

Slutrapport Termodynamik

Martin Almqvist - Carl Strandby

6 februari 2023

Sammandrag

I denna laboration undersöks egenskaperna absorptions- och emissionskoefficient. I grunduppgiften belystes en absorptionsplatta av koppar med två olika ytbeläggningar i en vakuumkammare. Plattans temperaturförändring mättes under uppvärmningen samt efter att belysningen avslutats, för att på så sätt kunna beräkna plattans absorptions- och emissionskoefficient. I bonusuppgiften placerades ett av totalt fyra färgämnesfilter mellan glödlampan och kopparplattan, för att undersöka absorptionskoefficientens våglängdsberoende. Experimentellt fastställdes absorptionskoefficient för en kopparplatta utan beläggning till $0,285 \pm 0,006$ och en med vit beläggning till $0,125 \pm 0,006$. Deras emissivitet beräknades vara $0,0485 \pm 0,001$ respektive $0,034 \pm 0,001$. Kopparplattans absorptionskoefficient fastställdes vara våglängdsberoende, och uppnå ett av sina högre värden mellan våglängder på 300 – 500 nm för att avta och närma sig noll för våglängder > 1000 nm.

Innehåll

1	Introduktion	3
2	Teori	3
2.1	Absorptions- och emissionskoefficient	3
3	Metod	4
3.1	Försökupställning	4
3.1.1	Grunduppgift	4
3.1.2	Bonusuppgift	5
3.2	Utförande	6
3.2.1	Grunduppgift	6
3.2.2	Bonusuppgift	7
4	Resultat	7
4.1	Grunduppgift	7
4.2	Bonusuppgift	8
5	Diskussion	10
5.1	Grunduppgift	10
5.2	Bonus-uppgift	12
6	Appendix	14

1 Introduktion

I takt med att jordens efterfrågan av både billig och lättåtkomlig energi har ökat, har även behovet av effektiva solpaneler ökat. Solpaneler består av skikt av olika material med olika absorptions- och emissionskoefficienter för olika våglängder. Med rätt kombination av material kan solpaneler som absorberar synligt ljus utan att emittera värmestrålning konstrueras. Därför är denna laborations syfte att undersöka och bestämma dessa två materialegenskaper för en absorptionsplatta av koppar, samt undersöka absorptionskoefficientens våglängdsberoende.

2 Teori

2.1 Absorptions- och emissionskoefficient

Absorptionskoefficienten, α , är den andel av infallande strålning ett material kan absorbera. Ett objekt med en absorptionskoefficient på 1 absorberar all infallande strålning och kallas för en svartkropp. Ett objekt med $\alpha = 0$ absorberar ingen infallande strålning. Emittering av elektromagnetisk strålning beskrivs med Stefan-Boltzmanns lag, $\frac{dQ}{dt} = \varepsilon \sigma A (T^4 - T_0^4)$, där $\frac{dQ}{dt}$ är värmefflöde från objektet. Emissionskoefficienten eller emissiviteten, ε , är en faktor som avgör hur stor värmefflödet mellan de två kropparna är, och är även proportionell mot de två kropparnas temperaturer, T respektive T_0 . För en platta som blir belyst av en strålningskälla gäller ekvationen

$$c_p m \frac{dT}{dt} = \alpha_s P - \varepsilon_v \sigma A (T^4 - T_o^4) - P_{förl}, (1)$$

där c_p är specifik värmekapacitet; och är ett tabellvärde för plattans material, m är plattans massa, $\frac{dT}{dt}$ är tidsderivatan av plattans temperatur, P strålningskällans effekt, och $P_{förl}$ är en samlingsterm för olika effektförluster [1]. Därmed kan en plattans absorptions- och emissionskoefficienter mätas genom att mäta plattans vikt och area och temperaturförändring när den bestrålas i en miljö där $P_{förl}$ minimeras. En sådan miljö skulle kunna vara en vakuumkammare där det inte finns någon luft som kan absorbera värme. Då skulle absorptionskoefficienten enkelt gå att mätas genom att undersöka början av mätförloppet då plattans temperatur är ungefär densamma som dess omgivning. Sätter vi $T = T_0$ i ekvation 1, samt $P_{förl=0}$ får vi ekvationen

$$\alpha_s = \frac{1}{P} (c_p m \frac{dT}{dt}). \quad (2)$$

Plattans emissivitet kan enkelt mätas genom att mäta hur dess temperatur avtar efter att strålningskällan stängts av. Då är $P = 0$ och ekvation 1 kan skrivas om till att ge sambandet

