

LOKESH K. KRIPLANI és NALINAKSH S. VYAS

Department of Mechanical Engineering
Indian Institute of Technology Kanpur, India
& Chairman, Technology Mission for Indian Railways

A KERÉK/SÍN KAPCSOLATNAK A GÖRDÜLÉSI SUGÁRRA ALAPOZOTT OPTIMALIZÁLÁSA

BEVEZETÉS

A vasutak különböző numerikus optimalizálási technikákat használnak arra, hogy optimalizálják a kerékprofil alakját a kopás és kifáradás csökkentésére, valamint a mozgó jármű dinamikai jellemzőinek javítására. Ez a tanulmány megkísérli optimalizálni az indiai vasutaknál a kerekeknél fellépő kopást. Az eljárás inverz módszert használ, ami a gördülési sugár (RRD-jelű) függvény szerepén alapul, a vasúti kerékpárok dinamikájában. Tanulmányoztuk az RRD függvény változását a kerékpár oldalirányú elmozdulásakor, hogy alkalmas kerékprofilra tegyünk szert. A kerék és sín profilok elemzésére geometriai érintkezési modellt alakítottunk ki. Számítottuk a geometriai érintkezési paramétereket, beleértve az érintkezési pontokat, mind a bal, mind a jobb kerékre vonatkozóan. Megkaptuk az érintkezési pontokban

ható erőket és a kontaktnyomás értékét. Optimalizálási problémát fogalmaztunk meg, hogy az RRD kerékprofil függvényét illeszteni lehessen a megcélzott RRD függvényre.

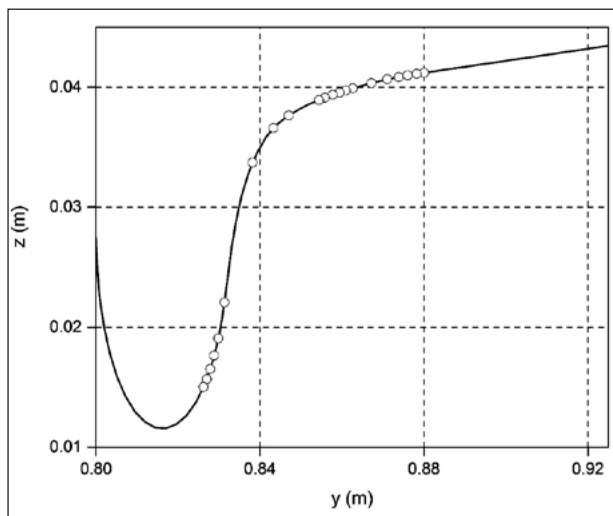
GEOMETRIAI MODELLEZÉS

A gördülési sugár differencia (RRD) függvényt úgy kezeljük, mint indikátort a stabilitásnak, sebességnek és az ívbenfutási feltételeknek, mozgásban lévő kerékre nézve. Adott munkakörnyezet számára ideális RRD függvényt kell definiálni és a vizsgálat alatt lévő kerékprofil RRD függvényét kell becsülni. A kerékprofil korábbi módosítását kell ez után artikulálni, hogy illeszkedjen az ideális RRD görbével. Az optimalizálást az SKDL 2561 kerékprofilra és a SITAL134748 sínprofilra végezzük. Az érintkezési pont helyzete változik, amint a kerékpár oldalirányban kitér, miközben a sínen tovahalad.

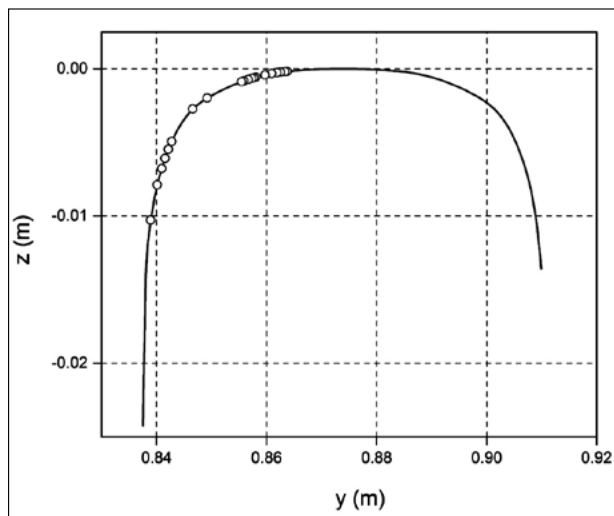
További változást okozó paraméterek: a gördülési sugár, érintkezési szög és gördülési szög stb., amelyek hatást gyakorolnak a folyamatra. Matematikai modellt fejlesztettünk ki, hogy tanulmányozzuk a kerék/sín mozgás geometriáját. A kerék- és sínprofilok előfeldolgozással adódtak, hogy rendelkezésünkre álljanak ezek a geometriai paraméterekhez. Ezen paraméterek némelyike az 1-3 ábrákon került bemutatásra.

