

A dinamikus vasúti kerék- és tengelyterhelés mérés vasútbiztonsági vonatkozásai

Dr. Szepessy Zsolt
ügyvezető
evopro Innovation Kft.

**Közlekedésbiztonsági Szervezet Szakmai Nap
2015.05.13.**

- A kisiklások okai
 - A kisiklásokkal kapcsolatos EU célkitűzések
 - A kisiklások okai
- A pályamenti járműdiagnosztikai eszközök
 - A dinamikus kerék és tengelyterhelés mérés
 - A siklások kockázatának csökkentése
- A dinamikus kerék és tengelyterhelés mérése
 - A mérési elv és a fogalmak áttekintése
 - Mérőeszközök
 - Az evopro eRDM240 mérőrendszer ismertetése
 - eRDM üzemeltetési tapasztalatok
 - Járműdiagnosztikai mérések
 - Határértékek beállítása



- www.d-rail-project.eu
- D-RAIL európai kutatási projekt 2011-2014.
- 20 fős konzorcium a Newcastle Egyetem vezetésével (DB, ÖBB, SBB)
- Célkitűzések:
 - A vasúti kisiklások gazdasági hatásainak elemzése.
 - A kisiklások vizsgálatának analitikai, szimulációs és modellezési technikái.
 - A kisiklások megelőzésének koncepciója és technikái.
 - A monitorozó és felügyeleti rendszerek európai integrációja.
 - Műszaki és gazdasági következtetések.

- EU célkitűzés:
 - Kisiklási gyakoriság csökkentése 8-12%
 - Kisiklás okozta átlagos kár értékének csökkentése 10-20%
- Adatforrások:
 - EU: ERA-DNV adatbázis, UIC, EUROSTAT
 - USA -FRA
 - Oroszország
 - Ausztria: <http://versa.bmvit.gv.at/index.php?id=219>
 - Franciaország: SNCF
 - Németország
- DNV:
 - A kisiklások teljes költsége: 505M€
 - Átlagos költség: 1.01M€
 - Halálesetek száma: 3.9

A kisiklások okainak csoportosítása

■ Okok

■ Infrastruktúra

- Alépítmény hibák
- Sín strukturális hibák
- Pálya geometria

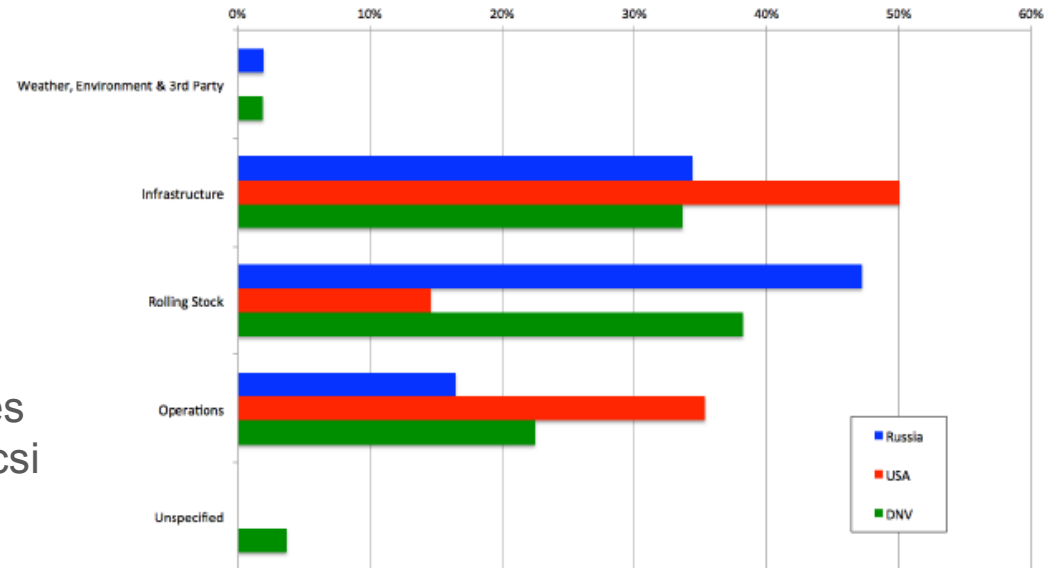
■ Jármű

- Tengely sérülések
- Kerék sérülések
- Forgóváz vagy felfüggesztés
- Csavarodott vagy sérült kocsi
- Fékrendszer hibái

■ Üzemeltetés

- Vonatösszeállítás
- Rakodási hibák
- Kocsivizsgálat és fékellenőrzés
- Váltó és kitérőkezelési hiba
- Sebességtúllépés
- Sínen maradt objektumok

Number of Derailments (as share of total) - Main Categories



A kisiklások okainak relatív gyakorisága

Shares by main category:	DNV	Russia	USA	UIC	Austria	France	Germany	GB SMIS
Weather, Environment, 3rd Party	1.91%	1.96%	0.00%	6.95%	0.00%	4.00%	10%	1.49%
Infrastructure	33.65%	34.36%	50.05%	28.91%	21.74%	24.00%	19%	25.59%
Rolling Stock	38.22%	47.21%	14.58%	34.90%	24.28%	32.00%	25%	9.76%
Operations	22.51%	16.48%	35.37%	19.19%	40.22%	16.00%	25%	40.78%
Unspecified	3.72%	0.00%	0.00%	10.05%	13.77%	24.00%	21%	22.37%

A kisiklások okainak gyakorisága

1. Hőnfutás tengely csapágytok törés (jármű)
2. Nyombővülés (infrastruktúra)
3. Helytelen rakodás (üzemeltetés)
4. Pályamagasság, túlemelés (infrastruktúra)
5. Sín hibák (infrastruktúra)
6. Sínen maradt tárgyak (üzemeltetés)
7. Síktorzulás (infrastruktúra)
8. Monoblokk törés (jármű)
9. Felfüggesztés és lengéscsillapítás hiba (jármű)
10. Kompozit kerék abroncs és köpeny sérülés (jármű)
11. Nem megfelelő fék ellenőrzés (üzemeltetés)
12. Nem megfelelő pálya alátámasztás (infrastruktúra)
13. Váltó helytelen kezelés (üzemeltetés)

- Tengelysérülés
- Nyomtáv bővülés
- Kerékhibák
- Aszimmetrikus rakodás
- Síktorzulás
- Pályamagasság
- Sínhibák
- Rugó, lengéscsillapító és felfüggesztés hiba

Infrastruktúra	33,65%	Járműhibák	38,22%	Üzemeltetés	22,51%
Pályageometria	65%	Futómű hibák	65%	Rakodási hibák	20%
Felépítmény	24%	Forgóváz hibák	20%	Kitérő vezérlés	15%
Egyéb	6%	Csavart kocsi	5%	Pályában maradt objektumok	15%
Alépítmény	4%	Fékek hibái	5%	Vonatösszeállítás	10%
		Egyéb	5%	Fékellenőrzés hibái	10%
				Sebességtúllépés	5%
				Egyéb	25%

