

Prosjekt i FY 1303 Elektrisitet og magnetisme:

MAGLEVTOG.



Miyazaki Maglev testbane i Japan. (Ref. <http://www.rtri.or.jp>)

Av Åsmund Hanevik.

Innholdsfortegnelse.

<u>Innledning</u>	side 3
<u>Hoveddel</u>	side 4
-Maglevteknologien	side 4
--Det tyske systemet	side 4
--Det japanske systemet	side 4
--Framdriften	side 6
--Ombordstigningen	side 7
-Superledere	side 7
--Superledende elektromagneter	side 9
-Superlederlab	side 10
--Metoden	side 10
--Diagrammer	side 11
--Beregninger	side 12
--Resultater	side 13
--Konklusjon	side 13
-Dagens maglevtog	side 14
-Beregninger	side 15
<u>Avslutning</u>	side 16
-Problemer	side 16
-Mulighetene og framtiden	side 16
-Referanseliste	side 16

Innledning

Du går om bord på toget, du finner din angitte plass og setter deg til rette. Alt virker normalt. ”Fest setebeltet” lysene tennes og du merker at toget stiger svevende opp fra skinnegangen. Helt uten vibrasjoner og uten en lyd begynner toget å bevege seg forover. Med en akselerasjon som du tidligere bare har opplevd i jetfly skyter toget fart, fortsatt helt lydløst og uten vibrasjoner. Akselerasjonen stopper ikke før toget har kommet opp i en fart på godt over 500 kilometer i timen.

Framtidsfiksjon? Ønsketenkning for Norges Statsbaner?

Nei, dette er dagens teknologi innen elektrisitet og magnetisme. Fellesnavnet på toget og teknologien bak er Maglev og du kan selv være passasjer om bord i et slikt tog i Japan, Tyskland eller i Kina. Maglev er en forkortelse for magnetisk levitasjon eller enklere sagt magnetisk løfting. Det er nemlig magnetisme som sørger for både oppdrift og framdrift for togene.



Det tysk-kinesiske maglevtoget Transrapid i Shanghai, Kina. (Ref. <http://www.dagbladet.no>).

Hoveddel

-Maglevteknologien

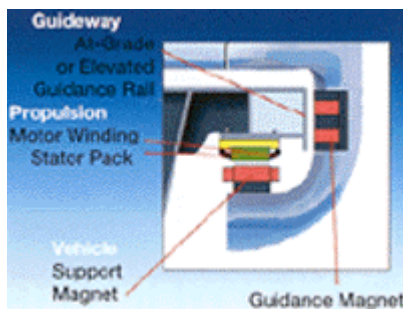
Aller først, hva er et maglevtog?

Et maglevtog er et tog som svever over bakken ved hjelp av magnetiske felt. Framdriften, oppbremsingen og styringen av toget blir også drevet av magnetiske felt.

Det finnes i dag to forskjellige systemer for maglevtog, et som er utviklet i Tyskland og i bruk i Kina og et utviklet i Japan. Det tyske systemet er et elektromagnetisk dempningssystem (electromagnetic suspension-EMS) og kalles Transrapid. Det japanske systemet er et elektrodynamisk dempningssystem (electrodynamic suspension-EDS). Det er flere ulikheter på utformingen av systemene selv om hovedtrekkene er de samme.

--Det tyske systemet.

EMS-systemet har en skinnegang som er halvt omsluttet av togets understell. Magnetene som løfter toget sitter på togets underside langsmed hele toget. Disse løfter toget til ønsket høyde som er ca 1 cm. I denne høyden kommer magnetfeltene som sørger for fremdrift i kontakt. Styremagnetene som sitter på hver side av hele toget har den funksjonen at de styrer toget langs skinnegangen når det er i fart. Styremagnetene sørger for en klarering på minimum 10 mm på hver side mellom toget og skinnegangen.



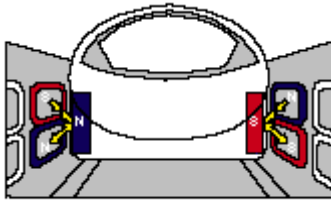
Skinnegangen omhyllt av togets understell. (Ref. <http://www.calmaglev.org>)

Løftemagnetene får strøm fra batterier ombord på toget. Batteriene kan holde toget svevende over skinnegangen i 30 minutter uten tilkobling av ekstern strøm. Når toget er i fart, lades batteriene av lineære generatorer som er integrert i løftemagnetene.

--Det japanske systemet.

