

# **Möjligheter att påverka energiförbrukningen med hjälp av ytbeläggnings elektromagnetiska egenskaper**

Tina Rosenström

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Plastteknik
Identifikationsnummer:	3794
Författare:	Tina Rosenström
Arbetets namn:	Möjligheter att påverka energiförbrukningen med hjälp av ytors elektromagnetiska egenskaper
Handledare (Arcada):	Mikael Paronen
Uppdragsgivare:	
<p>Sammandrag:</p> <p>Värmestrålningens inverkan på den totala värmeöverföringen tas ofta inte i beaktande i många situationer trots att strålningen kan ha stor inverkan på energiförbrukningen. Värmestrålningen kan dessutom enkelt utnyttjas genom att kontrollera ytors elektromagnetiska egenskaper med tunna ytbläggningar, men problemet är ofta bristande kunskap om hur strålningen fungerar. Det här arbetet tar upp teorin bakom värmestrålningen, och presenterar olika material som kan användas för att kontrollera värmestrålningen. Arbetet ger också några exempel på situationer där man kan spara energi genom att också ta strålningen i beaktande genom att använda ytmaterial med rätt egenskaper.</p> <p>Arbetet är grundläggande och baserar sig på teorin. Men det ger många förslag på fortsatta undersökningar som kunde utföras för att utveckla arbetet och sprida informationen vidare. Om värmestrålningens totala potential utnyttjas kunde det ha en betydande inverkan på världens energibehov.</p>	
Nyckelord:	Värmeöverföring, värmestrålning, emissivitet, reflektion, energibesparing
Sidantal:	59
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	9.5.2012

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Plastics Technology
Identification number:	3794
Author:	Tina Rosenström
Title:	Möjligheter att påverka energiförbrukningen med hjälp av ytbeläggnings elektromagnetiska egenskaper
Supervisor (Arcada):	Mikael Paronen
Commissioned by:	
Abstract:	
<p>The effect of thermal radiation on the total heat transfer process is often not considered in many situations, even though radiation can have a significant impact on energy consumption. The radiation is even easy to control by changing the electromagnetic properties of the surface with thin surface coatings. But the problem is often lack of knowledge about how heat radiation works. This thesis presents the theory of thermal radiation, and gives examples of materials that can be used to control the radiation. The thesis also gives some examples of situations where you can save energy by taking thermal radiation into account by using surface materials with the right properties.</p> <p>This thesis is based on the theory, but it gives many suggestions of areas for further research that could be carried out in order to continue the process and spread the information. If the full potential of thermal radiation was utilized, it could have a significant effect on the world's energy consumption.</p>	
Keywords:	Heat transfer, thermal radiation, emissivity, reflection, energy saving
Number of pages:	59
Language:	Swedish
Date of acceptance:	9.5.2012

# INNEHÅLL

<b>1. INLEDNING .....</b>	<b>8</b>
1.1. Metoder.....	8
<b>2. VÄRMEÖVERFÖRING .....</b>	<b>9</b>
2.1. Konduktion .....	9
2.2. Konvektion .....	11
<b>3. VÄRMESTRÅLNING .....</b>	<b>12</b>
3.1. Emissivitet .....	15
3.2. Bestrålning.....	17
3.3. Absorptivitet .....	18
3.4. Reflektivitet och genomstrålning.....	19
3.5. Intensitet .....	19
3.6. Radiositet .....	21
3.7. Värmestrålningens växelverkan med ytor .....	21
<b>4. EMISSIVITETENS BETYDELSE I PRAKTIKEN .....</b>	<b>22</b>
<b>5. EMISSIVITETENS INVERKAN PÅ VÄRMEÖVERFÖRINGEN.....</b>	<b>23</b>
<b>6. MÄTNING AV YTORS ELEKTROMAGNETISKA EGENSKAPER.....</b>	<b>25</b>
6.1. IR-spektrometri.....	26
6.2. IR-termometer och IR-kamera.....	26
<b>7. EXEMPEL PÅ VÄRMEREFLEKTERANDE MATERIAL PÅ MARKNADEN IDAG.....</b>	<b>27</b>
7.1. Tunna filmer för fönster .....	28
7.2. Målarfärger .....	33
7.2.1. Värmereflekterande färg.....	33
7.2.2. Isolerande färg .....	35
7.3. Tunna metallfolier och metallytor .....	38
7.3.1. Stabilisering av metallytor.....	40
7.4. Reflexfilmer och -tejp.....	40
<b>8. EXEMPEL PÅ ABSORBERANDE OCH EMITTERANDE MATERIAL .....</b>	<b>41</b>
8.1. Målarfärg .....	42
8.2. Plaster .....	43
8.3. Tejp.....	44
8.4. Selektiva ytmaterial .....	44

<b>9. NÅGRA ANVÄNDNINGSOMRÅDEN FÖR REFLEKTERANDE MATERIAL</b>	<b>46</b>
9.1. Värmeelement.....	46
9.2. Bastuväggar .....	49
9.3. Hustak.....	50
9.4. Husväggar.....	51
9.5. Fönster .....	53
9.6. Bilrutor.....	54
9.7. Billack.....	55
<b>10. ANVÄNDNINGSOMRÅDEN FÖR EMITTERANDE OCH ABSORBERANDE MATERIAL.....</b>	<b>56</b>
10.1. Värmeelement.....	56
10.2. Ugnar .....	58
10.3. Motorer och maskinrum .....	59
10.4. Värmeelement och kylflänsar.....	60
10.5. Heta ytor som behöver nedkylning.....	61
10.6. Solfångare.....	61
<b>11. DISKUSSION .....</b>	<b>63</b>
<b>KÄLLFÖRTECKNING.....</b>	<b>67</b>

## Tabeller

Tabell 1. Värmeledning. (19) .....	10
Tabell 2. Konvektionskonstant. (19) .....	12
Tabell 3. Emissivitet. (19) .....	16
Tabell 4. Tekniska uppgifter om 3M:s fönsterfilm <i>Neutral 20</i> . (3).....	30
Tabell 5. Glasreptåliga filmer och deras egenskaper. (16).....	32
Tabell 6. Reflekterande målarfärger.....	34
Tabell 7. Metalliska färgers emissivitet. (20).....	35
Tabell 8. Emissiviteter för metaller. (19) .....	38

## Figurer

Figur 1. Värmestrålningen från en viss punkt sänds ut i en halvsfär över ytan (19).....	13
Figur 2. Den elektromagnetiska strålningens spektra. (6).....	13
Figur 3. Emissiviteten varierar med våglängden. ....	16
Figur 4. Spridande och speglade reflektion. (19) .....	19
Figur 5. Strålningens intensitet i en viss riktning (19) .....	20
Figur 6. Radiositet. ....	21
Figur 7. Bilar i solen. ....	24
Figur 8. Bilar som svalnar. ....	24
Figur 9. Uppmätta resultat för en reflekterande film för fönster. (32) .....	28
Figur 10. De olika lagren i en reflekterande fönsterfilm. (2) .....	28
Figur 11. Thermogaias termoskydd-färg. (31) .....	36
Figur 12. Selektivt material. (17) .....	45
Figur 13. Ett elektriskt värmeelement. ....	46
Figur 14. Ett elektriskt värmeelement med värmesköld.....	47
Figur 15. En bastuvägg. ....	50
Figur 16. Reflekterande tak. (11).....	51
Figur 17. Fönster med reflekterande film. ....	54
Figur 18. Radiatorexperiment. (9) .....	57
Figur 19. En platt absorberande solfångare. (27) .....	62
Figur 20. En solfångare med vakuumrör. (27) .....	62

# 1. INLEDNING

Det går åt stora mängder energi till uppvärmning och nedkylning i dagens värld. Därför är det också av intresse att optimera energiförbrukningen för att minimera energiförluster. Det vanligaste sättet är att isolera så bra som möjligt för att förhindra värmeförluster, och vid nedkylning koncentreras det mest på hur man avlägsnar värmen. Det som sällan räknas med är vilken effekt värmestrålningen kan ha för den totala värmeöverföringen och energianvändningen.