A kisiklás okainak összefüggése a kerék és tengelyterheléssel

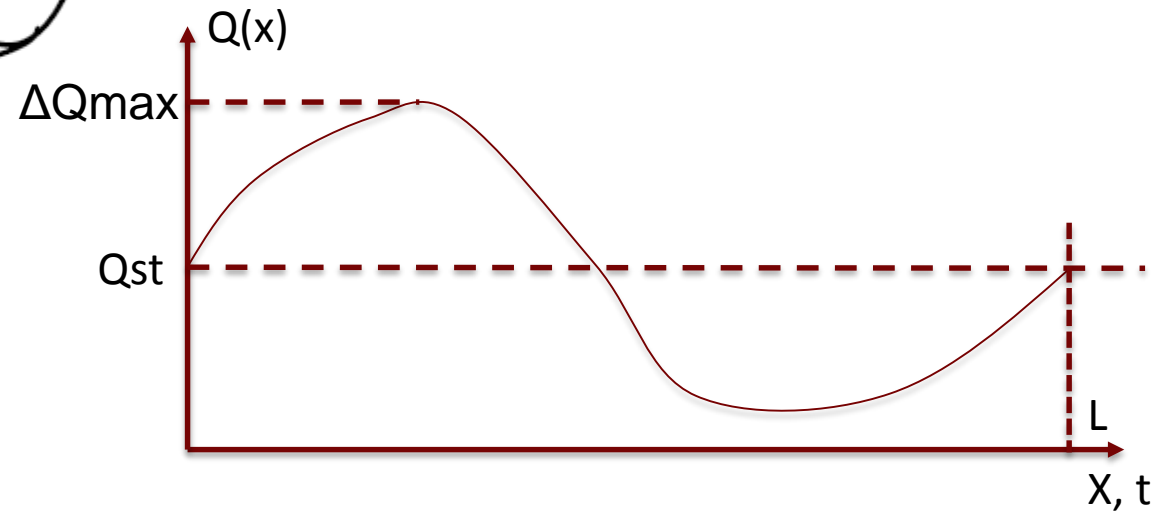
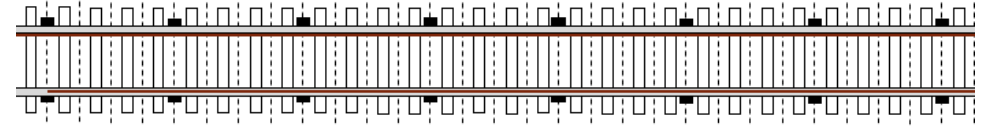
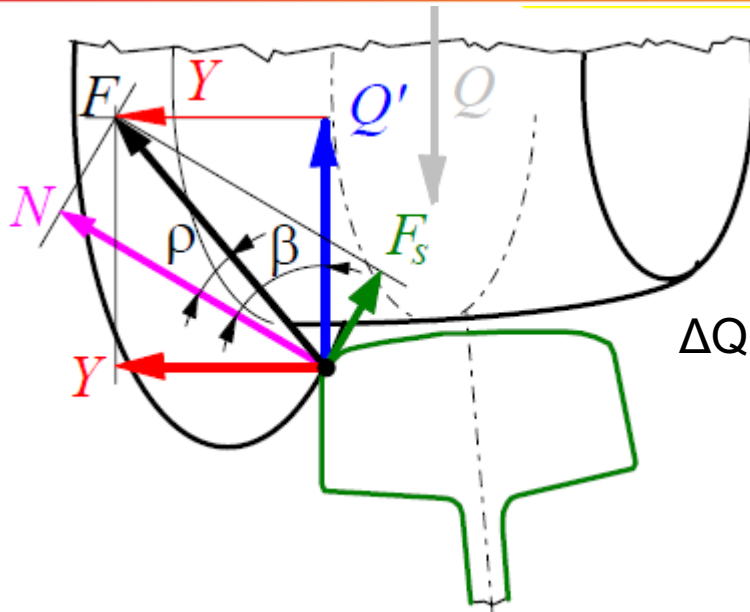


- Nagy dinamikus terhelés -> sínhibák, belső hibák növekedése
- Vontatójárművek hajtása -> felületi feszültség, sínhibák
- Túlterhelés - > kitérők sérülése
- Pályageometriai hiba + jelentős dinamikus vagy aszimmetrikus terhelés okoz kisiklást
- Futómű hibái közvetlen kerékterhelési aszimmetriát okoznak

- Közvetlen összefüggés:
 - Közvetett összefüggés, kerék hibák: laposkerekek, ovális kerekek stb.
 - Helytelen rakodásból származó hibák
 - Futómű meghibásodás, forgóváz hibák, felfüggesztés hibák
 - A hönfutott tengely sokszor kerékterhelés méréssel is kimutatható járműhibát okoz.
- Közvetett összefüggés, amely más primer okokhoz a függőleges terhelés dinamikus értékével függ össze:
 - Pályahiba: nyomtáv bővülés
 - A megengedett mértéket meghaladó pályasík torzulás
 - Pályasík magasság /túlemelés meghibásodás
 - Sín hibák

Az ellenőrzés eszközei

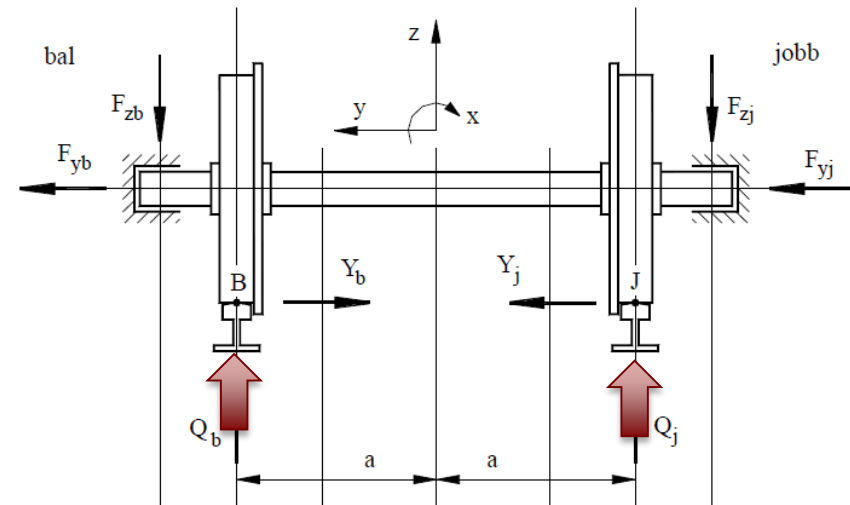
Ok	Ellenőrzés eszköze	Hatás
Forró csapágytok, hőnfutás	Hőnfutásmérő	12%
Kerékhibák	D. kerék és tengelyterhelő rendszerek	10,30%
Nyomtáv bővülés	Pálya geometria ellenőrzés	8,60%
Túl nagy siktorzulás	Pálya geometria ellenőrzés	6,58%
Helytelen rakodás	D. kerék és tengelyterhelő rendszerek	5,95%
Futómű hibái	D. kerék és tengelyterhelő rendszerek	5,62%
Pályaszint túlemelés	Pálya geometria ellenőrzés	3,40%
Sín hibák	Sínellenőrzés	2,87%



- $Q(x(t))$ mérése minden kerékre
- Egyes rendszerek $Y(x(t))$ mérése
- $Q_{st} = \frac{1}{L} \int_0^L Q(x) dx$ Q középértéke a mérőszakaszon
- $\Delta Q(x) = Q(x) - Q_{st}$

Dinamikus kerékterhelés mérés célja:

- adott mérőszakaszon
- a jármű minden kerekére
- a függőleges $Q(t)$ erő időfüggésének/helyfüggésének mérése
- $Q_i(t) = Q_{st} + \Delta Q(t)$ mérés
 - Kvázistacioner erő becslése
 - Dinamikus erő maximumának becslése
- Tengelyterhelés: $Q_t = Q_j(t) + Q_b(t)$
 - $Q_t(t) = Q_{tst} + \Delta Q_t(t)$
- Becslések: Q_{st} , Q_t , mkocsi
- Tengelyterhelés ($Q_j + Q_b$) számítása



