

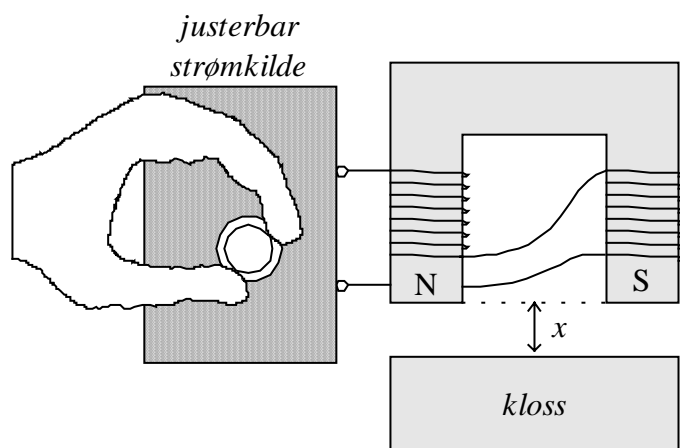
# Magnetisk svevetog

Menneskene har alltid ønsket å kunne fly. Siden vi ikke kan oppheve tyngdekraftas virkning, må vi prøve å lage ei løftekraft som kan motvirke den. Ballonger, luftskip og fly er kjente metoder. Men mange av oss har i vår barndom lekt oss med magneter, som man kan bruke til å skyve eller dra ting uten at man berører dem. Kan man kanskje bruke magneter til å få et fartøy til å sveve?

## Et magnet-eksperiment

Legg en liten stålkloss på et bord under en magnet. Prøv å holde magneten akkurat så høyt at klossen løfter seg fra bordet og svever under magneten i konstant avstand fra den. Du vil fort oppdage at enten smeller klossen opp i magneten, eller den blir liggende på bordet. Magnet-kloss-systemet er et eksempel på det som i kybernetikken kalles et *\*ustabilt system\**. Felles for slike er at de av seg sjøl fjerner seg fra den tilstanden hvor systemet er i likevekt. Sjøl om man omhyggelig velger en start-avtstand hvor krafta fra magneten akkurat svarer til klossens vekt, så vil klossen spontant enten falle ned eller ”klikke opp” fra likevektsposisjonen. Løfte-krafta fra magneten endrer seg etter formelen  $1/x^2$ , der  $x$  er avstanden (”luftgapet” i fag-sjargong) mellom magnet og kloss. Kommer klossen littegrann over likevektspunktet øker derfor krafta og drar den enda nærmere magneten, noe som øker løftekrafta enda mer. Kommer den litt nedenfor likevektspunktet, avtar krafta og den begynner å falle, løftekrafta avtar enda mer, og klossen faller fortare. Uansett hvor presist du stiller inn magneten over klossen, så får du ikke klossen til å sveve.

Du prøver så noe mer avansert: I stedet for en *\*permanent\** magnet (det vi bare kaller ”magnet” i dagligtale), så rigger du til en *\*elektro\** magnet, som vist i figur 1.



Figur 1

Den består av bløtt stål med kopperviklinger rundt. Du monterer den i et stativ og plasserer klossen på et underlag. Forsiktig øker du så strømmen gjennom viklingene og dermed elektromagnetens styrke, ved hjelp av en justerbar strømkilde. Men utfallet blir det samme. Klossen forblir i ro til den plutselig klikker opp i magneten når strømmen blir stor nok.

## Automatisk regulering

I stedet for å styre strømmen manuelt, kan man måle klossens avstand elektronisk, og la målinga styre strømmen til elektromagneten. Systemet reguleres nå automatisk. Man har en ”lur elektronisk boks” (en \*regulator\*) som, basert på målt avstand, sender ut akkurat den riktige strømmen. For å konstruere regulatoren kreves en matematisk modell av magnet-kloss-systemet. Bare med slik automatisk regulering kan man få klossen til å sveve stabilt under magneten!

Magnet-kloss-systemet er et eksempel på et system som ikke \*kan\* styres manuelt. Dette står i motsetning til velkjente systemer som husoppvarming (termostat er ikke strengt tatt nødvendig, temperaturen kan godt styres av deg ved at du slår ovnene av og på ettersom det blir for varmt eller kaldt), eller bilkjøring (automatisk fartsregulering – ”cruise control” – er ikke nødvendig, du kan holde hastigheten ved hjelp av foten på gasspedalen).

## Svevetog

I Tyskland har man siden tidlig på 80-tallet eksperimentert med ekstremt hurtige tog basert på prinsippet med svevende kloss og magnet, se figur 2. Toget er døpt \*Transrapid\*.



Figur 2



Figur 3

Som det framgår av figur 3, omslutes sporet av togets nedre del. Dermed kan toget holdes svevende ved magnetisk tiltrekning mellom togets nedre del og undersiden av sporet. Det er elektromagneter både i sporet og i toget. Luftgapet er 1 cm, og skal ikke variere mer enn 1 mm opp og ned. Å holde denne avstanden innafor så snevre grenser i en hastighet på 3–500 km/t er en avansert oppgave for et reguleringsystem, og det krever stor presisjon på banelegemet. Men det virker: Tyskerne har kjørt toget på en 3 miles prøvebane i 13 år, og forbedret det hele tida. 250.000 betalende passasjerer har prøvd det. Siste versjon er 80 m lang og har 190 plasser. Toget er konstruert for maks. 550 km/time. Framdrift av toget foregår ved at elektromagnetene på sporet og i toget ikke bare løfter; de fungerer også som henholdsvis \*stator\* og \*rotor\* i en elektromotor. Statoren er den ubevegelige ytre delen av en elektromotor, og svarer til sporet for svevetoget. Rotoren er den indre bevegelige del av en elektromotor, og svarer til togets nedre del. Man har med andre ord ”rettet ut” en elektromotor til en lang remse. Sporet er i hele sin lengde å betrakte som en del av ”motoren”. Dette gjør det ganske dyrt (i forhold til et vanlig tog hvor man bare trenger skinner i stål, og kjøreledning), fordi sporet hele veien må utstyres med tett plasserte og elektronisk styrte elektromagneter.