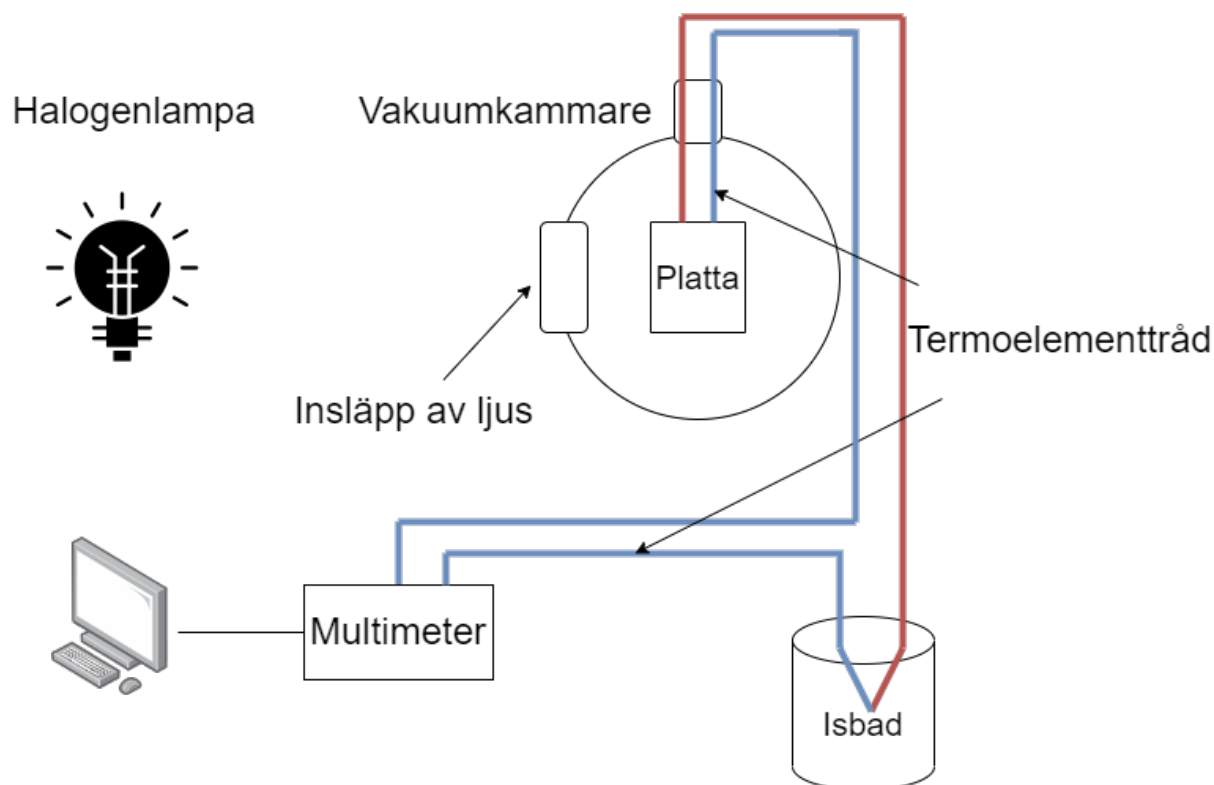
$$\varepsilon_v = \frac{c_p m \frac{dT}{dt}}{\sigma A (T^4 - T_o^4)}. \quad (3)$$

