



# Vasúti kerék- és sínkopás - Futásstabilitás

***Dr. Szabó András***  
**egyetemi docens**

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
**Vasúti Járművek, Repülőgépek és Hajók Tanszék**

**Futástechnika 2016. Pécs**



## Tartalom

- Futásstabilitás
  - Kerékpár kigyózó mozgása
  - Stabilitás vizsgálat lineáris modellek keretében
  - Stabilitás vizsgálata nemlineáris modellek keretében
- Vasúti kerék- és sínkopás
  - A kopásszámítás összetevői
  - A kopás-szimuláció – kopásciklus
  - Kopás-szimuláció sztochasztikus üzemben
  - Komplex kerék- és sínkopás szimuláció
- Profilkopás hatása a futásstabilitásra



## Futásstabilitás

A futásstabilitás jellemzője:

- A járműelemek keresztirányú mozgásának minimalizálása

A futásstabilitást befolyásoló tényezők:

- Járműjellemzők
  - Merevségi és csillapítás jellemzők
  - Kerékprofil jellemzők
- Pályajellemzők
  - Sínprofil jellemzők
  - Síndőlés jellemzők
  - Merevségi jellemzők

**Pálya-jármű kölcsönhatás tulajdonsága!**

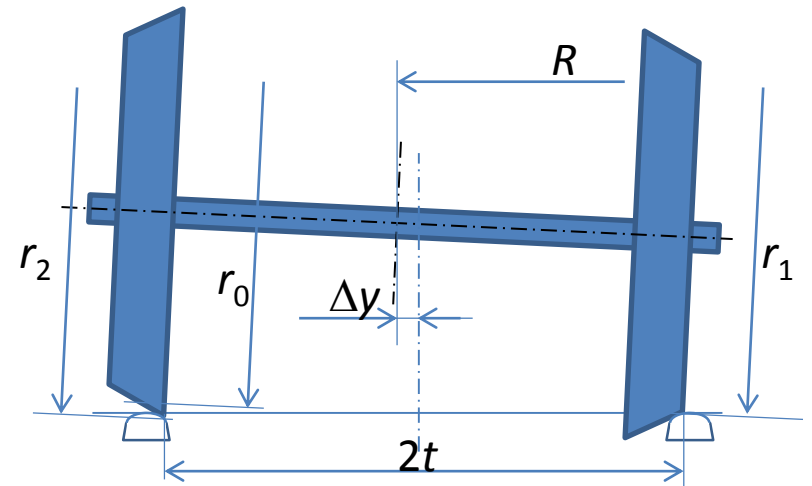
## Kerékpár kígyózó mozgása

- Szabadon gördülő kerékpár

- Lejtés:  $\gamma = \frac{\Delta r}{\Delta y} = \frac{r_2 - r_1}{y}$

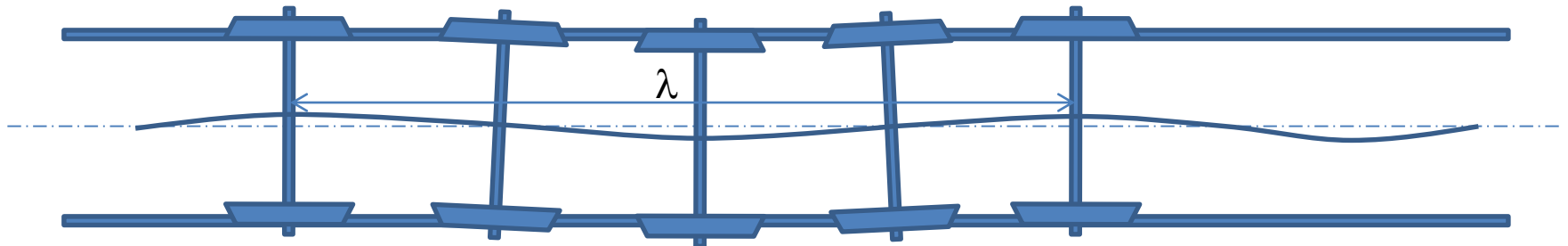
- Szinuszos mozgás:  $y = y_0 \sin \alpha x$

$$\frac{r_2 - r_1}{2t} = \frac{r_0}{R} = \frac{\Delta r}{2t}$$



$$\frac{1}{R} = G = \frac{\Delta r}{2tr_0} = \frac{\Delta y \gamma}{2tr_0} \approx -y'' = \Delta y \alpha^2 \sin \alpha x = \Delta y \alpha^2 \quad \alpha = \sqrt{\gamma/2tr_0}$$

- A kígyózás hullámhossza:  $\lambda = 2\pi/\alpha = 2\pi\sqrt{2tr_0/\gamma}$

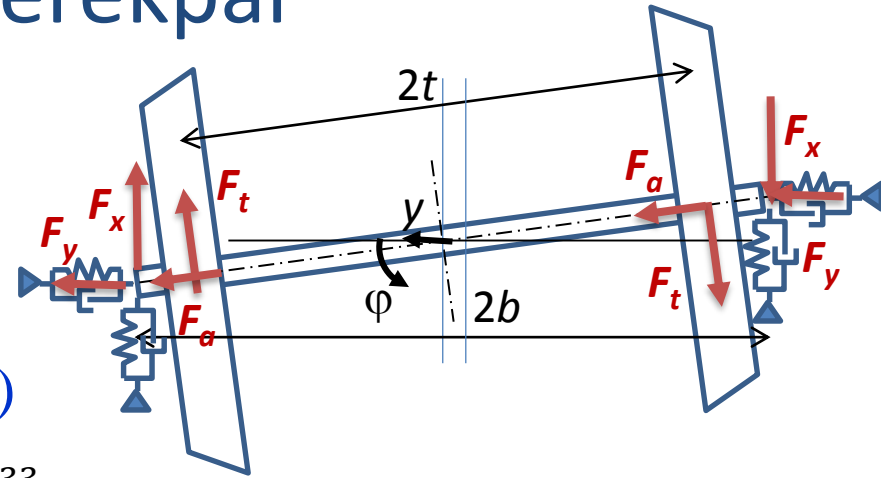


## Egyetlen kerékpár

### ➤ Keréktalpi kúszások (Kalker)

$$v_t = \frac{-\Delta R\omega - t\dot{\varphi}}{v} = \frac{-\gamma y v / R - t\dot{\varphi}}{v} = -\frac{\gamma}{R}y - \frac{t}{v}\dot{\varphi}$$

$$v_a = \frac{\dot{y} - R\omega\varphi}{v} = \frac{1}{v}\dot{y} - \varphi \quad v_\omega = \frac{1}{v}\dot{\varphi}$$



### ➤ Keréktalpi erők (Kalker lineáris)

$$M_\omega = k_{32}v_a - k_{33}v_\omega = \frac{k_{32}}{v}\dot{y} - k_{32}\varphi - \frac{k_{33}}{v}\dot{\varphi}$$

$$F_t = -k_{11}v_t = k_{11}\left(\frac{\gamma}{R}y + \frac{t}{v}\dot{\varphi}\right) \quad F_a = -k_{22}v_a - k_{23}v_\omega = -\frac{k_{22}}{v}\dot{y} + k_{22}\varphi - \frac{k_{23}}{v}\dot{\varphi}$$

### ➤ Vezetőerők: $F_x = -s_x b\varphi - d_x b\dot{\varphi}$    $F_y = -s_y y - d_y \dot{y}$

### ➤ Mozgásegyenletek:

$$m\ddot{y} = 2F_y + 2F_a = -2s_y y - 2d_y \dot{y} + k_{22}\varphi - 2\left(\frac{k_{22}}{v}\dot{y} + \frac{k_{23}}{v}\dot{\varphi}\right)$$

$$\theta\ddot{\varphi} = -2bF_x - 2tF_t + 2M_\omega = -2s_x t\varphi - 2d_x t\dot{\varphi} - 2tk_{11}\left(\frac{\gamma}{R}y + \frac{t}{v}\dot{\varphi}\right) + 2\left(\frac{k_{32}}{v}\dot{y} - \frac{k_{33}}{v}\dot{\varphi}\right) - 2k_{32}\varphi$$



## Lineáris rendszer

### ➤ Mátrixos felírás

$$\begin{bmatrix} m & 0 \\ 0 & \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{y} \\ \ddot{\phi} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 2d_y + 2\frac{k_{22}}{v} & 2\frac{k_{23}}{v} \\ -2\frac{k_{32}}{v} & 2d_x t + 2\frac{k_{33}}{v} + 2t^2\frac{k_{11}}{v} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{y} \\ \dot{\phi} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 2s_y & -k_{22} \\ 2tk_{11}\frac{\gamma}{R} & 2s_x t + k_{32} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ \phi \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} = -\mathbf{D}\dot{\mathbf{x}} - \mathbf{S}\mathbf{x}$$

### ➤ Rendszermátrix: $\mathbf{A}$

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}} \\ \mathbf{x} \end{bmatrix} \quad \dot{\mathbf{Y}} = \begin{bmatrix} \ddot{\mathbf{x}} \\ \dot{\mathbf{x}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{D} & -\mathbf{M}^{-1}\mathbf{S} \\ \mathbf{E} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}} \\ \mathbf{x} \end{bmatrix} = \mathbf{A}\mathbf{Y}$$

### ➤ A megoldás: $\mathbf{Y} = \mathbf{C}e^{\lambda t}$

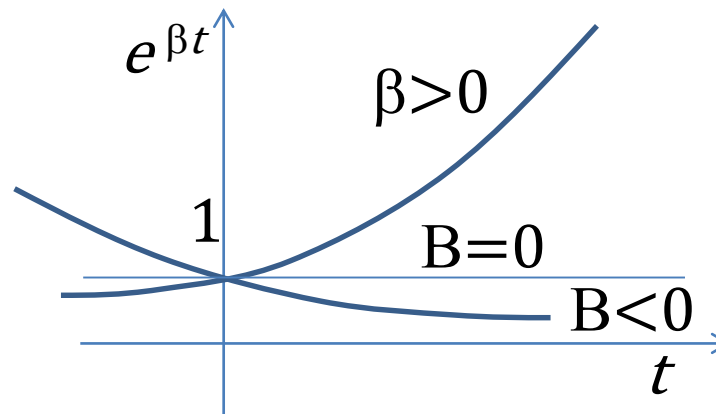
### ➤ Sajátértékek: $\lambda = \beta \pm i\gamma$

## Stabilitás

$$e^{\lambda t} = e^{(\beta \pm i\gamma)t} = e^{\beta t} e^{\pm i\gamma t}$$

Valós rész: amplitúdó:  $e^{\beta t}$

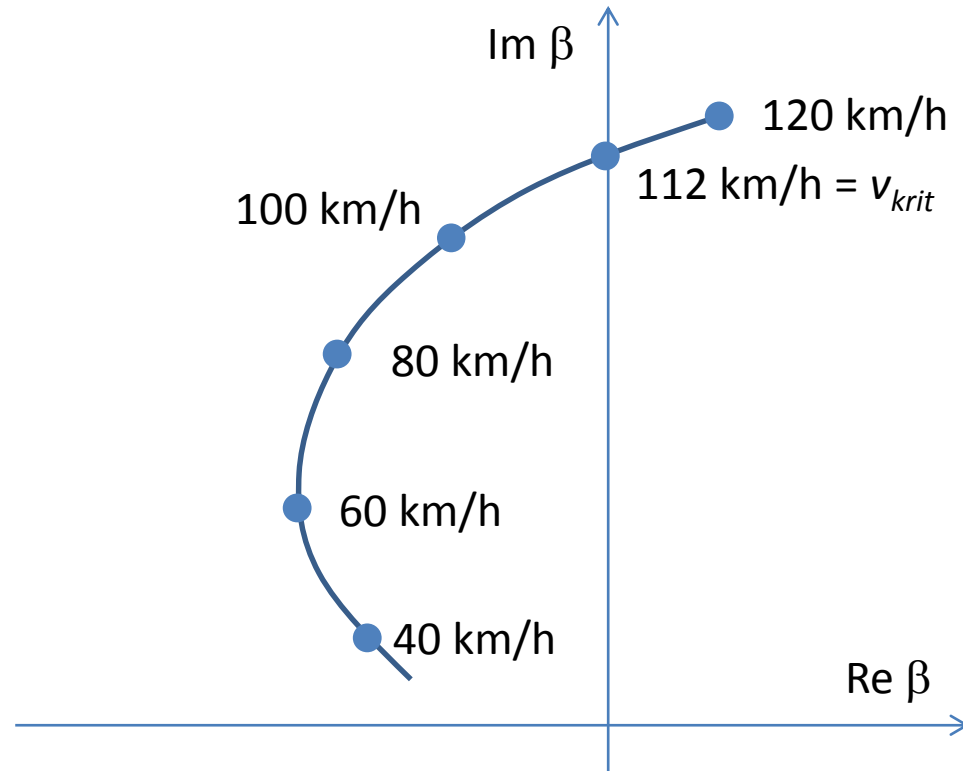
Képzetes rész: periodikus összetevő:  $e^{\pm i\gamma t}$



➤ Stabilitás:  $\max(\beta_i) < 0$



## Gyök helygörbe



➤ Iteráció !

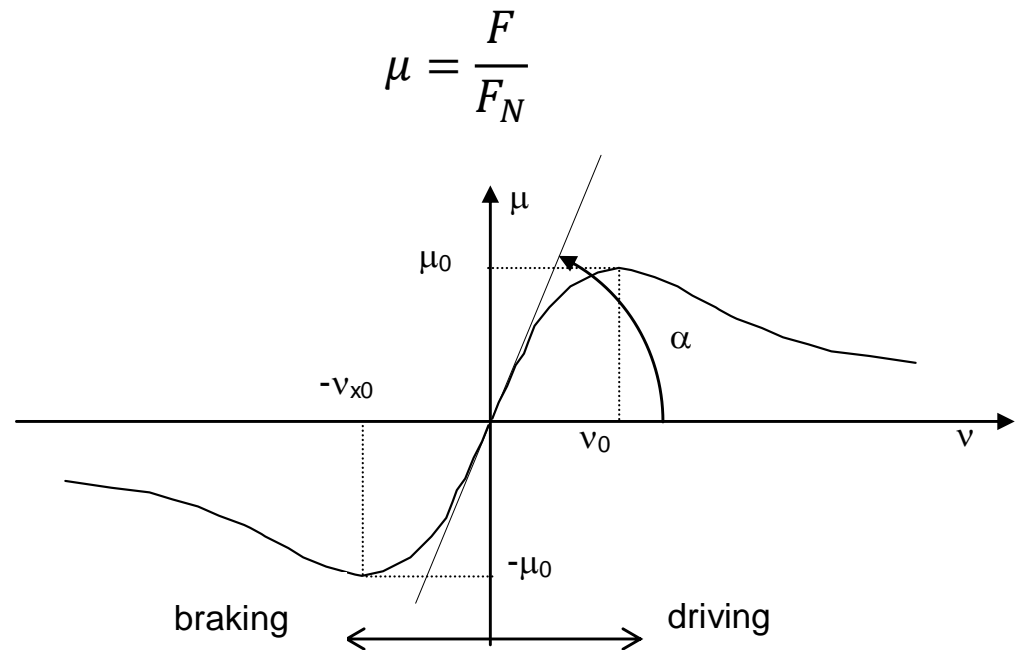
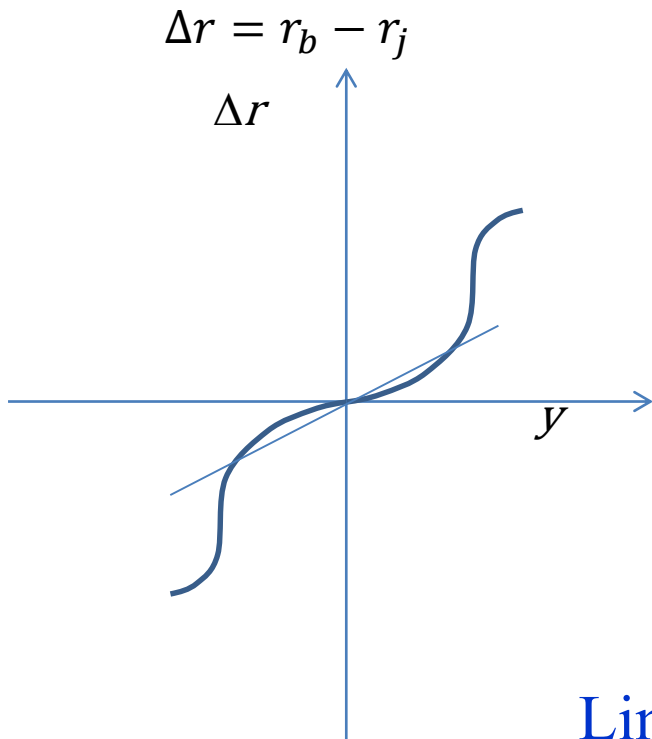




