

Széchenyi István Egyetem  
Közúti és Vasúti Járművek Tanszék

Dr. Nagy Vince:

# J Á R M Ű V E K

*kézirat*

*Győr, 2002*

Dr. Nagy Vince:

## KÖTÖTTPÁLYÁS JÁRMŰVEK

### Tartalom:

1. A kötöttpálya felépítményének műszaki jellemzői
2. Pályahibák
3. A kerékpár geometriai jellemzői
4. Kerékprofil
5. A jármű mozgásai
6. A jármű kisiklások csoportosítása
7. A jármű haladása egyenes pályán
8. A jármű kisiklások modellezése és számítása
  - 8.1. Statikus modell
  - 8.2. A kisiklás határesetek
  - 8.3. A kisiklás elleni biztonság
9. Geometriai vizsgálat
10. Statikus erőtani vizsgálat
11. A pályára engedélyezett maximális sebesség
12. A pálya dinamikai hatása a járműre
13. Sínillesztésen való áthaladás
14. Dinamikus erőtani vizsgálat
15. A szélnyomás okozta dinamikus oldalterhelés
16. Feldőlés elleni biztonság

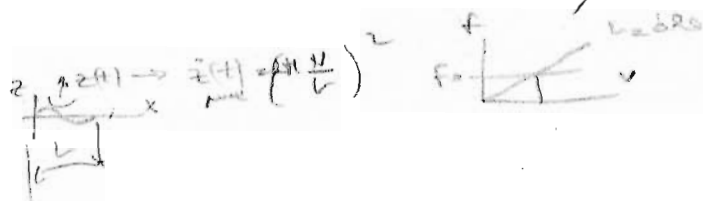
1. A kötőpálya felépítményének műszaki jellemzői

- Tengelyterhelés (tengelynyomás)
- Nyomtáv
- Emelkedő, lejtő
- Pályaív, átmeneti ív
- Tülemelés
- Nyombővítés, nyomszűkítés
- Pályára megengedett maximális sebesség
- Folyóméter terhelés

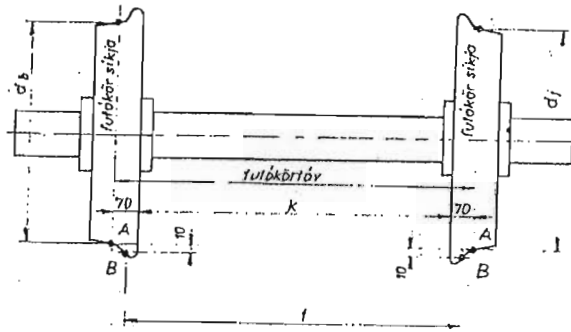
*Handwritten notes:*  
 - görbület  
 - tülemelés

