

# Súrlódás mérés

## *Gyűrűpróba*

Dr. Reé András  
ree@eik.bme.hu

# Bevezetés

A **súrlódás** bonyolult jelenség, amit több alig kezelhető paraméter befolyásol (beleértve, de nem korlátozva, a nyomás, a hőmérséklet, a felületi minőség, légnedvesség, stb.).

A súrlódás **akadályozza a felületek elmozdulását és növeli az érintkező testek hőmérsékletét**. A súrlódás az **elmozdulást akadályozó erővel** jellemezhető.

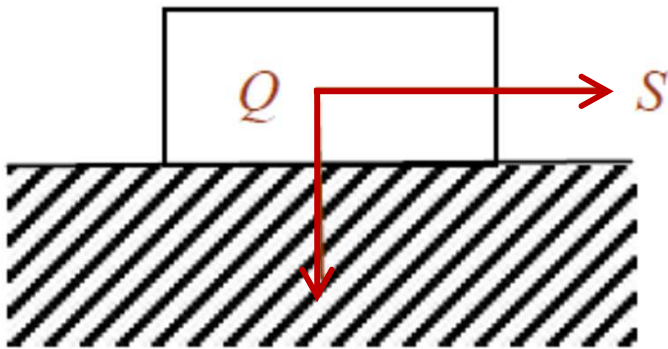
Az **alakító technológiák** esetében a felületek közötti **nyomás sokkal nagyobb**, mint a gépalkatrészek között, pl. csapágyak esetében. Értéke elérheti a **3000 MPa**-t, esetleg nagyobbat is.

A **gépalkatrészek** érintkező felületi pontjai **azonos sebességgel mozognak**. Alakító technológiáknál azonban a **képlékeny alakváltozás miatt** az érintkező felületek pontjainak sebessége **eltérő lehet**.

# Súrlódási modellek

## Amonton-Coulomb súrlódás (a nyomástól függ)

Az **A** felületű testet **Q** erő nyomja egy másik testhez:



$S = \mu Q$  erő szükséges a mozgáshoz

$$\frac{S}{A} = \mu \frac{Q}{A} \rightarrow \tau = \mu q \quad \mu \geq 0$$

Fémek alakításánál a max. érték tapadásnál:  $\mu_{max} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.577$

### **Ennél a modellenél:**

- A súrlódás egyenesen arányos a felületi nyomással.
- A súrlódás független a testek relatív sebességétől és a mozgás irányától.

# Súrlódási modellek

## Kudo (nyíró) súrlódás (az alakított anyagtól függ)

Ha az alakított anyag egy része (szürke térfogat) „tapad” a szerszámhoz a súrlódás miatt, a relatív elmozdulás az alakított anyagon belül történik. Ez akkor jöhet létre, ha a két test közötti nyírófeszültség eléri a az alakított anyag nyíró folyáshatárát:



