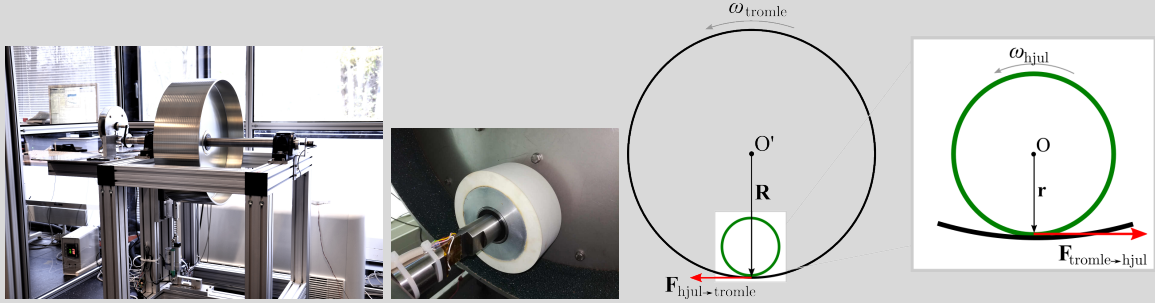


Faktaboks: Rullelab - Tina Hecksher, Aktuel Naturvidenskab 6-2023.

For at undersøge rullemodstandens afhængighed af forskellige parametre såsom belastning, hastighed, temperatur og overfladetekstur, byggede vi et rullemodstandslaboratorie. Princippet er en roterende tromle, som driver et hjul placeret på indersiden (se billede).



En motor driver rotationen af tromlen så omdrejningstallet er konstant, dvs. motoren leverer et kraftmoment som er præcis nok til at balancere modstanden. Det er dette kraftmoment vi måler og dermed har vi et mål for modstanden, som kommer fra forskellige kilder: gnidning i kuglelejer, luftmodstand og rullemodstand i hjulet. For at kunne isolere hjulets rullemodstand laves en såkaldt “skim test”. Det er en måling hvor hjulet akkurat bringes i kontakt med tromlen, således at det roterer når tromlen roterer, men uden belastning og dermed uden deformation af hjulet. I denne måling kommer alle bidrag til tabet på nær rullemodstanden med og dette bidrag kan så fratrækkes resultater med belastning.

Mere præcist, udnyttes det at vinkelaccelerationen er nul når tromle og hjul roterer med en konstant hastighed, og dermed at summen af kraftmomentvektorer må være nul for omdrejningspunktet af både tromle og hjul. For hjulets omdrejningspunkt, O , kan derfor skrives

$$\tau_{\text{hjul}}^O = \tau_{RR} + \mathbf{r} \times \mathbf{F}_{\text{tromle} \rightarrow \text{hjul}} + \tau_{\text{tab}}^{\text{hjul}} = \mathbf{0} \quad (1)$$

hvor τ_{RR} er kraftmomentet fra rullemodstanden, $\mathbf{r} \times \mathbf{F}_{\text{tromle} \rightarrow \text{hjul}}$ (se skitse) er kraftmomentet fra tromlen som driver rotationen, og $\tau_{\text{tab}}^{\text{hjul}}$ kommer fra øvrige tab såsom friktion i kuglelejer og luftmodstandmodstand. Ligeledes gælder for tromlens omdrejningspunkt, O'

$$\tau_{\text{tromle}}^{O'} = \tau_{\text{motor}} + \mathbf{R} \times \mathbf{F}_{\text{hjul} \rightarrow \text{tromle}} + \tau_{\text{tab}}^{\text{tromle}} = \mathbf{0}, \quad (2)$$

hvor τ_{motor} er kraftmomentet leveret fra motoren (altså det vi faktisk måler), $\mathbf{R} \times \mathbf{F}_{\text{hjul} \rightarrow \text{tromle}}$ er det kraftmoment fra hjulet der modvirker og $\tau_{\text{tab}}^{\text{tromle}}$ er det totale kraftmoment på tromlen, der kommer fra friktion i kuglelejer, luftmodstand, osv. z -komponenten af ligning (1) og ligning (2) bliver da

$$0 = -\tau_{RR} + rF_{\text{tromle} \rightarrow \text{hjul}} - \tau_{\text{tab}}^{\text{hjul}} \quad (3)$$

$$0 = \tau_{\text{motor}} - RF_{\text{hjul} \rightarrow \text{tromle}} - \tau_{\text{tab}}^{\text{tromle}} \quad (4)$$

På grund af princippet om aktion og reaktion (Newton's tredje lov) har vi at $\mathbf{F}_{\text{hjul} \rightarrow \text{tromle}} = -\mathbf{F}_{\text{tromle} \rightarrow \text{hjul}}$ (eller tilsvarende at størrelsen af kraften fra hjul på tromle er lig størrelsen af kraften fra tromlem på hjulet, $F_{\text{hjul} \rightarrow \text{tromle}} = F_{\text{tromle} \rightarrow \text{hjul}}$) og dermed fås

$$F_{\text{hjul} \rightarrow \text{tromle}} = \frac{1}{r} (\tau_{RR} + \tau_{\text{tab}}^{\text{hjul}}) = \frac{1}{R} (\tau_{\text{motor}} - \tau_{\text{tab}}^{\text{tromle}}) \quad (5)$$

hvilket giver følgende udtryk for motorens kraftmoment

$$\tau_{\text{motor}} = \tau_{\text{tab}}^{\text{tromle}} + \frac{R}{r} (\tau_{RR} + \tau_{\text{tab}}^{\text{hjul}}). \quad (6)$$

Fra vores “skim test” kan vi udlede tabsdelene. Her burde $\tau_{RR} = 0$, and dermed $\tau_{\text{motor}}^{\text{skim test}} = \tau_{\text{tab}}^{\text{tromle}} + \frac{R}{r} \tau_{\text{tab}}^{\text{hjul}}$. Rullemodstandskraften, F_{RR} , kan nu derfor findes ved at fratrække “skim test” fra målingen med belastning som følger

$$F_{RR} = \frac{\tau_{RR}}{r} = \frac{1}{R} (\tau_{\text{motor}} - \tau_{\text{motor}}^{\text{skim test}}), \quad (7)$$

hvor τ_{motor} er den målte størrelse med og uden belastning.