

Juraj Gerlici – Tomáš Lack *

ANALÝZA GEOMETRIE ŽELEZNIČNEJ KOĽAJE (Z POHLADU JEJ OPOTREBENIA V PREVÁDZKE)

RAIL GEOMETRY ANALYSIS (FROM THE POINT OF VIEW OF WEARING IN THE OPERATION)

Analýza železničnej koľaje z pohľadu jej opotrebenia v prevádzke je otázka je otázka súčasnej praxe prevádzky koľajových vozidiel. Dôsledky negatívneho pôsobenia sa odrážajú aj na stave životného prostredia. Na hodnotenie miery vplyvu sa používajú rôzne metódy. Opotrebenie železničnej trate je možné hodnotiť rôznym spôsobom. Jednou z metód je vyhodnocovanie geometrických charakteristík kontaktu kolesa a koľajnice. Dôležité informácie o prevádzkovom stave železničnej trate sú Delta R funkcia, Tangens Gama funkcia, efektívna kuželovitost', ekvivalentná kuželovitost', profil koľajnice pri analýze opotrebenia na základe rozdielu polohy reálnej a teoretickej geometrie.

Základ pre ďalšie hodnotenie stavu trate je vyhodnotenie polohy jednotlivých profilov kolesa a koľajnice a ich spoločné zobrazenie na železničnej trati. Kvalitatívne nedostatočný reálny stav trate je dôvodom pre potrebnú údržbu trate a zlepšenie kvality geometrie koľaje.

Kľúčové slová: kontakt železničného kolesa s koľajnicou, opotrebenie koľaje, geometrické charakteristiky koľaje, Delta R funkcia, Tangens Gama funkcia, efektívna kuželovitost', ekvivalentná kuželovitost'.

1. Úvod

Koľajová doprava je neoddeliteľnou súčasťou nášho bežného života. Je významným faktorom v oblasti hromadnej dopravy cestujúcich a prepravy nákladov. Popri nesporne pozitívnych javoch ktoré prináša prevádzka vozidiel, hlavne v oblasti ekonomickej, prispieva svojim dielom aj na stav životného prostredia.

V tomto článku zameriame svoju pozornosť na oblasť potenciálneho zdroja hluku, vibrácií, opotrebenia kolies a koľajnic, ako aj negatívneho vplyvu na jazdný komfort cestujúcich, pôsobisko kontaktu železničného kolesa s koľajnicou.

2. Základné pojmy

Geometrická os koľaje je spojnica bodov nachádzajúcich sa uprostred vzdialenosti medzi protíľahlými bodmi pojazdných hrán v rovine priečného rezu. Pojazdná hrana koľajnicového pásu je spojnica bodov ležiacich na vnútornej časti hlavy koľajnice, 14 mm

Rail geometry analysis is, from the point of view of wearing in the operation, the question of present railway vehicles operation practice. The sequels of negative influence are reflected on the environment state. For the influence rate assessment various methods are used. The wearing state of rail road track is possible to assess in different manners. One of them is the assessment of geometric contact of railway wheel and rail profile. The significant information on the rail track operation state are Delta R function, Tangens Gamma function, effective conicity equivalent conicity, rail profile in the track wear analysis on the ground of real and theoretic rail profile geometry position difference.

The fundament for another rail state assessment is the single wheel/rail profiles position assessment and common displaying in the railroad track. The poor real track quality state is the reason for necessary track maintenance and rail geometry quality improvement.

Key words: railway wheel/rail contact, rail wearing, geometric rail characteristics, Delta R function, Tangens Gamma function, effective conicity, equivalent conicity.

1. Introduction

Rail transport is an inseparable part of our common life. It is the important factor in the area of mass transport of passengers and freight transportation. Simultaneously with the indisputably positive phenomena brought about by railway vehicles operation, mainly in the economy area, it contributes with its own deal to the environment state too.

In this article, we would like to concentrate our interest to the potential source of the noise, vibrations, rail and wheel wearing and negative influence to the ride comfort of the passengers, the centre of the wheel/rail contact.

2. Basic terms

The geometric axis of the rail is the joint of points located in the middle of the distance between opposite points of the movable edge in the area of a diagonal section. The movable edge of the rail is the joint of the points lying in a position on the inner part

* Dr. Ing. Juraj Gerlici, Ing. Tomáš Lack

Faculty of Mechanical Engineering, Department of Railway Vehicles, Engines and Lifting Equipment. University of Žilina, Moyzesova 20. SK-01026 Žilina. E-mail: juraj_gerlici@kvmz.utc.sk, tomas_lack@kvmz.utc.sk

pod temenom koľajnicového pásu. Rovina prierečného rezu je zvislá rovina, v pôdoryse kolmá na os koľaje. Temená koľajnicových pásov sú body dotyku spoločnej dotyčnice k horným plochám oboch hláv koľajnicových pásov ležiacich v rovine prierečného rezu. Geometrické

usporiadanie koľaje tvorí rozchod koľaje, smerová a výšková poloha koľajnicových pásov a ich sklon v rovine prierečného rezu. Rozchod koľaje je vzdialenosť pojazdnych hrán koľajnicových pásov meraná v rovine prierečného rezu. Pozdĺžna výška koľajnicových pásov je výškový priebeh temien koľajnicových pásov. Smer koľajnicového pásu je priebeh pojazdnej hrany koľajnicového pásu v pôdoryse.

