

Tengelykapcsolók:

Súrlódó tengelykapcsolók

Borbás Lajos

Prof. Emeritus

Tartalomjegyzék

- Súrlódó tengelykapcsolók
 - ◆ Főbb tulajdonságok
 - ◆ Csoportosítás, erő,- és nyomatékviszonyok vizsgálata
 - ◆ Egykúpos dörzskapcsoló
 - ◆ Belső kúpos kapcsoló
 - ◆ Kúpos dörzskapcsoló méretezése felületi nyomásra
 - ◆ Tárcsás tgc.
 - ◆ Többlemezes olajos tgc.
 - ◆ Súrlódó kapcsolók Indítási folyamatának elemzése

Főbb tulajdonságok

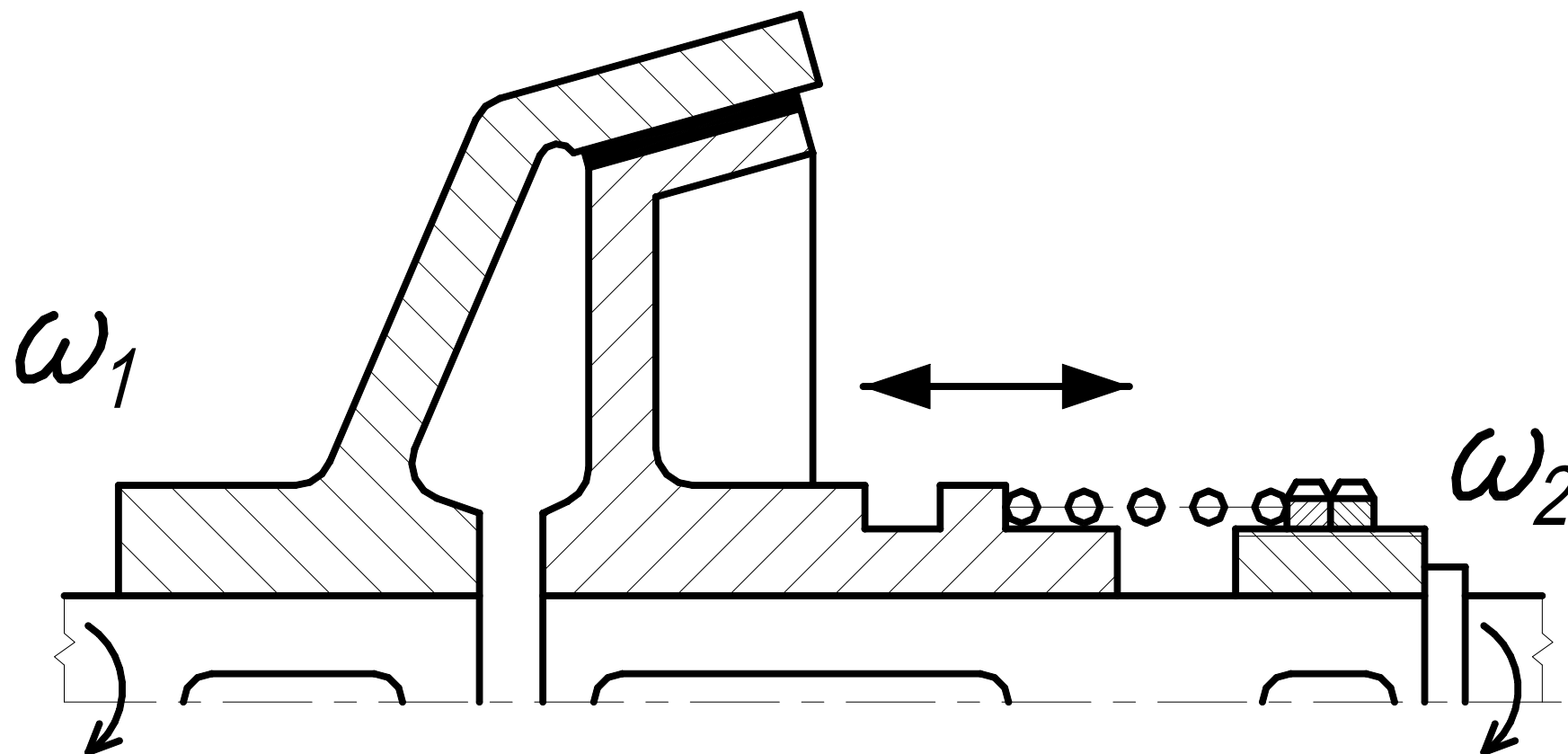
- A nyomatékot súrlódási erő közvetíti.
- Terhelés közben ki-, és bekapcsolhatók.
- Lágy indítást tesznek lehetővé.
- Biztonsági kapcsoló szerepét is betöltheti (nagy nyomaték esetén megcsúszik, tehát korlátozza az átvihető nyomatékot).

Csoportosítás

- A súrlódó felület alakja szerint lehet:
 - ◆ Kúpos,
 - ◆ Tárcsás,
 - ◆ Lemezes,
 - ◆ Hengeres.
- Működtetése szerint lehet:
 - ◆ Tisztán mechanikus,
 - ◆ Elektromos,
 - ◆ Pneumatikus,
 - ◆ Hidraulikus.

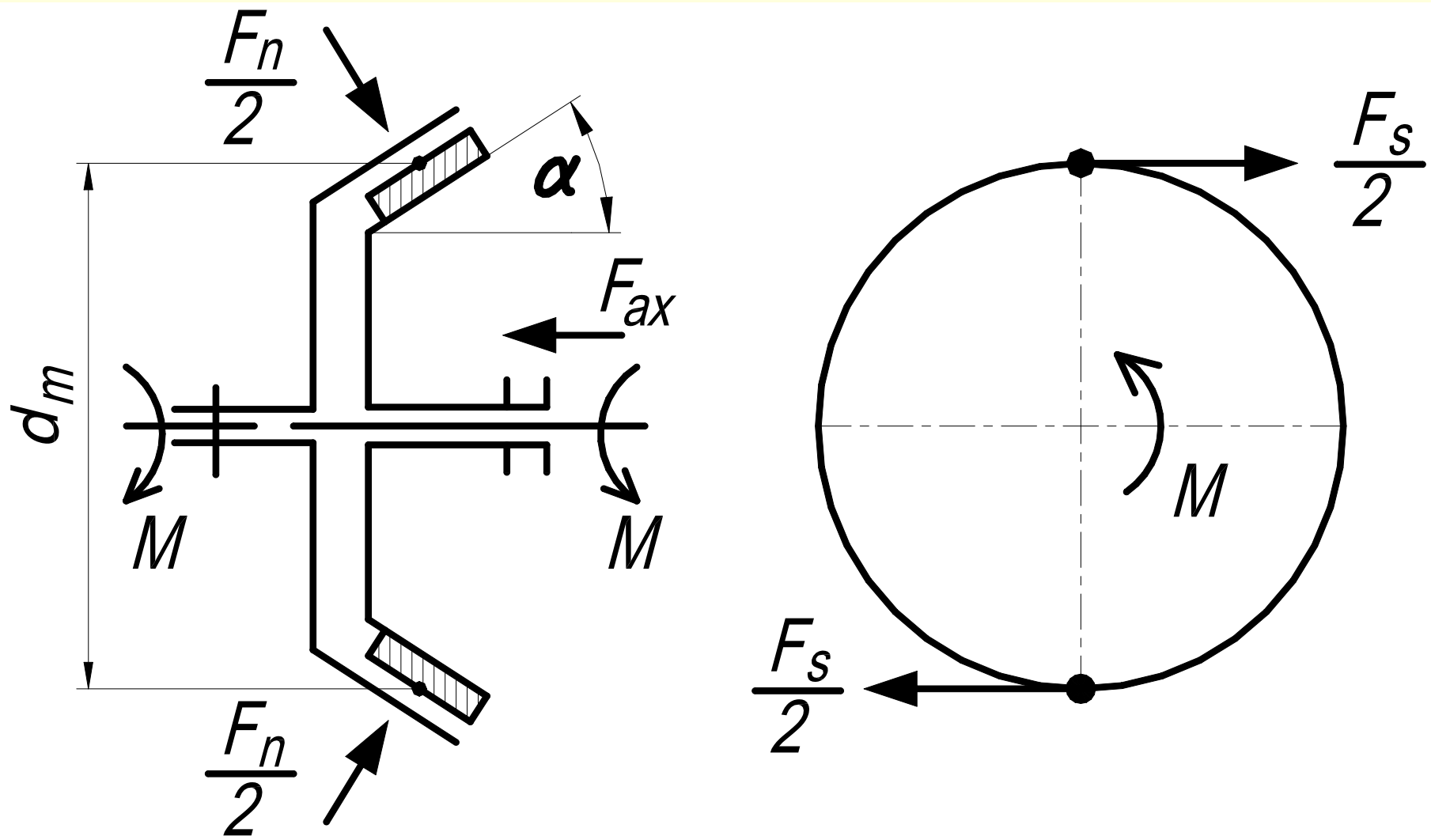
Erő, - és nyomatékviszonyok vizsgálata

Egykúpos dörzskapcsoló



- **Előnye:** az ékhatás miatt kisebb összeszorító erő kell, mint a tárcsás kapcsolónál.
- **Hátránya:** a rugó axiálisan terheli a csapágyakat.
- Bekapcsolt állapotban rugó szorítja össze a kúpokat.
- Oldás külső erővel történik.

- Mekkora axiális erő kell adott nyomaték átviteléhez?