2. Pályahibák

- Hullámos sínkopás
- Ferde sínkopás
- Sínvég lehajlás
- Dinamikai hatások

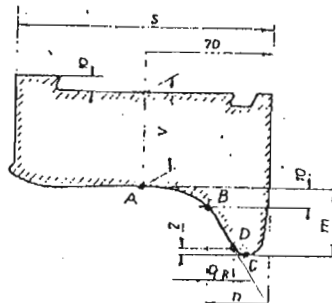


3. A kerékpár geometriai jellemzői



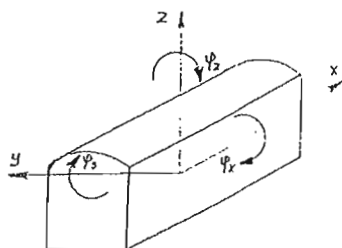
Kerékpár fő méretei

4. Kerékprofil



Kerékprofil jellemző pontjai

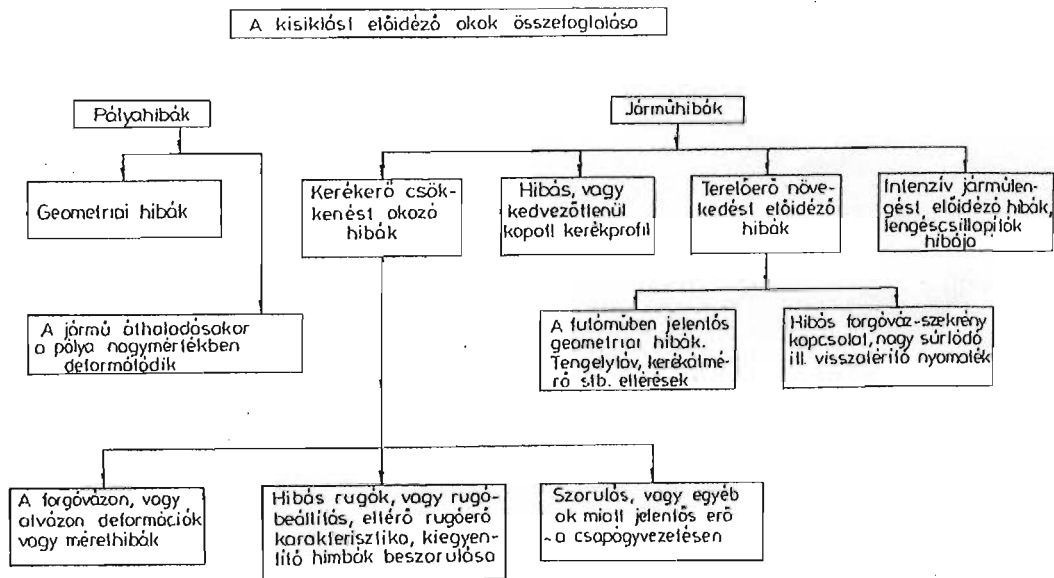
5. A jármű mozgásai



- x - rángatás
- y - szitálás
- z - rázás
- $\psi_x$  - támolygás
- $\psi_y$  - bólintás
- $\psi_z$  - kigyózás

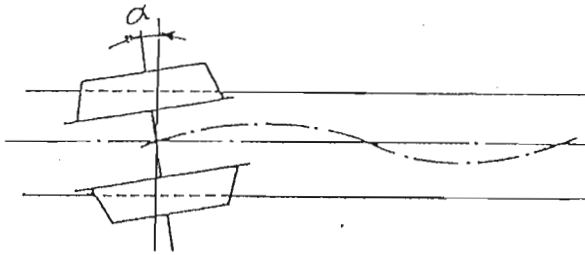
## 6. A jármű kisiklások csoportosítása

- A sajátosságok alapján a kisiklás lehet:
    - statikus
    - dinamikus
  - A pálya különböző szakaszain
    - egyenesben
    - ívben
    - átmeneti ívben
    - pályafelépítményi szerkezeten (váltó, kereszteződés)
  - Az előidéző okok alapján a kisiklás oka lehet:
    - rendkívül dinamikus hatás (ütközés)
    - pálya vagy jármű károsodás (sintörés, keréktörés)
    - adott sebesség túllépés
    - pálya és járműfenntartási hiányosság (rugólapptörés, nyomkarima élesedés, váltó hiba)
    - jármű nem megengedett pályán közlekedése (geometria, terhelés)
- Általában egy-egy konkrét esetben több ok egyidejű fellépése jelent gondot.
- Felelősség szerint:
    - konstrukciós
    - pályafenntartási
    - járműfenntartási
    - forgalmi okok



