

VÄRMELEDNINGSFÖRMÅGA

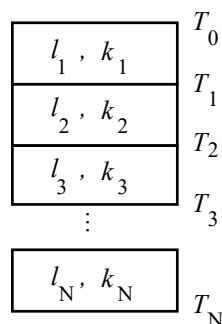
1 Inledning

Experimentellt har det kunnat observeras att värmeflödet genom ett materials lager är direkt proportionellt mot det ledande lagrets area och temperaturskillnaden mellan lagrets gränsskikt. Värmeflödet är dessutom omvänt proportionellt mot lagrets tjocklek

$$\frac{Q}{\Delta t} = kA \frac{T_1 - T_2}{l}, \quad (1)$$

där Q betecknar värmemängden som flödar genom lagret, A arean, $T_1 - T_2$ temperaturskillnaden och l tjockleken. Proportionalitetskonstanten k är materialets värmekonduktivitet. Dess enhet är $\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$.

Värmekonduktivitet mäts genom att sammanföra det undersökta materialet med en värmekälla vars temperatur kan hållas konstant (t. ex kokande vatten) och genom att mäta temperaturskillnaden över materialet samt värmemängden som flödar genom materialet. Mätning av värmemängden görs genom att sätta det undersökta materialets ena sida i kontakt med ett s.k. mottagarföremål. Temperaturskillnaden över det undersökta materialet hålls konstant då mottagarföremålets material har valts så att den mottagna värmemängden kan ledas bort från föremålet. En enkel lösning är att välja en isbit som mottagarföremål eftersom vattnet som bildas då isen smälter lätt kan avlägsnas. Dessutom hålls gränssytan mellan mottagarföremålet och det undersökta materialet nära noll grader celsius. Mängden smultet vatten per tidsenhet multiplicerat med isens smältvärme ger i detta fall värmeflödet som når mottagarföremålet och värmekonduktiviteten kan beräknas ur ekvation (1).



Figur 1. Beräkning av värmekonduktiviteten för en struktur med flera lager.

System vars värmekonduktivitet är av intresse består ofta av lager av olika material (t. ex byggnaders fönster och väggar). I dessa fall blir uppgiften att från ekvation (1) härleda den sammanlagda värmekonduktiviteten k_{tot} för strukturen utgående från lagermaterialens värmekonduktivitet k_i ($i=1, \dots, N$) (se figur 1). Vi studerar jämviktstillståndet där temperaturen för varje lager i strukturen hålls konstant (d.v.s. ingen värmeenergi används till att höja materialens temperaturer T_i) medan temperaturskillnaden över strukturen avviker från noll (och är konstant). I detta fall är värmemängden som flödar till lager i lika stor som värmemängden som sedan flödar till lager $i+1$, och för lagret i gäller i så fall att

$$\frac{Q}{\Delta t} = k_i A \frac{T_i - T_{i-1}}{l_i}, \quad i = 1 \dots N, \quad (2)$$

där Q är samma för alla lager, l_i är lagret i :s tjocklek och areorna där materialen är i kontakt med varandra A_i antags vara lika stora. Temperaturskillnaden över hela strukturen är då

$$\Delta T_{\text{tot}} = T_N - T_0 = \sum_{i=1}^N (T_i - T_{i-1}), \quad (3)$$

och skivans totala tjocklek är

$$l_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^N l_i. \quad (4)$$

För hela strukturen kan nu skrivas

$$\frac{Q}{\Delta t} = k_{\text{tot}} \frac{A \Delta T_{\text{tot}}}{l_{\text{tot}}}, \quad (5)$$

och då summorna (3) ja (4) substitueras samt ekvation (2) löses med avseende på $T_i - T_{i-1}$ fås slutligen en formel för strukturens värmekonduktivitet

$$\frac{l_{\text{tot}}}{k_{\text{tot}}} = \sum_{i=1}^N \frac{l_i}{k_i}. \quad (6)$$

