

# MODERN VASÚTI CSÚSZÁS- ÉS KIPÖRGÉSGÁTLÓ BERENDEZÉSEK OKOZTA TÖNKREMENTELI FORMÁK A KERÉK-SÍN KAPCSOLATBAN - ÁTTEKINTÉS

## POSSIBLE FAILURE MODES IN THE WHEEL-RAIL CONNECTION CAUSED BY MODERN RAIL ANTI-SLIP AND ANTI-SPIN DEVICES - A REVIEW

Dr. Zwierczyk Péter Tamás\*

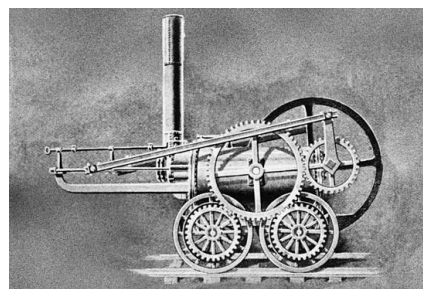
### ABSTRACT

The adhesion-based railway system, as it is known today, has come a long way in its development over the more than 200 years of its history. Thanks to various advancements, the speeds of vehicles and the amount of cargo transported have significantly increased in both passenger and freight transport sectors. This article aims to draw attention to the new or previously less frequently observed forms of damage associated with wheel-rail contact, which have emerged with the introduction of safety-enhancing auxiliary devices (such as slip and spin prevention devices).

### 1. BEVEZETÉS

A ma ismert adhéziós vasút nagy utat tett meg a fejlődése során az elmúlt több mint 200 éves történelme alatt. A kezdeti állapot, majd gőzgép vontatta szerelvényekhez képest manapság nagy, 250-350 km/h utazósebességgel közlekedő, menetrendszerinti járatokat használhat az utazóközönség a világ számos pontján. Ezt a jelentős fejlődést nagyon jól szemlélteti az 1. ábra.

A fejlesztéseknek köszönhetően jelentősen növekedett a járművek sebessége, valamint a szállított teher mértéke mind a személy, mind pedig a teherszállítás területén egyaránt. A hagyományos szárazföldi közlekedési formák közül a vasúti közlekedés tekinthető talán legbiztonságosabb, a legkisebb hely-, illetve energia igényű közlekedési formának. Így gazdaságos, környezettudatos megoldást kínál a személyszállítás mellett a teherszállítás területén egyaránt [1]. Ez a cikk a futásbiztonságot növelő segédberendezések (csúszásgátló és kipörésgátló berendezések) megjelenésével a kerék-sín kapcsolat esetén jelentkező, eddig nem, vagy pedig jelentősen ritkábban tapasztalt károsodási formákra szeretné felhívni a figyelmet.



a)<sup>1</sup>



b)<sup>2</sup>

1. ábra. Richard Trevithick által tervezett mozdony, 1804 a),  
sebesség világrekorder TGV szerelvény, 2007 b)

### 2. PROBLÉMAFELVETÉS

A jelentős fejlesztések elérésében kulcsszerepet játszott az elektronikai technológia robbanásszerű fejlődése.

A járművek magasabb sebességen történő üzemeltetése, magasabb futásbiztonsági követelményeket is támasztott a gyártók és üzemeltetőkkel szemben. A számos passzív ellenőrző rendszer mellett a vasúti járművek esetében is megjelentek az aktív befolyásoló rendszerek, mint a csúszásgátló berendezések (WSP – Wheel Slide Protection System), valamint az aktív kipörésgátló berendezések, amelyek ugyan nem gátolják meg teljesen, de egy kontrolált tartományon belül tartják a kerék-sín kapcsolat jelentkező csúszás mértékét különböző,

\*adjunktus, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Gép- és Terméktervezés Tanszék

<sup>1</sup> Kép forrása: <http://kids.britannica.com/comptons/art-126065/The-first-successful-locomotives-were-built-in-Britain>

<sup>2</sup> Kép forrása: [www.railpictures.net](http://www.railpictures.net) Photo: Sylvain Bouard

alacsony adhéziós üzemi körülmények esetében. Ezeknek a segédberendezéseknek a megjelenésével rövidebb fékút mellett a kerék és sín geometria degradációja is csökkenthető (csúszáságtól elkerülhető a kerekek teljes blokkolása, illetve a kontrolálatlan, magas csúszási sebességek, amelyek mind a kereket, mind pedig a pálya oldalt jelentősen károsítja, a keréknél például poligonosodást, esetleg ellaposodást idézhet elő (2. ábra)).