## Nemlineáris összetevők

➤ Keréksugár eltérés

➤ Kerék-sín kapcsolat



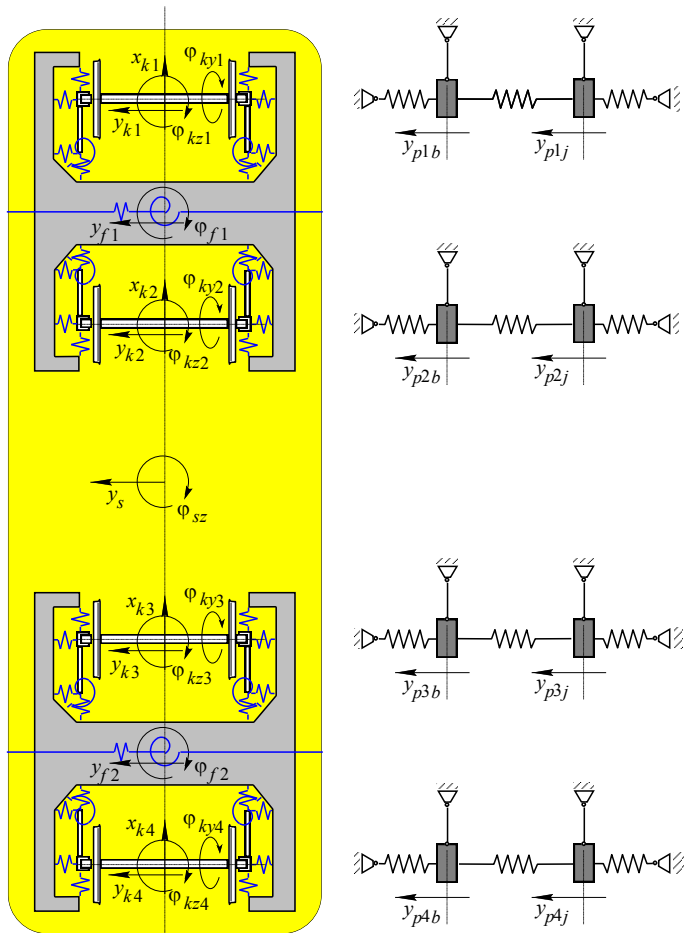
Linearizálás szükséges!



## Nemlineáris eset

- Nemlineáris pálya-jármű modell
- Ideális pálya
  - Pályaegyenetlenség-mentes
  - Egyenes pálya
- Egyensúly megzavarása
- Járműmozgás megfigyelése
  - Min számít „instabil” futásnak?
  - Határciklus amplitúdó – Mekkora?
  - Nyomkarima érintkezés

## Dinamikai modell



### ➤ Pálya-jármű rendszermodell

- Pálya-jármű kölcsönhatás
- Nemline. rugalmas és dissz. Erőkapcs.
- Keresztirányú pályaegyenetlenség
- Kvázistatikus függőleges erők
- Tetszőleges kerék- és sínprofil

### ➤ Jármű alrendszer

- 22 szabad koordináta
- Rugalmas nyomkarima érintkezés
- Nemlineáris erőkapcsolati tényező

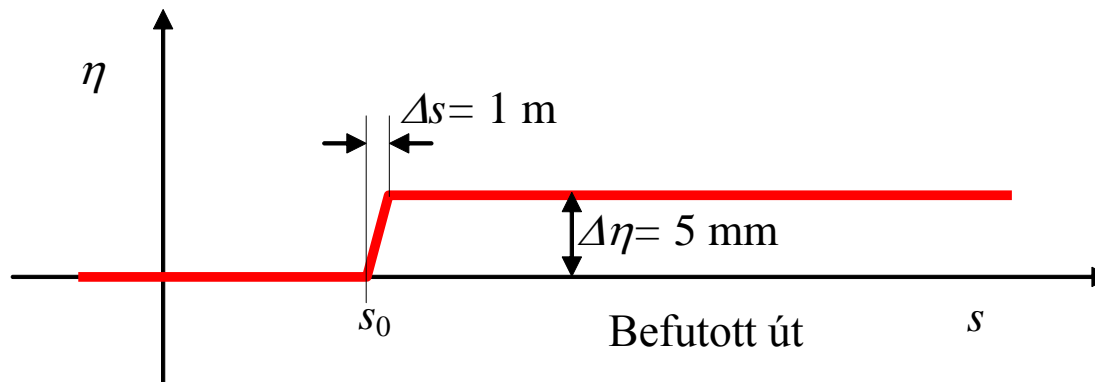
### ➤ Pálya alrendszer

- 8 szabad koordináta
- Tetszőleges pályagörbe

## Gerjesztés

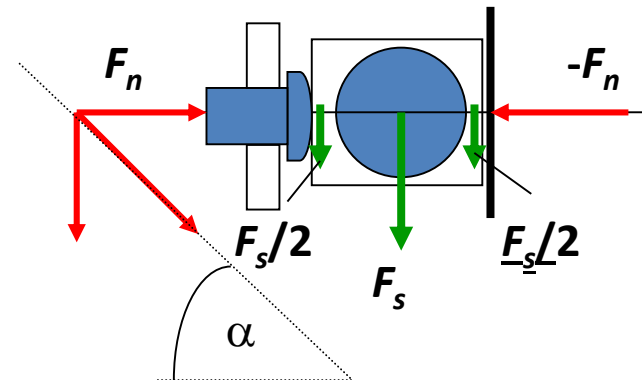
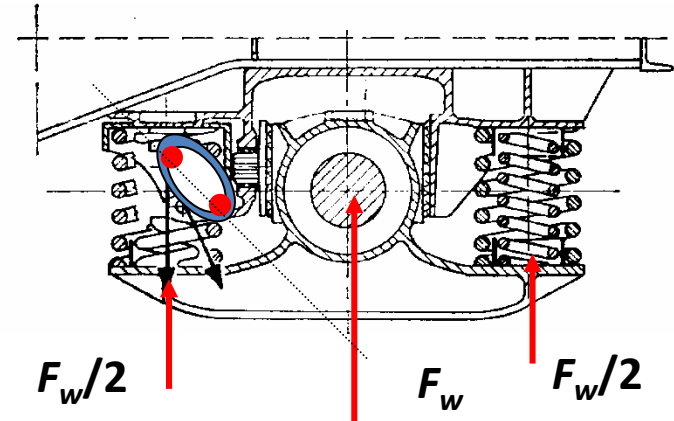
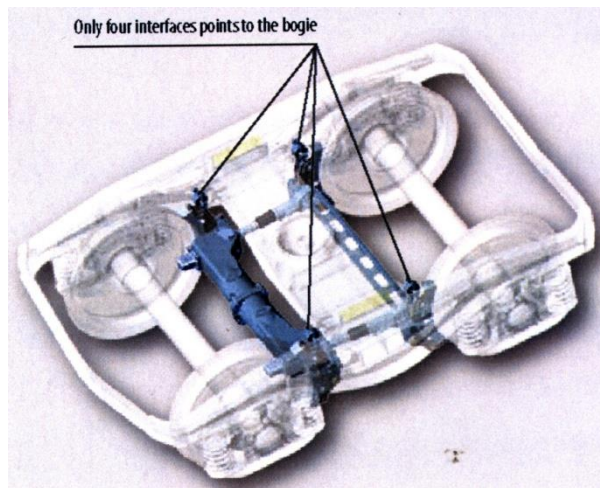
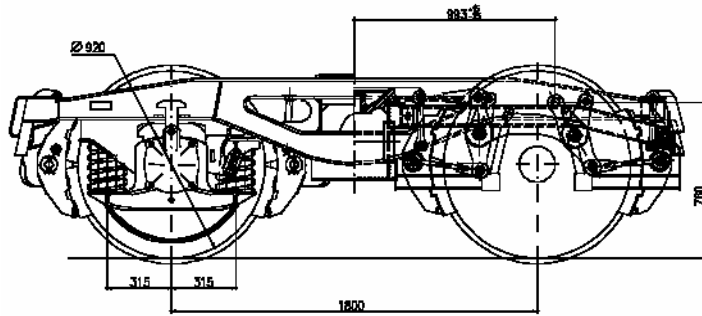
- Egyszeri impulzus – milyen mértékű legyen?
- „Ugrás” függvény – új egyensúlyi helyzetre való beállítás

**A stabilitás kérdése függ a gerjesztés mértékétől is!**



## Konstrukciós hatása a futásstabilitásra

- Y-25 forgóváz – NOVEL blokk-fék rendszer
- Kerékterhelés függő csillapítás – üres/rakott eset

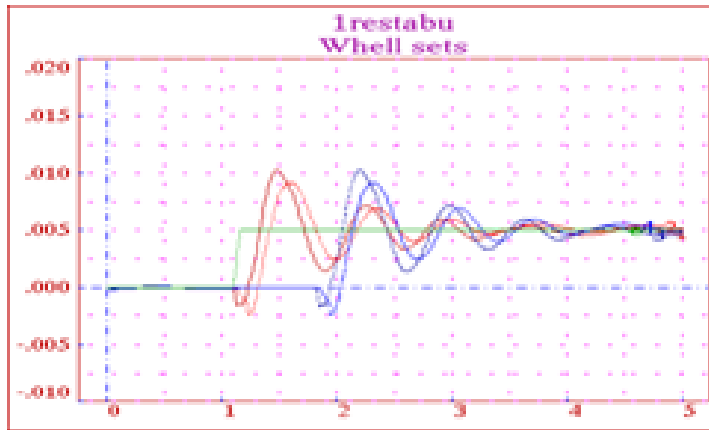




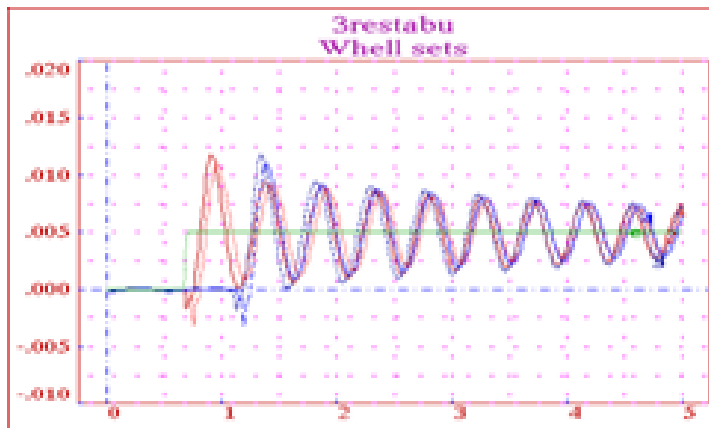


## Eredmények – üres jármű

➤ Fékegység nélkül

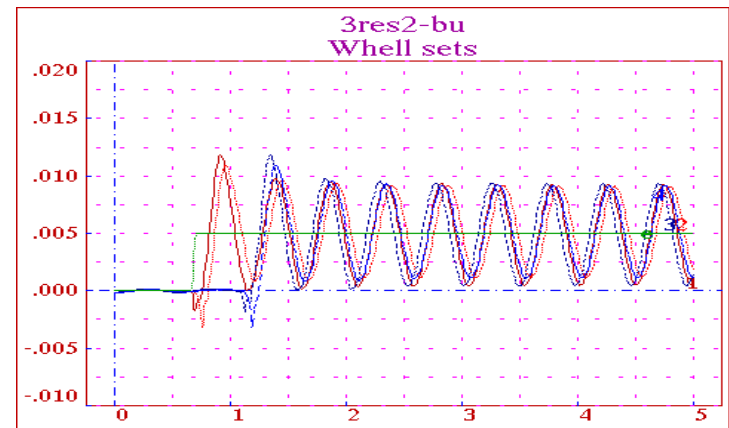
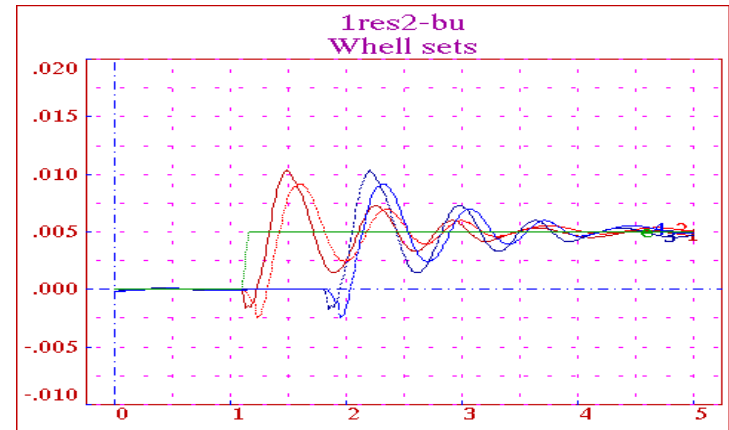


60 km/h



100 km/h

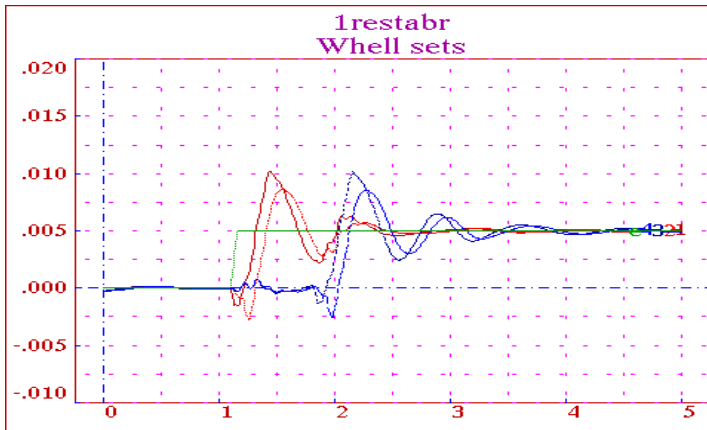
➤ Fékegységgel





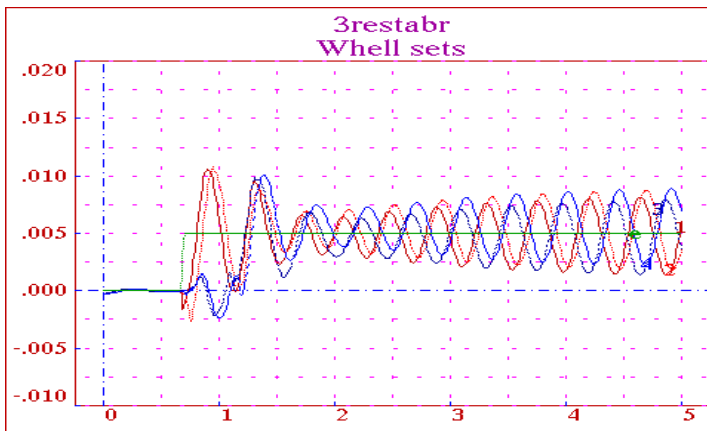
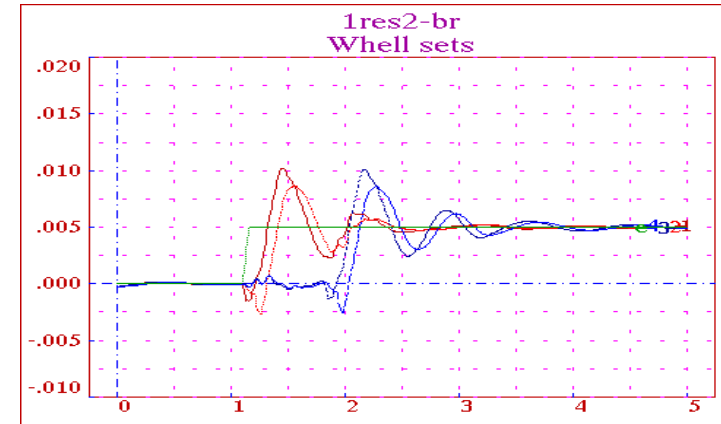
## Eredmények – rakott jármű