3. Profil hlavy železničnej koľajnice

Podľa tvaru plochy obrazca v prierečnom reze je možné koľajnice zaradiť do dvoch skupín. Jednu tvoria koľajnice so širokou pätou, používané v prevažnej miere pre železničné trate, druhú koľajnice žliabkové, používané prevažne pri stavbe tratí pre vozidlá mestskej hromadnej dopravy. Najexponovanejšími časťami koľajnice sú hlava a päta. Hlava je zaťažovaná zvislými, priečnymi a pozdĺžnymi silami, ktoré vyvodzujú kolesá vozidla, na päta pôsobia reakčné sily podpôr. Zatiaľ, čo sa päta počas svojej životnosti takmer vôbec neopotrebuje, hlava koľajnice je zaťažovaná a opotrebovaná vo zvislom aj priečnom smere. Koľajnica je opotrebovaná v priečnom smere hlavne v oblúkoch na vonkajších koľajnicových pásoch.

V ďalších úvahách sa budeme zaoberať geometriou a zmenou geometrie hlavy koľajnice so širokou päťou, typu UIC 60.

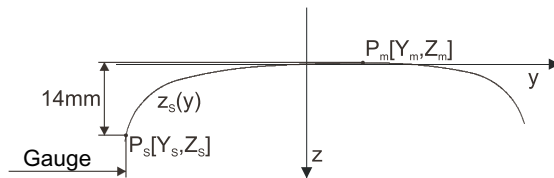
Zmena ideálnej polohy koľajnicových pásov počas prevádzky vozidiel, nie je na celej dĺžke rovnaká.

V niektorých miestach sa môže modifikácia prejavovať ako úbytok materiálu = opotrebenie, v niektorých prípadoch ako lokálny prírastok. Opotrebenie koľaje sa v niektorých prípadoch vyhodnocuje on-line na reálnej trati pri experimentálnom určovaní geometrickej polohy koľaje. V iných prípadoch sa môže vykonať analýza off-line na základe nameraných a zaznamenaných súborov priečných profilov koľajnic. V oboch prípadoch sa namerané hodnoty profilov v určenom intervale priečnej súradnice porovnávajú s referenčným teoretickým profilom koľajnice. Dôležitým parametrom pre určovanie opotrebenia materiálu koľaje je sklon koľajnicových pásov. Trate európskych železníc sú stavané hlavne so sklonom 1:40. Na tratiach Slovenských železníc sa používa sklon 1:20.

4. Kontaktné body geometrického profilu železničného kolesa a koľajnice

Oblasťou intenzívneho pôsobenia síl spôsobujúcich opotrebenie koľajnic je oblasť kontaktu kolesa a koľajnice.

Prvým krokom vedúcim k identifikácii rozsahu kontaktnej oblasti je analytické určenie kontaktných bodov.



Obr. 1 Profil hlavy koľajnice
Fig. 1 Rail head profile

of the rail head, 14 mm under the crown of the rail head. The diagonal section area is a vertical area in the ground plan orthogonal to the rail axis.

Rail head crowns are contact points of the common tangent line, with the upper surfaces of the rail, lying in the diagonal section area. Geo-

metrical position of the track is created with the gauge of the railways, directive and altitudinal position and their declination in the diagonal section area. The gauge of the railway is the distance of the movable edges of the rails, measured in the diagonal section area. The longitudinal height of the rail is the height course of the rail crowns. Direction of the rail is the course of the movable edge of the rail in the ground area.

3. Rail head profile

In accordance with the shape area in the diagonal section it is possible to classify the rails to two groups. The first group is created by the rails with wide foot which is used in overwhelming rate for railway track, the second is created with the grooved rails used in overwhelming rate for town mass transport. The head and the foot are maximum force loaded parts of the rail. The head is loaded with vertical, diagonal and longitudinal forces, acting from vehicle wheels to rail heads. The reaction forces of the supports act on the rail foot. Meanwhile the rail foot is not during its life cycle practically worn, the rail head is forced and worn in the vertical and diagonal direction. The rail is worn in the diagonal direction mainly in the curves on outer rails.

Further we will deal with the geometry and change of the foot rail UIC60 geometry.

Change of the ideal position of the rails during vehicles operations is not equal on the whole length. Change can be observed in some places as a material shrinkage = wearing, in some cases as a local material accumulation. Rail wearing is in some cases assessed on-line on the real track with the experimental assessment of the geometrical position of the track. In other cases the off-line analysis on the ground of measured and saved lateral rail profile files can be carried out. The measured values of the profiles will be in all cases determined with the lateral coordinate interval compared with the reference rail profile. The canting of rail is an important parameter for rail material wearing assessment. The tracks of the European railways are built mainly with the canting of rail of 1:40. The canting of rail of 1:20 is used on the Slovak railways.

4. Wheel and rail profile geometry contact points

The forces inducing the rail wearing act intensively in the wheel - rail contact area.

The first step leading to contact area range identification is the analytical contact point assessment.

Kontaktné body budeme hľadať v rovine kolmej na os kolaje posúvaním profilu kolesa po profile koľajnice v horizontálnom smere v rozsahu $+ / - 10$ mm.

Vstupné parametre pre určenie kontaktných bodov sú:

- y_R - posunutie dvojkolesia
- $z_S(y)$ - funkcia profilu koľajnice
- $z_R(y)$ - funkcia profilu kolesa

$$[Y_S(y_R) = y]_{d=\min(d)}_{y \in (\text{koleso} \cap \text{koľajnica})}$$

$$Z_S(y_R) = z_S(Y_S)$$

$$T_S(y_R) = z_S'(Y_S)$$

$$Y_R(y_R) = Y_S - y_R$$

$$Z_R(y_R) = z_R(Y_R)$$

$$T_R(y_R) = z_R'(Y_R)$$

$$d_{\min}(y_R) = [d(y, y_R)]_{y=Y_S}$$

d_{\min} - minimálna hodnota funkcie $d(y, y_R)$

Výstupy:

$P_S[Y_S, Z_S, T_S]$ - dotykový bod koľajnice

- Y_S - y-ová súradnica dotykového bodu
- Z_S - z-ová súradnica dotykového bodu
- T_S - smernica dotyčnice v dotykovom bode

$P_R[Y_R, Z_R, T_R]$ - dotykový bod kolesa

- Y_R - y-ová súradnica dotykového bodu
- Z_R - z-ová súradnica dotykového bodu
- T_R - smernica dotyčnice v dotykovom bode

We will search the contact points in a perpendicular plane to the rail axis by the shifting wheel profile over rail profile, in the horizontal direction in the range of $+ / - 10$ mm.

