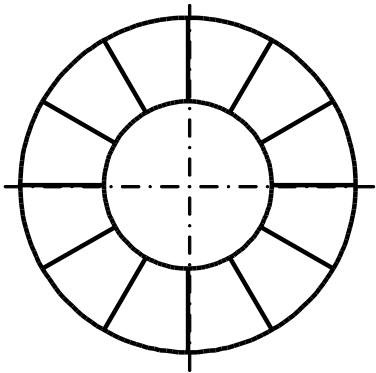


# **GÉPSZERKEZETTAN - TERVEZÉS**

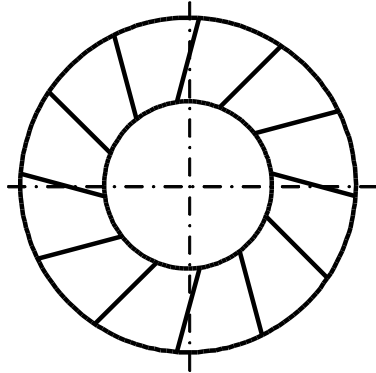
## **Kúpkerék tervezése**

# Kúpkerek típusai

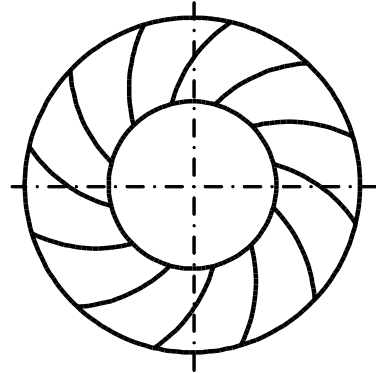
- Egyenes fogú
- Ferde fogú
- Ívelt fogú
- Zerol fogazat



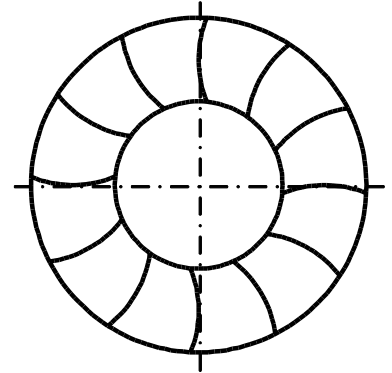
egyenes



ferde

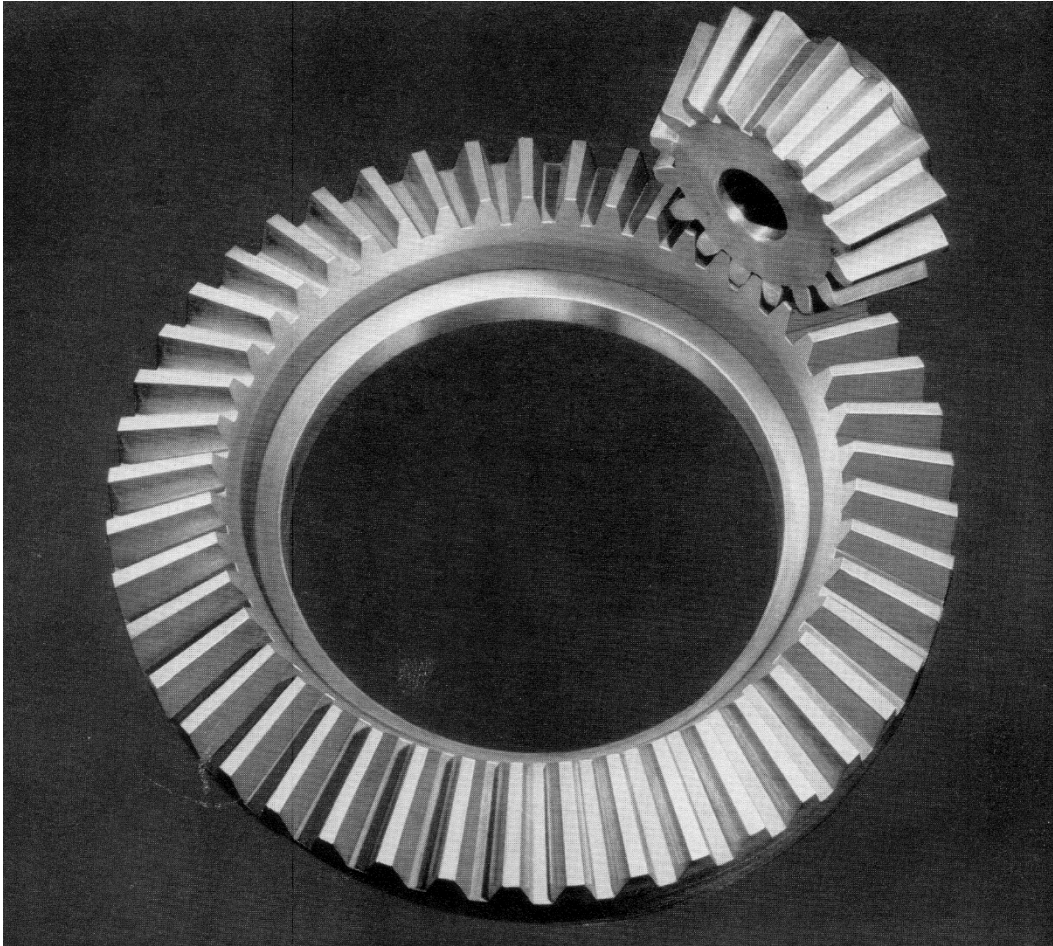


ívelt



zerol

# Egyenes fogú kúpkerékpár



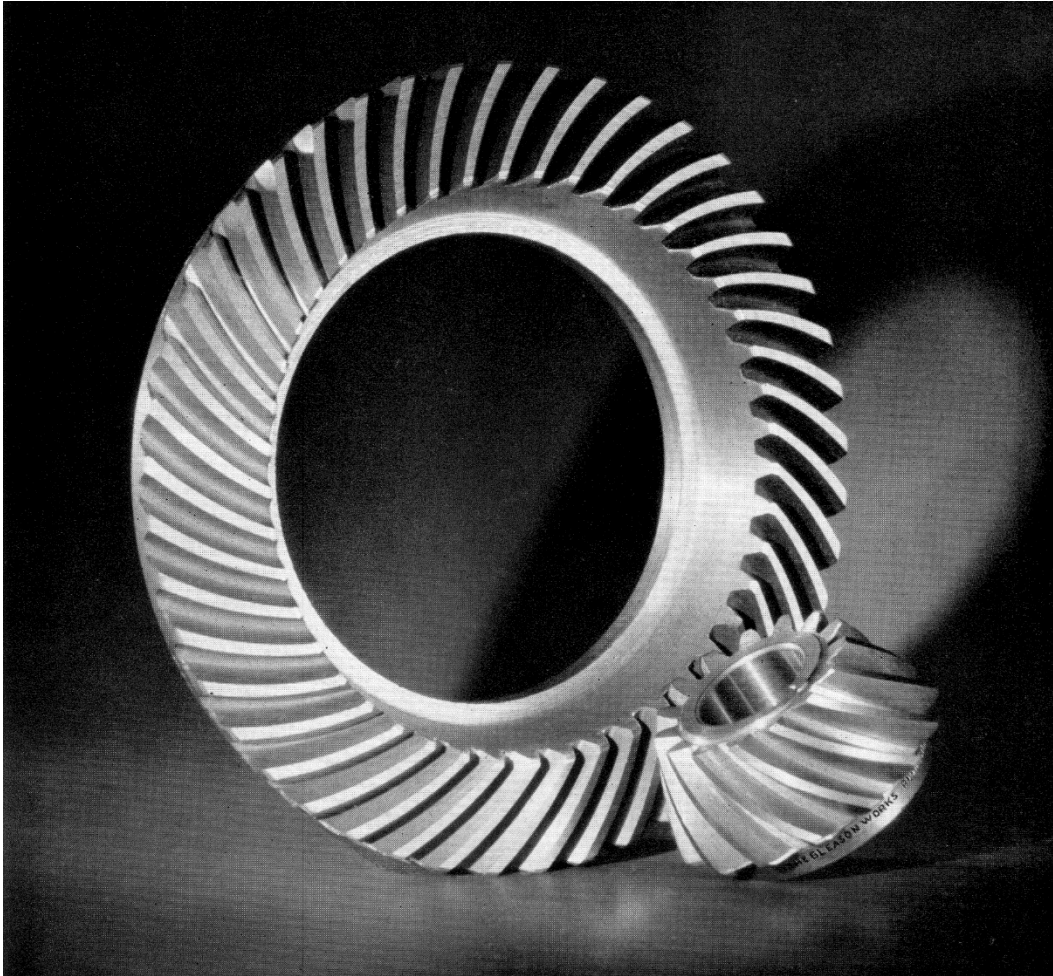
Az egyenes fogú kúpkerék a legegyszerűbb kúpkerék típus. A fogak egy-egy kúpalkotó mentén helyezkednek el.

# Ferde fogú kúpkerékpár



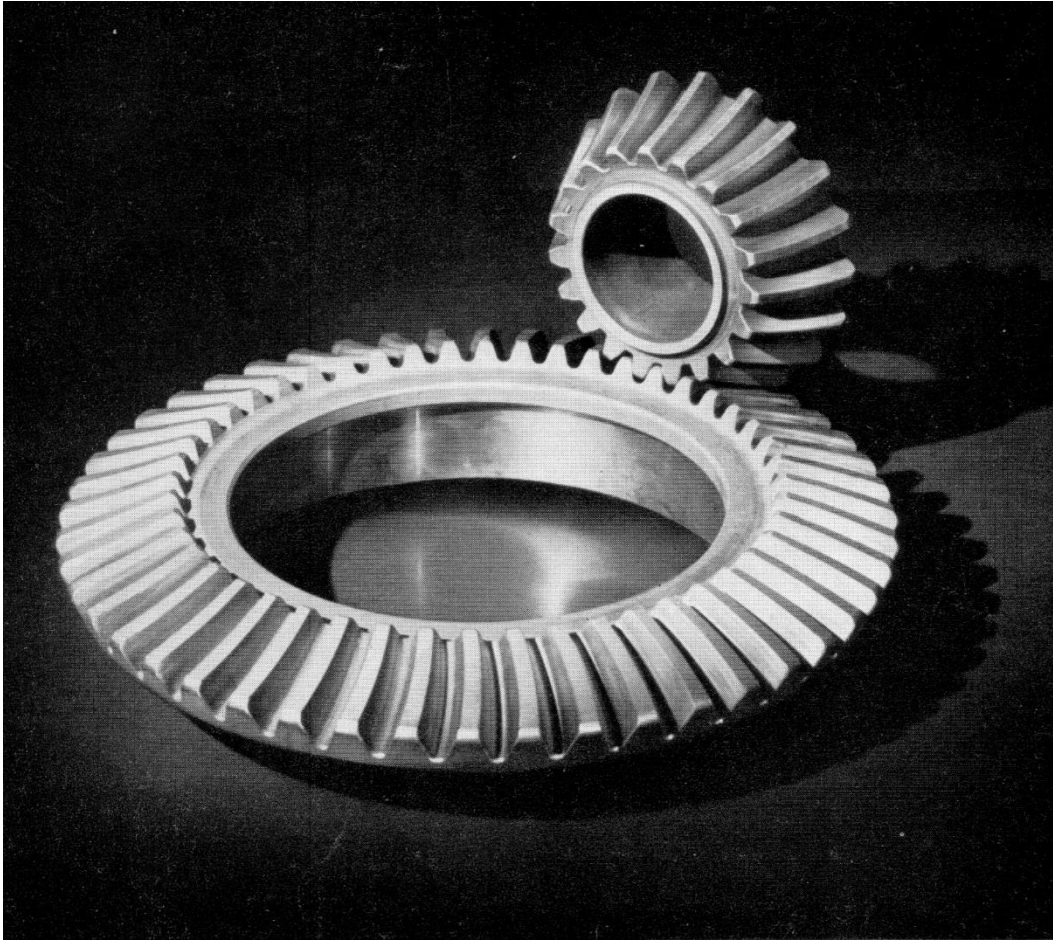
A ferde fogú kúpkerék fogai a kúpalkotóval szöveget bezáró egyenesek mentén található, amelyek egy közös kört érintenek. Mivel a ferde fogú kúpkerékek gyártási eljárásai nem elég termelékenyek, alkalmazásuk ritka.

