; z_{2,i}; z_{3,i}; z_{4,i}) = (z'_{s,i}; z''_{s,i}; z'_{u,i}; z''_{u,i})$ sa používa systém rovníc podľa (10) týchto TP. Rozpísaním tejto rovnice pre 4 zložky vektora platiace pre uvažovaný krok i dostávame

$$z_{j,i} = \sum_{j=1}^4 s_{jj} \cdot z_{j,i-1} + r_j \cdot y'_i \quad (18)$$

kde:

$j = 1, 2, 3, 4$ označuje zložky vektora Z ,
 $i = 1, 2, \dots, N$ N je číslovanie krokov na vozovke,
 $\underline{S} = [s_{jj}]$ stavová prechodová matica koeficientov,
 $\underline{R} = [r_j]$ vektor parciálnej odozvy.

V každom kroku i sa výpočtom stanovia opravené smernice (spády) T_i (m/m) podľa vzťahu:

$$T_i = |z_{3i} - z_{1i}|, \quad i = 2, 3, \dots, N \quad (19)$$

Index IRI je potom aritmetický priemer smerníc T_i na celom meranom úseku dĺžky L pri počte odčítaní N .

$$IRI = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=2}^N T_i \quad (20)$$

V jednotkách SI vychádza IRI v (m/m). Z dôvodu zjednodušenia zápisu je základná hodnota prenášaná konštantou 1000 čomu potom zodpovedá jednotka (m/km), resp. (mm/m). Teda napríklad miesto hodnoty $IRI = 0,0055$ m/m sa uvádza 5,5 m/km.

Uvedený algoritmus výpočtu parametra IRI môže slúžiť pre kontrolu výsledkov merania získaných zariadením PROFILOGRAPH GE na úsekoch, kde bol odmeraný výškový profil komunikácie niveláciou, resp. pomocou novodobých vysoko presných GPS zariadení a 3D skenerov.

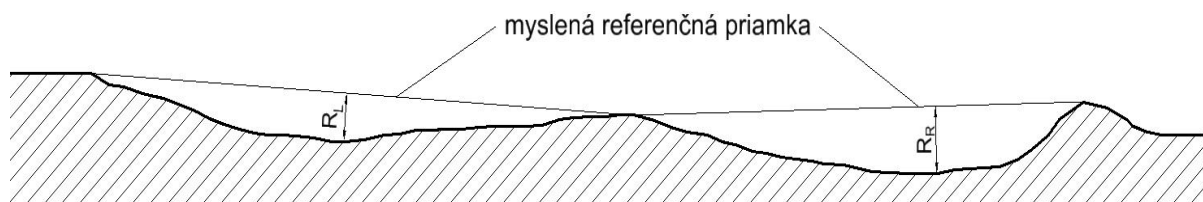
3.2 Priečna nerovnosť

Priečna nerovnosť je charakterizovaná rozdielom skutočných výšok povrchu vozovky oproti teoretickému profilu, ktorý je kolmý na os komunikácie, resp. jazdného pruhu. Priečna nerovnosť sa v rámci systému hospodárenia s vozovkami a z hľadiska bezpečnosti hodnotí parametrami **hlbka koľaje** a **teoretická hĺbka vody**.

3.2.1 Hĺbka koľaje – R (mm)

Hĺbka koľaje je vzdialenosť medzi najnižším bodom povrchu vozovky od myslenej referenčnej priamky, ktorá vznikne ako spojnice dvoch najvyšších bodov priečného profilu vozovky v jednej jazdnej stope. Táto vzdialenosť sa meria kolmo na túto referenčnú priamku v každej jazdnej stope

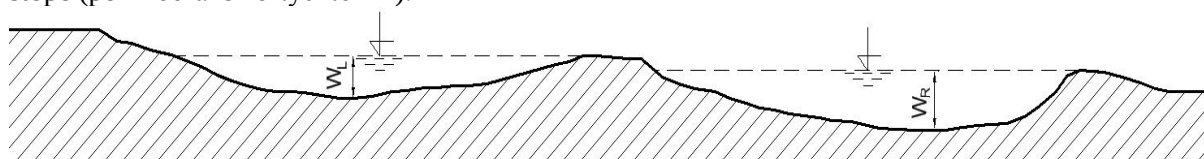
kolesa, pričom označenie pre hĺbku koľaje ľavej jazdnej stopy je R_L a hĺbka pravej jazdnej stopy sa označuje R_R (pozri obrázok 4 týchto TP).



Obrázok 4 Znáznornenie hĺbky koľaje R_R a R_L v priečnom profile vozovky

3.2.2 Teoretická hĺbka vody – W (mm)

Teoretická hĺbka vody v koľaji je zvislá vzdialenosť medzi vodorovnou priamkou preloženou v mieste najnižšieho vrcholu vlny priečného profilu vozovky a najnižším bodom povrchu v každej jazdnej stope (pozri obrázok 5 týchto TP).