- A dinamikus kerékterhelés az egyes kerekek és a tengelyek pillanatnyi függőleges terhelését méri (N),
- az utazó sebesség mellett,
- a dinamikus hatásokkal együtt:
 - statikus járműtömeg és eloszlása
 - statikus teher és annak eloszlása
 - járműdinamikai tulajdonságok
 - pálya dinamikai jellemzői
- A statikus tömegre adható egy becslés, ennek konfidenciája a dinamikus erőkomponensek mértékétől függ (kg)

■ Mért paraméterek

- Kerékterhelés
- Tengelyterhelés
- Kocsiterhelés
- Aszimmetrikus terhelési állapotok
- Túlterhelt kocsik kiszűrése
- Kerékhibák detektálása
- Forgóvázhibák detektálása

■ Távdiagnosztika

■ MÁV ZRt szoftverintegrálás:
KÖFE, SZIR, forgalomirányítás

■ Magyar Termék Nagydíj 2014



- **Közlekedésbiztonság:** a kerékhibák és forgóváz hibák korai detektálásával csökkenthető a vasúti balesetek valószínűsége
- **Vasúti pálya védelme:** a kerékhibák, és aszimmetrikus terhelési viszonyok azonosításával felügyelhető a pályaterhelés, csökkenthetőek a karbantartási költségek, megakadályozhatóak a váltók és egyéb vasúti pályaelemek károsodása.
- **Valós pályahasználaton alapuló számlázás:** a pálya fenntartója ellenőrizheti a teherszerelvények szállítólevelében deklarált terhelési adatokat, a túlterhelési engedélyeket és a valós terhelési adatokon alapuló pályahasználati díjat alkalmazhat.
- **Adatszolgáltatás:** a vasúti szereplők mindegyikének érdeke a valós pályaterhelés pontos ismerete, amely adatszolgáltatási lehetőséget nyújt a mérőrendszer üzemeltetőjének.

- Maximális tengelyterhelés: 400 kN (40 t)
- Minimális tengelyterhelés: 10 kN (1 t)
- Mérési pontosság állandósult mozgásállapot esetén $\pm 2\%$
- Mérőszakasz hossza: 34,2 m 600mm aljosztás esetén
- Sebességmérés pontossága: 1 %
- Nyomtáv: 1435 mm
- Sín típus: 48, 49, 54, 60
- Aljosztás: 580-650 mm

Mérőrendszer képe (Apc)



■ Kerékterhelés:

- A kerék a sínre kifejtett függőleges terhelésének (Q) a mérőszakaszon számított középértéke

■ Tengelyterhelés:

- Egy adott tengelyhez tartozó kerekek pillanatnyi függőleges terhelései (Q) összegének a mérőszakaszon végigkövetve számított középértéke

■ Kocsiterhelés:

- Egy adott kocsihoz tartozó tengelyterhelések összege

- **Átlagos tengelyterhelés:**
 - Egy adott kocsihoz tartozó tengelyek terhelésének átlaga
- **Hossztengely menti terhelési aszimmetria:**
 - Egy adott kocsihoz tartozó jobboldali és baloldali összterhelés hányadosa
- **Tengelyen belüli kerékterhelési aszimmetria:**
 - Egy adott tengelyhez tartozó jobb és baloldali kerékterhelés relatív eltérése

- **1/2012. (I. 13. MÁV Ért. 1.) IÁVIGH** számú infrastruktúra általános **vezérigazgató-helyettesi utasítás** a dinamikus kerékterhelésmérő berendezés jelzése esetén követendő eljárásról és adatainak felhasználásáról.
- **53/2014. (XII. 19. MÁV Ért. 22.) ÁVIGH sz. utasítás**
A dinamikus kerékterhelésmérő berendezés jelzése esetén követendő eljárásról és adatainak felhasználásáról.

- **Túlterhelés:**
 - R1, R2: kocsinként számolva
 - R3: tengelyenként számolva
- **Asszimetria**
 - R4: kocsinként (bal-jobb és első-hátsó)
 - R4T: (tengelyenkénti bal-jobb)
- **Keréklaposodás**
 - R5: határérték feletti geometria-eltérés

3.16.1 Riasztás 1 (R1):
219,3 kN (21,93 t) < mért átlagos tengelyterhelés érték
 $\leq 229,5$ kN (22,95 t),

3.16.2 Riasztás 2 (R2):
229,5 kN (22,95 t) < mért átlagos tengelyterhelés érték
 $\leq 244,8$ kN (24,48 t),

3.16.3 Riasztás 3 (R3): a mért tengelyterhelés érték > 244,8 kN (24,48 t), már egyetlen túlterhelt tengelyre megtörténik.

3.16.4 Riasztás 4 (R4): egyenlőtlen tengelyterhelés az alábbi esetekben:

3.16.4.1. Egyenlőtlen tengelyterhelés, amely kéttengelyű járműnél meghaladja a 1:2 arányú terhelés-eltérést. (R4)

3.16.4.2. Egyenlőtlen tengelyterhelés, amely forgóvázas járműnél meghaladja a 1:3 arányú terhelés-eltérést. (R4)

3.16.4.3. Egyenlőtlen kocsiterhelés, amely hossztengety mentén meghaladja az 1:1,31 arányú terhelés-eltérést. (R4)

3.16.4.4. Tengelyen belül mért kerékterhelés eltérésre (R4T), amely meghaladja a 60% értéket.

4.1.6.2.1 Riasztás 1 (R1):

219,3 kN (21,93 t) < mért átlagos tengelyterhelés érték
≤ 229,5 kN (22,95 t),

Kéttengelyű kocsi esetén:

$$219,3kN (21,93t) < \frac{T(1) + T(2)}{2} \leq 229,5kN(22,95t)$$

Forgóvázaskocsi esetén:

$$219,3kN (21,93t) < \frac{T(1) + T(2) + T(3) + T(4)}{4} \leq 229,5kN(22,95t)$$

4.1.6.2.3 Riasztás 3 (R3):

a mért tengelyterhelés érték > 244,8 kN (24,48 t), már egyetlen túlterhelt tengelyre megtörténik.

$$T(i) > 244,8kN (24,48t), \text{ ahol } i = 1..4$$

4.1.6.2.2 Riasztás 2 (R2):

229,5 kN (22,95 t) < mért átlagos tengelyterhelés érték
≤ 244,8 kN (24,48 t),

Kéttengelyű kocsi esetén:

$$229,5kN (22,95t) < \frac{T(1) + T(2)}{2} \leq 244,8kN(24,48t)$$

Forgóvázaskocsi esetén:

$$229,5kN (22,95t) < \frac{T(1) + T(2) + T(3) + T(4)}{4} \leq 244,8kN(24,48t)$$

4.1.6.2.4.4. Tengelyen belül mért kerékterhelés eltérésre (R4T), amely meghaladja a 60% értéket.

$$\frac{|K(i, 1) - K(i, 2)|}{\left(\frac{K(i, 1) + K(i, 2)}{2}\right)} > 0.6, \text{ ahol } i = 1..4$$

4.1.6.2.4.1. Egyenlőtlen tengelyterhelés, amely kéttengelyű járműnél meghaladja a 1:2 arányú terhelés-eltérést.(R4)

$$\frac{T(2)}{T(1)} > 2 \text{ vagy } \frac{T(1)}{T(2)} > 2$$

4.1.6.2.4.2. Egyenlőtlen tengelyterhelés, amely forgóvázas járműnél meghaladja a 1:3 arányú terhelés-eltérést. (R4)

$$\frac{T(1) + T(2)}{T(3) + T(4)} > 3 \text{ vagy } \frac{T(3) + T(4)}{T(1) + T(2)} > 3$$

4.1.6.2.4.3. Egyenlőtlen kocsiterhelés, amely hossztengety mentén meghaladja az 1:1,31 arányú terhelés-eltérést. (R4)

$$\frac{K(1,1) + K(2,1) + K(3,1) + K(4,1)}{K(1,2) + K(2,2) + K(3,2) + K(4,2)} > 1,31 \text{ vagy } \frac{K(1,2) + K(2,2) + K(3,2) + K(4,2)}{K(1,1) + K(2,1) + K(3,1) + K(4,1)} > 1,31$$

Státusz: Kész

Mérőállomás: Soroksár

2015.05.02 2015.05.04.