The input parameters for the contact points evaluations are:

- y_R - lateral wheelset displacement
- $z_S(y)$ - rail head profile function
- $z_R(y)$ - wheel profile function

$$[Y_S(y_R) = y]_{d=\min(d)}_{y \in (\text{wheel} \cap \text{rail})}$$

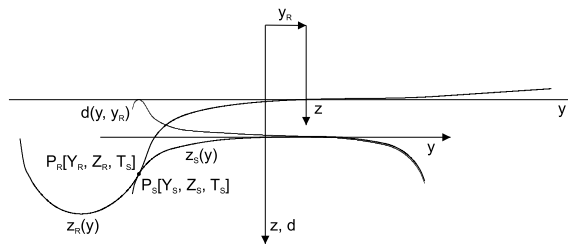
$$Z_S(y_R) = z_S(Y_S)$$

$$T_S(y_R) = z_S'(Y_S)$$

$$Y_R(y_R) = Y_S - y_R$$

$$Z_R(y_R) = z_R(Y_R)$$

$$T_R(y_R) = z_R'(Y_R)$$



Obr. 2 Určenie kontaktného bodu kolesa a koľajnice

Fig. 2 Rail - wheel contact point assessment

$$d_{\min}(y_R) = [d(y, y_R)]_{y=Y_S}$$

d_{\min} - minimum value of the $d(y, y_R)$ function

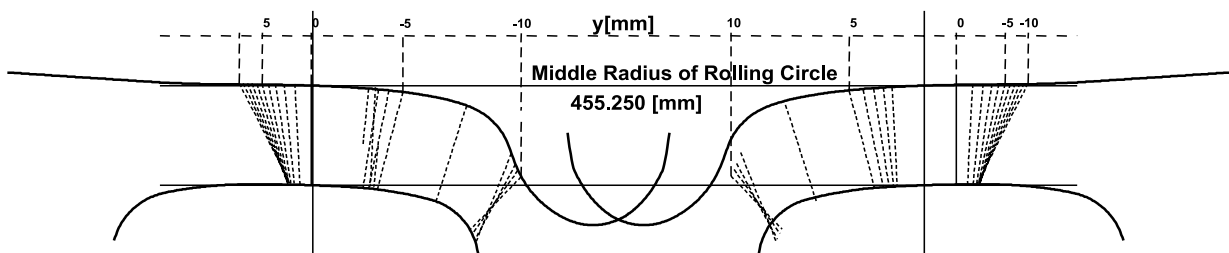
Outputs:

$P_S[Y_S, Z_S, T_S]$ - contact point of the rail

- Y_S - y-coordinate of the contact point
- Z_S - z-coordinate of the contact point
- T_S - tangent slope in the contact point

$P_R[Y_R, Z_R, T_R]$ - contact point of the wheel

- Y_R - y-coordinate of the contact point
- Z_R - z-coordinate of the contact point
- T_R - tangent slope in the contact point



Obr. 3 Dotykové body železničného kolesa a koľajnice

Fig. 3 Railway wheel and rail geometry contact points

5. Geometrické charakteristiky kontaktu kolesa a koľajnice

Na základe zistených reálnych dotykových bodov kolesa a koľajnice, ku ktorým by hypoteticky došlo pri priečnom posúvaní profilu kolesa po profile koľajnice, je možné určiť geometrické charakteristiky.

5. Geometric characteristics of the wheel and rail contact

On the base of found real rail and wheel contact points information, hypothetical contact points can be calculated. The geometric characteristics can be determined as a result of the lateral movement of the wheel profile along the transversal rail head profile.

- Delta R
- Tangens Gama
- efektívna kužeľovitost
- ekvivalentná kužeľovitost.

Delta R

Predpokladáme, že sa dvojkolesie môže pohybovať v železničnej koľaji len v smere jazdy vozidla. Os dvojkolesia zvierá s osou koľaje pravý uhol. Tento uhol sa môže odlišovať od hodnoty pravého uhla o hodnotu uhla nábehu. V prípade centrovanej polohy dvojkolesia v koľaji pretína os trate pozdĺžnu os dvojkolesia v stredovom bode. Vzdialenosť od stredového bodu ku ľavému kolesu je taká istá ako vzdialenosť od stredového bodu ku pravému kolesu.

Kolesá (ľavé a pravé) sa valia po trati s tým istým teoretickým polomerom kolies. Pričná vzdialenosť rovín styčných kružníc je $2s = 1500$ mm.

Ak sa dvojkolesie posunie v priečnom smere, vzniká okamžitý rozdiel polomerov valivých kružníc. Parameter rozdielu okamžitých polomerov valivých kružníc pri priečnom posunutí profilu dvojkolesia po profile koľajnice sa označuje ako Delta R.