Obrázok 5 Znáznornenie teoretickej hĺbky vody v koľaji W_R a W_L

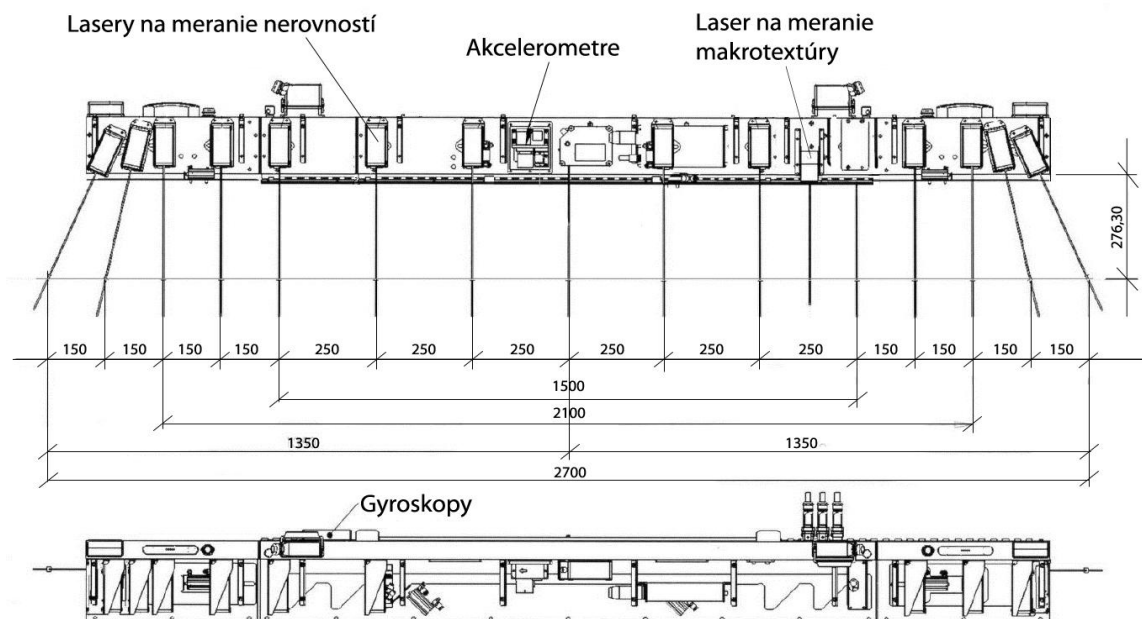
4 Meracie zariadenie

Zariadením na meranie nerovností vozoviek je meracie vozidlo PROFILOGRAPH GE, firmy Greenwood Engineering A/S z Dánska, vrátane príslušenstva a firemného softvéru na vyhodnotenie dát. Toto zariadenie na základe snímania pozdĺžnych a priečnych profilov laserovými snímačmi v kombinácii s pokročilými technikami pre zber a analýzu dát poskytuje podrobné informácie o stave povrchu vozovky z hľadiska jej rovnosti. Pre všetky súčasti zariadenia výrobca garantuje triedu presnosti 1.

4.1 Základné súčasti zariadenia

Meracie zariadenie sa skladá z:

- automobilu typu Van,
- meracieho nosníka s 15 laserovými snímačmi na meranie nerovností vozovky typu LMI SELCOM 5000 a jedným laserovým snímačom na meranie makrotextúry typu LMI SELCOM 2207. Rozmiestnenie snímačov je uvedené na obrázku 6 týchto TP,
- troch akcelerometrov merajúcich kmitanie nosníka v pozdĺžnom, priečnom a zvislom smere,
- dvoch gyroskopov eliminujúcich húpanie a nakláňanie nosníka,
- odometra, DMI na ľavom zadnom kolese vozidla, ktorý v kombinácii s inerciálnou jednotkou zabezpečuje presné informácie o pohybe vozidla,
- zabudovaného počítača s klávesnicou na riadenie zberu dát a všetkých subsystémov,
- výkonného notebooku s nainštalovaným softvérom na zaznamenávanie dát v reálnom čase, vyhodnotenie dát a kalibráciu.



Obrázok 6 Rozmiestnenie snímačov na nosníku

4.2 Technické parametre

Meracie zariadenie umožňuje merať povrch komunikácie v šírke 2,7 m. Vzďialenosť laserov od povrchu vozovky je do 300 mm. Aktívne sú v rozsahu ± 100 mm, t. j. rozsah aktívneho sledovania stavu povrchu je 200 mm. Vzorkovacia frekvencia laserových snímačov na meranie nerovností vozovky je 16 kHz so šírkou pásma signálu 2 kHz. Vzorkovacia frekvencia laserového snímača na meranie textúry vozovky je 62,5 kHz so šírkou pásma signálu 20 kHz. Uvedené frekvencie snímania sú plne postačujúce z hľadiska hodnotenia pozdĺžnej nerovnosti vozovky.

Nosník má zabezpečený presný pohyb pomocou inerciálnej jednotky s dvoma gyroskopmi a tromi akcelerátormi. Meranie vzdialenosti, ktorú vozidlo prejde, zabezpečuje odometer, umiestnený na ľavom zadnom kolese nosného vozidla. Minimálna citlivosť zaznamenávania prejdenej vzdialenosti je 5 mm.

Technické špecifikácie jednotlivých subsystémov:

Vzorkovacia vzdialenosť: < 5 mm (pri všetkých rýchlostiach)
Šírka pásma profilu: 10 mm pri 60 km/h

Laserové senzory na meranie rovnosti - LMI SELCOM typ 5000

Vzorkovacia frekvencia: 16 kHz
Šírka pásma signálu: 2 kHz
Priemer lúča lasera: 1 mm
Vzdialenosť od povrchu: 300 mm
Merací rozsah: 200 mm

Laserové senzory na meranie textúry - LMI SELCOM typ 2207

Vzorkovacia frekvencia: 62,5 kHz
Šírka pásma signálu: 20 kHz
Vzdialenosť od povrchu: 260 mm
Merací rozsah: 155 mm

Poznámka: Laser na meranie textúry poskytuje aj údaje o rovnosti (IRI).

Akcelerometre

Maximálna miera zrýchlenia:	100 g - 11 ms
Rozsah prevádzkových teplôt:	-55 °C to +95 °C
Rozlíšenie:	5 µg
Šírka pásma:	150 Hz
Miera tlmenia:	0.6
Chyba linearity:	< 0.5 mg
Odchýlka:	< 20 µg / °C

Gyroskopy

Maximálna miera otrasov:	30 g, 11 ms
Vibrácie:	0.1 g ² /Hz, 1 h/os
Rozsah prevádzkových teplôt:	-40 °C to +65 °C
Rozsah merania:	±100 °/s
Frekvencia výstupných dát:	125 Hz

4.3 Kalibrácia zariadenia

Presnosť zariadenia pri bežnej prevádzke ostáva nezmenená a preto nie je nutná častá kalibrácia a overovanie presnosti merania. Kontrola kalibrácie však môže byť motiváciou pre prevádzkovateľa za účelom zabezpečenia bezporuchovej prevádzky všetkých subsystémov a funkcií a za účelom zabezpečenia čo najlepších výsledkov merania a hodnotenia kvality povrchu cestných komunikácií.