Det japanske systemet EDS har ikke samme form som EMS på togets understell. EDS har både løfte- og styremagnetene plassert i en type vegger langs skinnegangen. Det japanske toget ruller på gummihjul inntil det når en hastighet på rundt 100 km/t. Da løftes det magnetisk ca 10 cm opp fra skinnegangen. Denne magnetiske levitasjonen skjer ved at det er installert levitasjonsspoler i sideveggene til skinnegangen. Ombord på toget er det superledende magneter som blir omtalt senere. Når disse magnetene passerer levitasjonsspolene i høy hastighet flere centimeter under senteret av spolene, induseres det en strøm i spolene.

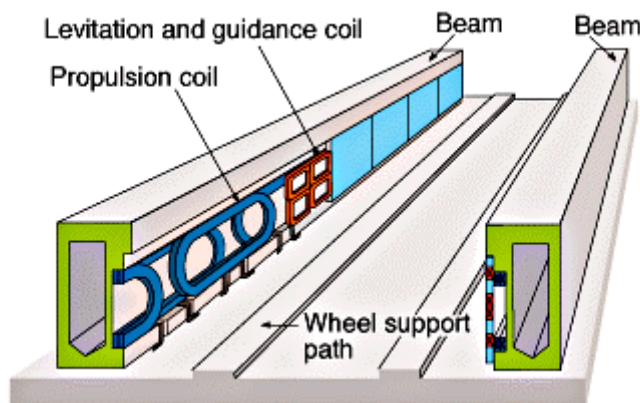
Spolene opptrer da som midlertidige elektromagneter. Resultatet av dette er at det oppstår en resultantkraft som trekker den superledende magneten oppover til senteret av coilene og dermed løftes maglevtoget.



Det japanske levitasjon(løfte) prinsippet. (Ref. <http://www.rtri.or.jp>)

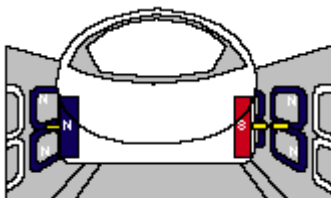
De japanske ingeniørene mener det er et sikkerhetsaspekt i gummi hjulene om det skulle oppstå et strømbrudd og systemets løfteevne bryter sammen. Tyskerne har som nevnt batterier.

For å styre det japanske toget langs skinnegangen brukes de samme spolene som ved levitasjonen. Levitasjonsspolene som står mot hverandre i skinnegangsveggene er forbundet med hverandre under skinnegangen i en loop.



Skallskisse av skinnegangsveggene til det japanske systemet. (Ref. <http://www.rtri.or.jp>)

Når maglevtoget kommer farende med sine magneter, induseres en elektrisk strøm i loopen. Dette resulterer i en frastøtende kraft på levitasjonsspolene på den siden der toget er nærmest skinnegangsveggen og en tiltrekkende kraft på den siden av toget som er lengst ifra skinnegangsveggen. Slik holdes toget i midten av skinnegangen.

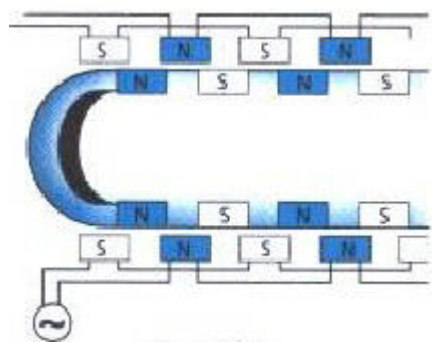


Det japanske styreprinsippet. (Ref. <http://www.rtri.or.jp>)

--Framdriften

De to systemene har en ulik løsning på utformingen av styre- og løftefunksjonene men framdriften er konstruert på en nokså lik måte. Likt for de to systemene er også behovet for en svært stor elektrisk strømkilde for å danne de magnetiske feltene som trengs.

Togene drives framover av en lineær motor som er plassert i skinnegangsveggene (i skinnegangen på EMS) og som ikke er i fysisk kontakt med toget. Motoren fungerer som en roterende elektrisk motor som er strekt ut langs skinnegangen. Elektriske strømmer i kabelvindingene genererer et magnetisk felt. Ved å variere frekvensen på strømmen kan en synkronisere polariteten til magnetene ombord på toget med magnetene langs skinnegangen. Slik oppnår man en situasjon der magnetene på toget blir tiltrukket av skinnegangsmagnetene som er rett foran, og frastøtt av skinnegangsmagnetene som er rett bak.



