

Mars 1987

LABORATION **T6** FÖR F3

SOLABSORPTIONSKOEFFICIENT OCH EMISSIVITET

Handledare:

Namn: Nr: Labplats:

Laborationen utförd den

Laborationen inlämnad den

Godkänd den

av

Avsikten med den här laborationen är att 1) bekanta Dig med tekniken för bestämning av absorptionskoefficienten och emissiviteten för utvalda ytbeläggningar och 2) undersöka vilka materialegenskaper hos ytbeläggningar som är mest lämpliga för solfångare.

OBS! Läs. kap. 1 - 3 i förväg och besvara uppgifterna på sidorna 5 och 6.

1. INTRODUKTION.

Mellan en kropp och omgivningen förekommer alltid ett energiutbyte via elektromagnetisk strålning. Av den från omgivningen infallande energin absorberar kroppen en del, transmitterar en del och reflekterar resten. Dessutom emitterar kroppen själv energi till omgivningen. Förmågan att absorbera, transmitta, reflektera och emittera energi beror på strålningens våglängd.

Fönsterglas t ex är helt genomskinligt för synlig strålning och samtidigt helt ogenomskinligt för långvågig infraröd strålning, egenskaper som är mycket viktiga i alla de sammanhang där växthuseffekten är inblandad.

För en given våglängd gäller följande samband:

$$1) \quad \alpha + \tau + \rho = 1$$

där α = den bråkdel av den totala energin hos den infallande strålningen som absorberas.

τ = den bråkdel av den totala energin hos den infallande strålningen som transmittas.

ρ = den bråkdel av den totala energin hos den infallande strålningen som reflekteras.

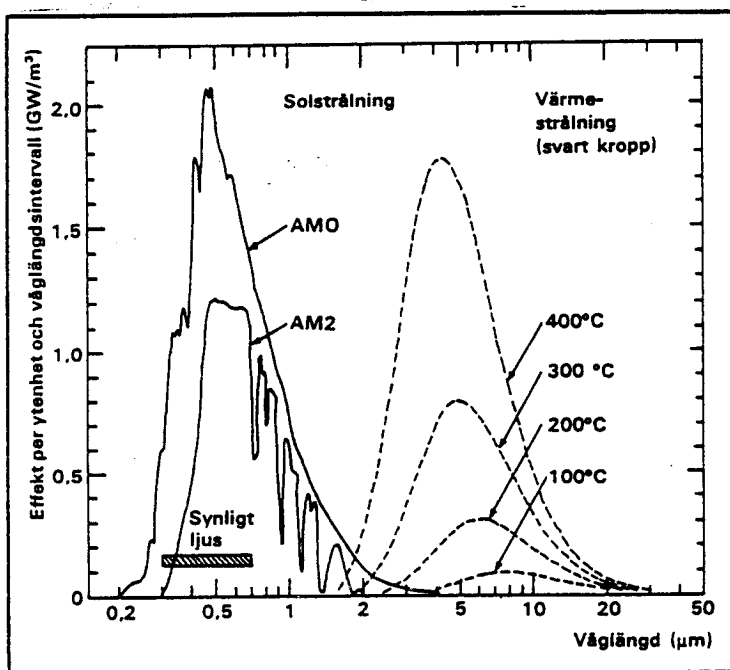
$$2) \quad \alpha = \epsilon \text{ där } \epsilon = \text{kroppens emissivitet.}$$

Däremot behöver inte $\alpha(\lambda_1)$ vara lika med $\epsilon(\lambda_2)$ om $\lambda_1 \neq \lambda_2$.

Den av kroppen absorberade effekten, P_a , är således lika med $\alpha \cdot P$, där P är den totala effekten hos den infallande strålningen osv. Effekten som strålas ut från kroppen är $P_{ut} = \epsilon \sigma (T^4 - T_0^4)$ där σ är Stefan-Boltzmanns konstant medan T och T_0 är kroppens respektive omgivningens temperatur. För en svart kropp är $\epsilon = 1$ medan för icke svarta kroppar gäller att $0 < \epsilon < 1$.