➤ Fékegység nélkül

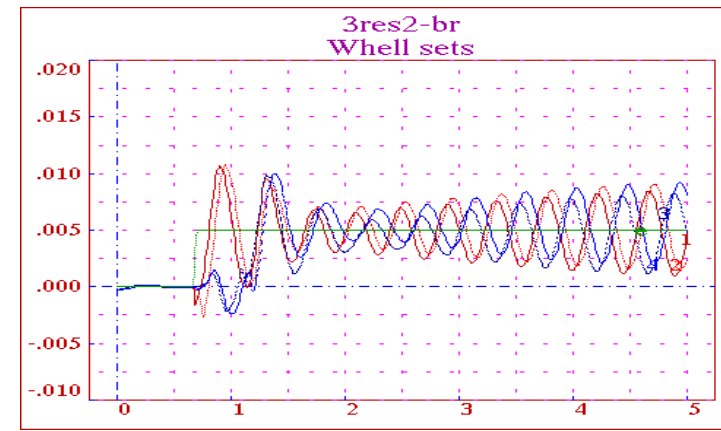


60 km/h

➤ Fékegységgel



100 km/h







## Eredmények – Blokk-fék egység mozgása

➤ Üres jármű



60 km/h

➤ Rakott jármű



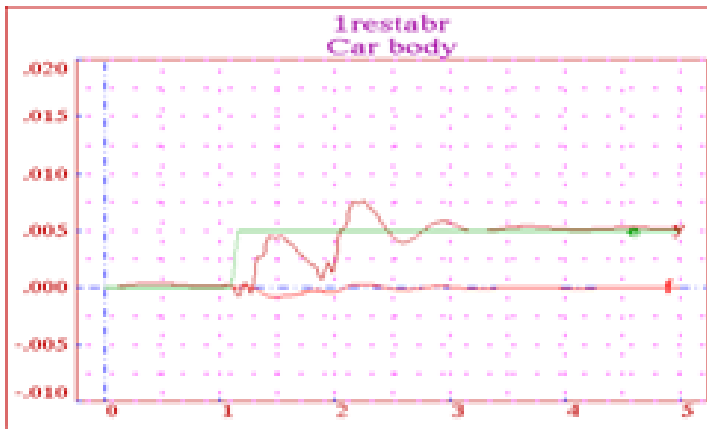
100 km/h



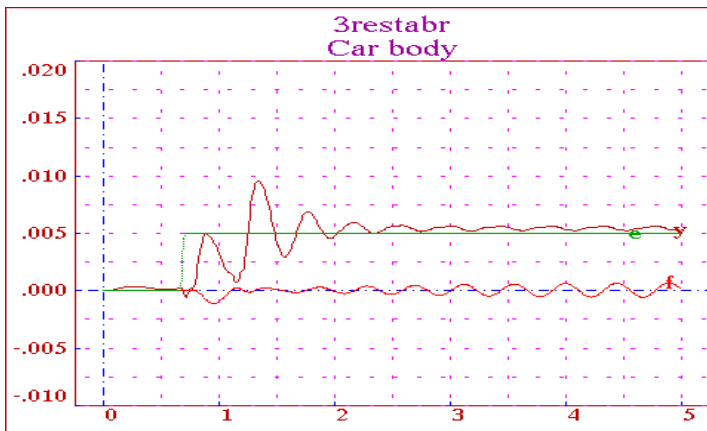


## Eredmények – járműszekrény (rakott jármű)

➤ Fékegység nélkül

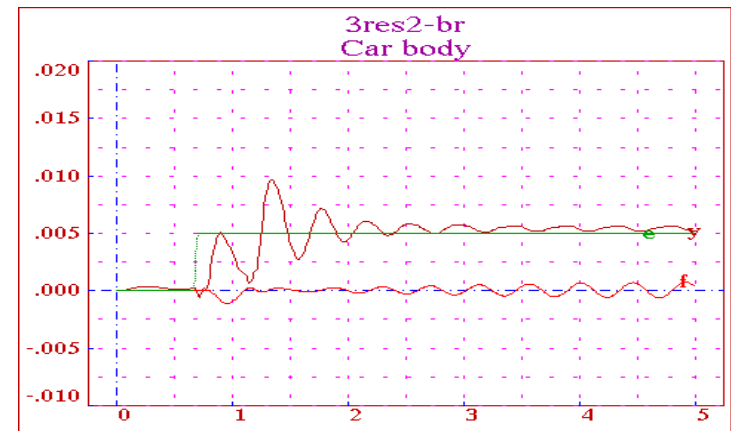
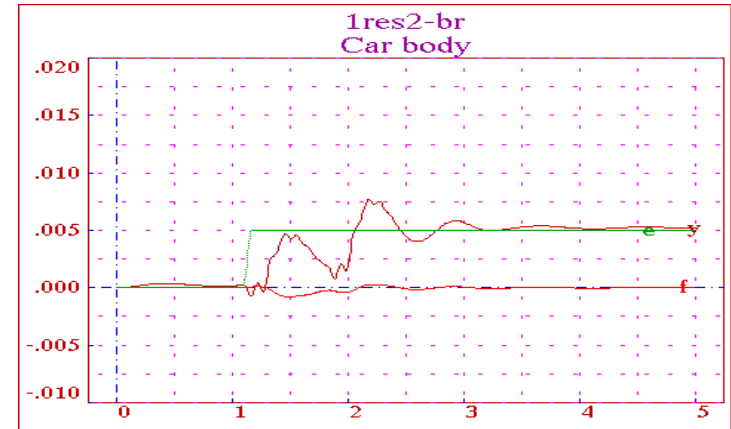


60 km/h



100 km/h

➤ Fékegységgel





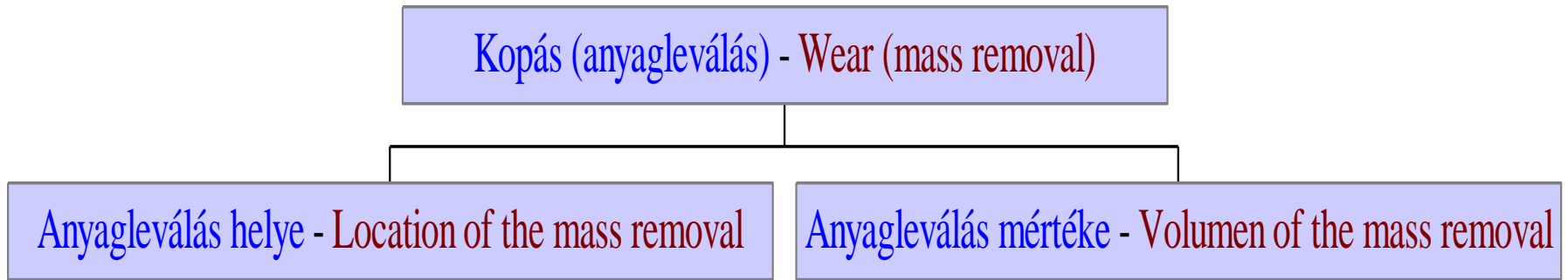
## A futásstabilitás problematikája - összefoglalva

- Ideális eset:  $y_k(t) = 0$  bármely körülmények között
  - Nincs ideális pálya
    - mindig van pályaeegyenetlenség – gerjesztés
  - $y_k(t)$  : tartósan mindig a gerjesztésre adott válasz
    - Lineáris esetben a súlyfüggvényből/átmeneti függvényből „kikeverhető” a válasz – konvolúció
      - Ha a súlyfv./átmeneti fv. Stabil – akkor a válasz is az!
    - Nemlineáris esetben a stabilitás ideális pálya esetén is „megzavarás” függő
      - Pálya gerjesztés mellett még gerjesztés függő is!
- **Megoldandó: nemlineáris rendszer stabilitásának értékelése tetszőleges pályán történő gerjesztett mozgásból!**



## Kerék- és sínkopás

### ➤ A kopási folyamat



### ➤ A kerék és a sínprofil helyzete

### ➤ A profilok alakja

### ➤ Kopásterhelés ismétlődés

#### ➤ Kerék: egy-egy kerék fordulat által

#### ➤ Sín: egymás után átgördülő kerekek által

### ➤ A kapcsolati erők

### ➤ Kúszások



## Profilkopás

- Mekkora?
  - Minél kisebb mértékű legyen
  - Felesleges mozgások és a kerékerők csökkentése
- Hol?
  - A lehető legegyszerűsebben elosztva a profilok mentén
  - Érintkezés széles tartományra terjedjen ki
- Profil helyreállítás minél kisebb megmunkálással
  - „Kopásprofilok”
  - „Önreprodukáló” profilkopás
- Kerék-, vagy sínprofil kopás?
  - Kopásmegoszlás



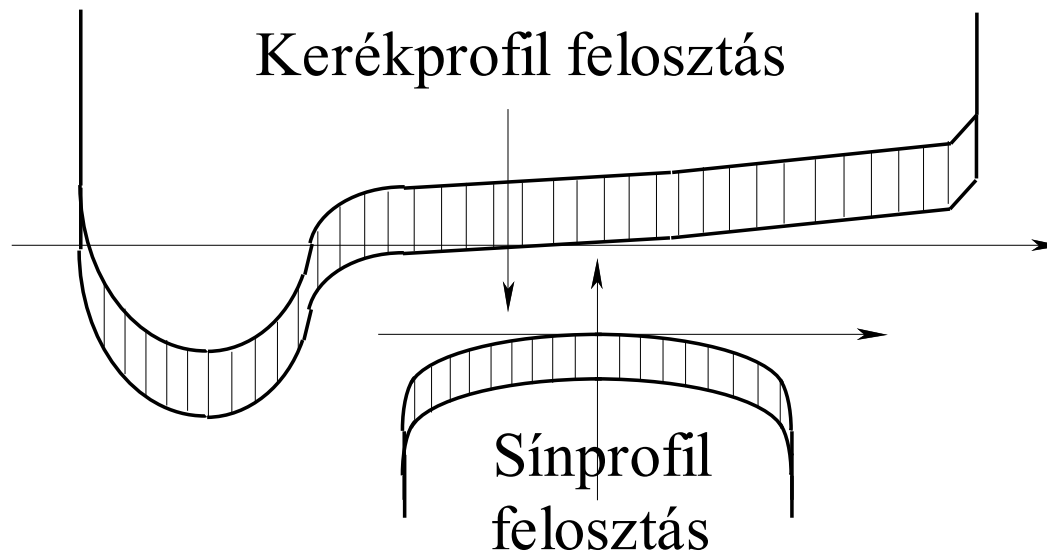
## Kerék- és sínkopás szimuláció

- Dinamikai modell – alapvetően a keresztirányú mozgásokra
  - Kerék-sín kapcsolat kiemelt jelentősége
  - Vonó- és fékezőerők figyelembe vétele
- Kopásszámítás – kopásmodell
  - Kopásfelosztás intervallumok között
  - Kopásösszegzés intervallumon belül
- Profilmódosítás – anyagleválasztás
  - Véges lépésköz – „simítási” eljárások
- Megismételt szimuláció – üzemviszonyok figyelembe vétele
- Profilértékelés



## Profilok megadása

- Felosztás intervallumokra
  - Az egyes intervallumokra eső kopás meghatározása
  - Anyagleválasztás intervallumonként





## Kopásszámítás

- Lekopó anyagmennyiség
  - Kopási ráta
  - Disszipált teljesítménnyel arányos

Keréktalp / sínfej

$$\partial m_t / \partial s = k_t ( F_x v_x + F_y v_y + M_s v_\omega )$$

$$\partial m_h / \partial s = k_h ( F_x v_x + F_y v_y + M_s v_\omega )$$

Nyomkarima / sínoldal

$$\partial m_f / \partial s = k_f F_f \Delta v_s / v$$

$$\partial m_s / \partial s = k_s F_f \Delta v_s / v$$

$$\Delta m_i = \partial m_i / \partial s \Delta s \quad (i = t, h, f, s)$$



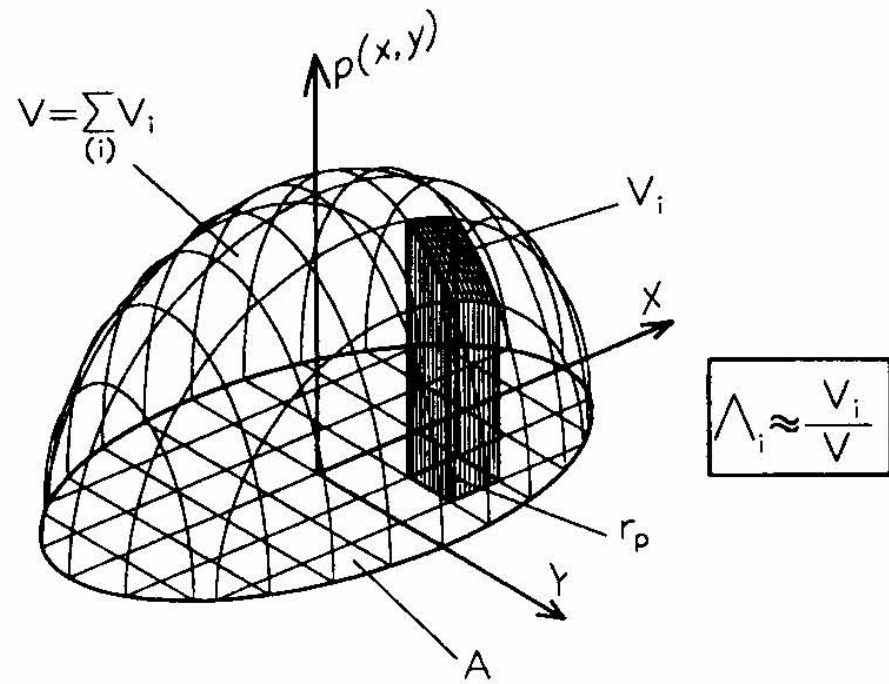


## Kopásszétosztás

- Kopás-részesedés – normálerő arányos
  - Az intervallumra eső normálerő-hányad szerint

$$\Delta m_{ij} = \lambda_j \Delta m_i \quad (i = t, h, j)$$

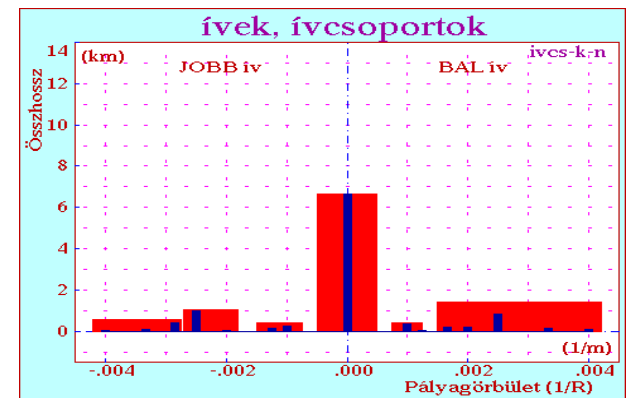
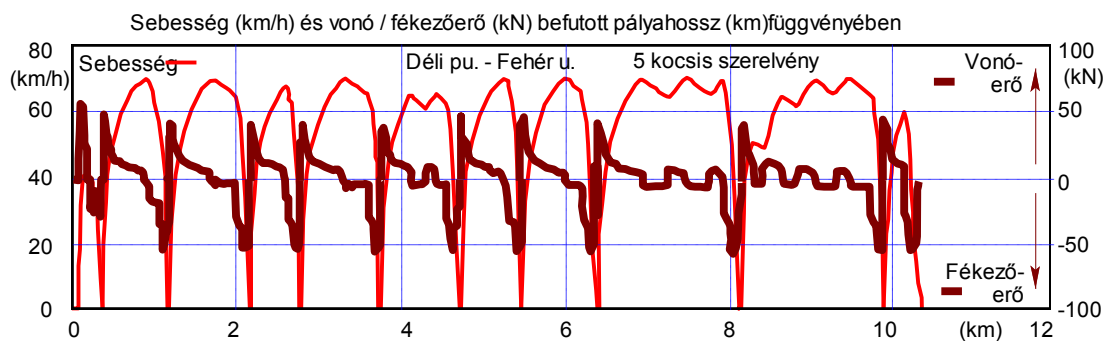
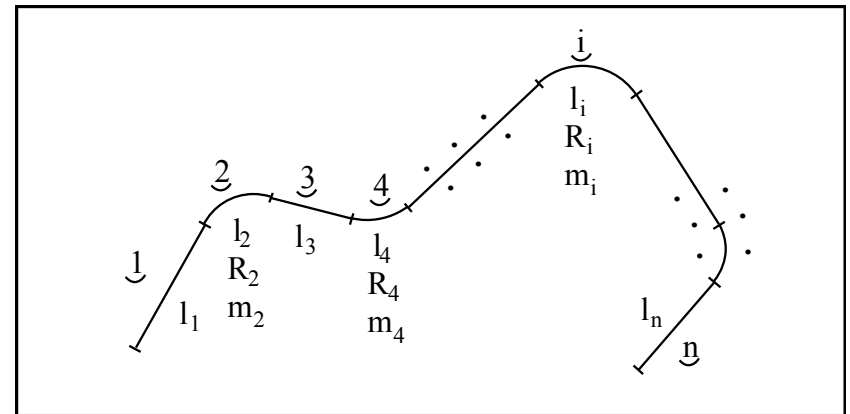
$$\lambda_j = F_{Ni} / F_N$$