Syftet med det här arbetet är därför att undersöka vilka möjligheter det finns att påverka energiförbrukningen genom att kontrollera värmestrålningen med hjälp av tunna ytbeläggningars elektromagnetiska egenskaper. Det här arbetet är enbart grundläggande, och flera olika material och möjliga användningsområden presenteras. För att undersöka de presenterade möjligheterna närmare måste utförligare undersökningar genomföras. Arbetet innehåller därför många olika förslag för fortsatt forskning.

## 1.1. Metoder

Arbetet är grundläggande och baserar sig på teorin om värmeöverföring genom värmestrålning. Informationen som använts till arbetet är grovt gallrad för att allt inte kan rymmas med. Eftersom det är meningen att arbetet ska byggas vidare på är det viktigt att också den information som valts bort är lätt att hitta också för andra. Information om de olika materialen på marknaden har därför sökts med enkla sökord på Google för att samma information lätt ska kunna hittas tillsammans med den bortgallrade informationen. I de fall där det finns flera tillverkare av liknande material presenteras den tillverkare som verkar ledande, eller mer seriös. Den teoretiska bakgrunden har jag sökt i böcker och vetenskapliga databaser som till exempel Science Direct.

Om inget annat nämns baserar sig teorin i kapitel 2 och 3 på *Fundamentals of Heat And Mass Transfer* (19).



## 2. VÄRMEÖVERFÖRING

Värmeöverföring kan kort beskrivas som värmeenergi i rörelse på grund av temperaturskillnader. Naturens regel om att alltid sträva efter lägsta möjliga energitillstånd och högsta möjliga ordning leder till att när det finns skillnader i temperaturen mellan två medier, kommer energin alltid att vilja jämna ut sig. Energin flyttar sig alltid från varmare mot kallare, och termodynamikens huvudsats om energins bevarande anger att den totala energin i ett slutet system alltid är konstant.

Värmeenergi kan flyttas inom och mellan material på tre olika sätt: genom konduktion, konvektion och som värmestrålning. Ofta bidrar två, eller alla tre sätten till den totala värmeöverföringen. Konduktion och konvektion beskrivs kort här nedan, medan värmestrålningen får ett eget kapitel eftersom strålningen har den största betydelsen för arbetet.

### 2.1. Konduktion

Värmeenergi som sprider sig inom samma material eller mellan material i direkt kontakt med varandra kallas konduktion. Ett vanligt exempel är att en tesked som doppas i hett kaffe kommer att bli varmare också i den änden som är ovanför ytan. Värmens spridning i materialet kan förklaras med att temperatur och värme beror på atomernas och molekylernas rörelser. Ju mer energi partiklarna har desto mer ökar deras rörelser. När atomernas rörelse ökar vid uppvärmningen kommer de att kollidera med de närliggande atomerna och öka deras energi o.s.v. Energin leds på så sätt vidare i materialet tills systemet är i balans igen.

Matematiskt kan värmeledningen via konduktion beskrivas med ekvation 1.1. Eftersom energin flyttar sig från varmare mot kallare finns minustecknet för att visa flödesriktningen. Ekvationen är också känd som *Fouriers lag*.

$$q'' = -k \frac{dT}{dx}. \quad (1.1)$$

Värmeflödet  $q''$  [W/m<sup>2</sup>], är energins flödes hastighet och anger i vilken takt energin förflyttar sig i ett material. Värmeledningskoefficienten  $k$  [W/(m·K)], är en materialkonstant

som beskriver materialets värmeledningsförmåga. Värdet för  $k$  beror på materialet och varierar också med temperaturen. Värmeledningsförmågan kan ibland också betecknas  $\lambda$ . Några exempel för olika material finns i tabell 1.

Tabell 1. Värmeledningsförmågan  $k$  vid 300 K för några material. (19)

Material	$k$ (W/m·K)
aluminium	237
diamant	2300
koppar	401
rostfritt stål	15,1
styrox	0,040
polyuretan, hårt skum	0,026

Material med hög värmeledningsförmåga används för att leda bort värme från känsliga komponenter som t.ex. processorn i en dator. Om man istället vill hålla kvar värmen används material med så låg värmeledningsförmåga som möjligt, t.ex. vid isolering av husväggar. I material som leder värme bra minskar värmeledningsförmågan när temperaturen stiger. I ledande material är elektronerna tätare, och den ökade energin gör att elektronerna stöter på större motstånd i sina rörelser när de krockar med varandra. I isolerande material ökar  $k$ -värdet med stigande temperatur eftersom elektronerna är glesare och inte hindrar varandra när deras rörelseenergi ökar. (22).

I enkla fall där temperaturförändringen är linjär, som t.ex. vid beräkningar av värmeflödet genom ett fönster kan termen  $dT/dx$  beskrivas som

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}, \quad (1.2)$$

där  $T_1$  är innetemperaturen,  $T_2$  är utetemperaturen, och  $L$  anger materialets tjocklek. Ekvationen för värmeflödet blir då

$$q' = -k \frac{T_2 - T_1}{L} = -k \frac{\Delta T}{L}. \quad (1.3)$$

Värmeflödet ger endast flödet per area. Om man vill veta värmeeffekten  $q$  [W], måste man också räkna med arean  $A$ . Ekvationen blir då

$$q = q' \cdot A. \quad (1.4)$$

Konduktion kan mer utförligt beskrivas inom statiska och dynamiska förhållanden, och i en, två, eller tre dimensioner. Eftersom de beräkningarna har liten betydelse för det här arbetet tas de inte upp här, men kan studeras närmare i *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (19).

## 2.2. Konvektion

Värmeströmning, eller konvektion, sker när värme flyttar sig mellan en fast kropp och en strömmande vätska eller gas, t.ex. kylsystemet i en bilmotor. Energin på ytan av den fasta kroppen flyttar sig via diffusion till det lager av vätskan eller gasen som är i direkt kontakt med ytan på samma sätt som vid konduktion. Den uppvärmda vätskan leds sedan bort med strömmen så vätskan i kontakt med ytan har konstant temperatur. Konvektion kan också ske åt andra hållet, alltså energi flyttas från vätskan eller gasen till den fasta kroppen, till exempel vid uppvärmning med vätskefyllda element.

Värmeflödet  $q''$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] genom konvektion kan beskrivas med ekvationen

$$q'' = h(T_s - T_\infty), \quad (2.1)$$

där  $T_s$  är ytans temperatur, och  $T_\infty$  är vätskans temperatur. Konvektionskoefficienten  $h$  [ $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ] beror på gasen eller vätskan, och på dess flödehastighet över ytan. Denna ekvation är också känd som Newtons nedkylningslag.