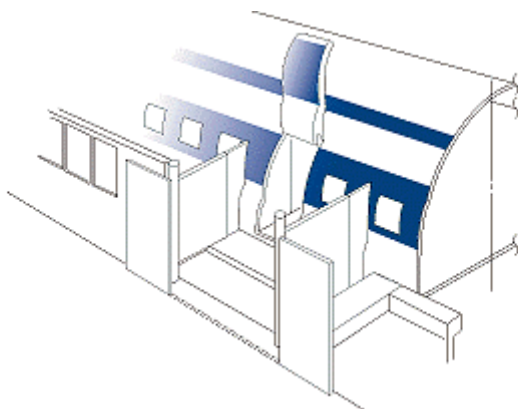
Framdriften; magnetene i skinnegangsveggene vekselvirker med magnetene ombord på toget. (Ref. <http://rstnett.cappelen.no>).

Ved å øke frekvensen til strømmen øker man farten til toget. En bruker samme prinsipp ved oppbremsingen av toget. Ved å forandre frekvensen til strømmen slik at synkroniseringen blir dårligere bremses toget uten form for fysisk kontakt mellom skinnegangen og toget.

Motoren får ved oppbremsing en generators egenskap, og bremseenergien kan føres tilbake til kraftnettet i form av elektrisk strøm.

--Ombordstigningen

Det er konstruert forskjellige løsninger på hvordan på- og avstigningen kan gjennomføres med maglevtog. Grunnen til at dette krever en egen løsning i forhold til vanlige tog er at passasjerene må skjermes fra de sterke magnetfeltene. De japanske togene bruker superledende elektromagneter som krever avskjerming for passasjerene. Om bord på toget er passasjerene skjermet mot magnetfeltene, men utenfor toget kreves det egne tiltak. En løsning japanske ingeniører har kommet opp med er en slags sluser som vist på bildet under.



Det er konstruert sluser for av- og påstigning som skal skjerme passasjerer mot skadelige magnetfelt. (Ref. <http://www.rtri.or.jp>)

-Superledere.

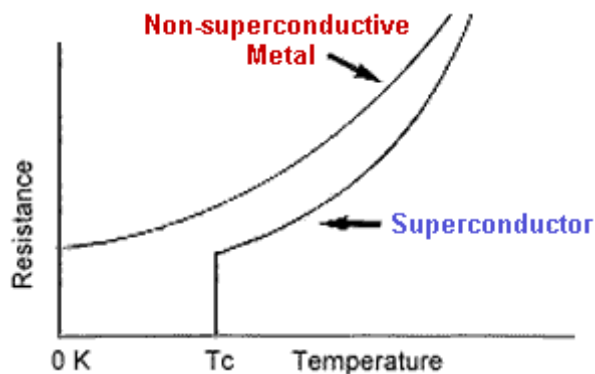
Den største forskjellen mellom de to systemene er at det japanske EDS systemet bruker superledende elektromagneter. Denne typen elektromagneter kan føre strøm selv etter at strømkilden er fjernet. I EMS-systemet brukes det standard elektromagneter som kun fører strøm når det er en strømkilde tilkoblet.

Japans system kan med sine superledende elektromagneter spare energi siden det er tilnærmet null elektrisk motstand i superledende materialer. Mye av framtiden til maglevtogene ligger i strømbesparelse og utviklingen av superledere, da helst høytemperaturs superledere. Derfor følger det her en kort innføring i superledere.

Materialer som ved nedkjøling til en viss kritisk temperatur får null elektrisk motstand, kalles superledere. Superledere har egenskapen at det magnetiske feltet er lik null på innsiden av materialet. Dette skjer ved at den magnetiske fluksen ekskluderes fra materialet ved induksjon av overflatestrømmer når temperaturen synker til lavere verdi enn materialets kritiske temperatur.

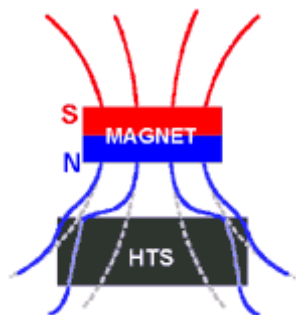
Det finnes to typer superledere; type 1 og type 2. Type 1 superledere kjennetegnes ved at den superledende egenskapen ødelegges når et påsatt magnetisk felt overstiger det kritiske

magnetfeltet til materialet. Type 1 superledere kan altså ha to tilstander, en der det er fullstendig superledende og en der det er i normaltstanden.



Et superledende metall vil ved nedkjøling til kritisk temperatur, T_c , oppnå ingen indre resistans. (Ref. <http://travel.howstuffworks.com>).

Type 2 superledere har to slike kritiske felt og får derfor tre ulike tilstander. Når påsatt magnetisk felt er mindre enn det laveste kritiske feltet, er materialet fullstendig superledende og det er ingen fluksgjennomstrømning. Når det påsatte feltet ligger mellom laveste og høyeste kritiske magnetfelt, får materialet en tilstand der en kombinasjon av superledende regioner og vanlige regioner med normal motstand opptrer.