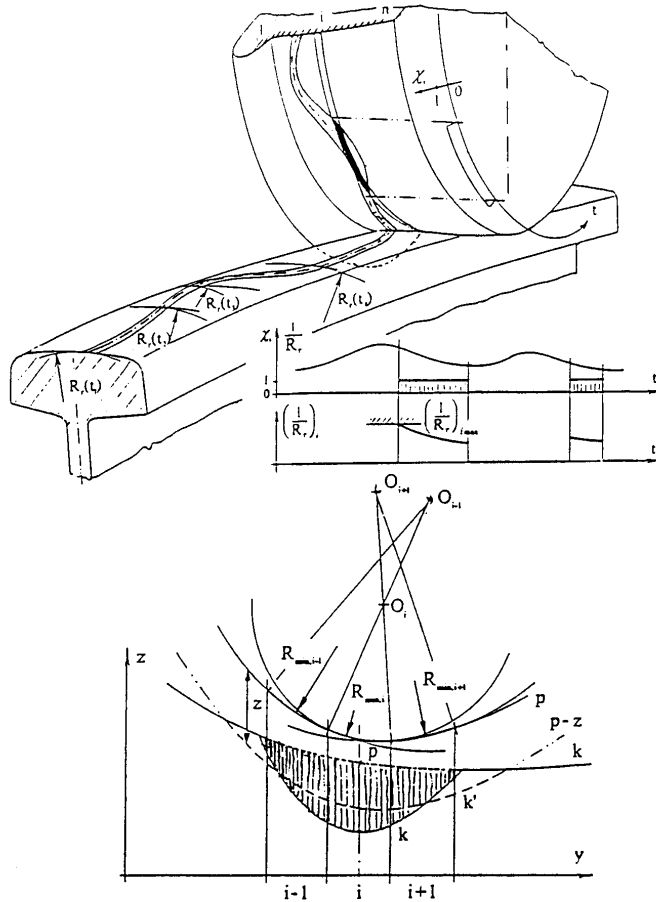
## Üzemi viszonyok megadása

- Pálya vonalvezetése
  - Egyenesek, ívek hossza
- Hálózat felépülése
  - Egyenesek és ívek aránya
- Sebesség adatok megadása
- Vonó- és fékezőerők megadása



Az EV típusú jármű jellemzői a Kelet-nyugati vonalon

## Profilmódosítás



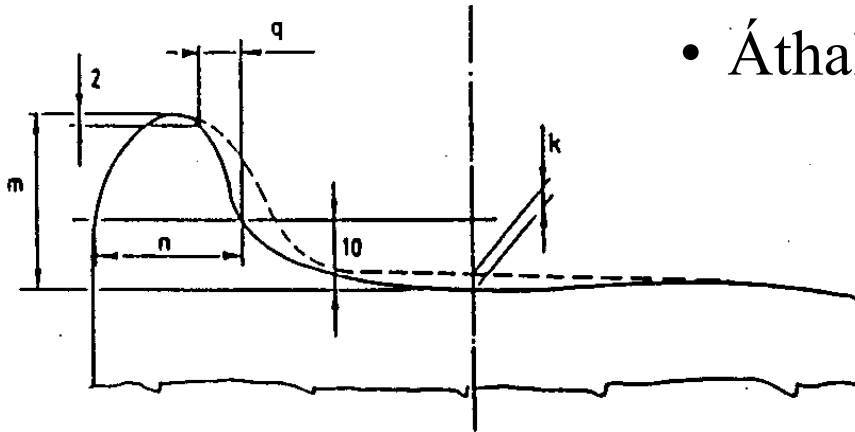
- Számítás egy ciklusra
  - Adott anyagválasztáshoz tartozó ciklusszám
- Anyagválasztása az egyes intervallumokban a kapott kopásterhelés alapján
- Simítás
  - Fizikai: Görbület maximum
  - Matematikai: Simaság



## Kopási határméretek (kerék)

### ➤ Kerékprofil futásteljesítmény: ➤ Sín

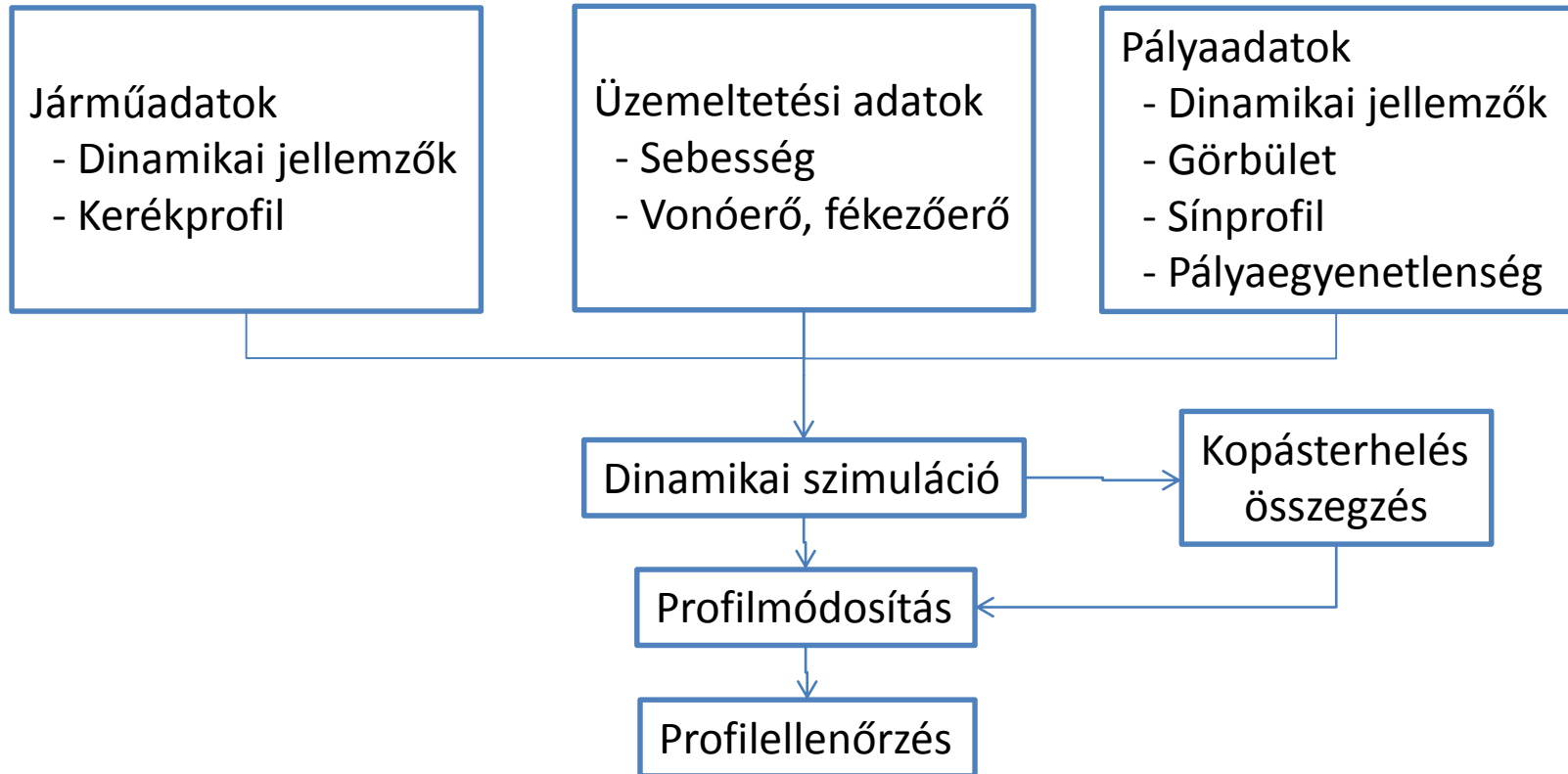
- valamelyik határméret eléréséig befutott út
- Kopásszámítás 1m pályahosszra
- Áthaladt tengelyszám



1	k	$0 \leq k \leq k_{\text{max}} = 5\text{mm}$
2	n	$n \geq n_{\text{min}} = 27\text{mm}$
3	m	$m \leq m_{\text{max}} = 35\text{mm}$
4	q	$q \geq q_{\text{min}} = 6.5\text{mm}$



## Kopásciklus



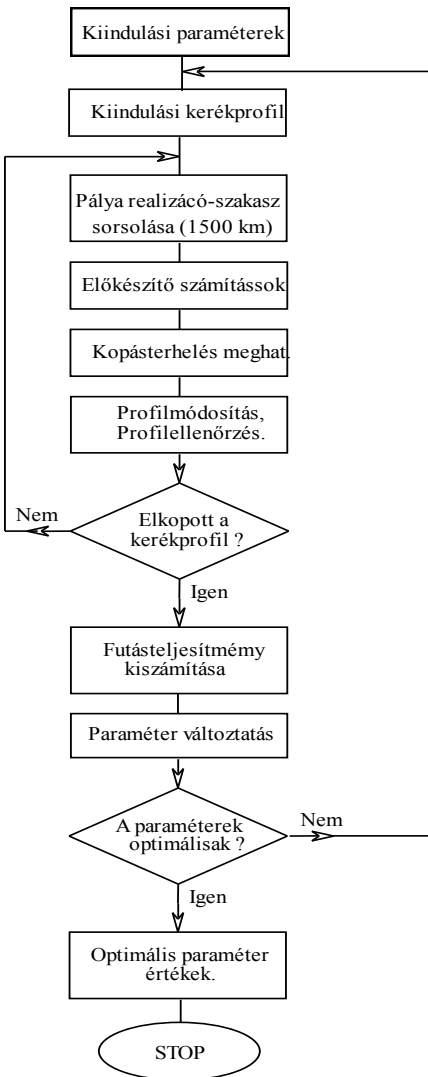
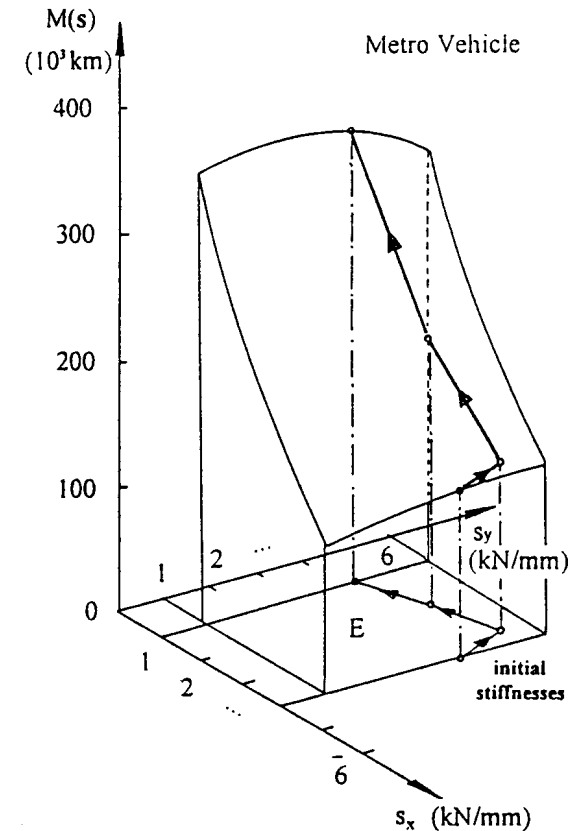
➤ **Bemenő adatok változtatása – ciklikus ismétlődés**

## Kopás optimalizálás adott hálózaton

- Kerékpárvezetési hossz- és keresztirányú merevség
  - optimális érték megh.
- $\mathbf{s}$  : merevségek vektora
- $M$  : futásteljesítmény
- Gradiens módszer

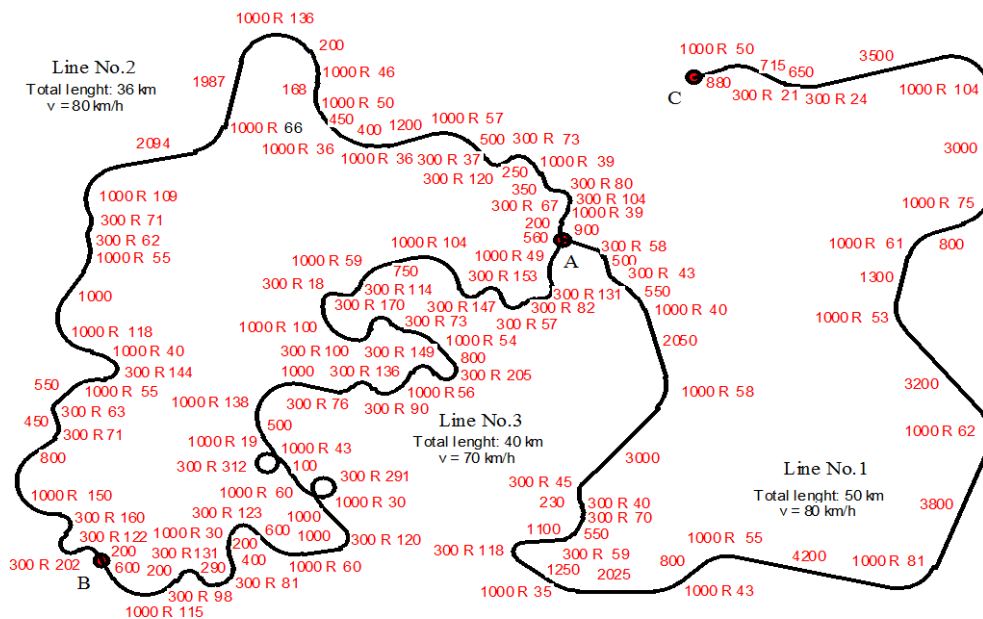
$$\mathbf{s} = [s_x, s_y]^T$$

$$\mathbf{s}_i = \mathbf{s}_{i-1} + \Delta \mathbf{s} \frac{\text{grad } M(\mathbf{s}_{i-1})}{|\text{grad } M(\mathbf{s}_{i-1})|}$$

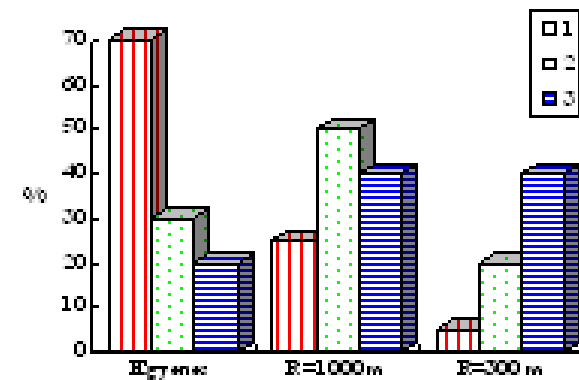




## Adott hálózat – sztochasztikus üzem



% / km	L km	Egyenes	R=1000 m	R=300 m
1.	100	70 / 70	25 / 25	5 / 5
2.	36	30 / 10.8	50 / 18	20 / 7.2
3.	40	20 / 8	40 / 16	40 / 16