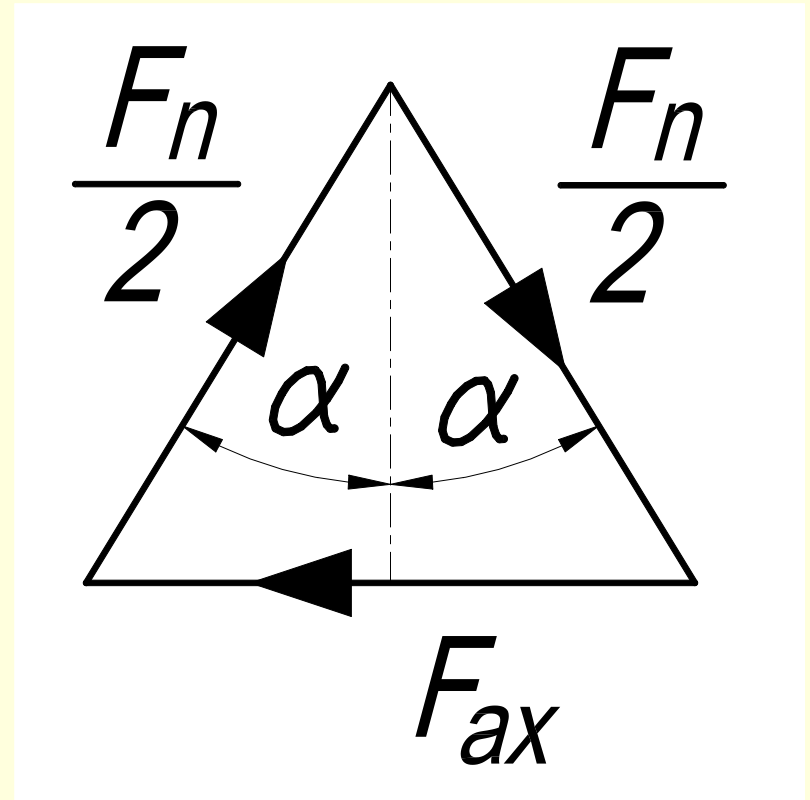


$$M = \frac{F_s}{2} \cdot d_m = \frac{\mu \cdot F_n}{2} \cdot d_m$$

$$F_{ax} = 2 \cdot \frac{F_n}{2} \cdot \sin \alpha =$$

$$= F_n \cdot \sin \alpha$$

$$F_n = \frac{F_{ax}}{\sin \alpha}$$

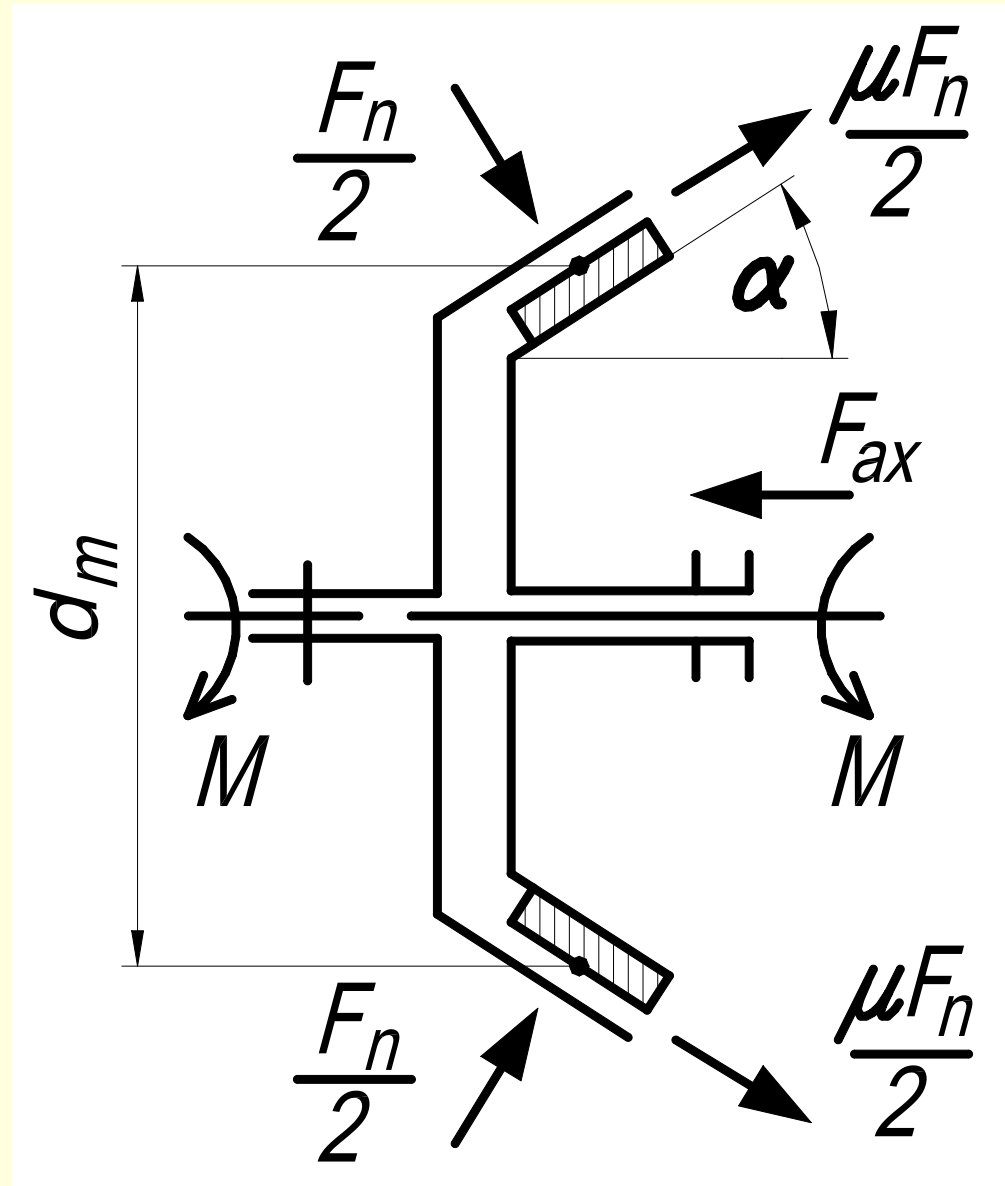


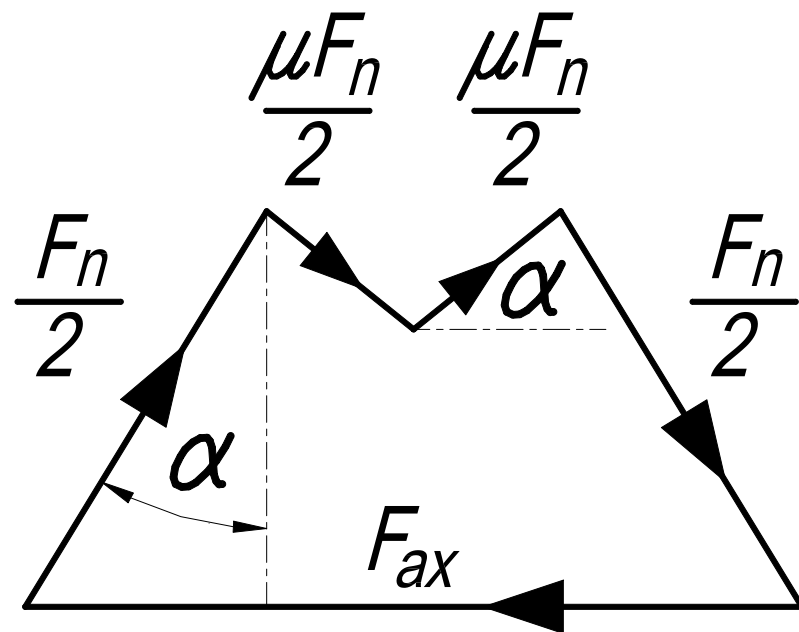
$$F_{ax} = \frac{2 \cdot M \cdot \sin \alpha}{\mu \cdot d_m}$$

- Mekkora a bekapcsoláshoz szükséges axiális erő?

Az axiális erőnek a súrlódást is le kell győznie.

$$M = \frac{F_s}{2} \cdot d_m = \frac{\mu \cdot F_n}{2} \cdot d_m$$





Bekapcsoláskor nagyobb az axiális erő, mint üzem közben.

$$F_{ax} = 2 \cdot \frac{F_n}{2} \cdot \sin \alpha + 2 \cdot \mu \cdot \frac{F_n}{2} \cdot \cos \alpha = F_n \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha)$$

$$F_n = \frac{F_{ax}}{\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha}$$

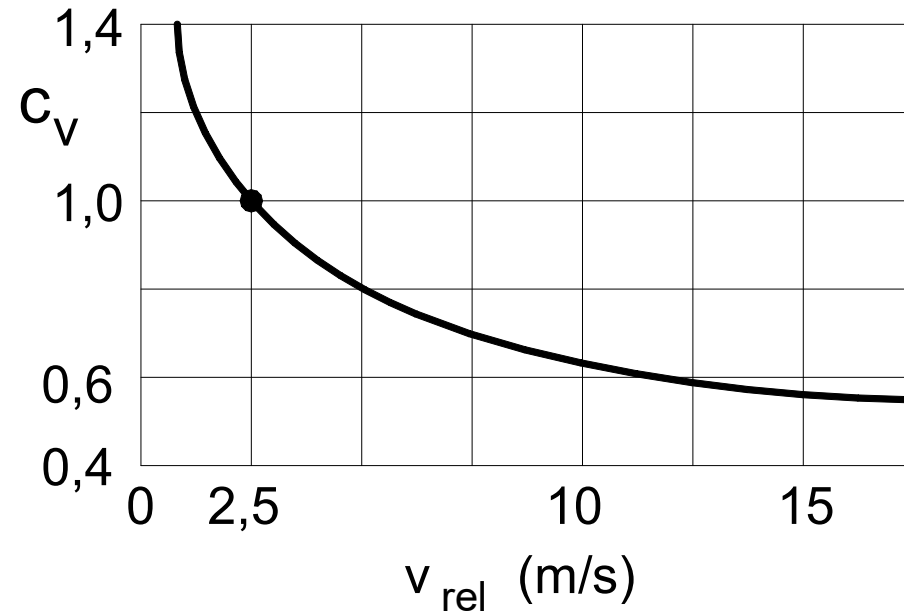
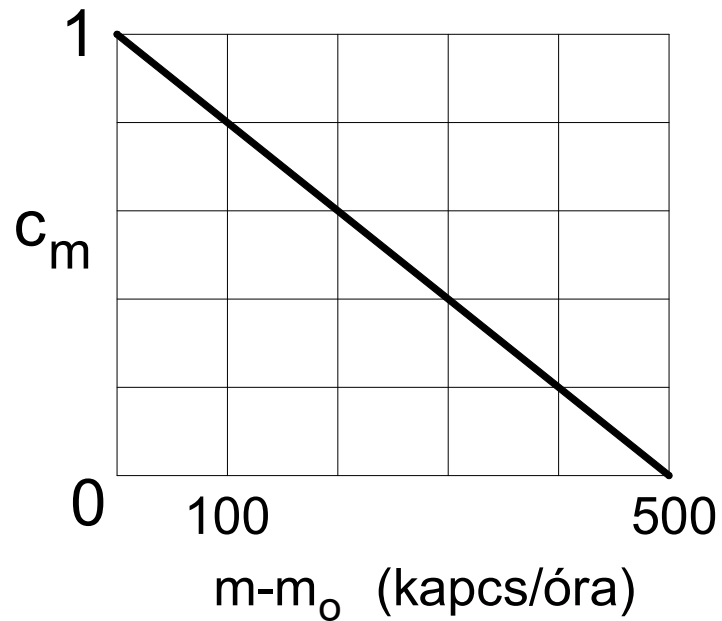
$$F_{ax} = \frac{2 \cdot M}{\mu \cdot d_m} \cdot (\sin \alpha + \mu \cdot \cos \alpha)$$

A rugót erre az erőre méretezzük (M-et még korrigáljuk az üzemi körülmények figyelembe vételével).

Kúpos dörzskapcsoló méretezése felületi nyomásra

- A méretezés a d_m középméret, és b kúpalkotó hossz számítását jelenti.
- Tapasztalatból: $c=b/d_m=0,15-0,20$
- Méretezési feltétel: $p \leq p_{meg}$
- Szerkezeti anyag választás $\Rightarrow p_{meg}, \mu$
- A legnagyobb kapcsolónyomatékot az üzemi tényezők figyelembevételével számítjuk
 - ◆ n : nyomatéklökések miatti biztonsági tényező (>1)
 - ◆ C_m : kapcsolások számától függő tényező (<1)
 - ◆ C_v : relatív sebességtől függő tényező (<1)

- Az üzemi tényezőkre tapasztalati adatok vannak.



$$m_0 = 50 - 100 \quad (\text{kapcs/óra})$$

$$v_{rel} = d_m \cdot \pi \cdot n_1$$

- Kapcsolónyomaték maximuma $M_{kmax} = \frac{n \cdot M_{cs}}{C_m \cdot C_v}$
- Nyomatéki egyensúlyi egyenletből összefüggést kapunk M_{kmax} nyomaték és p_{meg} felületi nyomás között.

$$M_{kmax} = \frac{d_m}{2} \cdot \mu \cdot F_n = \frac{d_m}{2} \cdot \mu \cdot d_m \cdot \pi \cdot b \cdot p_{meg} = \blacksquare$$