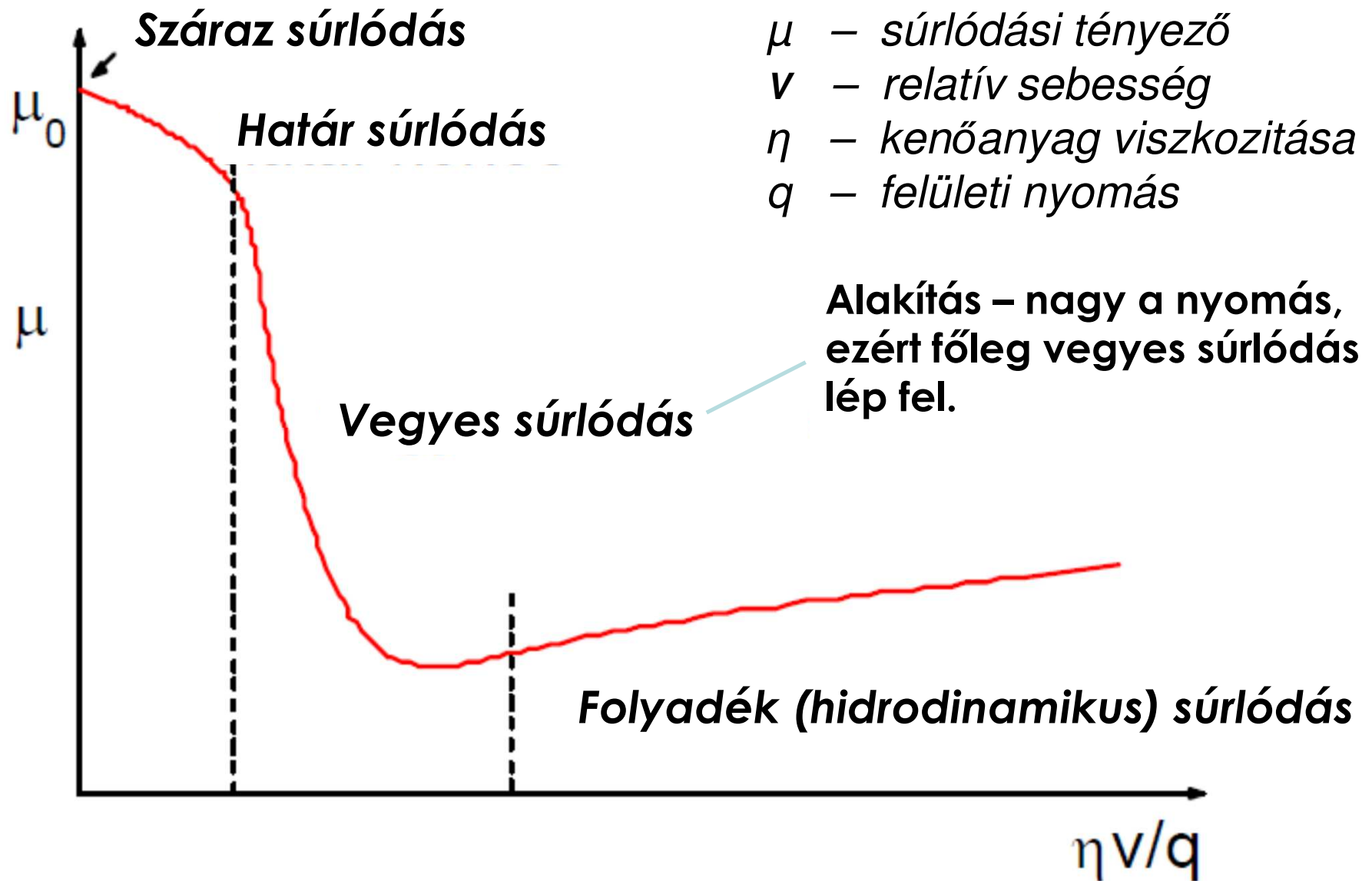
$$\tau = m \tau_{max} = m \tau_f$$

$$\tau_f = \frac{k_f}{\sqrt{3}} \quad (\text{HMH elmélet szerint})$$

$$\tau = m \frac{k_f}{\sqrt{3}} \quad 0 \leq m \leq 1$$

$m = 1$  esetén tapadás történik

# Stribeck diagram



# Mérési célok

A súrlódási mérések fő célja **a gyakorlatban** kenőanyagok adott körülmények közötti **összehasonlítása**.

Az idők során számos súrlódás mérési módszert fejlesztettek ki, többségük azonban **meglehetősen bonyolult**.

A legegyszerűbb technika a **gyűrűpróba**, ami nem kíván speciális berendezést.

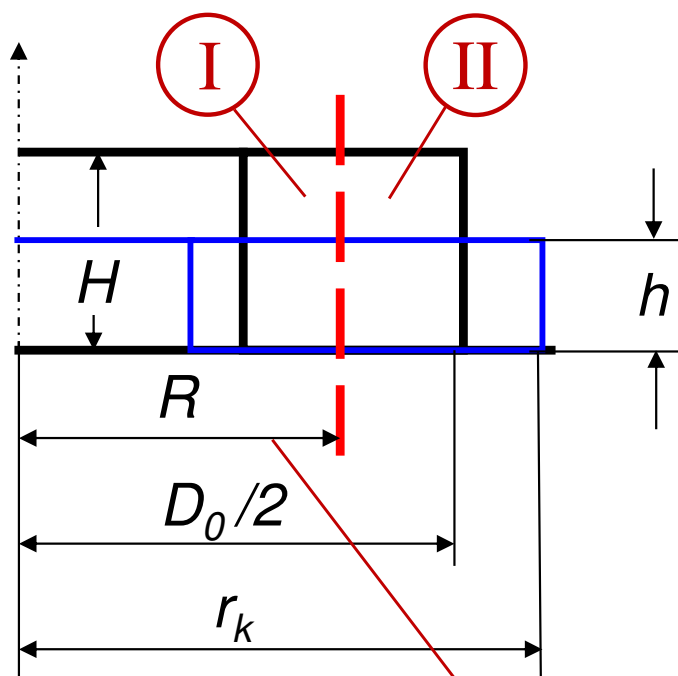
A méréshez **egyszerű szerszámozás** (zömítés párhuzamos felületek között), **egyszerű mérőeszköz** (tolómérő) és **egyszerű próbatest** (hengeres gyűrű) szükséges.

Ezek a feltételek bármelyik alakítással foglalkozó cégnél rendelkezésre állnak. (Erőmérés nem szükséges.)

Miután **a mérések szórása jelentős**, ezért több mérés és azok **statisztikus kiértékelése** ajánlott.

# Súrlódási tényező mérése

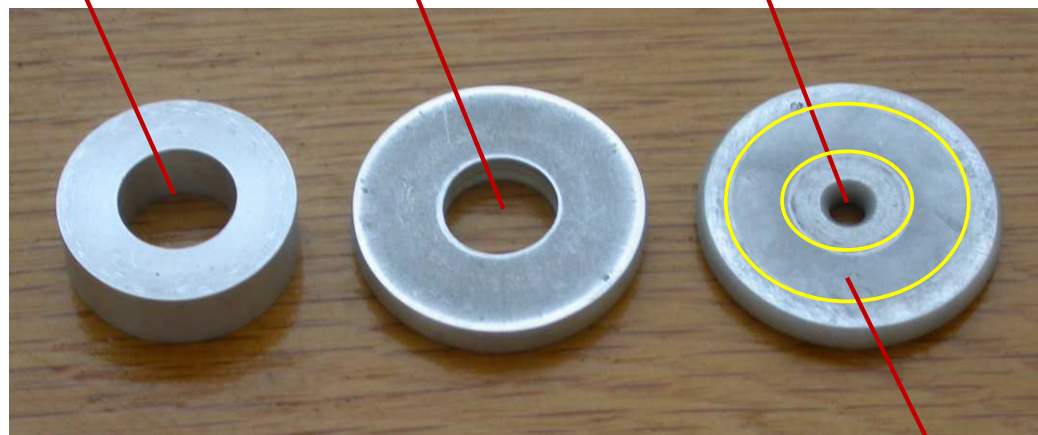
## Gyűrűzömítés



eredeti gyűrű

kis súrlódás

nagy súrlódás



semleges sugár (helyben marad)