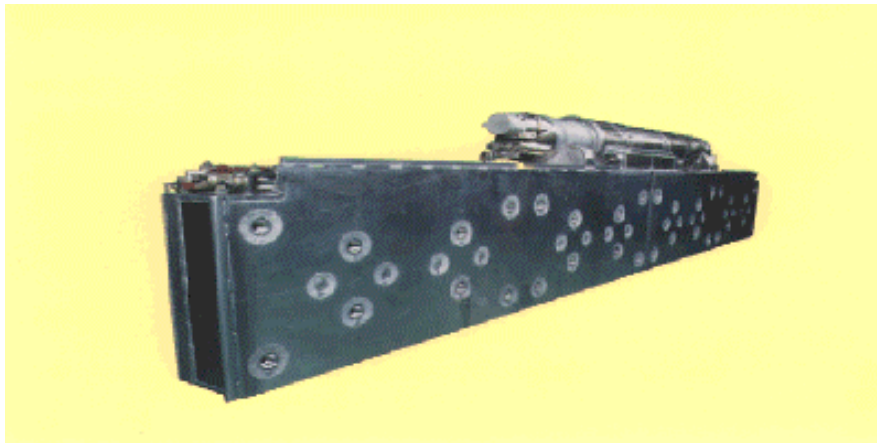


Figur; en type 2 superleder(materiale HTS) der man har en kombinasjonstilstand av normale og superledende regioner.

Når tilført felt overstiger det øverste kritiske magnetfeltet, ødelegges superlederevnen, og fluksen gjennomborer materialet fullstendig.

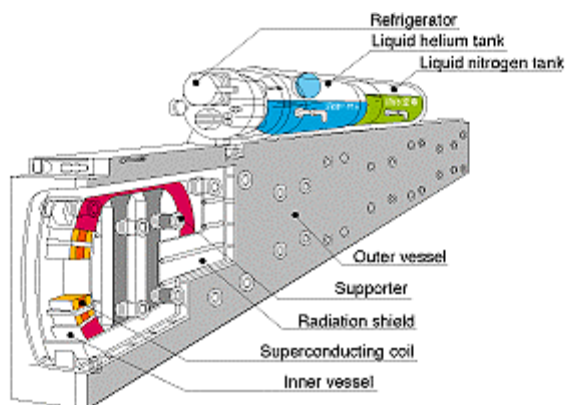
--Superledende elektromagneter.

Japan har lenge forsket på superledende materialer til bruk i sine maglevtog for å redusere forbruket av energi. I det japanske systemet er SCM (SuperConductingMagnet) kjerneelementet i den superledende maglevteknologien. Det er montert to SCMer på hver togvogn. Utenpå ser magnetene slik ut:



En japansk superledende elektromagnet sett fra utsiden. (Ref. <http://www.rtri.or.jp>).

På innsiden ser man hvordan flytende helium og nitrogen sørger for at magneten blir superledende.



Skallmodell av en japansk superledende elektromagnet med beholder for flytende helium og nitrogen. (Ref. <http://www.rtri.or.jp>).

Den sylinderformede tanken på toppen inneholder flytende helium og nitrogen. Den avlange nederste delen er en superledende magnet som alternerende genererer N og S polaritet. I enden av oppsettet finnes et integrert kjølesystem som sørger for at gassen forandrer aggregattilstand tilbake til flytende form etter at væsken har vært utsatt for oppvarming.

-Superlederlab

I forbindelse med denne oppgaven ble det gjennomført en superlederlab. Denne laboratorieøvelsen gikk ut på å kjøle ned et metall, og å måle resistansen til metallet under nedkjølingen. På den måten kunne vi finne kritisk temperatur, T_c , til metallet. Metallet vi brukte var loddetinn, en legering av bly og tinn som er type 1 superledere.

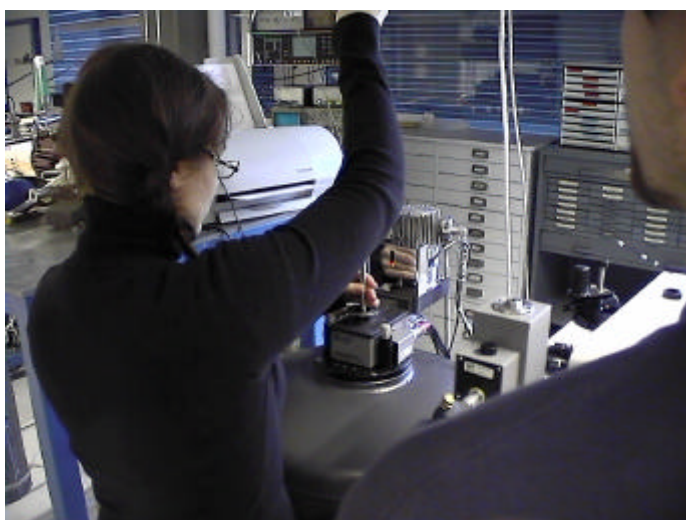
--Metoden.