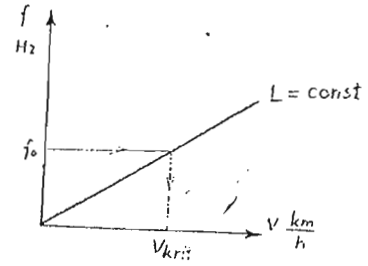
## 7. Jármű haladása egyenes pályán

Színusz futás



$$f = \frac{V}{L} = \frac{\text{jármű sebesség}}{\text{hullámhossz}} \text{ Hz}$$

$$L = 2\pi \sqrt{\frac{R \cdot a}{i}}$$



R - kerékfutókör sugár

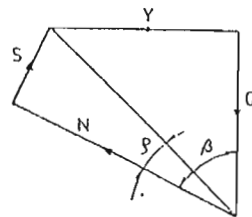
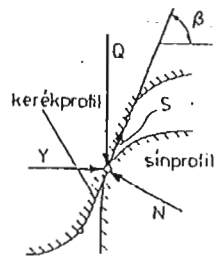
i - futófelület lejtés

2a - futókör síkok távolsága

## 8. A jármű kisiklások modellezése és számítása

Többféle, eltérő modellel végezhető

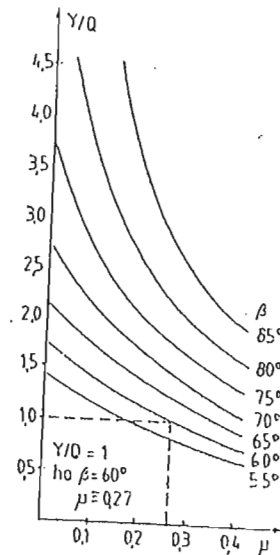
### 8.1. Statikus modell



### 8.2. A kisiklás határesetc

$$\frac{Y^*}{Q} = \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \cdot \operatorname{tg} \beta}$$

$Y/Q$  a nyomkarima hajlásszögek és a  $\mu$  függvényében:



Kisiklás mindaddig nem következik be, amíg a terelőerő  $Y$  kisebb, mint a függőleges kerékerő.

### 8.3. A kisiklás elleni biztonság:

$$B = \frac{Y^*}{Y_e} = \left[ \frac{Q}{Y_e} \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \mu \operatorname{tg} \beta} \right] \quad (1)$$

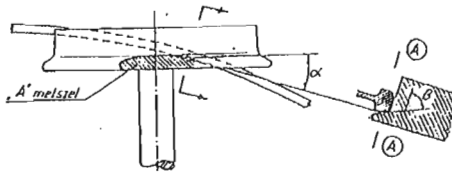
$Y^*$  - a kisiklás határesetében érvényes terelőerő

$Y_e$  - a valóságban fellépő terelőerő (számítással vagy méréssel meghatározott)

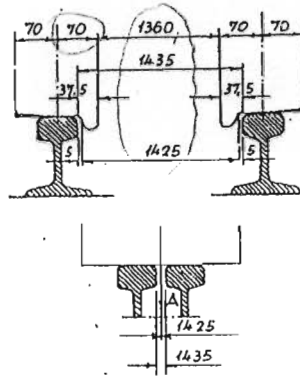
Kis sebesség és jelentős pálya- vagy járműhiba miatt bekövetkező kisiklás = statikus vizsgálat (időben állandó)

Az ívben haladó jármű kisiklásához a járműlengés is hozzájárul = dinamikus vizsgálat (időbeli alakulás).

## 9. Geometriai vizsgálat



A kerék és a sín kapcsolata pályáívbén

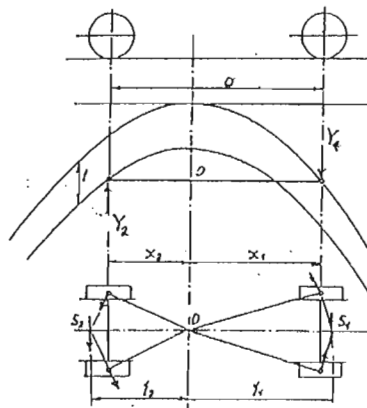


Geometriai vizsgálat alapja

A kerékpár és a vágány geometriai kapcsolata

## 10. Statikus erőtani vizsgálat

Kis sebességgel pályáívbén haladó jármű esetén a kerék-sín kapcsolatban keresztirányban fellépő erők meghatározása ( $Y$ )



$$\sum Y_i = 0$$

$$Y_i = f(R, L, t)$$

$$\sum M_i = 0$$

Kérdés:

- Hogyan helyezkedik el a jármű pályáívbén?
- A jármű át tud-e haladni a pályáívbén befeszülés, ill. kisiklás nélkül?
- Meddig biztonságos a kerék-sín kapcsolat?