3 Metod

3.1 Försökuppställning

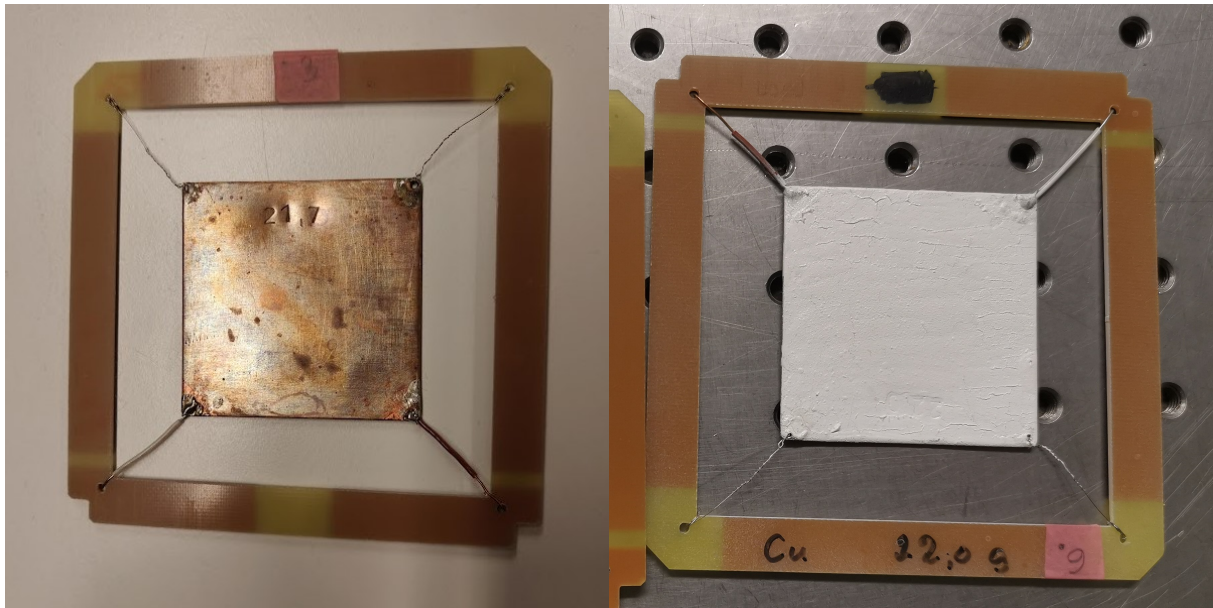
3.1.1 Grunduppgift

En halogen lampa monterades på ett fixerat avstånd från vakuumkammaren, riktad mot dess ljusinsläpp. I kammaren monterades en av två absorptionsplattor. Den ena utan beläggning med jämnare yta och den andra med vit beläggning och skrovligare yta, se figur 2.



Figur 1: Figuren visar uppställningen som användes i både grunduppgiften och bonusuppgiften. Ljus från en halogenlampa på fixerat avstånd ifrån vakuumkammaren lyser på plattan vilket genererar en spänning som går ut i termoelementstrådarna och mäts upp utav en multimeter som även använder ett nollgradigt (0°C) isbad som referens. Informationen går sedan vidare till en dator som omvandlar spänningen till en temperatur T , vilket möjliggör beräkning utav absorptionskoefficient och emissionskoefficienten.

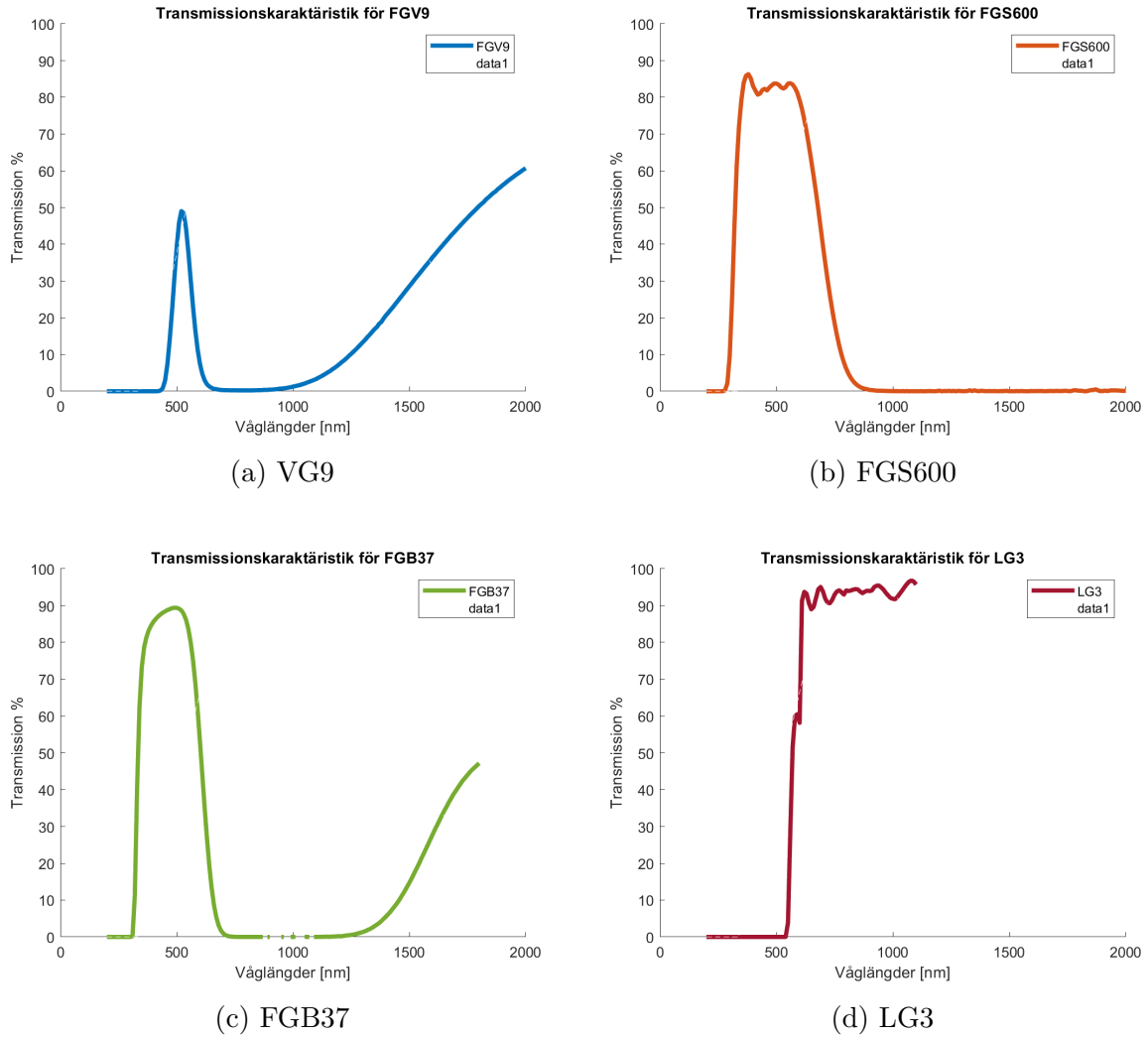
Absorptionsplattan kopplades till ett termoelement. Den positiva markerade tråden av termoelementet, markerad med blå färg i figur 1 kopplades till en multimeter, medan den negativa, markerad med rött, kopplades till ett nollgradigt (0°C) isbad som då agerade referenspunkt. Från isbadet kopplades sedan tråden till den negativa ingången på multimetern. Multimetern kopplades i sin tur med GPIB kabel till en dator som tar mätningar med programvaran LABview. Mellan mätningar blockerades ljusinsläppet med en avskärmning av aluminiumtäckt kork.