Pri kontrole a kalibrácií musia byť dodržané ustanovenia prevádzkovej príručky predpísané výrobcom zariadenia. Meracie zariadenie sa musí kalibrovať:

- pred uvedením do prevádzky,
- pred začatím meracej sezóny,
- po každej oprave zariadenia,
- v prípade kalibrácie posunu snímačov raz štvrťročne,
- u výrobcu 1 krát za rok.

Kalibrácia posunu snímačov je automatická a podobná procesu bežného merania. Pre tento účel je pre stanovenie referenčnej roviny možné použiť plochú nádrž s kvapalinou.

O kalibrácii musí byť spracovaný dokument, obsahujúci všetky kalibračné údaje, spôsob ich získania a podrobnosti o realizovaných zásahoch na zariadení.

Kalibračný súbor je neoddeliteľnou súčasťou skúšobného protokolu.

5 Podmienky merania

Meranie sa môže vykonávať v priebehu celého roka bez obmedzenia vonkajšej teploty, pokiaľ sú splnené nasledovné podmienky povrchu vozovky:

- musí byť suchý,
- musí byť čistý.

6 Meranie a hodnotenie nerovností**6.1 Príprava meracieho zariadenia**

Meracie zariadenie pripraví na meranie zaškolená obsluha podľa technickej dokumentácie zariadenia. Počas meracej sezóny je odporúčané parkovať meracie vozidlo v temperovanej garáži pri teplote min. +10 °C.

6.2 Rozsah merania

- maximálna merateľná nerovnosť vozovky je 200 mm,
- meranie sa môže vyhodnotiť v krokoch (1 až 1000) m, najčastejšie 20 m, 50 m a 100 m,

- pre potreby SHV sa používa vyhodnocovaný interval 20 m,
- minimálna dĺžka meraného úseku je 200 m,
- maximálna dĺžka meracieho úseku je obmedzená kapacitou záznamového zariadenia, odporúča sa maximálne 20 km z hľadiska následného spracovania dátových súborov,
- meranie musí byť lokalizované v rámci *Uzlového lokalizačného systému – ULS*. Meranie nemusí byť lokalizované v ULS za predpokladu, že tam ULS nie je (novostavby, požiadavky mimo cestnej siete, resp. siete ULS, špeciálne požiadavky a pod.).

6.3 Vlastné meranie

Meranie sa uskutočňuje kontinuálnym snímaním povrchu vozovky sústavou laserových jednotiek umiestnených na meracom nosníku. Merané úseky musia spĺňať podmienku homogenity z hľadiska polohy trasy v teréne, stavebno-technického a degradačného stavu povrchu vozovky, dopravných podmienok a iných pridružených javov vplyvujúcich na okamžitý stav povrchu komunikácie.

Meracie vozidlo musí byť nasmerované pravými kolesami do pravej koľaje jazdného pruhu, ak to nie je možné, potom v jazdnej stope tak, aby krajný snímač zachytával vnútorný okraj vodiaceho prúžku, v prípade že neexistuje, tak okraj jazdného pruhu.

6.4 Rýchlosť merania

Merania pre všetky účely je možné vykonávať pri rýchlostiach v rozmedzí od 20 km/h do 110 km/h.

Optimálna rýchlosť pre vykonávanie meraní je (50 až 80) km/h.

Rýchlosť meracieho zariadenia nemusí byť počas merania konštantná, avšak nesmie dochádzať k jej náhlým zmenám (prudké brzdenie a pod.).

Rýchlosť merania nie je ovplyvnená druhom komunikácie.

Rýchlosť merania neodpovedá vyhodnocovacej rýchlosti v programe **Profilograph for Windows (Velocity)**, kde sa zadávajú parametre pre vyhodnotenie meraní (pozri článok 6.7 týchto TP).

6.5 Počet meraní

Meranie sa uskutočňuje v stope zodpovedajúcej prejazdu vozidla tak, aby pravý krajný snímač zaznamenával nerovnosť na vodiacom prúžku. Pre jednotlivé typy merania platia nasledovné podmienky početnosti:

- a) pre CDB 1-krát v každom jazdnom pruhu; ak je $> 20 \%$ z dĺžky meraného úseku nevyhovujúcich (vybočenie zo smeru, spomalenie, znečistená vozovka, zastavenia a pod.) je nutné v tej istej jazdnej stope meranie zopakovať,
- b) na porovnávacie merania minimálne 3-krát v jednej jazdnej stope pri ľubovoľnej rýchlosti,
- c) na spracovanie dokumentácie pre projekt opravy alebo rekonštrukcie 1-krát v každom jazdnom pruhu,
- d) na tvorbu degradačných modelov sa stanoví podľa metodiky tvorby degradačných modelov pozdĺžnej, resp. priečnej nerovnosti [L14],
- e) pre správcu cestnej komunikácie podľa jeho požiadaviek, min. však 1-krát v každom jazdnom pruhu.