Vi loddet metallet på en målekrets, en puck, som vist på bildet under.



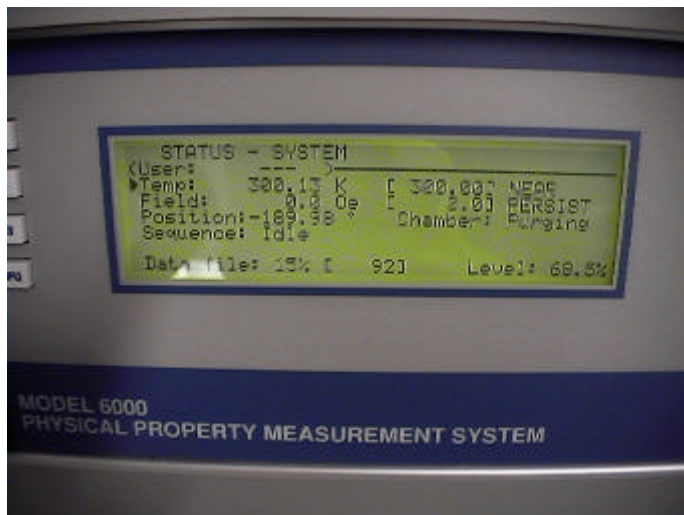
Lodding av loddetinn til pucken.

Til nedkjøling brukte vi flytende helium som har et kokepunkt på $T = 4,2$ K. Hele nedkjølingsprosessen foregikk i en lukket beholder og den forløp gradvis. For å plassere prøven, pucken med det påloddede metallet, ble det brukt en lang stav. Staven ble ført ned i beholderen som vist på bildet under. Videre ble prøven koblet til resten av måleutstyret.



Innsettingen av prøven i beholderen med flytende helium.

Hele nedkjølingen ble datalogget, men det var også mulig å følge prosessen i et display på beholderen.