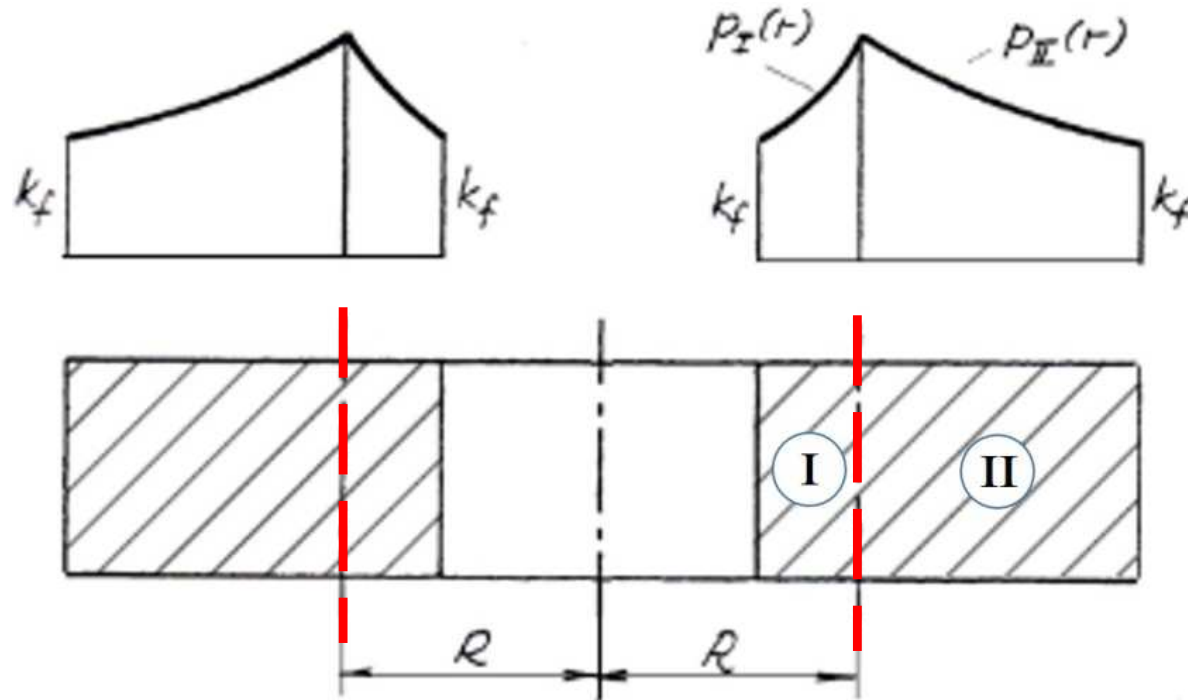
tapadó zóna

Az **I**-es térfogatban az anyag befelé, a **II**-es térfogatban kifelé folyik, a piros vonalon keresztül nincs anyagáramlás.



# Súrlódási tényező mérése

## Gyűrűzömítés

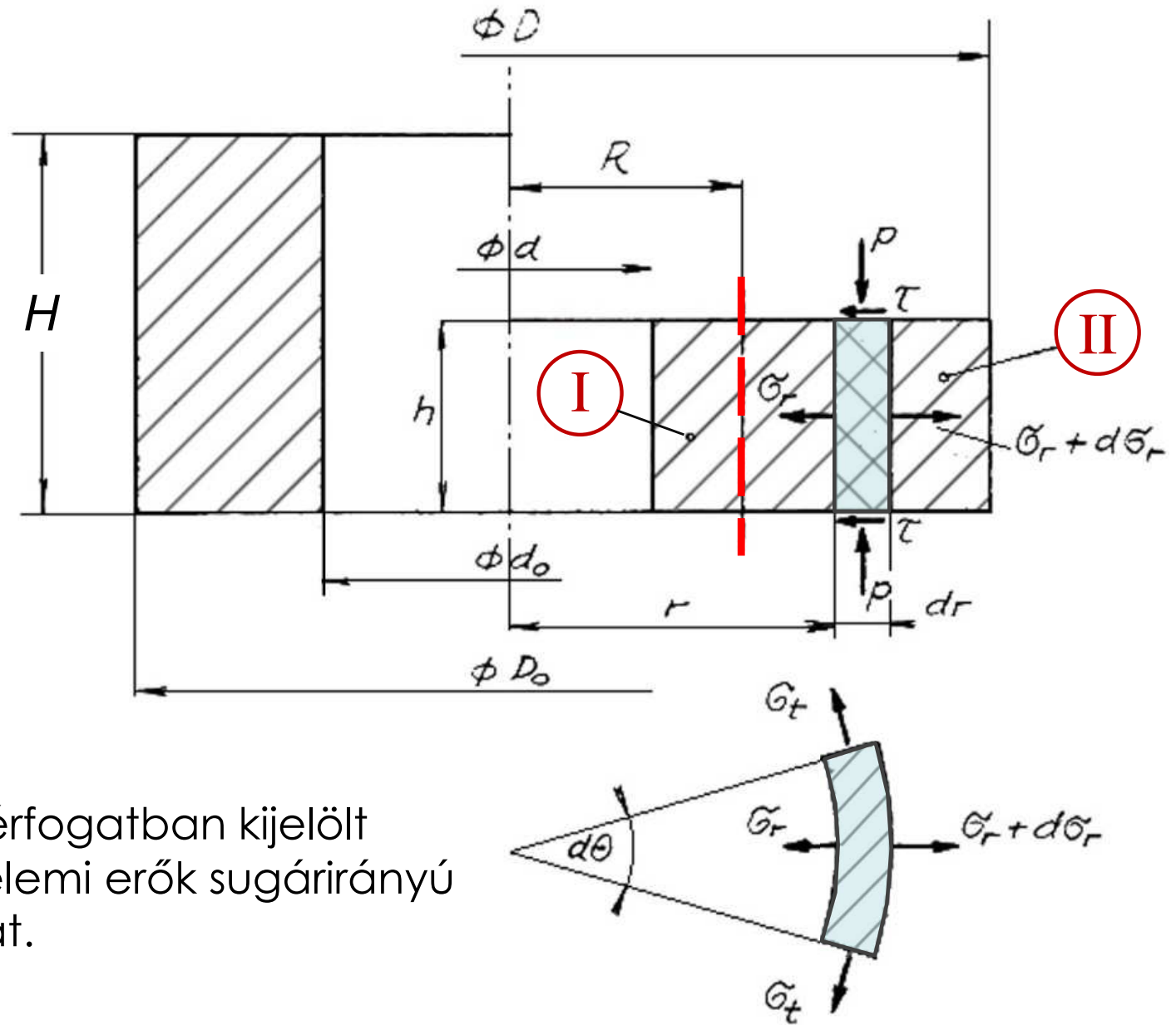


A piros vonalnál az axiális feszültség ( $p$ ) mindkét térfogatra azonos. A két térfogatra levezethető függvények egyenlősége **az  $r=R$  helyen egyenletet ad a súrlódási tényező számítására**. Egyenlőség írható fel a radiális feszültségekre is, de azok ellenkező előjelűek. Ezek az egyenletek bonyolultak, ezért a kiértékeléshez **a gyakorlatban nomogramokat** használunk.