## Sztochasztikus üzem

### ➤ Szemi-Markov modell

- Üzemállapotok száma:  $N=5$
- Állapotainak sorozatát jelölje  $u_1, u_2, \dots, u_n, u_{n+1}$ .
- Véletlen tartózkodások mértéke:  $t_1, t_2, \dots, t_n, t_{n+1} \dots$
- Feltételes átmenet-valószínűségek:  $p_{ij} = P\{\{u_{n+1} = j\} | \{u_n = i\}\}$
- Átmenet-valószínűségi mátrix:  $\Pi = \{p_{ij}\}; i, j = 1, 2, \dots, N$
- Tartózkodás mértékének feltételes eloszlásfüggvénye:  $F_{ij}(t)$
- Feltételes eloszlásfüggvény-mátrix:  $\mathbf{F}(t) = \{F_{ij}\}$
- Tartózkodási idő:  $x_{ij} = F_{ij}^{-1}(\eta)$ 
  - ahol egyenletes eloszl.  $\eta \in [0,1]$

$$F_{ij}(t) = P\{\{\tau_{n+1} < t\} | \{u_n = i\} \cap \{u_{n+1} = j\}\}$$



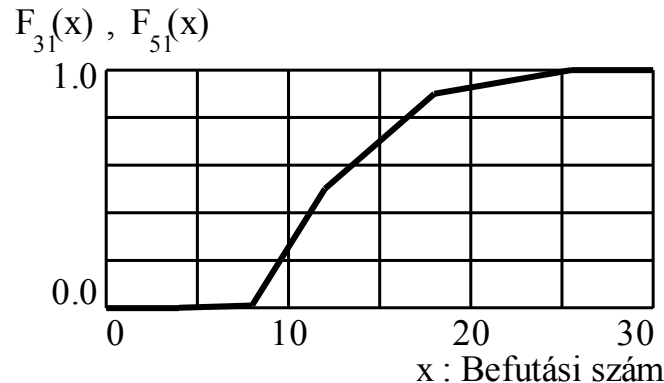
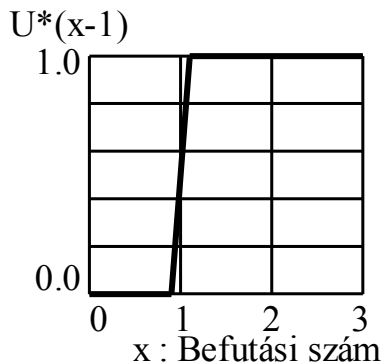


## Sztochasztikus szimuláció

- Állapotok (vonalbefutások):
- Átmenet-valószínűségi mátrix:  $\Pi$
- Feltételes eloszlásfüggvények:  $F_{ij}$

1. vonal: A C A
2. vonal: A B
2. vonal: B A
3. vonal: A B
3. vonal: B A

$$F_{ij}(x) = U(x-1) \quad ; \quad j = 2,3,4,5$$

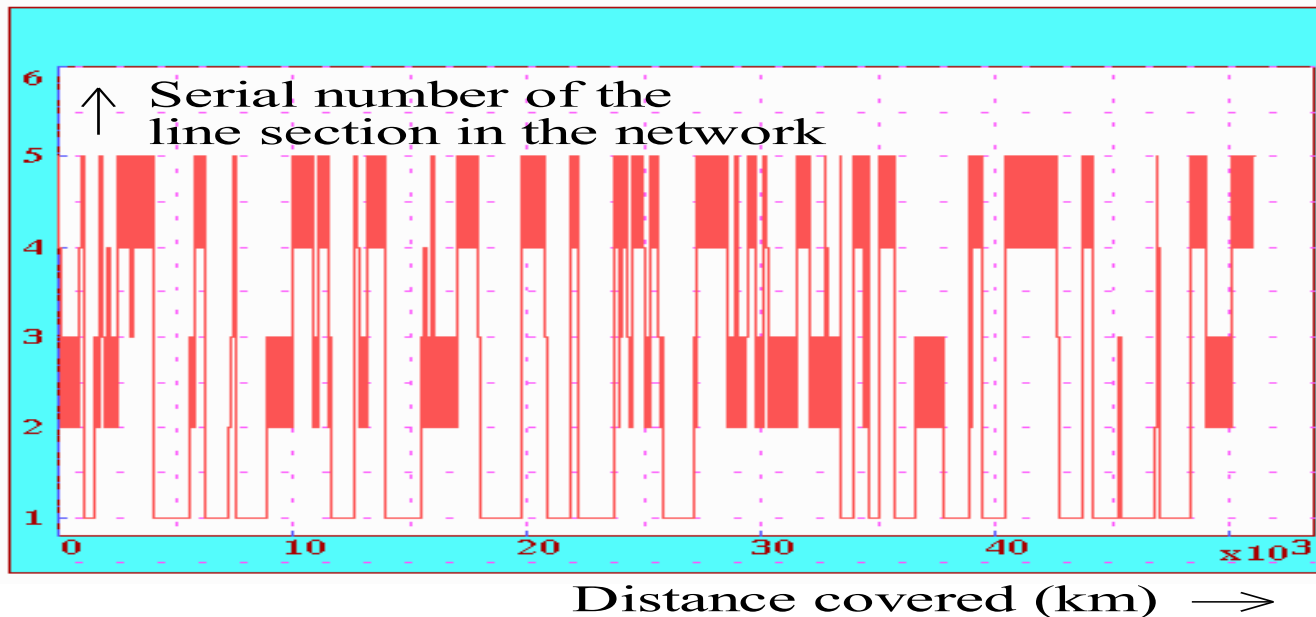


$$\Pi = \begin{bmatrix} 0 & 0.5 & 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 0 & 0.9 & 0 & 0.1 \\ 0.05 & 0.9 & 0 & 0.05 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0.9 \\ 0.05 & 0.05 & 0 & 0.9 & 0 \end{bmatrix}$$



## Egy realizáció

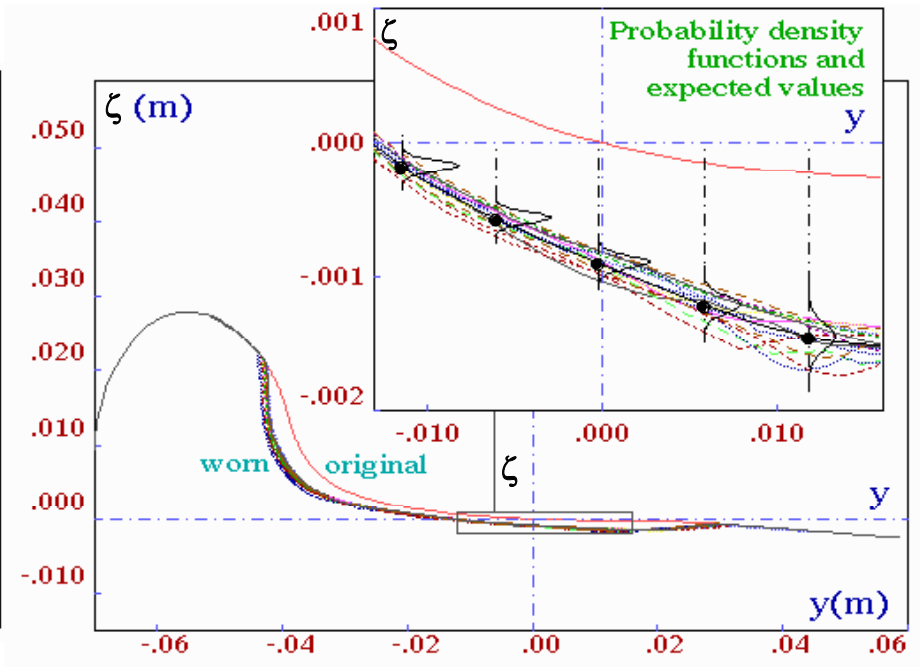
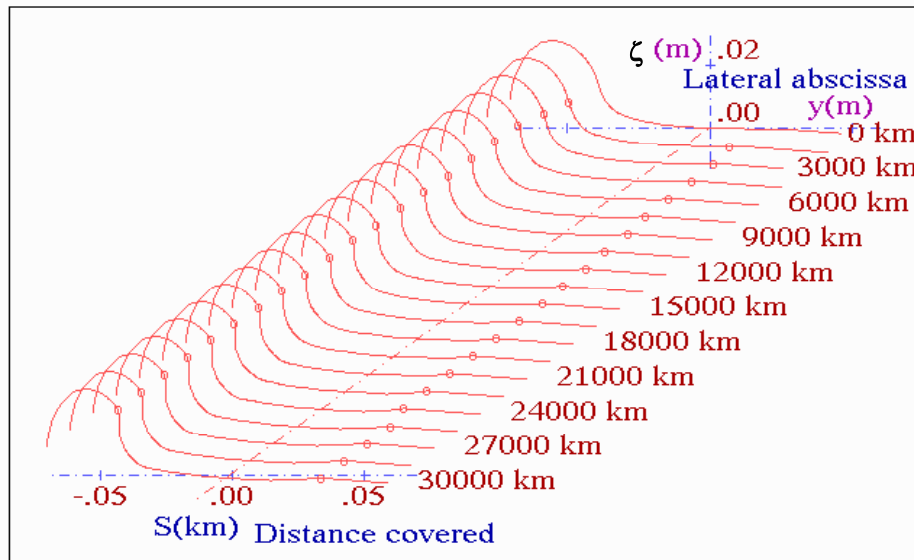
- A→B, B→A útvonal nagyobb valószínűsége
  - 2. vonal: 2→3, 3→2 és
  - 3. vonal: 4→5, 5→4





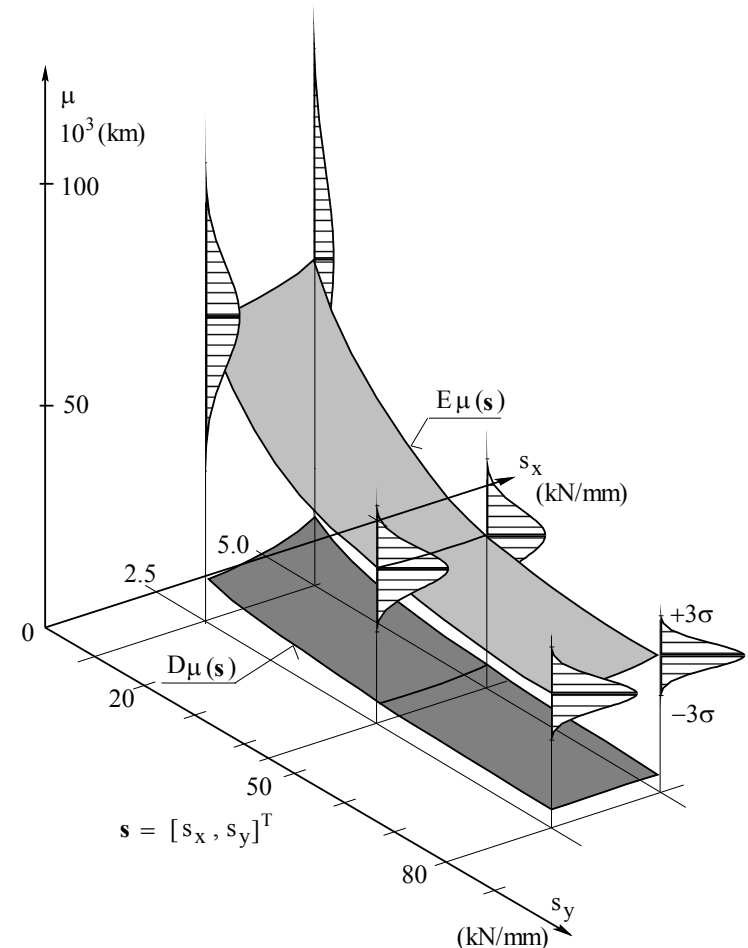
## Profilváltozás

➤ Kopott kerékprofilok 24.000.- km befutása után



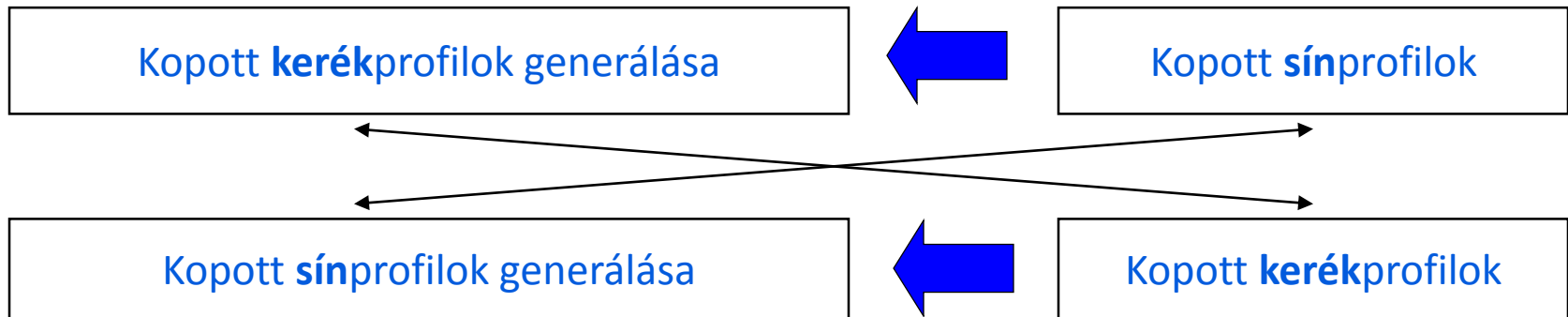
## Sztochasztikus optimalizáció

- A  $\mu(s)$  futásteljesítmény, mint az ágytokbekötési merevségekhez, mint paraméterekhez rendelt sztochasztikus mező.
  - $E\mu(s)$ : várható érték felület;
  - $D\mu(s)$ : szórás felület.



