

Superledning – fremtidens teknologi: Opgaver

Opgaver

1. [Måling på en superleder](#)
2. [Opbevaring af flydende nitrogen](#)
3. [Flydende nitrogen](#)
4. [Opbevaring af carbondioxid](#)
5. [Køling af et superledende kabel](#)
6. [Energital i elkabler](#)
7. [Sammenligning af elkabler](#)
8. ["Tab" af termisk energi i superledende kabel](#)
9. [Maglev tog](#)
10. [Maglev toget i Japan](#)

Superledning – fremtidens teknologi: Opgaver

1. Måling på en superleder

En superleders evne til at lede strømmen kan undersøges ved at måle spændingsforskellen over superlederen ved en bestemt strømstyrke og samtidig måle superlederens temperatur.

- De viste målinger i tabellen blev målt på en prøve af en superleder. Strømstyrken er konstant 100 mA. Beregn resistansen for hver måling. Brug grafisk lommeregner eller kopier måledata til et regneark.
- Brug de viste data til at lave en graf, der viser, hvordan resistansen afhænger af temperaturen.
- Brug grafen til at finde en værdi for den kritiske temperatur, T_c . Undersøg hvilken superleder der kan være tale om fx ved hjælp af hjemmesiden <http://www.superconductors.org/Type2.htm>

For temperaturer over T_c opfører superlederen sig som en almindelig resistor. De fleste resistorer vil have en resistans, der vokser lineært som funktion af temperaturen.

- Vis at punkterne på grafen, der viser resistansen som funktion af temperaturen, tilnærmelsesvis ligger på en ret linie, når temperaturen er over 95 K. Brug den rette linie til at vurdere størrelsen af resistansen ved stuetemperatur.

Spænding mV	Temperatur K	Resistans Ω
1,0600	114,8	
1,0490	112,9	
1,0350	110,9	
1,0220	109,1	
1,0090	106,9	
1,0010	105,0	
0,9890	103,5	
0,9750	102,2	
0,9670	100,0	
0,9510	97,9	
0,9440	95,8	
0,9180	95,0	
0,9110	94,3	
0,8920	93,8	
0,8440	93,5	
0,7830	93,2	
0,6390	93,0	
0,5050	92,6	
0,3790	92,3	
0,2430	92,1	
0,0930	91,7	
0,0100	91,4	
0,0030	91,0	
0,0002	90,8	
-0,0002	90,1	
-0,0001	89,9	
0,0003	89,5	
-0,0001	88,8	
0,0001	88,5	

Ref.: <http://www.ornl.gov/reports/m/ornlm3063r1/prob2.html>

Superledning – fremtidens teknologi: Opgaver

2. Opbevaring af flydende nitrogen

På et gymnasium har man en isolerende beholder med 5,0 L flydende nitrogen, der er blevet påfyldt mandag morgen. Den flydende nitrogen opbevares ved et tryk på 1 atm og temperaturen 77 K, som er kogepunktet for nitrogen ved 1 atm.

Selvom beholderen er velisoleret, modtager den noget varme fra omgivelserne. Man kan regne med, at der i gennemsnit modtages varme med en effekt på 1,5 W.

- a. Hvor meget energi modtager beholderen i løbet af 1 døgn?