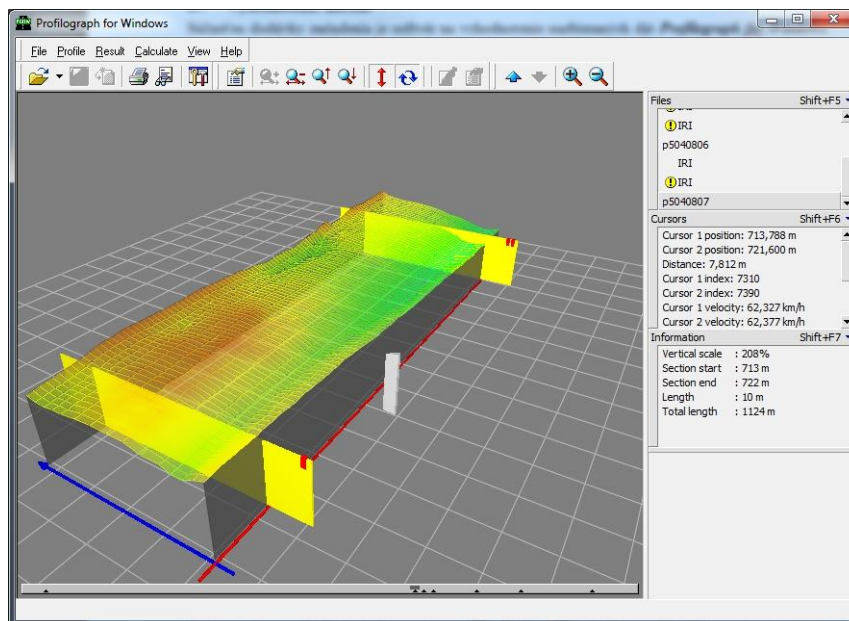
6.6 Skúšobný protokol

Skúšobný protokol z merania sa musí spracovať po každom meraní, bez ohľadu na jeho účel. Musí obsahovať najmä:

- dátum merania,
- mená osôb, vykonávajúcich meranie,
- údaje o počasi (teplota, dážď, nárazový vietor),
- údaje o kalibrácii zariadenia,
- označenie meraného úseku (lokalizácia v rámci ULS, číslo cesty, administratívna jednotka, kód príslušného strediska údržby),
- staničenie v rámci ULS.

6.7 Vyhodnotenie meraní

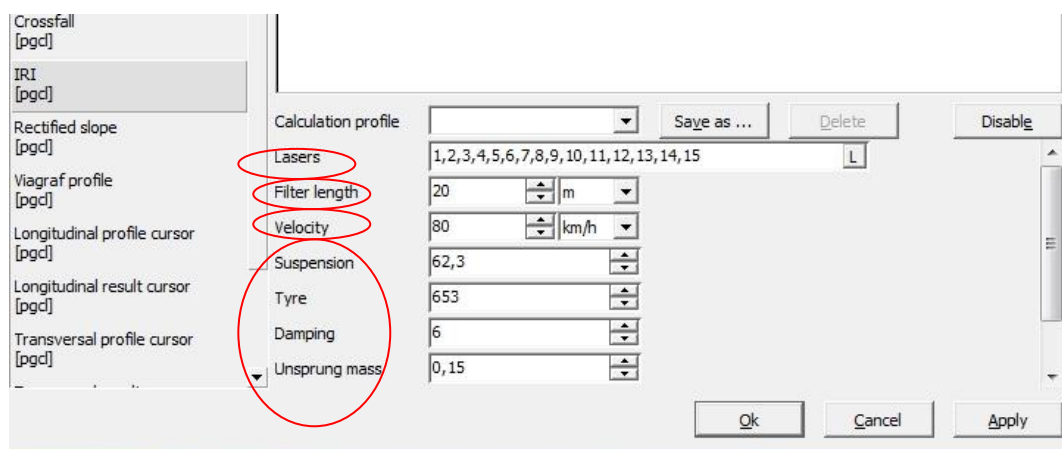
Súčasťou zariadenia je softvér na vyhodnotenie nazbieraných dát **Profilograph for Windows**. Spracovanie dát, ktoré sú vo formáte *.pg2, môže byť vykonávané automaticky, alebo manuálne po zvolených sekciách. Kombinácia dát profilov z laserových snímačov s dátami z akcelerometrov a GPS poskytuje kompletnú 3D geometriu povrchu sledovanej komunikácie (obrázok 7 týchto TP).



Obrázok 7 Príklad výstupu softvéru na vyhodnotenie meraní Profilograph for Windows (Copyright © 1999-2007 Greenwood Engineering A/S)

Pri vyhodnocovaní pozdĺžnej nerovnosti obsluha vyberie snímače, z ktorých sa majú hodnoty IRI vypočítať (*Lasers*) a nastaví vyhodnocovaný interval (*Filter length*), v ktorom budú zobrazované výsledky merania povrchu vozovky podľa účelu použitia merania. Hodnota vyhodnocovacej rýchlosti (*Velocity*) musí ostať 80 km/h bez ohľadu na to, akou rýchlosťou sa pohybovalo meracie zariadenie počas merania, nakoľko táto hodnota odpovedá pôvodnej metodike stanovenej Svetovou bankou [L16]. Rovnako parametre modelu štvrtiny vozidla (*Suspension/Tyre/Damping/Unsprung mass*) musia ostať nezmenené (obrázok 8 týchto TP).

Pri vyhodnocovaní priečnej nerovnosti vozovky, t. j. hĺbky koľají (*Rutting*) obsluha nastaví dĺžku meracieho nosníka (*Bar length*) na hodnotu 2,7 m.



Obrázok 8 Nastavenie softvéru Profilograph for Windows pre vyhodnotenie parametra IRI

Dáta sú po spracovaní exportované buď do textových súborov *.txt, alebo do súborov formátu MS Excel *.xls. Každé meranie, okrem vyhodnotených parametrov pozdĺžnej a priečnej nerovnosti (IRI, RUT) obsahuje aj hlavičku s popisom merania uloženú v súbore, ktorý má v názve skratku „hea“.

Príklad hlavičkového súboru je znázornený na obrázku 9 týchto TP a obsahuje základné údaje o meraní ako napr. meno obsluhy zariadenia (*Operator*), pre koho bolo meranie vykonávané (*Assigner*), číslo cesty (*RoadNumber*), jazdný pruh (*RoadSide/Lane*), lokalizáciu v rámci ULS (*Start/Stop*), meno zdrojového súboru (*CurrentFileName*), cesta jeho uloženia (*CurrentFilePath*), meno zariadenia (*EquipmentName*), meno vyhodnocovacieho softvéru (*ProgramName*), jeho verzia (*ProgramVer*) a pod.