I verkligheten är detta med konvektion inte riktigt så enkelt. För att kunna beskriva värmeöverföringen mer detaljerat måste man också ta i beaktande att flödehastigheten varierar genom hela flödet. Närmast den fasta kroppens yta är flödehastigheten mycket långsam eller t.o.m. stillastående. Sedan ökar hastigheten genom hela flödet för att ha den högsta hastigheten vid flödets yta längst bort från den fasta kroppen. Om kroppen inte är helt slät kan det dessutom bildas turbulens i flödet. Det leder till att det ofta kan vara svårt att bestämma ett exakt värde för  $h$ . Men i de flesta fall fås en tillräckligt bra approximation genom att använda vissa typiska värden för olika vätskor och gaser vid olika hastigheter. (Tabell 2).

Som kan ses i tabellen transporterar vätskor värme bättre än gaser. Fri, eller naturlig konvektion är när vätskan eller gasen rör sig med ett naturligt flöde över ytan. Eftersom

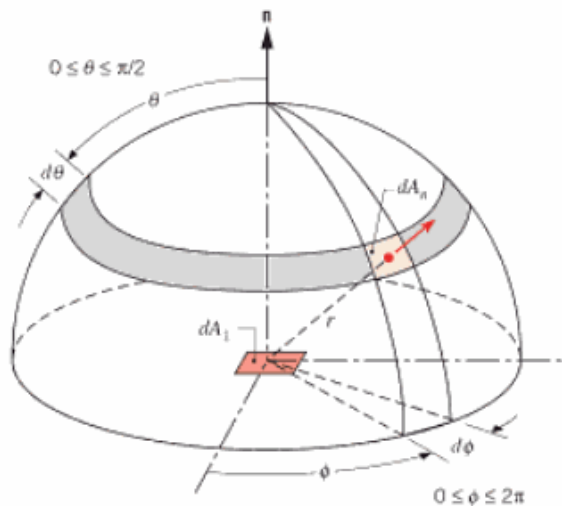
varm luft är lättare än kall kommer den varma luften att stiga uppåt och ge upphov till ett luftflöde över en yta. Samma princip gäller också för vätskor. Fenomenet kan ses tydligt i till exempel en lavalampa där en vätska stiger och sjunker på grund av värmskillnader. Forcerad konvektion är när vätskan eller gasen tvingas över ytan med hjälp av pumpar eller fläktar. Mer om konvektion finns också i *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (19).

Tabell 2. Ungefärliga värden för konvektionskonstanten  $h$ . (19)

Process	$h$ [W/m <sup>2</sup> ·K]
<b>Fri konvektion</b>	
Gaser	2-25
Vätskor	50-1 000
<b>Forcerad konvektion</b>	
Gaser	25-250
Vätskor	100-20 000

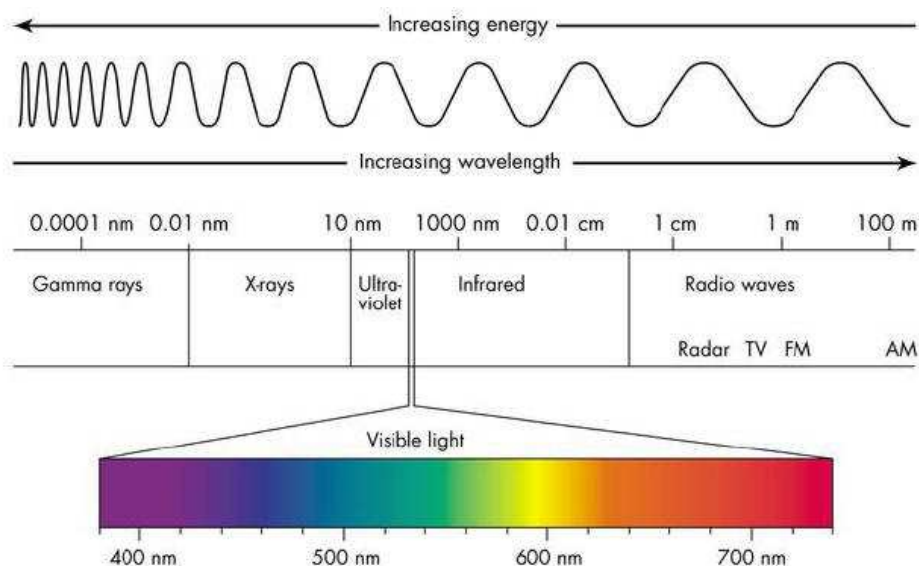
### 3. VÄRMESTRÅLNING

Det tredje sättet på vilket värme kan spridas är genom värmestrålning. Alla kroppar med en temperatur över absoluta nollpunkten sänder ut, eller emitterar, värmestrålning i form av elektromagnetiska vågor. Mekaniken bakom strålningen är elektronernas energinivåer. När ett ämne tillförs energi i form av värme exciteras elektronerna, d.v.s. de flyttar upp en energinivå i elektronmolnet och deras hastighet ökar. Då ökar också mängden värmestrålning som emitteras. I gaser och transparenta fasta material emitteras strålningen av alla atomer och molekyler i alla riktningar. I ogenomskinliga fasta ämnen däremot är värmestrålningen koncentrerad till ytan eftersom den strålning som sänds ut av de inre molekylerna absorberas av andra molekyler i närheten. Därmed är det endast strålningen från det yttersta lagret på ca 1  $\mu\text{m}$  som sänds ut från ytan. Värmestrålningen från en viss punkt sänds ut åt alla håll i en halvsfär över ytan. (Figur 1).



Figur 1. Värmestrålningen från en viss punkt sänds ut i en halvsfär över ytan.(19)

Värmestrålningen består av ett brett spann av våglängder av det elektromagnetiska spektret. Värmestrålningen består av hela det infraröda området, allt synligt ljus och dessutom en del av den ultravioletta strålningen. Våglängderna för värmestrålningen varierar alltså från 0,1-100  $\mu\text{m}$ . (Figur 2). Egentligen kan strålning av alla våglängder värma material, men de mycket korta respektive långa vågorna förekommer inte naturligt i omgivningen så de anses inte ha så stor betydelse för värmeöverföringen. Värmestrålningen från ytor av rumstemperatur består av infraröd strålning.



Figur 2. Den elektromagnetiska strålningens spektra. Värmestrålningen består av det infraröda området, det synliga ljuset och en del av den ultravioletta strålningen.(6).

Ytor sänder ut olika mängd strålning för olika våglängder beroende på materialet och ytans temperatur. Vid de temperaturer som normalt finns i omgivningen består värmestrålningen av våglängder inom det infraröda området. Därför är värmestrålningen i vanliga fall osynlig. Men när temperaturen stiger blir våglängderna för den emitterade strålningen kortare och kortare ju högre temperaturen blir. På grund av detta ser en het metall ut att glöda eftersom strålningens våglängder kommit innanför området för synligt ljus. Eftersom solens temperatur är mycket hög består största delen av strålningen från solen av kortvågig strålning med våglängder kortare än  $3 \mu\text{m}$ . Fördelningen av våglängderna och deras intensitet bildar spektrum som är specifika för olika ytor. Dessa spektrum kan utnyttjas för att identifiera material och för att mäta ytors elektromagnetiska egenskaper. Det är tack vare dessa spektrum man kan ta reda på stjärnors kemiska sammansättning trots att de befinner sig ljusår bort.