2 Målsättningar

Efter att ha utfört laboriet arbetet

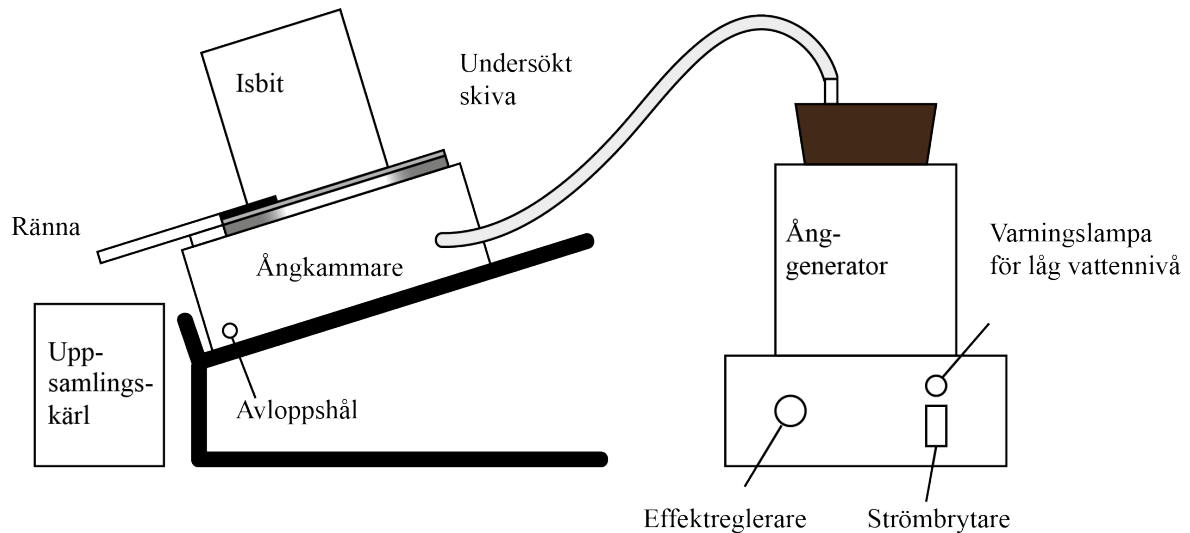
- förstår studeranden vad som menas med ett materials värmekonduktivitet
- kan studeranden bestämma värmekonduktiviteten för en struktur med flera lager från de enskilda lagrens värmekonduktiviteter och tjocklekar
- kan studeranden göra en feluppskattning för slutresultatet och jämföra olika felkällornas inverkan på det totala felet

3 Apparatur

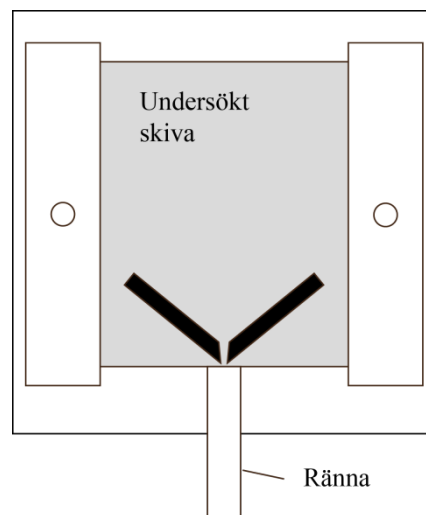
I arbetet används anordningen som illustreras i figur 2. Som värmekälla används en ånggenerator i vilken vatten kokas vid normaltryck. Ångan som bildas leds till en ångkammare vars öppna vägg täpps till med en skiva av det undersökta materialet. På skivan placeras en isbit som fungerar som mottagarföremål. Systemet lutas så att smältvattnet som uppstår kan rinna bort. Gummiremsor har limmats fast i skivorna så att smältvattnet kan ledas till ett kärl för att sedan kunna vägas.

Dessutom behövs:

- Jonbytare (Blå cylinder på laboratoriets vägg)
- Mätkanna och kärl för spillvattnet
- Slät glasskiva samt glas- och polykarbonatskivor utrustade med gummiremsor
- Burk med isbitar (i frysen)
- Mikrometerskruv och skjutmått (av assistenten)
- Tidtagarur (av assistenten)



Kuva 2. Annordning för bestämmande av materials värmekonduktivitet.