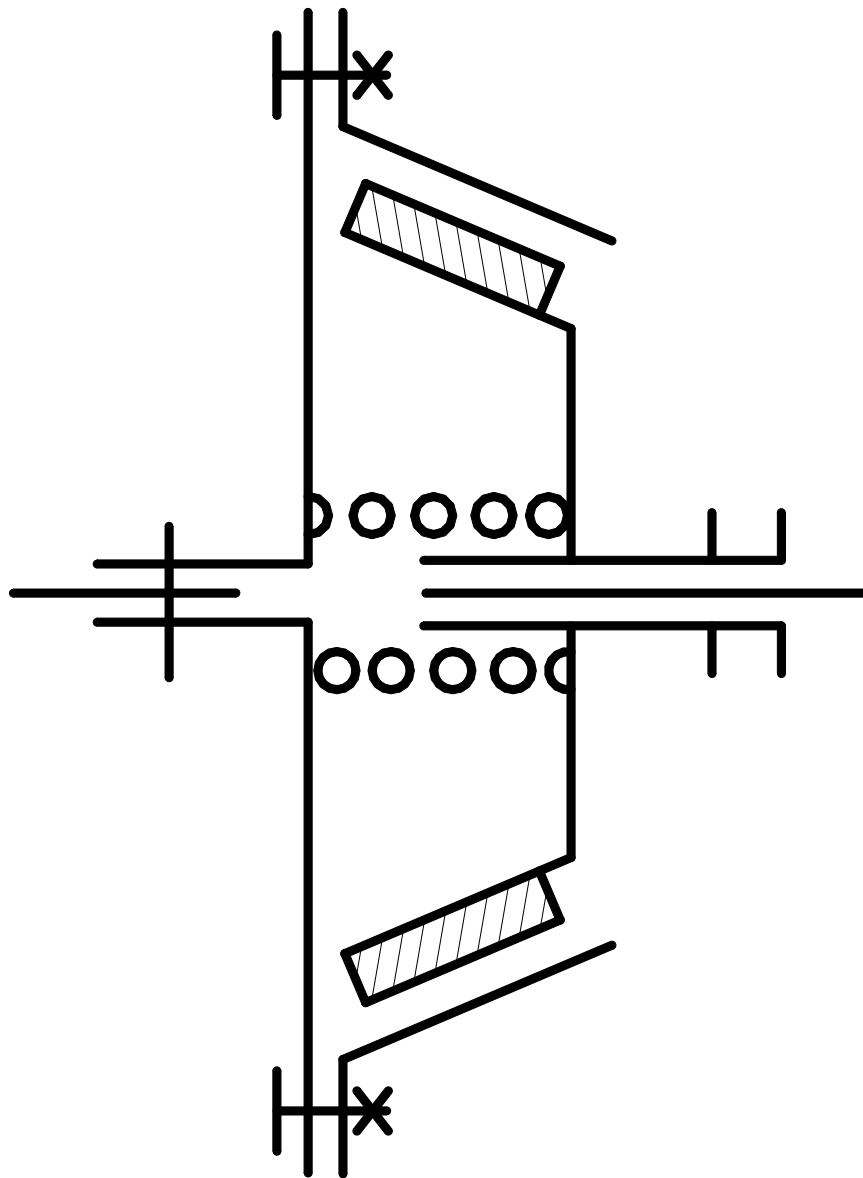
$$\blacksquare = \frac{d_m}{2} \cdot \mu \cdot d_m \cdot \pi \cdot c \cdot d_m \cdot p_{meg}$$

$$\boxed{d_m^3 = \frac{2 \cdot M_{kmax}}{\mu \cdot \pi \cdot c \cdot p_{meg}}}$$

- b számítható: $b = c \cdot d_m$

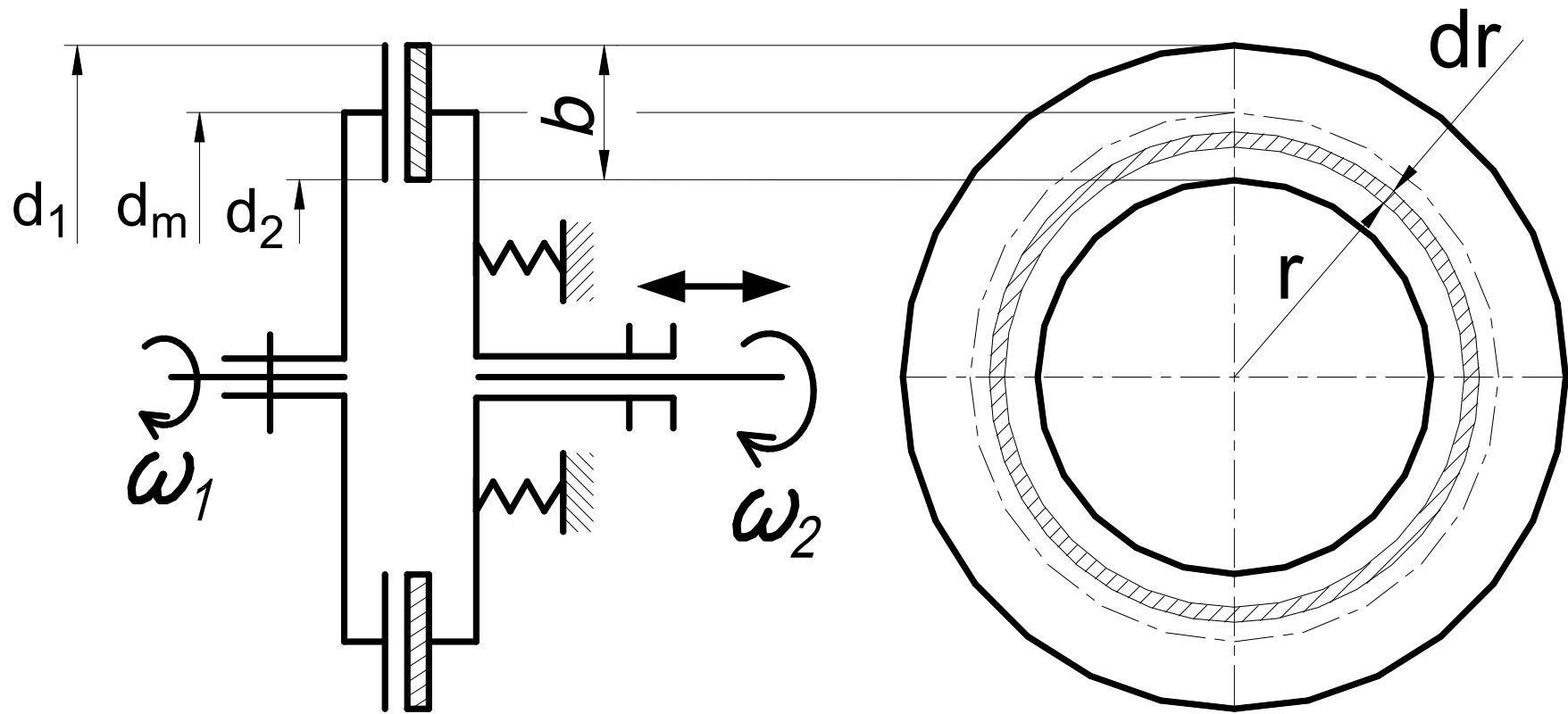
Belső kúpos kapcsoló

- Axiális terhelés
nem hat a
csapágyakra a
rugóerőből.



Tárcsás dörzskapcsolók

- Néhány, nagy átmérőjű, körgyűrű alakú, súrlódó felületepár van.
- Általában szárazon üzemelnek.



Egy súrlódó felületepár

Tárcsás dörzskapcsoló méretezése felületi nyomásra

- A méretezés a d_m középméret, és b gyűrűszélesség számítását jelenti.
- Tapasztalatból: $c=b/d_m=0,11-0,13$
- Méretezési feltétel: $p \leq p_{meg}$
- Szerkezeti anyag választás $\Rightarrow p_{meg}, \mu$
- A legnagyobb kapcsolónyomatékot az üzemi tényezők figyelembevételével számítjuk
 - ◆ n : nyomatéklökések miatti biztonsági tényező (>1)
 - ◆ C_m : kapcsolások számától függő tényező (<1)
 - ◆ C_v : relatív sebességtől függő tényező (<1)

- Kapcsolónyomaték maximuma $M_{kmax} = \frac{n \cdot M_{cs}}{c_m \cdot c_v}$

- Nyomatéki egyensúlyi egyenletből összefüggést kapunk M_{kmax} nyomaték és p_{meg} felületi nyomás között.

$$M_{kmax} = \int_{r_2}^{r_1} r \cdot \mu \, dF_n = \int_{r_2}^{r_1} r \cdot \mu \cdot 2 \cdot r \cdot \pi \, dr \cdot p_{meg} = \blacksquare$$

$$\blacksquare = 2 \cdot \mu \cdot \pi \cdot p_{meg} \int_{r_2}^{r_1} r^2 \, dr = 2 \cdot \mu \cdot \pi \cdot p_{meg} \cdot \frac{(r_1^3 - r_2^3)}{3}$$

Felhasználva: $r_1 = \frac{d_m + b}{2} = \frac{d_m + c \cdot d_m}{2} = \frac{d_m}{2} \cdot (1 + c)$

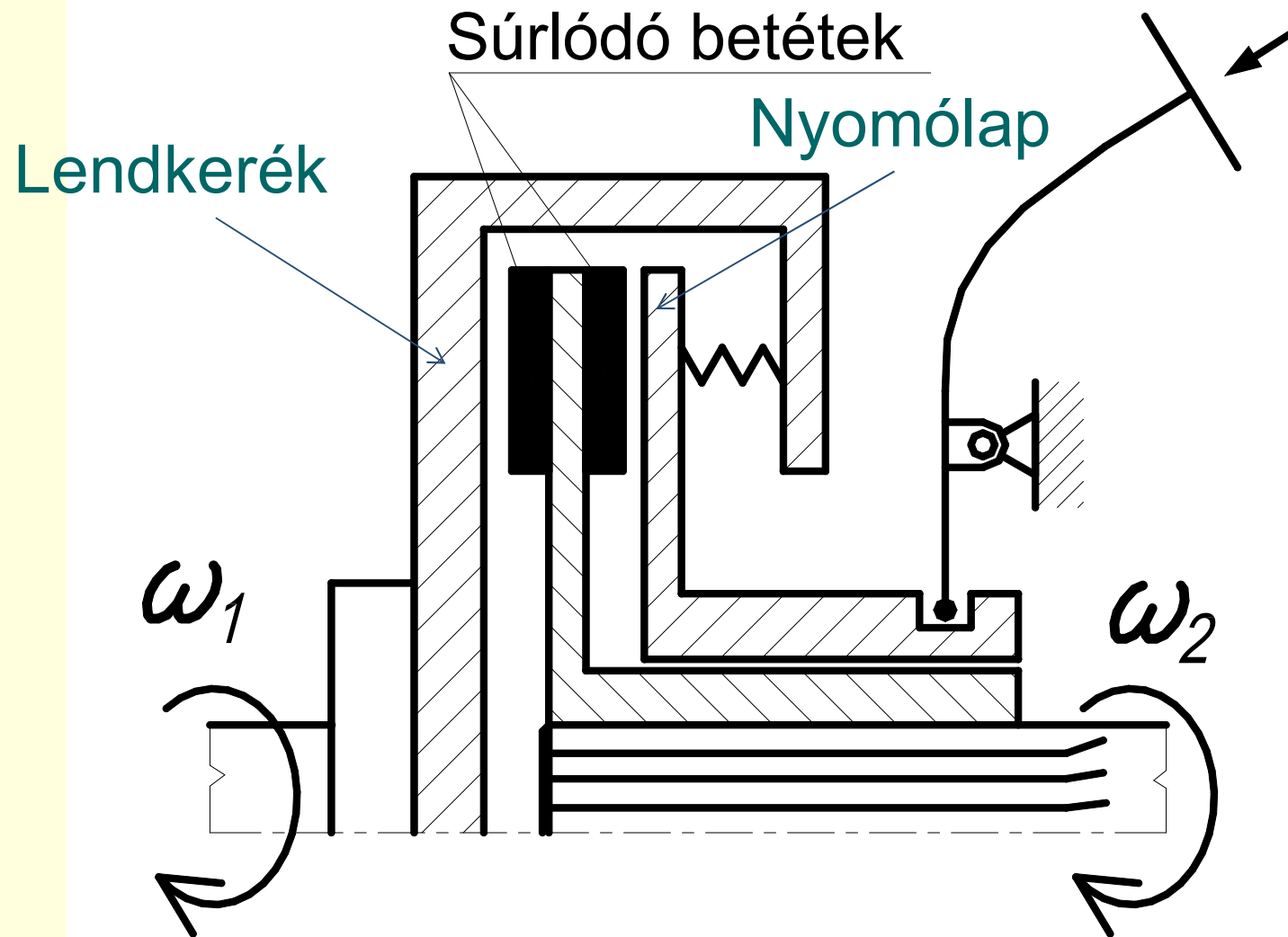
$$r_2 = \frac{d_m - b}{2} = \frac{d_m - c \cdot d_m}{2} = \frac{d_m}{2} \cdot (1 - c)$$

$$d_m^3 = \frac{6 \cdot M_{kmax}}{\mu \cdot \pi \cdot (3 \cdot c + c^3) \cdot p_{meg}}$$