Vontatás esetében a kerekek kipörgése jelentősen csökkenti a kifejthető vonóerő értékét. Az adhéziós körülmények (súrlódási viszonyok) javítása érdekében, korábban homokoló berendezéseket használtak, később megjelentek az elektronikus kipörgésgátló berendezések. A kontrolálatlanul kipörgő kerekek jelentős károsodást idéztek elő a vasúti pályákban is (3. ábra).



2. ábra. Vasúti kerék ellaposodása blokkolós fékezés hatására [2]



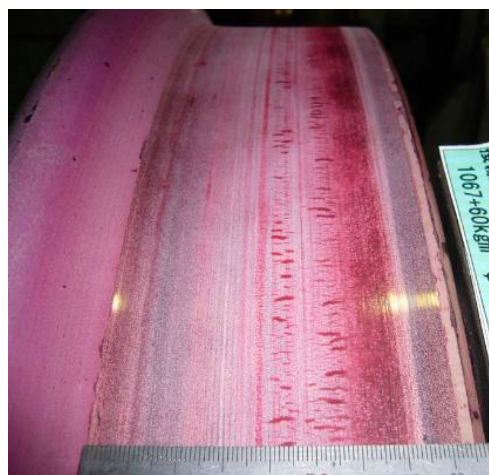
3. ábra. Kipörgő kerék okozta jelentős helyi kopás a vasúti sín futófelületén [3]

Az elektronikus csúszás- és kipörgésgátló berendezések megjelenésével a fenti ábrákon bemutatott szélsőséges tönkremeneteli formák előfordulása jelentősen csökkent, ezzel biztosítva a magasabb futásbiztonságot, valamint a gazdaságosabb üzemeltetést.

A korlátozott csúszás a kerék-sín kapcsolatban azonban más jellegű problémák megjelenését indukálta több további tényező együttes megjelenésével együtt, amelyek külön-külön az előző berendezésekhez hasonlóan jelentősen hozzájárultak a vasúti közlekedés fejlődéséhez. Röviden összefoglalva egyrészt a kizárólag tárcsafékkal, mint elsődleges, nagyteljesítményű üzemi fékkel szerelt járművek megjelenése, továbbá az anyagtechnológia fejlődésével a korábbiaknál nagyobb teherbírású, azonban ridegebb anyagok kifejlesztése

mind a kerekek, mind pedig a sínek kialakításában. Mindezek a körülmények olyan repedések megjelenéséhez vezettek a kerék és a sín esetében, amelyek korábban nem, vagy csak szórványosan voltak tapasztalhatóak az üzemeltetők által.

A vasúti kerekek esetében a csúszva gördülés hatására, amelyet fékezés során a csúszáságtól berendezés szabályoz, de nem szüntet meg teljesen, jelentős lokális hő fejlődik mind a kerék, mind pedig a sín futófelületén, amely apró repedések (angol terminológia szerint micro thermal cracks) megjelenéséhez vezethetnek a futófelületen, illetve közvetlenül alatta (4. ábra). Ezek a felületi mikrórepedések az idő előrehaladtával a felület alatt összenyílnak, ezáltal nagyobb felületi darabok válhatnak le a kerék futófelületéről, amely jelentős futásbiztonsági kockázattal jár. A probléma súlyosságát fokozza a nagyobb teljesítményű, tisztán tárcsafékkal szerelt járművek esetében, hogy a korábbi, tuskós egységgel történő fékezés felület koptató és tisztító hatása teljesen elmarad, amely képes mérsékelni a repedések szabad terjeszkedését.