Vstupné parametre:

S - polovica vzdialenosti valivých kružníc

R_r - polomer pravého kolesa

R_l - polomer ľavého kolesa

$z_{Rr}(y)$ - funkcia profilu pravého kolesa

$z_{Rl}(y)$ - funkcia profilu ľavého kolesa

$z_{Sr}(y)$ - funkcia profilu pravej koľajnice

$z_{Sl}(y)$ - funkcia profilu ľavej koľajnice

y_{Rmin} - minimálne posunutie dvojkolesia

y_{Rmax} - maximálne posunutie dvojkolesia

Δy_R - krok posunutia dvojkolesia

pre $y = y_{Rmin}$ až y_{Rmax} s krokom Δy_R

1. Dotykový bod $(y, z_{Sr}, z_{Rr}, P_{Sr}, P_{Rr})$

- $P_{Sr}[y] = P_{Sr}$

- $P_{Rr}[y] = P_{Rr}$

2. Dotykový bod $(y, z_{Sl}, z_{Rl}, P_{Sl}, P_{Rl})$

- $P_{Sl}[y] = P_{Sl}$

- $P_{Rl}[y] = P_{Rl}$

3. $\Delta R[y] = R_r + Z_{Rr} - (R_l + Z_{Rl})$

4. $Tg_r[y] = T_{Rr}$

5. $Tg_l[y] = -T_{Rl}$

6. $Tg[y] = Tg_r[y] + Tg_l[y]$

$$Ek[y] = \frac{\Delta R[y]}{2 \cdot y} \text{ pre } y \ll 0, Ek[y] = 0 \text{ pre } y = 0$$

Výstupné parametre

PS_r - vektor dotykových bodov pravej koľajnice

PS_l - vektor dotykových bodov ľavej koľajnice

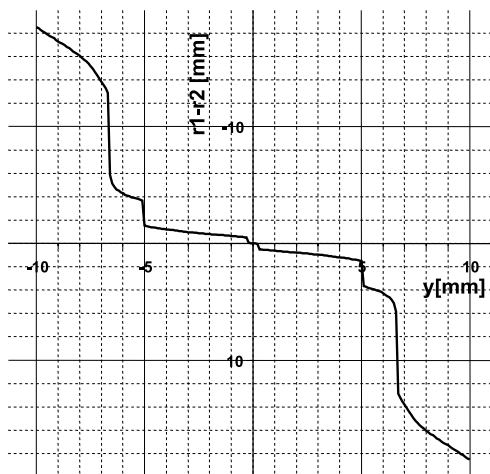
PR_r - vektor dotykových bodov pravého kolesa

- Delta R,
- Tangens Gamma,
- Effective conicity,
- Equivalent conicity.

Delta R

We suppose that the wheelset can move in the railway track only in the vehicle ride axis direction. The wheelset axis forms the right angle with the rail axis. This angle can be different from the right angle value by angle of attack. In the case of centered position of the wheelset in the track, the axis of the track intersects the longitudinal wheelset axis in the center point. The distance from the center point to the left wheel is the same as the distance from the center point to the right wheel. Wheels (left and right) are rolled in the track with the same theoretical wheel radius. The lateral distance of contact circles areas is $2s = 1500$ mm.

If the wheelset moves in the lateral direction instantaneous rolling circles radii difference arises. The difference parameter of the immediate rolling circles by lateral wheelset profile displacement on the rail profile is labeled as Delta R.



delta-r = f(y)

Obr. 4 Funkcia Delta-R
Fig. 4 The Delta-R function

Input parameters:

S - half of the rolling circles distance

R_r - radius of the right wheel

R_l - radius of the left wheel

$z_{Rr}(y)$ - right wheel profile function

$z_{Rl}(y)$ - left wheel profile function

$z_{Sr}(y)$ - right rail profile function

$z_{Sl}(y)$ - left rail profile function

y_{Rmin} - minimum wheelset displacement

y_{Rmax} - maximum wheelset displacement

Δy_R - wheelset displacement step for y from $y = y_{Rmin}$ to y_{Rmax} with step Δy_R

1. Contact point $(y, z_{Sr}, z_{Rr}, P_{Sr}, P_{Rr})$

- $P_{Sr}[y] = P_{Sr}$

- $P_{Rr}[y] = P_{Rr}$

2. Contact point $(y, z_{Sl}, z_{Rl}, P_{Sl}, P_{Rl})$

- $P_{Sl}[y] = P_{Sl}$

- $P_{Rl}[y] = P_{Rl}$

3. $\Delta R[y] = R_r + Z_{Rr} - (R_l + Z_{Rl})$

4. $Tg_r[y] = T_{Rr}$

5. $Tg_l[y] = -T_{Rl}$

6. $Tg[y] = Tg_r[y] + Tg_l[y]$

$$Ek[y] = \frac{\Delta R[y]}{2 \cdot y} \text{ for } y \ll 0, Ek[y] = 0 \text{ for } y = 0$$

Output parameters

PS_r - the right rail contact points vector,

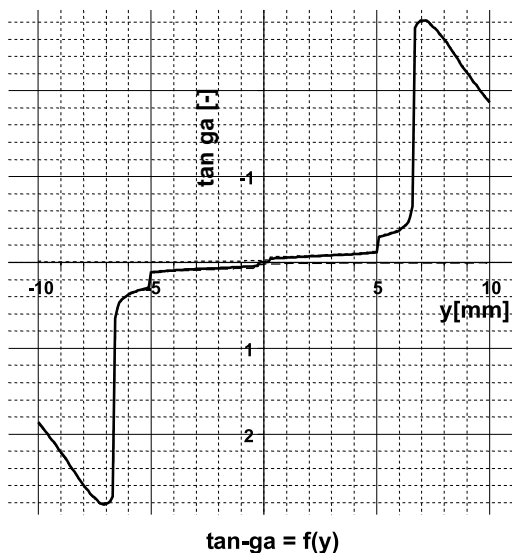
PS_l - the left rail contact points vector,

PR_r - the right wheel contact points vector,

PR_l - vektor dotykových bodov
ľavého kolesa
 ΔR - vektor Delta-R funkcie
 Tg_r - vektor Tan-ga funkcie pre pravé
koleso
 Tg_l - vektor Tan-ga funkcie pre ľavé
koleso
 Tg - vektor Tan-ga funkcie
 Ek - vektor efektívnej kuželovitosti

Tangens Gama

Tangens uhla normály dotykovej roviny v mieste kontaktu kolesa s koľajnicou, s vertikálnou osou označujeme názvom Tangens Gama funkcia. Táto funkcia vyjadruje mieru intenzity väzby, ktorá vracia dvojkolesie po priečnom vychýlení do centrovanej, rovnovážnej polohy v koľaji.