# Súrlódási tényező mérése

## Gyűrűzömítés (átlagfeszültség módszer)



Vizsgáljuk a **II**-es térfogatban kijelölt elemi testre ható elemi erők sugárirányú statikai egyensúlyát.

# Súrlódási tényező mérése

## Gyűrűzömítés (átlagfeszültség módszer)

A kijelölt elemi testre felírt sugárirányú egyensúlyi egyenlet differenciál egyenletre vezet. A folyási feltétel behelyettesítése és a külső sugárra vonatkozóan felírt ( $r=D/2$ ,  $p_{II}=k_f$ ) peremfeltétellel  $p_{II}$ -re megoldott egyenletet szimbolikus formában felírva:

$$p_{II} = p_{II}(k_f, \text{geometria, súrlódás, } r)$$

Ugyanezt a belső térfogatra vonatkozóan végrehajtva adódik:

$$p_I = p_I(k_f, \text{geometria, súrlódás, } r)$$

Az alakítási szilárdság ( $k_f$ ) mindkét egyenlet esetében kiemelhető, és a semleges sugárnál ( $r = R$ ) a két egyenlet azonos eredményt kell adjon:

$$k_f p_I(\text{geometria, súrlódás, } R) = k_f p_{II}(\text{geometria, súrlódás, } R)$$

Az egyenletből így  $k_f$  kiesik, és azt más szimbolikus formában felírva:

$$F(\text{geometria, súrlódás, } R) = 0$$

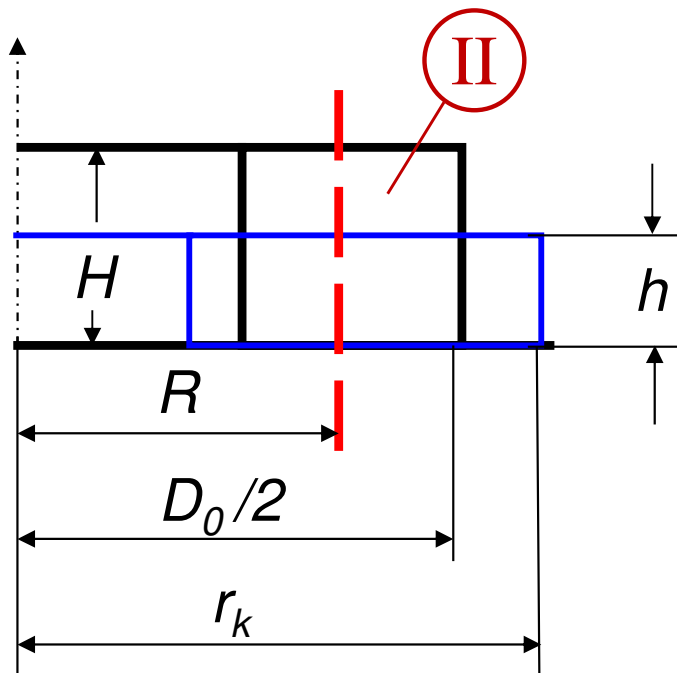
# Súrlódási tényező mérése

$$F(\text{geometry, súrlódás, } R) = 0$$

A kapott egyenletben a súrlódást a Coulomb vagy Kudo súrlódási tényező képviselheti, a mérés céljától függően.

Az  $R$  semleges sugár a térfogatállandóság alapján meghatározható az egyik térfogatból.

A térfogatállandóságot a külső térfogatra felírva:



$$\left(D_0^2 - 4R^2\right) \frac{\pi}{4} H = \left(r_k^2 - R^2\right) \pi h$$

$$R = \sqrt{\frac{D_0^2 H - 4r_k^2 h}{4(H - h)}}$$

# Súrlódási tényező mérése

Az egyenlet **Kudo** súrlódásra vonatkozóan:

$$\ln \frac{r_k^2 \left( R^2 + \sqrt{3r_b^4 + R^4} \right)}{r_b^2 \left( R^2 + \sqrt{3r_k^4 + R^4} \right)} = \frac{2m}{h} (r_k + r_b - 2R)$$

Ez az egyenlet **explicit Kudo súrlódásra (m)** (viszont **implicit**, ha a megoldást **Coulomb** súrlódásra vonatkozóan végezzük).