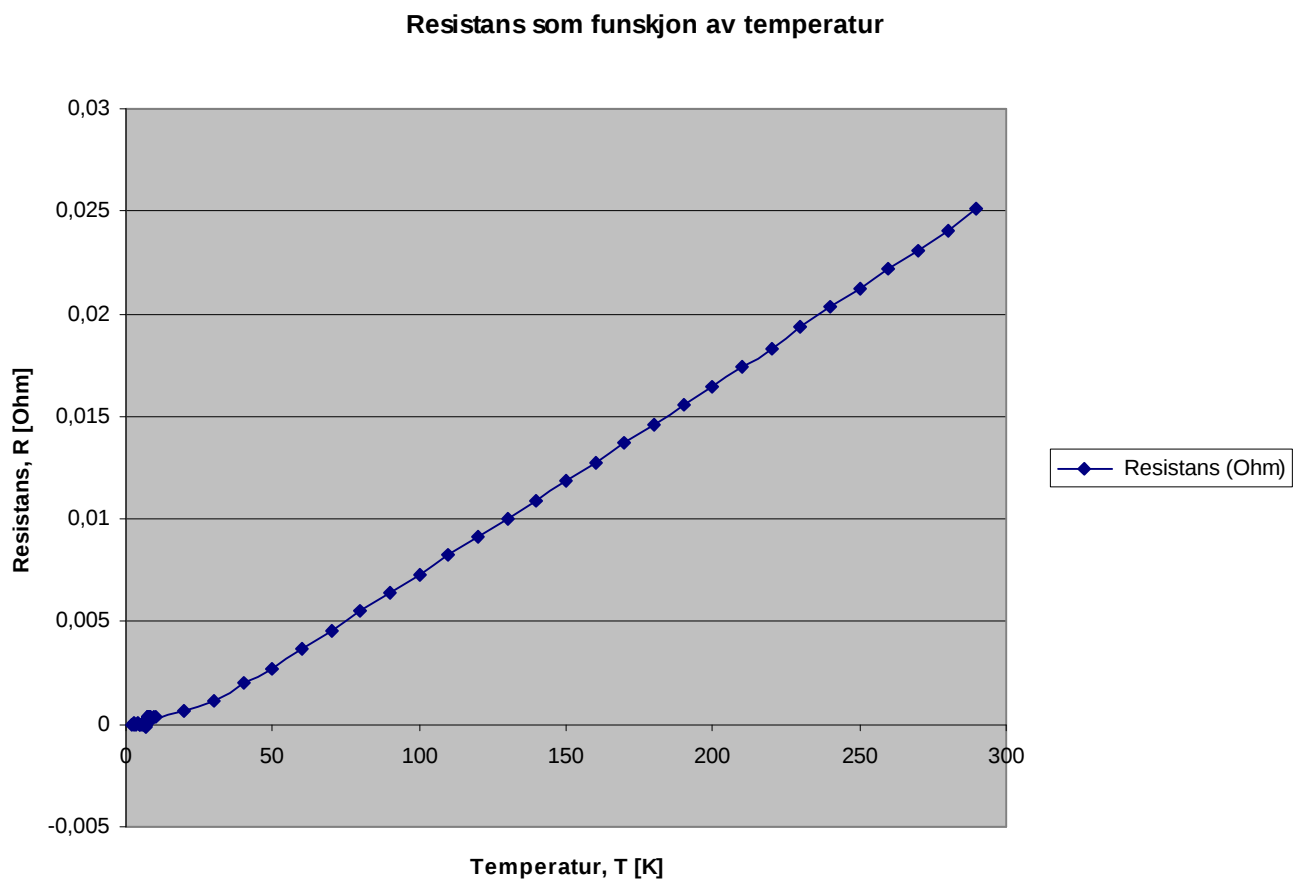


Informasjonsdisplayet til nedkjølingsbeholderen.

Etter cirka fire timer var metallet kjølt ned til rundt to Kelvin. Forsøksresultatene ble plottet inn i diagrammer, disse er gjengitt nedenfor.

--Diagrammer.

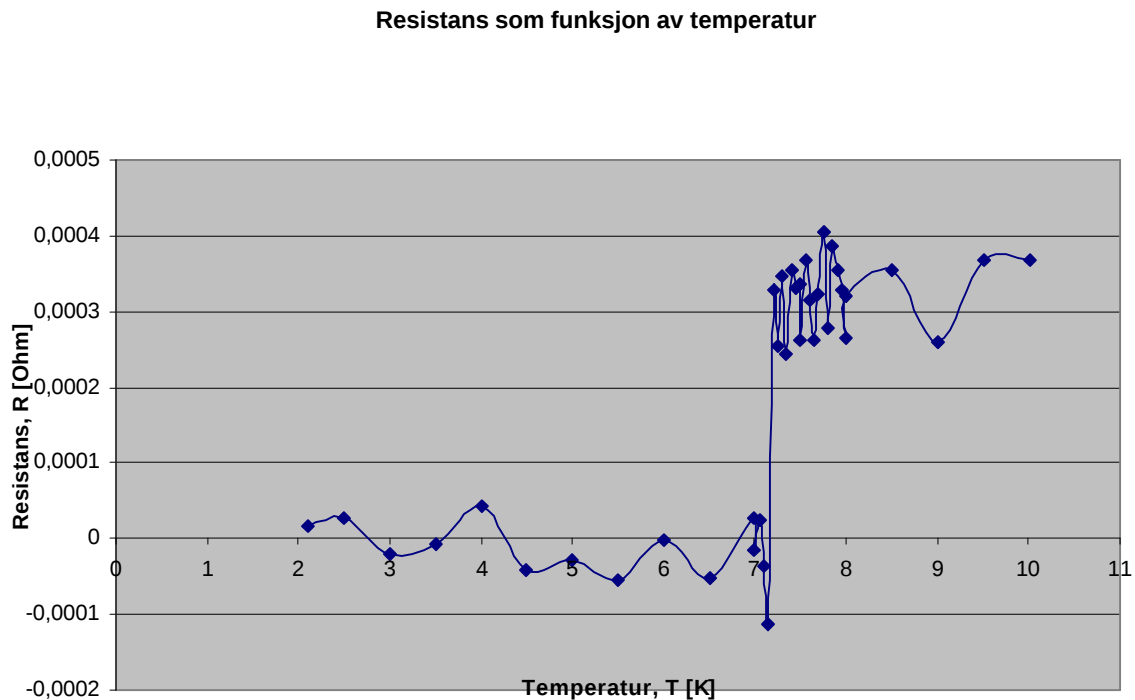
Diagram 1.



I diagram 1 ser vi hele nedkjølingen av metallet. Temperaturen synker nesten proporsjonalt med resistansen. For å finne den kritiske temperaturen, T_c , må vi se nærmere på det området

av grafen der temperaturen nærmer seg null Kelvin. En forstørret utgave av dette området har vi i diagram 2.

Diagram 2.