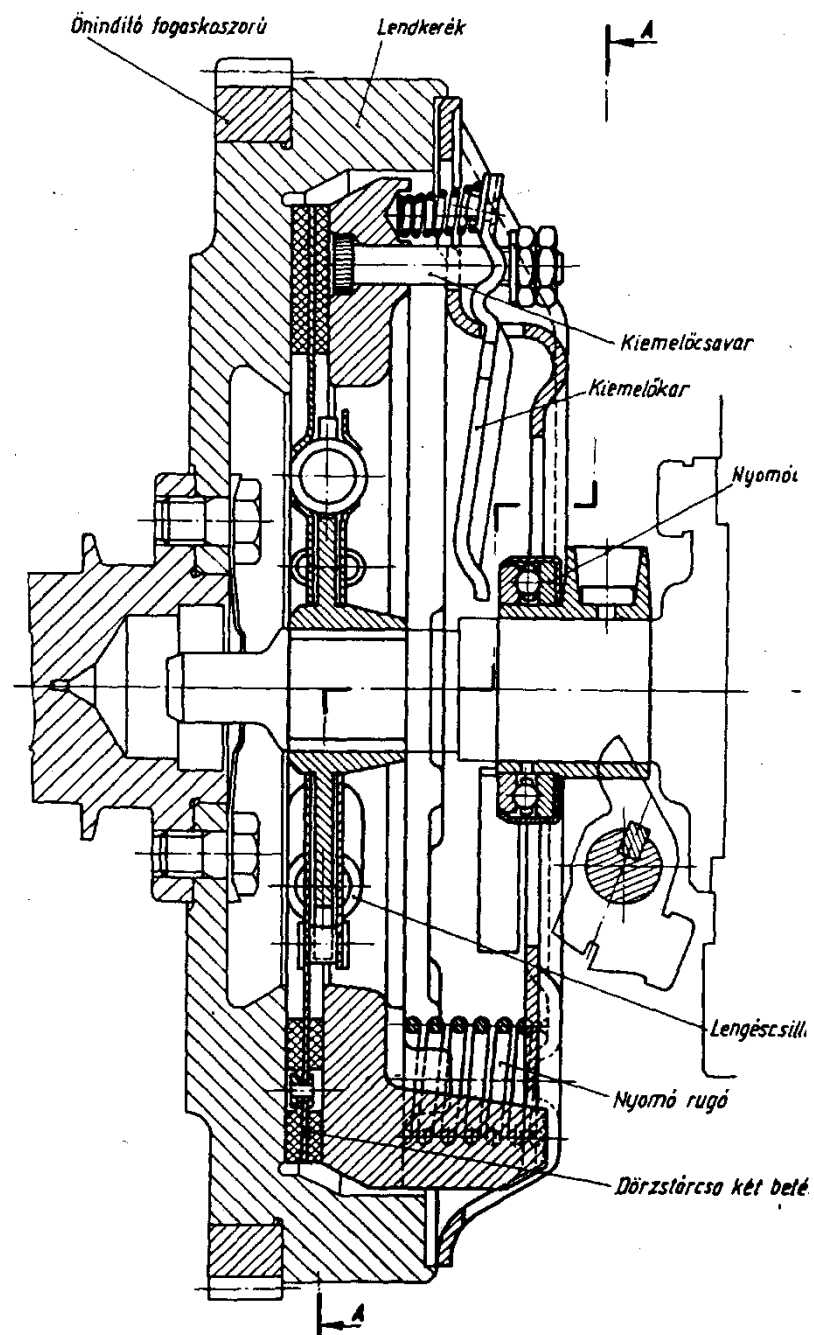
- b számítható: $b = c \cdot d_m$

Tárcsás dörzskapcsoló gépkocsiban

Kinematikai (működési) vázlat



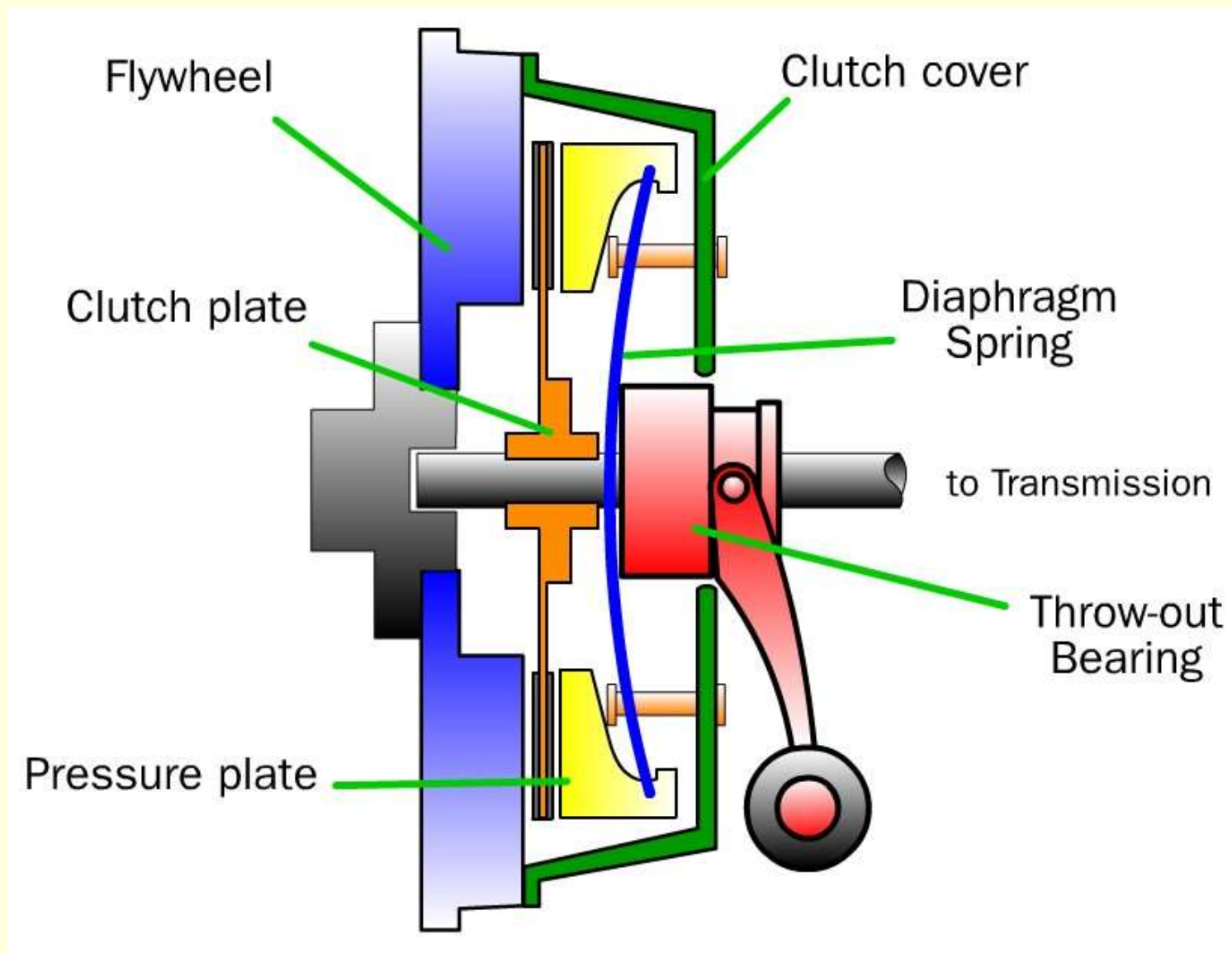
Két súrlódó felülepár



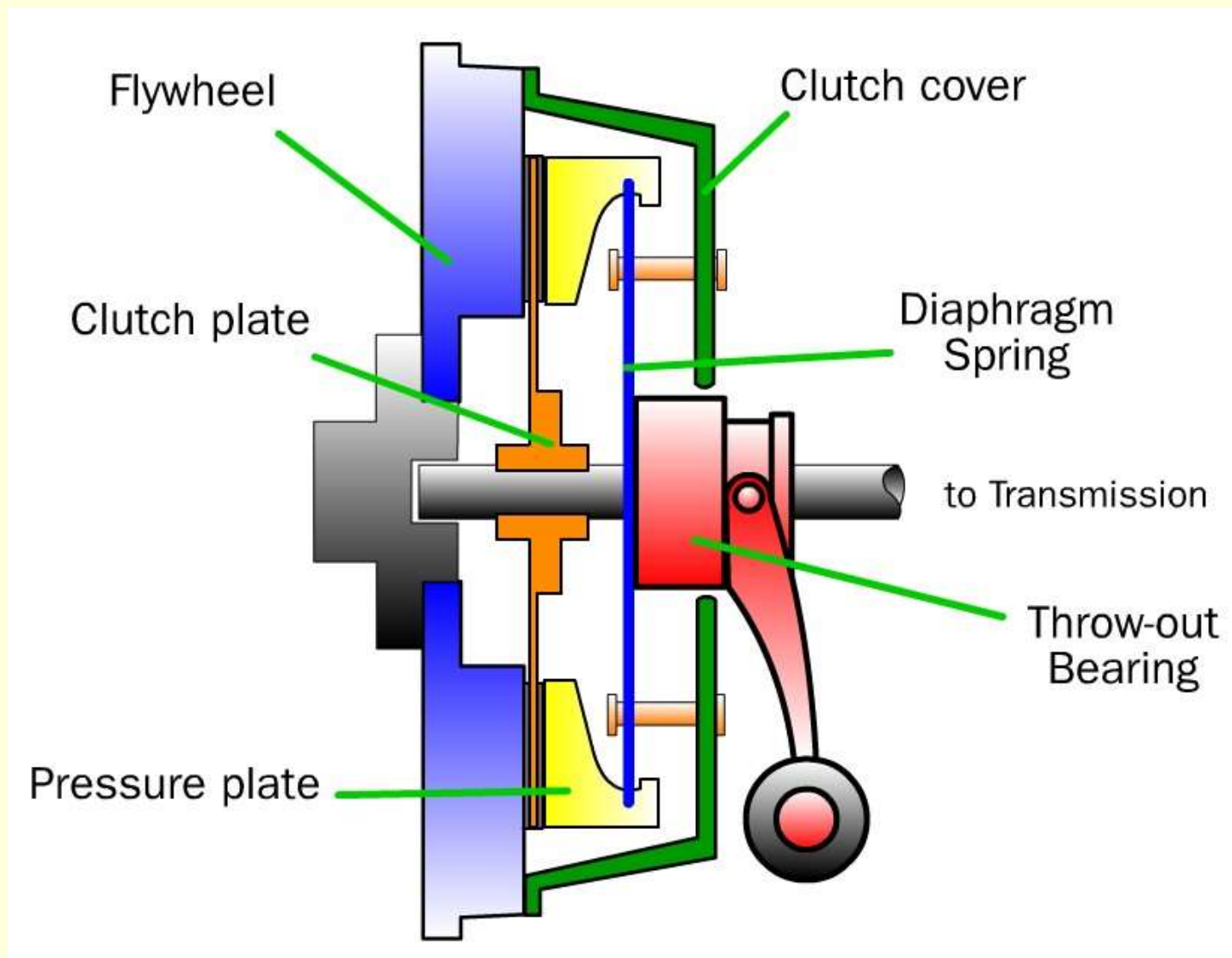
■ Kuplungtárcsa



■ Központi rugós dörzskapcsoló gépkocsihoz

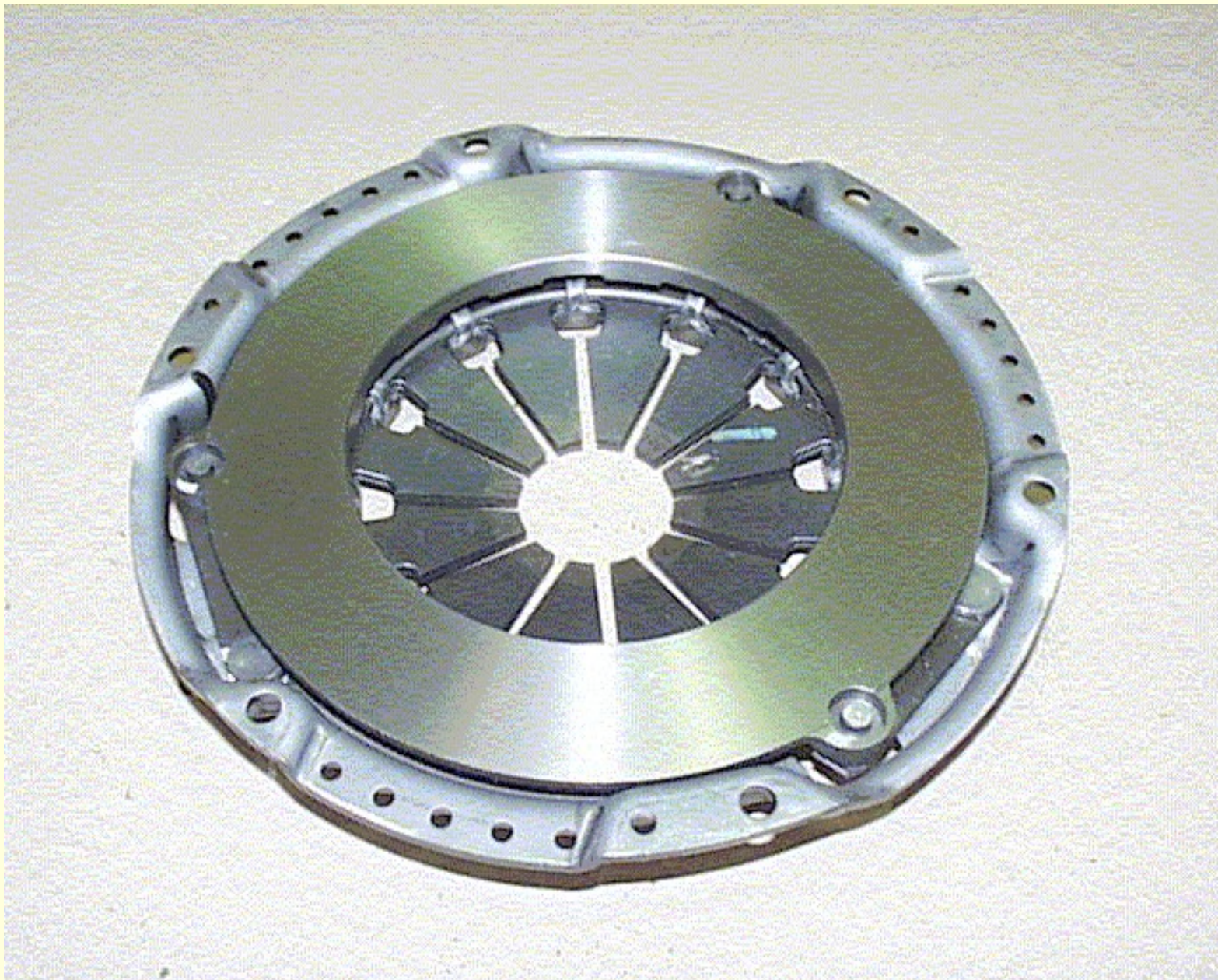