# Ívelt fogú kúpkerékpár



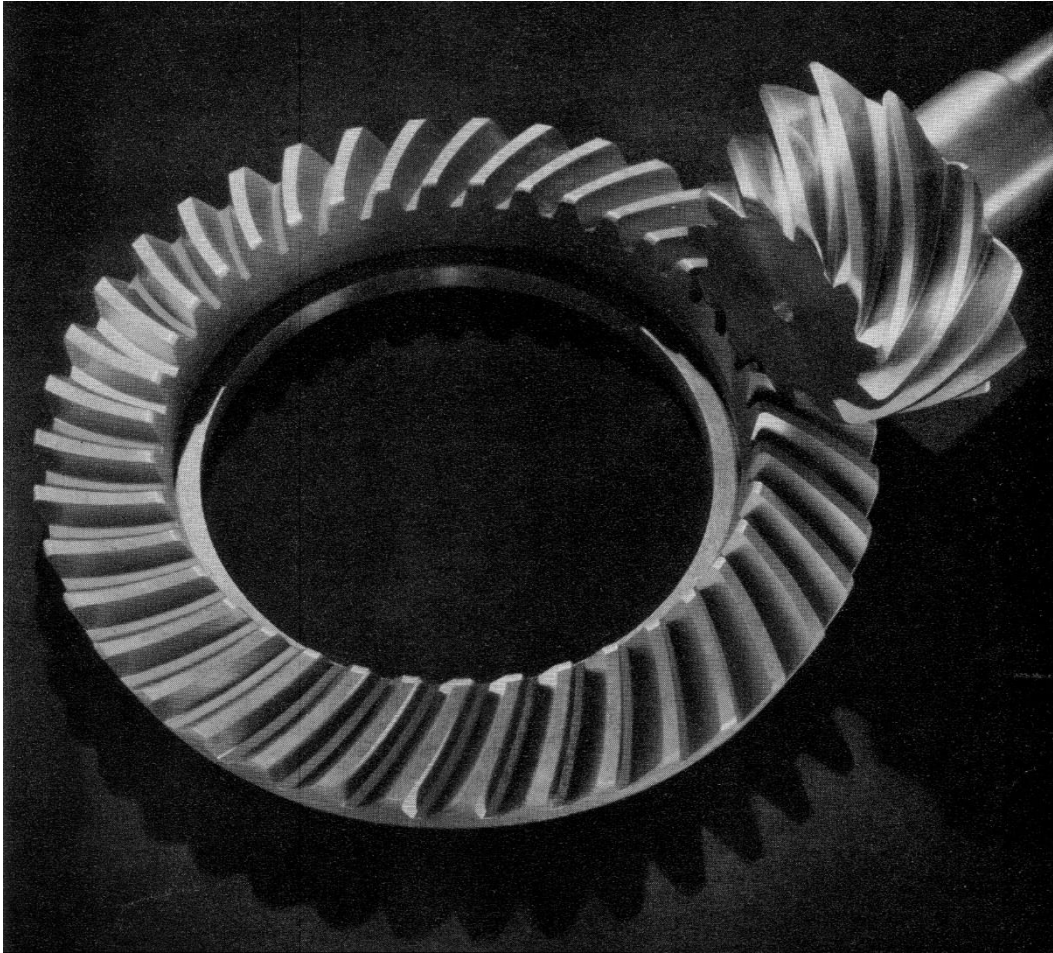
Az ívelt fogú kúpkerékek fogai görbe mentén helyezkednek el. A görbe lehet evolvens, ciklois vagy kör. Az ívelt fogak más kúpkerékekhez képest sima, zajszegény járást és nagyobb terhelhetőséget eredményeznek.

# Zerol kúpkerékpár



A zerol kúpkerékek a gyártás szempontjából ívelt fogúaknak tekinthetők, a teherbírás és a fogerők szempontjából az egyenes fogazathoz állnak közelebb.

# Hipoid kerékpár



A hipoid fogaskerékpár két ívelt fogú kúpkerékből áll, amelyek azonban nem metsződő, hanem térben kitérő tengelyűek. Ez a megoldás egyszerűsíti a kétoldali csapágyazást és lehetővé teszi a kiskerék méretének növelését.

# Ívelt fogú kúpkerekek csoportosítása

- A fogirányvonal alakja szerint:
  - Evolvens (Klingelnberg palloid)
  - Ciklois (Klingelnberg ciklopalloid, Oerlikon)
  - Körív (Gleason)
- A fogmagasság alapján:
  - Állandó fogmagasságú
  - Változó fogmagasságú
- Gyártási módszer szerint:
  - Folyamatos osztású
  - Egyedi osztású



# Megvalósítható áttétel

---

- Kúpkerekekkel lassító és gyorsító hajtás egyaránt megvalósítható
- Teljesítményhajtásoknál a lassító áttétel maximális értéke 10:1
- Gyorsító hajtásoknál 1:5 értékig ajánlott

# Sebességhatárok

- Egyenes fogú kúpkerék mintegy 5 m/s kerületi sebességig használható
- Zerol kúpkerékknél az ívelt fogak lágyabb kapcsolódást tesznek lehetővé, 40 m/s –ig használható
- Ívelt fogú kúpkerékknél ugyancsak 40 m/s az ajánlott felső sebességhatár
- 40 m/s kerületi sebesség fölött kőszörült ívelt fogazatot kell használni

# Fogszámok

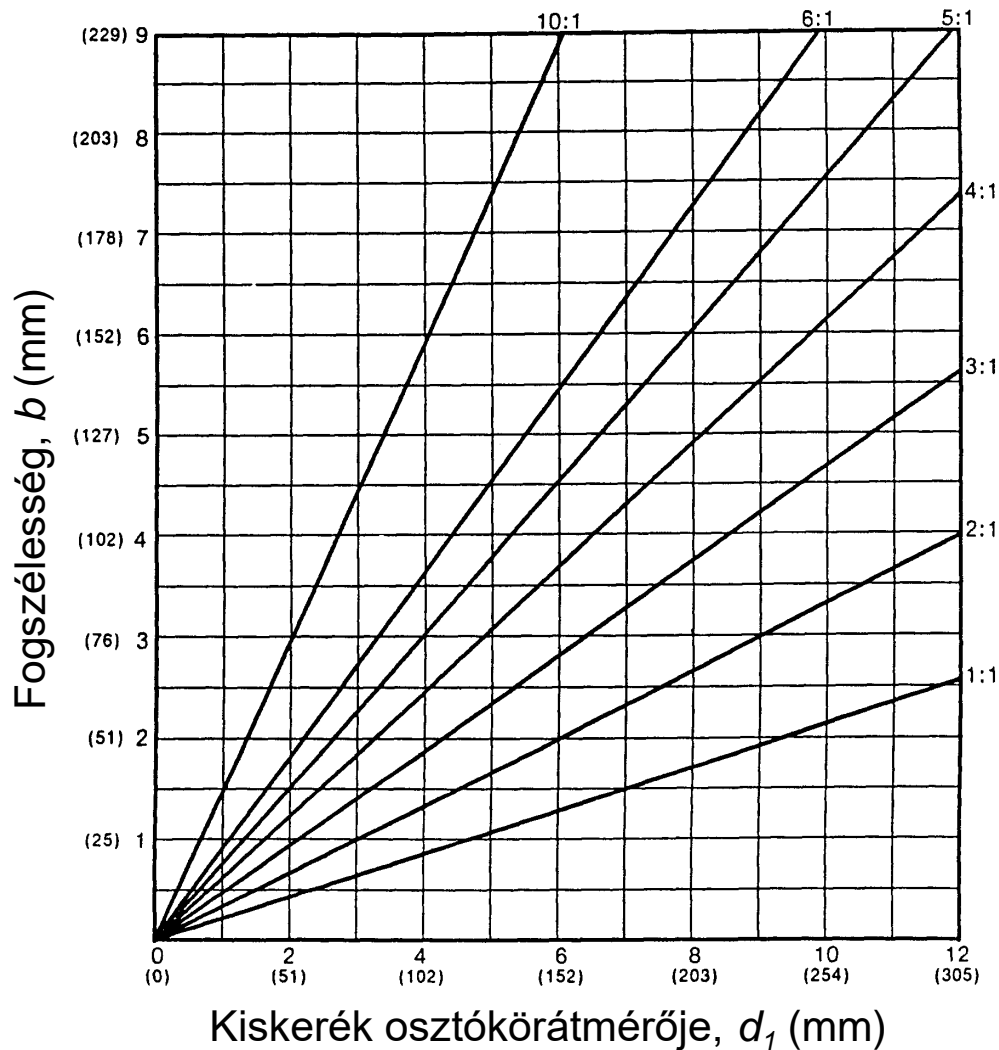
- Egyenes fogú kúpkerékekre a minimális fogszám 12
- Zerol kúpkerékek fogszáma 13 vagy több legyen
- Ezek a határok az alámetszés elkerülését és az elegendő kapcsolószámot szolgálják
- Ívelt fogú kúpkerékek kisebb fogszámmal is készíthetők, mivel az ívelt fogak a kapcsolószám szempontjából előnyösekek. Ebből lehetőség nyílik az alámetszésre nézve kedvező megoldásra.