Eftersom värmestrålningen kan beskrivas som vågor kan den också beskrivas med samma egenskaper som andra vågrörelser. Våglängden  $\lambda$  räknas ut som

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad (3.1)$$

där  $\nu$  är strålningens frekvens och  $c$  är ljusets hastighet ( $c = 2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$ ).

Värmestrålning kan ibland också beskrivas med förmedlarpartiklar som fotoner eller kvanta. Varje enskild fotons energi  $e$  beskrivs då som

$$e = h\nu, \quad (3.2)$$

där  $h$  är Plancks konstant  $6,625 \times 10^{-34} \text{ Js}$ , och  $\nu$  är frekvensen. I det här arbetet kommer strålningen enbart att beskrivas som elektromagnetiska vågor, och inte som partiklar.

Som nämnts behöver konduktion och konvektion materia för att värme skall kunna överföras. Men värme i form av strålning behöver ingen materia utan kan spridas t.o.m. i vakuum. Det betyder att man kan isolera hur bra som helst för konduktion och konvektion och stoppa värmeförlusterna via dessa processer, men temperaturskillnaden kommer ändå att jämnas ut sig till slut genom värmestrålning. Värme flyttar sig ofta långsammare via strålning än via konduktion och konvektion, speciellt vid lägre temperaturer. Men strålningens inverkan på den totala värmeöverföringen varierar beroende på situation och material. Man borde ändå inte ignorera strålningens betydelse. Ett exempel där värmestrålningen gör sig märkbar är i en termos. En viktig

del av isoleringen i en termos är vakuum för att hindra värmeförluster via konduktion och konvektion. Men termosens blanka insida kan inte reflektera all värmestrålning, så kaffet kommer ändå att kallna förr eller senare.

Värmeflödet  $q''$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] i form av värmestrålning från en yta kan räknas ut med ekvationen

$$q'' = \varepsilon\sigma(T_s^4 - T_{sur}^4), \quad (3.3)$$

där  $\varepsilon$  är ytans emissivitet och  $\sigma$  är Stefan-Boltzmanns konstant.  $T_s$  är ytans temperatur, och  $T_{sur}$  är omgivningens temperatur.

### 3.1. Emissivitet

Olika ytor emitterar olika mängder strålning beroende på material och temperatur. Effekten  $E$ , för den emitterade värmestrålningen kan räknas ut med ekvationen

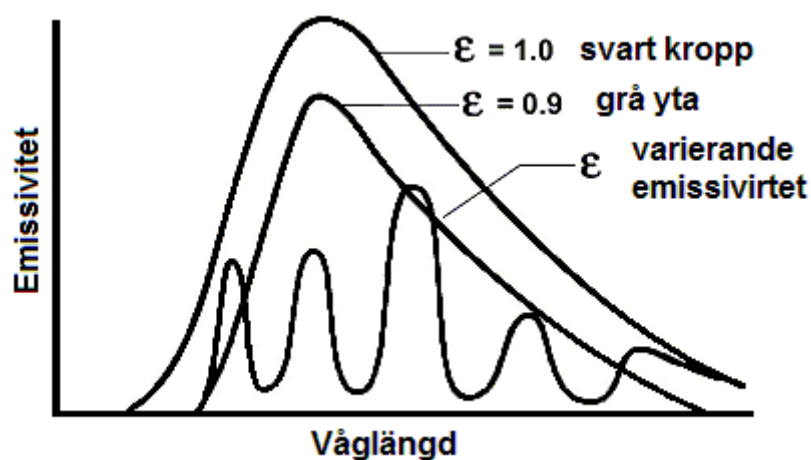
$$E = \varepsilon\sigma T_s^4, \quad (3.4)$$

där  $T_s$  är ytans temperatur i Kelvin, och  $\sigma$  är Stefan-Boltzmanns konstant ( $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$ ). Enheten är  $\text{W}/\text{m}^2$ . Faktorn  $\varepsilon$  anger ytans emissivitet i förhållande till en så kallad svart kropp. En svart kropp är en teoretisk yta som sänder ut värmestrålning med maximal effekt. Ytan har emissiviteten  $\varepsilon = 1$ , men en sådan yta finns inte i verkligheten. Ytan används för att jämföra verkliga ytors emissivitet i förhållande till den teoretiska svarta kroppen för att ha en referensyta att jämföra med. Eftersom  $\varepsilon$  anger andelen av den svarta kroppens emissivitet har  $\varepsilon$  alltid ett värde mellan 0 och 1 ( $0 \leq \varepsilon \leq 1$ ). Emissiviteten är olika för olika material, och varierar också beroende på om ytan är blank eller matt. Några exempelvärden finns i tabell 3. Några riktgivande faktorer för att uppskatta emissiviteten för olika material är att rena metaller allmänt har en låg emissivitet, men redan om ytan oxideras stiger emissiviteten märkbart. Vidare har elektriska ledare oftast låg emissivitet medan elektriskt isolerande material har en högre emissivitet. Oftast har isolerande material en emissivitet på över 0,6.

Tabell 3. Emissivitet för några vanliga material. (19)

Material	Emissivitet
aluminium	0,07
silver	0,02
tyg	0,7 – 0,90
sand	0,90
hud	0,95

Emissiviteten varierar också beroende på våglängden. En svart kropp sänder ut strålning i en jämn kurva över våglängderna, men för verkliga ytor är emissiviteten ofta mer varierande. Kurvan blir då taggig och sågande. Eftersom den svarta kroppen är en teoretisk yta med maximal emissivitet är kurvan för den riktiga ytan alltid under kurvan för den svarta kroppen. En approximation av en svart kropp för att representera verkliga ytor ger en så kallad grå yta med lägre emissivitet, men med samma spektrumfördelning. (Figur 3).



Figur 3. Emissiviteten varierar med våglängden.

Från en svart kropp sänds strålningen ut med maximal intensitet med jämn fördelning i alla vinklar från ytan. Verkliga ytor är dock inte lika organiserade, utan emissiviteten kan variera markant för olika våglängder och strålningen är inte jämnt fördelad i alla riktningar. Den totala strålningseffekten är ändå lika stor även om fördelningen varierar. Det är bara om man vill veta strålningens intensitet i en viss riktning som man behöver ta variationen i beaktande.



De varierande egenskaperna för olika våglängder ger också upphov till växthuseffekten. Solens kortvågiga strålning kan lätt ta sig igenom atmosfären och värma upp jordytan. Men strålningen som i sin tur avges av jordytan består av längre våglängder eftersom den emitterande ytans temperatur är lägre. När strålningen av längre våglängd sedan försöker stråla från jorden tillbaka ut i rymden stoppas den av samma ämnen i atmosfären som obehindrat släppte igenom solstrålarna. Värmen hålls därför kvar i atmosfären och höjer jordens temperatur. Samma princip är också orsaken till att en bil som står i solen blir uppvärmd. Solens strålar kan ta sig in genom fönstren och värma bilens interiör, men strålningen som ytorna i bilen sänder ut kan i sin tur inte ta sig ut genom glaset.