Oldott állapot



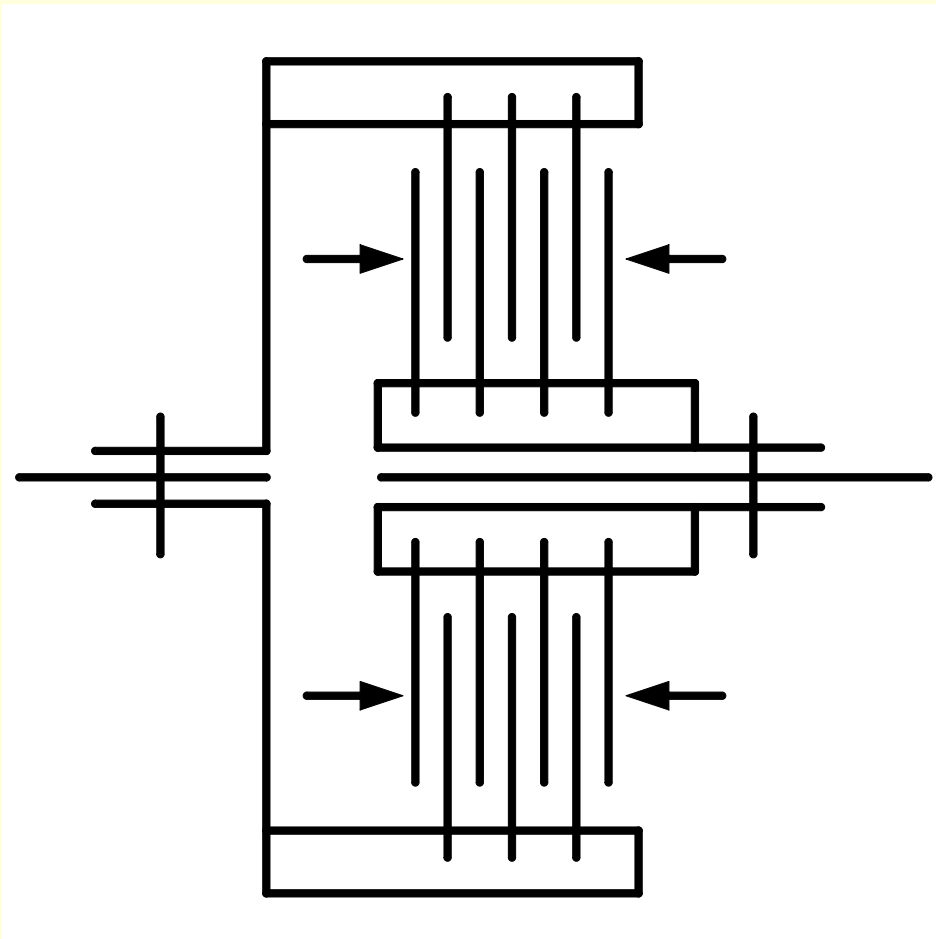
Bekapcsolt állapot

Szerkezeti kialakítás

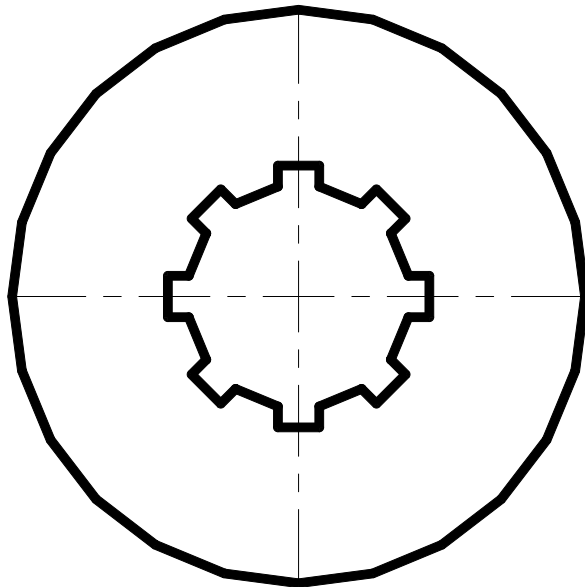


Többlemezes olajos tengelykapcsoló

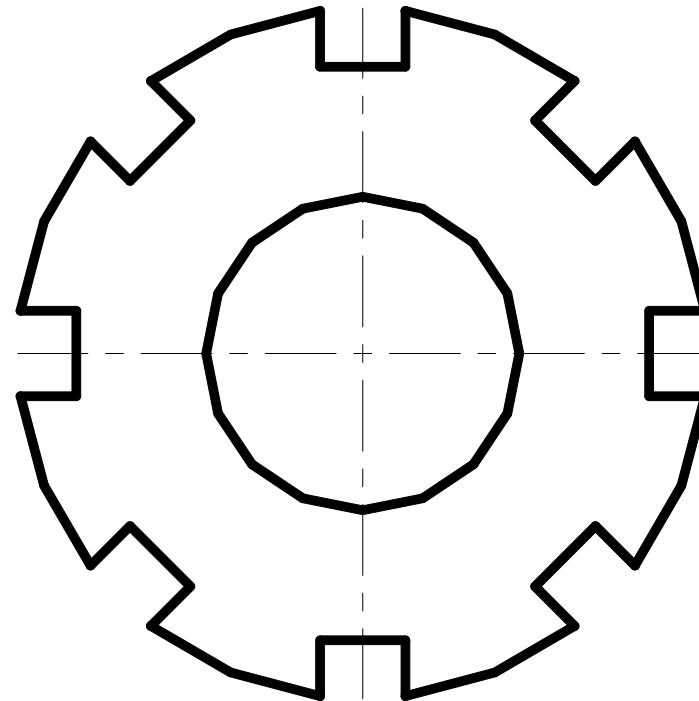
- Sok, kis átmérőjű, körgyűrű alakú, súrlódó felületepár van.
- Szárazon vagy olajkenéssel is üzemelhet.



