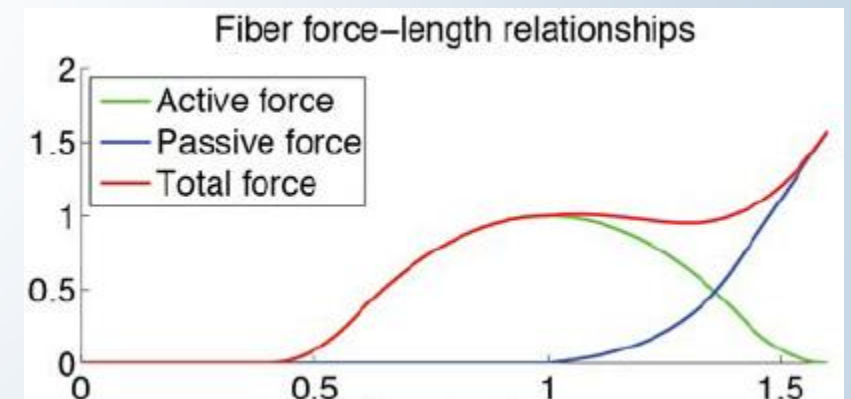
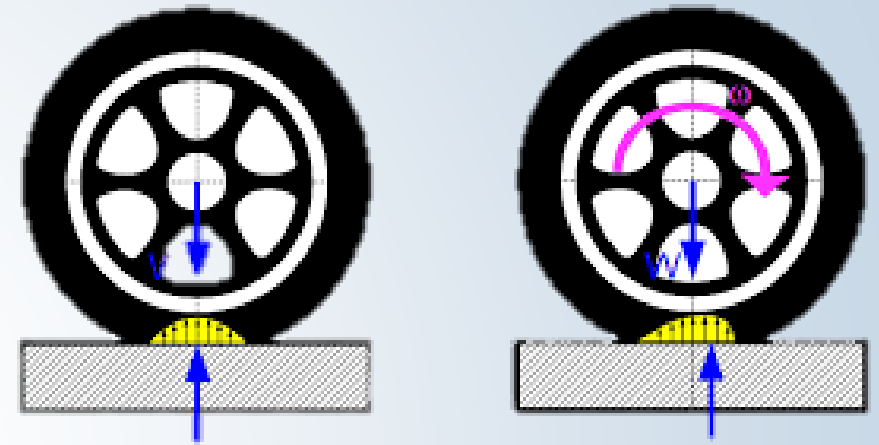


# Gördülési ellenállás meghatározása

**Feladat leírása:** „Határozd meg különböző testek gördülési ellenállását! Mutass egy módszert, ahol a légellenállás hatását már nem kell figyelembe venni.”

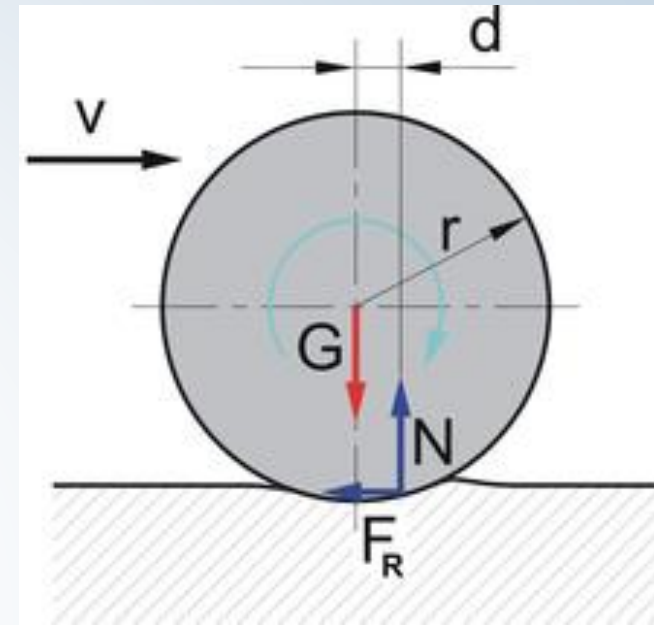
# A gördülési ellenállás

- Tapadási súrlódásnál és csúszási súrlódásnál kisebb
- Ideális esetben vákuumban elgurított, tisztán gördülő gömb vagy henger végtelenségig kellene hogy haladjon egyenletesen
- A test lelassul ► Ok: Gördülési ellenállás (Gördülési súrlódás)
- ► Testek a valóságban deformálódnak ► A nyomóerő egy felületen hat
- Forgás iránya felé nagyobb a nyomóerő ► forgásiránnyal ellentétes forgatónyomaték