Figur 3. Den undersöka skivans ställning på ångkammaren.

4 Förhandsuppgifter

Bekanta dig med teorin som hör till arbetet i valfri fysiklärobok t.ex. [1–3], läs igenom arbetsinstruktionen och besvara frågorna nedan på svarsblanketten.

1. På vad baserar sig värmeledningen i ett fast material?
2. Hur kan skivans värmekonduktivitet beräknas utgående från isens smälthastighet?
3. Vilka faktorer påverkar värmekonduktiviteten för strukturen med flera lager?
4. I detta arbete bestäm värmekonduktiviteten k med hjälp av ekvation (1). Bestäm från denna ekvation med hjälp av totaldifferentialen felet Δk för värmekonduktiviteten. Av variablerna bör du beakta felet på värmemängden Q , tiden som åtgått Δt , tjockleken l och arean A . (Tips: i det här fallet är det lättare att beräkna det relativa felet)

5 Mätningar

I arbetet mäts värmekonduktiviteten för glas- och polykarbonatskivor samt för en glas-polykarbonatstruktur. Mätresultatet för glas-polykarbonatstrukturen jämförs med värdet för strukturens värmekonduktivitet som beräknats från de mätta värdena på de enskilda skivornas värmekonduktiviteter.

Alla mätresultat och svaren på förhandsuppgifterna antecknas på svarsblanketten. Användning av blyertspenna rekommenderas. Svarsblanketten returneras slutligen åt assistenten.

WARNING! Ånggeneratoren och ångan som sprutas ut är kokheta!

5.1 Förberedelser

1. Frigör isbiten från burken genom att hålla varmt vatten på burken utsida tills isbiten lossnat från burkens botten. Lämna isbiten i burken. Försök inte frigöra isbiten genom att bända eller vrida den!
2. Kontrollera att ånggeneratoren är fylld till $\frac{3}{4}$ med vatten. Tillsätt jonbytt vatten vid behov i kärlet. Koppla ström till generatoren och ställ effekten på maximi.

OBS! Ifall ånggenerators LOW WATER – lampa tänds under en mätning, stäng av ånggeneratoren, tag bort isbiten från den undersökta skivan och tillsätt vatten till $\frac{3}{4}$ –höjd. LOW WATER – lampan släcks och upphettning försätter då generators överhettningsskydd har kylts tillräckligt av det tillsätta vattnet. Vänta tills tillräckligt med ånga sprutas ut innan isbiten sätts tillbaka på den undersökta skivan. Vänta en stund på att isens yta jämnats och börja mätningen från början.

3. Sätt fast slangen mellan ångkammaren och ånggeneratoren. Skydda bordsytan under avloppsröret med pappershandukar och placera kärlet för uppsamling av smältvattnet under avloppsröret. Sätt kärlet för uppsamling av smältvattnet att stå på pappershandukar under rännan.

5.2 Mätningar

4. De undersökta skivorna består av två glasskivor och en polykarbonatskiva (Lexan). Mätt skivornas tjocklek på flera ställen med mikrometerskruven. Kom ihåg då du använder mikrometerskruven att den bör spännas mycket försiktigt. I annat fall kan glasskivan spricka.
5. Sätt glasskivan med gummiremsor på plats och spänn skruvarna så att kontakten mellan ångkammarens tätning och glasskivan inte läcker. (Vi börjar med glasskivan för att ojämheter på isbitens yta snabbt smälter bort.) Kontrollera att glasskivan är fast i rännan så att smältvattnet inte rinner förbi rännan (se figur 3).
6. Vänta tills ånggeneratoren producerar ånga i konstant takt. Vatten rinner då i ångkammarens avloppsrör och ånga sprutas ut till ett avstånd på ca 10-20 cm. (Ifall ångan är svår att se kan man försiktigt känna efter med handen. Akta dig dock så att du inte bränner dig!)
7. Mät isbitens diagonal.
8. Placera burken med isbiten på skivan så att burkens kanter ligger mot den undersökta skivan och jacket vid burkens mynning pekar mot rännan.
9. Vänta en stund tills isen smälter jämnt. (Vid mätningen med den första skivan bör du vänta tills ojämheter vid isbitens undre yta smultit bort innan mätningen påbörjas). Töm i början av mätningen kärlet med smältvatten.
10. Använd tidtagaruret till att mäta den tid det tar att samla in ca 30 ml smältvatten. Detta tar 1,5-13 min beroende på skivkonfigurationen. Ta bort isbiten från skivan efter mätningen så att den inte smälter i

onödan. Mät diagonalen på den sidan av isbiten som varit i kontakt med skivan. Väg det insamlade smältvattnet på digitalvågen. (Fundera på varför en våg används till detta i stället för kärlets egna skala!)