# Fogszámok

Approximate Ratio		Minimum Pinion Numbers of Teeth
1.50	- 1.75	12
1.75	-2.00	11
2.00	-2.50	10
2.50	-3.00	9
3.00	-3.50	9
3.50	-4.00	9
4.00	-4.50	8
4.50	-5.00	7
5.00	-6.00	6
6.00	-7.50	5
7.50	-10.0	5

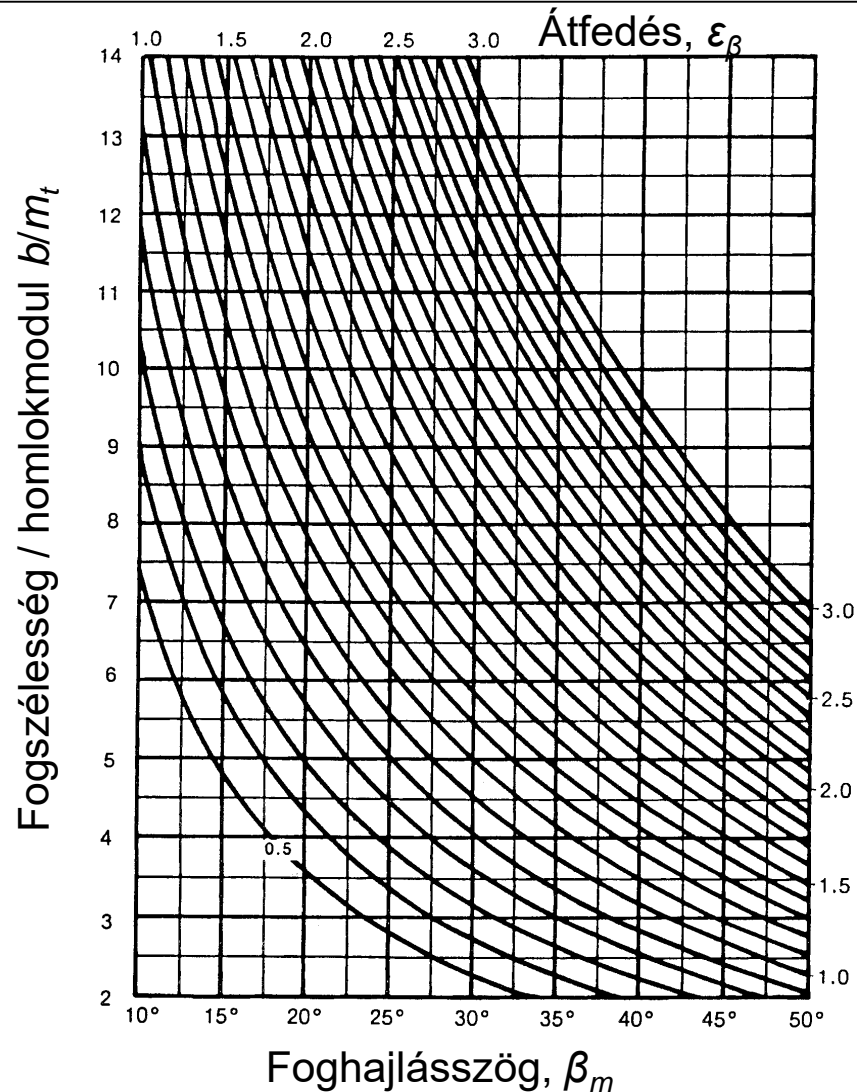
A kiskerék ajánlott fogszámai ívelt fogú kúpkerekek és hipoid kerékpárok esetén

# Fogszélesség



Ívelt fogú kúpkereknél a fogszélesség maximálisan 30 %-a az osztókúphossznak. Zerol kúpkerekek esetén a diagramból leolvasott értéket meg kell szorozni 0,83-mal. Ugyanakkor ne legyen több az osztókúphossz 25 %-ánál.

# Foghajlásszög



Gyakorlatból származó ajánlás, hogy az átfedés kb. 2 legyen. Nagy kerületi sebességnél az egyenletes járás és alacsony zajszint biztosítására célszerű az átfedés értékét 2 fölé vinni.

# Kapcsolószög

- Kúpkerékknél a kapcsolószög általában 20 fok
- A kisebb kapcsolószög növeli a kapcsolószámot, csökkenti az axiális és a radiális erőt, növeli a fejszalag vastagságát és a lábszalag szélességét
- Ugyanakkor a kisebb kapcsolószög növeli az alámetszés veszélyét
- Általában a kisebb kapcsolószög növeli a fogtőfeszültséget és csökkenti az érintkezési feszültséget

# Kapcsolószög

- Egyenes fogazatnál az alámetszés elkerülhető 20 fokos vagy nagyobb kapcsolószögnél, ha a kiskerék fogszáma legalább 14 ... 16.
- 25 foknál a fogszámok értéke legalább 12 és 13.
- Zerol kúpkerekeknél 22,5 fokos kapcsolószögnél legalább 14 ... 16 fogú kiskerékre van szükség.
- 25 fokos kapcsolószögnél a fogszám 13.
- Ívelt fogú kúpkerekeknél az alámetszés elkerülhető, ha a kapcsolószög 20 fok és fogszám legalább 12.



# Foghajlás iránya

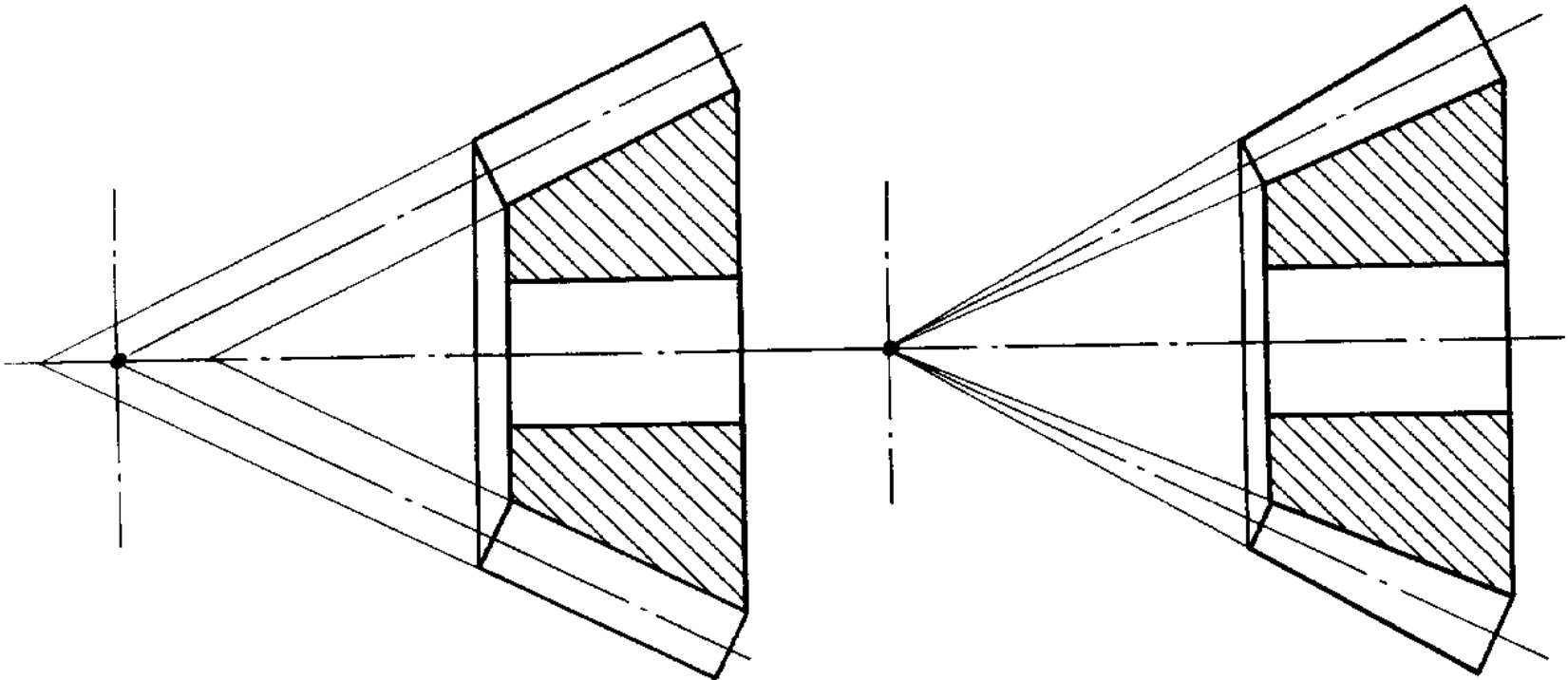
---

- A foghajlás irányát úgy célszerű megválasztani, hogy az axiális erő a fogaskerekeket eltávolítani igyekezzon egymástól a működésre jellemző forgásirány esetén
- Gyakran a beépítési körülmények meghatározzák a foghajlás irányát
- Ívelt fogú kúpkerekeknél a tengelyirányú mozgást mindkét irányban meg kell akadályozni