### 3.2. Bestrålning

Eftersom alla ytor sänder ut värmestrålning måste strålningen också ta vägen någonstans. Det betyder att alla ytor också kan ta emot, eller bestrålas med strålning från omgivningen. När en yta träffas av strålning kan den absorberas, reflekteras eller släppas rakt igenom. Om energin absorberas kommer ytans värmeenergi att öka och ytans temperatur stiger. Om energin däremot reflekteras påverkas inte ytan alls, utan strålningen fortsätter oförändrad vidare mot en annan yta. Det här är ett fenomen som är intressant för den här undersökningen. Genom att reflektera bort strålningen från ytor man inte vill ska värmas upp kan man rikta värmen vidare dit den gör mer nytta och på så sätt minska energin som behövs för uppvärmning eller nerkyllning beroende på tillämpningsområdet. Genom att ändra en ytas emissivitet kan man också kontrollera med vilken hastighet ett föremåls värmeenergi kan lämna ytan i form av strålning.

Om ytan är helt eller delvis transparent kan en del av strålningen också ta sig rakt igenom materialet. Lagen om energins bevarande säger dock att summan av den absorberade, reflekterade och genomsläppta strålningen måste vara lika med den inkommande strålningen.

Strålningen som träffar en yta betecknas  $G$ . Hur stor del av energin som absorberas beror på materialets absorbtivitet  $\alpha$  enligt ekvationen

$$G_{abs} = \alpha G, \quad (3.5)$$

där  $G_{abs}$  är strålningen som absorberas av materialet. Absorptiviteten har alltid ett värde mellan 0 och 1 ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ). Ett material med  $\alpha = 0$  absorberar ingen energi alls av den inkommande strålningen, och om  $\alpha = 1$  absorberas all energi. Dessa extremfall förekommer dock inte i praktiken utan är enbart teoretiska. Absorptiviteten beror på materialet och ytans egenskaper, men också på den inkommande strålningen. Samma yta kan absorbera olika mängd värmestrålning beroende på om strålningen kommer från ett värmeelement eller från solen. Variationerna beror på vilka våglängder den inkommande strålningen består av. Solljus består till största delen av kortvågig strålning, medan en het värmekälla sänder ut strålning av alla våglängder. En yta av rumstemperatur sänder ut infraröd strålning.

### 3.3. Absorptivitet

När en yta utsätts för strålning kommer en del av strålningen att absorberas av materialet. Lika som emissiviteten varierar absorptiviteten med våglängd och riktning.

När strålningen träffar en ogenomskinlig yta kommer en del av energin att absorberas av materialet medan resten reflekteras. Ytan som absorberar strålningen kommer i sin tur att sända ut strålningen igen i den takt som bestäms av materialets emissivitet. Om man har ett slutet system i jämvikt säger Kirchhoffs lag att energin måste hållas konstant. När ytan absorberar energin kommer dess temperatur att stiga, alltså måste ytan också göra sig av med energin i form av strålning i samma takt för att dess temperatur ska hållas konstant. Det här sambandet leder till att man allmänt kan anta att en ytas absorbtivitet  $\alpha$  är samma som emissiviteten  $\varepsilon$ .

$$\alpha = \varepsilon . \quad (3.6)$$

Det betyder att en yta som har emissivitet  $\varepsilon = 0,7$  kommer att absorbera 70 % av den inkommande strålningen medan resterande 30 % reflekteras. Sambandet gäller för en svart kropp, och för att underlätta beräkningar har den gråa ytan approximerats för att representera verkliga ytor. Också för en grå yta gäller  $\varepsilon = \alpha$ , men en grå yta har en jämn fördelning av emissivitet och spridning som oftast inte gäller för verkliga ytor. I de flesta fall gäller antagandet tillräckligt bra. Men det är bra att ändå komma ihåg att det kan ge vissa felmarginaler speciellt för material med stora variationer i emissiviteten för olika våglängder, och för material med ojämn spridning.

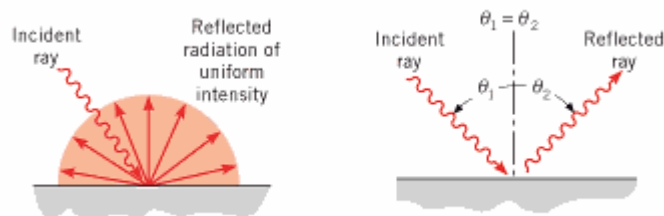
### 3.4. Reflektivitet och genomstrålning

Den del av strålningen som inte absorberas av en ogenomskinlig yta kommer att reflekteras. Om ytan är helt eller delvis genomskinlig kommer en del av strålningen också att passera rakt igenom materialet. Genomstrålningen betecknas  $\tau$ .

Reflektiviteten beror på materialets emissivitet, vilken vinkel strålningen kommer ifrån, och vinkeln på den reflekterade strålningen. Reflektivitetens beteckning  $\rho$  anger hur stor del av den inkommande strålningen som kommer att reflekteras genom sambandet

$$\rho = \frac{G_{ref}}{G}, \quad (3.7)$$

där  $G$  är den inkommande strålningen och  $G_{ref}$  är den reflekterade strålningen.



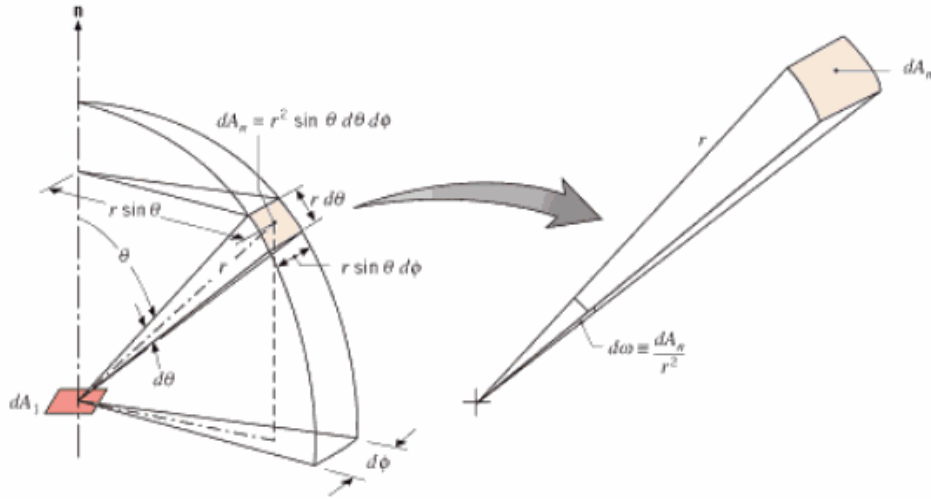
Figur 4. Spridande reflektion (vänster) och speglande reflektion (höger). (19)

Reflektionen beskrivs som spridande om den reflekterande strålningen sprider sig i alla vinklar från den reflekterande ytan. Om strålningen däremot lämnar ytan i samma vinkel som den kommer ifrån är reflektionen speglande. (Figur 4). De här fallen är idealiserade. I verkligheten kommer reflektionen att ha drag av båda typerna. Blanka polerade ytor är mer speglande och mindre spridande, och matta ytor är mer spridande.

### 3.5. Intensitet

När man räknar ut den totala energin en yta sänder ut med ekvation 3.3 får man som resultat vilken mängd strålning ytan sänder ut i alla riktningar. Om man vill veta vilken mängd strålning från ytan som kommer att träffa en annan yta måste man räkna ut hur stor del av strålningen som är på väg i just den riktningen. Man räknar då med ett sfäriskt koordinatsystem för att ta reda på arean mellan de vinklar man är intresserad av. Den del av strålningen som träffar arean mellan dessa vinklar kallas strålningens intensitet, och betecknas  $I$ . Intensiteten har också betydelse när man vill veta vilken

vinkel strålningen kommer ifrån eftersom strålningens infallsvinkel inverkar på hur strålningen kommer att påverka ytan som träffas.



