

# Regneøvelse med kunstig tyngde

Ophold i vægtløs tilstand er en udfordring for kroppen af flere årsager. Vi mister både knogle- og muskelmasse – også selvom der bruges tid på fysisk træning. Kroppens mekanisme til at regulere blodtryk, når vi rejser os op, bliver forstyrret. En måde at undgå disse problemer er at lave en roterende rumstation, hvor der skabes et kunstigt tyngdefelt i form af centripetalkraft.

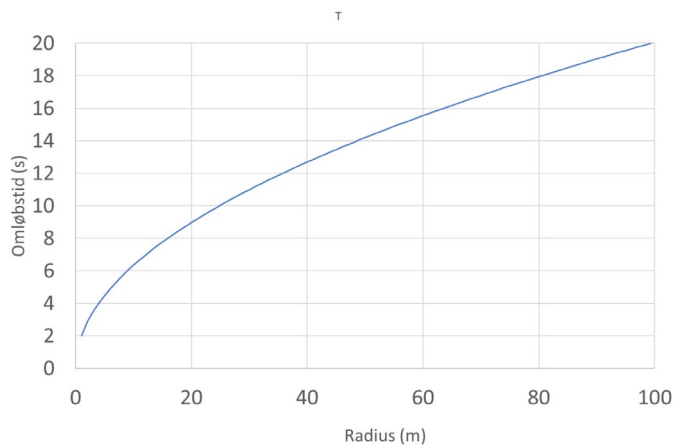
En enkel (men teknisk udfordrende) måde at gøre det på er at lave et ringformet roterende modul.

Centripetalkraften ved cirkulær bevægelse er givet ved

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

hvor  $m$  er massen,  $v$  er hastigheden af cirkelbevægelsen (tangentialhastigheden), og  $r$  er afstanden til den roterende bevægelses centrum.

Hvis man ønsker et kunstigt tyngdefelt på 1 G, kan man bestemme sammenhængen mellem omløbstid og radius for ringen, som det ses i diagrammet herunder:



Credit: NASA/MSFC

## Regneøvelse med kunstig tyngde

Er 1 G passende, eller er der et bedre valg?

- Forestil jer en roterende ring med et gulv i en afstand fra rotationsaksen på a) 2 m, b) 50 m og c) 100 m. Hvis man er 180 cm høj, hvor stor forskel vil der så være på tyngdefeltet i gulvhøjde og i hovedhøjde?
- Hvilken radius bør ringen have? Argumentér for jeres valg.
- Hvilken kunstig tyngdekraft vil man føle i centrum af den roterende ring?
- Vil det være praktisk, at hele stationen roterer?

Når man bevæger sig fra centrum af ringen og ud mod kanten, vil man mærke en stigende tyngdekraft, når man nærmer sig ringens ydre diameter. Beslut jer for en radius af ringen, og beregn, hvordan tyngdefeltet varierer fra centrum og ud til ringen.

- Hvis man lader sig glide “ned” ad en stang fra centrum og ud til ringen, hvilke kræfter vil man så blive påvirket af?
- Hvis man står “nede” på gulvet i ringen, vil man hele tiden bevæge sig rundt i ringen med hastigheden  $v$ . Bestem denne hastighed.
- Forestil jer nu, at I står i ringen og kaster en tennisbold med samme hastighed,  $v$ , modsat omløbsretningen. Hvordan vil de personer, der står i ringen, se bolden bevæge sig?

En alternativ måde at skabe et kunstigt tyngdefelt er at lade et udbrændt rakettrin og selve rumstationen kredse om et fælles massemidtpunkt. Rakettrinnet og rumstationen skal forbindes med en wire.

Antag, at selve rumstationen vejer 420 ton (ligesom ISS), og at rakettrinnet vejer 21 ton.

Lad rumstationen kredse om det fælles massemidtpunkt i en cirkel med en radius på 100 m.