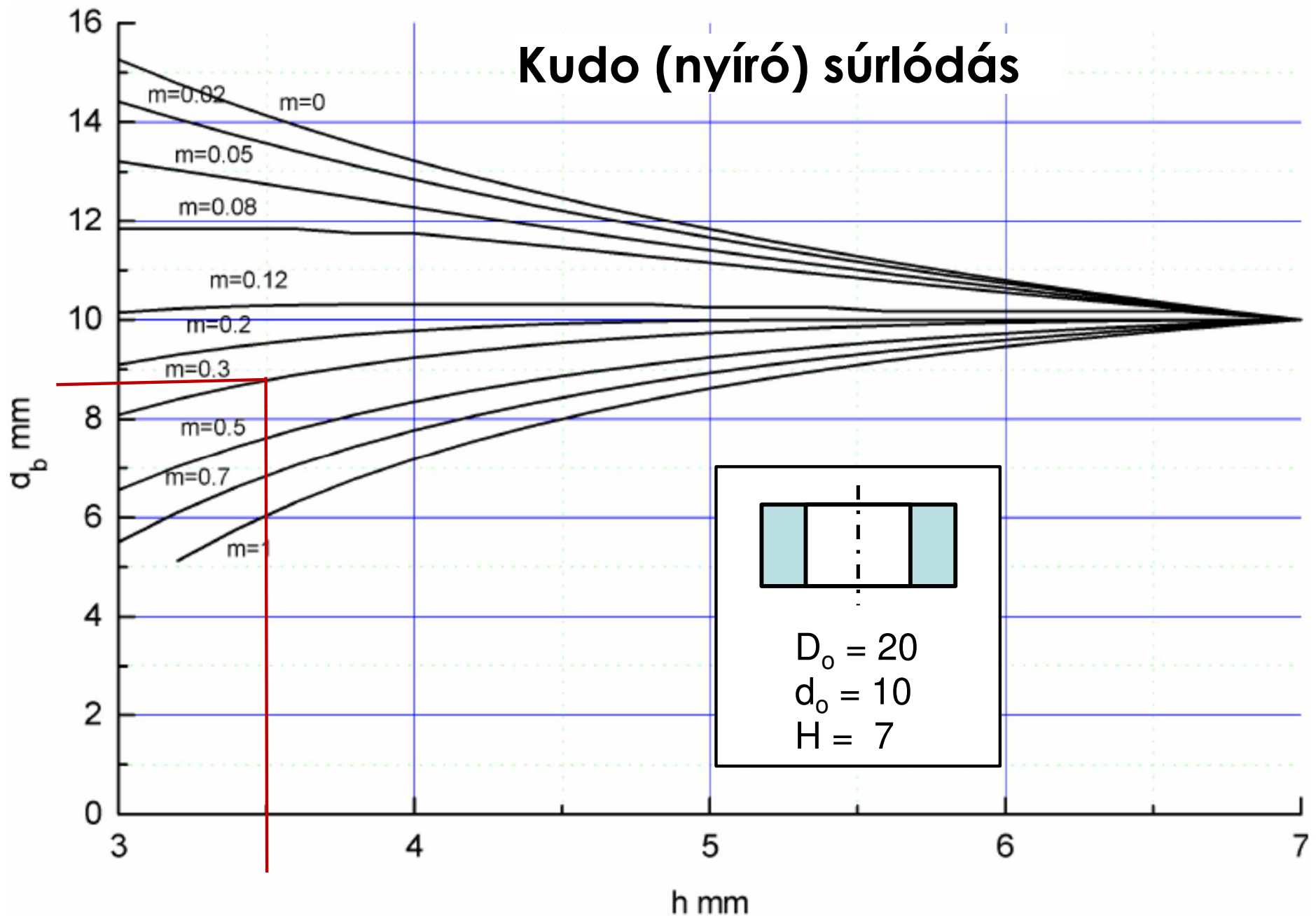
Az egyenlet használata lassú és kényelmetlen, ezért a gyakorlatban **nomogramokat** használunk a kiértékeléshez. A nomogramok pontjai számítógépen meghatározhatók mindkét súrlódási modellre és bármely adott kezdeti gyűrű geometriára.

A kiértékeléshez a zömített gyűrű **magasságát** és **belső átmérőjét** mérjük, mert az sokkal érzékenyebb a súrlódásra, mint a külső (7. dia).

**Hidegalakításra** a gyakorlatban általában használt gyűrűméret a **20/10/7** mm (külső átmérő/belső átmérő/magasság). Nagyobb hőmérsékleten **nagyobb térfogatú** gyűrűt célszerű használni annak nagyobb hőkapacitása miatt.