Obr. 5 Funkcia Tangens Gama
Fig. 5 Tangens Gamma function

PR_l - the left wheel contact
points vector,
 ΔR - the Delta-R function vector,
 Tg_r - the Tan-ga function for right
wheel vector,
 Tg_l - the Tan-ga function for left
wheel, vector
 Tg - the Tan-ga function, vector
 Ek - the Effective conicity vector

Tangens Gamma

Tangens of angle of the contact area normal line in the contact point of the wheel with rail, with the vertical axis, is named Tangens Gamma function. This function expresses the binding strength rate, which is returning the wheelset after its lateral deviation to the centered position in the rail.

Efektívna kuželovitost'

Nenulová hodnota okamžitého rozdielu polomeru valivých kružnic vedie ku snahe dvojkolesia vykonať otáčavý pohyb okolo osi prechádzajúcej ťažiskom dvojkolesia, kolmej na horizontálnu rovinu. Štandardným parametrom, ktorým je možné pri kolese s jednoduchým kuželovým profilom definovať mieru schopnosti natáčania, je kuželovitost'.

Skutočný profil železničného kolesa má geometriu profilu presne definovanú pre európske dráhy je zaužívaný profil S1002 (UIC-ORE). V priebehu prevádzky dochádza k opotrebeniu jazdnej plochy kolesa, čím sa aj profil modifikuje.

Efektívna kuželovitost' je hodnota kuželovitosti výhradne kuželového profilu kolesa dvojkolesia, ktorú by dvojkolesie muselo mať, aby vykonávalo rovnaký rotačný pohyb bez preklzov v koľaji, ako skutočné (merané) dvojkolesie.

Na železničné dvojkolesie po vychýlení jeho ťažiska z osi koľaje v priečnom smere pôsobia sily, ktorých účinkom sa dvojkolesie vracia naspäť do centrovanej polohy. Dvojkolesie vykonáva zároveň posuvný dopredný pohyb v smere koľaje. Výsledkom súčasného pohybu v smere postupnom aj v smere priečnom je teoreticky pravidelný vlnivý pohyb dvojkolesia. Podobne, ako porovnávaci parameter efektívna kuželovitost', pre rotačný pohyb sa zavádza parameter ekvivalentná kuželovitost', pre pohyb vlnivý,

Effective conicity

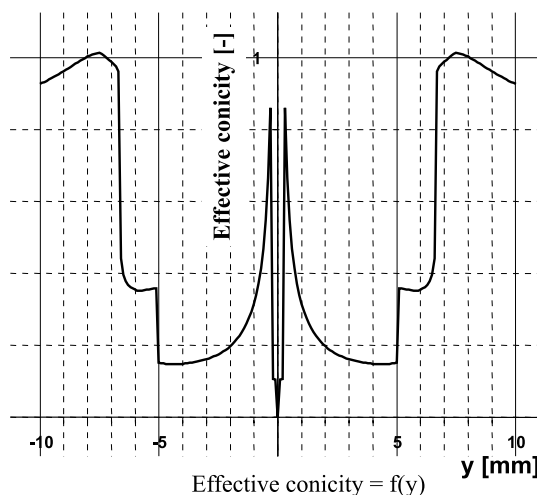
Non zero value of the instant rolling circles radius difference leads to the endeavor of the wheelset doing the rotational movement, around the axis, coming through the centre of gravity of the wheelset. The axis is perpendicular to the horizontal area. The conicity is the standard parameter, enabling to define the rotation ability rate by the wheel with simple conus ride wheel profile.

True railway wheel profile has got the profile geometry strictly defined. S1002 (UIC-ORE) profile is used for the European tracks. During the vehicles operation the wheel wearing occurs and subsequently, the wheel ride profile is changed.

The effective conicity is the valid conicity value only in case of conus wheel ride profile of the wheelset that the wheelset should have for executing the same rotational movement with-out slips in the rail as the true, (measured) wheelset.

The forces act to railway wheelset in the lateral direction after of center of gravity from the rail axis deviation. The wheelset is on the base of these forces returned and centered in the rail.

The wheelset executes simultaneously the forward sliding movement in the rail axis direction. The resultant hunting motion is created by the simultaneous forward and lateral wheelset motion. Rotational movement comparative parameter is effective conicity, the equivalent conicity is the comparative parameter for periodi-



Obr. 6 Efektívna kuželovitost'
Fig. 6 Effective conicity

kde zjednocujúcim faktorom teoretického kuželového profilu dvojkolesia a reálneho skúmaného dvojkolesia sú vlnová dĺžka a amplitúda vlnivého pohybu.