2. SPEKTRALT SELEKTIVA YTOR (SOLFANGARYTOR).

Solfångare omvandlar solstrålningsenergi till energi lagrad i ett värmetransportmedium som kan vara varmvatten eller varm luft. För att denna omvandling skall ske utan stora förluster, måste den absorberande ytan vara spektralt selektiv, dvs ha olika optiska egenskaper inom olika delar av det relevanta våglängdsområdet. Detta kan lämpligen diskuteras utgående från Fig. 1. Solstrålning som infaller mot jorden ligger i våglängdsområdet 0,2 till 3 μm . Den heldragna kurvan betecknad AMO avser strålning utanför jordatmosfären. Kurvans form motsvarar ungefär ett svartkroppsspektrum för 6000⁰ C. Vid jordytan ser spektrumet något annorlunda ut. Kurvan som betecknas AM2 avser typiska atmosfärsbetingelser och solen stående 30⁰ över horisonten. Huvuddelen av solstrålningens ultravioletta del har nu absorberats. Ett antal absorptionsband, orsakade av vattenånga och koldioxid, uppträder inom det infraröda våglängdsområdet.



Heldragna kurvor visar solspektrum utanför jordatmosfären

Fig. 1.

Huvuddragen av solspektrumet kvarstår dock; den infallande strålningen ligger vid våglängder som understiger 2 μm . En solfångare skall givetvis absorbera en så stor del som möjligt av denna strålning, dvs dess absorptionsförmåga skall vara nära ett för våglängder kortare än 2 μm . Reflexionsförmågan skall således vara nära noll i detta intervall.

För att den "infångade" solenergin inte omedelbart skall strålas ut som onyttig energi till omgivningen, utan utnyttjas för upphettning av ett värmetransportmedium, måste vi kräva att emissionsförmågan är liten för termisk strålning. De streckade kurvorna i Fig. 1 avser svartkroppsspektra för fyra olika temperaturer. Praktiska solfångarkonstruktioner kan arbeta vid temperaturer av 100 till 200^o C. Den emitterade strålningen ligger då nästan helt för våglängder som överstiger 2 μm . Inom detta intervall kräver vi att emissionsförmågan skall vara liten, dvs reflexionsförmågan skall vara stor.