## Kerék- és sínkopás

- A kölcsönös kopási folyamat



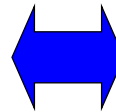
**Komplex, együttes kopás-szimuláció**

## Komplex kerék- és sínkopás

### ➤ Adott vasúti hálózaton

#### Kerékkopási folyamat

- Különböző pályaszakaszok
- Különböző kopottságú sínek
- Különböző sítípusok



#### Sínkopási folyamat

- Különböző járműfajták
- Különböző kopottságú kerekek
- Különböző keréktípusok

- a reprezentáns pályaszakaszok
- a jellegzetes járműcsoportok kerék- ill. sínprofiljai kopásfolyamatának egyidejű szimulációja

- Statisztikai jellemzők alapján kiválasztott kerék-sín párosítás
- Sorozatos ismétlés
- Párhuzamosan megvalósuló kerék- és sínkopás-előrehaladás

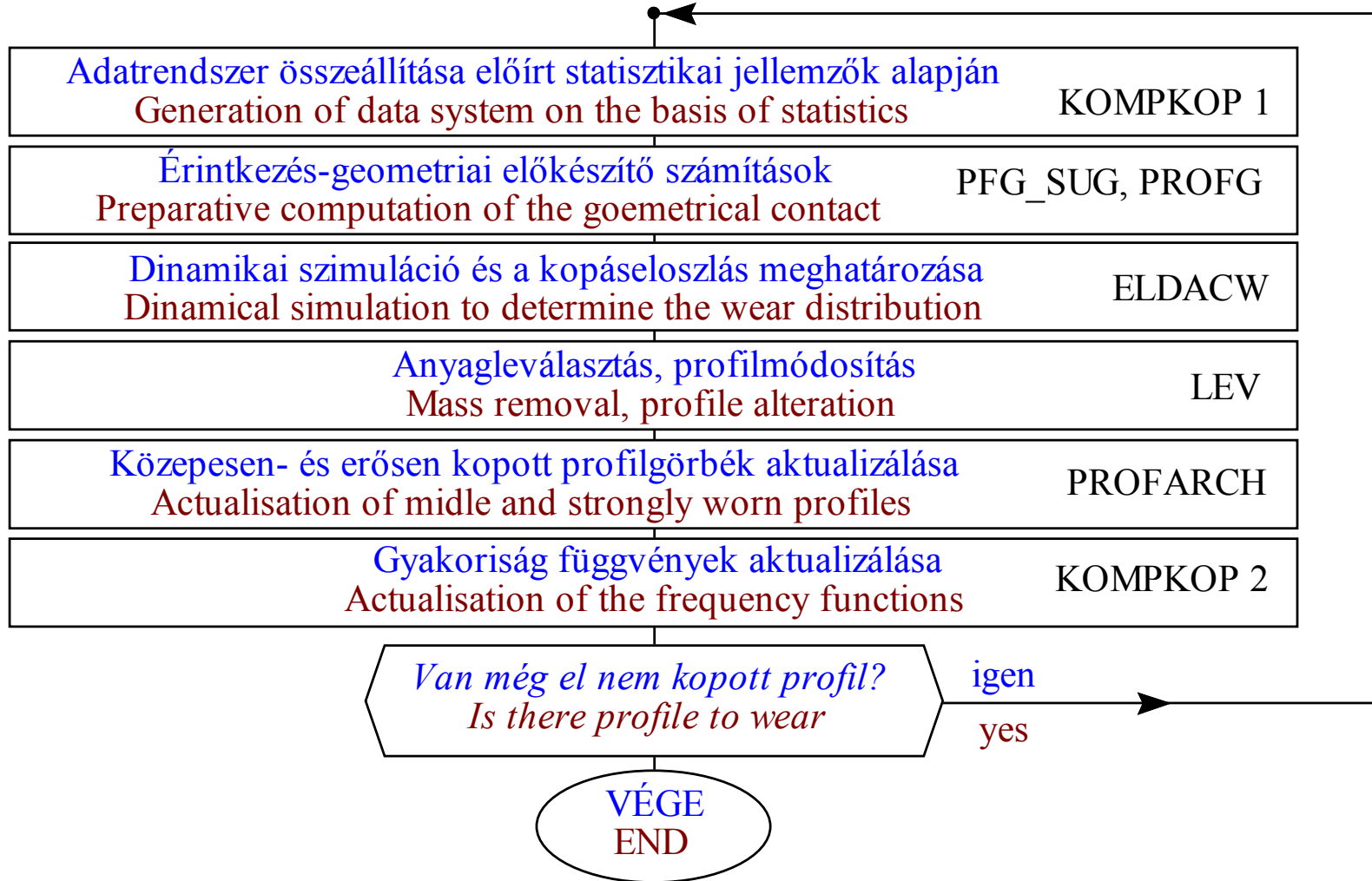


## Meghatározó statisztikai jellemzők

- Megadott relatív gyakoriság függvények alapján
  - A konkrét jármű/pálya gyakorisága a járműcsoportban/pályaszakaszokon
  - A kapcsolódó profil gyakorisága (új- közepesen ill. erősen kopott)
  - A kapcsolódó pálya/jármű csoport gyakorisága
  - A pályaegyenetlenség gyakorisága (jó-, közepes- és rossz pálya).



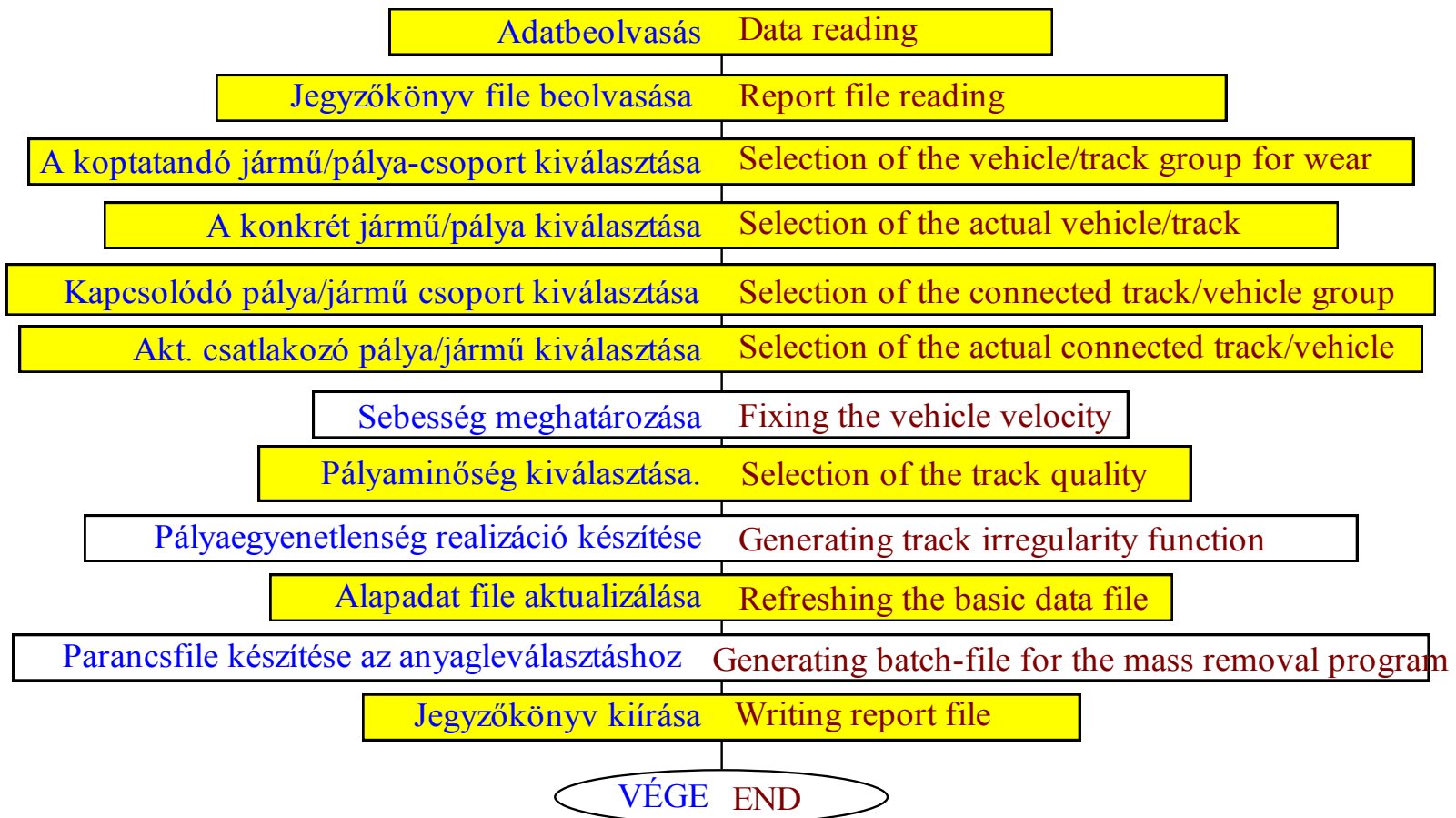
## A komplex kerék- és sínkopás algoritmus





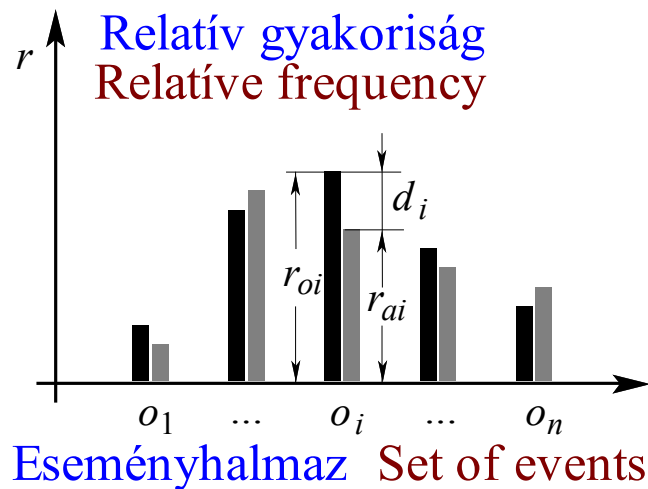
## Adatrendszer elállítása

### ➤ Előírt relatív gyakoriságok alapján





Cél: a lehetséges maximális egybeesés elérése az *előírt* relatív gyakoriság eloszlás és a szimuláció eredményeinek kiértékelésével *kiadódó* relatív gyakoriság eloszlás között



$r_{oi}; i=1, \dots, n$  előírt rel.gyak.

$r_{ai}; i=1, \dots, n$  kapott rel.gyak.

$$d_i = r_{oi} - r_{ai}; i = 1, \dots, n$$

Kiválasztott esemény

$$o_k : d_k = \max(d_i); i = 1, \dots, n$$

$$o_{k1}, o_{k2} : d_{k1} = d_{k2} = \max(d_i); i = 1, \dots, n$$

$$r_k = \max(r_{oi}); i = k_1, k_2$$



## A komplex szimuláció elemei

### ➤ Magyarország fővonalai hálózatának adatai és üzemi jellemzői.

#### ➤ **4 járműcsoport**

- Nemzetközi forgalomban is közlekedő személykocsik (nfszk)
- Csak belföldi forgalomban közlekedő személykocsik (bfszk)
- Négytengelyes teherkocsi (4tgtk)
- Kéttengelyes teherkocsi (2tgtk)

#### ➤ **12 pályaszakasz**

##### MÁV 48 és UIC 54 sínprofilok:

- $R=\infty$  (r0-48, r0-54)
- $R=900$  m (r900-48, r900-54)
- $R=600$  m (r600-48, r600-54)
- $R=350$  m (r350-48, r350-54)

##### UIC 60 sínprofil:

- $R=\infty$  (r0-48)
- $R=1500$  m (r15c-60)
- $R=900$  m (r900-60)
- $R=600$  m (r600-60)



## Lehetőségek az elemeken belül

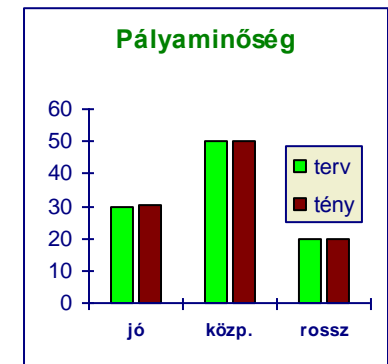
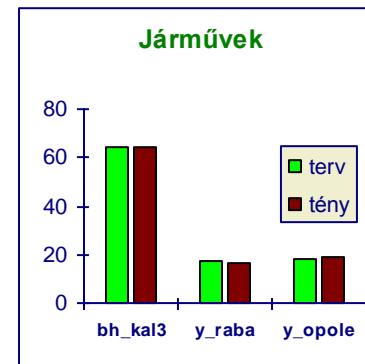
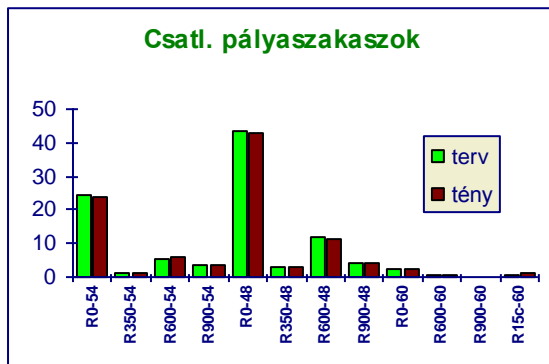
- Járműcsoportonként 2-3 konkrét jármű
  - Pályaszakaszonként 1-2 konkrét sínleerősítési rendszer
  - A kerék/sín profilokra 3 kopottsági szint
    - Új
    - Közepesen kopott
    - Erősen kopott
  - Két kopás-szimuláció - nyomkarima súrlódási tényező:
    - 0,2
    - 0,05
- Pályaminőség:
    - UIC 60 és “nfszk” esetén
      - jó
      - közepes
    - Egyéb esetekben
      - jó
      - közepes
      - rossz

0,05 kg anyagleválasztás minden lépésben

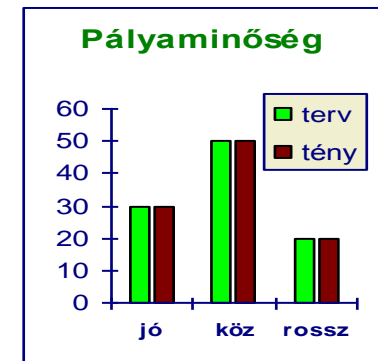
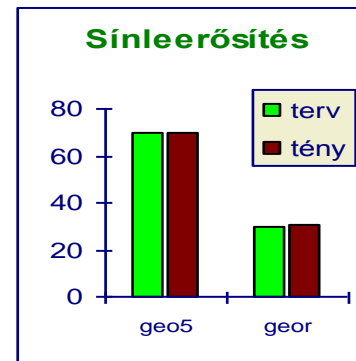
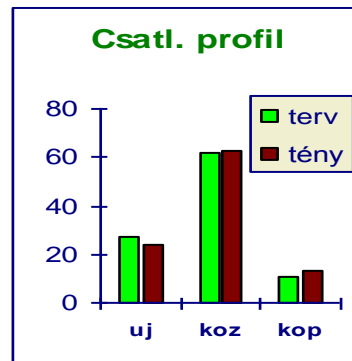
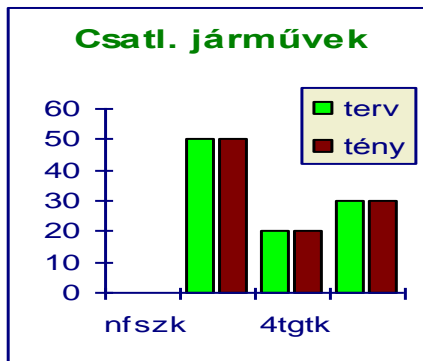


## Előírt relatív gyakoriságok és megvalósulásuk

### ➤ Belföldi forgalmú személykocsi relatív gyakoriság értékei



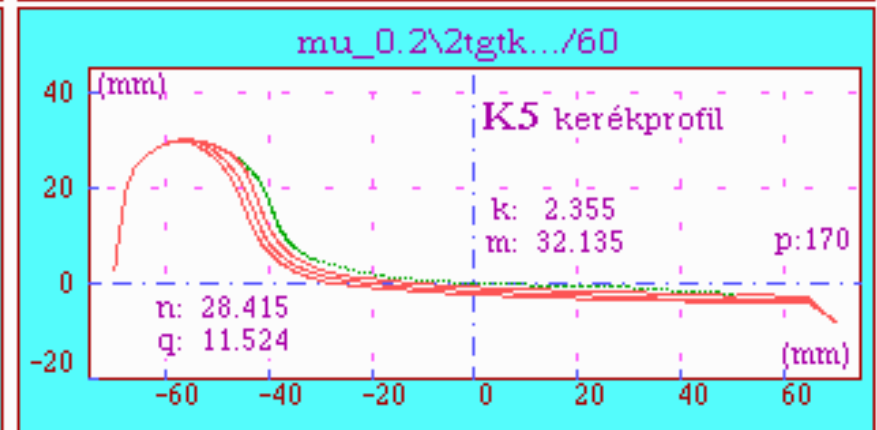
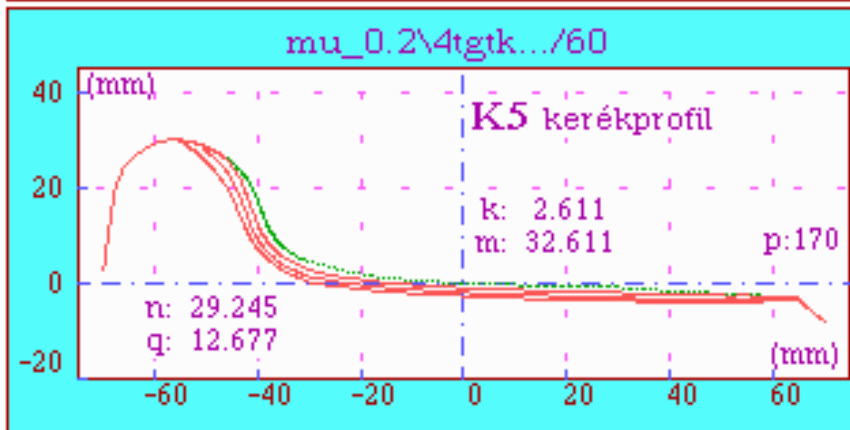
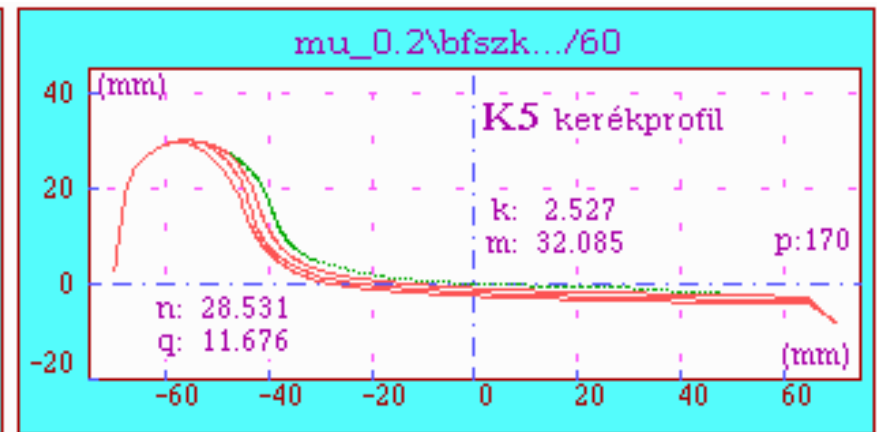
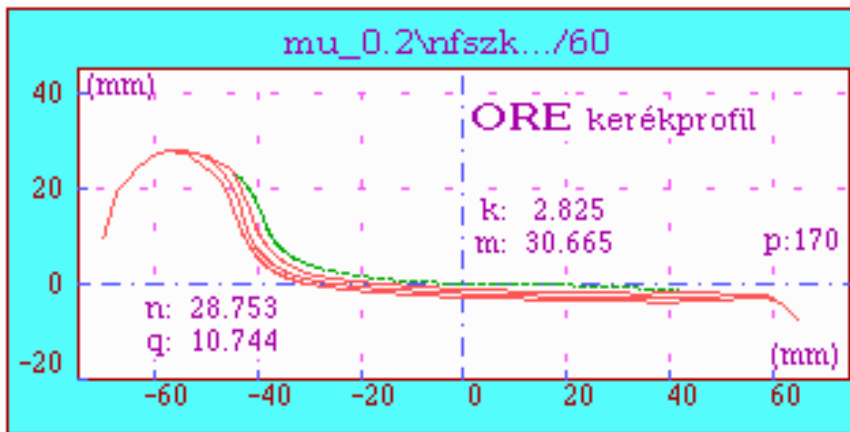
### ➤ UIC 54 típ. sín, R=350 m sugarú pályaszakasz relatív gyak. értékei