4. ábra. A hőmérséklet okozta repedések elhelyezkedése a futófelületen [4]

A sín esetében jelentős problémákat okoz az ún. „head-check” (a továbbiakban HC) repedések. A sín futófelületének peremén megjelenő, apró, jellegzetes „V” alakban, egymáshoz nagyon közel elhelyezkedő repedések (5. ábra) megjelenése a nagyobb teherbírású, ámde ridegebb alapanyagú sínek megjelenésével megszaporodtak. A HC repedések megjelenése különösen elszaporodott azokon a pályaszakaszokon, kitérő körzetekben, ahol a járművek gyorsítása történik. Habár a HC repedések kialakulásának elsődleges okaként a gördülő érintkezés okozta kifáradást szokták megjelölni (RCF – Rolling Contact Fatigue), azonban, hasonlóan a csúszáságtól berendezésekhez, a gyorsítás esetében, a nagyteljesítményű vontatójárművek trakciós erejének átadása során a korlátozott megcsúszást (kipörgést) biztosító kipörgésgátló berendezés következményeképpen itt is lejátszódik egy lokális hőfejlődés, ami elősegíti ezeknek a repedéseknek a kialakulását.

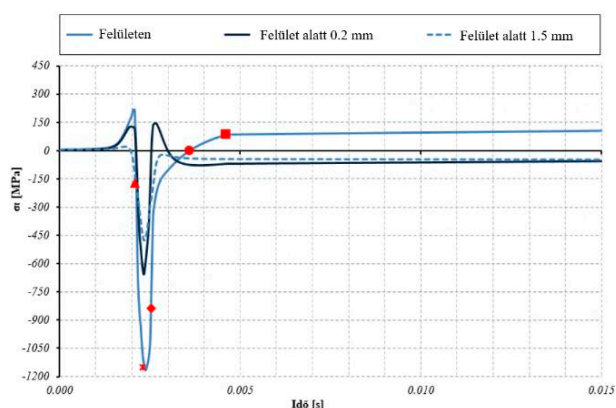


5. ábra. Head-check repedések a sín futófelületének peremén [5]

### 3. REPEDÉSEK KIALAKULÁSÁNAK HÁTTERE

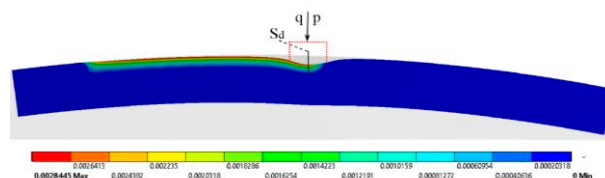
Látható, hogy mind a kerék, mind pedig sín esetében hasonló károsító mechanizmus játszódik le. A korlátozott csúszva gördülés jelentős lokális hőfejlődést eredményez, amelyet további tényezők, mint a ridegebb szerkezeti anyagok, valamint a korábbiaktól eltérő szerkezeti kialakítások, példaként említve a nagyobb fékteljesítmények miatt megjelenő tárcsás fékrendszerek tovább fokoznak. Általánosságban megállapítható, hogy fékezés során jellemzően a kerék, gyorsítás során pedig a sín oldalon jelentkezhetnek a korábban ismertetett repedések.

A csúszva gördülés okozta hőfejlődés több szakember is vizsgálta mind fizikai kísérletek, mind pedig numerikus analízisek segítségével [4, 6, 7, 8, 9]. Az eredmények azt mutatják, hogy a csúszási sebességtől függően lokálisan jelentős hő fejlődik, amely lokális tágulást okoz az érintkezési felületen. Ez a hő a későbbiekben a mélyebb rétegekbe vándorol, ott is lokális, de már korlátozott tágulást eredményez. A folyamat során ébredő tangenciális irányú (menetiránynak megfelelő) feszültség komponens eloszlását egy csúszáságtólval fékezett kerék példáján szemlélítve a 6. ábra mutatja be.