### 11. Pályára engedélyezett maximális sebesség

Az engedélyezett maximális sebesség a következő tényezőktől függ:

- ágyazat vastagsága
- sín és alrendszer
- pálya állapota
- pálya-ív viszonyai, ezen belül az ívek sugara, az átmeneti ívek hossza, túlemelés mértéke, körívek egymáshoz való csatlakoztatása
- pálya legnagyobb esése
- biztosítóberendezések fajtája

A vonalhálózatra engedélyezett sebesség a korszerűség fontos jellemzője. A kissugarú pályaívekben, váltókon kitérő irányban haladáskor és a pálya javítási helyein sebességkorlátozásra van szükség. A vonalakon a pályaívekben a maximális megengedett sebesség és a túlemelés mértéke fontos összetartozó értékek.

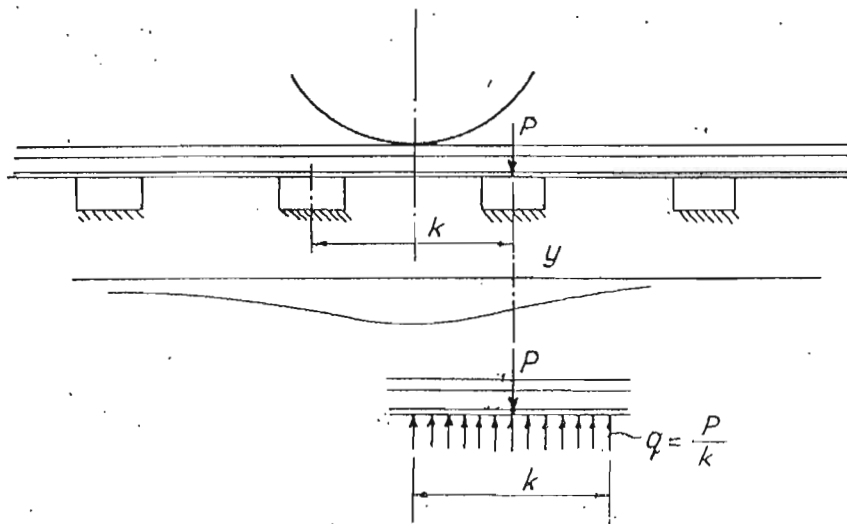
### 12. A pálya dinamikai hatása a járműre

A pályán haladó jármű és a pálya között kölcsönhatás létesül, amelynek eredményeként mind a pályán, mind a járművön erők keletkeznek. Ezeket az erőket a tárgyalás egyszerűsítése miatt szétválaszthatjuk statikus és dinamikus erőkre.

Már a statikus terhelés hatására is a pályán deformáció keletkezik, amely rugalmas alakváltozásnak tekinthető, ha a terhelés összhangban van a pálya megengedett tengelyterhelésével. A pálya rugalmassága függőleges irányban az ábra szerint az

$$u = \frac{q}{y} \frac{\text{N/cm}}{\text{cm}}$$

törttel jellemezhető.