Belső tárcsa



Külső tárcsa



Emelő villás (Ortlinghaus) kivitel



Lemezes dörzskapcsoló méretezése felületi nyomásra

- A méretezés a **z** súrlódó felületepárok számának meghatározását jelenti.
- Tapasztalatból: **$c=b/d_m=0,1-0,25$**
- A méretezés további lépései a tárcsás dörzskapcsolóéval megegyeznek.

$$d_m^3 = \frac{6 \cdot \frac{M_{kmax}}{z}}{\mu \cdot \pi \cdot (3 \cdot c + c^3) \cdot p_{meg}}$$

Súrlódó felületepárok szükséges száma:

$$z = \frac{6 \cdot M_{kmax}}{\mu \cdot \pi \cdot (3 \cdot c + c^3) \cdot p_{meg} \cdot d_m^3}$$

Külső fogazatú lemezek száma: $z_k = \frac{z}{2}$

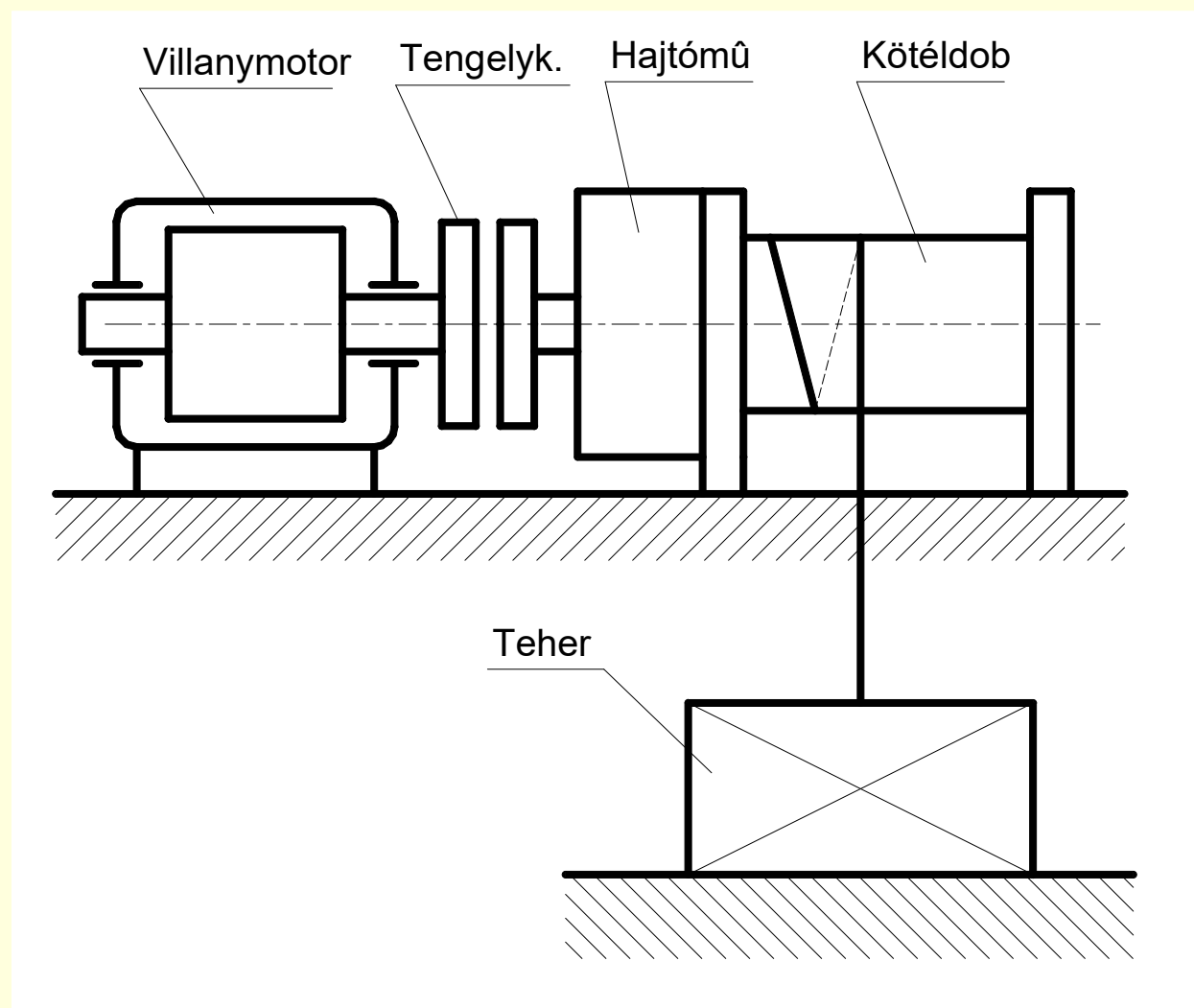
Belső fogazatú lemezek száma: $z_b = z_k + 1$

Tengelykapcsolók: súrlódó kapcsolók

Súrlódó tengelykapcsolók indítási folyamata

A vizsgált jelenség

- Villanymotoros hajtással terhet emelünk.



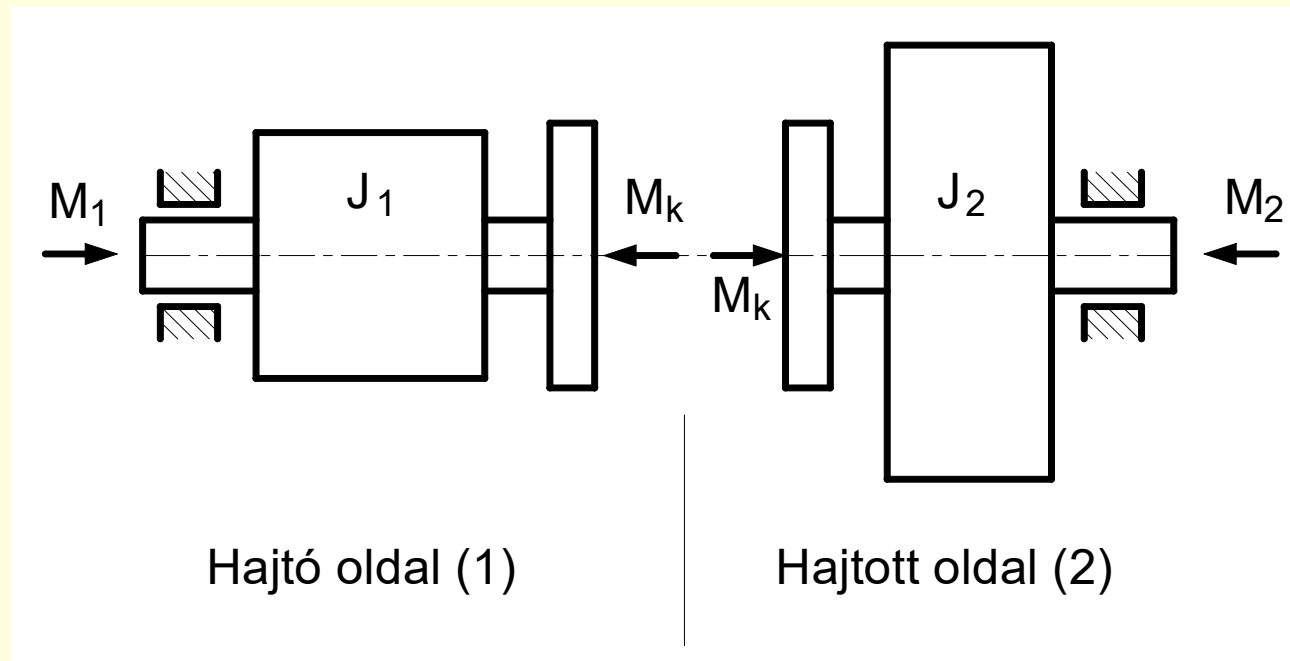
- A motor rövidrezárt forgórészű asszinkron motor, tehát fordulatszám tartó jelleggörbéjű.
- A vizsgálat kezdetekor a motor terheletlenül forog (ω_1), mert a tengelykapcsoló oldva van.
- A teher a padlón támaszkodik, és az emelőkötélfeszültségmentes, de nem laza.
- A súrlódó tengelykapcsolót fokozatosan kapcsoljuk be. A kapcsolófeleket összeszorító erő $t_{\max}$ megadott idő alatt egyenletesen növekedve éri el a maximumot. A kapcsolónyomaték is így változik: 0-ról lineárisan nő a maximumig ($M_{k\max}$).

Kérdések és feladatok

- Mennyi ideig tart a tengelykapcsoló csúszása?
- Mennyi a súrlódási munka (azaz mennyi hő fejlődik egy kapcsolási folyamat alatt)?
- Méretezzük a tengelykapcsolót!
- Melegedésre ellenőrizzük a tengelykapcsolót!

A motortengelyre redukált hajtás

- Egyszerűbb a feladat vizsgálata, ha minden mozgó tömeget és terhet a motortengelyre redukálunk. A redukálást most nem végezzük el, hanem adottnak vesszük.



- Az 1-es index a hajtó oldalra utal a 2-es a hajtott oldalra.

Ismert adatok

Hajtó oldal szögsebessége állandó:

$$\omega_1 = 26.6 \cdot \frac{1}{s}$$

A hajtott oldal megmozdulása után a hajtott oldalt terhelő nyomaték állandó. Ennek névleges értéke:

$$M_{2nv} = 600 \cdot \text{Nm}$$

A hajtott oldal tehetetlenségi nyomatéka:

$$J_2 = 30 \cdot \text{Nm} \cdot s^2$$

A kapcsolónyomaték maximuma indításkor:

$$M_{kmax} = 1080 \cdot \text{Nm}$$

A maximális nyomaték eléréséig eltelt idő:

$$t_{max} = 2 \cdot s$$

A jelenség vizsgálata

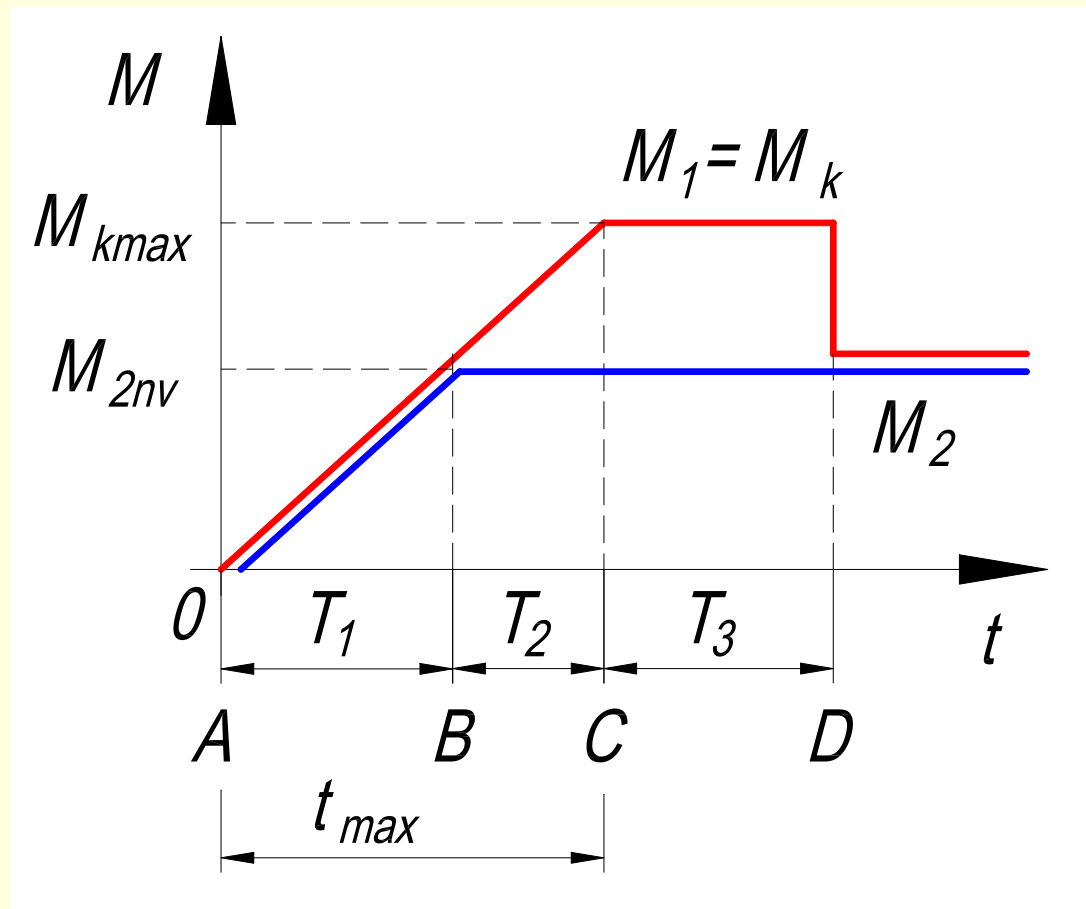
- A feladatban gyorsuló mozgást végző forgó tömegek vannak, ezért egy dinamikai feladattal állunk szemben.
- Dinamikai feladatoknál a mozgásegyenletek vizsgálatából kell kiindulni. Ezek az egyenletek minden időpillanatban érvényesek.