ERŐK ÉS KÚSZÁSOK

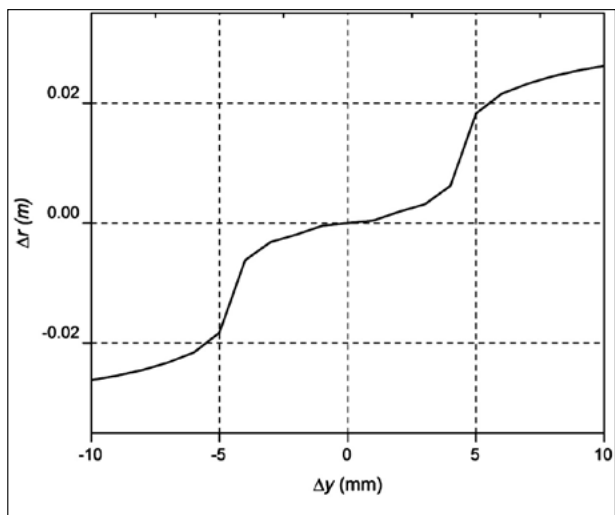
Hertz elmélete, Shabana és mások [1] forrásanyaga használatos az érintkezési erők és kúszások számítására. Ezeket a Carter-féle képletek használatával kapjuk meg [2]. A normális felületi nyomást, az érintkezés területét, valamint a hosszanti- és a fűrókúszást a 4-8. Ábrák mutatják.



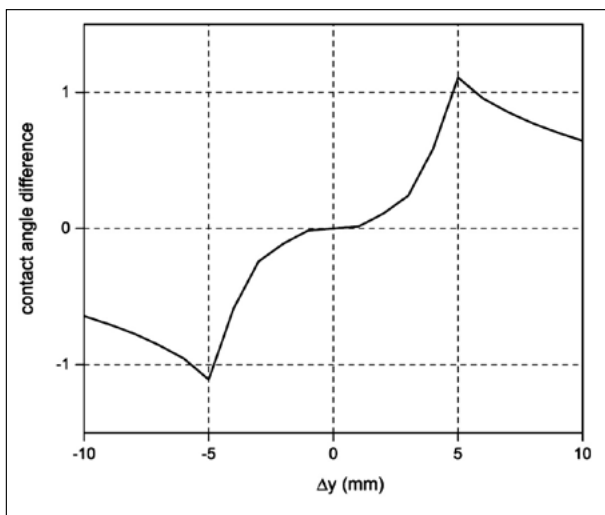
1(a). ábra: Érintkezési pontok a jobb keréken



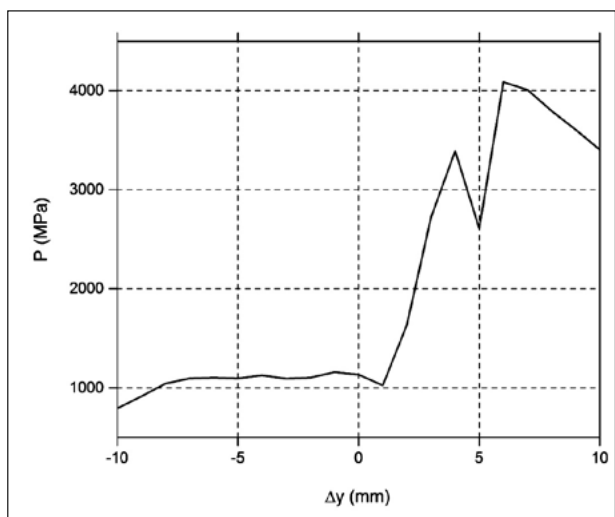
1(b). ábra: Érintkezési pontok a jobb sínen