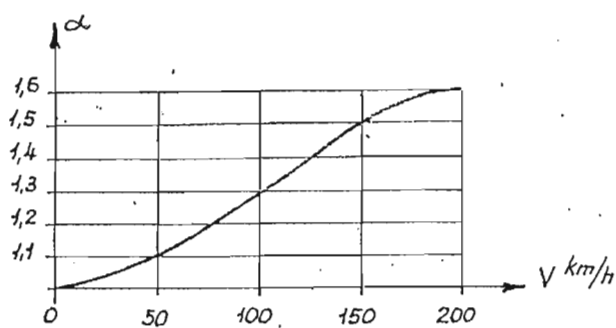
*A pálya rugalmasságának hatása*



Dinamikus hatások folytán a tengelyterhelések valóságos értékei jóval túlhaladhatják a statikus tengelyterhelés-értéket. Ez a következő tényezővel vehető figyelembe:

$$\alpha = \frac{Q_{\text{din}}}{Q_{\text{stat}}}$$

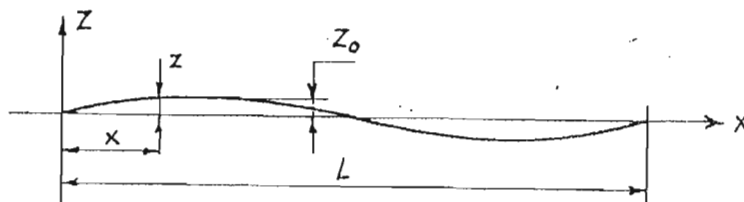
$\alpha$  értéke függ a pálya állapotától, a járműtől és a sebességtől. Tájékoztatóként az ábrán megadjuk  $\alpha$  értékeit a sebesség függvényében.



### Dinamikus tényező értékei

A járművön a rugózás miatt a kölcsönhatás folytán keletkező erők, ill. mozgások jóval bonyolultabb formában jelentkeznek. E helyen mindössze azt vizsgáljuk, hogy a pályahibák milyen gyorsulásokat okoznak a jármű rugózatlan részein.

Tételezzük fel, hogy a sín deformálódott alakja a függőleges síkban szabályos szinuszhullám.



### Sinusz formájú pálya

Ezen a pályán átgördülő kerék középpontja közelítően a következő elmozdulást végzi a függőleges irányban:

$$Z = Z_0 \cdot \sin \alpha = Z_0 \sin \frac{2\pi}{L} x$$

Az  $x$  utat az idővel és a sebességgel kifejezve: ( $x = v \cdot t$ )

$$Z = Z_0 \cdot \sin \left( \frac{2\pi}{L} \cdot v \cdot t \right)$$

A függőleges gyorsulást az előbbi összefüggés kétszeri differenciálásával kapjuk:

$$A = \ddot{Z} = - \left( \frac{2\pi}{L} \cdot v \right)^2 \cdot Z_0 \cdot \sin \left( \frac{2\pi}{L} \cdot v \cdot t \right)$$

A gyorsulás legnagyobb értéke, mivel:

$$\left[ \sin \left( \frac{2\pi}{L} v \cdot t \right) \right]_{\max} = 1$$

$$a_{\max} = Z_0 \left( \frac{2\pi}{L} \cdot v \right)^2 \quad \text{m/s}^2$$

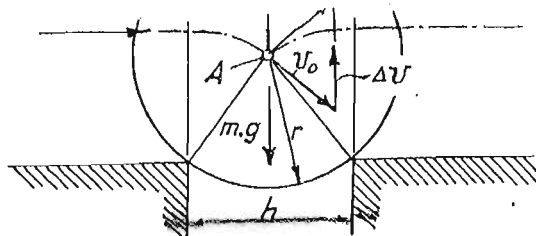
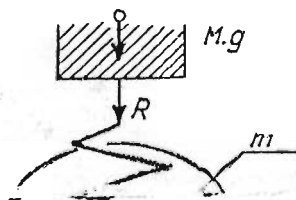
### 13. Sínillesztésen való áthaladás

A sínillesztésen való áthaladáskor különösen nagy gyorsulások keletkeznek. Ha a sínt teljesen merevnek tételezzük fel, a kerék középpontja két köríven mozdul el, amelynek határán töréspont található. Itt a sebesség iránya hirtelen megváltozik, az ebből adódó sebességváltozás:

$$\Delta v = v_0 \frac{h}{r}$$

Mint ismeretes, ez a mechanikai értelemben vett ütközés esetének felel meg, és rendkívül nagy erőket eredményez. A sínvégek gyorsabb elhasználódásának, „elverődésének” oka nyilvánvalóan ebben keresendő.