# A gördülési ellenállás

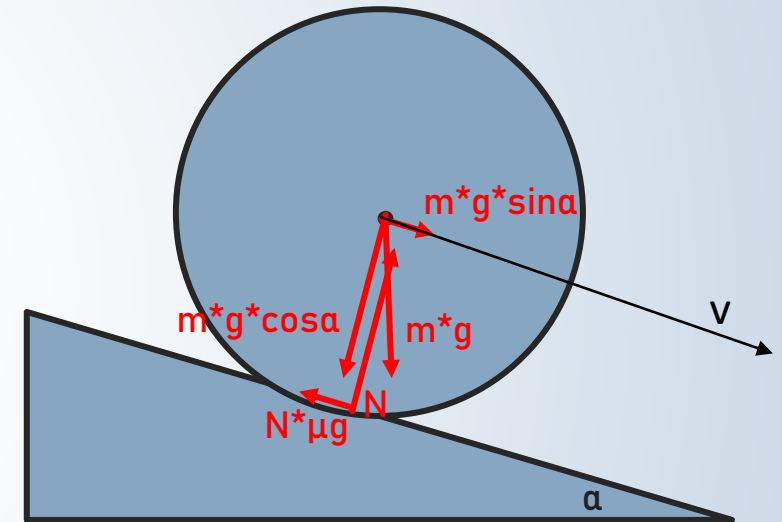
- Egy test és egy felület közötti gördülési ellenállást jellemezhetünk egy együtthatóval ( $\mu_g$ )
- $\mu_g$  hosszúság-dimenziójú mennyiség
- $\mu_g$  körülbelül arányos a testet a felülethez nyomó erővel ►  $M = \mu_g * N$



$c_R$	Gördülőelem/pálya
0,0005–0,001	Golyócsapágy, Golyó és csapágygyűrűk edzett acélból <sup>[1]</sup>
0,001–0,002	Vasúti kocsi kereke sínen <sup>[2]</sup>
0,007	Gumiabroncs aszfalton
0,006–0,010	Tehergépkocsi gumiabroncs aszfalton
0,013–0,015	Személygépkocsi gumiabroncs aszfalton
0,01–0,02	Gumiabroncs betonon <sup>[3]</sup>
0,020	Gumiabroncs kavicson
0,015–0,03	Gumiabroncs kockakövön <sup>[3]</sup>
0,03–0,06	Gumiabroncs kátyús úton <sup>[3]</sup>
0,045	Lánctalp kocsiúton (például a német Leopard 2 páncélos)
0,050	Gumiabroncs földúton
0,04–0,08	Gumiabroncs homokban
0,07–0,08	Erősen bordázott mezőgazdasági gumiabroncs (Caterpillar Challenger und John Deere 8000T) aszfalton
0,2–0,4	Gépkocsi gumiabroncs futóhomokban

# Elméleti modell

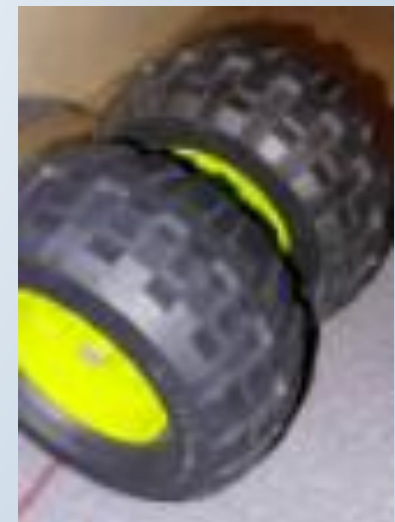
- Testek legurítása lejtőn
- Lejtő alfa meredekségének megkeresése, amely mellett a test egyenletesen gördül
- ►  $m \cdot g \cdot \sin(\alpha) = N \cdot \mu_g$
- $m \cdot g \cdot \cos(\alpha) = N$
- Forgatónyomaték pillanatnyi forgástengelyre:  
 $r \cdot m \cdot g \cdot \sin(\alpha) = m \cdot g \cdot \cos(\alpha) \cdot \mu_g$
- $\mu_g$ -re rendezve:  **$\mu_g = r \cdot \tan(\alpha)$**