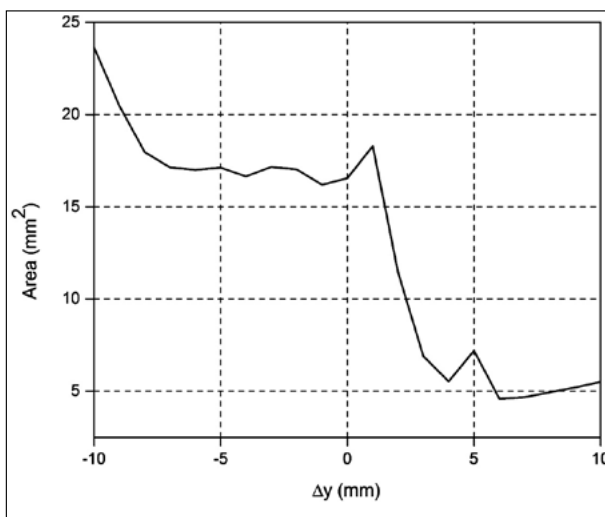
2. ábra: Gördülési sugárkülönbség függvény



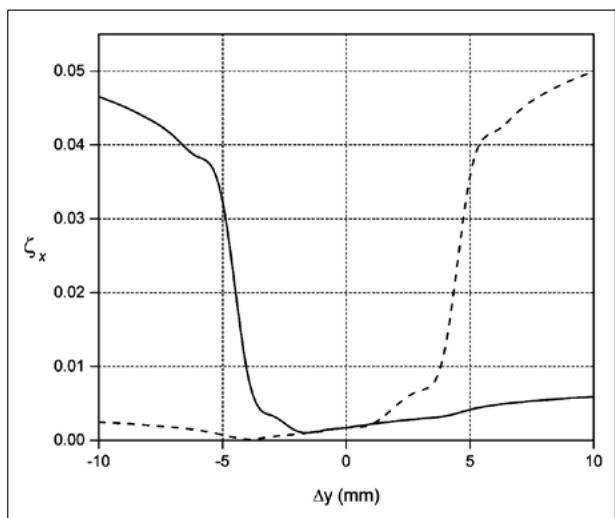
3. ábra: érintkezési szögkülönbség vs. Δy



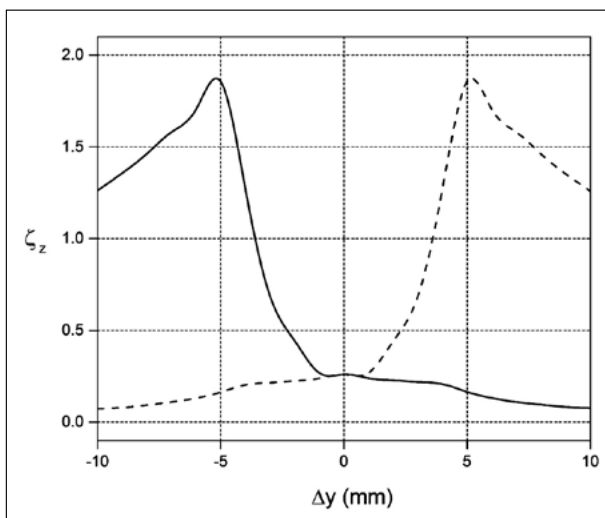
4. ábra: normál nyomás (jobb kerék)



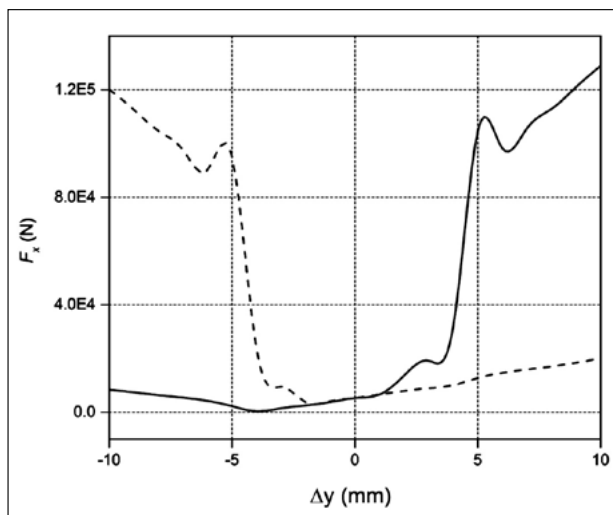
5. ábra: Az érintkezési felület a jobb keréken



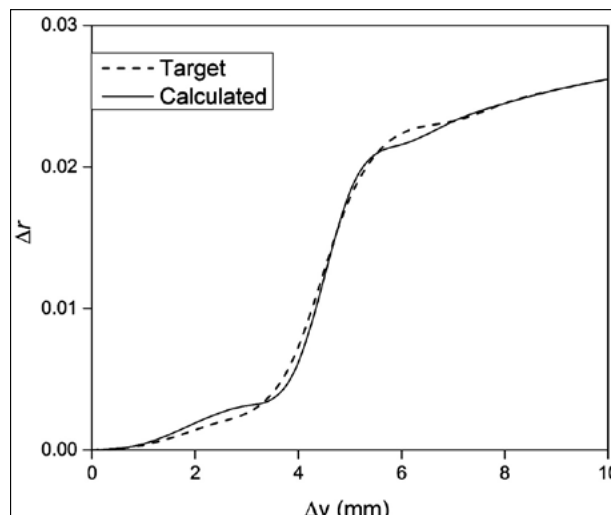
6. ábra: Hosszirányú kúszás J(szag), B(folyt) kerékre