Megjegyezzük, hogy nagyobb sebességeknél a kerék középpontjának pályája még merev sínt feltételezve sem lehet körív, mert a létesülő inerciaerő a kereket a síntől eltávolítja.



Ennek feltétele:

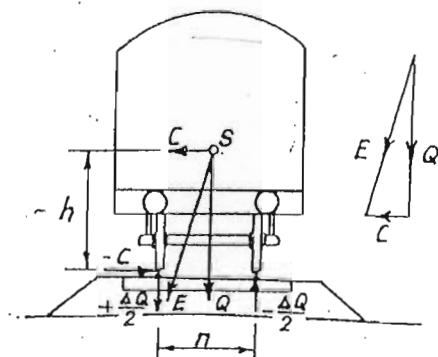
$$R + m \cdot g \cong \frac{v^2}{r} \cdot m$$

Feltételezve, hogy sínillesztésen való áthaladás közben a rugóerő R nem változik, és M.g-vel egyenlő, az előbbi kifejezésből a következő sebesség adódik:

$$v = \sqrt{r \cdot g \left( \frac{M}{m} + 1 \right)}$$

#### 14. Dinamikus erőtani vizsgálat

Az  $R$  sugarú pályáivben haladó vasúti jármű súlypontjában, a  $G$  súlyerőn kívül a körív középpontjától kifelé mutató vízszintes irányú  $C$  centrifugális erő  $C \cdot h$  erőpárja a járművet a külső sínszál körül felbillenteni igyekszik. További hatásként jelentkezik a külső sínszál túlterhelése, ami annak gyorsabb elhasználódását jelenti.



#### Pályáivben ható erők

A centrifugális erőnek ezeket a hatásait a külső sínszál megemelésével lehet csökkenteni. A feldőlés elleni biztonság akkor a legnagyobb (az egyenes pályán való haladásával azonos), ha a  $G$  súlyerő és a  $C$  centrifugális erő  $E$  eredője a pálya járósíkjára merőleges. Ennek feltétele a háromszögek hasonlóságából:

$$\frac{m}{n} = \frac{C}{G} = \frac{M \frac{v^2}{R}}{Mg} = \frac{v^2}{R \cdot g}$$

Ahol:

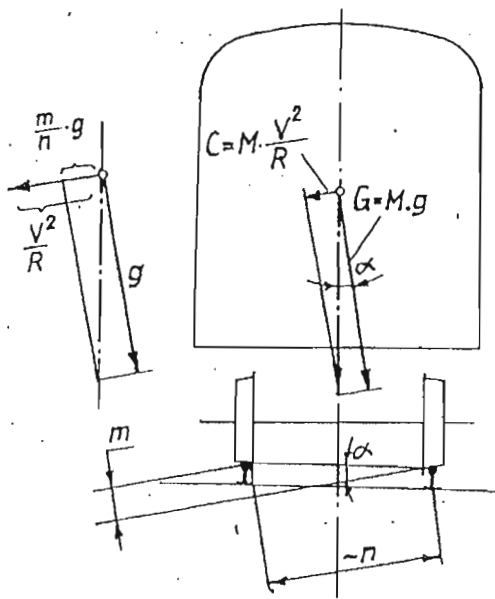
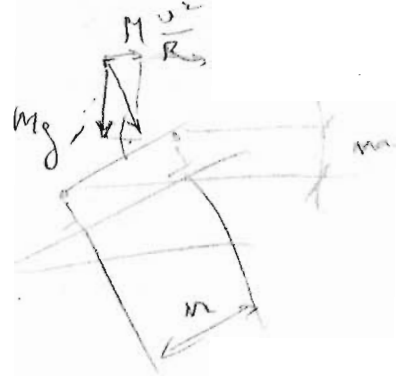
- $m$  = a túlemelés mm-ben
- $n$  = futókörtáv mm-ben
- $v$  = járműsebesség m/sec-ben
- $R$  = pályáivsugár m-ben
- $M$  =  $G/g$  a jármű tömege