$$M_1(t) - M_k(t) = J_1 \cdot \varepsilon_1(t) \quad (1)$$

$$M_k(t) - M_2(t) = J_2 \cdot \varepsilon_2(t) \quad (2)$$

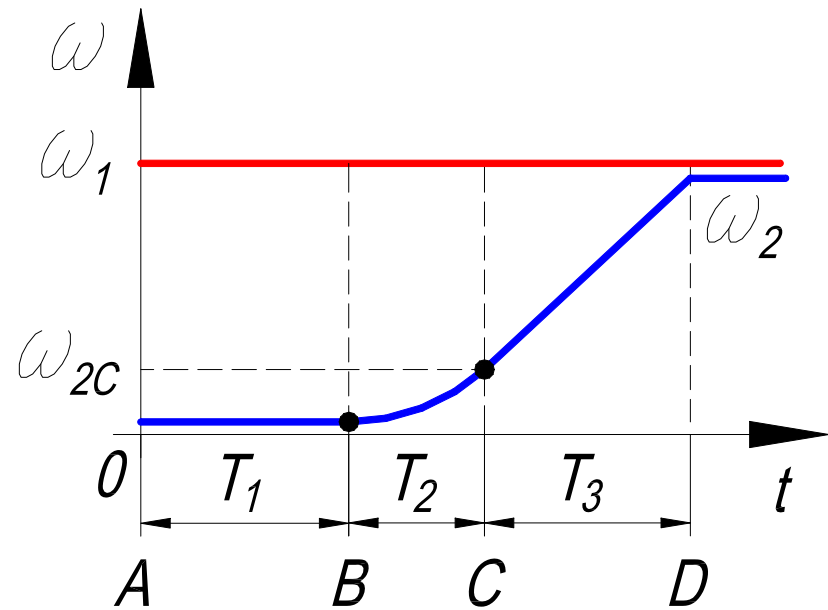
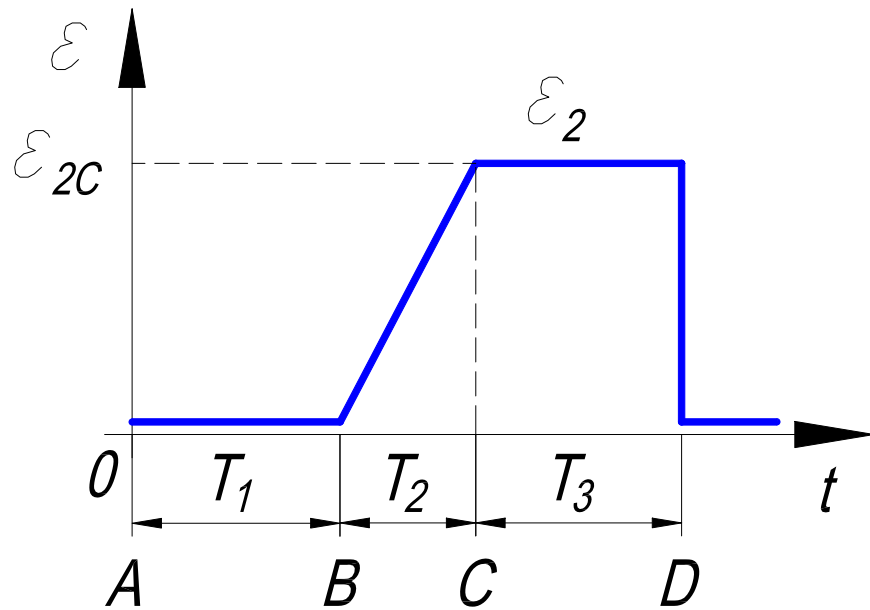
- A fenti két egyenlet és az adatok vizsgálatából be fogjuk látni, hogy a nyomatékok, szöggyorsulások és szögsebességek a következő függvények szerint változnak az időben.

■ Nyomatékok



Az (1) összefüggésből megállapítható, hogy $M_1(t) = M_k(t)$ mert ω_1 állandó és így $\varepsilon_1 = 0$. A nyomatékok és a szöggyorsulások időben változnak, de jellegzetes szakaszból állnak.

■ Szöggyorsulások és szögsebességek



■ A kapcsolódás első szakasza

A tengelykapcsoló csúszik, de a hajtott oldal nem mozdul meg.

Legyen $t=0$ időpont a bekapcsolás pillanata. Ezt jelöljük t_A -val.

$$M_k(t) = \frac{M_{k\max}}{t_{\max}} \cdot t \quad , \quad \varepsilon_2(t) = 0 \quad \rightarrow \quad M_2(t) = M_k(t)$$

Ez az időszak akkor ér véget, ha $M_2(t)$ elérte a maximális értékét. Ezt az időpontot jelöljük t_B -vel.

$$M_{2\max} = \frac{M_{k\max}}{t_{\max}} \cdot t_B \quad \rightarrow \quad t_B = \frac{M_{2nv}}{M_{k\max}} \cdot t_{\max} = \frac{600}{1080} \cdot 2 = 1.11 \cdot s$$

Az első időszak hossza tehát:

$$T_1 = t_B$$

$$T_1 = 1.11 \cdot s$$

■ A kapcsolódás második szakasza

A tengelykapcsoló csúszik, és a kapcsolónyomaték még nem érte el a maximumot.

Ez az időszak a t_B időpontban kezdődik és a $t_{\max}$ időpontban fejeződik be.

A befejezés időpontját jelöljük t_C -vel, azaz: $t_C = t_{\max}$

A második időszak hossza tehát: $T_2 = t_C - t_B = 2 - 1.11 = 0.89 \cdot s$

A hajtott oldal nem foroghat gyorsabban, mint a hajtó, ezért ellenőrizni kell, hogy az időszak végén a hajtott oldal szögsebessége kisebb, vagy egyenlő-e, mint a hajtó oldalé.

Először a szöggyorsulást számoljuk, majd a szögsebességet.

A (2) egyenlet alapján: $\varepsilon_2(t) = \frac{M_k(t) - M_{2nv}}{J_2}$ lineáris függvény.

Időszak elején: $\varepsilon_{2B} = \varepsilon_2(t_B) = \frac{600 - 600}{30} = 0 \cdot \frac{1}{s^2}$

Időszak végén: $\varepsilon_{2C} = \varepsilon_2(t_C) = \frac{M_{kmax} - M_{2nv}}{J_2} = \frac{1080 - 600}{30} = 16 \cdot \frac{1}{s^2}$

A szögsebesség az időszak végén egyenlő a szögygorsulás függvény integráljával, azaz a görbe alatti területtel. A görbe egy egyenes, ezért egy háromszög területét kell kiszámolni.

$$\omega_{2C} = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_{2C} \cdot T_2 = \frac{1}{2} \cdot 16 \cdot 0.89 = 7.11 \cdot \frac{1}{s}$$

Ez kisebb, mint $\omega_1 = 26.6 \frac{1}{s}$ hajtó szögsebesség, tehát megfelel.

■ A kapcsolódás harmadik szakasza

A tengelykapcsoló csúszik, és a kapcsolónyomaték a maximális.

Ez az időszak a t_C időpontban kezdődik és a t_D időpontban fejeződik be.

A harmadik szakaszban állandó nagyságú a kapcsolónyomaték és a terhelőnyomaték is, ezért a (2)-es egyenletből megállapítható, hogy a szöggyorsulás is állandó.

A szögsebességváltozást a szöggyorsulás függvény alatti terület adja meg a CD tartományban.

$$\omega_{2D} - \omega_{2C} = \varepsilon_{2C} \cdot T_3$$

A T_3 időpontban azonban $\omega_{2D} = \omega_1$ ismert, ezért T_3 számítható.

$$T_3 = \frac{\omega_1 - \omega_{2C}}{\varepsilon_{2C}} = \frac{26.6 - 7.11}{16} = 1.22 \cdot s$$

Az indítás teljes ideje alatt most már:

ismertek a

*nyomatékok,
szögsebességek és
idők, ezért*

számíthatók a

*teljesítmények és
munkák.*

■ Teljesítmények

A megfelelő nyomatékokat és szögsebességeket kell összeszorozni.

A következő teljesítményeket számoljuk ki:

Hajtó oldalon bevezetett telj.:

$$P_1(t) = M_1(t) \cdot \omega_1$$

Hajtott oldalon leadott telj.:

$$P_2(t) = M_2(t) \cdot \omega_2(t)$$

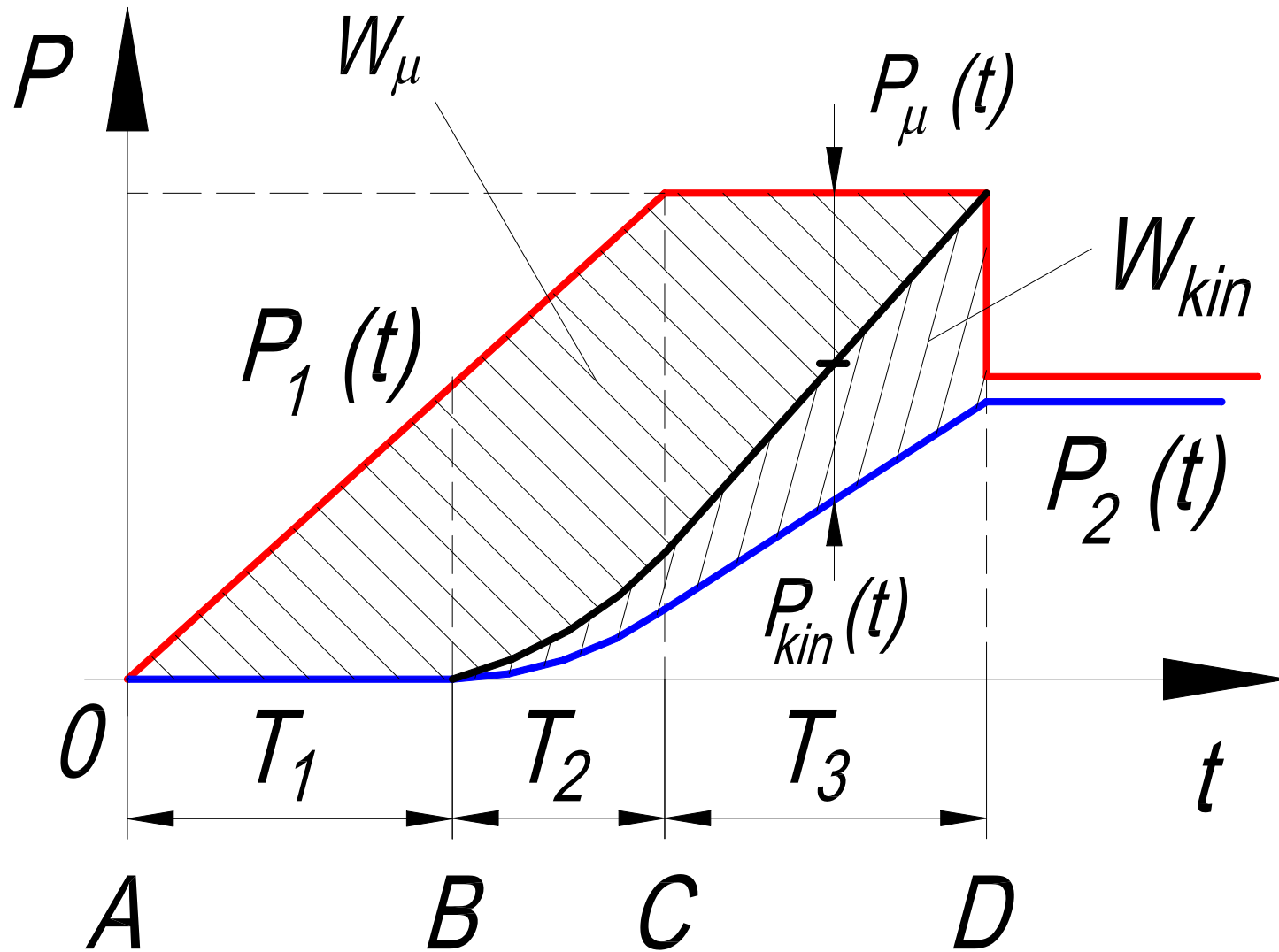
Hajtott oldal gyorsítására fordított telj.:

$$P_{\text{kin}}(t) = (M_k(t) - M_2(t)) \cdot \omega_2(t)$$

Súrlódási telj.

$$P_{\mu}(t)$$

A teljesítmények időbeli alakulására a következő függvényeket kapjuk.