I diagram 2 ser vi at det er et tydelig fall i resistansen til metallet ved cirka 7,2 Kelvin. Her har vi metallens kritiske temperatur, T_c , og under denne temperaturen er metallet superledende. Dette skal i teorien bety at metallet ikke har noe indre resistans, og vi ser av diagram 2 at dette stemmer bra om en ser på gjennomsnittet av målingene under 7 Kelvin. De ujevne og negative målingene skyldes mest sannsynlig måleusikkerhet.

Fra grafen har vi altså at $T_c \sim \underline{7,2 \text{ K}}$ for loddetinn.

--Beregninger.

Det kritiske magnetfeltet ved 0 K er:

$$B_c(0) \sim (0,01 \text{ T/K}) \cdot T_c = 0,01 \text{ T/K} \cdot 7,2 \text{ K} = 0,072 \text{ T}.$$

Videre har vi det kritiske magnetfeltet ved temperatur $T = 4,2 \text{ K}$ (flytende Helium):

$$B_c \approx B_c(0) \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right] = 0,072 \text{ T} \cdot \left[1 - \left(\frac{4,2 \text{ K}}{7,2 \text{ K}} \right)^2 \right] = \underline{\underline{0,0475 \text{ T}}}$$

--Resultatene.

Vi ser av diagram 2 at den kritiske temperaturen for loddetinn ligger på $T_c = 7,2$ K. Det er en høyere verdi enn for tinn, $T_c = 3,72$ K, men en nokså lik temperatur som for bly, $T_c = 7,196$ K. Dette kan ha sammenheng med at det muligens er mer bly enn tinn i legeringen. Når det gjelder beregnet verdi for kritisk magnetfelt for loddetinn, $T = 4,2$ K, er dette nokså likt det kritiske magnetfeltet til bly. Rent tinn er ikke superledende ved denne temperaturen.

--Konklusjon.

Når legeringen loddetinn kjøles ned til under $T = 7,2$ K blir legeringen superledende. Loddetinn har en kritisk temperatur på $T_c = 7,2$ K. Legeringen er en type 1 superleder og består av tinn og bly. Loddetinn mister sin superledende evne for ytre magnetfelt rundt $0,0475$ T ved $T = 4,2$ K.

-Dagens maglevtog.

Alt i 1934 ble det første magnetiske svevetoget patentert av en tysker ved navn Herrman Kemper. 70 år etter finnes det i dag flere maglevbaner, men bare en bane der det foregår persontrafikk. Denne banen er plassert i Kina og går fra Shanghai sentrum ut til Shanghai flyplass.



Det kinesisk/tyske maglevtoget Transrapid ved flyplassen i Shanghai. (Ref. <http://www.dagbladet.no>).

Banen ble åpnet i januar 2003, den er 30 km lang, og reisetiden er rundt syv og et halvt minutt. Maglevtoget som er av den tyske typen Transrapid holder en marsjfart på 430 km/t, men har vært oppe i 501 km/t under testkjøring.

Japan, Tyskland og USA har også ferdige maglev togbaner for testkjøring, men ingen av disse brukes til konvensjonell persontrafikk. Testbanen Yamanashi i Japan er den som kan vise til høyest hastighet for sine maglevtog. Toget MLX01h satte 2. desember 2003 foreløpig hastighetsrekord med 581 km/t med et tre vogner langt bemannet togsett.



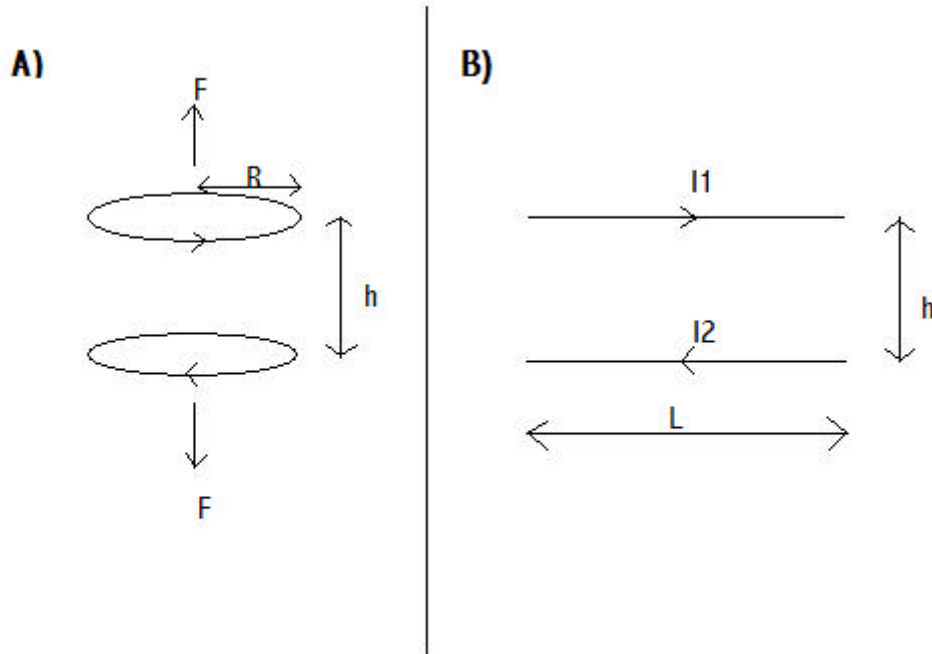
Japans MLX01h maglevtog har hastighetsrekorden med 581 km/t. (Ref <http://www.rtri.or.jp>).