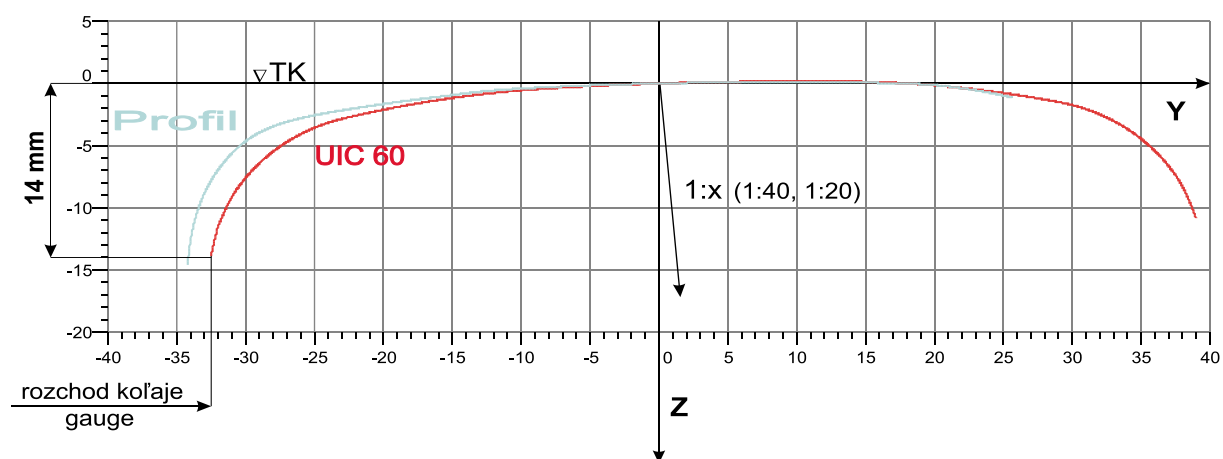
6. Opatrenie kolaje

Zaťažujúce sily pôsobia v kontaktných bodoch kolesa a koľajnice. Sily vytvárajú v kontaktných plochách vysoké lokálne napätové zaťaženie a materiál sa opotrebovávajú. Teoretický profil koľajnice UIC 60 je na obrázku 7. Profil má sklon 1:40. Meraný reálny profil je tiež na obrázku 7. Obe profily sú umiestnené v spoločnom súradnicovom systéme, zarovnané na najvyšší bod profilu koľajnice na úrovni temena koľajnice. Z hľadiska polohy profilov má významnú úlohu parameter rozchodu koľaje, určený vo vertikálnej vzdialenosti 14 mm pod temenom koľaje.

cal hunting motion. The common factors of the theoretical and true wheel profile are wavelength and amplitude of hunting motion of the wheelset.

6. Rail wearing

The loading forces act in the wheel and rail contact points. The forces create the high local strength loads in the contact areas and the material is being worn. Theoretical rail profile of UIC 60 is shown in Fig. 7. The profile has got inclination of 1:40. The measured true rail profile is in Fig. 7 too. Both profiles are situated in the common coordinate system. They are aligned in the highest point of the rail profile, in the level of the rail head crown. From the point of view of profiles position, the rail gauge parameter has got an important function. The gauge parameter is determined in vertical axis 14 mm under the rail head crown coordinate value.



Obr. 7. Referenčný a skutočný profil koľajnice
Fig. 7 Reference and true rail profile

7. Analýza opotrebenia profilu koľajnice

Opatrenie koľaje traťových úsekov môže byť hodnotené viacerými kritériami.

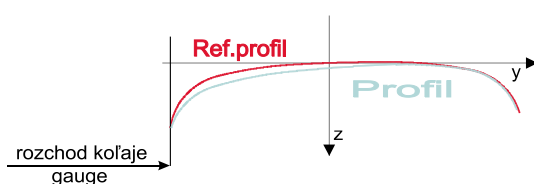
Pre určenie spôsobu vyhodnocovanie, resp. vyčíslenie hodnôt, je rozhodujúce jednoznačné umiestnenie porovnávaných profilov koľajníc v rovine YZ.

Vzťažná poloha v horizontálnom smere je zhodná pre viaceré vyhodnocovacie systémy. Spoločný bod profilov je určený do úrovne pojazdných hrany, vzhľadom na ktorý sa určuje rozchod koľaje. Vo vertikálnej osi je spoločným parametrom pre zarovnanie polohy temena hlavy koľajníc.

7. Rail profile wearing analysis

The railway track segments rail wearing can be assessed with more criteria.

The strictly definite position of the compared rail profiles in the YZ area is crucial for determination of the method of assessment and for wearing quantification.



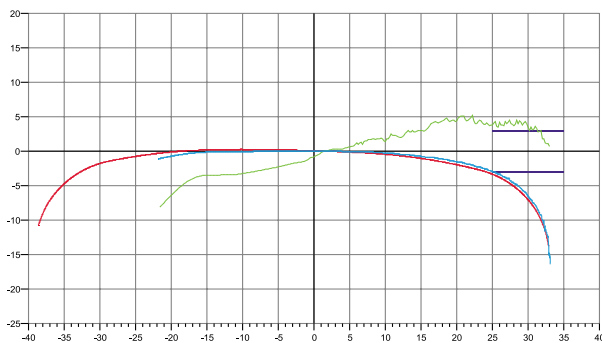
Obr. 8 Umiestnenie profilov pre určenie diferencie
Fig. 8 The position of the profiles for difference assessment

The relative position in the horizontal direction is identical for a lot of assessment systems. The common point of profiles is situated into the level movable edge, owing to gauge of the railway. The rail head crown is the common parameter for position alignment in the vertical axis.

Podmienkou správneho vyhodnocovania diferenčných parametrov je

- dostatočný počet nameraných a uložených bodov,
- použitie správnej vyhladzovacej krivky, ktorou sa namerané body preložia,
- dostatočne vysoká numerická presnosť výpočtov,
- možnosť grafického zobrazenia výsledkov.

Na nasledujúcich obrázkoch sú profily hláv obidvoch koľajnicových pásov a referenčný profil UIC 60. Referenčný profil (červená farba) je naklonený v smere podľa umiestnenia koľajnice: ľavá / pravá.



Obr. 9. Diferencia profilov ľavých koľajnic
Fig. 9 Left rail profiles difference.

Výsledný rozdiel geometrie profilov je znázornený zelenou farbou. Výskyt krivky „pod“ vodorovnou osou s nulovou súradnicou znamená úbytok materiálu, „nad“ znamená návalok materiálu. Na obr. 11, v poradí 2. (pre pravú koľajnicu) a 3. (pre ľavú koľajnicu) grafe sú vynesené takéto rezy vedľa seba. Parameter vodorovnej osi z obrázkov 9 a 10 je v grafoch 2 a 3 obr. 11 vyneseny na zvislej osi, hodnota diferencie je určená farebnou škálou a vodorovná os predstavuje vyhodnocovanú trať.