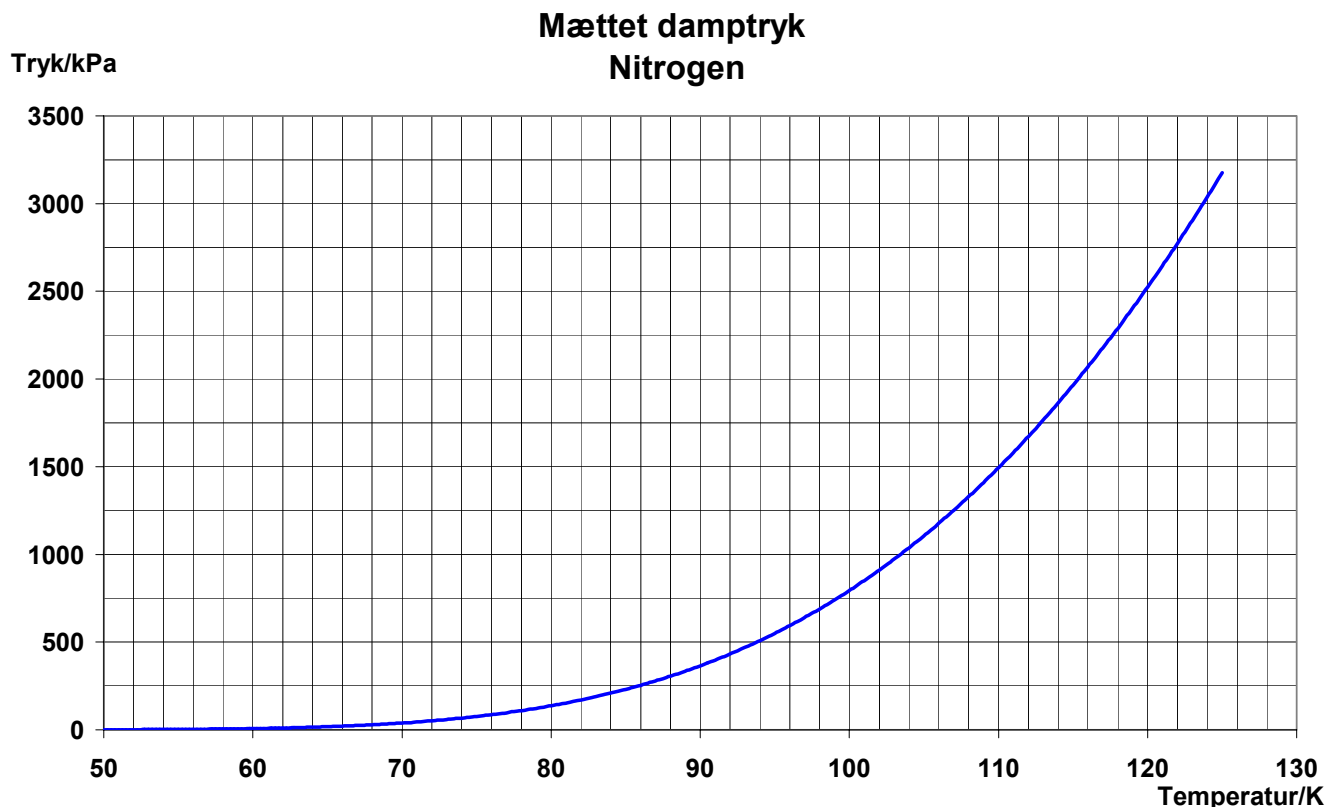
Den tilførte energi til beholderen bruges til fordampning af nitrogen, som forsvinder fra beholderen ud i atmosfæren. Man håber nu, at der er flydende nitrogen til hele ugen.

Ved trykket på 1 atm er fordampningsvarmen for nitrogen 199 kJ/kg, og densiteten for flydende nitrogen er 0,804 kg/L.

- b. Beregn massen af den nitrogen, der fordamper fra beholderen i løbet af et døgn.
- c. Gør rede for, at der stadig er noget flydende nitrogen i beholderen fredag morgen, og vurder hvor mange liter flydende nitrogen, der er tilovers til brug i laboratoriet.

Superledning – fremtidens teknologi: Opgaver

3. Flydende nitrogen



Grafen ovenover viser, hvordan trykket fra mættede nitrogendampe afhænger af temperaturen. Det vil sige, at grafen viser hvor stort trykket vil være i en lukket beholder med flydende nitrogen.

- a. Flydende nitrogen ved et tryk på 1 atm fordamper ved temperaturen $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hvordan passer det med den viste graf?

Ifølge sikkerhedsforskrifterne skal flydende nitrogen altid opbevares i en åben beholder, som beskrevet i opgaven 2. *Opbevaring af flydende nitrogen*. Hvis beholderen lukkes tæt, vil trykket stige og beholderen eksploderer - medmindre beholderen er konstrueret til at modstå meget høje tryk.

En person, der desværre ikke kender sikkerhedsforskrifterne, køber 2 L nitrogen og hælder det på en plastikflaske og lukker skruelåget tæt til. Plastikflasken kan holde til et overtryk på 5 atm.