11. Stäng av strömmen till ånggeneratorns och vänta tills ånga inte längre sprutas ut. Tag lös slangen från ånggeneratorn och vänta tills skivan har kylts ner och kan skruvas lös utan att man bränner fingrarna.
12. Sätt nästa skiva på plats och först därefter generatorns slang på plats. Slå på ånggeneratorns ström. Upprepa punkterna 7-11 för polykarbonatskivan och strukturen med lager av släta glasskivor och polykarbonatskivor.
13. Stäng av strömmen för ånggeneratorns och dra ut stöpseln ur eluttaget. Töm burken med is och fyll den med jonbytt vatten och ställ den tillbaka i frysen. Torka stänkvattnet från bordet.

6 Behandling av resultaten och rapporten

1. Bestäm glasskivans värmekonduktivitet utgående från ekvation (1). Bestäm även en feluppskattning för glasskivans värmekonduktivitet genom att beakta olika felkällors inverkan. OBS! I detta arbete används skivor av specialglas som klarar av mätanordningens temperaturskillnader. Värmekonduktiviteten för detta glas är därför klart högre än för vanligt glas.
2. Bestäm värmekonduktiviteten för polykarbonatskivan.
3. **Gör en hypotes och anteckna den på svarsblanketten:** Hur stor är värmekonduktiviteten för glas-polykarbonatstrukturen i förhållandet till glasskivans och polykarbonatskivans värmekonduktivitet (mindre/lika stor/större)? Motivera ditt svar fysikaliskt.
4. **Testa din hypotes:** Bestäm värmekonduktiviteten för glas-polykarbonatstrukturen utgående från mätresultaten. Beräkna även värmekonduktiviteten för glas-polykarbonatstrukturen utgående från de beräknade värdena för glas- och polykarbonatskivan i punkt 1. och 2. samt ekvation (6) och jämför det beräknade värdet med det uppmätta värdet. Fundera på möjliga orsaker ifall hypotesen inte stämde.

7 Tankeställare

1. Svarar de två på olika sätt bestämda värdena på värmekonduktiviteten för glas-polykarbonatstrukturen varandra?
2. Vad orsakar det största felet av de felkällor som tagits i beaktan för mätanordningen? Kom med ett förbättringsförslag för mätanordningen på basis av detta.
3. Jämför dina resultat med värden i litteraturen. Värmekonduktivitet för specialglaset är $0,72 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}) - 0,86 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ [5] och för polykarbonatskivan $0,19 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m})$ [5]. Värden på värmekonduktiviteten som bestämts i detta arbete är oftast större än de värden som hittas i litteraturen. Fundera på om systematiska fel lämnades obeaktade i felbedömningen. Vilka i så fall?
4. Hur påverkar den tunna luftspringan mellan glas- och polykarbonatskivorna värmekonduktiviteten för strukturen med lager?

Källor

- [1] D.C. Giancoli, Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics 4th edition, International edition, Pearson Education, Inc, 2009.
- [2] Hugh Young, Roger Freedman, A. Lewis Ford: University Physics with Modern Physics. International Edition. 13. upplagan. Pearson Education, 2011.

- [3] Halliday, Resnick, Walker, Fundamentals of Physics Extended, Extended 9th edition, International Student Version, Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [4] Handbook of Chemistry and Physics, 56th edition, The Chemical Rubber Company
- [5] Thermal conductivity apparatus, Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific Model TD-8561, http://www.pasco.com/file_downloads/product_manuals/Thermal-Conductivity-Apparatus-Manual-TD-8561.pdf, (28.8.2012).