231 mérési találat

- [2015.05.02. 01:34 \(109832\)](#)
- [2015.05.02. 02:36 \(109834\)](#)
- [2015.05.02. 03:36 \(109838\)](#)
- [2015.05.02. 04:07 \(109840\)](#)
- [2015.05.02. 04:19 \(109842\)](#)
- [2015.05.02. 04:46 \(109848\)](#)
- [2015.05.02. 05:02 \(109849\)](#)**
- [2015.05.02. 05:09 \(109852\)](#)
- [2015.05.02. 05:04 \(109854\)](#)

- A mérések listájában a kiválasztott mérés kiemelve kerül megjelenítésre

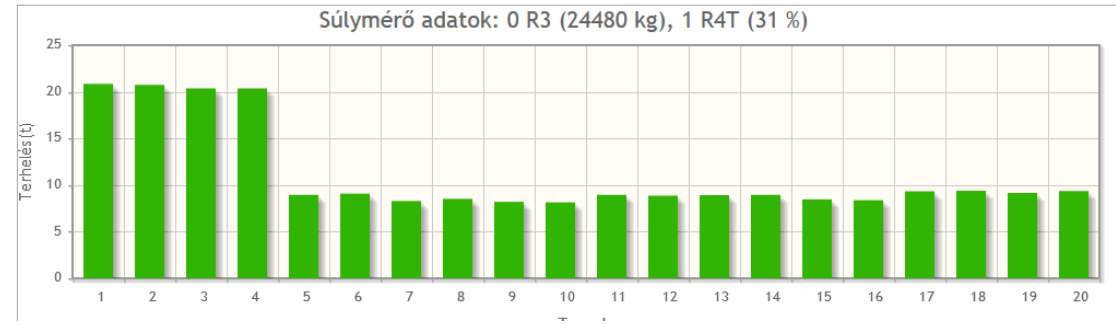
Vonat	
Azonosító	109849
Indulás időpontja	Nincs adat
Sebesség	67 km/h

Mérőállomás	
Időpont	2015.05.02. 05:02:33
Hely	Soroksár
Szakasz	NA

Riasztások					
Időpont	Kézbetűzés ideje	Nyugtázás ideje	Gépnév	Leírás	H
Nem található riasztás.					

Grafikonok Részletes adatok

Kiemelt riasztások



- Grafikus megjelenítés
- A kiválasztott riasztásnak megfelelő színezés

Riasztások					
Időpont	Kézbésítés ideje	Nyugtázás ideje	Gépnév	Leírás	Hely
Nem található riasztás.					

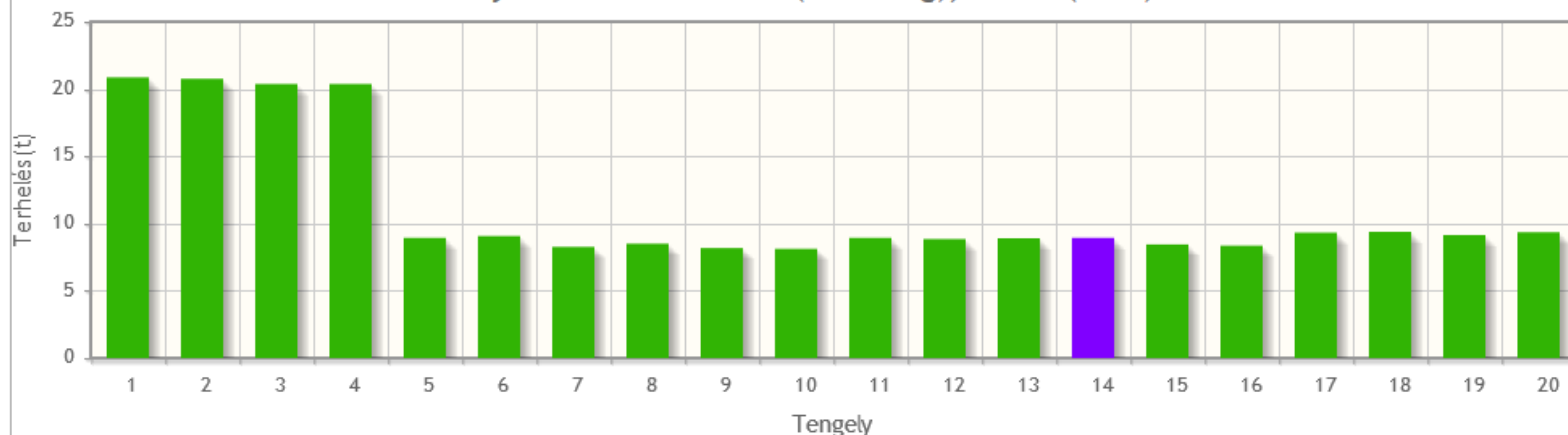
Grafikonok

Részletes adatok

Kiemelt riasztások

R4T


Súlymérő adatok: 0 R3 (24480 kg), 1 R4T (31 %)



- A mérés tengelyenkénti táblázatos megjelenítése
- Nyomtatási, exportálási lehetőség

Grafikonok **Részletes adatok**

Belépési sebesség 67 km/h
Kilépési sebesség 66 km/h

Print 

Tengely	Terhelés			Aszimmetria	Riasztás
	Bal	Jobb	Összes		
1	10357 kg	10532 kg	20889 kg	1.68 %	
2	10259 kg	10495 kg	20754 kg	2.27 %	
3	10144 kg	10211 kg	20355 kg	0.66 %	
4	10031 kg	10334 kg	20365 kg	2.98 %	
5	4441 kg	4500 kg	8941 kg	1.32 %	
6	4237 kg	4844 kg	9081 kg	13.37 %	
7	4210 kg	4080 kg	8290 kg	3.14 %	
8	4097 kg	4436 kg	8533 kg	7.95 %	
9	4647 kg	3554 kg	8201 kg	26.66 %	
10	3947 kg	4197 kg	8144 kg	6.14 %	
11	4688 kg	4275 kg	8963 kg	9.17 %	
12	4403 kg	4471 kg	8874 kg	1.53 %	
13	4411 kg	4502 kg	8913 kg	2.04 %	
14	3642 kg	5290 kg	8932 kg	36.90 %	R4T
15	3913 kg	4566 kg	8479 kg	15.40 %	
16	4571 kg	3791 kg	8362 kg	18.66 %	
17	4485 kg	4853 kg	9338 kg	7.88 %	
18	4738 kg	4655 kg	9393 kg	1.77 %	
19	4182 kg	4972 kg	9154 kg	17.26 %	
20	4550 kg	4823 kg	9373 kg	5.83 %	