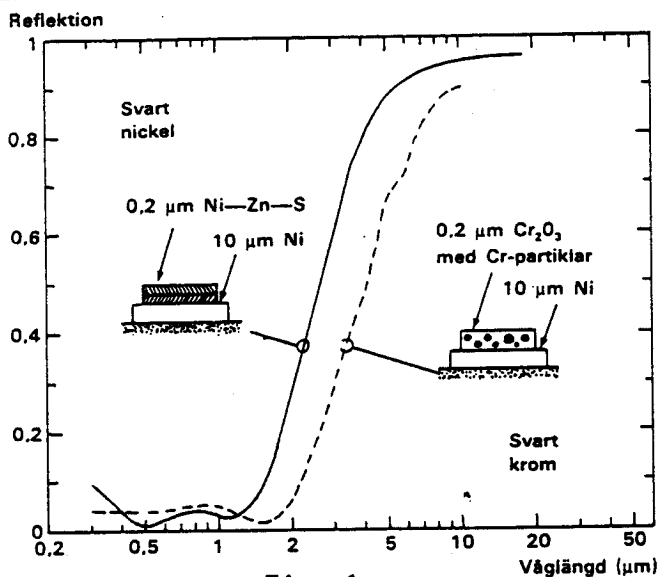


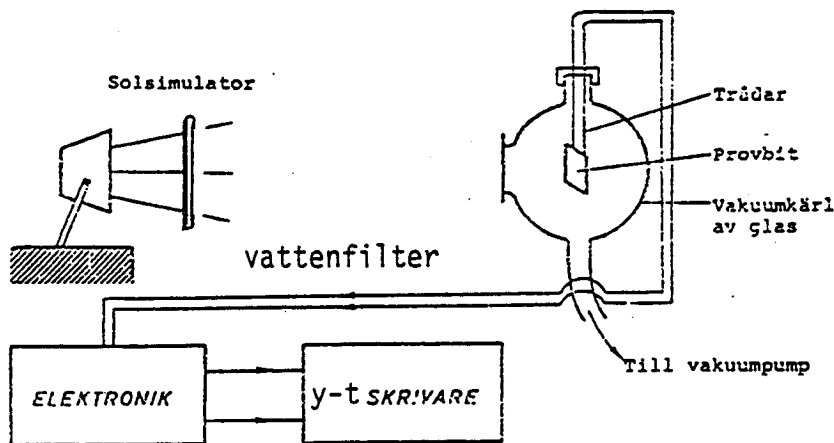
Fig. 2.

De önskvärda optiska egenskaperna finnes inte hos något befintligt material, men med hjälp av lämpligt utformade ytskikt på blanka metallytor kan de åstadkommas. De mest allmänt utnyttjade ytskikten är absorberande för våglängder som understiger 2 μm men är transparenta för våglängder som överstiger detta värde. Den långvågiga strålningen karakteriseras då av den underliggande reflekterande metallen. Figur 2 visar uppmätta spektrala reflexionsegenskaper hos två typer av praktiskt använda solfångarytor. Dessa brukar kallas "svart nickel" resp. "svart krom". Ytorna tillverkas med hjälp av elektroplätning. På laborationen studeras en yta av "svart nickel" med egenskaper som ungefärligen överensstämmer med den heldragna kurvan i Fig. 2.

3. EXPERIMENTELL TEKNIK.

Laborationsmässigt bestäms ytbelägningars egenskaper med hjälp av mätupställningen som är redovisad i figur 3.

En plåtbit belagd med ytbelägningen som skall undersökas upphänges i tunna trådar inne i ett vakuumbärl. De tunna trådarna som är av koppar och konstantan bildar ett termoelement. Spänningen från termoelementet registreras som funktion av tiden, varvid man får tillgång till information om T och $\frac{dT}{dt}$. I stället för solljus användes en strålkastare med vattenfilter för att efterlikna solstrålningen. Temperaturändringar i plåtbiten är relaterade till nettoeffekten för energiutbyte mellan plåtbiten och omgivningen enligt $P_{\text{netto}} = c_p \cdot m \cdot \frac{dT}{dt}$ där c_p och m är plåtbitens värmekapacitivitet respektive massa.



Figur 3. Mätapparaturen.

För att minimera energiförlusterna från plåtbiten till omgivningen på grund av värmeledning genom luften evakueras en del av luften från glaskärlen med hjälp av en vakuumpump.

När lampan i uppställningen i figur 3 sätts på, kommer den infallande strålningen att förorsaka en ökning av temperaturen i plåtbiten. Temperaturändringen, $\frac{dT}{dt}$, kommer således att bero 1) på den infallande effekten 2) på plåtbitens massa, m , och värmekapacitivitet, c_p , 3) på ytans absorptionsförmåga, α , och emissivitet, ϵ , samt 4) på effektförlusterna, p_f , genom den resterande luften.

Räkneuppgift 1.

Sätt upp effektbalansen för den totala processen.

Lägg märke till att i början av experimenten, dvs omedelbart efter påsättningen av lampan, kommer temperaturdifferensen mellan plåtbiten och omgivningen att vara mycket liten. Detta betyder att effektförlusterna p g a emissiviteten och värmeläckning genom den resterande luften kommer att vara försumbara. Det första skedet av experimenten är således synnerligen lämpligt för bestämning av ytans absorptionsförmåga α . Om Du, däremot, vid ett senare tillfälle stänger av lampan, kommer energitillförsel att strypas ned och de enda bidragande orsakerna till temperaturändringarna i plåtbiten kommer då att vara emissiviteten och värmeledningsförlusterna genom luften. Den här delen av experimentet är alltså mycket lämplig för bestämning av ytans emissivitet ϵ .