## Járműcsoportok kopási folyamatai

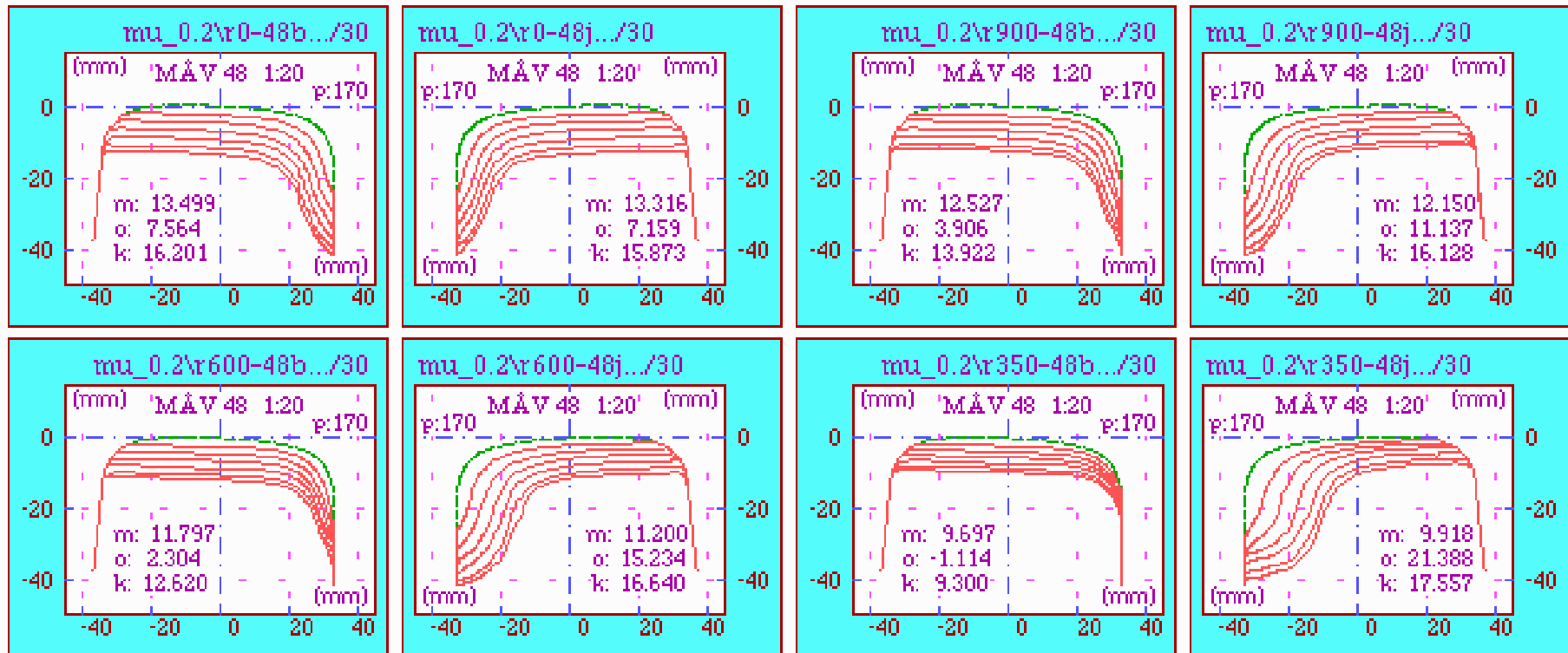
- Nyomkarima súrlódási tényező:  $\mu = 0.2$





## MÁV 48 TÍP. SÍN KOPÁSI FOLYAMATAI

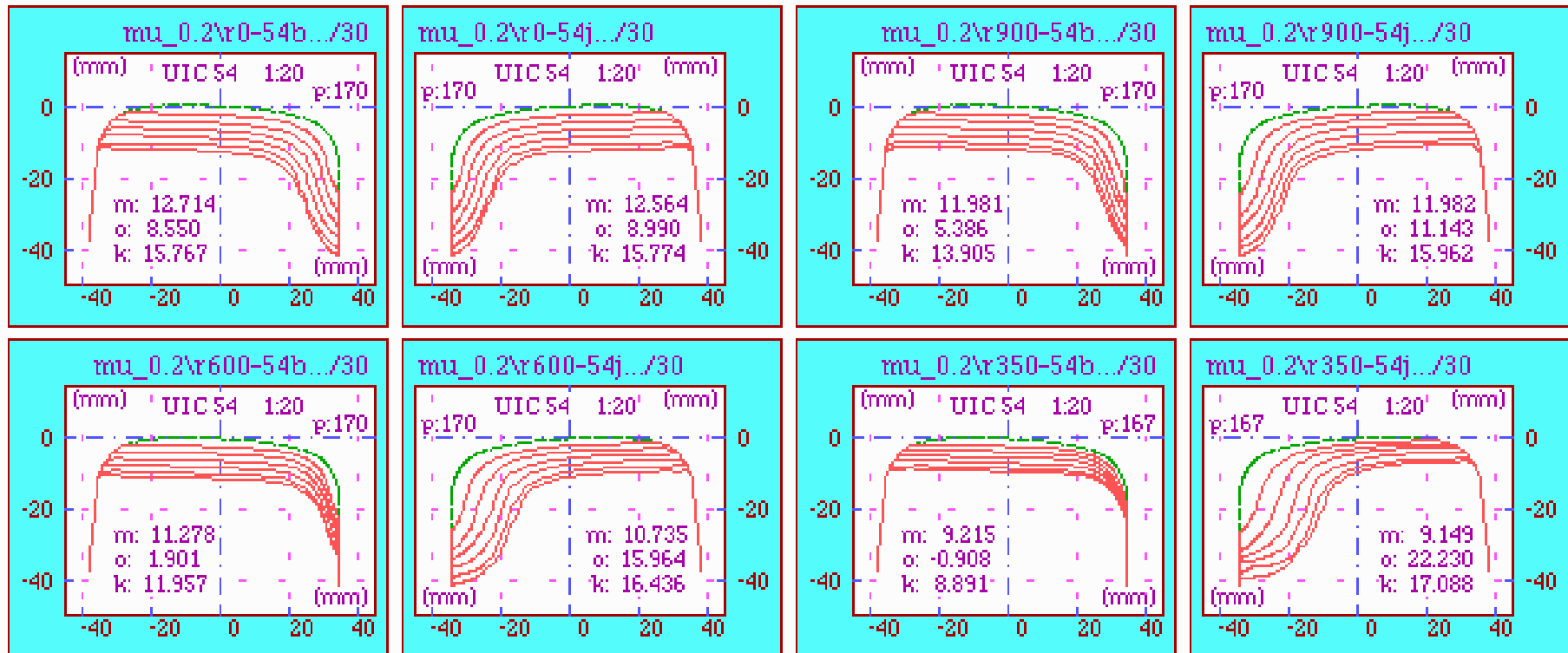
- Nyomkarima súrlódási tényező:  $\mu = 0.2$