6. ábra A tangenciális irányú feszültség komponens eloszlása a kerék futófelületén és közvetlenül alatta az idő függvényében az első negyed fordulaton [10]

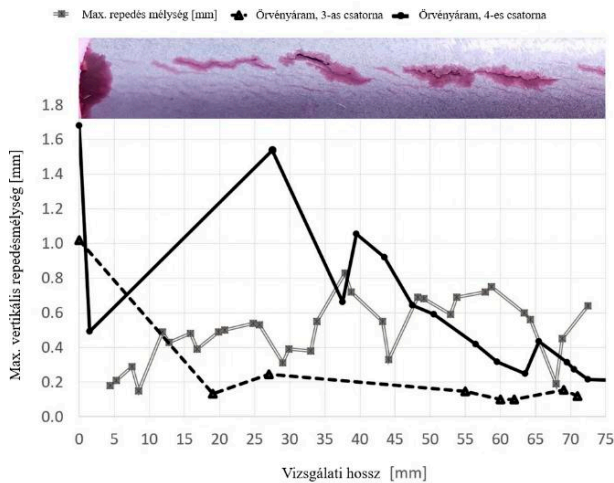
A 6. ábra az alábbi folyamatot mutatja be az idő függvényében. A csúszva gördülés hatására a lokálisan megemelkedő hőmérséklet, az érintkezési tartomány közvetlen környezetében a felületi, majd később a mélyebb rétegekben létrejövő korlátolt hőtágulás váltakozó előjelű feszültségállapotot hoz létre, amely a ciklikus igénybevételnek köszönhetően folyamatosan ismétlődik. A jobb megértés érdekében a vizsgált kerék esetében jelentkező plasztikus nyúlás eloszlását mutatja be a 7. ábra. Az ábrán a kerék hosszirányú metszetben, a numerikus vizsgálat során használt modellorientáció szerint látható (a terhelés: hő - q, érintkezési nyomás - p) felülről, radiális irányba terheli a kereket az érintkezési tartománynak megfelelő mértékben, a sín fizikailag elhanyagolásra került a számítás során). Jól látható, hogy a vizsgált esetben, a hőterhelésből és az érintkezési nyomásból származó terhelés mértéke együttesen meghaladta a kerék alapanyagának rugalmas határát, így képlekeny állapot alakul ki.



7. ábra. Egyenértékű plasztikus nyúlás eloszlása a kerék menetiránynak megfelelő szimmetria síkján (deformációs lépték 50:1) [10]

A csúszási sebesség mértékétől függő hőfejlődés tehát egy olyan érintkezési környezetet hozhat létre, amely a folyamatosan váltakozó húzó és nyomó igénybevételnek köszönhetően elősegíti a mikro repedések megjelenését, valamint a repedések tovább terjedését. Ez a folyamat nem csak a példaként szolgáló kerék oldalon figyelhető meg, hanem a sín esetében is hasonlóak a folyamatok, amelyek az RCF mechanizmusa mellett jelentősen hozzájárulhat a HC repedések kialakulásához.

További probléma, hogy a cikkben tárgyalt meghibásodási formák detektálási pontossága is korlátozott. Erre kiváló példa a [11] publikációban bemutatott eredmények. Az iparágban, Európa szerte széleskörben elterjedt örvényáramú mérőberendezés segítségével mérik fel a gyakorlatban, a vizsgálni kívánt sínszakaszokat HC repedések detektálására. A mérési eredmények függvényében kerül meghatározásra a szükséges beavatkozás mértéke. Pontatlan mérési eredmények, nem megfelelő karbantartási beavatkozást eredményeznek. A 8. ábrán a cikkben vizsgált sínszakasz örvényáramú berendezéssel, valamint azt követően felszeletelt és mikroszkóp alatt a repedésmélység meghatározására irányuló vizsgálatok eredményeit szemlélíti. Az eredményekből jól látható, hogy a tényleges repedésmélységet az örvényáramú berendezés sokszor túl vagy alul becsüli, amely komoly bizonytalanságot okozhat az örvényáramú mérésre alapozott karbantartás esetében.