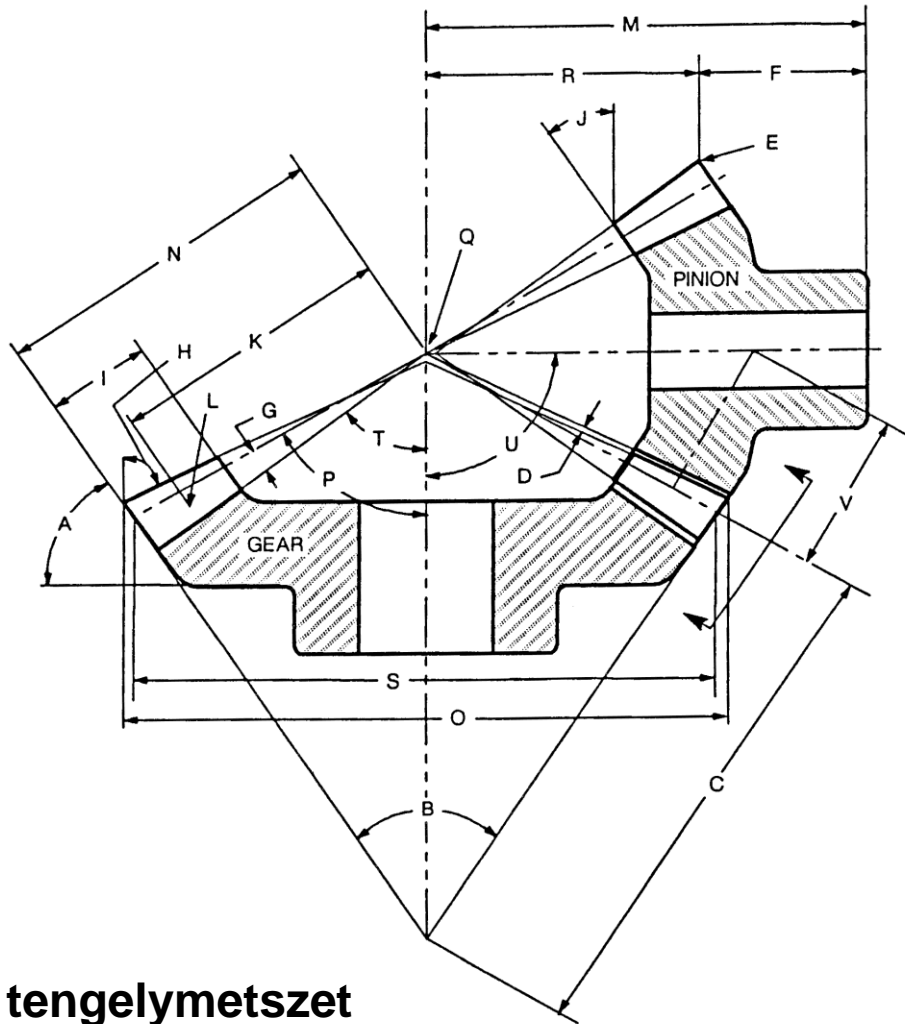
# Fogmagasság

állandó fogmagasság

változó fogmagasság



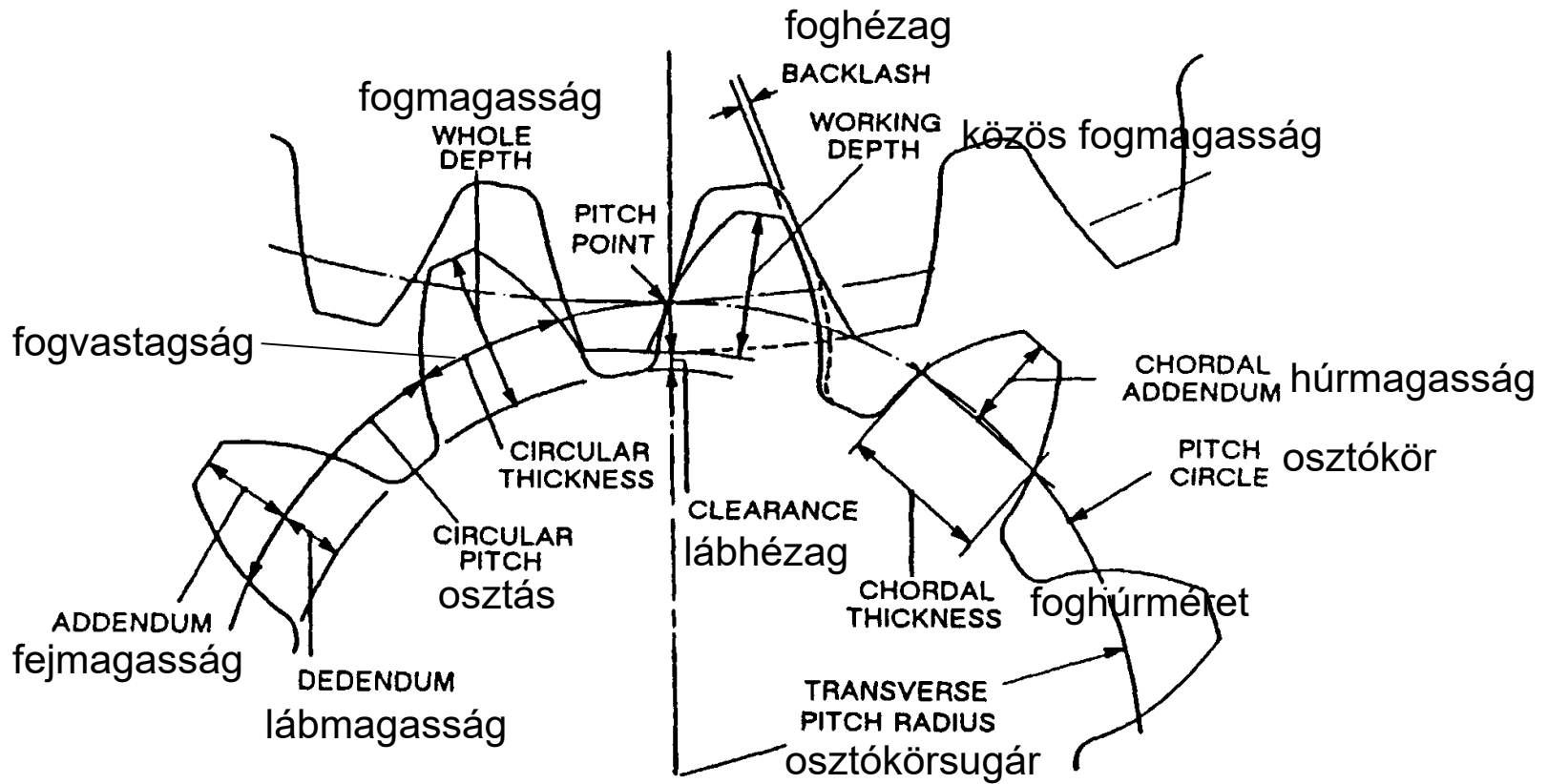
# Jelölések



tengelymetszet

- A hátkúpszög
- B hátkúp
- C hátkúphossz
- D lábhézag
- E csúcspont
- F csúcstávolság
- G foglábszög
- H fejkúpszög
- I fogszélesség
- J homlokkúpszög
- K közepes osztókúphossz
- L középsík
- M beállítási távolság
- N külső osztókúphossz
- O fejkörátmérő
- P osztókúpszög
- Q osztókúpok csúcspontja
- R csúcstávolság
- S osztókörátmérő
- T lábkúpszög
- U tengelyszög
- V helyettesítő kerék sugara

# Jelölések



homloksík

# A fogazat tervezése

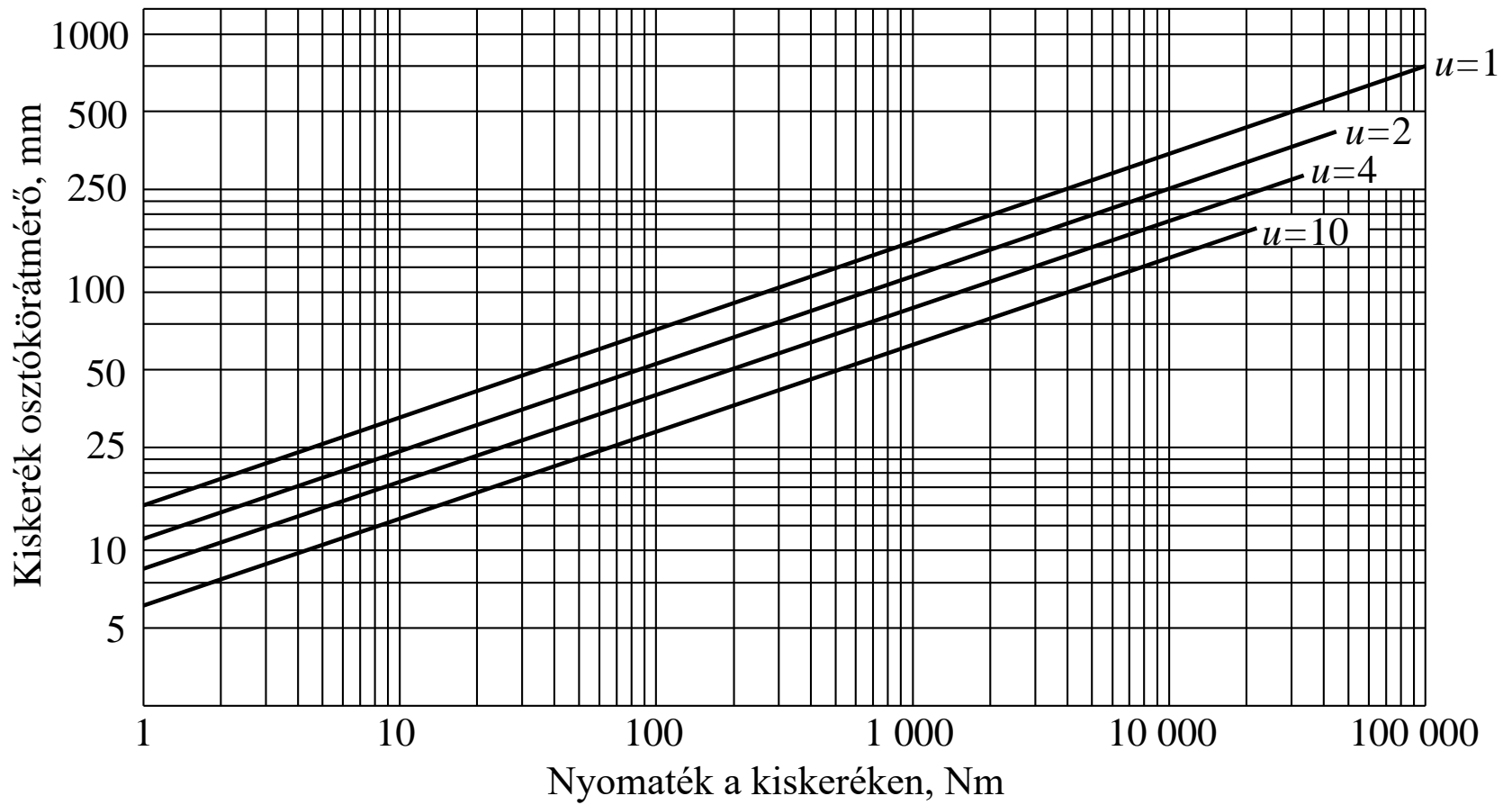
---

- Osztókörátmérő
- Osztókúpszög
- Középső osztókúphossz
- Középső közös fogmagasság
- Lábhézag
- Középső fogmagassági tényező
- Foglábszögek
- Fejkúpszögek
- Középső normál fogvastagság
- Külső normál foghézag
- Középső normál foghúrméret

# Osztókörátmérő

- A kiskerék ajánlott osztókörátmérője diagramból választható ki
- A kiskerék ajánlott méretét az érintkezési feszültség vagy a fogtőfeszültség határozza meg
- A diagramok ívelt fogú kúpkerekre vonatkoznak, a méretet a nyomaték függvényében lehet meghatározni
- A diagramok 90 fokos tengelyszögnél érvényesek
- Az anyag 55 HRc keménységű betétedzett acél