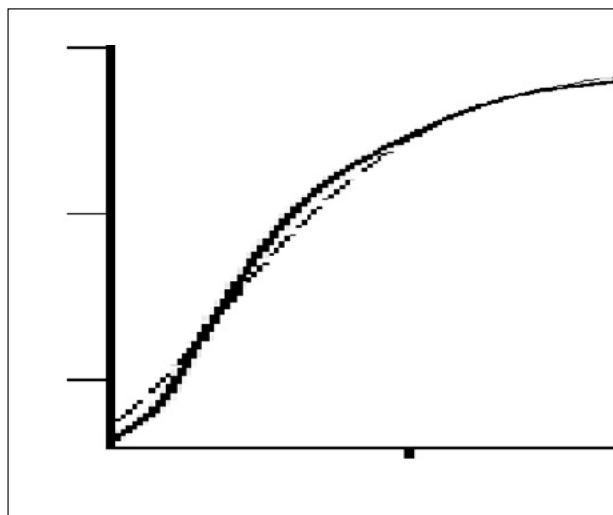
7. ábra: Fűrókúszás J(szag), B(folyt) kerékre



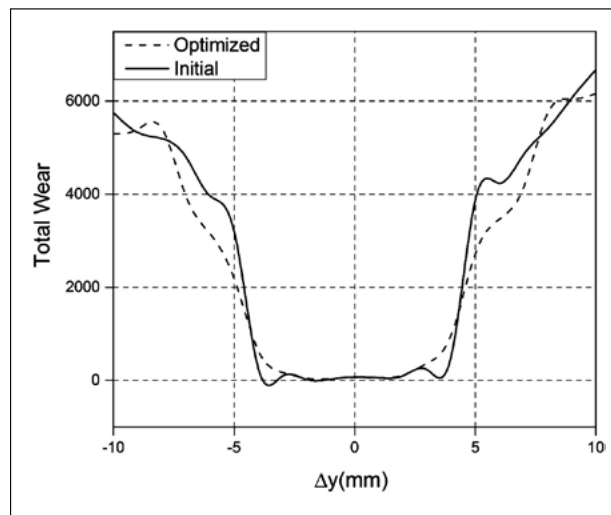
8. ábra: Hosszirányú kúszás J(szag), B(folyt) kerékre



9. ábra: A célként adott RRD és a kiindulási RRD



10. ábra: Az optimalizált (szagg.) és a kiindulási (folyt.) profilok



11. ábra: Kopás a kezdeti és végső kerékprofilnál

TERVEZÉSI CÉL ÉS MÓDSZEREK

Úgy tekintjük, hogy minél nagyobb a sebesség, annál kisebb kell, hogy legyen a kúposság, és ezért az RRD-nek alacsonynak kell lennie, továbbá úgy vesszük, hogy az ekvivalens kúposság kevesebb kell, hogy legyen 0,5-nél, hogy biztosítsa a jármű stabilitását, de nagyobb, mint 0,1, hogy kellő visszatérítő erőt keltsen az ívbenfutáskor. Miközben íves pályán fut a jármű, az RRD függvénynek adnia kell megfelelő Δr -t, hogy az ívbenfutás csúszás nélkül menjen végbe. Listába foglaljuk a tervezési megfontolásokat, mielőtt leírjuk a megcélzott RRD görbe tervezési folyamatát.

- a) Csökkentett kopást és kúszási erőket kell elérni a nyomkarima tartományban.
- b) A kúposság a keréktalpon kicsi legyen, és simán kell növekednie, hogy jó ívbenfutási viselkedést legyen elérhető.
- c) A nyomkarima szögnek elegendően nagyoknak kell lennie a kisiklás megakadályozására (közel 700)
- d) A nyomkarima magasságot és szélességet a szabványos méretek szerint kell ellenőrizni

A 9. ábra mutatja az aktuális és a célként kitűzött görbét.