Japan har store planer om å bygge maglevbaner for persontrafikk mellom sine største byer, men det er fortsatt behov for flere testkjøringer. Testkjøringen brukes til å sjekke pålitelighet og holdbarhet ved langtidsbruk, og til å finne kostnadsbesparende inngrep ved konstruksjonen og driften av toget.

Tyskland har lenge kjørt testturer med sine Transrapid maglevtog. Det er dette tyske systemet som brukes i Shanghai. Den første persontrafikkbanen i Tyskland planlegges nå og heter Munich Airport Link. USA har også lenge sett på mulighetene som maglevtog gir. Siste maglevnyheter fra USA er fra 14. april 2004 der det meldes at det skal satses på studier som skal føre til utviklingen av et høyhastighets maglevsystem som skal forbinde North Los Angeles County med South Orange County i California.

-Beregninger.

Ser vi enkelt på beregningene for levitasjonen av toget med utgangspunkt i $\vec{F} = I \cdot \vec{l} \times \vec{B}$, kan vi få en pekepinn på hvor stor strømstyrke I som skal til for å løfte toget.



Skisse A viser kreftene F fra magnetfeltet som virker på togvognen ,peker oppover, og kreftene på bakken.

Skisse B; det må en strømstyrke I over en lengde L til for å løfte toget.

$$F = B \cdot I \cdot L = \frac{\mu_0 \cdot L}{2\pi \cdot h} \cdot I_1 \cdot I_2 = m \cdot g$$

For å løfte en masse m opp en høyde h kreves det en strømstyrke I over lengden L;

$$I^2 \cdot L = \frac{2\pi \cdot h \cdot m \cdot g}{\mu_0} = \frac{2\pi}{4\pi \cdot 10^{-7}} \cdot h \cdot m \cdot g = \underline{5 \cdot 10^6 \cdot h \cdot m \cdot g}$$

Hvis vi har en levitasjon på cirka 1 cm får vi;

$$h \approx 10^{-2} \text{ meter}$$

$$g \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\Rightarrow I^2 \cdot L = \underline{5 \cdot 10^5 m}, \text{ der m er masse (kg).}$$

(videre på neste side)

Videre har vi at hver togvogn er 20 meter lang og veier 18 tonn (det japanske testtoget).

L = 20 meter
M = 18 tonn

$$I^2 = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 18 \cdot 10^3}{20} = 5 \cdot 10^8 A^2$$

$$\Rightarrow I = \underline{\underline{20kA}}$$

Avslutning

-Problemer

Det er i dag hovedsakelig to problemer som bremser utviklingen av maglevtog. Det ene er byggekostnadene av en slik bane og det andre er det store behovet for energi i form av elektrisk strøm som skal til for å drifte en slik bane. Beregninger gjort i USA viser at det med dagens teknologi vil koste mellom 10 og 30 millioner dollar per mile å bygge en maglevbane. Strømutgiftene er også meget høye, her vil utviklingen av høytemperaturs superledere spille en viktig rolle. Om en klarer å utvikle romtemperaturs superledere og forme disse på en ønsket måte, vil mulighetene til store strømbesparelser være gode.

-Mulighetene og framtiden.

Det er ikke vanskelig å forestille seg at mulighetene innen maglevtog er store. Hastigheten og miljøvennlige hensyn er det som taler mest for å utvikle og bygge maglevbaner som kan overta for blant annet flytrafikken på mellomdistanser. Det at togene drives av elektrisk strøm og ikke av fossilt brensel, gjør at det blir en miljøvennlig måte å reise på. Når reisetiden heller ikke er mindre med fly skjønner man at maglevtoget kan være et fremtidens transportmiddel.

-Referanseliste.

The California MAGLEV Deployment Program. <http://www.calmaglev.org>
Cappelen Forlag. <http://rstnett.cappelen.no>
How Stuff Works. <http://travel.howstuffworks.com>
Maglev Systems Development Department Home Page. <http://www.rtri.or.jp>
Modern Physics, second edition. Serway, Moses, Moyer.