## MÁV 54 TÍP. SÍN KOPÁSI FOLYAMATAI

- Nyomkarima súrlódási tényező:  $\mu = 0.2$

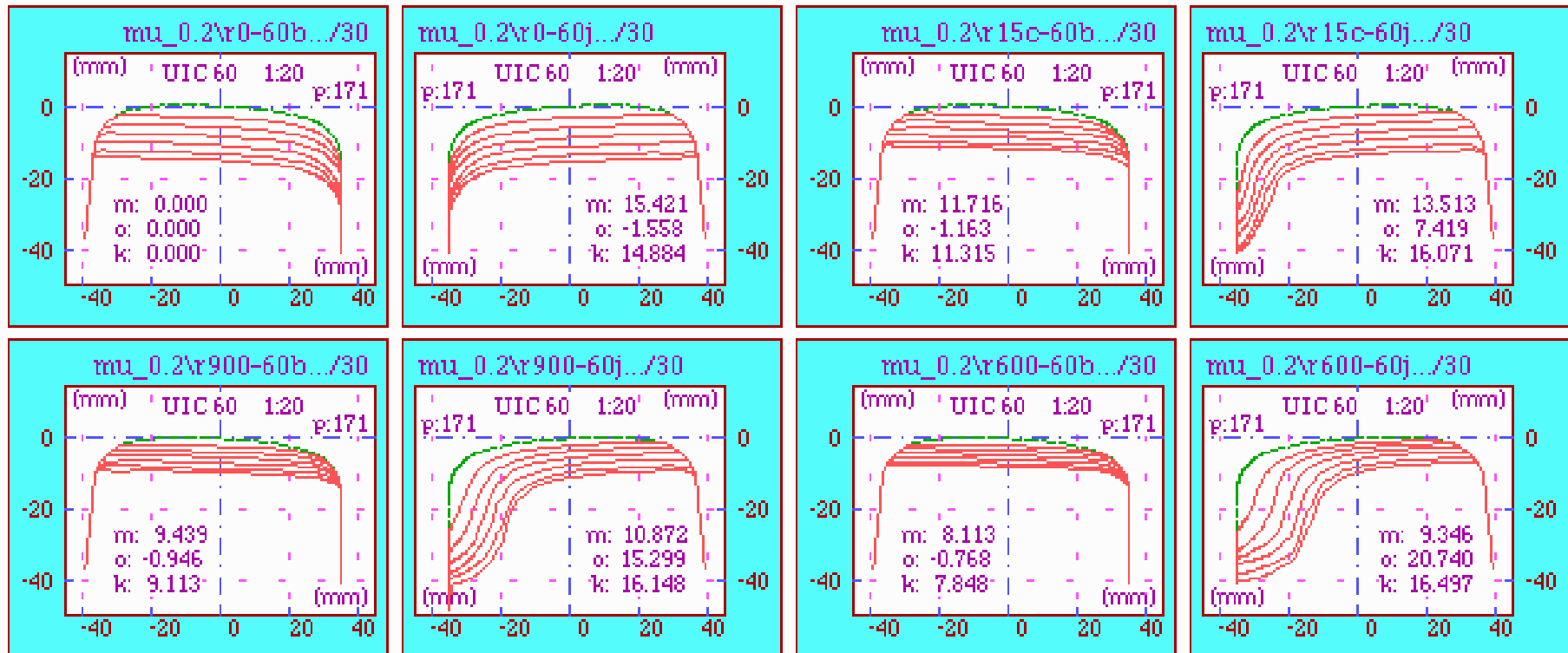






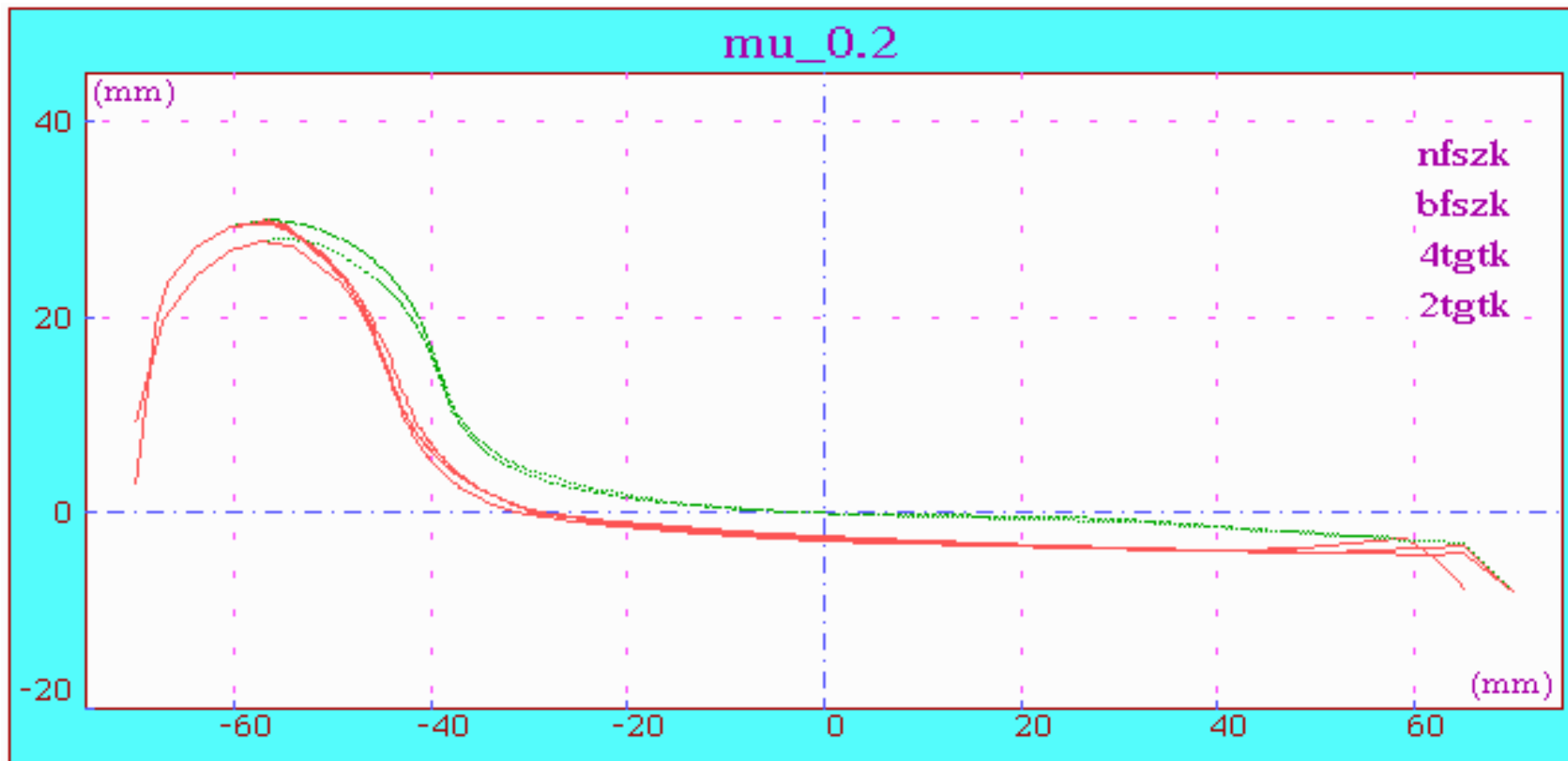
## UIC 60 TÍP. SÍN KOPÁSI FOLYAMATAI

➤ Nyomkarima súrlódási tényező:  $\mu = 0.2$



## Járműcsoportok kopott profiljai

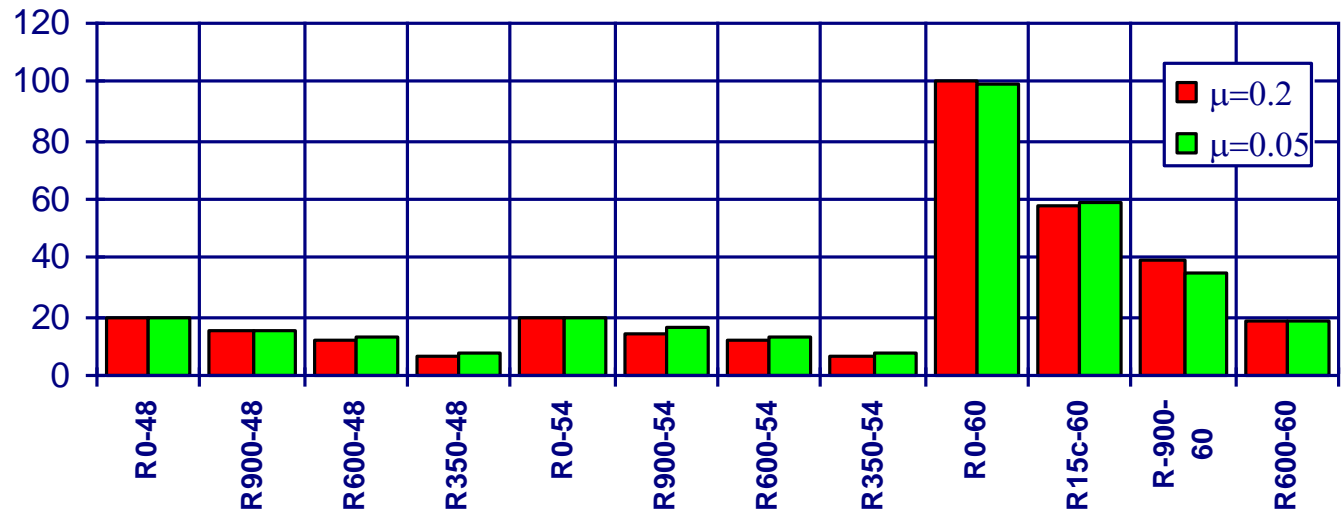
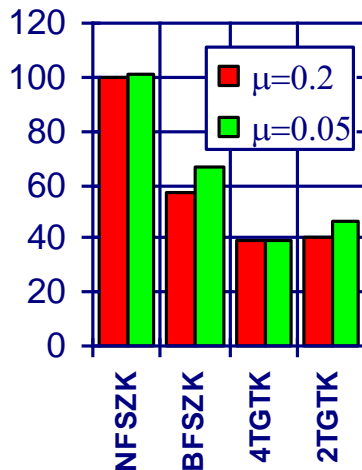
- Nyomkarima súrlódási tényező:  $\mu = 0.2$





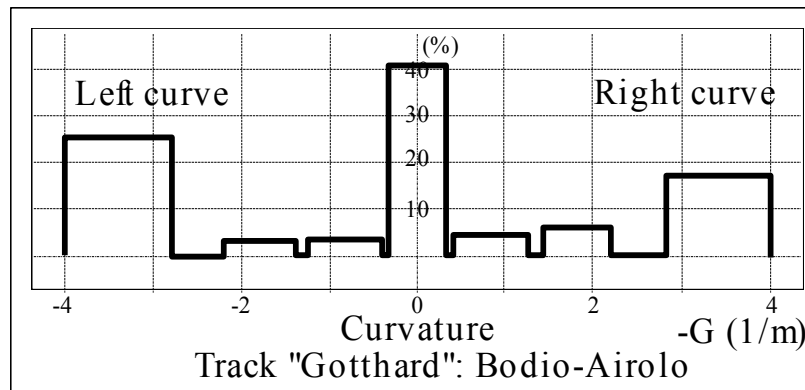
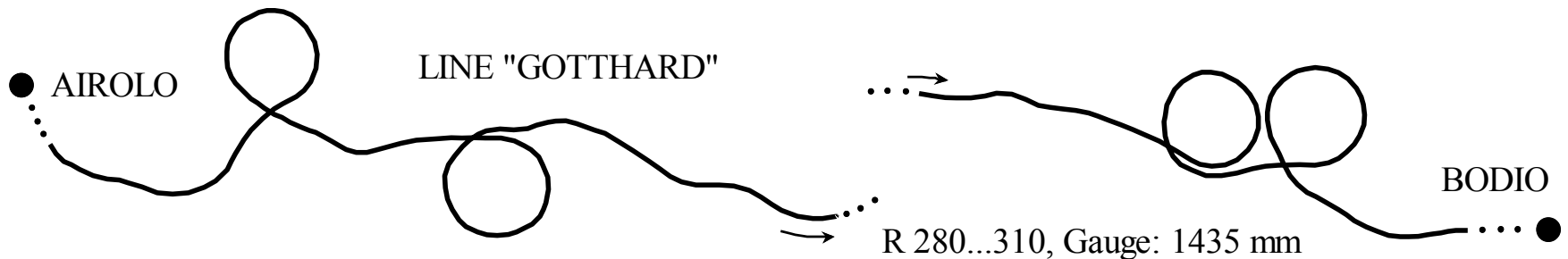
## Futásteljesítmények és tengelyszámok arányai

- járműcsoportok által befutott utak
- pályaszakaszokon áthaladt tengelyszámok arányai



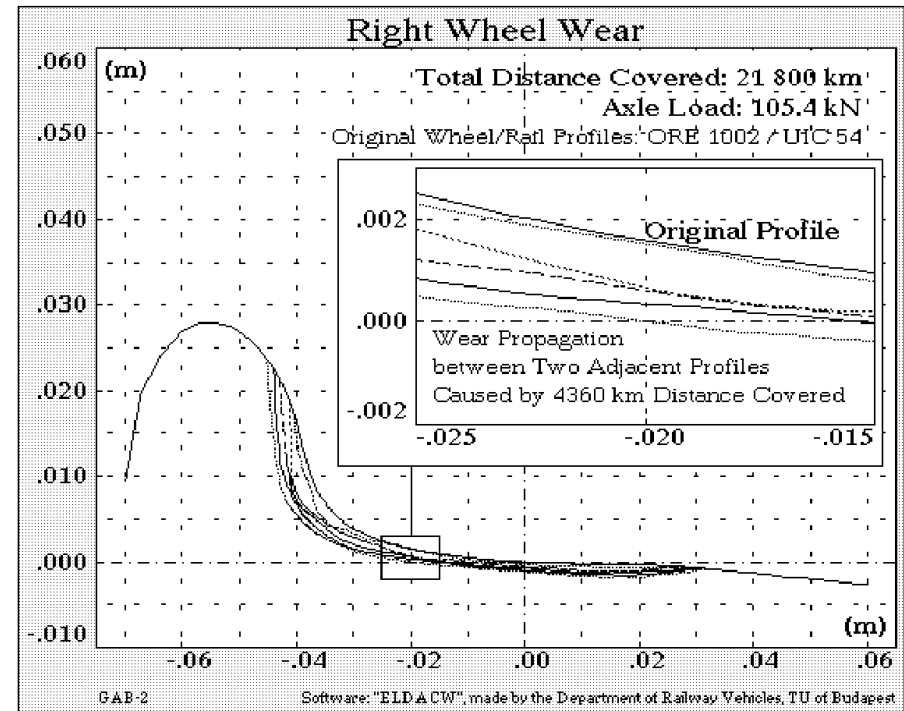
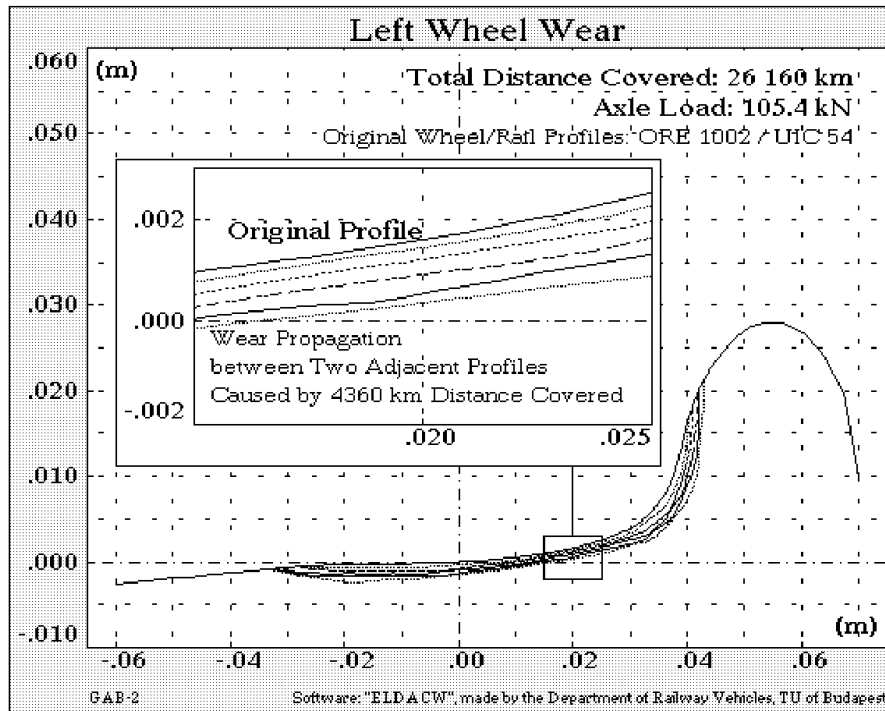
## Profilkopás hatása a futásstabilitásra

- hagyományos futóművel rendelkező, négytengelyes, kétforgóvázaz, gyorsvonati személykocsi
- a "Gotthard" vonal Airolo és Bodio közötti déli lejtője



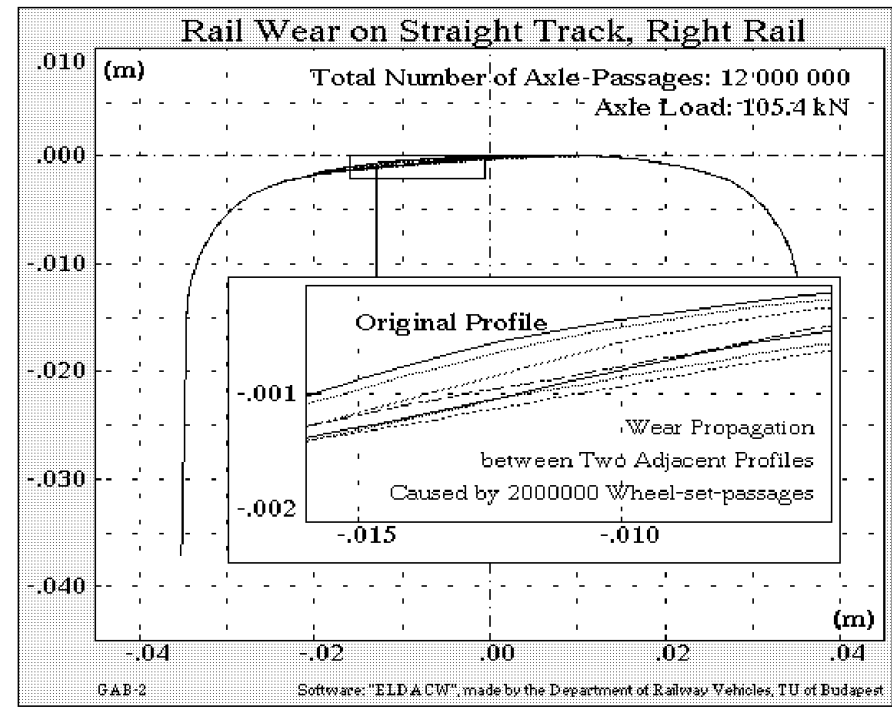
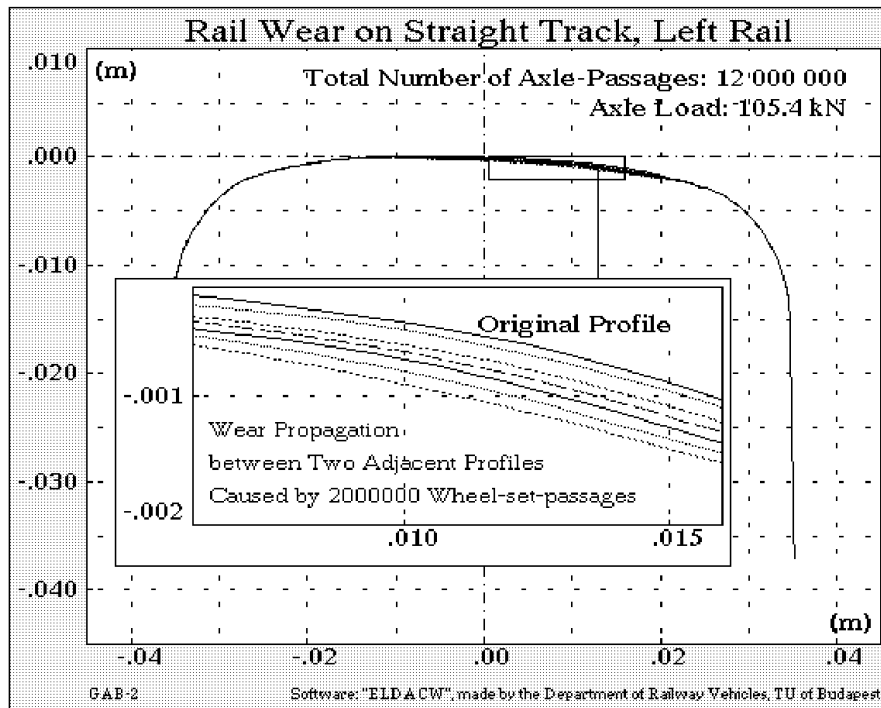


## Kerékprofilok kopása





## Sínprofil kopása egyenes pályán





## Futásstabilitás vizsgálat

- Egyenes pályaszakasz
- Nemlineáris modell, vizsgálat időtartományban
- UIC 54 sínprofil
- ORE 1002 kerékprofil
- Új, kicsit kopott, erősebben kopott profilok
- 25 m út után 1 m hosszon 5mm pályaeltolás
- 10 s-os időkeretben
- Első forgóváz 2 kerékpárjának állandósult amplitúdója
- Sebesség növelése, amíg nem jön létre nyomkarima érintkezés



## Állandósult amplitúdók







## Összefoglalás

- A vasúti járművek futásstabilitása lineáris modell keretei között egyszerűen jellemezhető.
- Nemlineáris modell esetén vizsgálat időtartományban, nehezkesebb és gyakran nem egyértelmű a kiértékelés.
- A vasúti kerék és sín kopása dinamikai szimulációhoz kapcsolható
- A szimuláció során reális profilalakok nyerhetők, a futásteljesítmény illetve áthaladt tengelyszám pontosításához a kopásmodell tényezőinek kísérleti/identifikációs úton való pontosítása szükséges.
- A járműparaméterek optimalálása adott hálózaton sztochasztikus üzem szimulációjára támaszkodva is megvalósítható.
- Kiterjedt vasúti hálózaton adott statisztika szerint közlekedő járműsokaság mellett a pálya és a kerék kopása komplex megközelítésben, együttesen szimulálható:
  - A kopott profilok hasonló alakúak,
  - de eltérő futásteljesítmény mellett alakulnak ki.
- A kerék/sínprofilok kopottsága jelentős hatással van a járművek futásstabilitására.



*Köszönöm megtisztelő figyelmüket!*