- b. Brug grafen til at vurdere, ved hvilken temperatur plastikflasken eksploderer.

Du kan regne med at varmekapaciteten for flydende nitrogen er $2,04\text{ kJ/kg/K}$ og at densiteten er $0,804\text{ kg/L}$. Da flasken er helt fyldt med nitrogen, kan der ses bort fra energien til fordampning af nitrogen i flasken.

Superledning – fremtidens teknologi: Opgaver

Beholderen anslås at modtage energi med en effekt på 20 W. Ved købet er nitrogenets temperatur 77 K.

- c. Brug de givne oplysninger til at vurdere hvor lang tid der vil gå, inden beholderen eksploderer.

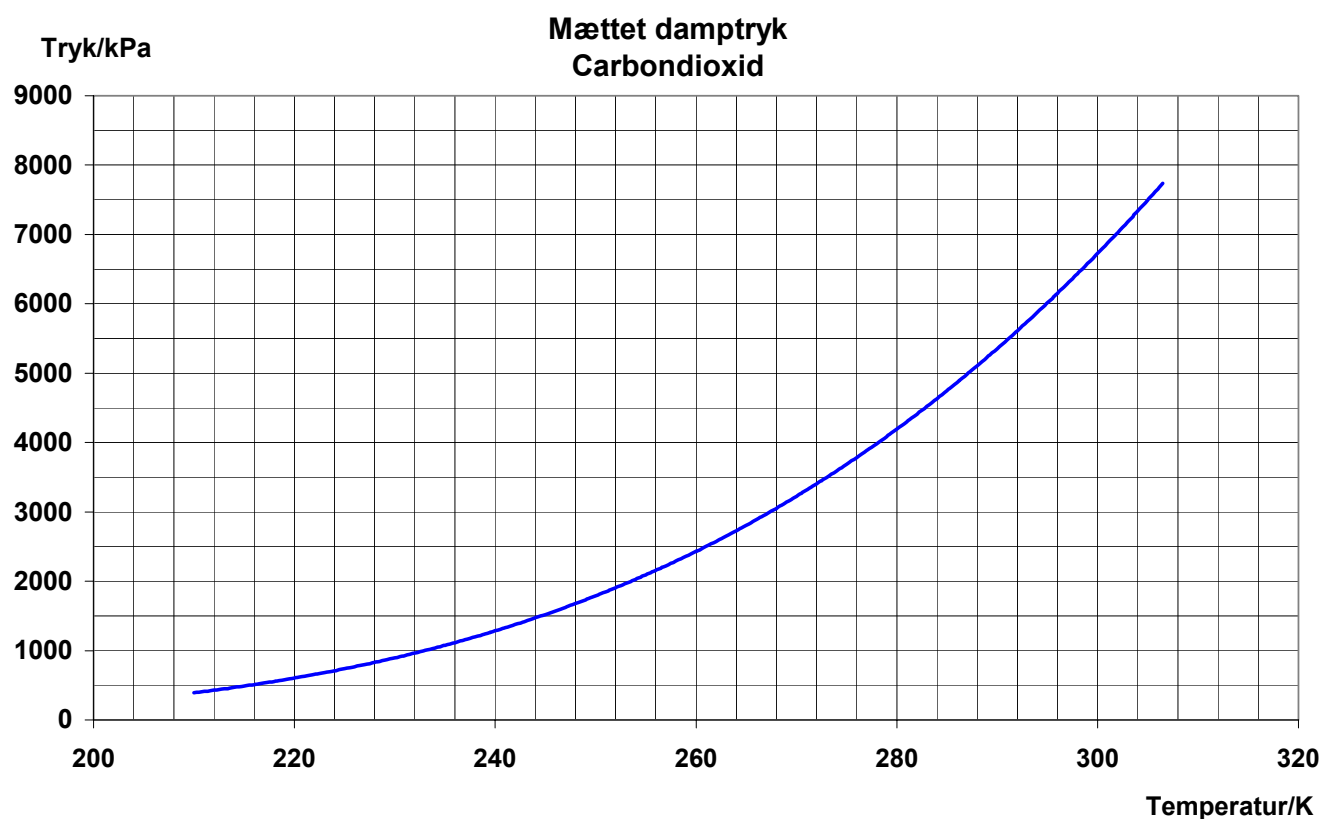
Ved så lave temperaturer, som man ser her, vil plastik være meget hårdt, og brudstykkerne vil være lige så skarpe som glas. Det er derfor særdeles farligt at lukke flydende nitrogen inde i en tæt beholder.