8. Vyhodnotenie diferencie geometrickej polohy nameraného a referenčného profilu

Gauge: Vzdialenosť pojazdných hrán koľajnicových pásov mieraná v rovine pričného rezu.

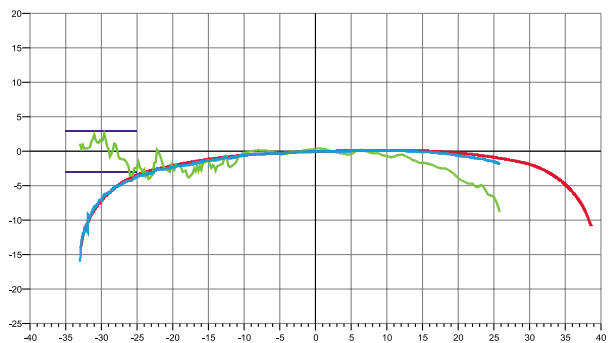
R Diff: Diferencia vzdialenosti bodov profilov hláv koľajnic vzhľadom na začiatok spoločného súradnicového systému profilov pravého koľajnicového pásu. Graf zobrazuje pre každú hodnotu súradnice trate všetky hodnoty diferencií geometrie profilov na dĺžke zvoleného intervalu horizontálnej súradnice pričného rezu pravej koľajnice. Farebná škála pomáha určiť oblasti od minimálnych až po maximálne diferencie geometrie na trati a na základe farebných plôch určuje celkový stav, prípadne zmenu stavu vyhodnocovanú po určitom čase.

L Diff: Diferencia vzdialenosti bodov profilov hláv koľajnic vzhľadom na začiatok spoločného súradnicového systému profilov ľavého koľajnicového pásu. Graf zobrazuje pre každú hodnotu súrad-

The conditions of the right difference parameter assessment are:

- sufficient number of measured and stored points,
- right smoothing curve numerical algorithm usage,
- sufficient high numerical precision of the computations,
- possibility of graphical representation of results.

Both rail head profiles with reference profile UIC60 are shown in the figures below. The reference rail profile is canted in the direction owing to the vertical rail position: left / right side.



Obr. 10. Diferencia profilov pravých koľajnic
Fig. 10 Right rail profiles difference.

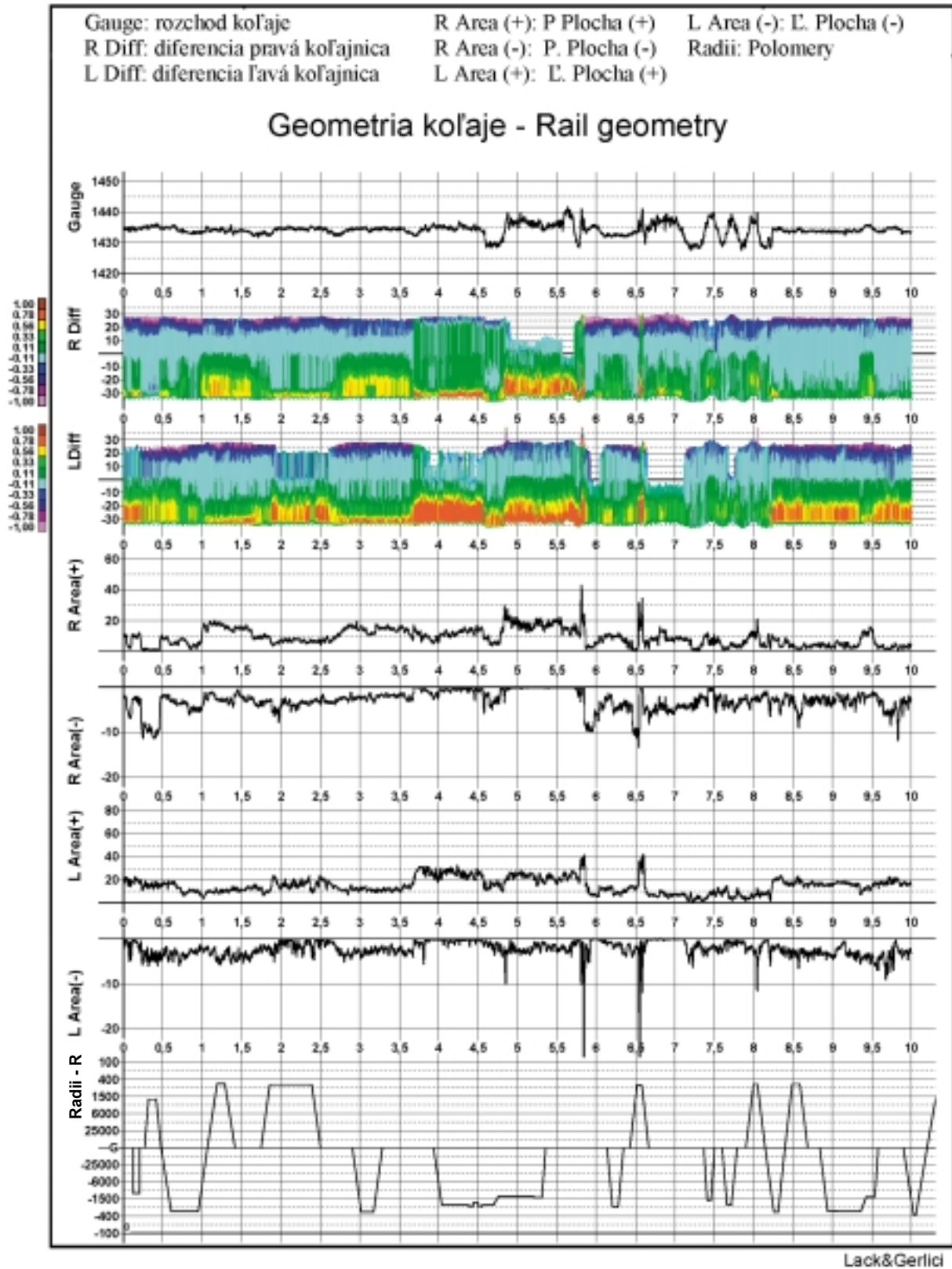
The rail profiles geometry difference is shown in Fig. 9 and Fig. 10 with green color. The green line “under” the horizontal axis of zero level means the material decrement, the green line “over” axis means local material addition. The second diagram (for the right rail) and third diagram (for the left rail) in Fig. 11 show the railway rail lateral cross sections. Parameters of the horizontal axis in Fig. 9 and Fig. 10 are in the second diagram and third diagram displayed in the vertical axis. The color scale legend determines the difference value and the horizontal axis is the assessed railway track.