Tengelyterhelési adatok megjelenítése

Riasztások

Soroksár 101133 2015.04.30

R4T

Nyugtázás

Tengelyterhelési adatok


Dátum: 2015.04.30 Vonatazonosító: 5467 Mérés ideje: 2015.04.30 15:51 Mérés helye: Soroksár
Riasztási kód: **R4T** Biztonsági pont: Bp. Soroksári ut Haladási irány: Soroksár - Budapest Soroksári út

Tengelysz.	Tengelyterhelés	Riasztási kód
1.	9,5 t	
2.	9,2 t	
3.	9,4 t	
4.	9,3 t	
5.	9,8 t	
6.	9,6 t	R4T
7.	8,7 t	
8.	8,9 t	
9.	9,4 t	
10.	9,5 t	
11.	8,7 t	
12.	8,6 t	
13.	9,6 t	
14.	9,5 t	
15.	9,0 t	
16.	9,0 t	
17.	20,2 t	
18.	20,5 t	
19.	20,2 t	
20.	20,6 t	

Teljes VTK Intézkedés Nyomtatás Bezárás

Üzenetek

Megtekintés




Hibabejelentés:
06-1-111-1111

ERDM rendszer állapot Következő frissítés: 2015.04.30. 15:52
Kliens állapot: **Rendben** Szerver állapot: **Rendben**

Tengelyterhelési adatok

Riasztási intézkedés jegyzőkönyv

Mérés ideje: 2015.04.09 14:42:23
Mérés helye: Soroksár - NA
Vonatazonosító: 5467
Sebesség: 77 km/h

MÁV Magyar Államvasutak Zrt.


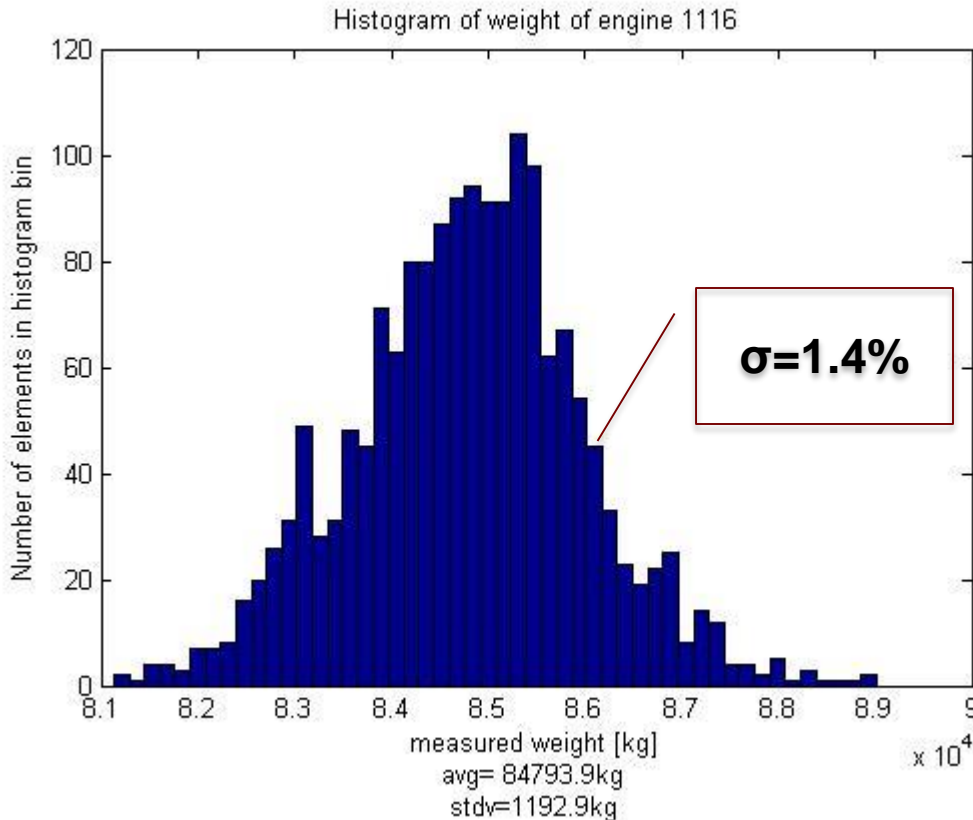
Intézkedés: Kisoroltam..

Tg.	Mért adatok			Aszimmetria JB						
	Bal	Jobb	Tengely							
6	3,8 t	5,8 t	9,6 t	41,1%						

Riasztás oka: tengelyen belüli kerékterhelés eltérés mértéke
Tengelyszám: 6
Kocsin belüli tengelyszám: 0
Bal oldali kerékterhelés: 3,8 t
Jobb oldali kerékterhelés: 5,8 t
Kerékterhelés eltérés: 2,0 t
Relatív kerékterhelés eltérés (%): 41,1 %

Nyomtatás Mégsem 100%

- A riasztási esemény részletei
- A dokumentált intézkedés szövege



Taurus vontatójármű

2011. 03. 21. - 2012. 02. 03.