Figur 5. Bara en del av strålningen som sänds ut från en yta kommer att träffa ytan mellan vinklarna.(19)

Bara en del av den totala energin  $E$  som sänds ut från en yta kommer att träffa en annan yta mellan de sfäriska vinklarna  $\theta$  och  $\phi$ . (Figur 5). Energin kan räknas ut med ekvationen

$$E = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} I \cos \theta \sin \theta d\theta d\phi. \quad (3.8)$$

Om man antar att  $E$  är den energi som emitteras från en svart kropp, och räknar med strålningen över hela halvsfären kan ekvation 3.6 användas för att hitta ett samband mellan  $E$  och  $I$ . Förenklingen av ekvationen blir då

$$E = \int_0^{2\pi} I d\phi \left[ \frac{\sin^2 \theta}{2} \right]_0^{\pi/2} = \int_0^{2\pi} \frac{I}{2} d\phi = \pi I.$$

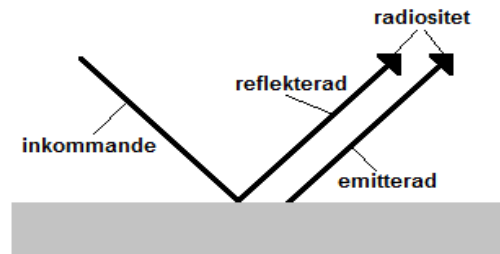
Så sambandet mellan  $E$  och  $I$  för den totala strålningen i alla riktningar för en svart kropp blir efter uträkningen

$$E = \pi I. \quad (3.9)$$

Detta samband används bland annat när man vill räkna ut värmeöverföring genom strålning mellan olika ytor.

### 3.6. Radiositet

Värmestrålningen som lämnar en yta består både av emitterad strålning från själva materialet, och av inkommande strålning som reflekteras av materialets yta. Den totala mängden strålning som lämnar materialet är alltså emitterad strålning + reflekterad strålning, och kallas radiositeten  $J$ . (Figur 6)



Figur 6. Radiositeten består av både emitterad och reflekterad strålning.

### 3.7. Värmestrålningens växelverkan med ytor

Alla material med en temperatur över den absoluta nollpunkten emitterar strålning. Det betyder att alla ytor i omgivningen konstant sänder ut värmestrålning. Strålningen består av alla våglängder och kommer från alla riktningar. När strålningen träffar en yta kan den absorberas, reflekteras eller genomstråla materialet. Enligt energibalansen måste summan av den absorberade, reflekterade och genomsläppta strålningen vara lika stor som den inkommande strålningen, alltså

$$G = G_{abs} + G_{ref} + G_{gs} . \quad (3.10)$$

Om man ser på egenskapernas beteckningar  $\alpha$ ,  $\varepsilon$  och  $\rho$  gäller alltid uttrycket

$$\alpha + \rho + \tau = 1 . \quad (3.11)$$

När det gäller ogenomskinliga ytor är termerna för genomstrålningen  $G_{gs} = 0$ , och  $\tau = 0$ . Kvar blir bara absorptionen och reflektionen och därmed är det enkelt att avgöra deras respektive värde eftersom växelverkan enbart sker på materialets yta. Om ytans emissivitet är känd vet man automatiskt också absorbtivitet och reflektivitet. Men för helt eller delvis transparenta material som också släpper igenom en del av strålningen blir det mer invecklat eftersom man då också måste veta hur stor del av strålningen som släpps igenom materialet. Den reflekterade strålningen har ingen inverkan på ytan, medan den absorberade energin ökar materialets temperatur. Den genomsläppta strålningen har inte heller någon direkt inverkan på materialet.

Det som uppfattas som färger har ingenting att göra med den strålningen som emitteras från ett material eftersom strålningen ofta håller sig till det osynliga infraröda området. Färgerna uppstår däremot genom att olika material absorberar och reflekterar olika våglängder av strålningen inom det synliga området. Den synliga strålningen kommer till exempel från solen och från olika slag av belysning. En yta uppfattas som röd eftersom den absorberar de andra färgernas våglängder, och reflekterar de våglängder som representerar rött. En svart yta absorberar alla våglängder av det synliga ljuset, och en vit yta reflekterar alla våglängder. Bara färgen säger nödvändigtvis ingenting om en ytas emissivitet eller reflektivitet. Vår uppfattning om färger omfattar enbart strålning av våglängder inom det synliga området, och ytors egenskaper kan variera kraftigt för olika våglängder. De våglängder som har den största betydelsen för värmeöverföring ligger inom IR-området. Ytor kan därför ha helt andra egenskaper än som eventuellt förväntas av den synliga färgen. I de flesta fall gäller ändå att mörkare material har en högre emissivitet än ljusa. Men det är bra att komma ihåg att det finns undantag. Till exempel snö som oftast uppfattas som väldigt vit reflekterar allt synligt ljus. Men när våglängderna kommer upp i infrarött blir snön mycket absorberande och uppför sig nästan som en svart kropp. (19). Om man vill smälta snö är därmed en IR-värmare ett bra alternativ. Solljuset består till stor del av korta våglängder som UV-ljus och synligt ljus istället för infrarött. Därför är solen inte så bra på att smälta snö på våren eftersom snön reflekterar dessa våglängder. Samtidigt emitterar snön igen så gott som all den energi som ändå absorberas vilket ytterligare gör det svårare för solen att smälta snön.

#### **4. EMISSIVITETENS BETYDELSE I PRAKTIKEN**

Vanliga människor har i vardagen mycket sällan orsak att fundera på materials emissivitet. Men i vissa situationer är det viktigt att förstå fenomenet för att resultat inte ska tolkas fel. En situation är till exempel när man vill mäta en ytas temperatur med hjälp av en infraröd termometer.

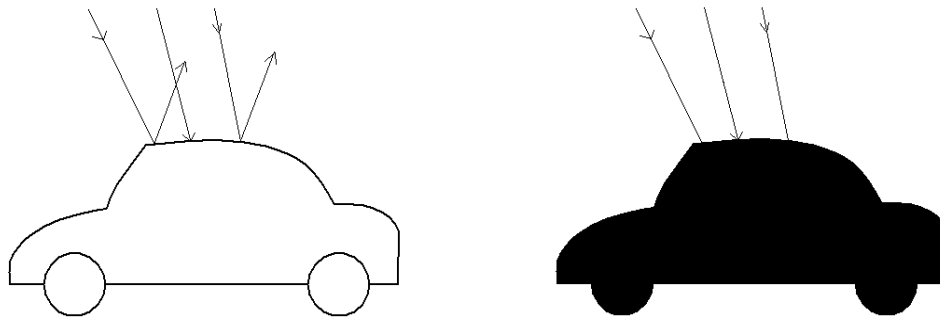
En infraröd termometer mäter mängden infraröd strålning en yta sänder ut inom ett visst intervall av våglängder, och räknar sedan ut vilken temperatur en svart kropp skulle ha vid motsvarande mängd utsänd strålning. Termometern kommer därför att visa en felaktig temperatur eftersom den inte känner till ytans emissivitet. För en yta med temperaturen 100°C och emissiviteten 0,8 kommer termometern teoretiskt att ange