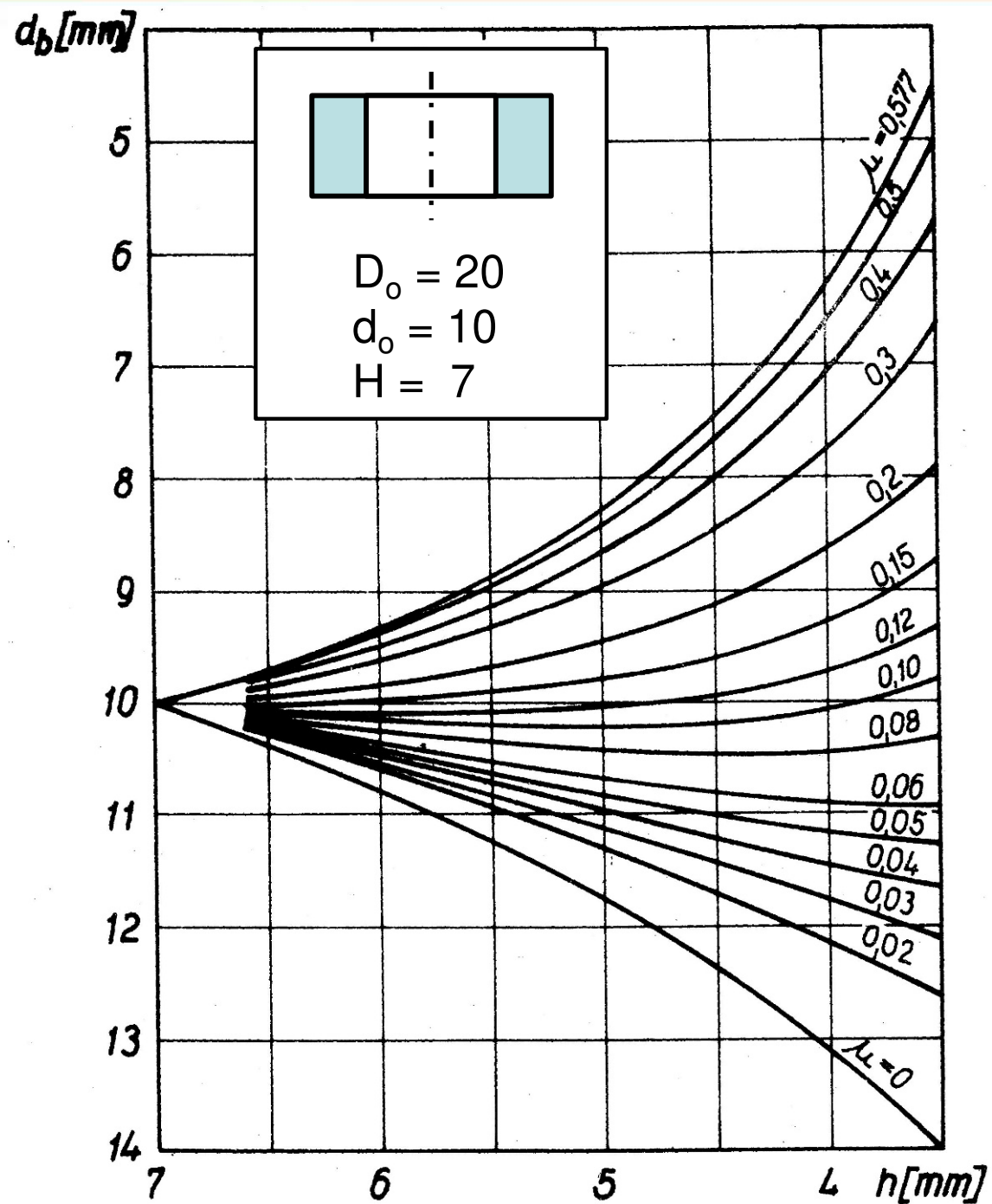
# Súrlódási tényező mérése

## Kudo (nyíró) súrlódás



# Súrlódási tényező mérése

Coulomb  
súrlódás





# Mérési feladat

## Kudo súrlódás mérése

Gyűrűméretek: 24/12/8,4; anyaguk AlMg3

Feltételek: szobahőmérséklet és 400°C  
száraz és ásványolaj kenés  
(száraz: acetonnal tisztítva)