Räkneuppgift 2.

Sätt upp ekvationer för effektbalansen för tiden strax efter påsättning av strålningen från lampan och för tiden efter lampans avstängning.

Nedan följer en del uppgifter om uppställningens komponenter.

Solsimulatorn.

Som solsimulator används en bilstrålkastare med halogenlampa (45 W). Ljuset från denna lampa har efter passage genom ett vattenfilter en spektralfördelning som "hyfsat" överensstämmer med solspektrum. Att vi inte lyckats få tag på någon lampa vars spektrum överensstämmer bättre med solspektrum beror helt enkelt på att det inte finns någon riktigt lämplig i marknaden trots att en "dagsljuslampa" länge har varit något mycket önskvärt speciellt i fotobranschen. Avståndet mellan strålkastaren och provytan har valts så att irradiansen på provytan blir ca 600 W/m^2 dvs något mindre än solljus från en molnfri himmel.

Vattenfiltrets uppgift är att eliminera strålning med våglängder över $c:a 2 \mu$. (Jfr Fig. 1.)

Termoelementet.

Idealt ville vi mäta temperaturen på provytan utan att påverka dess temperatur. Konstruktion enligt Fig. 4 har valts för att påverka provytans temperatur så lite som möjligt.

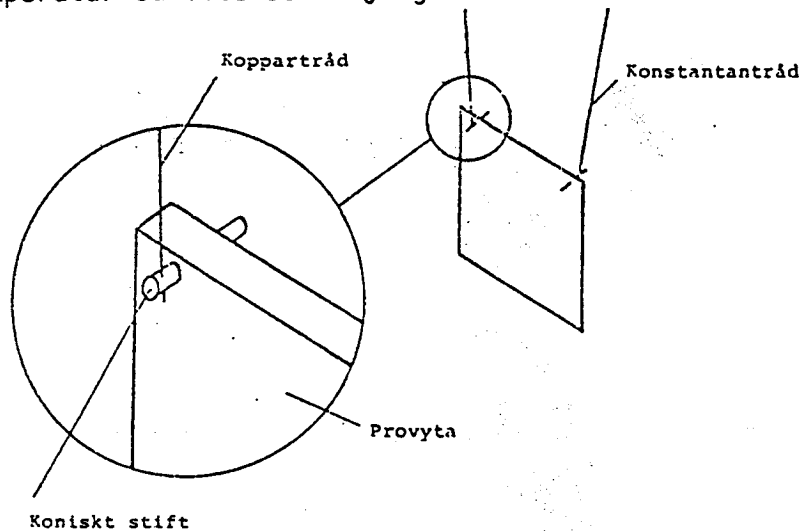


Fig. 4, Temperaturmättnings- och upphängningsarrangemang.

Termoelementtrådarna fungerar alltså även som upphängningstrådar. Eftersom metaller som ligger mellan koppartråden och konstanttråden inte påverkar spänningen från termoelementet fungerar arrangemanget som ett termoelement av typ koppar-konstantan.

Vakuumsystemet.

I en solfångare orsakar luften som finns mellan absorbdatorytan och frontglaset en värmeförlust som är av storleksordningen 30 % av utstrålningen från en yta med emissiviteten = 1 under normala driftsförhållanden. Eftersom denna siffra är osäker är det önskvärt att eliminera denna värmeförlust när man vill mäta upp de optiska konstanterna α och ϵ för en solabsorbatoryta. Det visar sig att om man sänker trycket till ca 10^{-4} mbar blir värmeförlusten från ytan p g a resttryck försumbar relativt värmeutstrålningen och vi närmar oss i detta avseende det ideala fallet. I vårt fall används ej diffusionspump utan vi nöjer oss med en förvakuumpump varför värmeförlusten ej är försumbar.