Az előző összefüggésből számítható a szükséges túlemelési érték:

$$m = n \frac{v^2}{R \cdot g}$$

A túlemelés csak egy adott sebességnél eredményez a feldőlés ellen teljes biztonságot. Ha a túlemelés kisebb, mint az előzőekben számított érték, akkor a centrifugális érték kiegyensúlyozatlan része a járművet a külső sín felé tolja el. A szabad oldalgyorsulás:

$$a_c = \frac{v^2}{R} - \frac{m}{n} \cdot g$$



$$\frac{v^2}{R} = g \frac{m}{n} \rightarrow v = \dots$$

$$\frac{v^2}{R} = g \frac{m}{n} \rightarrow a_c \rightarrow v = \dots$$

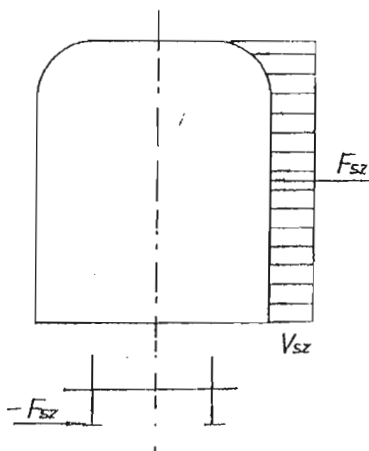
9,65 m/s!

### Túlemelés hatása pályá- ívben

A valóságban alkalmazott túlemelés nagyságát, - mely kisebb, mint a legnagyobb sebességhez tartozó elméleti érték - a pályáívsugár, valamint a pályán haladó különböző jellegű járművek középsebessége alapján úgy határozzák meg, hogy a túlemeléssel nem kompenzált szabad oldalgyorsulás egy megadott értéket ne haladjon meg. A kiegyenlített szabad oldalgyorsulás más és más lehet, általában nem haladja meg a nehézségi gyorsulás egy tizedét ( $0,98 \text{ m/sec}^2$ ).

### 15. A szélnyomás okozta dinamikus oldalterhelés

A jármű hossztengetyére merőleges szél által okozott dinamikus oldalterhelés tulajdonképpen nincs kizárólagos kapcsolatban a pályáivben haladáskor fellépő terhelésekkel. Kedvezőtlen esetben az a terhelés szuperponálódik a centrifugális erő hatására és együttes hatásuk már számottevő oldalterhelést jelent.



#### Oldalszél hatása

A feltételezett  $v_{sz}$  (m/s) sebességű oldalszél esetén a szélirányra merőleges oldalfelületre

$$p_t = \frac{\rho}{2} \cdot v_{sz}^2$$

nagyságú dinamikus nyomás, vagy másnéven torlónyomás hat.