# Előtervezés (érintkezési feszültség)



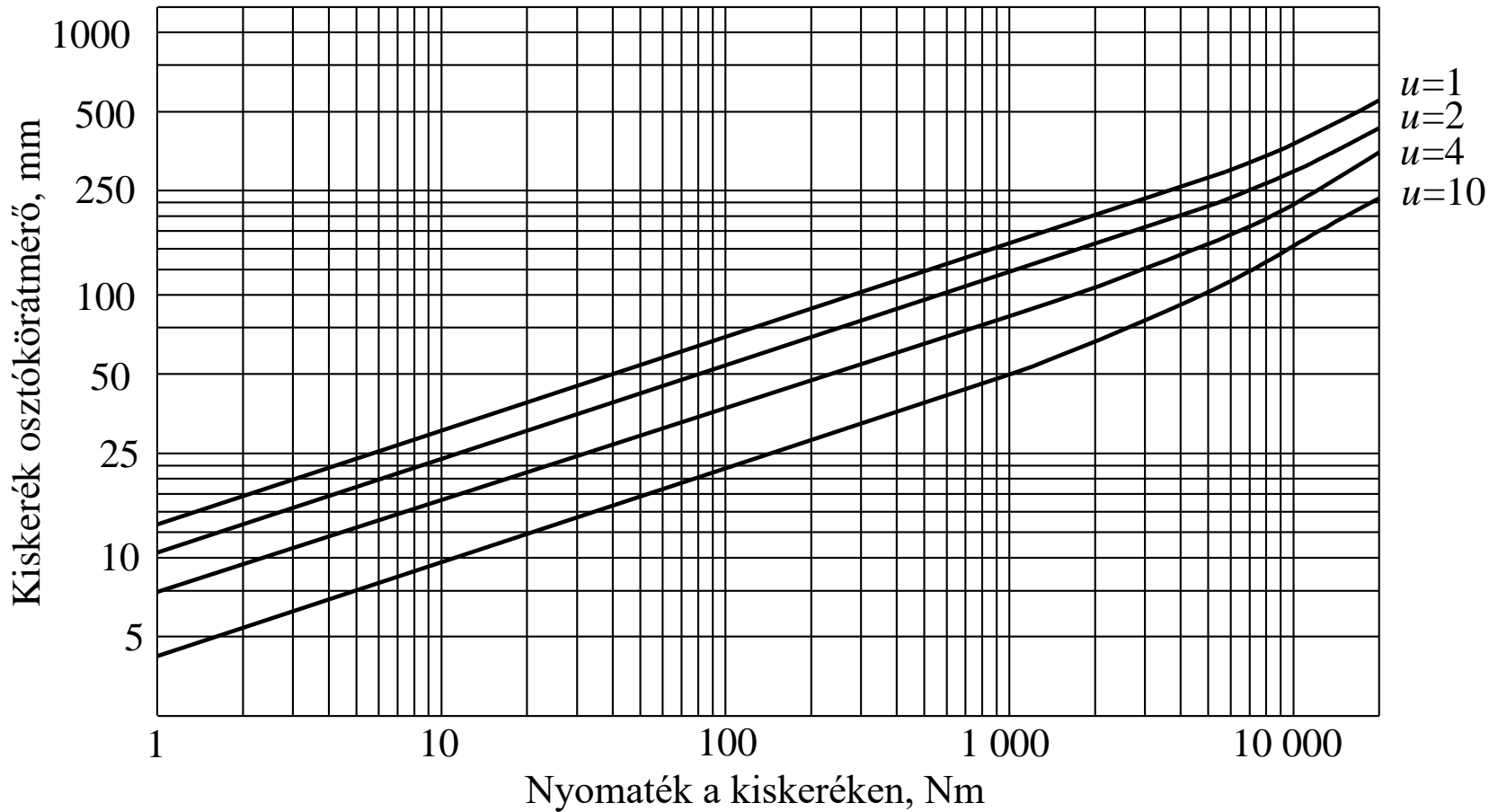
# Előtervezés (érintkezési feszültség)

---

- Betétedzett ívelt fogú kúpkerékekre a kiskerék osztókörátmérőjét a diagramból kell leolvasni
- Egyenes fogú és zerol kerékek esetén az átmérőt növelni kell
- Egyenes fogazat esetén a diagramból leolvasott értéket meg kell szorozni 1,2-vel
- Zerol kúpkerékeknél a szorzó 1,3



# Előtervezés (fogtő feszültség)



# Köszörült fogaskerekek

- Köszörült fogaskerekek teherbírása nagyobb
- Mindkét diagramból meg kell határozni a szükséges átmérőt
- Érintkezési feszültségre a diagramból leolvasott értéket meg kell szorozni 0,8-cal
- Fogtő feszültségnél a kiskerék osztókörátmérője a diagramból leolvasott érték
- A két adatot össze kell hasonlítani és az osztókörátmérő a nagyobbik érték lesz

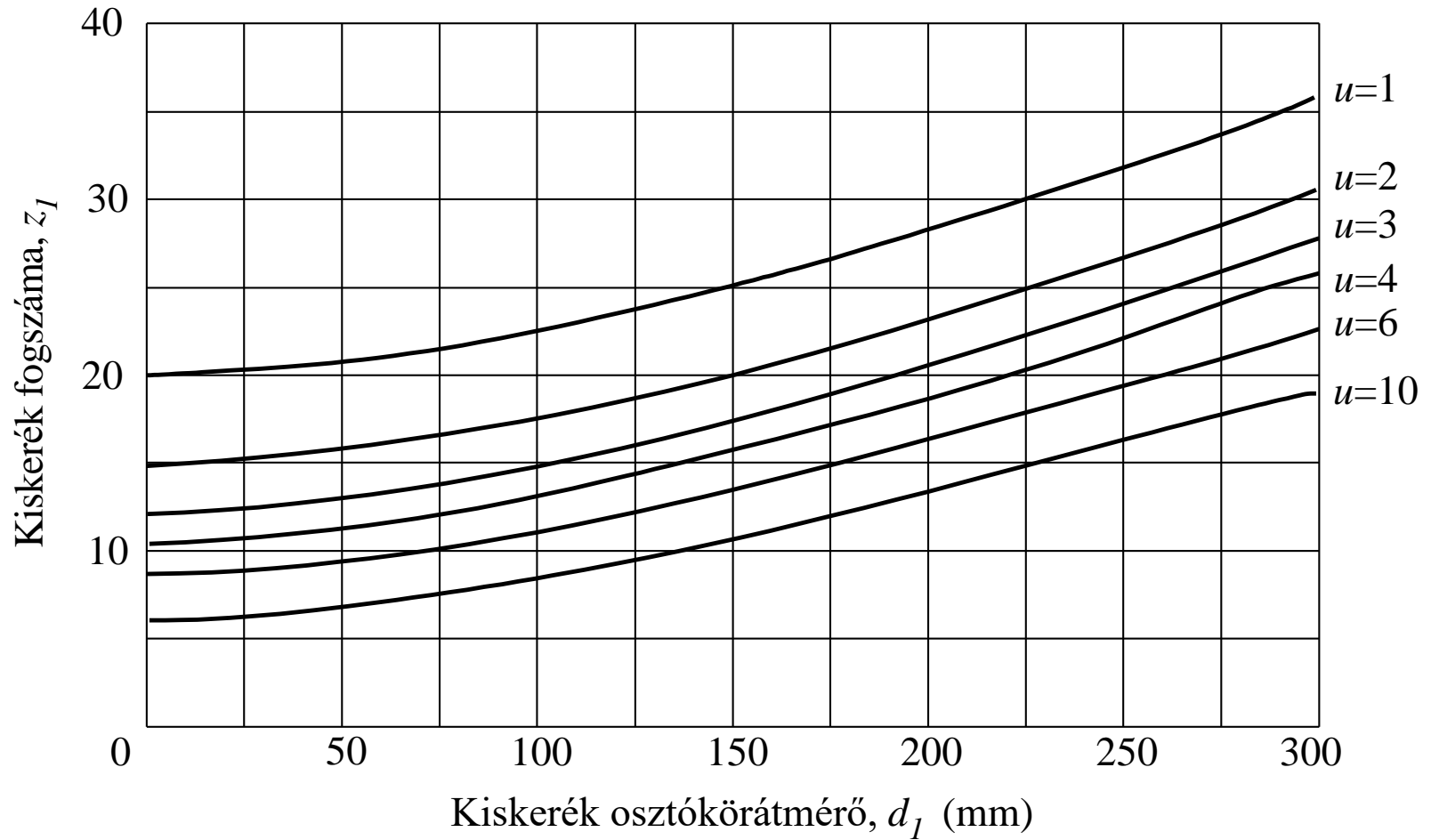
# Statikus terhelésű fogaskerekek

- Statikus terhelésű fogaskerekeknél általában a fogtőhajlítás a kritikus terhelés
- A rezgésnek kitett statikus terhelésű fogaskerekekre a második diagramból kiolvasott adatot meg kell szorozni 0,7-tel
- Azokra a statikus terhelésű fogaskerekekre, amelyek nincsenek rezgésnek kitéve, a második diagramból kiolvasott adatot meg kell szorozni 0.6-tal

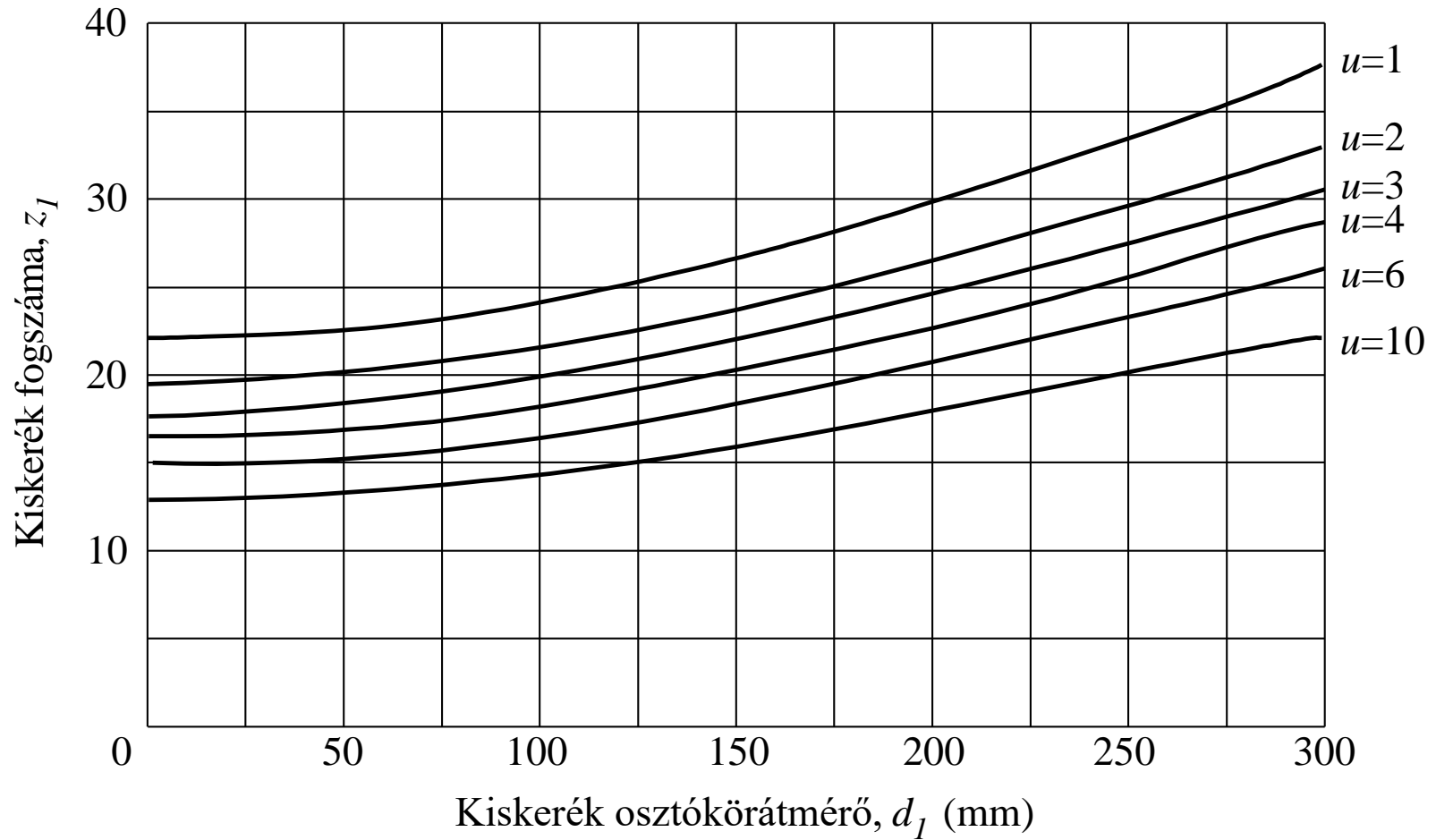
# Anyagtényező, $C_M$

- Az 55 HRc-től eltérő keménységű betétedzett fogaskerek kiskerekének osztókörátmérőjét az első diagramból nyerjük, majd megszorozzuk az anyagtényezővel
- $C_M=0,85$  betétedzett acélra, 60 HRc keménységre
- $C_M=1,05 \dots 1,45$  acélokra, ha a keménység kevesebb, mint 55 HRc
- $C_M=1,95 \dots 2,1$  amikor a nagykerék öntöttvasból, a kiskerék acélból készül
- $C_M=3,1$  ha mindkét kerék anyaga öntöttvas