# Mérési elrendezés

- 1m hosszú szakasz vizsgálata a lejtőn, ami két 50 cm hosszú szakaszra van osztva
- Idő mérése: Kamera + Videószerkesztő program
- Ha a két szakaszt egyenlő idő alatt teszi meg, akkor a mozgás egyenletes

5





# Adatok

Mérés	A pont magasság (cm)	C pont magasság (cm)	lejtő hossza	m (g)	r (cm)	magasság delta	szög (fok)	A pont idő	B pont idő	C pont idő	A - B	B - C	Különbség	Különbség %	Test
1	9,05	4,4	100	127	4,64	4,65	2,67	1,36	4,43	7,1	3,07	2,67	0,4	7%	henger1
2	9,05	4,4	100	127	4,64	4,65	2,67	1,4	4,5	7,36	3,1	2,86	0,24	4%	henger1
3	9,05	4,4	100	127	4,64	4,65	2,67	1,13	4,06	6,53	2,93	2,47	0,46	9%	henger1
4	8,55	4,4	100	127	4,64	4,15	2,38	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	henger1
5	8,9	4,4	100	127	4,64	4,5	2,58	5,73	9,13	12,1	3,4	2,97	0,43	7%	henger1
6	8,7	4,4	100	127	4,64	4,3	2,46	4,4	7,5	10,83	3,1	3,33	0,23	4%	henger1
7	8,7	4,4	100	127	4,64	4,3	2,46	2,2	5,63	9,16	3,43	3,53	0,1	1%	henger1
8	8,7	4,4	100	127	4,64	4,3	2,46	3,3	5,83	8,5	2,53	2,67	0,14	3%	henger1
9	8,7	4,4	100	953	4,64	4,3	2,46	4,3	7,13	10,1	2,83	2,97	0,14	2%	henger2
10	8,7	4,4	100	953	4,64	4,3	2,46	1,46	3,63	5,83	2,17	2,2	0,03	1%	henger2
11	8,7	4,4	100	953	4,64	4,3	2,46	1,1	3,43	5,93	2,33	2,5	0,17	4%	henger2
12	10,4	4,5	100	57	3,285	5,9	3,38	1,43	3,7	6,26	2,27	2,56	0,29	6%	teniszlabda
13	10,4	4,5	100	57	3,285	5,9	3,38	0,96	3,26	5,96	2,3	2,7	0,4	8%	teniszlabda
14	10,4	4,5	100	57	3,285	5,9	3,38	1,03	3,36	5,93	2,33	2,57	0,24	5%	teniszlabda
15	10,7	4,6	100	57	3,285	6,1	3,50	1,33	3,5	5,5	2,17	2	0,17	4%	teniszlabda
16	10,7	4,6	100	57	3,285	6,1	3,50	1,2	3,13	4,93	1,93	1,8	0,13	3%	teniszlabda
17	10,7	4,6	100	57	3,285	6,1	3,50	1,2	3,06	4,83	1,86	1,77	0,09	2%	teniszlabda
18	10,1	4,5	100	82	4,1	5,6	3,21	2	3,76	5,16	1,76	1,4	0,36	11%	Kerekek
19	10,1	4,5	100	82	4,1	5,6	3,21	2,56	4,66	6,16	2,1	1,5	0,6	17%	Kerekek
20	10,1	4,5	100	82	4,1	5,6	3,21	2,2	4,16	5,6	1,96	1,44	0,52	15%	Kerekek
21	9,8	4,5	100	82	4,1	5,3	3,04	1,3	3,1	4,66	1,8	1,56	0,24	7%	Kerekek
22	9,8	4,5	100	82	4,1	5,3	3,04	1,7	4,13	5,83	2,43	1,7	0,73	18%	Kerekek
23	9,8	4,5	100	82	4,1	5,3	3,04	1,93	4,63	6,4	2,7	1,77	0,93	21%	Kerekek
24	9,3	4,4	100	82	4,1	4,9	2,81	2,3	5,43	8,36	3,13	2,93	0,2	3%	Kerekek
25	9,3	4,4	100	82	4,1	4,9	2,81	2,6	5,53	8,46	2,93	2,93	4,4409E-16	0%	Kerekek
26	9,3	4,4	100	82	4,1	4,9	2,81	3,14	5,23	7,23	2,09	2	0,09	2%	Kerekek