Figur 2: Kopparplattorna som användes under experimentet. Till vänster en platta utan beläggning och till höger en med vit beläggning. Taktilt upplevdes den vänstra ytan som jämn och något polerad, vilket också antyds av reflektionen från taklampan i denna bild, medan den högra plattan var skrovligare.

3.1.2 Bonusuppgift

För att undersöka absorptionsplattans våglängdsberoende användes den kopparplattan utan beläggning som ses till vänster i figur 2. I övrigt användes samma försökuppställning som i grunduppgiften med skillnaden att olika färgfilter monterades mellan halogenlampan och vakuumkammarens ljusinsläpp. Totalt användes fyra olika färgfilter vilkas transmissionskaraktäristik hämtats från Thorlabs [2], och plottats i MATLAB i figur 3. VG9 är ett smalare bandpassfilter mellan våglängderna 485-565 nm, men släpper även igenom våglängder > 1000 nm. FGS600 släpper enbart igenom våglängder mellan 330-665 nm. FGB37 släpper dels igenom vågor i intervallet 336-610 nm men även våglängder > 1200 nm. LG3 är ett par skyddsglasögon vars karaktäristik är konverterad från enheten optical density, och släpper igenom våglängder > 550 nm.



Figur 3: Transmissionskaraktäristik för de fyra färgämnesfilter som användes i bonusuppgiften: VG9, FGS600, FGB37 och LG3.

3.2 Utförande

3.2.1 Grunduppgift

Först startades halogenlampan och när denna hade kommit upp i temperatur togs en irradiansmätning, innan vakuumkammaren förslöts och startades. När trycket hade nått under 0,2 Pa inleddes en mätning och avskärmningen mellan lampan och ljusinsläppet togs bort. När mätningen av plattans stigande temperatur hade pågått ett tag placerades avskärmningen återigen mellan lampan och ljusinsläppet, för att istället mäta den sjunkande temperaturen. Proceduren upprepades för att få flera mätserier. Därefter exporteras mätdata till MATLAB. Databehandlingen utfördes med ekvation 2 och 3. Förlusttermen $P_{förl}$ sattes till noll, och omgivningstemperaturen sattes till det första uppmätta värdet av plattans temperatur, det vill säga $T_0 = T$. Absorptionskoefficienten beräknades som ett genomsnitt av de 100 första mätvärdena när lampan slagits på, och emissiviteten av de 100 första efter att lampan slagits av.

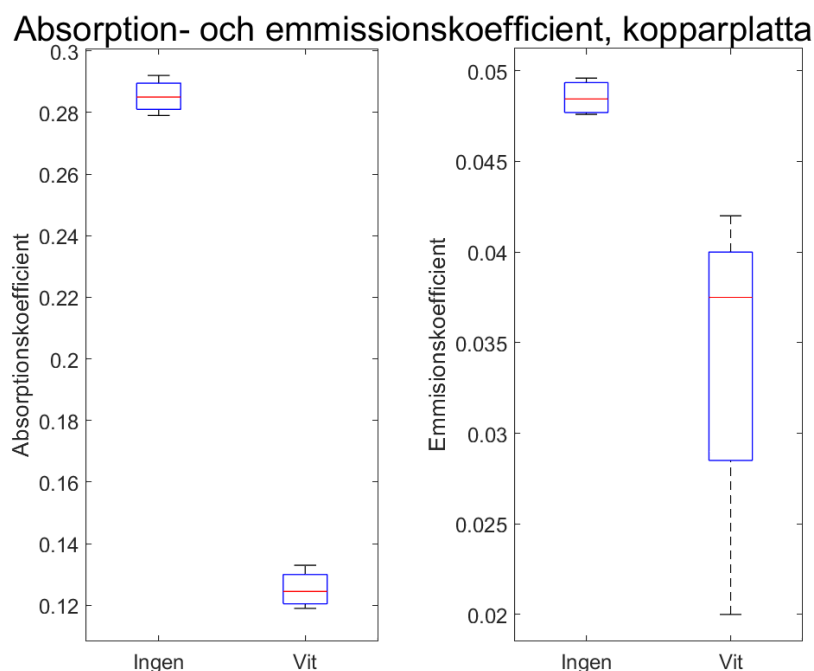
3.2.2 Bonusuppgift

Samma procedur som grunduppgiften upprepades för de fyra olika färgämnesfiltren. När fyra till fem mätserier tagits, stängdes vakuumkammaren av och filtret byts ut. För varje filter togs också en ny irradiansmätning. Mätdata exporterades sedan till MATLAB för vidare analys. Endast en kopparplatta utanbeläggning användes.