# Ajánlott fogszám (ívelt fogazat)



# Ajánlott fogszám (egyenes fogazat)



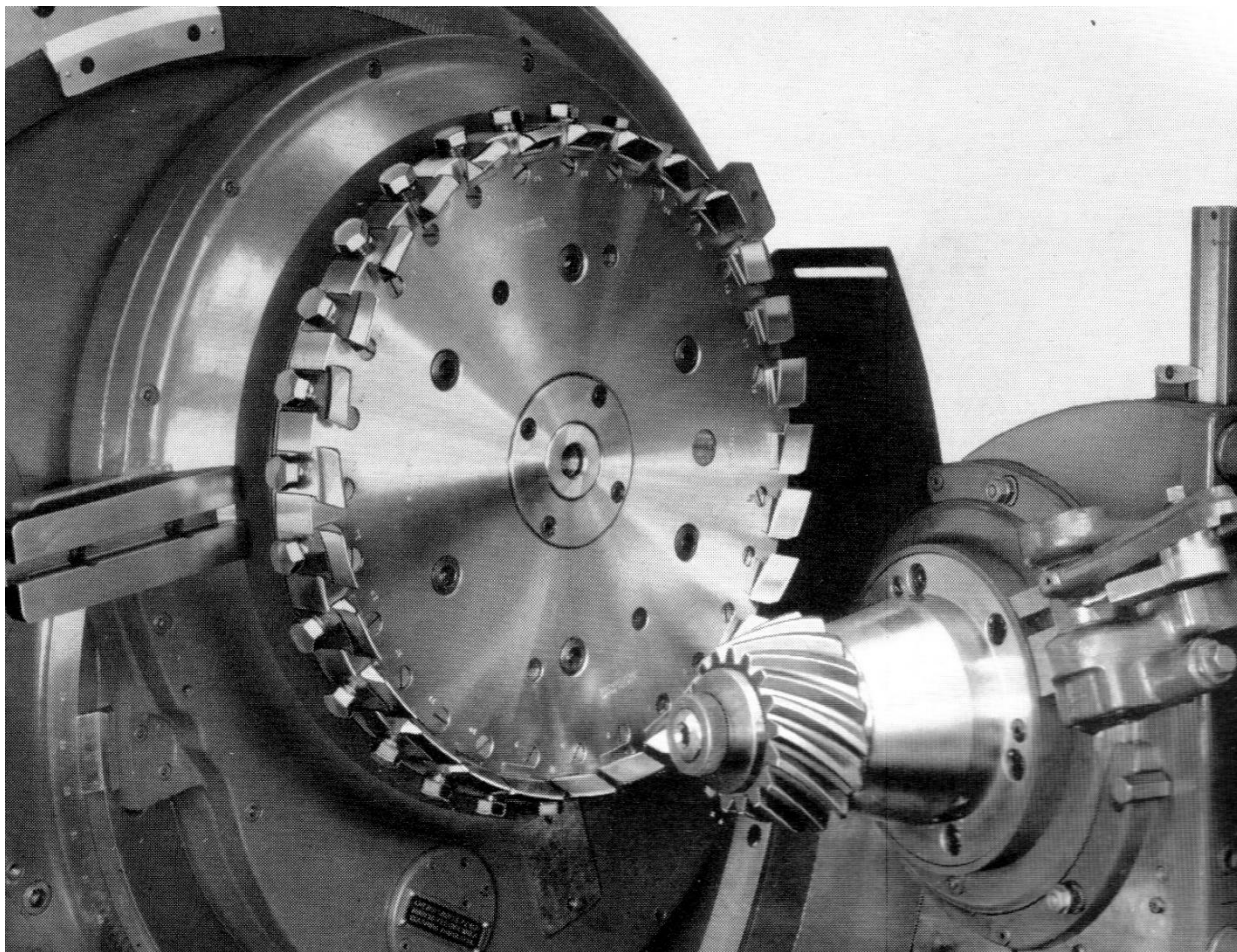
# Homlokmodul

- A homlokmodul az osztókörátmérő és a fogszám hányadosa

$$m_t = \frac{d_1}{z_1}$$

- A modul nem szabványos, mivel a fogazószerszámok nem szabványos modulsorozat szerint készülnek

# Ívelt fogú kúpkerék marása késfejjel





# Késfejek körív fogazathoz

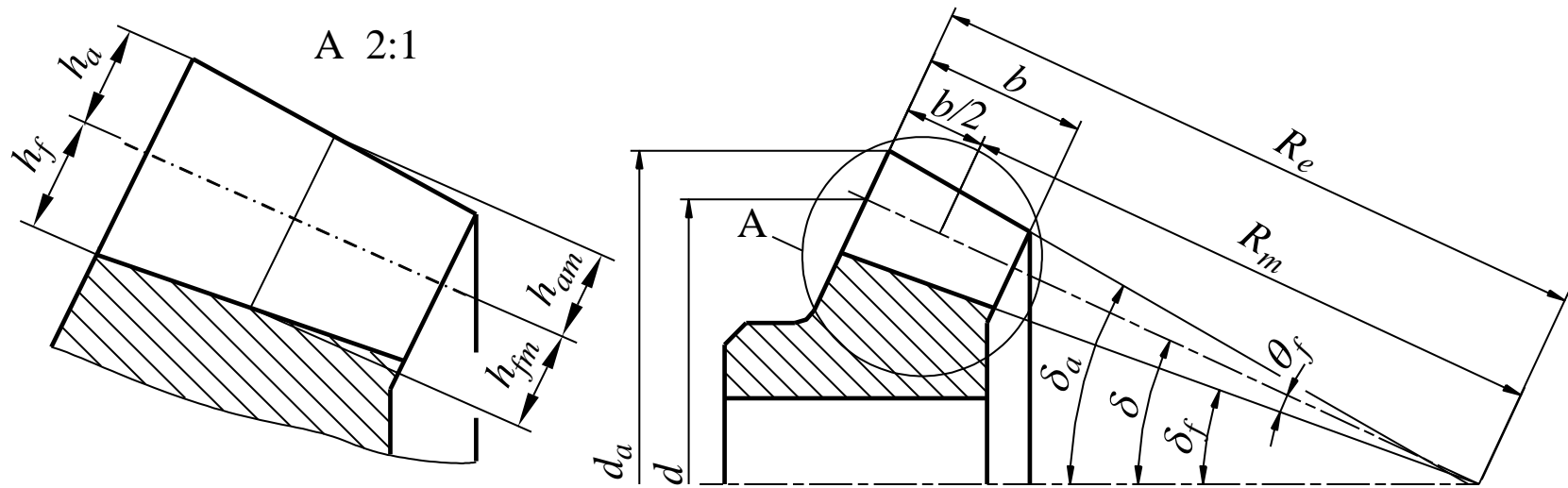


Tömör



Szerelt

# A keréktest és a fogazat méretei



# Geometriai tervezés

- Osztókörátmérők  $d_1 = z_1 m_t$   $d_2 = z_2 m_t$

- Osztókúpszögek

$$\delta_1 = \arctan \frac{\sin \Sigma}{u + \cos \Sigma} \quad \delta_2 = \Sigma - \delta_1$$

- Külső osztókúphossz  $R_e = d_1 / 2 \sin \delta_1$

- Középső osztókúphossz  $R_m = R_e - b/2$

# Geometriai tervezés

- Középső közös fogmagasság 
$$h_{wm} = k_1 m_t \frac{R_m}{R_e} \cos \beta_m$$

fogmagasságtényező  $k_1 = 2$
- Lábhézag  $c = k_2 h_{wm}$   $k_2 = 0,125$
- Középső fejmagasság-tényező 
$$c_1 = 0,21 + \frac{0,29 z_1 \cos \delta_2}{z_2 \cos \delta_1}$$
- Középső fejmagasság 
$$h_{am1} = (1 - c_1) h_{wm} \quad h_{am2} = c_1 h_{wm}$$

# Geometriai tervezés

- Középső fogmagasság

$$h_m = h_{wm} + c$$

- Középső lábmagasság

$$h_{fm1} = h_m - h_{am1}$$

$$h_{fm2} = h_m - h_{am2}$$

- Foglábszög

$$\theta_{f1} = \arctg (h_{fm1} / R_m)$$

$$\theta_{f2} = \arctg (h_{fm2} / R_m)$$

- Fejkúpszög

$$\delta_{a1} = \delta_1 + \theta_{f2}$$

$$\delta_{a2} = \delta_2 + \theta_{f1}$$

- Lábkúpszög

$$\delta_{f1} = \delta_1 - \theta_{f1}$$

$$\delta_{f2} = \delta_2 - \theta_{f2}$$

# Szilárdsági ellenőrzés

- A fogaskerekek szilárdságát általában az érintkezési feszültség, vagy a fogtő feszültség határozza meg
- A kopás a lassan forgó fogaskerekek jellegzetes károsodási formája, amikor a kerületi sebesség kisebb mint 0,5 m/s
- A gyorsan forgó, nagy terhelésű fogaskerekek tönkremenetelét gyakran a berágódás okozza

# Érintkezési feszültség számítása

$$\sigma_c = C_p C_b \sqrt{\frac{2000 T_D C_a}{C_v} \frac{1}{b d_1^2} \frac{C_s C_m C_{xc} C_f}{I} \left( \frac{T_1}{T_D} \right)^z}$$

$\sigma_c$  = érintkezési feszültség, MPa

$C_p$  = rugalmassági tényező, MPa<sup>1/2</sup>

$C_b$  = feszültség-kiegyenlítési tényező,  $C_b = 0,634$

$T_D$  = tervezési nyomaték, Nm (Optimális hordképet adó nyomaték)

$T_1$  = működő nyomaték a kiskeréken, Nm.

Feltételezzük, hogy  $T_1 = T_D$

$C_a$  = külső dinamikus tényező

$C_v$  = belső dinamikus tényező

# Rugalmassági tényező

$b$  = fogszélesség, mm.

$d_1$  = kiskerék osztókörátmérője, mm.

$C_s$  = mérettényező,  $C_s = 1$ .

$C_m$  = terhelés-eloszlási tényező

$C_{xc}$  = foghossz-menti korrekciós tényező,  $C_{xc} = 1,5$  lokalizált hordkép esetén.

$C_f$  = felületminőségi tényező,  $C_f = 1$  jó minőségű felületek, bejáratott fogazat esetén.