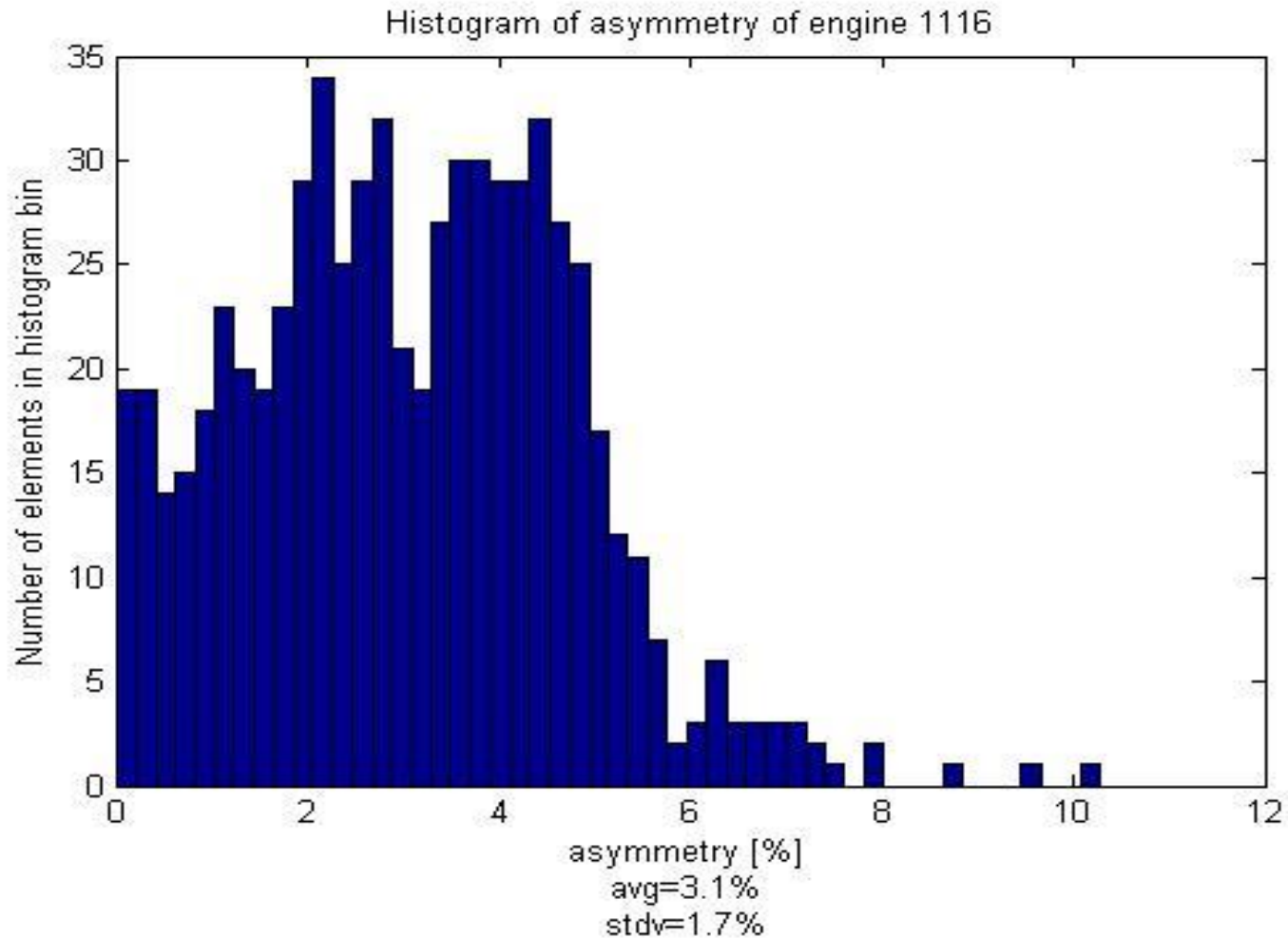
Átlag: 84 794 kg

Std. Dev.: 1 200 kg

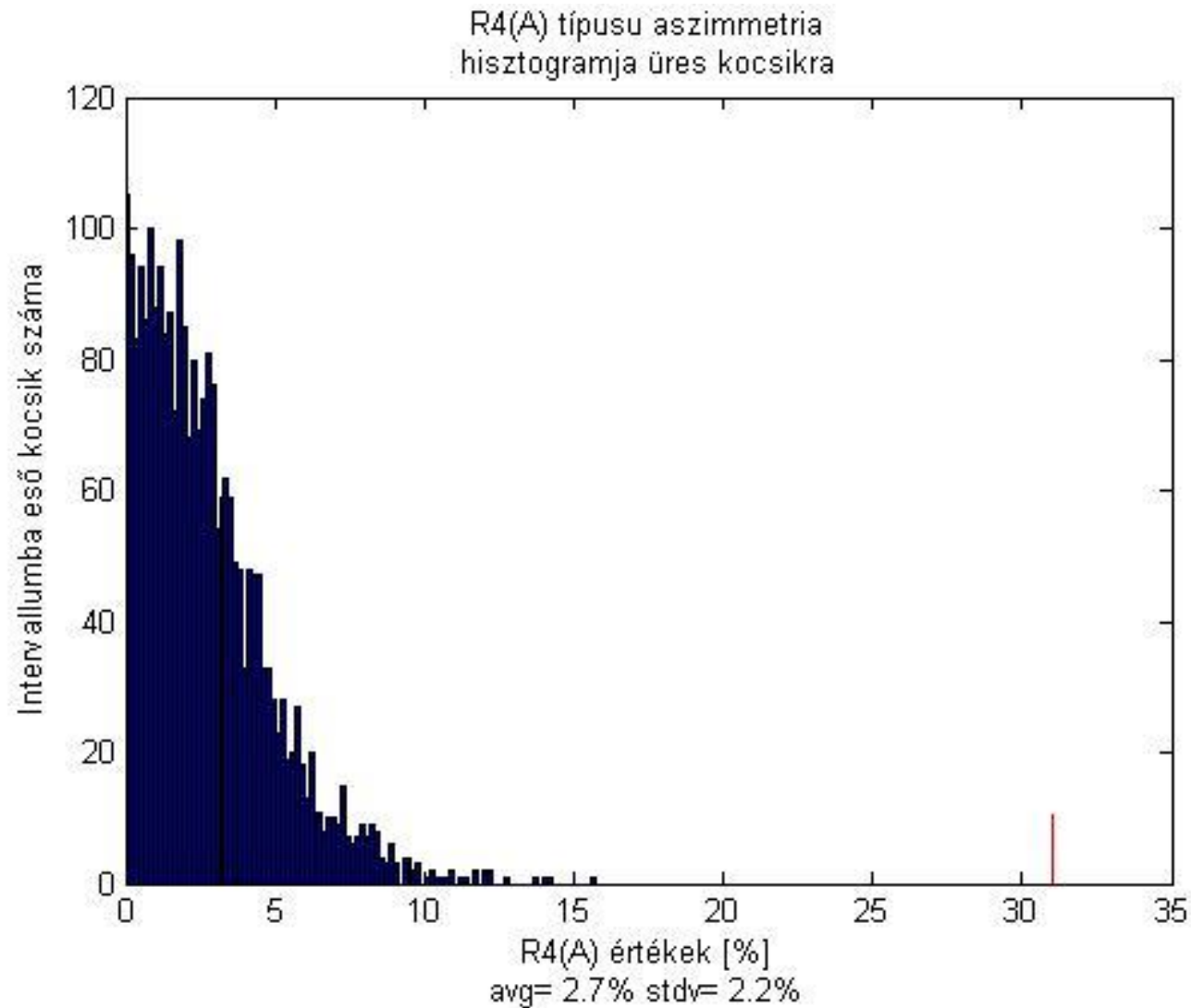
Rel. szórás: 1,4 %

↑
Átlag

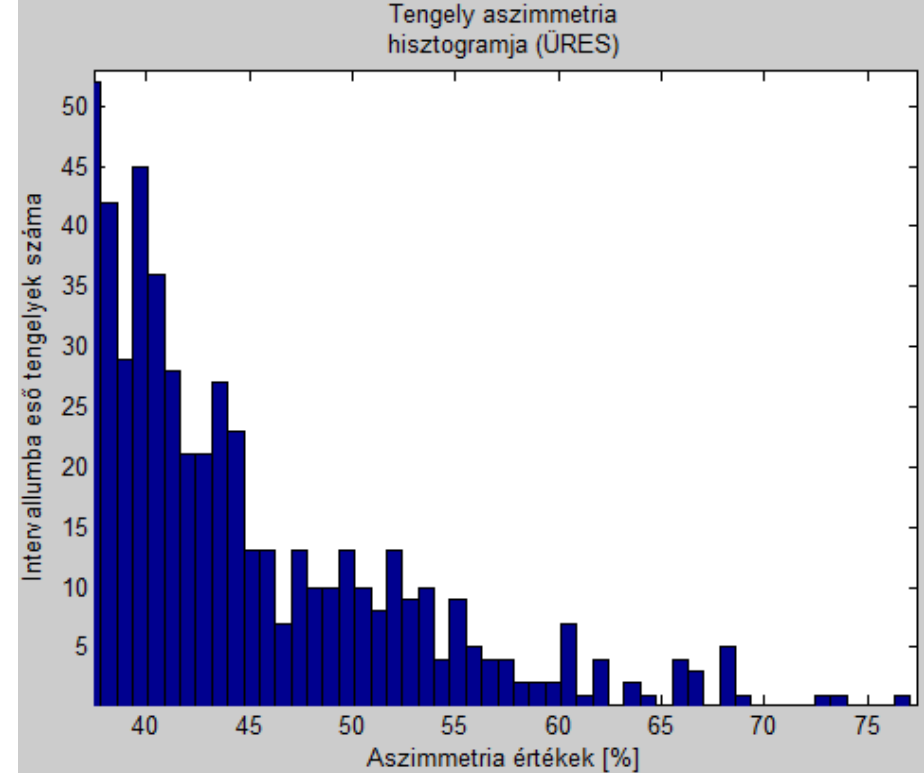
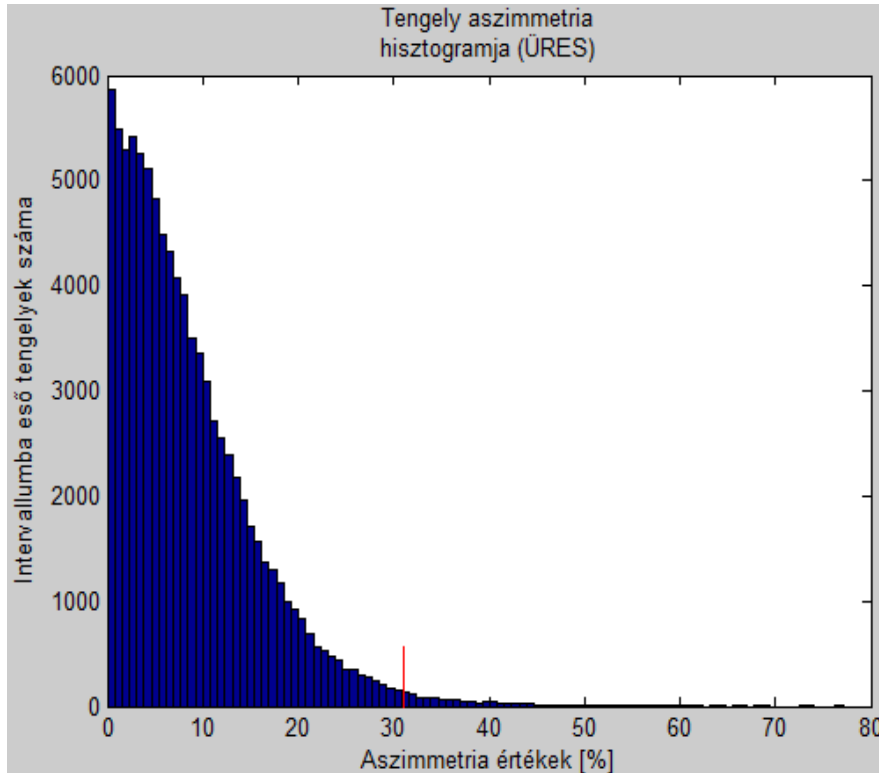
Vontatójármű bal-jobb aszimmetria