	A	B	C	D	E	F
1	ID	Value				
2	ProgramName	Pro/Windows				
3	ProgramVer	1.0				
4	EquipmentName	DigiProf				
5	EquipmentOwner					
6	CurrentFileName	P47200803200003.dist.texture.pg2				
7	CurrentFilePath	f:\dlhodobo\Za_STK\spolu\				
8	Operator	palo				
9	Assigner					
10	RoadNumber	I/18				
11	RoadPath	1				
12	RoadSide	pravy				
13	Lane					
14	Comment	Zilina STK				
15	Start	2631A01302				
16	Stop	2633A00200				
17	NextEvent	1				
18	Circumference	2.1208990957				
19	FileCreationTime	39527.4626123032				
20	Equipment	DigiProf				
21	DigiProfVersion#0	DPFAPP 1.3.0 b1 DPF build time: 2006/11/10 14:20				
22	DigiProfVersion#1	DPFFPGA 1.7.0 b1 DPF				
23	DigiProfVersion#2	(c) 2006 Greenwood Engineering A/S				
24	DistPerRecord	0.105823644				
25	EventRecordScale	1				
26						

Obrázok 9 Príklad hlavičkového súboru - P47200803200003.hea.xls

Údaje o pozdĺžnej nerovnosti sú ukladané do súborov, ktoré majú v názve skratku „iri“ a obsahujú hodnoty parametrov IRI pre každý laserový snímač (vrátane snímača textúry) vyhodnotené v intervale (*Distance*), ktorý zadáva obsluha zariadenia. Príklad takého súboru je na obrázku 10 týchto TP.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Distance	IRI (1)	IRI (2)	IRI (3)	IRI (4)	IRI (5)	IRI (6)	IRI (7)	IRI (8)	IRI (9)	IRI (10)	IRI (11)	IRI (12)	IRI (13)	IRI (14)	IRI (15)	IRI (16)
2	0	3.668013	3.534888	3.544631	3.549362	3.673048	4.122319	4.106891	4.085433	4.248549	4.124938	3.97248	3.913719	3.67766	3.837917	4.031669	5.07349
3	20	2.32473	1.865103	1.482055	1.493514	1.482269	2.790093	2.5327	2.199698	2.255726	2.207051	2.310291	2.06879	2.284944	1.906861	1.875125	2.933856
4	40	1.588862	1.662477	1.72786	1.688305	1.515074	1.790231	1.516919	1.55707	1.357672	1.540222	1.713314	1.769972	1.869905	1.893376	1.93102	1.875276
5	60	2.977427	2.992134	2.370105	2.125042	2.398386	2.574867	2.939021	2.909069	3.05996	2.786072	2.865706	2.621084	2.859748	2.544215	2.206513	2.722566
6	80	3.364989	2.861638	3.067507	3.240757	2.937493	3.234568	3.40416	3.417603	3.23102	3.128697	3.447075	3.395408	3.243529	3.045883	3.059125	3.69009
7	100	2.639415	2.073113	1.76771	1.757732	2.004834	3.066038	2.407223	2.298571	2.454259	2.642542	2.585235	2.530268	2.489667	2.730145	2.519612	2.840494
8	120	2.624179	2.083622	2.019434	1.681676	1.962813	2.230382	1.883169	1.6611	1.931183	1.67996	1.610605	1.730275	1.79357	2.012768	1.945828	2.688423
9	140	2.490191	1.497991	1.630054	1.479211	1.727515	2.207396	2.453387	2.037235	1.978412	1.92997	1.843885	1.916148	2.255251	2.304646	2.470164	3.948117
10	160	1.396333	1.171899	1.383995	1.066692	1.458985	1.261178	1.665232	1.393278	1.455053	1.982525	1.409941	1.444021	1.85377	2.453513	1.299721	2.530851
11	180	2.144766	2.029458	1.924287	2.221061	2.199506	2.656099	2.247535	2.337698	2.402747	2.492502	2.400033	2.149956	2.26369	2.314649	2.595584	2.787427
12	200	2.056046	1.88103	1.766885	1.798257	1.833616	1.875663	2.09101	2.220298	2.212825	1.948944	2.192518	2.215665	2.307958	2.956436	3.619996	2.739854
13	220	2.453652	2.466017	2.441344	2.465166	2.597805	2.85726	3.248204	3.036649	3.231283	2.821518	2.922148	2.849057	2.588852	2.660305	3.437865	4.085721

Obrázok 10 Príklad súboru s IRI - P47200803200003.iri.xls

Údaje o priečnej nerovnosti sú ukladané do súborov, ktoré majú v názve skratku „rut“ a obsahujú hodnoty parametrov definujúcich kvalitu vozovky z hľadiska hĺbky vyjazdených koľají vyhodnotené v intervale (*Distance*), ktorý zadáva obsluha zariadenia. Príklad takého súboru je na obrázku 11 týchto TP.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Distance [m]	Max rutting [mm]	Left rutting [mm]	Right rutting [mm]	%>5 mm	%>10 mm	%>20 mm	
2	0	17.65385612	1.843160831	17.65385612	60	51.31578947	6.57894737	
3	20	16.79359279	1.009167752	16.58791885	53.968254	49.73544974	1.05820106	
4	40	11.47750955	7.100691727	11.03231583	85.7142857	57.40740741	0	
5	60	14.11736602	1.855405106	14.06552237	59.7883598	51.85185185	0	
6	80	15.35753653	2.807805364	14.02528446	57.1428571	56.08465608	0	
7	100	12.93980327	7.983271654	5.39879321	52.1164021	48.67724868	0	
8	120	14.12485854	5.174124359	10.37815333	57.6719577	48.94179894	0	
9	140	16.51332389	3.469004384	15.10738597	61.3756614	52.91005291	12.4338624	
10	160	13.6745348	7.411648016	13.43457802	84.9206349	55.55555556	10.0529101	
11	180	9.169370747	3.87096502	9.169370747	58.4656085	16.13756614	0	
12	200	7.194924498	3.675596492	7.194924498	62.4338624	3.174603175	0	
13	220	8.155890924	4.949357267	8.155890924	72.4867725	4.497354497	0	
14	240	7.282772753	5.862021507	6.698332166	80.6878307	0	0	