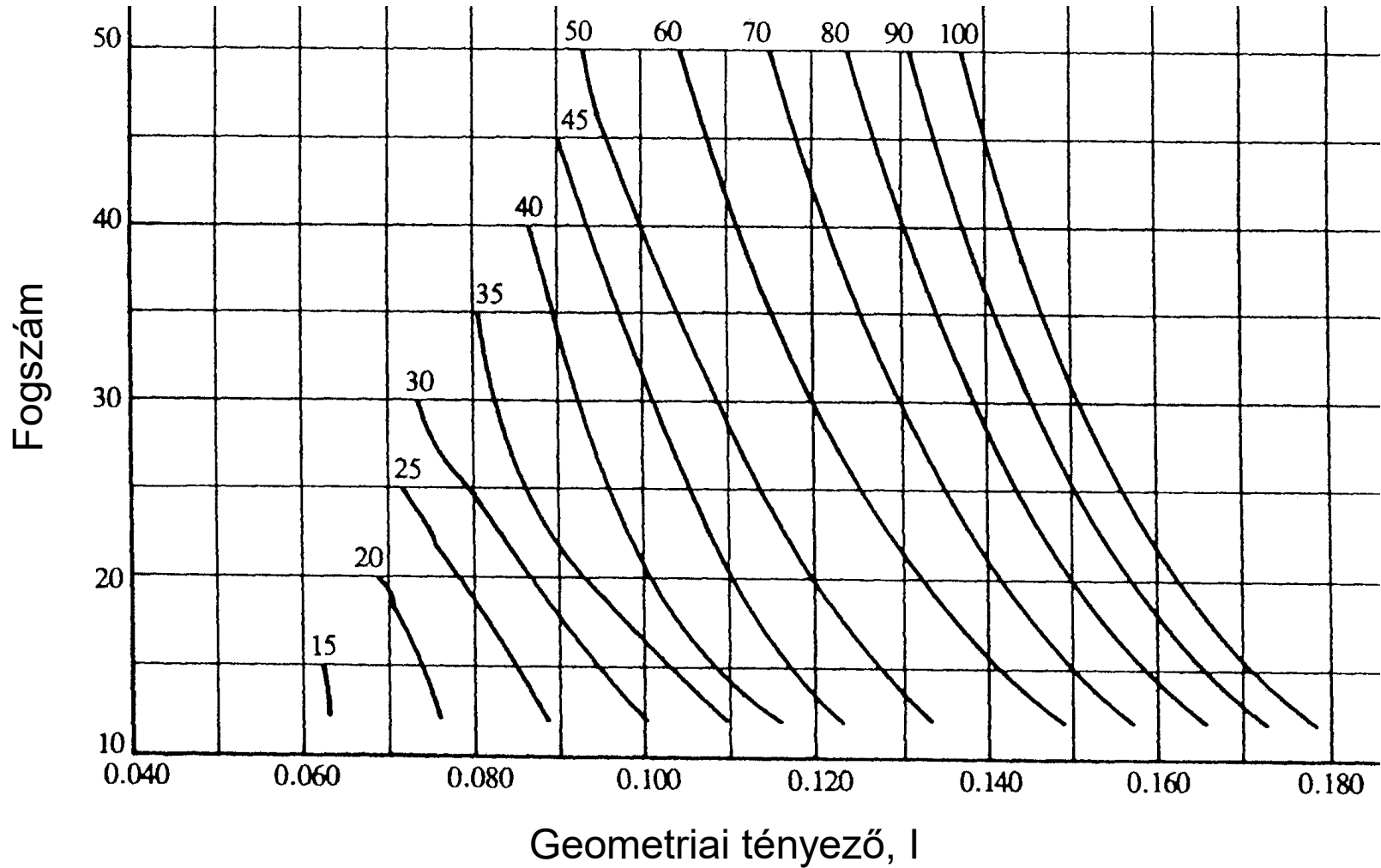
$I$  = geometriai tényező.

$z$  = terhelési kitevő,  $z = 1$  lokalizált hordképre,  $T_1 = T_D$  feltételezéssel

$$C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left( \frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)}}$$



# Geometriai tényező, I



# Megengedett érintkezési feszültség

$$\sigma_{cmeg} = \frac{C_L C_H}{C_T C_R} \sigma_{Dc}$$

$\sigma_{cmeg}$  = megengedett feszültség, MPa.

$\sigma_{Dc}$  = kifáradási határ, MPa.

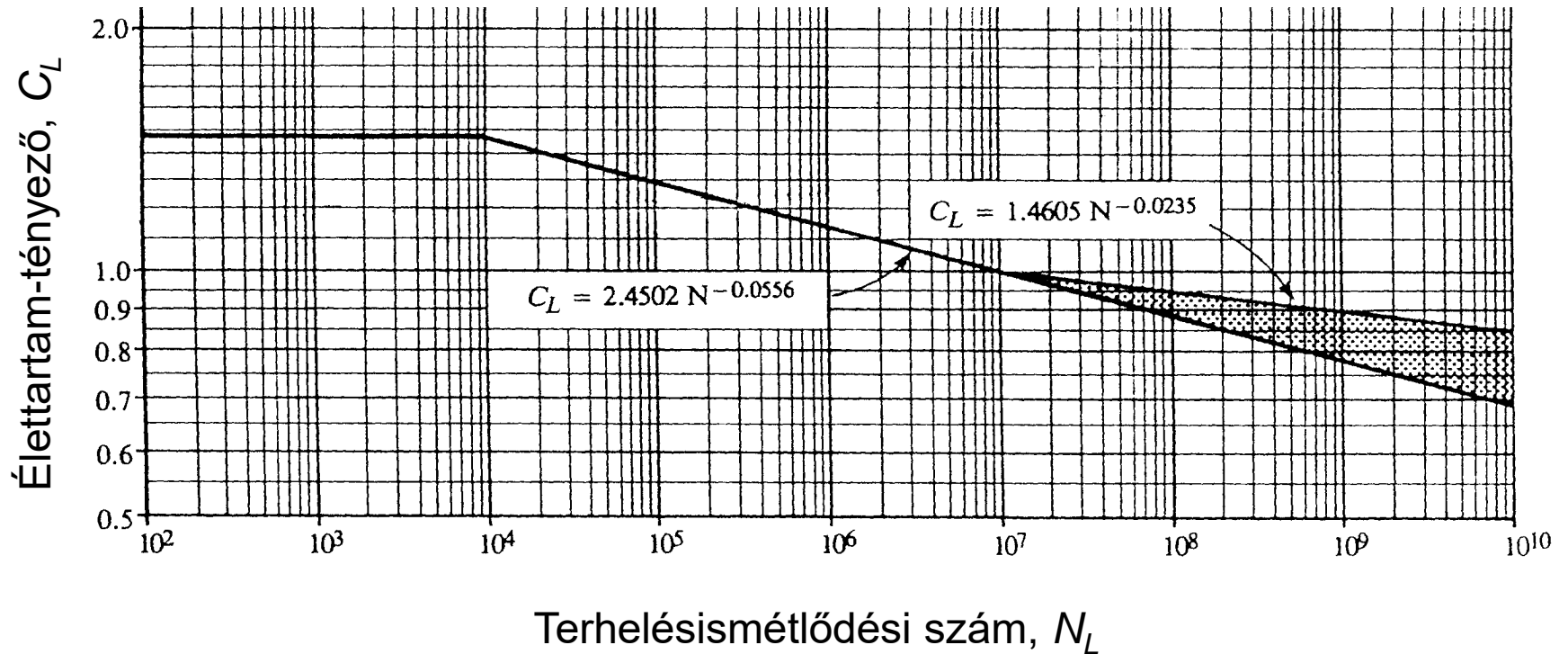
$C_L$  = élettartam tényező.

$C_H$  = keménységi-viszony tényező,  $C_H = 1$ , ha a két kerék keménysége közel azonos.

$C_T$  = hőmérséklet-tényező,  $C_T = 1$ , ha az üzemi hőmérséklet kisebb, mint 120 °C.

$C_R$  = megbízhatósági tényező,  $C_R = 1$ , 99%-os megbízhatóság esetén.

# Élettartam tényező, $C_L$



# Fogtőfeszültség számítása

$$\sigma_f = \frac{2000T_1 K_a}{K_v} \frac{1}{b d_1 m_t} \frac{K_s K_m}{K_x J}$$

$\sigma_f$  = fogtőfeszültség, MPa.

$T_1$  = működő nyomaték a kiskeréken, Nm.

$K_a$  = külső dinamikus tényező,  $K_a = C_a$ .

$K_v$  = belső dinamikus tényező,  $K_v = C_v$ .

$b$  = fogszélesség, mm.

$d_1$  = kiskerék osztókörátmérője, mm.

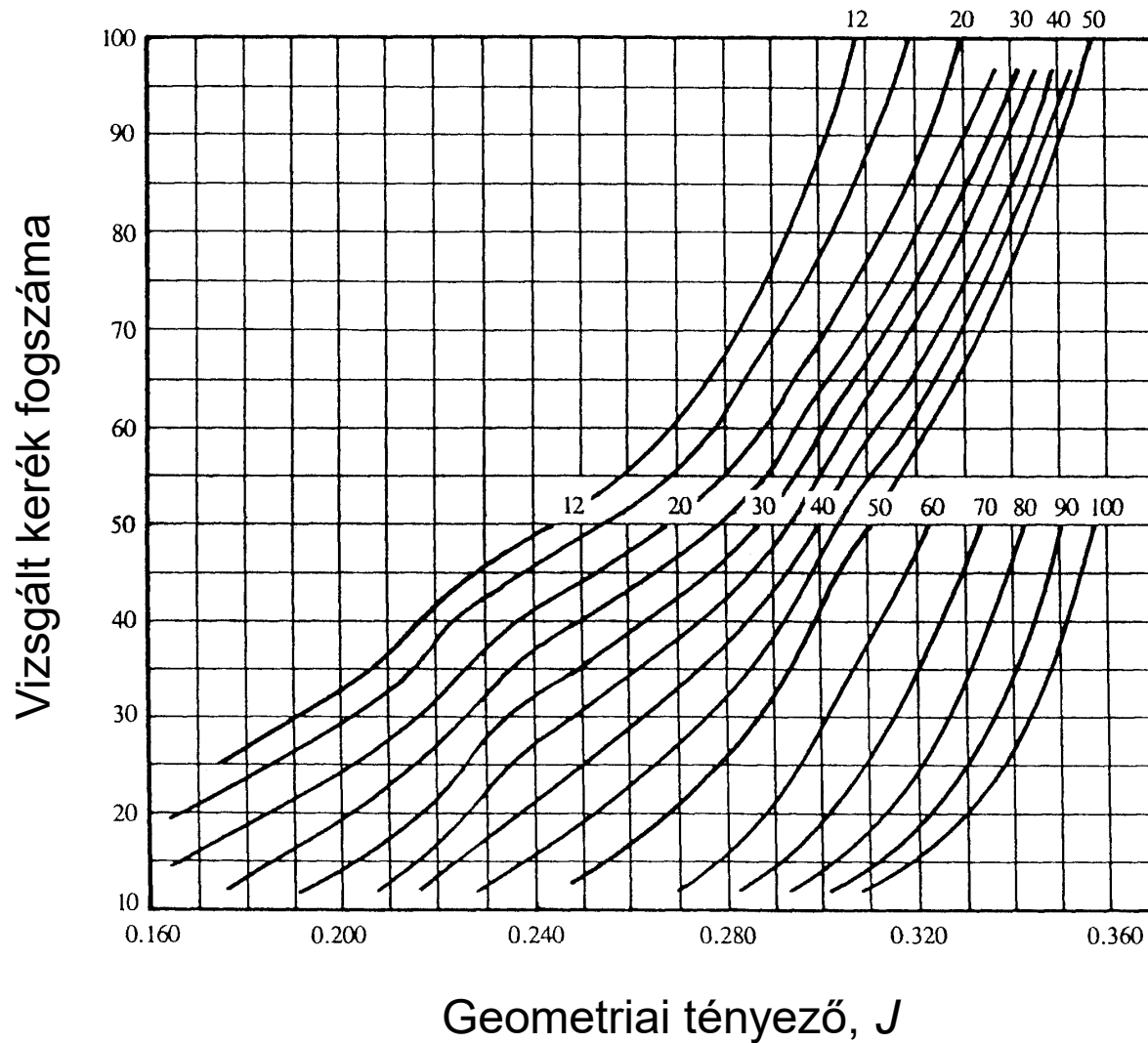
$m_t$  = homlokmodul, mm.