Üres kocsik mérése: aszimmetria



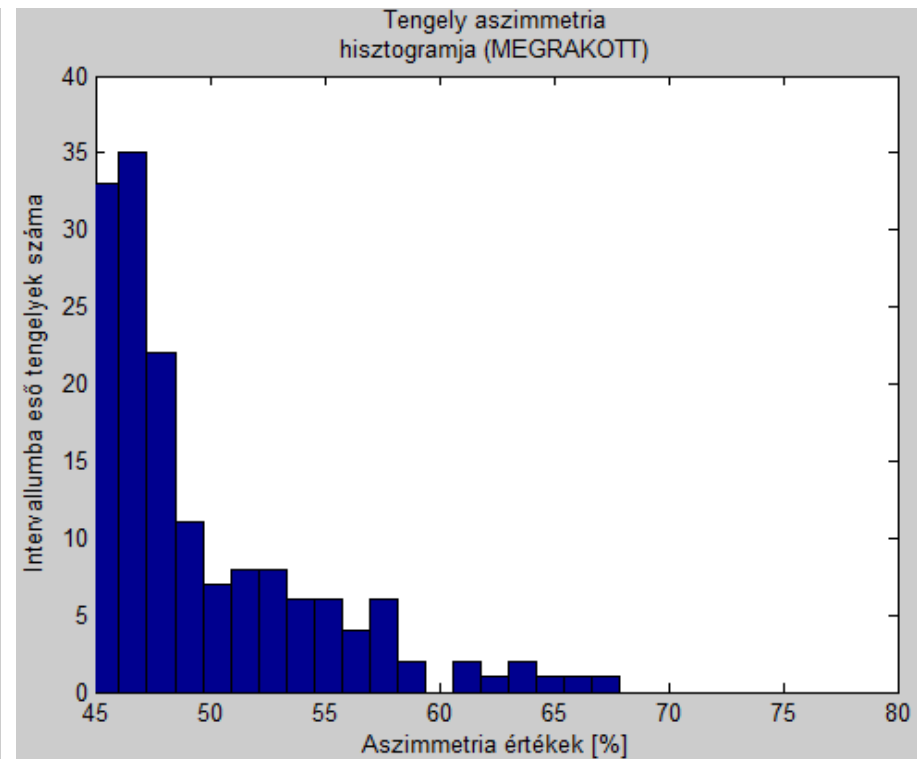
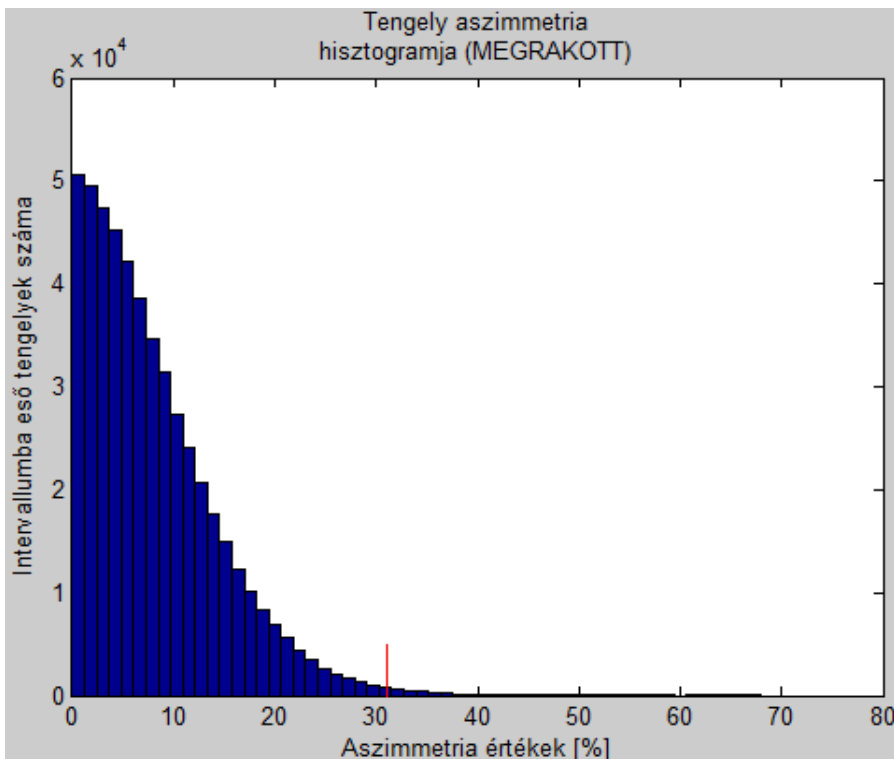
Tengelyen belüli aszimmetria üres kocsik



$$\frac{|K(i, 1) - K(i, 2)|}{\left(\frac{K(i, 1) + K(i, 2)}{2}\right)} > 0.6, \text{ ahol } i = 1..4$$