ytans temperatur som  $80^{\circ}\text{C}$  istället för  $100^{\circ}\text{C}$  eftersom en svart kropp sänder ut samma mängd strålning redan vid en lägre temperatur. Dessutom mäter termometern inte bara den strålning som emitteras av ytan utan också reflektionen från ytan. Eftersom termometern inte kan känna skillnad på emitterad och reflekterad strålning kommer resultatet att variera också beroende på ytans reflektivitet och temperaturskillnader i omgivningen. För att få rätt resultat med en infraröd termometer får det inte finnas stora temperaturskillnader i närheten som kan påverka reflektionen, och man måste känna till ytans emissivitet för att termometern ska kunna kompensera den mot den svarta kroppens strålning och räkna ut rätt temperatur. Mycket blanka metallytor kan vara svåra att mäta temperaturen på eftersom reflektionens andel av radiositeten är stor. Då måste ytan behandlas på något sätt för att öka emissiviteten innan termometern kan visa rätt värde för temperaturen. (10)

En annan situation där man kan märka effekterna av emissiviteten är kameror med mörkerseende. Kameran kan se i mörkret genom att registrera den infraröda strålning som ytor sänder ut och sedan återge en bild av omgivningen på en skärm. Eftersom kameran endast känner av mängden strålning olika ytor emitterar kan den inte visa färger, utan den återger en bild av omgivningen i olika nyanser av grått eller grönt beroende på kamera. Ytor med mycket hög absorptivitet kommer då att se helt svarta ut, och material med hög emissivitet och/eller reflektion kommer att ses som mycket ljusa eller till och med lysande.

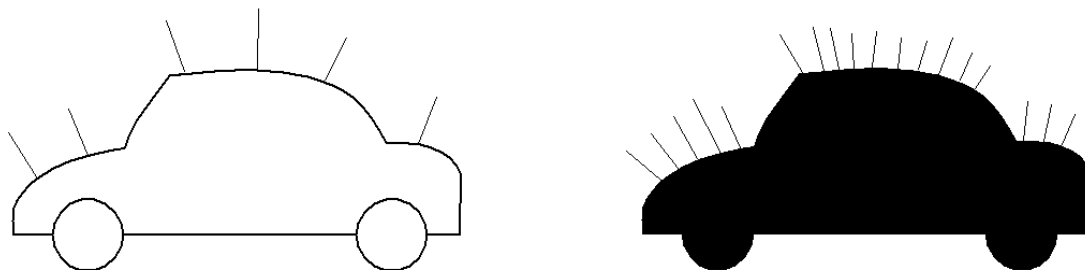
## **5. EMISSIVITETENS INVERKAN PÅ VÄRMEÖVERFÖRINGEN**

Vad har då en ytas emissivitet för betydelse för värmeflödet? Ett enkelt exempel är en svart och en vit bil som står ute i solen. Den vita bilen har en låg emissivitet och den svarta har hög emissivitet. Den svarta bilen kommer att absorbera mer energi från solljuset medan den vita kommer att reflektera solens strålar. (Figur 7). Den svarta bilen kommer därför att få en högre temperatur också inne i bilen än den vita eftersom den absorberade värmen även leds in i bilen. Det här fenomenet är bekant för många, och det är även allmänt känt att en mörk yta i solsken blir varmare än en ljus. Det betyder att man kan hindra en yta från att värmas upp genom att ge ytan en låg emissivitet så att en större del av värmestrålningen reflekteras.



Figur 7. En vit bil reflekterar solenergi, medan en svart absorberar energin.

Men vad händer när solen går ner? Den inkommande strålningen som värmer ytan försvinner, och ytorna börjar avge värme för att komma tillbaka till samma temperatur som omgivningen. Men vilken kommer att svalna snabbare? Den svarta bilen som har en hög emissivitet sänder ut sin värme i form av strålning i snabb takt, medan strålningen från den vita ytan bromsas av den låga emissiviteten. Den svarta bilen kommer därför att svalna snabbare än den vita. I verkligheten kompliceras fenomenet av att strålningen inte är den enda processen som inverkar på nedkylningen, utan bilarna kyls också genom konvektion och konduktion. Men om man bara tar hänsyn till värmestrålningen avger en yta med hög emissivitet sin värme snabbare än en yta med låg emissivitet. (Figur 8). En snabb uträkning av ett exempel med ekvation 3.4 bekräftar detta. Två ytor med samma temperatur  $T = 100^{\circ}\text{C}$  ( $373\text{ K}$ ) avger värmestrålning under samma förhållanden. Yta 1 har emissiviteten  $\varepsilon = 0,9$ , och yta 2 har  $\varepsilon = 0,1$ . Ekvation 3.4 ger då att yta 1 avger strålning med effekten  $E = 987,8\text{ W/m}^2$ , medan yta 2 avger sin strålning med effekten  $E = 109,7\text{ W/m}^2$ , alltså 9 gånger snabbare. Alltså kan man underlätta en yta att avge sin värmeenergi som strålning genom att öka ytans emissivitet.



Figur 8. Bilar som svalnar när solen gått ner.

Ofta när man räknar ut värmeöverföring och krav på nedkylning och uppvärmning räknar man med konduktion och konvektion, men värmestrålningen lämnas ofta



obeaktad. Vid lägre temperaturer är strålningens inverkan på den totala värmeöverföringen i många fall inte så stor, men kan ändå ha en märkbar inverkan. Vid högre temperaturer som till exempel i masugnar har strålningen redan en betydande effekt. Beräkningarna för värmestrålning är också mer komplicerade än för konduktion och konvektion, så de lämnas gärna ofta bort av bekvämlighetsskäl (7). Men även om strålningen bara utgör en del av värmeöverföringen vid lägre temperaturer, kan man ändå effektivisera energianvändningen genom att i alla fall inte motarbeta strålningen att göra sitt jobb. Det är till exempel ett stort misstag att ge heta ytor som behöver nedkylning en yta med låg emissivitet som hindrar värmestrålningen.

## **6. MÄTNING AV YTORS ELEKTROMAGNETISKA EGENSKAPER**

Att bestämma emissiviteten för en yta bara genom dess utseende är ofta omöjligt. Det enda man kan veta ungefär bara genom att se på ytan är att en blank metallyta troligtvis har en emissivitet under 0,20. Men ofta är det inte heller tillräckligt noggrant. För att ytbeläggningar ska kunna börja användas för att hantera värme i större skala måste olika materials emissivitet och reflektivitet börja mätas i större utsträckning. Resultaten måste också finnas mer lättillgängliga än de är idag så att vem som helst enkelt kan ta reda på vilka material som fungerar i en aktuell situation. Om det är svårt att få tag på mätresultat för alternativa material kan man inte göra mer än gissa vad som fungerar bäst. För att enkelt kunna få den bästa effekten i specifika situationer måste det vara lätt att ta reda på materialets exakta egenskaper.

För att mäta materials elektromagnetiska egenskaper behövs instrument som kan känna av och mäta den infraröda strålning ytor sänder ut. Det finns några olika metoder att mäta emissiviteten, men IR-spektrofotometri är en noggrann metod som kan ge emissiviteten som en kurva över hela spektret. Med en värmekamera kan man få ett ungefärligt värde för emissiviteten.