Superledning – fremtidens teknologi: Opgaver

4. Opbevaring af carbondioxid

På næsten enhver skole har man en trykbeholder med flydende carbondioxid. Øverst i beholderen er der CO_2 på gasform, som man kan tappe af flasken ved at åbne for en hane. Grafen nedenfor viser mættede dampes tryk for carbondioxid - det samme som trykket i en lukket beholder med CO_2 - ved de viste temperaturer.

- Find den beholder, som skolen har til opbevaring af CO_2 . Aflæs beholderens specifikationer, og gør rede for, at den er egnet til at opbevare CO_2 ved stuetemperatur.
- Forklar, hvorfor trykbeholderen skal fjernes i tilfælde af brand.



Superledning – fremtidens teknologi: Opgaver

5. Køling af et superledende kabel

Energitalbet i et superledende kabel er af en helt anden natur end i et almindeligt kabel af kobber eller aluminium. Der er forskellige kilder til dette tab, men det største problem er, at tabet i form af varme skal ledes bort af det flydende nitrogen. Det betyder at den kølemaskine, der laver det flydende nitrogen, skal lave et stort kølearbejde.

Effektiviteten af en kølemaskine er givet ved

$$\eta = \frac{\text{Energi fjernet fra nitrogenet}}{\text{Energi tilført kølemaskinen}}$$

Kølemaskinen tilføres energi i form af elektrisk energi. Energien fra det flydende nitrogen kommer fra omgivelserne, der jo er en del varmere.

Kølemaskinen på Amager Koblingsstation har en effektivitet på 8,3 %. Kablet har en længde på 30 m, og man regner med, at effekttabet er 4,5 W pr. meter.

- a. Beregn, hvor meget energi der går tabt i løbet af 1 døgn.
- b. Hvor meget elektrisk energi skal der tilføres kølemaskinen i løbet af et døgn?

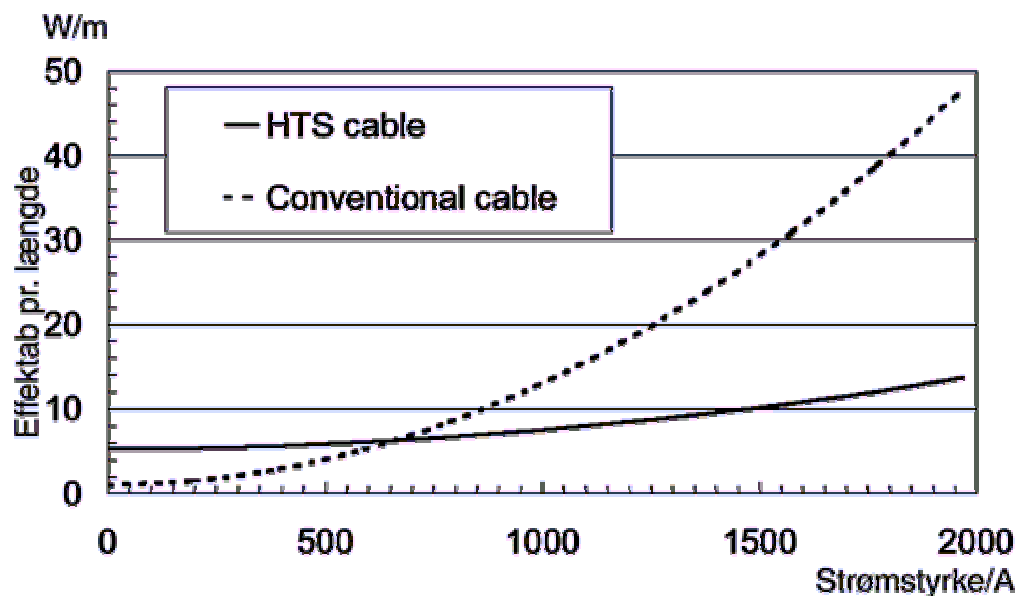
Superledning – fremtidens teknologi: Opgaver

6. Energitab i elkabler

Der er især to kilder til energitab i et superledende kabel. Som nævnt i opgaven 5. *Køling af et superledende kabel*, medfører energitabet, at der skal tilføres energi til en kølemaskine.