Obrázok 11 Príklad súboru s údajmi o hĺbke vyjazdených koľají - P47200803200003.rut.xls

Súbor s údajmi o hĺbke vyjazdených koľají obsahuje údaje o vyhodnocovanom intervale (*Distance*), maximálnu hodnotu hĺbky koľaje na zvolenom intervale (*Max rutting*), hodnotu hĺbky ľavej koľaje (*Left rutting*), hodnotu hĺbky pravej koľaje (*Right rutting*), percento koľají nad 5 mm (*%>5 mm*), percento koľají nad 10 mm (*%>10 mm*), percento koľají nad 20 mm (*%>20 mm*).

6.8 Začlenenie do centrálnej databázy

Vyššie uvedené súbory z merania pozdĺžnej a priečnej nerovnosti vozoviek ďalej vstupujú do programových prostriedkov na spracovanie premenných parametrov a ukládajú sa do centrálnej databázy pre ďalšie využitie v rámci SHV, príp. na iné použitie.

7 Hodnotenie nerovností vozovky

7.1 Reprezentatívna hodnota pozdĺžnej nerovnosti (IRI)

Za reprezentatívnu hodnotu pozdĺžnej nerovnosti **jazdného pruhu** je považovaný **maximálny údaj IRI** z hodnôt nameraných 2. až 14. laserom. Za reprezentatívnu hodnotu pozdĺžnej nerovnosti **jazdného pásu** je považovaný **maximálny údaj IRI** z hodnôt nameraných 2. až 14. laserom na každom jazdnom pruhu.

Pri hodnotení **vozovky** ako celku je reprezentatívnu hodnotou **maximálny údaj IRI** z hodnôt nameraných 2. až 14. laserom na všetkých jazdných pruhoch (neplatí pre diaľnice, na ktorých sa hodnotí každý jazdný pás samostatne).

Na účely **štatistického hodnotenia stavu cestnej siete** je reprezentatívna hodnota vozovky na danom úseku určená ako **priemer maximálnych hodnôt IRI**, určených každým jazdným pruhom.

Na účely **preberacieho konania** je reprezentatívna hodnota stanovená pre každý jazdný pruh ako **maximálna nameraná hodnota IRI**. V prípade, ak namerané hodnoty IRI na určenom mieste alebo úseku prekračujú maximálnu dovolenú hodnotu, je možné vykonať na požiadanie aspoň jedného z účastníkov konania kontrolné meranie latou podľa STN EN 13036-7. Výsledky merania latou, ktoré sú v takomto prípade záväzné, sa porovnávajú s dovolenými hodnotami nerovností uvedenými v TKP časť 6.

Údaje z krajných laserových snímačov sú vylúčené vzhľadom na ich polohu voči jazdným stopám pruhu pri všetkých druhoch hodnotenia.

7.2 Reprezentatívna hodnota priečnej nerovnosti (hĺbka vyjazdenej koľaje)

Za reprezentatívnu hodnotu **hĺbky koľaje** jazdného pruhu je považovaný väčší údaj z priemernej hĺbky pravej a ľavej koľaje. Za reprezentatívnu hodnotu **hĺbky koľaje** jazdného pásu je považovaný najväčší údaj z priemerných hĺbok pravých a ľavých koľají všetkých jazdných pruhov. Pri hodnotení vozovky ako celku je reprezentatívna hodnota stanovená ako maximum reprezentatívnych hodnôt jazdných pásov (neplatí pre diaľnice, na ktorých sa hodnotí každý jazdný pás samostatne).

Na účely **štatistického hodnotenia stavu cestnej siete** je reprezentatívna hodnota vozovky na danom úseku určená ako **najväčšia priemerná maximálna hodnota** koľaje zo všetkých jazdných pásov. Stanoví sa ako maximum z priemerov, stanovených z hodnôt pravej a ľavej koľaje pre každý jazdný pruh.

Na účely **preberacieho konania** je reprezentatívna hodnota stanovená pre každý jazdný pruh ako **maximálna nameraná hodnota hĺbky koľaje z 20-tich 1-metrových meracích jednotiek**.

Priemerné hĺbky sa stanovujú štatisticky z 20 jednometrových hodnôt získaných z merania laserových snímačov. Do hodnotenia hĺbky koľaji sa započítavajú údaje zo všetkých laserových snímačov. V prípade, ak namerané hodnoty hĺbky vyjazdených koľají na určenom úseku prekročujú maximálnu dovolenú hodnotu, je možné vykonať na požiadanie aspoň jedného z účastníkov konania kontrolné meranie latou podľa STN EN 13036-7. Výsledky merania latou, ktoré sú v takomto prípade záväzné, sa porovnávajú s dovolenými hodnotami nerovností uvedenými v TKP časť 6.