A megcélzott és a jelenlegi RRD-k közötti különbség a következők szerint van optimalizálva:

Minimalizálandó: $F(X) \rightarrow \min, X \in R^N$; Korlátozások: $G_j(X) \leq 1, j = 1, 2, 3, \dots, m$; oldal korlátozásokkal: $A_i \leq X_i \leq B_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$, ahol $F(X)$ a célfüggvény, $X = [X_1, X_2, \dots, X_n]$ a tervezési változók (akcióparaméterek) n -dimenziós vektora. A tervezési változók alsó és felső határértéke A_i és B_i . Belép m számú tervezési korlátozó feltétel szerepel a $G_j(X)$ függvények szerint. Kőbös Hermite-féle interpolációra alapozva kifejlesztettünk egy matematikai modellt, hogy megkapjuk a kerékprofil a függőleges koordinátákban kifejezve. A korlátozó feltételeket iránytangensekben kifejezve definiáljuk, és az objektív függvény Genetikus Algoritmus által van kezelve.

A 10. ábra bemutatja az optimalizált profil egy szegmensét. A kerékprofil továbbá a geometriai és kopási próbának van alávetve. A 11. ábra a kopás összehasonlítását mutatja kezdeti és végső kerékprofilra.

KÖVETKEZTETÉSEK

Az optimalizálás a megcélzott RRD függvényen alapult, és a ke-

rékprofil változó függőleges koordinátákkal és iránytangensekkel volt modellezve. A megkapott profilokat ellenőriztük biztonság és geometriai kapcsolatuk szempontjából, továbbá az érintkezési nyomás, a kúszás és az erők alakulása szempontjából. A legtöbb próba esetében a kapott kerékprofil jobb eredményeket adott.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Shabana, A.A. – Zaaza, K.E. – Sugiyama, H.: *Railroad Vehicle Dynamics - A Computational Approach*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2008.
- [2] Carter, F.W.: *On the action of a locomotive driving wheel*, *Proceedings of the Royal Society of London A*, 112, 1926, p.151–157.

INGOLF NERLICH

SBB AG - Infrastructure
Department of Assets and Technology
Assetmanagement of track system – Vehicle/Track Interaction
Hilfikerstrasse 3
CH-3000 Bern 65, Svájc

A "PÁLYABARÁT GÖRDÜLŐANYAG" ELŐNYE: A JÖVŐBENI ÚJ SZOLGÁLTATÁSOK VÁRHATÓ PÁLYAFENNTARTÁSI KÖLTSÉGEK ALAKULÁSA

Összefoglaló:

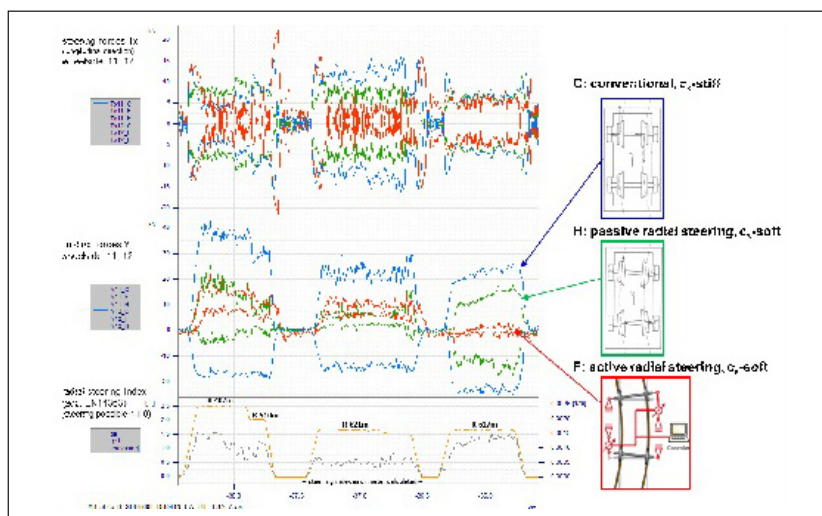
Budapesten, 2016. Szeptember 12-15 között került megrendezésre a X. Nemzetközi Vasúti Forgóváz és Futómű Konferencia. Az ott elhangzott előadások alapján készült bővített tartalmi ismertetőnk közül azok közreadását tervezzük, amelyek a magyar vonatkozása miatt a Vasútgépészet olvasóit leginkább érdekelhetik.