31 eset >60% 150 913 kocsi mérése alapján

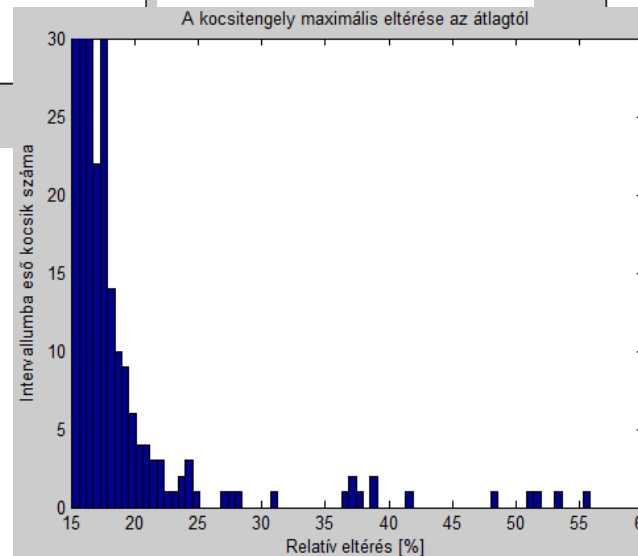
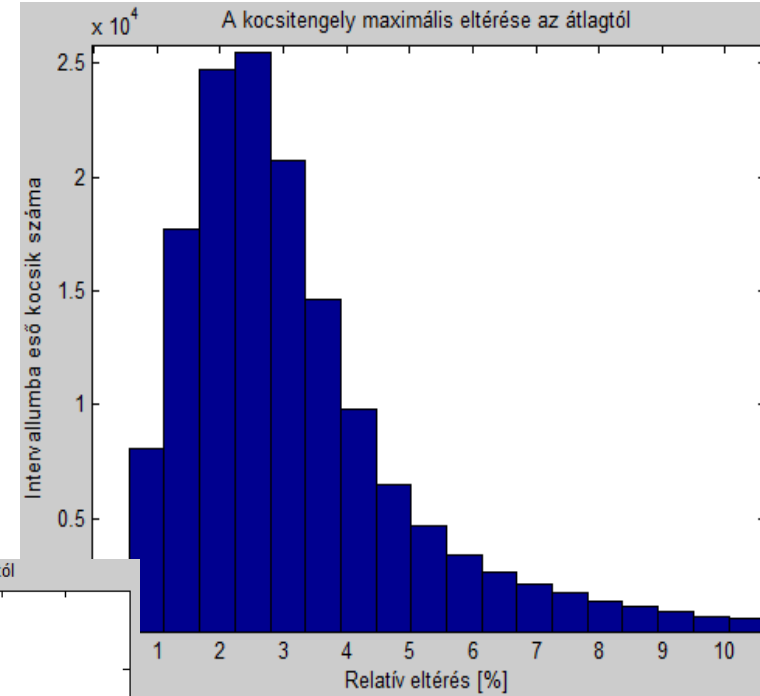
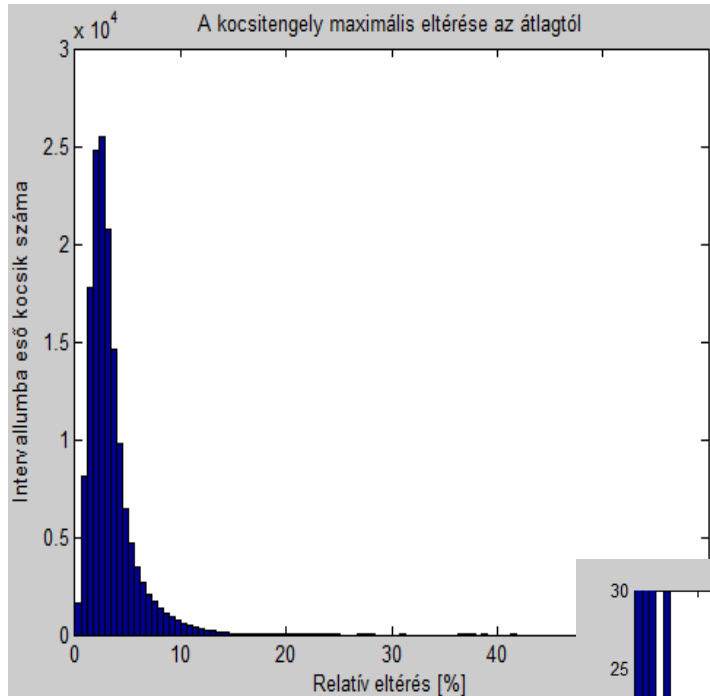
Tengelyen belüli aszimmetria megrakott kocsik



$$\frac{|K(i, 1) - K(i, 2)|}{\frac{K(i, 1) + K(i, 2)}{2}} > 0.6, \text{ ahol } i = 1..4$$

8 eset > 60% 150 913 kocsi mérése alapján

Kocsin belüli dinamikus terhelés eloszlás



Tengelyterhelések
középértéke: t_1, t_2, t_3, t_4 .

Átlagos tengelyterhelés:
 $T = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) / 4$

Maximális tengelyterhelés: t_i

Maximális tengely eltérése az
átlagtól:

$$(t_i - T) / T$$

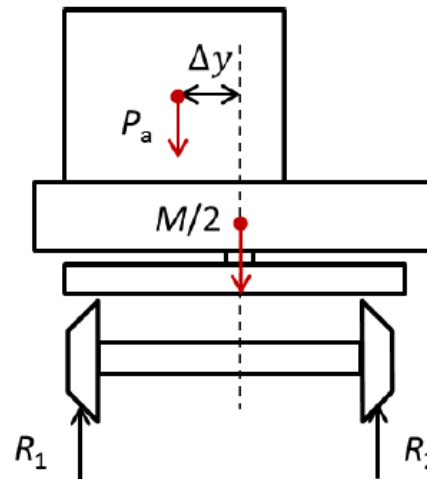
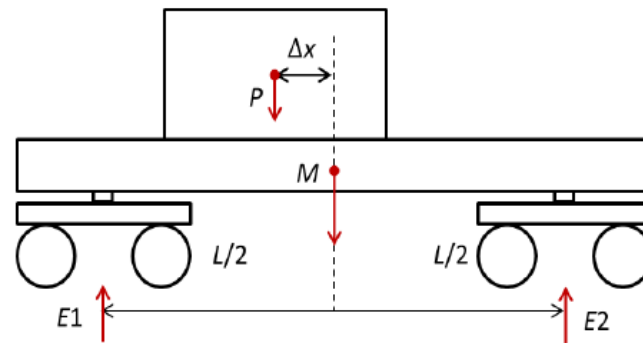
150 913 kocsi mérése alapján

UIC gyakorlati értékek

http://www.d-rail-project.eu/IMG/pdf/DR-HSMR_Project-141112- HRMS conclusions - Final Seminar Stockholm.pdf

Limit Values for load distribution suggested in HRMS:

- **1:3** longitudinally for the vehicle
- Tare (unloaded vehicle for max. diagonal/skew imbalance): suggested maintenance limit: **1:1.3**
suggested stop limit: **1:1.7**
- For Loaded vehicle skew imbalance: **1:1.7**
- These limits are in practical use at SBB and ÖBB already



Dynamic forces:

350kN

Axle loads

25,5t (SBB)

24,7t (ÖBB)



- A kisiklások gyakorisága több, mint 20 % csökkenthető dinamikus kerék és tengelyterhelés mérésével
- Az eRDM240 rendszer 28 mérőhelyen kerül telepítésre Magyarországon 2015 végéig.
- A rendszer megfelelő működéséhez a riasztási határértékek meghatározására van szükség, amelyhez a szakmai közösség támogatása szükséges



it's possible!
evopro

Dr Szepessy Zsolt
30 369 8371
szepessy.zsolt@evopro.hu