7.3 Stanovenie homogénnych sekcií

Stanovenie homogénnych sekcií je možné vykonávať metódou percentuálneho rozdielu [L12] s medznou hodnotou kritéria 25 % nasledujúco:

- určí sa reprezentatívna hodnota prvého vyhodnocovaného intervalu úseku,
- k prvému vyhodnocovanému intervalu úseku sa postupne pričleňujú nasledujúce intervaly v prípade, že spĺňajú podmienku medznej hodnoty kritéria,
- nový vyhodnocovaný interval sa pričlení k predchádzajúcemu, alebo k už vytvorenej homogénnej sekcií za podmienky, že rozdiel reprezentatívnych hodnôt IRI nového a predchádzajúceho intervalu, resp. už existujúcej homogénnej sekcie, nie je väčší ako 25 %,
- po splnení podmienky sa pričlení daný úsek k predchádzajúcemu a spočíta sa priemerná hodnota IRI ako aritmetický priemer reprezentatívnych hodnôt IRI oboch vyhodnocovaných intervalov,
- reprezentatívna hodnota IRI nasledujúceho vyhodnocovaného intervalu sa potom porovnáva s priemernou hodnotou IRI predchádzajúcej homogénnej sekcie,
- v prípade nesplnenia podmienky, teda ak je rozdiel hodnôt IRI väčší ako zvolené percento hodnotiaceho kritéria, sa nový úsek stáva prvým úsekom nasledujúcej homogénnej sekcie.

Rovnaký postup stanovenia homogénnych sekcií platí pre hĺbku vyjazdených koľají.

7.4 Klasifikácia IRI pre systém hospodárenia s vozovkou

Pozdĺžna nerovnosť vozoviek je klasifikovaná v 5 stupňovej klasifikačnej stupnici obdobne ako všetky parametre systému hospodárenia s vozovkou.

Klasifikácia pozdĺžnej nerovnosti vozoviek podľa druhu komunikácie pre 20 m vyhodnocovaný interval je uvedená v tabuľke 1 týchto TP.

Tabuľka 1 Klasifikačná stupnica hodnotenia pozdĺžnej nerovnosti vozoviek podľa IRI pre 20 m vyhodnocovaný interval

Klasifikačný stupeň	IRI (m/km)		
	Diaľnice a rýchlostné cesty	Cesty	Miestne komunikácie
1	< 1,9	< 1,9	< 3,3
2	1,91 - 3,3	1,91 - 3,3	3,31 – 5,0
3	3,31 - 5,0	3,31 - 5,0	5,01 – 8,0
4	5,01 - 8,0	5,01 - 10,0	8,01 – 14,0
5	> 8,0	> 10,0	> 14,0

7.5 Klasifikácia hĺbky vyjazdených koľají pre Systém hospodárenia s vozovkou

Priečna nerovnosť vozoviek je klasifikovaná v 5 stupňovej klasifikačnej stupnici obdobne ako všetky parametre SHV. Klasifikácia podľa druhu komunikácie je uvedená v tabuľke 2 týchto TP.

Tabuľka 2 Klasifikačná stupnica hodnotenia priečnej nerovnosti vozoviek podľa hĺbky vyjazdených koľají pre 20 m vyhodnocovaný interval

Klasifikačný stupeň	Hĺbka vyjazdených koľají (mm)		
	Diaľnice a rýchlostné cesty	Cesty	Miestne komunikácie
1	< 5	< 5	< 10
2	5,1 – 10,00	5,1 – 10,00	10,01 – 15,0
3	10,1 – 15,0	10,1 – 15,0	15,01 – 20,0
4	15,1 – 20,0	15,1 – 25,0	20,01 – 30,0
5	> 20	> 25	> 30

Pre hodnotenie prevádzkovej spôsobilosti je **hraničnou** hodnotou klasifikačný stupeň 5. Pri dosiahnutí hodnoty hĺbky koľají zodpovedajúcej hornej hranici klasifikačného stupňa 4, t. j. hodnoty hĺbky koľaje 20 mm na diaľniciach a hodnoty 25 mm na cestách, je vozovka z hľadiska priečnej nerovnosti klasifikovaná ako nevhodná pre cestnú premávku.

Varovnou hodnotou je klasifikačný stupeň 4. Pri dosiahnutí hodnoty hĺbky koľaje nad 15 mm je potrebné na komunikácii obmedziť maximálnu rýchlosť na 90 km/h na diaľniciach a 60 km/h na cestách.

7.6 Hodnotenie nerovností k preberaciemu konaniu a pred ukončením záručnej lehoty

Na účely preberacieho konania a hodnotenia vozovky pred uplynutím jej záručnej doby platia pre pozdĺžne a priečne nerovnosti údaje, uvedené v tabuľke 3 týchto TP.

Tabuľka 3 Kritéria nerovností vozovky pri prevzatí a pred ukončením záručnej lehoty

Parameter	prevzatie	1 rok	2 roky	3 roky	4 roky	5 rokov
IRI (m/km)	< 1,9	< 2,2	< 2,5	< 2,8	< 3,1	< 3,3
Hĺbka vyjazdených koľají (mm)	< 5	< 6	< 7	< 8	< 9	< 10