### Miljøvennlig

Siden det ikke er noen berøring mellom Transrapid og sporet, blir komforten maksimal og støyen minimal. Transrapid i 300 km/t lager samme støy som et forstadstog i 80 km/t. Og friksjonen blir lav, nesten bare luftmotstanden. Pr. passasjer og kilometer medfører Transrapids energiforbruk et CO<sub>2</sub>-utslipp på linje med et langsommere høyhastighetstog, og seks ganger mindre enn et mellomdistansefly. Banelegemet tar mindre plass enn en tilsvarende høyhastighets tog-trase, og kan ha skarpere kurver og brattere stigning. Dermed trengs det ikke så store inngrep i

landskapet. Banelegemet kan også plasseres på søyler over bakken, og opptar derfor i mindre grad jordbruks- og andre arealer.

Når kommer dette?

Teknologisk sett er systemet modent, det har det bevist ved 15 års testkjøring og viderutvikling. Men prisen, og det at dette er nytt og dramatisk forskjellig fra jernbane, har vært et stort hinder for å realisere Transrapid i Tyskland. Inntil februar i fjor var det bestemt av Forbundsagen at den første Transrapid-strekninga skulle bygges – 300 km mellom Hamburg og Berlin. Men så blei det skrinlagt likevel, også på grunn av motstand fra miljøvernere. Dette siste er merkelig, siden et svevetog-nett i Europa vil redusere den mye mer miljøskadelige flytrafikken dramatisk. Transrapid har likevel fått en ny sjanse etter at den kinesiske regjeringa tidlig i år bestilte en bane mellom Shanghai og byens flyplass, en strekning på 30 km.

Ny elegant amerikansk løsning

I Lawrence Livermore-laboratoriet i USA har en forskergruppe demonstrert et radikalt annerledes \*Maglev\* ("magnetic levitation")-konsept, kalt \*Inductrac\*: I stedet for at toget tiltrekkes banelegemet, så frastøtes det. I bunnen av toget sitter meget kraftige permanentmagneter, med nord- og sørpol annenhver gang i togets lengderetning. Ved stillstand hviler toget på små hjul på underlaget. I banelegemet ligger rektangulære løkker av kopper eller aluminium, på høykant og på tvers av fartsretninga, slik at øvre del av løkkene ligger i flukt med underlaget. Når toget m/ magneter begynner å bevege seg framover, varierer magnetfeltet gjennom hver løkke i takt med skiftende magnetpoler som passerer. Det vil da oppstå en vekselstrøm i hver løkke (dette kalles elektromagnetisk induksjon) som virker slik at løkkene utøver en bremskraft på toget. Men etterhvert som hastigheten økes, vil samspillet mellom togets magneter og løkker i banelegemet bli slik at krafta peker nesten rett oppover, ikke mot fartsretninga. Det kan sammenlignes med å stå på vannski, eller med et planende båtskrog: Ved lav fart er motstanden stor, men over en viss fart glir båten/vannskia "oppå" vannet. Ved 500 km/t flyter toget over løkkene, med et luftgap på flere cm (mer enn for Transrapid). Og dette er sjølstabiliserende, for hvis en ytre kraft presser ned mot toget, vil motkrafta øke – det blir som å presse like magnetpoler mot hverandre. Altså trengs ikke regulering av luftgapet.

Denne løsninga har også en annen viktig fordel: Banelegemet blir billigere fordi det ikke trengs jernfylte spoler, men bare enkle løkker av kopper eller aluminium. Noen av løkkene vil bli tilført strømpulser fra nettet. Disse øver kraft på magnetene og driver toget framover. Som for Transrapid vil toget tilsvare rotor og banelegemet tilsvare stator i "elektromotoren".

Inductrac er i prinsippet ikke så ulikt en tredje Maglev-løsning som japanerne har hatt i prøvedrift i noen år, men denne er svært dyr og (unødig) komplisert, fordi magnetfeltet lages av elektromagneter i toget som må holdes nedkjølt nær det absolutte nullpunkt (-273 grader Celsius) for å virke.

Hvem vinner?

Så vidt jeg kan bedømme, er den amerikanske løsninga smartest. Men tyskerne har 15 års forsprang i utvikling og uttesting. Spørsmålet er om Transrapid p.g.a. dette og prosjektet i Shanghai vil sette en standard som gjør at Inductrac ikke får en rimelig sjanse. Den amerikanske forskergruppa har på sin side fått et tre års prosjekt for NASA hvor de skal teste ut magnetisk levitasjon, riktignok for et annet formål: Ei "vogn" for raketter som akselererer dem opp langs ei rampe til nesten lydhastighet, før rakettmotoren tennes og raketten tar av fra vogna. Fordi rakettmotorer utnytter brensel veldig dårlig ved lave hastigheter ("lift-off"), kan man på denne måten gjøre rakettene kanskje 30% lettere, og derfor kunne plassere en nyttelast i bane rundt jorda med mye mindre energiforbruk og kostnader. Og vogna kan brukes om igjen ved neste utskyting.

Kilder:

<http://www.transrapid.de/>

<http://www.llnl.gov/str/Post.html>