Det største tab sker i form af varmeenergi, da det ikke er muligt at lave en perfekt varmeisolering af kablet. Temperaturforskellen mellem omgivelserne, ved stuetemperatur, og det superledende kabel, ved 77 K, medfører en tilførsel af energi i form af varme fra omgivelserne.

Derudover tabes der energi i form af såkaldt AC-tab. Når kablet bruges til at transmittere vekselstrøm, afsættes der energi i lederen. Dette skyldes især, at der samtidig induceres et varierende magnetfelt i lederen, og ved hver ændring af magnetfeltet afsættes der varmeenergi i lederen. En tilsvarende mekanisme er årsag til, at der afsættes energi i den metalliske indkapsling.



Figur:

Samlet tab i et elkabel til en spænding på 132 kV. Den tabte effekt pr. kabellængde i W pr. meter er vist som funktion af strømstyrken i ampere.

HTS = HøjTemperaturSuperleder. **Conventional cable** = Almindeligt kabel.

- Aflæs tabet i det *almindelige* kabel ved strømstyrkerne 900 A og 1800 A. Forklar, hvorfor tabet bliver 4 gange større ved en fordobling af strømstyrken.
- Ved hvilke strømstyrker er et HTS-kabel energimæssigt bedre end et almindeligt kabel? Forklar, hvorfor der er et energitab i det superledende kabel, også når strømstyrken er lille. (Se teksten i indledningen til opgaven)

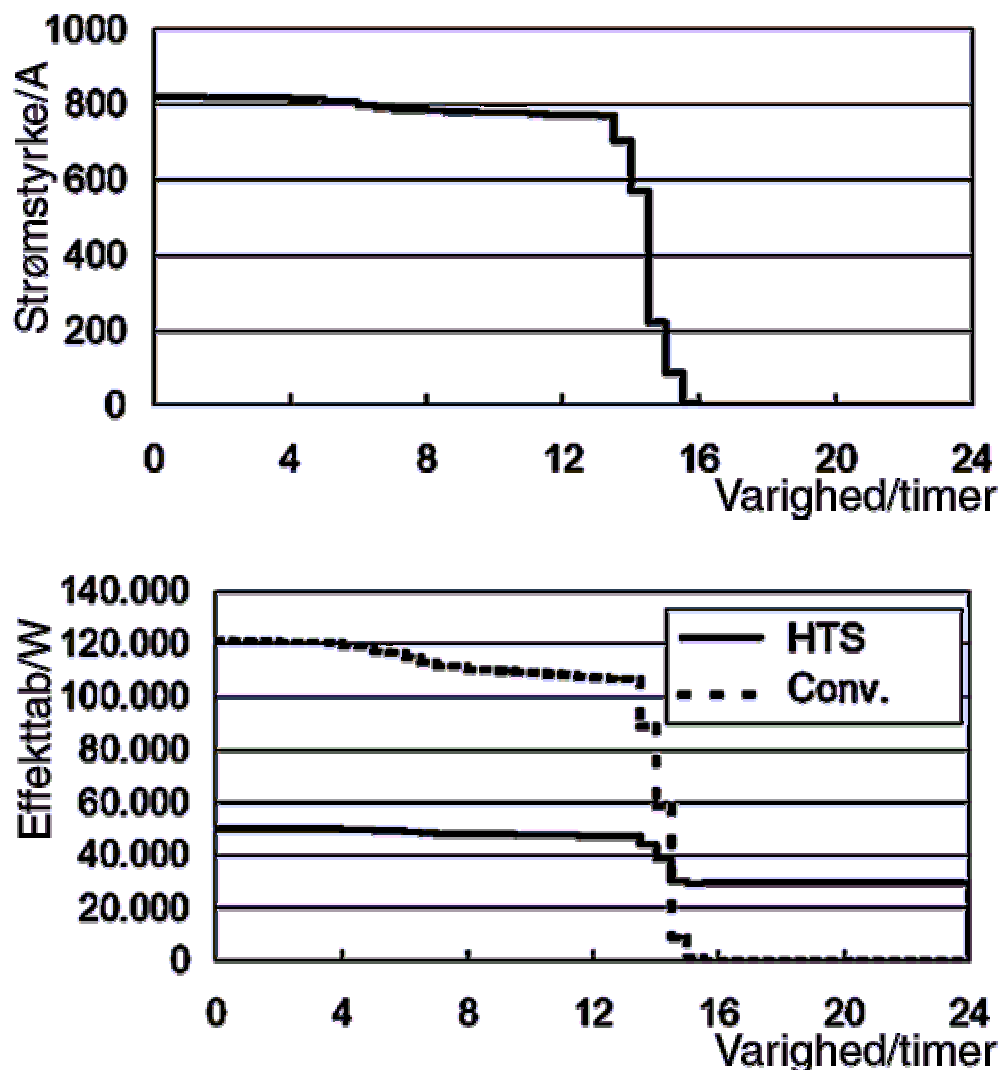
Superledning – fremtidens teknologi: Opgaver