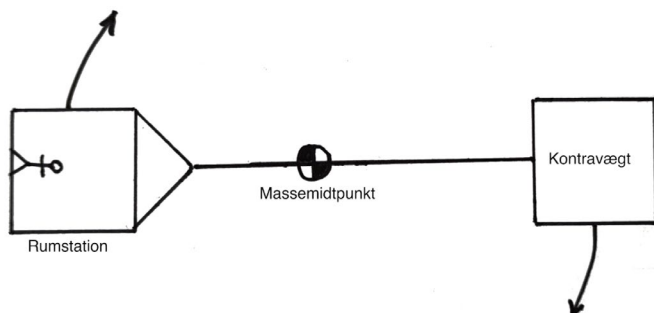
- Hvad skal omløbstiden være for at skabe et tyngdefelt på 1 G?
- Hvor stor en kraft vil wiren trække i rumstationen med?
- Hvor stor en kraft vil wiren trække i rakettrinnet med?
- Hvor tyk skal wiren være for at holde til belastningen? Brug [dette link](#).

## Steel strand calculator

<b>Number of wires (3-61)</b>	61
<b>Dimension of each wire (mm)</b>	3,00
<b>Tensile Strength (N/mm<sup>2</sup>)</b>	1370
<b>Strand diameter (mm)</b>	27.0
<b>Steel Area (mm<sup>2</sup>)</b>	431.2
<b>Weight (kg/m)</b>	3.43
<b>Calculated Breaking load* (kg)</b>	60155

\* This is a calculated value based on the sum of the total steel area multiplied with the tensile strength of each wire. No consideration is taken to the eventual reduction in tensile strength during the stranding process.

## Regneøvelse med kunstig tyngde



Eksempel på rumstation med kunstig tyngdekraft. Hele strukturen vil rotere omkring sit fælles massemidtpunkt, så hvis rumstationen vejer mere end kontravægten, vil omdrejningspunktet være tættere på rumstationen. Skitsen er lidt fortegnet, da kablet mellem rumstation og kontravægt typisk vil være meget langt sammenlignet med størrelsen på rumstationen.

### Hvor lang skal wiren være?

Hvis to legemer med masserne  $m_1$  og  $m_2$  er bundet sammen med en snor med længden  $d$  vil deres fælles massemidtpunkt ligge i afstanden

$$x = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot d$$

fra  $m_1$ . Hvis rumstationen vejer 420 ton, og rakettrinnet vejer 100 ton, og rumstationen skal være 100 m fra massemidtpunktet, skal wiren altså have en længde på

$$d = \frac{m_1 + m_2}{m_1} \cdot x = \frac{(420 + 100) \text{ t}}{100 \text{ t}} \cdot 100 \text{ m} = 520 \text{ m}$$

Hvis wiren vejer 23,5 kg/m giver det en samlet vægt af wiren på 12,22 ton. En Kevlar-line har en brudstyrke på ca. 5 gange mere end en stålwire af samme vægt. Hvor mange kg Kevlar-wire skal der bruges for at holde sammen på rakettrin og rumstation?

# Konstruktionsøvelse med kunstig tyngde

## Baggrund

Kunstig tyngde kan opnås i et roterende hjul, hvor astronauterne kan bevæge sig rundt på et "gulv" i hjulet. Det vil dog kræve, at hjulet aktivt afbalanceres. Hvis alle astronauter samles på et sted i hjulet, skal der kompenseres med en lige så stor vægt på hjulets modsatte side.

## Opgave

Lav en model af en roterende rumstation i form af f.eks. et roterende cykelhjul. Montér et system af sensorer på hjulet eller akslen, der overvåger, om hjulet er afbalanceret, eller om det ryster. Signalerne fra sensoren skal analyseres, og der skal beregnes, hvor stor en kontravægt der skal bruges, og hvor den skal placeres.

Test systemet ved at sætte en vægt på hjulet, og undersøg om jeres software rammer rigtigt med hensyn til størrelsen og placeringen af den kompenserende vægt.

Overvej, hvordan man evt. kan have et system af kontravægte, der automatisk kan flyttes rundt. Evt. i form af væske, der pumpes rundt mellem et system af tanke.