4 Resultat

4.1 Grunduppgift

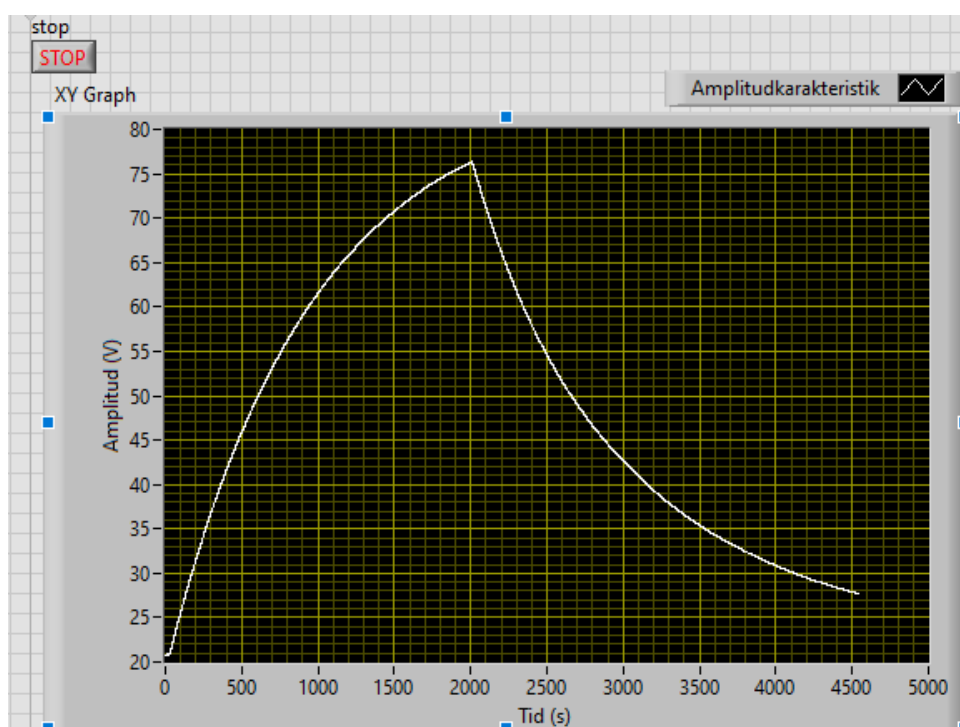
Fyra mätserier togs för respektive kopparplattas absorptionskoefficient och emissivitet. Absorptionskoefficienten bestämdes för plattan utan beläggning till $0,285 \pm 0,006$ och dess emissivitet till $0,0485 \pm 0,001$. För kopparplattan med vit beläggning var motsvarande värden för $\alpha = 0,125 \pm 0,006$ och $\varepsilon = 0,034 \pm 0,01$. Tabell 1 visar de fyra medelvärdena och standardavvikelsen för respektive mätserie. Dessa mätvärden jämförs också visuellt i figur 4. Figur 5 visar ett exempel på ett mätförlopp i Labview, mätningen som i tabell 1 benämns Mätning 1.



Figur 4: Visuellt jämförelse av de uppmätta värdena i tabell 1 för en kopparplatta utan beläggning och en med vit beläggning. Kopparplattan utan beläggning ses i den vänstra figuren ha en högre absorptionskoefficient än den med vit beläggning, och i den högra figuren ses samma platta även ha högre emissivitet.

Tabell 1: Uppmätta värden på en kopparplattas absorptionskoefficient och emissivitet samt standardavvikelsen för de 100 mätpunkter som användes för att ta fram respektive mätvärde. Absorptionskoefficienten för kopparplattan utan beläggning bestämdes till $0,285 \pm 0,006$ och dess emissivitet till $0,0485 \pm 0,001$, medan vit beläggning gav en absorptionskoefficient på $0,125 \pm 0,006$ och en emissivitet på $0,034 \pm 0,01$