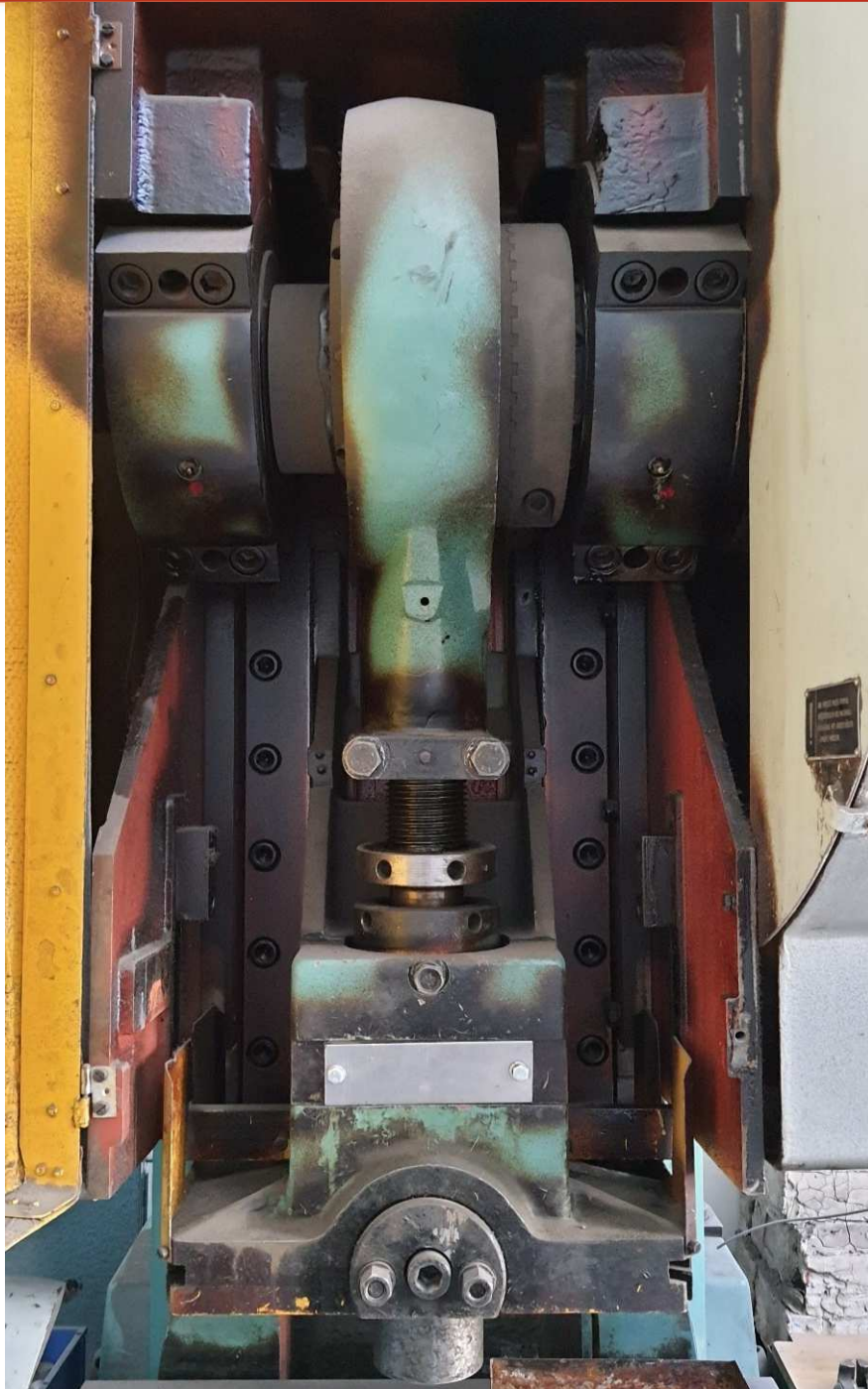


630 MN excenter prés



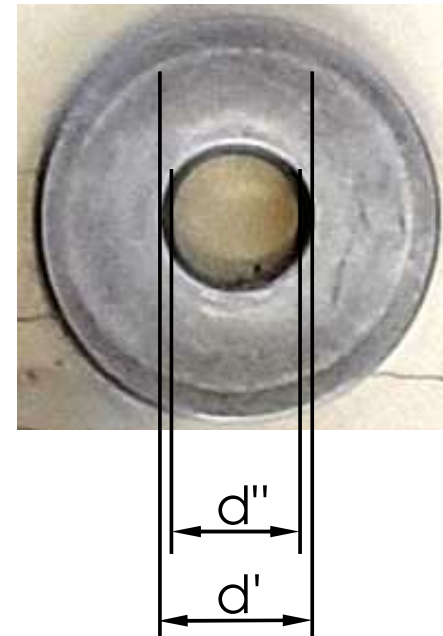
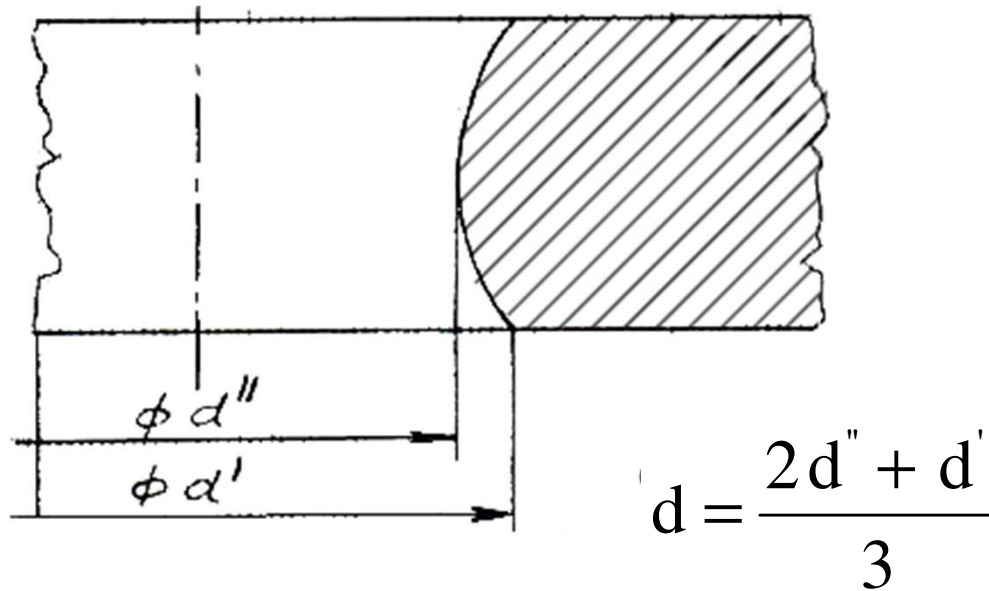


# Mérési feladat



# Mérési feladat

A zömített gyűrűk mérésekor a magasságmérés nem probléma. A belső átmérő mérését azonban megnehezíti a hordósodás. Ezért az ábra szerinti két átmérőt mérjük meg ( $d'$  és  $d''$ ), és ezekből számítjuk a mértékadó belső átmérőt ( $d$ ) az ábrán feltüntetett összefüggéssel.