BEVEZETÉS

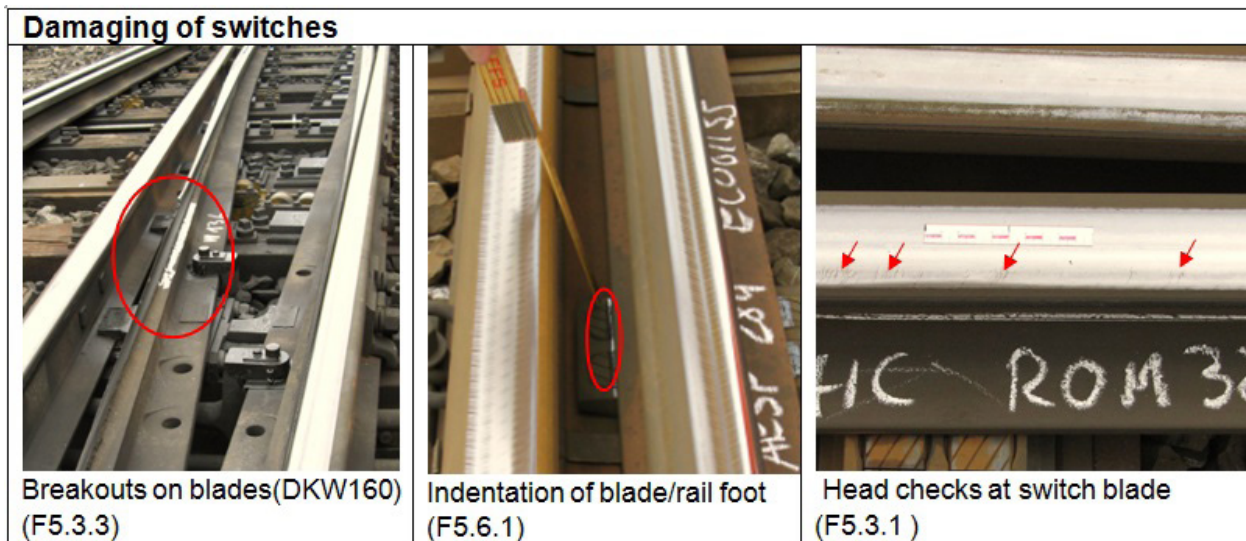
2010-ben Svájci Vasutak (az SBB) az eddigi legnagyobb gördülő állom-

mány beszerzésről hozott döntést. Az aktív radiális kormányzás (ARS) opcionális ajánlata az új gördülő állomány számára csökkentett pá-

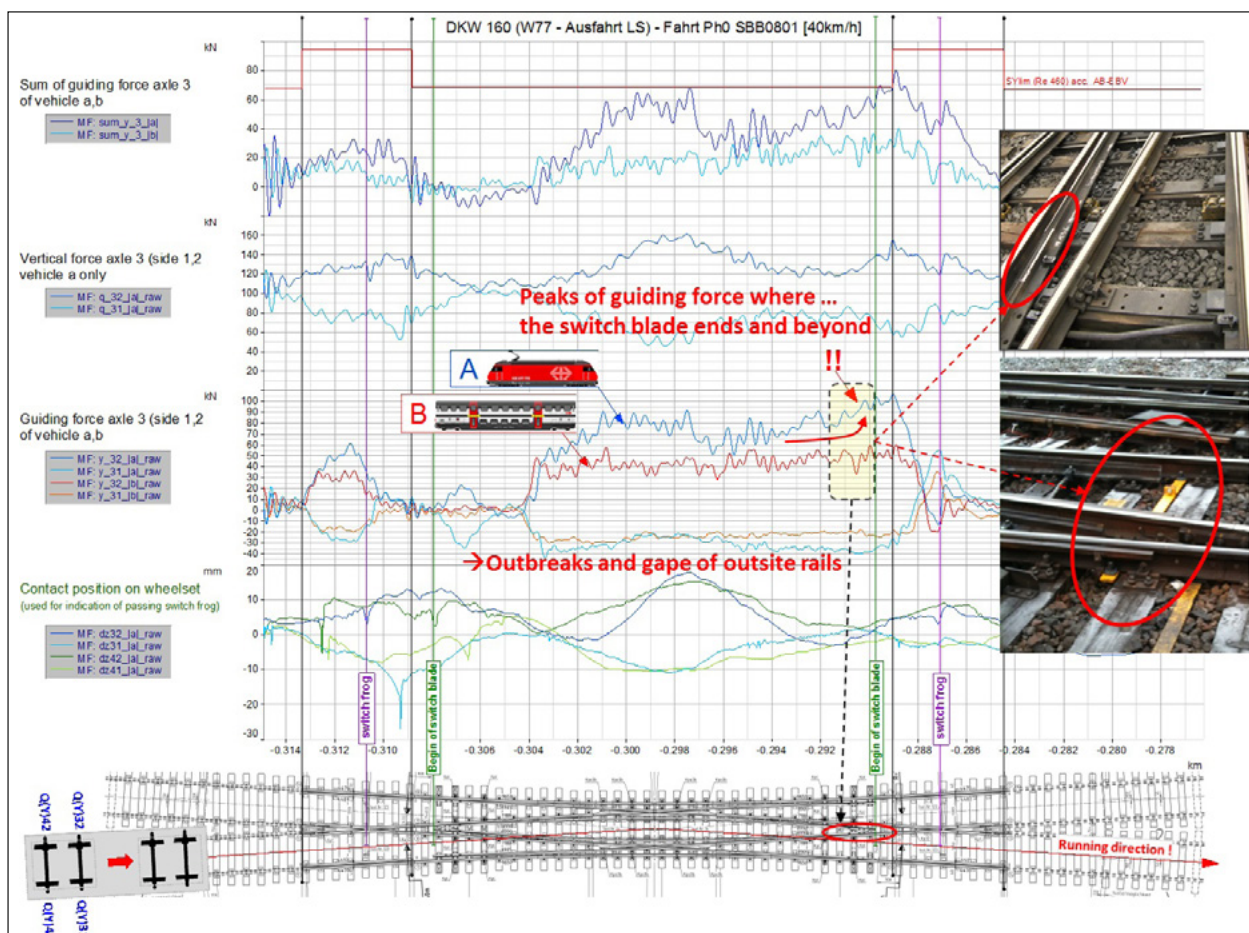
lyafenntartási költséget ígért a hagyományos tervezésű járművekkel való összehasonlításban [2], az SBB, mint integrált vasúti társaság elhatározta, hogy kiértékeli az ARS életciklusának költségét, nem különben a pályafenntartási költségekben való potenciális megtakarítást. Annak az összehasonlításnak az eredményétől függően akarta SBB vezetősége eldönteni, hogy törekedjen-e erre az opcióra/vagy sem. A kérdés a következő volt: Mi a marginális költsége a pályakarbantartásnak 1 kN jövőbeli terhelésnövekedés mellett? A pálya plusz költségek (Track Access Charging = TAC) amelyek a pályakopás modellezésén alapulnak, megadják a gyors választ. Viszont Svájcnak nem volt ilyen TAC –kiértékelésre alkalmas rendszere 2010-ben.