8. Measured and reference geometry profile difference assessment

Gauge: Distance of the rails movable edges, measured in the cross section.

R Diff: Rails heads profile points distance difference owing to the start of the right rail common coordinate system. The diagram displays all profiles geometry difference values for each of coordinate value in the selected track interval length of the horizontal coordinate of the cross section of the right rail. The color scale helps to locate the areas from maximum to minimum geometry difference along the track and on the base of colored areas it is possible to evaluate the overall rail state or the change of the rail state under operation after some time.

L Diff: Rails heads profile points distance difference owing to the start of the left rail common coordinate system. The diagram displays all profiles geometry difference values for each of coordi-



Obr. 11 Grafy vyhodnotenia geometrie profilov koľajnic na úseku trate
 Fig. 11 Diagrams of the rail profile geometry on the track segment assessment

nice trate všetky hodnoty diferencií geometrie profilov na dĺžke zvoleného intervalu horizontálnej súradnice priečného rezu ľavej koľajnice. Farebná škála pomáha určiť oblasti od minimálnych až po maximálne diferencie geometrie na trati a na základe farebných plôch určuje celkový stav, prípadne zmenu stavu vyhodnocovanú po určitom čase.

R Area (+): Plocha určená priebehom diferenčnej krivky a nulovou horizontálnou súradnicou – oblasť menšej vertikálnej súradnice meraného profilu, oproti referenčnému profilu (opotrebenie), na pravej koľajnici.

R Area (-): Plocha určená priebehom diferenčnej krivky a nulovou horizontálnou súradnicou – oblasť väčšej vertikálnej súradnice meraného profilu, oproti referenčnému profilu (návalok), na pravej koľajnici.

L Area (+): Plocha určená priebehom diferenčnej krivky a nulovou horizontálnou súradnicou – oblasť menšej vertikálnej súradnice meraného profilu, oproti referenčnému profilu (opotrebenie), na ľavej koľajnici.

L Area (-): Plocha určená priebehom diferenčnej krivky a nulovou horizontálnou súradnicou – oblasť väčšej vertikálnej súradnice meraného profilu, oproti referenčnému profilu (návalok), na ľavej koľajnici.

Radii: Definícia trate pomocou polomerov oblúkov. Priamu trať predstavuje horizontálna súradnicová os, hodnota parametra v grafe má označenie G.

8. Záver

Opotrebenie koľajníc predstavuje závažný problém prevádzky koľajových vozidiel. Negatívne dôsledky prílišného opotrebenia koľajníc sa prejavujú tak na zvýšenom zaťažení životného prostredia od materiálu rozptýleného do prostredia, parazitných kmitaní častí vozidiel, zvýšenej hladine hluku, tak na spôsobe jazdy železničného vozidla. Opotrebená koľaj rozhodujúcim spôsobom ovplyvňuje plynulý chod vozidiel, znižuje komfort jazdy, ako aj mieru bezpečnosti proti vykoľajeniu.

Nízka kvalita železničnej trate spôsobuje vyšší koeficient poruchovosti prevádzky vozidiel a problémy s dopravou osôb a prepravou materiálu.

Literatúra – Reference:

- [1] UIC CODE 519 OR: *Method for determining the equivalent conicity*, International Union of Railways, Draft of December 2001.
[2] STN 73 6360: *Geometrická poloha a usporiadanie kolaje železničných dráh normálneho rozchodu*, September 2000.

nate value in the selected track interval length of the horizontal coordinate of the cross section of the left rail. The color scale helps to locate the areas from maximum to minimum geometry difference along the track and on the base of colored areas it is possible to evaluate the overall rail state or the change of the rail state under operation after some time.

R Area (+): The area determined by the course of the difference curve and by zero horizontal coordinate line – area of the lower value of the measured profile vertical coordinate against reference profile (wearing) of the right rail.

R Area (-): The area determined by the course of the difference curve and by zero horizontal coordinate line – area of the higher value of the measured profile vertical coordinate against reference profile (adding) of the right rail.

L Area (+): The area determined by the course of the difference curve and by zero horizontal coordinate line – area of the lower value of the measured profile vertical coordinate against reference profile (wearing) of the left rail.

L Area (-): The area determined by the course of the difference curve and by zero horizontal coordinate line – area of the higher value of the measured profile vertical coordinate against reference profile (adding) of the left rail.

Radii: Definition of the railway track with the help of curves radii. The straight track is shown by the horizontal coordinate axis, parameter value in the diagram is labeled G.

8. Conclusion

Wearing of the rail is important problem of the rail vehicles operation. Negative consequences of the extreme wearing of the rail can be demonstrated both on the loading of the environment from the material dispersed into the environment, parasite vibration of the parts of railway vehicles, high noise level and the manner of the railway vehicle running quality. The worn rail profile influences on a crucial manner smooth running of vehicles, decreases running comfort and safety against derailment too.

The low quality track cases the higher failure coefficient of vehicles and problems with passengers and freight transportation.