8. ábra. HC repedések mélysége örvényáramú berendezés különböző mérőcsatornáin, illetve a sinkeresztmetszetek vizuális mikroszkópos vizsgálatának eredményei a vizsgált sinszakaszon [10]

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A vasút fejlődésével, az újabb és újabb segédberendezések megjelenésével, amelyek biztosítják a biztonságos vasúti közlekedést magasabb sebességek és nagyobb szállítható hasznos teher mellett, korábban nem, vagy csak ritkábban tapasztalható károsodási formák jelentek meg, amelyek új kihívások elé állítják mind a berendezések gyártóit, mind pedig a járművek és a pályák üzemeltetőit. Sok esetben nehézséget okoz az is, hogy a rendelkezésre álló és széles körben elterjedt mérési/ellenőrzési eljárások nem biztosítanak kellően megbízható eredményeket, amelyekre megbízható karbantartási és hibamegelőzési előírásokat lehet készíteni. Ezért kiemelten fontos, hogy ezek fizikai hátterét minél pontosabban feltárjuk, megértsük, hogy kiváltó okokat figyelembe tudjuk venni a jelenlegi és új segédberendezések fejlesztésénél.

#### 5. SUMMARY

With the development of railway technology and the appearance of new auxiliary devices that ensure safe railway traffic at higher speeds and with greater payloads, new and previously less frequent or unseen forms of damage have emerged. These pose new challenges for both equipment manufacturers and vehicle and track operators. In many cases, it is also difficult because the existing and widely used measurement/inspection procedures do not provide sufficiently reliable results to establish dependable maintenance and fault prevention guidelines. Therefore, it is crucial to explore their physical background as accurately as possible and to understand the root causes, so that these insights can be considered in the development of current and new auxiliary devices.

#### 6. IRODALOM

- [1] I. Zobory, szerk., Vasúttechnikai kézikönyv. Budapest, Hungary: Magyar Államvasutak Zrt., 2006.
- [2] Alena Favorskaya, Nikolay Khokhlov, Modeling the impact of wheelsets with flat spots on a railway track, Procedia Computer Science 126, pp. 1100–1109, 2018
- [3] WJ Wang, HF Zhang, QY Liu, MH Zhu, XS Jin, Investigation on adhesion characteristic of wheel/rail under the magnetic field condition, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part J: Journal of Engineering Tribology 0(0) 1–7, 2015
- [4] Handa K. és Morimoto F., Influence of wheel/rail tangential traction force on thermal cracking of railway wheels, Wear, vol. 289, pp. 112–118, 2012.
- [5] Vossloh Group, Ralis defects, <https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/products-at-a-glance/rail-turnouts.maintenance/schienenfehler.html>
- [6] M. A. Tanvir, Temperature rise due to slip between wheel and rail—an analytical solution for hertzian contact, Wear, vol. 61, no. 2, pp. 295–308, Jun. 1980.
- [7] V. Gupta, G. T. Hahn, P. C. Bastias, and C. A. Rubin, Calculations of the frictional heating of a locomotive wheel attending rolling plus sliding, Wear, vol. 191, no. 1–2, pp. 237–241, Jan. 1996
- [8] F. Kolonits, Wheel running surface temperature generated by a moving narrow heat source when wheel sliding occurs due to overbraking, 9th Int. Conf. Railw. Bogies Run. Gears, pp. 95–102, 12 2013.
- [9] K. Handa, Y. Kimura, and Y. Mishima, Surface cracks initiation on carbon steel railway wheels under concurrent load of continuous rolling contact and cyclic frictional heat, Wear, vol. 268, no. 1–2, pp. 50–58, Jan. 2010.
- [10] Zwierczyk Péter Tamás, Thermal and stress analysis of a railway wheel-rail rolling-sliding contact. PhD thesis, Pattantyús-Ábrahám Géza Gépészeti Tudományok Doktori Iskola, 2015.
- [11] Máté, T.; Zwierczyk, P.T., Comparison of Rail Head Checks Using Destructive and Non-Destructive Examination Methods, Journal of Failure Analysis and Prevention 22 pp. 1898-1904., 7 p., 2022