7. Sammenligning af elkabler

De følgende spørgsmål drejer sig om at undersøge den energimæssige rentabilitet ved at bruge et HT-superledende kabel i elsystemet.

Figureerne nedenfor viser strømstyrken og effekttabet hen over et døgn for et kabel, der forbinder et kraftvarmeværk med elsystemet.

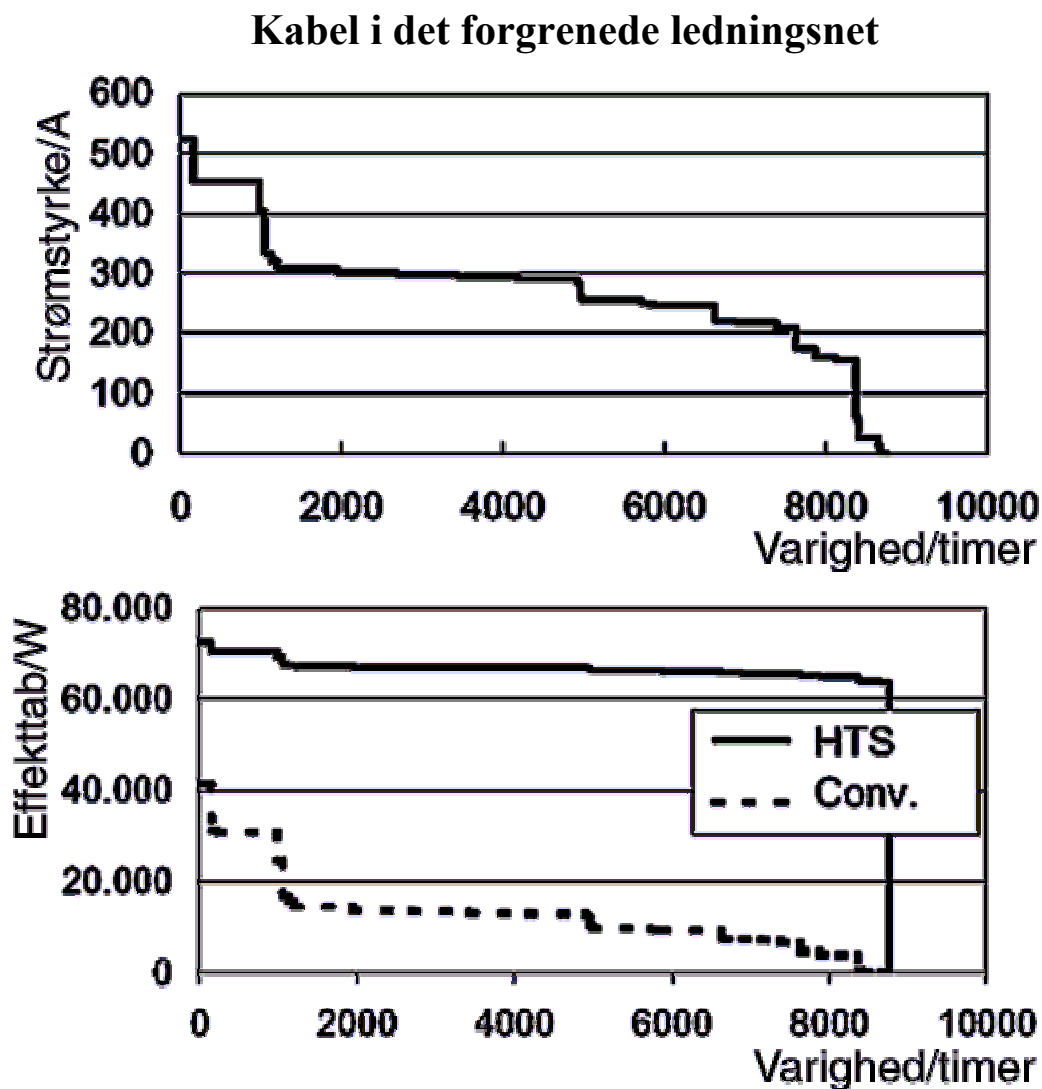
Kabel til varmekraftværk



- Gør rede for, at HTS-kablet har det mindste gennemsnitlige effekttab i løbet af et døgn.
- Brug grafen der viser strømstyrken i kablet hen over et døgn samt grafen til opgave 6, og forklar, hvorfor effekttabet i HTS-kablet er mindre end i det konventionelle kabel.

Superledning – fremtidens teknologi: Opgaver

Figureerne nedenfor viser strømstyrken og effekttabet hen over et år for et 4 km langt kabel, der er placeret i det forgrenede ledningsnet. Kablet kan overføre en maksimale strømstyrke på 2000 A.



- c. Gør rede for, at HTS-kablet har det største gennemsnitlige effekttab i løbet af et år. Brug grafen, der viser strømstyrken i kablet hen over et år samt grafen til opgave 6, og forklar, hvorfor effekttabet i HTS-kablet er større end i det konventionelle kabel.