Elektroniken.

Elektronikens uppgift är att ge signalspänning till en y-t-skrivare.

Termoelementet ger en spänning som ökar med temperaturen. För att kunna mäta temperaturen behöver denna spänning i princip bara förstärkas. Förstärkaren är av en speciell typ avsedd för termoelement (fabrikat Pentronic). Den kan registrera spänningsändringar av storleksordningen $0.1\mu\text{V}$ vilket motsvarar c:a $\frac{1}{400}$ K i temperatur. Observera att förstärkaren har inbyggd nollpunkt. Någon yttre referens krävs således ej.

Uppgift 1.

Bestäm α och ε för en utvald ytbeläggning.

Ordningsföljden för mätproceduren är följande:

1. Irradiationen bestäms på provets plats med hjälp av radiometer. följ assistentens instruktioner för hantering av radiometern.
2. Provet sätts på plats och pumpningen startas.
3. y-t skrivaren inkopplas.
4. När trycket sjunkit till ca $6 \cdot 10^{-2}$ mbar startas y-t skrivaren och sedan strålkastaren och mätningen börjar.
5. Efter ca 10 minuter släcks lampan och skrivaren får fortsätta under ytterligare ca 10 minuter.

Uppgifter Du behöver:

- a. Värmeledningen genom resterande luft blir c:a $1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (obs även från baksidan).
- b. c_m 890 J/kg, K för aluminium.
- c. Provytornas vikt finns angiven på proven. Dimensionerna uppmättes med sjutmått.

Uppgift 2 a. En metallkub har fyra sidor belagda med olika material. Fyll kuben med hett vatten och studera utstrålningen med hjälp av radiometern. Använd den magnetiska omröraren.

<u>Yta</u>	<u>Temperatur</u>
- - -	- - - - -
- - -	- - - - -
- - -	- - - - -
- - -	- - - - -

Kommentar:

.....
.....

b. Två glasbehållare försedda med vattenmanometrar är vit- respektive svartmålade. Utsätt behållarna för värmestrålning från en glödlampa.

Resultat:

.....
.....

Kommentar:

.....
.....
.....
.....

c. Två aluminiumburkar är resp. svart- och vitmålade. Fyll burkarna med hett vatten (avläs termometrarna). Studera avsvainandet.

Resultat:

.....
.....

Kommentar:

.....
.....
.....
.....

Table 1
TYPICAL EMISSIVITIES

METALS

Aluminum, oxidized	.60
Brass, polished	.50
Brass, oxidized	.60
Copper, oxidized	.65
Iron, Cast, polished	.25
Iron, Cast, Oxidized	.70
Iron, wrought	.94
Steel, oxidized	.75
Steel, Plate, rough	.95
Aluminum, polished	.04

FINISHES

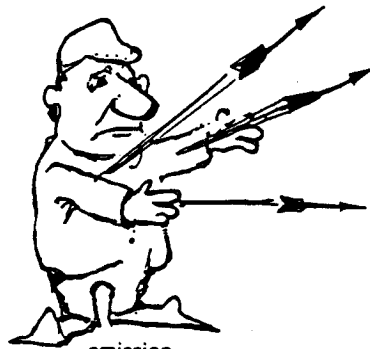
Aluminum Paint	.55
Bronze	.80
Gloss Paint, any color	.90
Dull Paint, any color	.95

OTHER

Asbestos	.94
Brick	.90
Lampblack	.95
Paper, any color	.95
Plastics, opaque, any color	.90
Rubber, any color	.95



absorption



emission



absorption



emission

Kirchhoff's law. The upper figure absorbs half the incident radiation. (The lower black body absorbs it all.) The upper figure thus emits half what the black body emits