1. ábra: Hagományos passzív/aktív radiális kormányzási viselkedés összehasonlítása különböző érintkezési feltételek mellett a teszt menetben.



2. ábra: Váltókban katalogizált hibák példája, helyszíni vizsgálatokkal felderítve.



3. ábra: részletes adatértékelés R160-as váltóban, a pontatlanság kevesebb, mint 0.3 m.

ÍVEKEN VALÓ MENETVISELKEDÉS ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Támolygás kompenzációs technológiával felszerelt új járművek prototípu-

sát teszteltük emeletes vonatok esetében. Ezen konfigurációnál az ARS-szel további vizsgálatokat vontuk be.

Ugyanehhez a tesztvonatban standard járművekben egyedi kompo-

nens teszteket szintén elvégeztünk. Az 1. Ábra mutatja a különböző forgóváz típusok eredményeit és bebizonyosodik az aktív radiális kormányzás előnye. Különösen mély

benyomást kelt az ARS függetlensége érintkezés geometriai körülményektől. A vágány karbantartás költségeinek globális megtakarítását a passzív vagy aktív kormányzási technológia alkalmazása által nem lehet felbecsülni a lokális viselkedés adatainak összevetésével.

AZ EGYÜTTMŰKÖDÉSI PARAMÉTEREK ARÁNYOSÍTÁSA A DIREKT KÖLTSÉGEKKEL

Hipotézis: Ha a forgalom és az jellemzően ott üzemelő járművek pályával való együttműködési paramétereinek előfordulási szintje ismert elmúlt időszakokra vonatkozóan, akkor a pályahibák, vagy karbantartási beavatkozások jelentik annak a kopásnak és töréseknek az eredményét, amit ezek a járművek okoztak. A vágányonkénti/váltónkénti költség, ami egy időszakon át halmozódott, az skálázza a beavatkozási paramétereket. 2011-óta tudja az SBB feljegyezni az útvonalat, az irányt és a jármű információt minden egyes váltóra és vágányra vonatkozóan. Még akkor, ha a karbantartási feljegyzések tartalmazzák a kumulatív áttekintést, helyszíni felügyeletre volt szükség egy hibakatalógus kialakításához.