# Kiértékelés

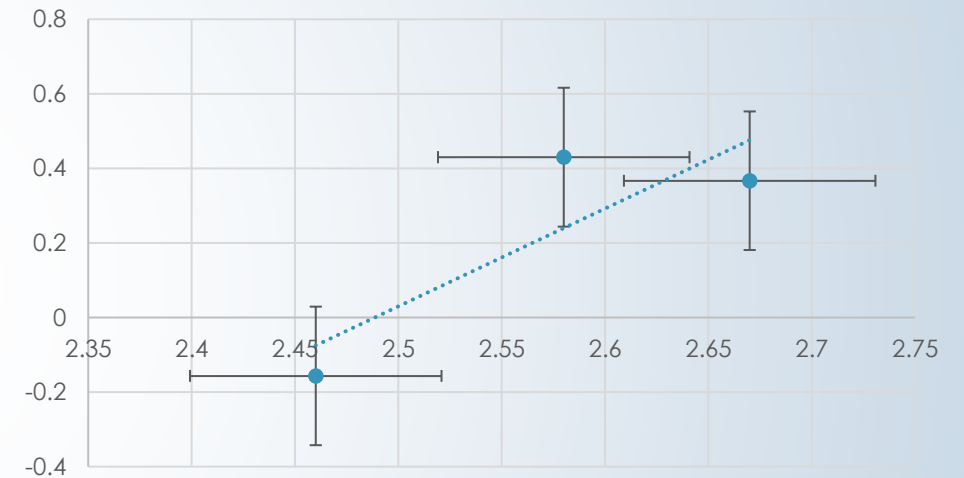
Test	Gördülési ellenállás együtthatója (cm)
Könnyű Henger	0,199704712
Nehéz Henger	0,199704712
Teniszlabda	0,20075886
Kerekek	0,201141616

7

1. Módszer

Következtetés:  
Gördülési ellenállás  
együtthatója  
közvetlenül nem függ  
a tömegtől

Könnyű Henger



2. Módszer

$\mu_g = 0.2001527009$  cm  
Hiba: 0.0098209 cm

# Összehasonlítás az elmélettel

- Sikerült egyenleteshez közeli gördülést elérni
- Értékek közel helyezkednek el egymástól
- Forrás alapján a gördülési ellenállás együtthatója hasonló egy futóhomokban haladó személygépkocsi esetében...

Test	Gördülési ellenállás együtthatója (cm)
Könnyű Henger	0,199704712
Nehéz Henger	0,199704712
Teniszlabda	0,20075886
Kerekek	0,201141616

8

$C_R$	Gördülőelem/pálya
0,0005–0,001	Golyócsapágy, Golyó és csapágygyűrűk edzett acélból <sup>[1]</sup>
0,001–0,002	Vasúti kocsi kereke sínen <sup>[2]</sup>
0,007	Gumiabroncs aszfalton
0,006–0,010	Tehergépkocsi gumiabroncs aszfalton
0,013–0,015	Személygépkocsi gumiabroncs aszfalton
0,01–0,02	Gumiabroncs betonon <sup>[3]</sup>
0,020	Gumiabroncs kavicson
0,015–0,03	Gumiabroncs kockakövön <sup>[3]</sup>
0,03–0,06	Gumiabroncs kátyús úton <sup>[3]</sup>
0,045	Lánctalp kocsiúton (például a német Leopard 2 páncélos)
0,050	Gumiabroncs földúton
0,04–0,08	Gumiabroncs homokban
0,07–0,08	Erősen bordázott mezőgazdasági gumiabroncs (Caterpillar Challenger und John Deere 8000T) aszfalton
0,2–0,4	Gépkocsi gumiabroncs futóhomokban





# Hibaforrások

- Időmérés pontossága: 1/30s (30 fps kamera)
- Hosszúságmérés pontossága: 0,5mm (sugaraknál 0,05mm)
- Légellenállás
- Lejtő esetleges hajlása

# Fejlesztési lehetőségek

- Több másodpercenkénti képet rögzítő kamera használata
- Pontosabb hosszúságmérés (Például tolómérővel)
- Mérés elvégzése vákuumban
- Többféle felület és test használata (Lehetőleg egymástól csak egy tulajdonságban eltérő testek
  - ▶ Több következtetés)

Köszönöm a figyelmet!

# Források

- **Budó, Á. (1969).** *Kísérleti fizika.* Szeged, HU: Tankönyvkiadó.
- **Breuer, H. (1993).** *SH atlasz Fizika.* Budapest, HU: Springer Hungarica.
- [https://hu.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6rd%C3%BCI%C5%91\\_ellen%C3%A1ll%C3%A1s](https://hu.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6rd%C3%BCI%C5%91_ellen%C3%A1ll%C3%A1s)