$K_s$  = mérettényező,  $K_s = C_s$ .

$K_m$  = terhelés-eloszlási tényező,  $K_m = C_m$ .

$K_x$  = foghossz-menti görbületi tényező.

# Geometriai tényező, $J$



# Megengedett feszültség

$$\sigma_{f meg} = \frac{K_L}{K_T K_R} \sigma_{Df}$$

$\sigma_{f meg}$  = megengedett feszültség, MPa.

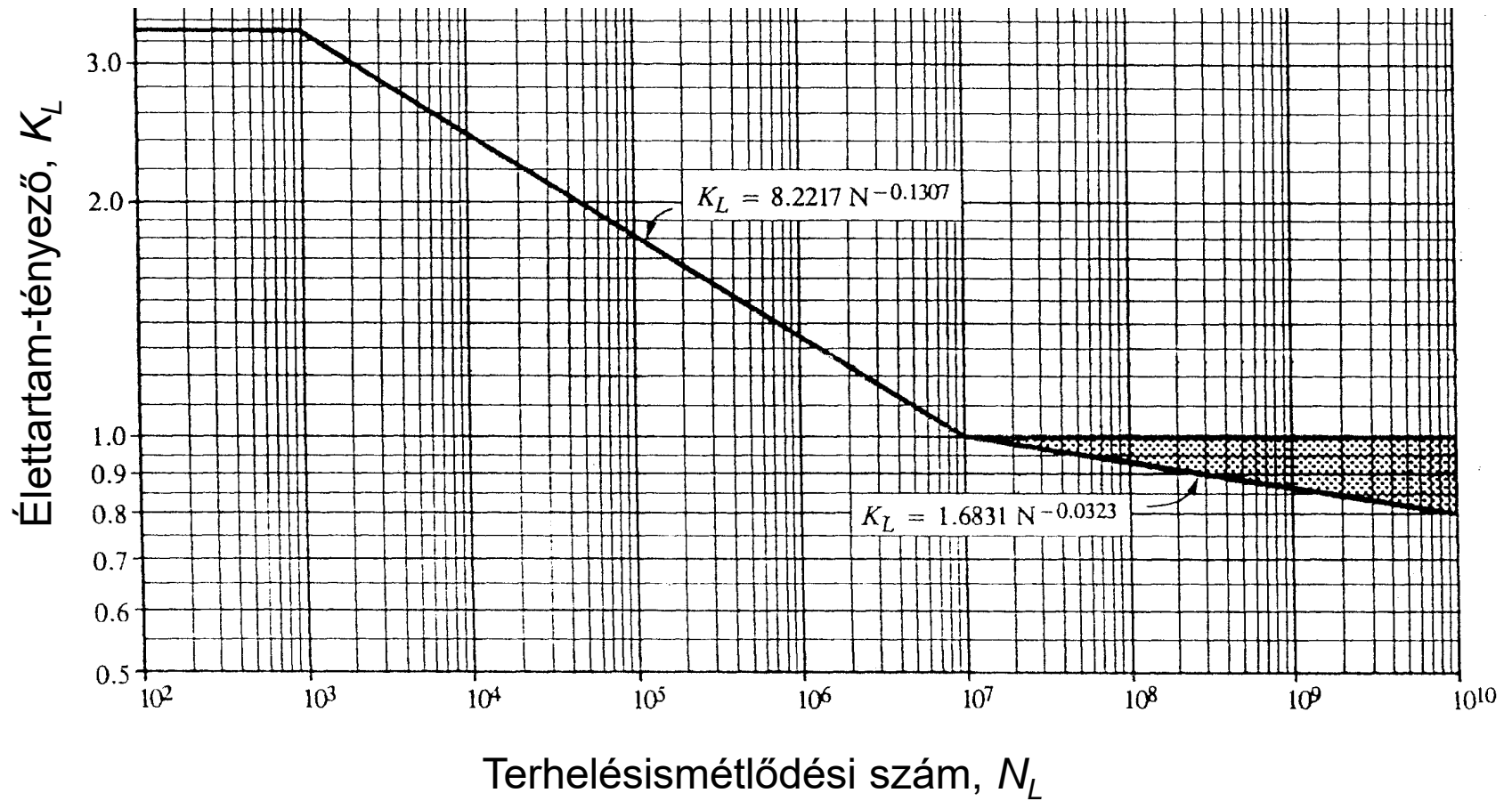
$\sigma_{Df}$  = kifáradási határ, MPa.

$K_L$  = élettartam tényező.

$K_T$  = hőmérséklet-tényező,  $K_T = C_T$ .

$K_R$  = megbízhatósági tényező,  $K_R = C_R$

# Élettartam tényező, $K_L$



# Biztonsági tényező

- Érintkezési feszültségre

$$n_c = \frac{\sigma_{cmeg}}{\sigma_c}$$

- Fogtő feszültségre

$$n_t = \frac{\sigma_{fmeg}}{\sigma_f}$$

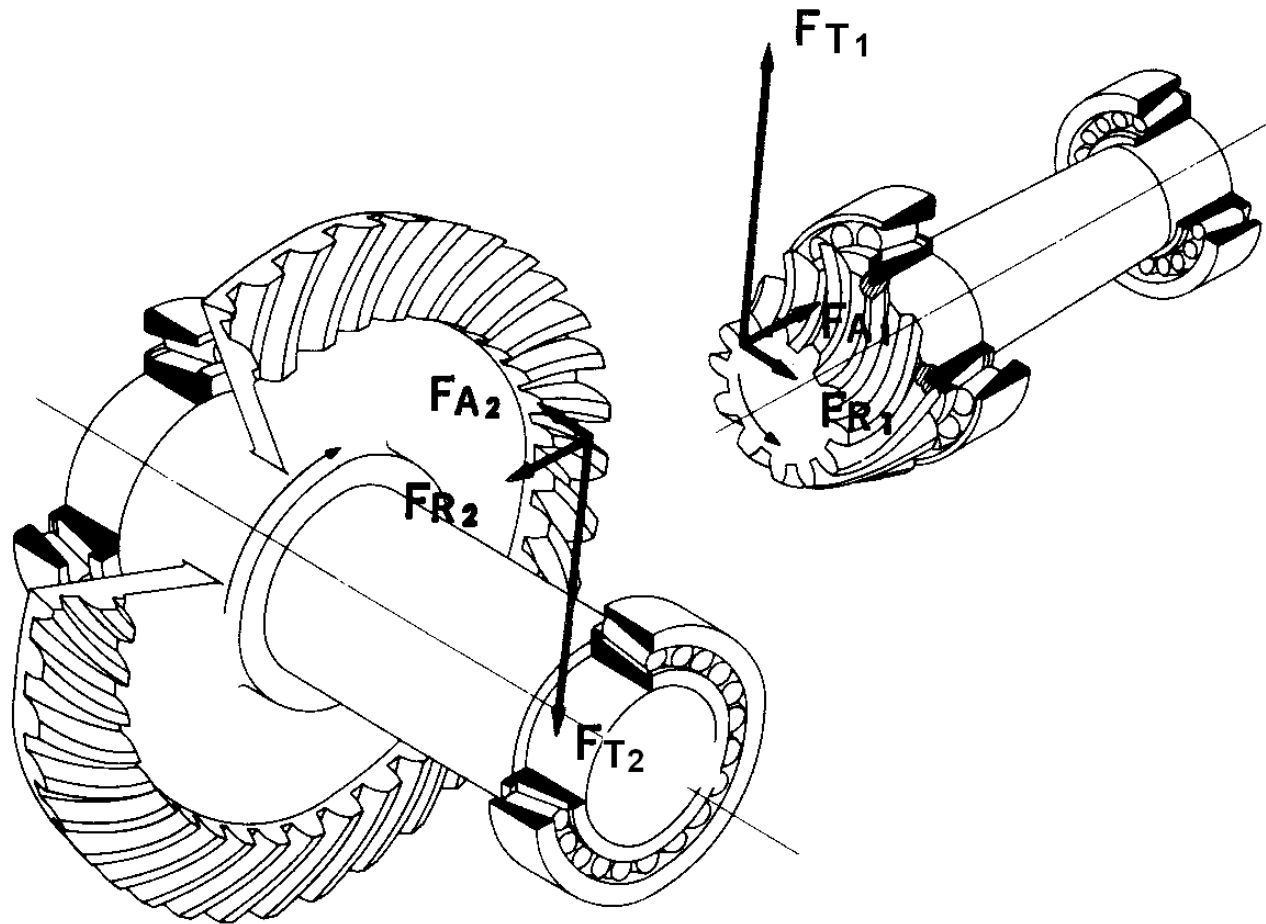
- Ajánlott biztonság

$$n_{cmin} = 1,2 \dots 1,4$$

$$n_{tmin} = 1,6 \dots 2,0$$



# Kúpkerék terhelése



# Kúpkerek terhelése

- Kerületi erő  $F_T = T_1 / (R_m \sin \delta_1)$

- Radiális erő

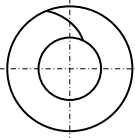


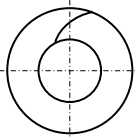


$$F_R = F_T (\operatorname{tg} \alpha_t \cos \delta_{1,2} \mp \operatorname{tg} \beta_m \sin \delta_{1,2})$$

- Axiális erő

$$F_A = F_T (\operatorname{tg} \alpha_t \sin \delta_{1,2} \pm \operatorname{tg} \beta_m \cos \delta_{1,2})$$

# Kúpkerek terhelési esetei

- A képletekben a felső előjel akkor érvényes, ha a homorú fogoldal viseli a terhelést, az alsó előjel a domború fogoldalra vonatkozik.
- Az osztókúpszögeknél aszerint kell  $\delta_1$ -et, vagy  $\delta_2$ -t behelyettesíteni, hogy melyik fogaskerekre ható erőt számoljuk.

Foghajlás iránya	Forgásirány	Terhelt fogoldal	
		Hajtó fogaskerék	Hajtott fogaskerék
 bal	 bal	homorú	domború
	 jobb	domború	homorú
 jobb	 bal	domború	homorú
	 jobb	homorú	domború