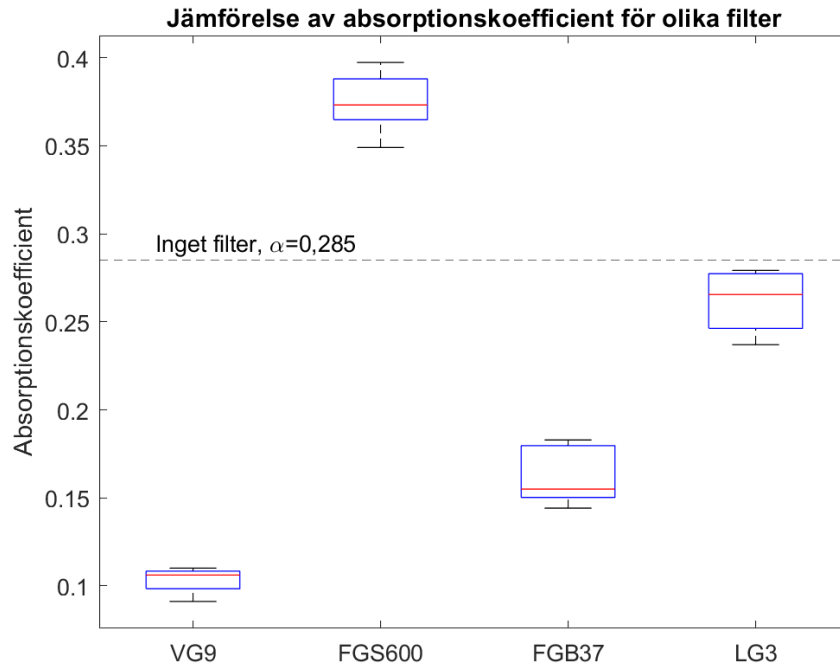
Mätning	Platta 1, koppar ingen beläggning				Platta 2, koppar vit beläggning			
	α	α_{STD}	ϵ	ϵ_{STD}	α	α_{STD}	ϵ	ϵ_{STD}
1	0,292	0,005	0,0478	0,0001	0,119	0,007	0,037	0,007
2	0,283	0,005	0,0476	0,0008	0,127	0,007	0,020	0,002
3	0,279	0,005	0,0496	0,0005	0,133	0,007	0,042	0,004
4	0,287	0,005	0,0491	0,0005	0,122	0,006	0,038	0,065
Medelvärde	0,285		0,0485		0,125		0,034	



Figur 5: Labviewbild av Mätning 1 med uppmätt temperatur av en kopparplatta. Kort efter att mätningen inletts påbörjades bestrålningen av plattan, efter 2000 sekunder avslutades belysningen och mätförloppet avslutades efter 4000 sekunder. Tidsförloppet varierades för olika mätningar. Absorptionskoefficient och emissivitet beräknades i Matlab, i denna mätning till 0,292, respektive 0,0478.

4.2 Bonusuppgift

Fyra till fem mätserier togs per färgämnesfilter för att bestämma medelvärde samt standardavvikelse för kopparplattans absorptionskoefficient. Fördelningen av dessa värden presenteras i figur 6. Absorptionskoefficienten bestämdes för filtret VG9 till $0,10 \pm 0,008$, för FGS600 till $0,38 \pm 0,002$, för FGB37 till $0,16 \pm 0,019$ och slutligen för LG3 till $0,26 \pm 0,019$. För fullständig lista över mätserierna, se tabell 2.



Figur 6: Jämförelse av fördelningen hos mätvärden för kopparplattans absorptionskoefficient då ljuset filtrerats med fyra olika färgämnesfilter vars karaktäristik ses i figur ???. Absorptionskoefficienten bestämdes för filtret VG9 till $0,10 \pm 0,008$, för FGS600 till $0,38 \pm 0,002$, för FGB37 till $0,16 \pm 0,019$ och slutligen för LG3 till $0,26 \pm 0,019$.

Tabell 2: Uppmätta värden för en kopparplattas absorptionskoefficient där strålningen filtrerats med olika färgämnesfilter. Absorptionskoefficienten bestämdes för filtret VG9 till $0,10 \pm 0,008$, för FGS600 till $0,38 \pm 0,002$, för FGB37 till $0,16 \pm 0,019$ och slutligen för LG3 till $0,26 \pm 0,019$. För en visuell jämförelse, se figur 6

Mätning	Färgämnesfilter	Alpha	Alpha STD	Medelvärde
1	Inget filter	0,292	0,005	0,285
2	Inget filter	0,283	0,005	
3	Inget filter	0,279	0,005	
4	Inget filter	0,287	0,005	
5	VG9	0,064	0,014	0,094
6	VG9	0,107	0,036	
7	VG9	0,110	0,038	
8	FGS600	0,397	0,111	0,375
9	FGS600	0,349	0,012	
10	FGS600	0,370	0,189	
11	FGS600	0,385	0,036	
12	FGS600	0,373	0,010	
13	FGB37	0,179	0,011	0,163
14	FGB37	0,144	0,010	
15	FGB37	0,155	0,014	
16	FGB37	0,183	0,010	
17	FGB37	0,152	0,008	
18	LG3	0,279	0,006	0,262
19	LG3	0,276	0,002	
20	LG3	0,237	0,006	
21	LG3	0,256	0,020	

5 Diskussion

5.1 Grunduppgift

Absorptionskoefficienten för kopparplattan utan beläggning bestämdes till $0,285 \pm 0,001$. Värdet skiljer sig något från tabellvärdet för koppars absorptionskoefficient, vilket för en polerad yta är 0,18 och för en matt yta 0,64. Då denna platta kan anses vara relativt polerad, se reflektionerna från belysningen i figur 2, men även har en del mattare partier, kan en absorptionskoefficient på 0,285 anses vara ett rimligt värde. För kopparplattan med vit beläggning beräknades absorptionskoefficienten till $0,125 \pm 0,006$ vilket är klart lägre än utan beläggning. Anledningen till denna skillnad kan vara att den vita beläggningen reflekterar en större del av det synliga våglängdsspektrumet, vilket är det område som den mesta av effekten från den valda ljuskälla emitterar.