Ahol  $\rho$  a levegő sűrűsége, amivel és átlagosan  $v_{sz}=80$  km/ó sebességű oldalszéllel számolva:

$$p_t = 300 \text{ (N/m}^2\text{)-re adódik.}$$

Korszerű járművek oldalfelülete  $A=70\sim 80$  (m<sup>2</sup>), ezzel az oldalfelület középpontjába koncentrált szélterő

$$F_{sz} = p_t \cdot A$$

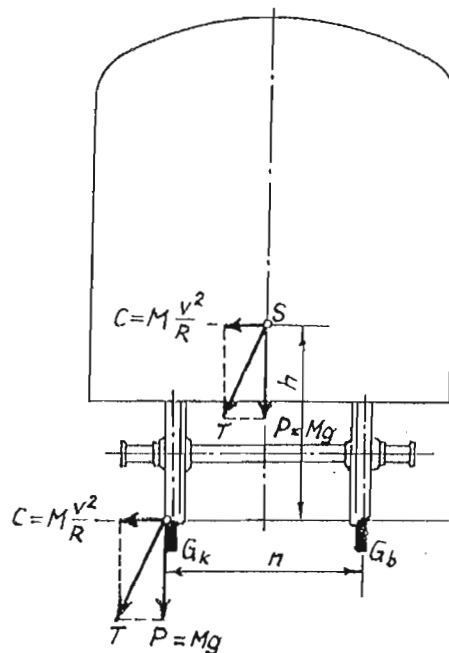
$$F_{sz} = 21000\sim 24000 \text{ N-ra adódik.}$$

Látható, hogy a szélterő nem elhanyagolható a keresztirányú terhelések vizsgálatánál, annál is inkább, mert a vele szemben ébredő megtámasztási kényszererő ugyanúgy a keréktalpakon, illetve a nyomkarima vezetőpontban ébred, mint a centrifugális erő esetén.

## 16. Feldőlés elleni biztonság

A járművek fejlesztésének fontos tényezője a sebesség növelése. Megnövelt sebesség mellett a jármű stabilitása a pályávekben elsőrendű szerepet játszik a közlekedés biztonsága szempontjából. Valamely járműnek annál nagyobb a stabilitása, vagyis az egyik sínszál körüli felbillenés elleni biztonsága, minél kisebb mértékben közelíti meg a centrifugális erő és súlyerő eredője a külső sínszálát.

Vizsgáljuk meg, hogy mi a határfeltétele egy  $R$  sugarú pályáivben futó jármű felbillenésének. Egyszerűség miatt a rugózás befolyásától egyelőre tekintsünk el és az egész járművet egy merev rendszernek tekintjük. A felbillenés határhelyzete akkor áll elő, ha a függőleges irányú  $P = Mg$  súlyerő és a vízszintes irányban ható  $C = Mv^2/R$  centrifugális erő  $T$  eredője a külső sínszál és a rajta futó kerék  $G_k$  érintkezési pontján megy át.



Ennek feltétele:

$$\frac{Mv^2}{R} : Mg = \frac{n}{2} : h$$

Ebből:

$$\frac{v^2}{Rg} = \frac{n}{2h}$$

Az összefüggés szerint mindaddig, amíg

$$\frac{v^2}{Rg} < \frac{n}{2h}$$

vagyis amíg a T eredő a pálya járósíkját a  $G_k$  és  $G_b$  pontok között metszi át, felbillenési veszély nincs, míg ha a metszéspont a  $G_k$  érintkezési ponton kívül esik, azaz :

$$\frac{v^2}{R \cdot g} > \frac{n}{2h}$$

a felbillenés be is következik. Adott  $v$  sebesség és  $R$  pályaivsugár esetén tehát a felbillenés elleni biztonság annál nagyobb, minél nagyobb az  $n/h$  viszony, vagyis minél nagyobb a számlálóban szereplő  $n$  futókörtáv és minél kisebb a nevezőben szereplő  $h$  súlypontmagasság. Ezek szerint adott nyomtáv esetén a jármű súlypontmagasságát kell csökkenteni, ha változatlan futási biztonság mellett a sebességet fokozni akarjuk.

#### Irodalom:

Dr. Vermes Á.: Vasúti járműszerkezetek és vasúti kocsik

Dr. Balogh V. - Dr. Sostarics Gy.: Vasúti járművek

Dr. Nagy V.: A vasúti kerék függőleges irányú és forgó mozgása a jármű haladása közben