- d. Forklar, hvilken placering et HTS-kabel skal have i elnettet for at det vil være energiøkonomisk bedre end et konventionelt kabel.

Figureerne stammer fra ASC2000, paper 4LGa10, "Energy losses of superconducting power transmission cables in the grid" af Jacob Østergaard, Jan Okholm, Karin Lomholt og Ole Tønnesen

Superledning – fremtidens teknologi: Opgaver

8. "Tab" af termisk energi i superledende kabel

Tabet af termisk energi i et superledende kabel sker, fordi der er en stor temperaturforskel mellem den flydende nitrogen, $T = 77 \text{ K}$, og omgivelserne, $T \approx 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Der tilføres derfor energi til nitrogenet, som skal køles af kølemaskinen. Brug at kølemaskinens effektivitet er 8,3 %, se opgave 5.

Den termiske energi, der overføres til kablet, er bestemt ved følgende formel for den overførte effekt pr. længde kabel:

$$\frac{P_{\text{termisk}}}{\text{længde}} = \frac{2\pi \cdot \lambda \cdot \Delta T}{\ln\left(\frac{D_0}{D_i}\right)},$$

hvor λ er den termiske ledningsevne, ΔT er temperaturforskellen mellem omgivelserne og den kolde leder. D_0 og D_i er hhv. den ydre og indre diameter af isoleringen.