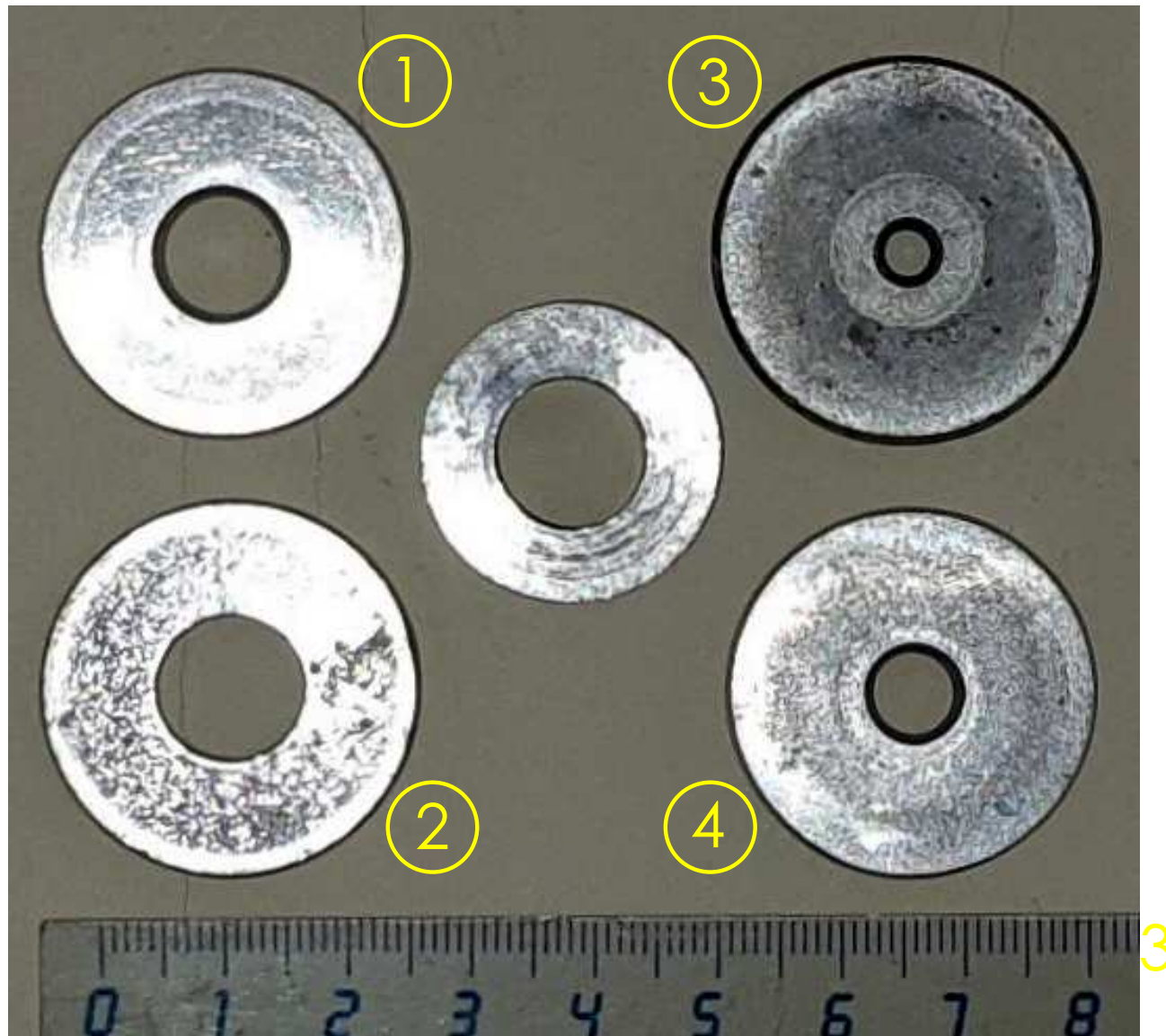


A következő dián szereplő fényképen kell lemérni  $d'$  és  $d''$  értékét a közepén látható eredeti gyűrű 12 mm-es belső átmérőjéhez képest.



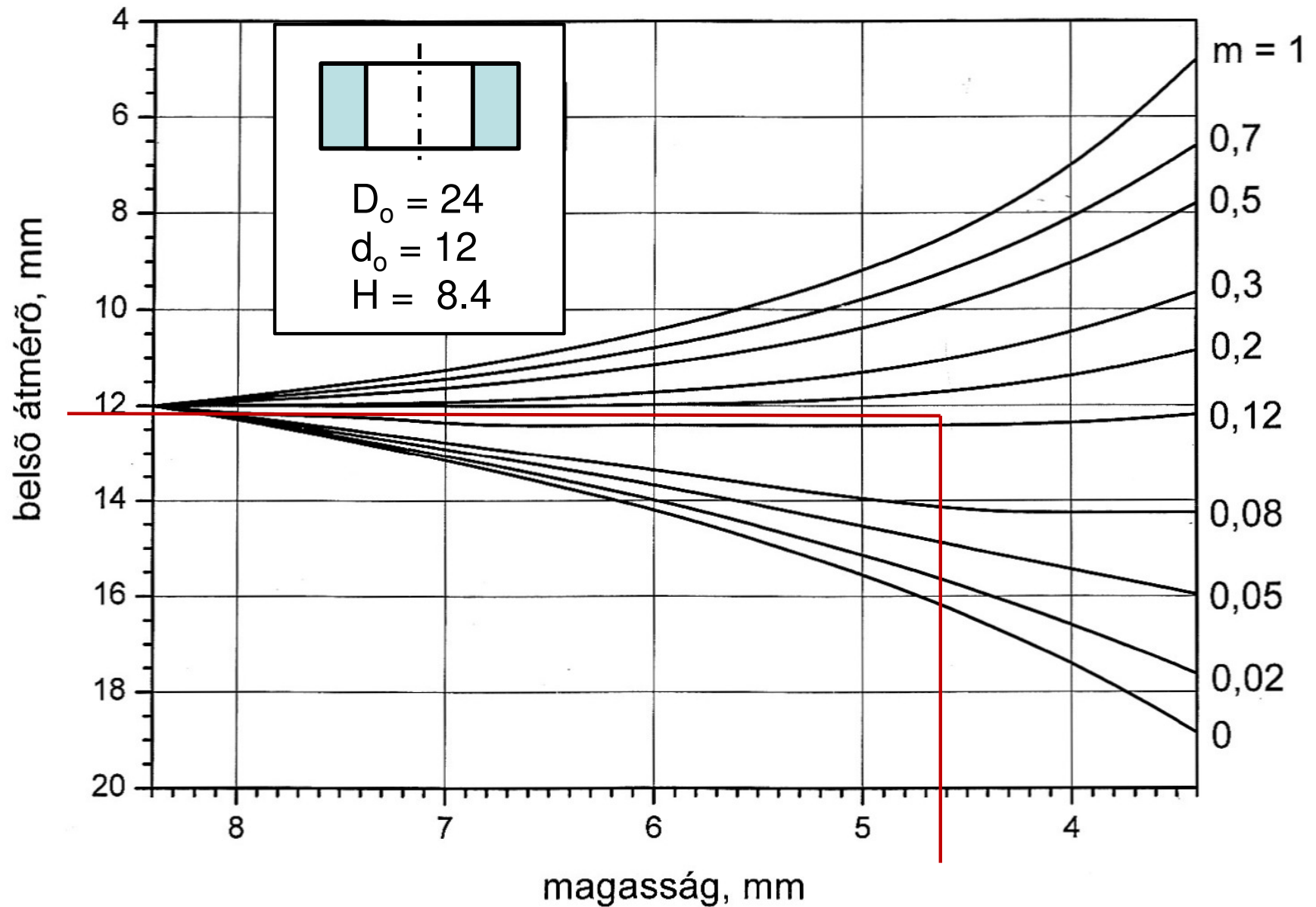
# Mérési feladat

Mérések kiértékelése on-line



# Súrlódási tényező mérése

## Kudo (nyíró) súrlódás



# Mérési feladat

## Mérési eredmények:

No.	Hőfok	Kenés	Magasság	Belső $\Phi$	Kudo
1	20	nincs	4,57		
2	20	olaj	4,62		
3	400	nincs	3,61		
4	400	olaj	3,70		

Az előző dián az 1. próbatest kiértékelése szerepel.

## Megállapítások:

- a kenés csökkenti a súrlódást;
- a növekvő hőmérséklet rontja a súrlódási viszonyokat (oxidising, burning the lubricant);
- a magasság különbségekből jól megfigyelhető az alakító gép rugalmas deformációjának változása, amit az alakított anyag alakítási szilárdság csökkenése okoz nagyobb hőmérsékleten.

Köszönöm a figyelmüket !