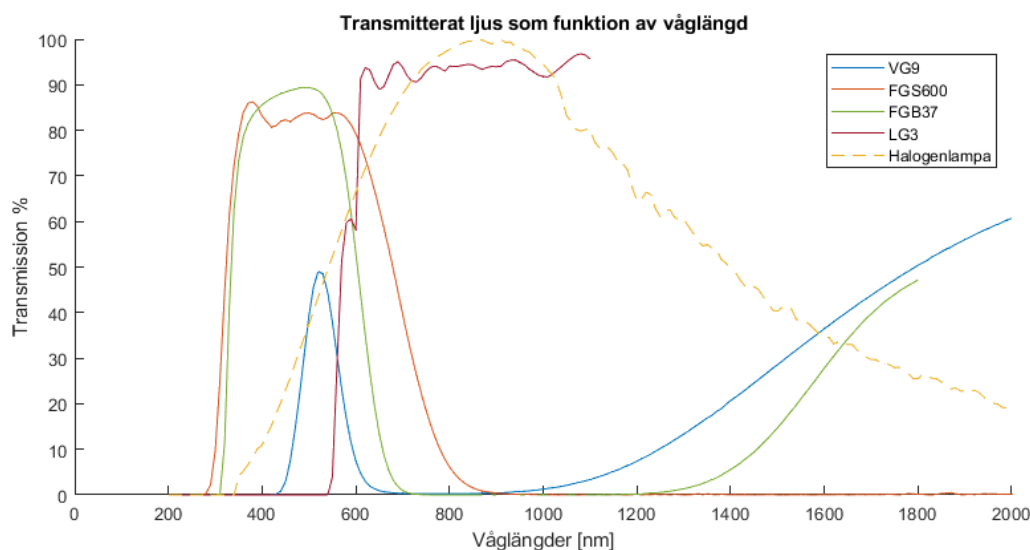
En felkälla att ta i beaktande är att förluster i form av luftkonvektion i vakuumkammaren, $P_{förl}$, har antagits vara noll, eftersom att trycket i vakuumkammaren under samtliga mätningar varit under 0,2 Pa. En annan viktig felkälla är att mätningar av effekten i kammaren skedde för hand. Ett ungefärligt värde av effekten ansågs under laborationens gång vara tillräckligt, men visade sig under databehandlingen ha en relativt stor påverkan

på värdet för absorptionskoefficienten.

Emissiviteten för kopparplattan utan beläggning bestämdes till $0,0485 \pm 0,001$. Jämför vi med tabellvärdet för emissivitet hos koppar finner vi att värdet för en polerad yta borde ligga mellan $0,023 - 0,052$. I tabellen saknas ett motsvarande värde för en matt yta för just koppar, men för andra metaller verkar en matt yta ha en något högre emissivitet än en polerad. Därmed kan det uppmätta värdet på $0,0485$ anses vara rimligt då det ligger i den övre delen av intervallet för polerad koppar. För plattan med vit beläggning kunde emissiviteten beräknas till $0,0034 \pm 0,01$ vilket är en lika stor skillnad mot ingen beläggning som absorptionskoefficienten var. Att emissiviteten inte var samma tros att ha med beläggningen som kan ha agerat som en isolator mot kopparen och hindrat strålning ifrån att lämna.

En felkälla att ha i beaktning gällande hur emissiviteten för de bägge plattorna har beräknats är att T_0 antagits vara det först uppmätta värdet på plattans temperatur, precis innan belysning av plattan påbörjats. Detta gjordes för att det med den givna vakuumkammaren inte gick att mäta både plattans och omgivningens temperatur samtidigt. Under experimentets gång gjordes en mätning av omgivningens temperatur i kammaren under ett mätförlopp. Under förloppet värmdes plattan från 20 till $45\text{ }^\circ K$ medan omgivningstemperatur endast ökade med två och en halv grad. Den låga temperaturförändringen ansågs vara en tillräckligt god grund för att omgivningstemperaturen kunde approximeras till det initialt uppmätta värdet för plattans temperatur, det är möjligt att noggrannare värden hade kunnat tas fram om den uppmätta omgivningstemperaturen hade använts, men det hade då krävts att mätförloppen skulle vara identiska. Det vill säga att varje mätning haft samma starttemperatur och lika lång mätserie. Istället prioriterades variation av mätseriernas längd och plattans starttemperatur, just för att undersöka om detta påverkade de uppmätta koefficienterna, se fullständig mätdata i labbloggen i Appendix ???. Termoelementet av typen T som användes i detta experiment kan ha bidragit till att det exakta värdet för temperaturen inte har mätts upp då denna har en felmarginal på $\approx 0,5^\circ$. [3]

5.2 Bonus-uppgift



Figur 7: Transmissionskaraktäristik för de fyra använda filtren jämfört med våglängdsfördelningen av intensiteten hos en halogenlampa av modell SLS302. Notera att halogenlampan som använts för att ta fram denna bild inte är samma modell som användes under experimentet. Däremot antas de ha liknande våglängdsfördelning. Datan har hämtats från tillverkarens egna hemsida [2].