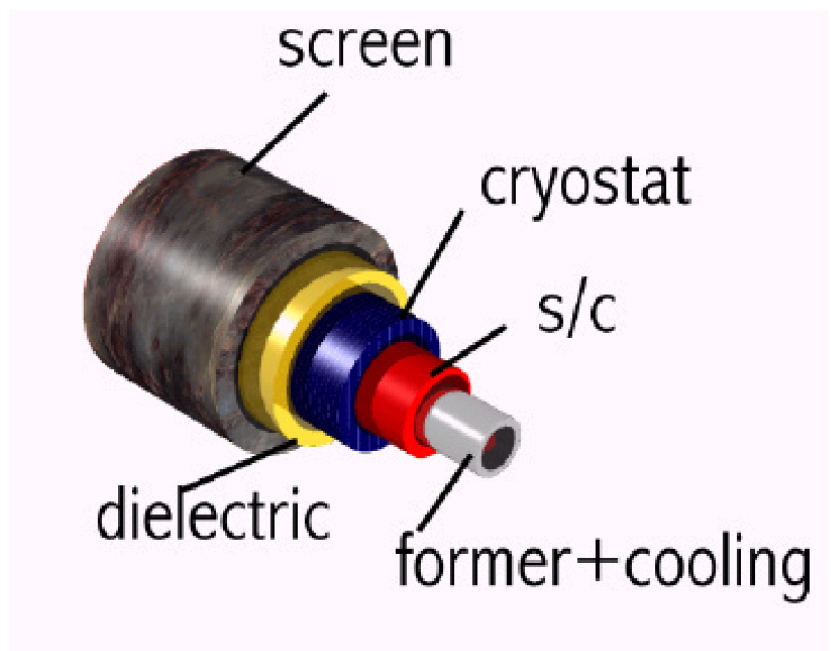
For de bedste HTS-kabler fås $\lambda = 0,20 \frac{\text{mW}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ ved anvendelse af såkaldt multilagsisololation.

Den indre diameter af isoleringen er 25 mm. For at diameteren af det færdige kabel skal være nogenlunde som for et almindeligt kabel, kan tykkelsen af isoleringen ikke være større end 10 mm.

- Beregn den effekt, som et 1 km langt HTS-kabel modtager fra omgivelserne.
- Beregn den tilførte effekt til kølemaskinen.

Bemærk, at det samlede effekttab bliver en del større, når man begynder at sende strøm igennem kablet!

Sreen	= skærm
Dielectric	= elektrisk isolering
Cryostat	= termisk isolering
s/c	= elektrisk leder
former	= rør til kølemiddel
cooling	= kølemiddel



Superledning – fremtidens teknologi: Opgaver

9. Maglev tog

Det japanske maglevtog kører på en testbane der er 42,8 km lang, hvor der både er en bro, tunnel, dobbeltspor, skiftespor samt stigninger på op til 4,0 %. Banen har fået disse egenskaber, for at man kan teste maglevtoget ved forskellige omstændigheder.

Maglevtoget har kørt med hastigheder op til 531 km/h med personer om bord.

- a. Hvor lang tid vil det tage toget at gennemkøre testbanen ved denne hastighed?

I Tyskland planlægger man også at bygge et maglevtog. Man regner med, at det vil kunne accelerere op til 300 km/h på en strækning på 3,0 km.

- b. Bestem den gennemsnitlige acceleration for det tyske maglevtog.

Et maglevtog i Danmark vil kunne nedsætte rejsetiden med tog betydeligt. De japanske erfaringer betyder, at man kan regne med en topfart på mindst 500 km/h og en gennemsnitlig acceleration ved start og stop af en størrelse på mindst $0,50 \text{ m/s}^2$.

Disse størrelser vil betyde, at en togtur fra København til Århus med et stop i Odense kun tager meget kort tid.

Afstanden fra København H. til Odense H. er 160,3 km, mens der er 168.8 km mellem Odense H. og Århus H.

- c. Vurder rejsetiden for en tur med et maglevtog fra København til Århus med et stop på 5 min i Odense.
Beregn den gennemsnitlige hastighed for den samlede togrejse.

Se evt. http://www.rtri.or.jp/rd/maglev/html/english/maglev_frame_E.html

Superledning – fremtidens teknologi: Opgaver

10. Maglev toget i Japan

Ved maglevtogets store hastigheder skal kurverne være meget store. For det japanske maglevtog har man forudsat, at en kurve, som en del af en cirkelbevægelse, skal have en radius på mindst 8,0 km.

- a. Bestem accelerationen for et maglevtog, der kører med en konstant hastighed på 531 km/h igennem en kurve med radius 8,0 km.

Ved kørsel i en kurve er det en fordel at underlaget hælder ind imod centrum i cirkelbevægelsen. Med den rigtige hældning opnår man, at kraften fra banen på togvognen er vinkelret på vognens bund.

Toget kører med en hastighed på 531 km/h.

- b. Bestem hældningen for banen, når kraften på toget fra banen ved denne hastighed skal være vinkelret på underlaget.