Kimerítő adat értékelés (alábbi váltó példa) mutatja a kapcsolatot a kölcsönhatási paraméterek és a vágány/váltó komponenseinek rongálódása között (3. Ábra)

A maximális vezető erő a váltó elhagyásakor jelenik meg, pontosan ott, ahol a csúcssín megtörik és azon a helyen túl, ahol a külső sínek hézagképződéssel károsodnak.

A KOPÁSRA ALAPOZOTT PÁLYHASZNÁLATI DÍJ (TAC) ELŐKÉSZÍTÉSE

A drága beruházások és az azokhoz kapcsolódó megtakarítások rendszerint nem ugyanabban a profit központban vannak a vasutaknál. A kopás alapú TAC fel fogja oldani az „újítások használatát” nehezítő fékeket. A TAC-ot a Svájci Szövetségi Közleke-

dési Hivatal (BAV) mint Pályakapacitás Elosztó és az SBB fejlesztette. 2017-ben fog hatályba lépni [3].

A következő képlet összegzi a kopás alapú alkotóelemek számításának elvét a TAC-2017-ben, ahol;

$$C(V, R)_i = \left(k_1 \cdot F_{RQ} \cdot Q_f^3 + k_2 \cdot Q_f^{1.2} + \alpha \cdot k_3 \cdot T_{PV} + k_4 \cdot F_{RW_5} \cdot W_{bf} + k_5 \cdot \sqrt{f_{5_1} \cdot Q_{W185}^2 + f_{5_2} \cdot Y_{W185}^2} \right) \cdot S$$

$C(V, R)_i$: Kopási költség, amit az i -edik jármű okozott V sebesség mellett R pályáiv sugárnál CHF/km per sebesség osztály és sugár

Q : Vertikális dinamikus kerék erő

TPV : Vontatási teljesítmény (vontatási teljesítmény per érintkezési folt körzete)

W_{bf} : Specifikus rezgési energia a keréksín kapcsolatban

Q_{W185} : A keréktől a sínre ható függőleges erő a váltókban

Y_{W185} : A keréktől a sínre ható keresztirányú erő a váltókban

Költség kalibrálási tényezők (k_j), melyek bizonyos mértékig a sugártól függenek, kapcsolódnak a rongálás-hoz (D_j), ezek pedig a költségekhez. A számítási eszközök [5]-ben részletesebb magyarázattal szerepelnek.

KÖVETKEZTETÉSEK

Az SBB sikerrel oldotta meg azt, ami kezdetben lehetetlennek tűnt a vegyes forgalmi módú vasúti fővonalak vonatkozásában. A várható Pálya Fenntartási Költségek számítása a jövőbeli új „Pályabarát Gördülő Állomány”-nyal kapcsolatos szolgáltatások vonatkozásában. Ma ismerjük a pálya szakaszok karbantartási és/vagy károsodási történetét adott idő szakaszokban a járművekre külön-külön, ez szolgáltatja a kapcsolatot a direkt költségek és a kölcsönhatási paraméterek között. Eltérően minden más, egy hálózaton jelentkező általános karbantartási költségeket lebontási módszerétől, melyek lebontják a költségeket kölcsönhatási paraméterekre, az SBB által alkalmazott módszer közvetlenül kapcsolja össze a valós helyi károsodásokat és

a karbantartási költségeket! Ez a módszer nem csupán hasznosnak bizonyult a pálya hozzáférési költségek ügyében, hanem nyilvánvalóvá tette a kopás alapú pályahasználati díjak modellezését Svájcban. A TAC döntés 2017.01.01.-

n fog életbe lépni. A direkt költség előre jellemzésének rugalmas módszere, ami hozzáadódik a TAC ösztönző modellezéséhez, hasznos hozzájárulás minden olyan jövőbeli innovációhoz, amelyekre nem vonatkozik a jelenlegi modell. Hasznos a TAC jövőbeli továbbfejlesztése is.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Grossenbacher, Karch: Die Wankkompenstation – ein neues Element zur Beschleunigung von Hochleistungsbahnen ZEV Rail 134 (2010) Sft-Graz 2010
- [2] Schneider, Himmelstein: „Bombardier Flexx WAKO & ARS“; ETR 11/2009
- [3] Bundesamt für Verkehr (BAV) [www.bav.admin.ch/bav/... /tras-senpreis.html](http://www.bav.admin.ch/bav/.../tras-senpreis.html)
- [4] Holzfeind, Nerlich, Giger, Marschnig Wear-based component in track access charging system of Switzerland, an incentive to return to a reflection on an overall optimum. ZEV Rail 139 (2015) 6-7 Juni-Juli
- [5] www.onestopshop.ch / ... / Services and prices/ vehicle pricing