8 Použité materiály a podklady

- [L1.] ČELKO, J., DECKÝ, M., KOMAČKA J., KOVÁČ, M.: Pavement diagnosis as integrant of the pavement management system. [Diagnostika vozoviek ako súčasť systému hospodárenia s vozovkou] In: Communications. Scientific Letters of the University of Žilina. Vol. 10, No. 2 (2008), p. 44-49, ISSN 1335-4205.
- [L2.] ČELKO, J., DECKÝ, M., KOVÁČ, M.: An analysis of vehicle – road surface interaction for classification of IRI in frame of Slovak PMS. [Analýza interakcie systému vozidlo – vozovka pre stanovenie klasifikácie IRI v rámci SHV v SR] In: Maintenance and reliability. Polish Maintenance society, Nr 1 (41) 2009, str.15-21, ISSN 1507-2711.
- [L3.] ČELKO, M., DECKÝ, M., KOVÁČ, M.: The Road Unevenness Evaluation for Assurance of the Regular Serviceability. [Hodnotenie nerovností vozovky pre zabezpečenie bežnej údržby] SURF 2004. 5th Symposium on Pavement Surface Characteristics Roads and Airports. June 6-10th, 2004, Toronto, Delta Chelsea Hotel, Canada. WORLD ROAD ASSOCIATION PIARC, PIARC TC 4.2, CNC-PIARC AND TRANSPORT CANADA.
- [L4.] ČELKO, J., KOVÁČ, M., DECKÝ, M.: Analysis of selected pavement serviceability parameters. [Analýza vybraných parametrov prevádzkovej spôsobilosti] In: Communications, scientific letters of the University of Žilina. Vol. 13, No. 3 (2011), s. 56-62, ISSN 1335-4205.
- [L5.] ČSN 73 6175, Měření nerovnosti povrchu vozovek, 1995.
- [L6.] DECKÝ, M.: Comparison of dynamic methods of road pavement evenness evaluation. [Porovnanie dynamických metód pre hodnotenie nerovností vozoviek] Komunikácie – Communications, Vedecké listy Žilinskej univerzity 2/99, s. 22-32.
- [L7.] DECKÝ, M.: Dynamická interakcia vozidla s vozovkou z aspektu jej pozdĺžnej rovnosti. Habilitačná práca, KCS, SvF, Žilinská univerzita 2003.
- [L8.] DECKÝ, M., KOVÁČ, M., ČELKO, J.: The Modelling Processes Exploitation by Pavement Management System in Slovakia. [Využitie procesov modelovania v systéme hospodárenia s vozovkou v SR] Transaction on transport sciences. In: International scientific journal for transport sciences. Volume 1, number 4, 2008, pp 175-184, ISSN 1802-971X.
- [L9.] DECKÝ, M., LEITNER, B., KOVÁČ, M.: Klasifikácia rovnosti vozoviek zohľadňujúca dynamiku reálneho automobilu – 1.-2. časť. Silniční obzor 2-3/2004, s.49-54, 80-82 ISSN
- [L10.] GILLESPIE, T.: Everything You Always Wanted to Know about the IRI, But Were Afraid to Ask! [Všetko čo ste chceli vedieť o IRI, ale báli ste sa opýtať] Road Profile Users Group Meeting, Lincoln, Nebraska, 1992.
- [L11.] International experiment to harmonize longitudinal and transverse profile measurement and reporting procedure. [Medzinárodný experiment na harmonizáciu merania pozdĺžnych a priečných profilov vozoviek] World Road Association. PIARC technical Committee on Surface Characteristics, p. 80, ISBN 2-84060-140-0 2002.
- [L12.] KOVÁČ, M.: Pozdĺžne nerovnosti vozoviek. Dizertačná práca, KCS, SvF, ŽUŽ, 2003.
- [L13.] KOVÁČ, M., REMISOVÁ, E., DECKÝ, M., ĎURČANSKÁ, D., ČELKO, J.: Diagnostika parametrov prevádzkovej spôsobilosti vozoviek. EDIS – Vydavateľstvo Žilinskej univerzity 2012, s. 264 ISBN 978-80-554-0568-1.
- [L14.] Metodika meraní premenných parametrov vozoviek pri opakovaných meraniach (správa úlohy ZoD c. 04-95-97, Stavebná fakulta STU Bratislava, 12/97).
- [L15.] PROCHÁZKA, M. - ŠPRINC, J. - KROPÁČ, O.: Teoretické základy klasifikácie nerovností vozovek. Silniční Obzor, 7/1980.
- [L16.] SAYERS, M.W., GILLESPIE, T.D., QUEIROZ, C.: The International Road Roughness Experiment (IRRE): Establishing correlation and calibration standard for measurements. [Medzinárodný experiment o rovnosti vozoviek (IRRE): Stanovenie korelácie a kalibrácie pre merania] World Bank, Techn. Paper No. 45, Washington, D.C., 1986.
- [L17.] SAYERS, M., KARAMIHAS, S.: The Little Book of Profiling. Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles. [Malá kniha profilovania. Základné informácie o meraní a interpretácii profilov ciest]. National Highway Institute of FHWA, 1998.

Príloha A

A.1 Prepočet parametra miery nerovností C na hodnoty IRI

V bývalom Československu bola vytvorená metodika hodnotenia nerovností povrchu vozoviek prostredníctvom miery nerovností C. Pomocou tejto metodiky je možné uskutočňovať kvantifikáciu účinkov pozdĺžnych nerovností vozoviek na pohybujúce sa vozidlá z aspektu bezpečnosti a pohodlia jazdy a tiež z hľadiska zaťaženia konštrukčných prvkov vozidiel. V súčasnosti sa touto metodikou vytvorenou Procházkom, Šprincom a Kropáčom [15] uskutočňuje diagnostikovanie rovnosti vzletovo pristávacích dráh [13], kde miera nerovností C (10^{-6} rad . m) je definovaná na základe nasledujúceho vzťahu:

$$C = \frac{D_y}{I \cdot v} \quad (1)$$

Klasifikačná stupnica hodnotenia pozemných komunikácií mierou nerovností C je uvedená v tabuľke 1 prílohy A týchto TP.

Tabuľka 1 Klasifikačná stupnica hodnotenia pozemných komunikácií mierou nerovností C [9], [13]

Klasifikačný stupeň		Miera nerovnosti C (10^{-6} rad . m)	
Úroveň	Názov	Cesty	Diaľnice a rýchlostné cesty
I.	veľmi kvalitná	< 2	< 1
II.	kvalitná	2 – 5	1 – 2
III.	málo kvalitná	5 – 10	2 – 5
IV.	nekvalitná	10 – 20	5 – 10
V.	nevhodná pre premávku	> 20	> 10

Na základe dlhodobých výskumných aktivít autorov týchto technických podmienok boli získané korelačné závislosti hodnôt IRI od hodnôt miery nerovnosti C. Pre uvažované typy pozemných komunikácií sú tieto vzťahy definované nasledujúco:

- cesty

$$IRI = 1,99 \cdot C^{0,49} \quad (2)$$

- diaľnice

$$IRI = 1,78 \cdot C^{0,59} \quad (3)$$