■ A függvényértéke a jellegzetes pontokban

$$P_{1B} = M_{1B} \cdot \omega_{1B} = M_{2nv} \cdot \omega_1 = 600 \cdot 26.6 = 15960 \cdot W$$

$$P_{1C} = M_{1C} \cdot \omega_{1C} = M_{kmax} \cdot \omega_1 = 1080 \cdot 26.6 = 28728 \cdot W$$

$$P_{2C} = M_{2C} \cdot \omega_{2C} = M_{2nv} \cdot \omega_{2C} = 600 \cdot 7.11 = 4267 \cdot W$$

$$P_{2D} = M_{2D} \cdot \omega_{2D} = M_{2nv} \cdot \omega_1 = 600 \cdot 26.6 = 15960 \cdot W$$

$$P_{kinC} = (M_{kC} - M_{2C}) \omega_{2C} = (M_{kmax} - M_{2nv}) \cdot \omega_{2C} = \blacksquare$$

$$\blacksquare = (1080 - 600) \cdot 7.11 = 3413 \cdot W$$

$$P_{kinD} = (M_{kD} - M_{2D}) \omega_{2D} = (M_{kmax} - M_{2nv}) \cdot \omega_1 = \blacksquare$$

$$\blacksquare = (1080 - 600) \cdot 26.6 = 12768 \cdot W$$

- Lehetőségünk adódik a folyamat ellenőrzésére:
 - ◆ A D pontban teljesülnie kell annak, hogy a hajtott oldalon leadott és gyorsítási teljesítmény összege megegyezik a hajtó oldalon bevezetett teljesítménnyel, mert nincs súrlódási teljesítmény.

A feltétel teljesül.

$$P_{2D} + P_{kinD} = 28728 \cdot W$$

■ Munkák

A teljesítménygörbék alatti területek adják meg.

A következő munkákat számoljuk ki:

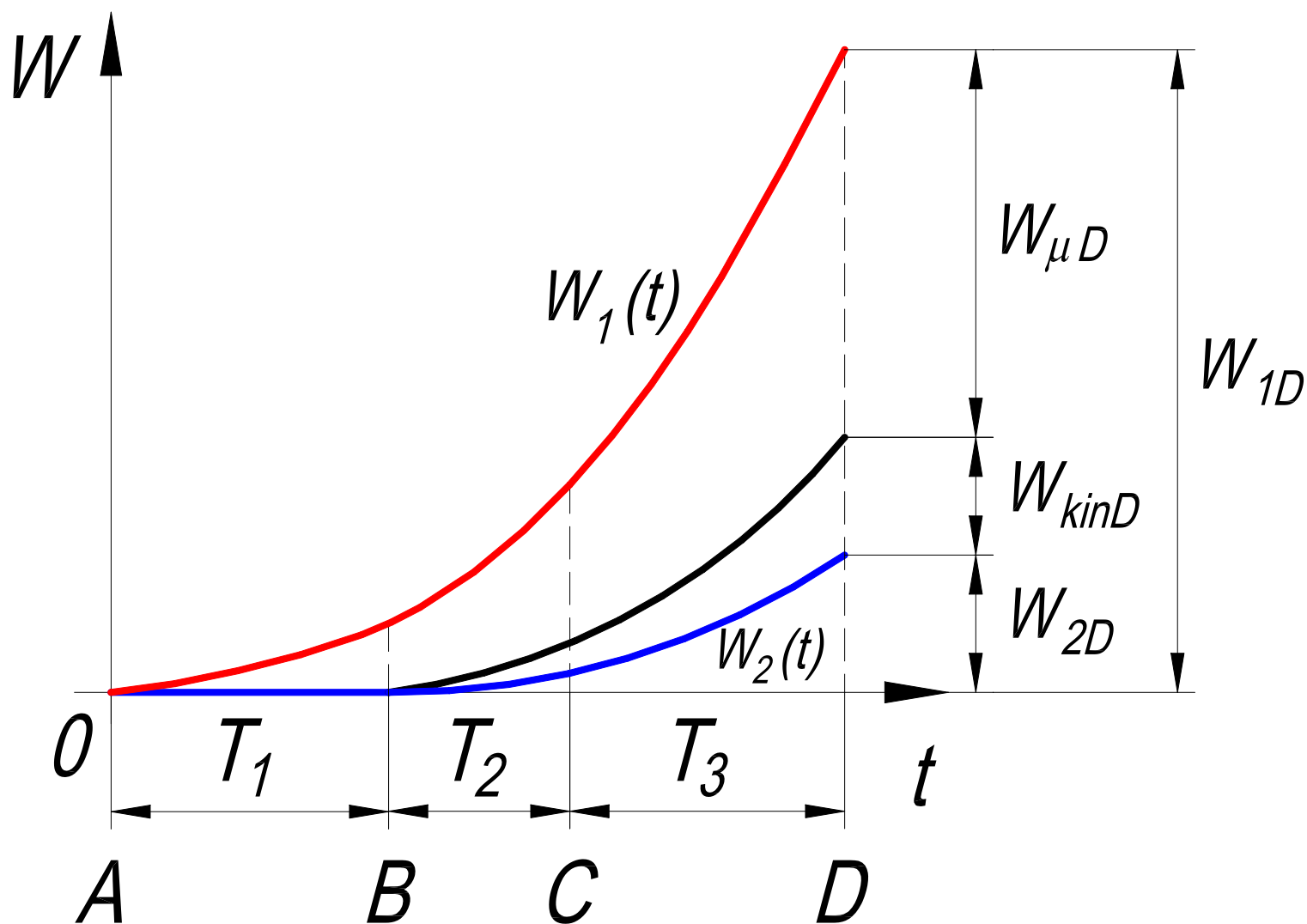
Hajtó oldalon bevezetett munka.: $W_1(t)$

Hajtott oldalon leadott munka: $W_2(t)$

Hajtott oldal gyorsítására fordított munka: $W_{\text{kin}}(t)$

Súrlódási munka: $W_{\mu}(t)$

A munkák időbeli alakulása



$$W_{1B} = \frac{1}{2} \cdot P_{1B} \cdot T_1 = \frac{1}{2} \cdot 15960 \cdot 1.11 = 8867 \cdot J$$

$$W_{1C} = \frac{1}{2} \cdot P_{1C} \cdot (T_1 + T_2) = \frac{1}{2} \cdot 28728 \cdot 2 = 28728 \cdot J$$

$$W_{1D} = W_{1C} + P_{1C} \cdot T_3 = 28728 + 28728 \cdot 1.22 = 63720 \cdot J$$

$$W_{2C} = \frac{1}{3} P_{2C} \cdot T_2 = \frac{1}{3} \cdot 4267 \cdot 0.89 = 1264 \cdot J \quad (\text{Parabola alatti terület.})$$

$$W_{2D} = W_{2C} + \frac{1}{2} (P_{2C} + P_{2D}) \cdot T_3 = 1264 + \frac{1}{2} \cdot (4267 + 15960) \cdot 1.22 = 13583 \cdot J$$

(Trapéz alatti terület)

$$W_{\text{kin}C} = \frac{1}{3} P_{\text{kin}C} \cdot T_2 = \frac{1}{3} \cdot 3413 \cdot 0.89 = 1011 \cdot J \quad (\text{Parabola alatti terület.})$$

$$W_{\text{kin}D} = W_{\text{kin}C} + \frac{1}{2} (P_{\text{kin}C} + P_{\text{kin}D}) \cdot T_3 = 1011 + \frac{1}{2} \cdot (3413 + 12768) \cdot 1.22 = \blacksquare$$

$\blacksquare = 10866 \cdot J \quad (\text{Trapéz alatti terület.})$

$$W_{\mu D} = W_{1D} - W_{2D} - W_{\text{kin}D} = 63720 - 13583 - 10866 = 39271 \cdot J$$

- A kiszámított súrlódási munka ismeretében a tengelykapcsoló melegedésre ellenőrizhető.

$$W_{\mu D} = 39271 \cdot J$$

Többlemezes tengelykapcsoló méretezése és ellenőrzése

■ Adatok

Csúszó felület jellemző méretaránya: $c=b/d_m=0.25$

Megengedett felületi nyomás: $p_{meg}=0.4 \text{ N/mm}^2$

Súrlódási tényező: $\mu = 0.1$

Nyomaték biztonsági tényezője: $n = 1.5$

Sebességtől függő tényező: $c_v = 0.85$

Csúszó felületepárok száma: $z = 10$

Csúszó felületepárok számától függő tényező: $c_z = 0.75$

Óránkénti kapcsolások száma: $m_k=50 \text{ 1/h}$

A kapcsolások számától függő tényező: $c_m = 1$

Megengedett fajlagos hőterhelés: $w_{meg} = 20 \cdot \frac{J}{\text{mm}^2 \cdot h}$

■ Méretezés

A kapcsolónyomaték maximuma az üzemi körülményeket figyelembevéve:

$$M_{\text{kü}} = \frac{n \cdot M_{2\text{nv}}}{c_m \cdot c_v \cdot c_z} = \frac{1.5 \cdot 600}{1 \cdot 0.85 \cdot 0.75} = 1412 \cdot \text{Nm}$$

A súrlódó felület középátmérője:

$$d_m = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot \frac{M_{\text{kü}}}{z}}{\mu \cdot \pi \cdot (3 \cdot c + c^3) \cdot p_{\text{meg}}}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot \frac{1412 \cdot 1000}{10}}{0.1 \cdot \pi \cdot (3 \cdot 0.25 + 0.25^3) \cdot 0.4}} = 206 \cdot \text{mm}$$

Külső és belső átmérő: $d_1 = d_m \cdot (1 + c) = 206 \cdot (1 + 0.25) = 258 \cdot \text{mm}$

$$d_2 = d_m \cdot (1 - c) = 206 \cdot (1 - 0.25) = 155 \cdot \text{mm}$$

A súrlódó felület nagysága:

$$A = z \cdot \frac{(d_1^2 - d_2^2) \cdot \pi}{4} = 10 \cdot \frac{(25.8^2 - 15.5^2) \cdot \pi}{4} = 3349 \cdot \text{cm}^2$$

■ Ellenőrzés melegedésre

Ellenőrzöm, hogy a kapcsoló hőterhelése kisebb-e, mint a megengedett.

Az óránként fejlődő hő számítható az egy kapcsoláskor fejlődött hő és a kapcsolások számának ismeretében (ez egy átlagos hőteljesítmény).

$$W_{\mu D} \cdot m_k = 39271 \cdot 50 = 1963550 \cdot \frac{\text{J}}{\text{h}}$$

Ennek egységnyi felületre jutó része a fajlagos hőterhelés:

$$w = \frac{W_{\mu D} \cdot m_k}{A} = \frac{1963550}{3349 \cdot 100} = 5.9 \cdot \frac{\text{J}}{\text{mm}^2 \cdot \text{h}}$$

Mivel $w_{\text{meg}} = 20 \frac{\text{J}}{\text{mm}^2 \cdot \text{h}}$

megengedett hőterhelés nagyobb, mint a tényleges, ezért melegedésre megfelel a kapcsoló.