Mätningar av absorptionskoefficienten med olika färgämnesfilter resulterade i en tydlig skillnad mellan de uppmätta värdena för olika filter, vilket ses i figur 6. Detta antyder ett våglängdsberoende av kopparplattans absorptionskoefficient. För att undersöka och försöka förklara skillnaden mellan de uppmätta värdena, jämförs de olika filtrens transmissionskaraktäristik med våglängdsfördelningen hos intensiteten av en halogenlampa i figur 7. Speciellt intressant är en jämförelse mellan de två filtrena FGS600 och FGB37, där den förstnämnda uppmättes ge en lite mer än dubbelt så stor absorptionskoefficient som den sistnämnda. Båda filter släpper igenom ungefär lika mycket ljus i våglängdsintervallet 300 – 800 nm, men den sistnämnda börjar även transmitta ljus med våglängder > 1400 nm. Även VG9, som uppmättes ha den lägsta absorptionskoefficienten, släpper igenom ljus i det infraröda spektrat, redan vid våglängder > 1000 nm. Därmed kan absorptionskoefficienten för koppar antas vara mycket lägre för infrarött ljus, med våglängder > 1000 nm. Vidare noteras filter LG3 ha ungefär samma, men något lägre, absorptionskoefficient som inget filter alls. Den största skillnaden mellan dessa mätningar är att LG3 filtrerar bort våglängder mellan 300 – 500 nm, vilket indikerar att absorptionskoefficienten i detta intervall är större än noll. En mer försiktig gissning skulle vara att absorptionskoefficienten i detta intervall är relativt stor eftersom att den är tillräckligt hög för att ge utslag i mätdata, trots att halogenlampans intensitet i detta intervall är relativt låg. En mycket naiv skiss av kopparplattans våglängdsberoende skulle därför vara att den har ett relativt högt värde för våglängder mellan 300 – 500 nm, och att den avtar i intervallet 500 – 1000 nm för att vara relativt nära noll för våglängder > 1000 nm. För att sluta sig till en noggrannare undersökning av absorptionskoefficientens våglängdsberoende hos en kopparplatta hade det varit intressant att göra om laborationen med fler bandpassfilter i intervallen > 300 och 500 – 1000 nm. Det är möjligt för olika material att ha samma absorptionskoefficient, men de har oftast olika våglängdsberoende. En tillämpning av detta

skulle därför vara att med hjälp av uppställningen som användes i detta experiment, med extra bandpassfilter för ökad noggrannhet, identifiera olika typer av material. Detta hade varit ett billigare alternativ till spektroskopi.

Felkällor är dels att det saknas information för filtret LG3s egenskaper vid våglängder större än 1200 nm, den antas släppa igenom dessa våglängder eftersom att dess absorptionskoefficient annars hade skilt sig mer från inget filter alls. En annan viktig felkälla är likt grunduppgiften att irradiansen i vakuumkammaren mättes för hand och därmed inte helt identiskt för de olika filterna. Eftersom att skillnader i irradians hade en relativt stor påverkan på absorptionskoefficienten vid databehandlingen kan detta ha påverkat jämförelsen mellan de olika filterna. Om experimentet skulle upprepas skulle därför en hållare för irradiansmätaren konstruerats så att den hade placerats identiskt för de olika mätningarna.

6 Appendix

Tabell 3: Utrustningslista på utrustningen vi tänkt använda

Strålningseffektmätare Ophir 12A

Halogenbelysning

GPIB-kablar

Dator med LabVIEW

termoelement K,T

termoelementkablar K,T

Termometrar

absorptionsplattor av olika material

Isbad

Vanliga elektriska komponenter och kopplingsbräde

Referenser

- [1] Löfving S. Studies on selective coatings for solar absorbers; 1980. [Online; hämtad 2021-december-16]. Available from: https://chalmers.instructure.com/courses/17580/files/folder/Referenslitteratur/TIF090%20Termodynamik_Litteratur_2021?preview=1708454.
- [2] Thorlabs. färgämnesfilter data; 2022. [Online; hämtad 2022-feburari-03]. <https://www.thorlabs.com>.
- [3] Wikipedia contributors. Thermocouple — Wikipedia, The Free Encyclopedia; 2022. [Online; accessed 3-February-2022]. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Thermocouple&oldid=1067504693>.