För att få korrekta mätvärden för emissiviteten måste omgivningen vara väl kontrollerad. Alla ytor runt omkring provet sänder också ut värmestrålning som träffar provet och inverkar på den totala strålmängden ytan sänder ut. Speciellt om det

finns en yta i närheten av provet som har en avvikande temperatur kan resultatet bli missvisande. Därför måste testförhållandena kontrolleras noggrant. (10)

## **6.1. IR-spektrometri**

En spektrofotometer kan användas för att ta reda på materials kemiska sammansättning och elektromagnetiska egenskaper. Spektrofotometern har en ljuskälla som kan sända ut UV-strålning, synligt ljus och IR-ljus beroende på instrumentet. En detektor tar emot strålningen som gått via provet för att mäta vilka våglängder som absorberats av provet. Genom att analysera strålningen som tas emot av detektorn är det möjligt att ta reda på mycket om materialets sammansättning och egenskaper.

Genom att stänga av instrumentets ljuskälla kan det också användas för att ta reda på ett materials emissivitet. Med ljuskällan avstängd mäter detektorn enbart den strålning som sänds ut av själva provet. För att mätningen skall ge rätt resultat måste provets temperatur också vara väl känd. Instrumentet har därför en värmekälla som reglerar provets temperatur. Instrumentet kan också ha en såkallad svart kropps- ugn som sänder ut strålning med samma intensitet som en svart kropp. Genom att jämföra strålningen från ugnen med strålningen från provet kan instrumentet räkna ut emissiviteten för provet. Spektrofotometern kan sända ut och känna av strålning av varierande våglängd. Det gör det möjligt att mäta emissiviteten för ett brett spann av våglängder och få resultatet som en kurva över spektret. (30)

## **6.2. IR-termometer och IR-kamera**

Spektrofotometrar är dyra instrument som många inte har tillgång till. Men infraröda termometrar och kameror är redan mycket vanligare, och de kan också användas för att på ett ungefär ta reda på en ytas emissivitet. De ger inte en fin och tydlig graf för ett spann av våglängder som spektrofotometern, men det är i alla fall möjligt att få ett ungefärligt värde. Om våglängden för termometern kan varieras kan man också få värden för olika infraröda våglängder.

När temperaturen för en blank, het metallyta mäts kommer termometern att visa att ytan är svalare än den i verkligheten är. Det beror på att termometern antar att ytan emitterar strålning med samma intensitet som en svart kropp trots att ytan inte gör det. Med vissa

termometrar kan värdet för emissiviteten justeras så att instrumentet också kan ta emissiviteten i beaktande när den räknar ut temperaturen. Om emissiviteten för den blanka metallytan är känd kan man alltså få termometern att visa rätt temperatur. (10)

Samma princip kan också användas åt andra hållet för att ta reda på en ytas emissivitet. Ytans temperatur mäts då på något annat sätt så att man känner till temperaturen oberoende av IR-termometern. Sen mäts ytans temperatur igen med IR-termometern, och det inställda värdet för emissiviteten sänks tills termometern visar rätt temperatur för ytan. Värdet för emissiviteten som ger rätt temperatur är ytans emissivitet. (10)

En annan metod som inte kräver en extra temperaturmätning, är att täcka en del av ytan med ett material med hög emissivitet. En del av ytan täcks då med en matt svart färg eller elektrisk tejp. Båda materialen har en mycket hög emissivitet. När man då ser på ytan med den infraröda termometern kommer den täckta delen av ytan att visa rätt temperatur medan resten av ytan visar en lägre temperatur. Sen minskas åter värdet för emissiviteten tills hela ytan visar samma temperatur. Värdet för emissiviteten är då ytans emissivitet. (10)

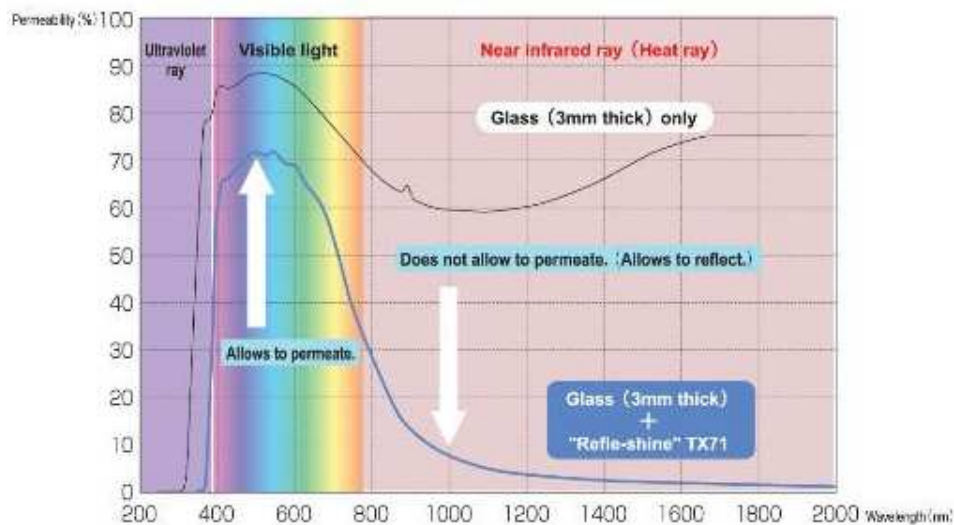
## **7. EXEMPEL PÅ VÄRMEREFLEKTERANDE MATERIAL PÅ MARKNADEN IDAG**

Det finns redan många olika värmereflekterande material på marknaden som används till olika ändamål. Materialen kunde dock användas i större utsträckning för att ge en större sammanlagd effekt. Men eftersom materialen ofta är komplicerade och därför dyra, kommer den ekonomiska lönsamheten också in i bilden. Dessutom är nyttan med reflektion av värmestrålning inte ännu tillräckligt allmänt känd. Om fler kände till fenomenet och gjorde vad de kunde för att kontrollera värmestrålningen kunde det sparas stora mängder energi. Men en förutsättning är att informationen sprids till så många som möjligt.

För att få den bästa effekten ska material som används för att reflektera solenergi kombineras med en hög emissivitet för infraröd strålning. Då kan materialet lättare släppa ifrån sig den energi som ändå absorberas och materialet ger en bättre effekt.

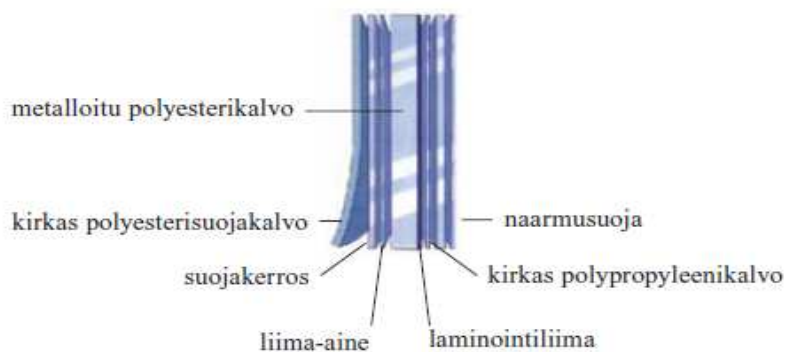
## 7.1. Tunna filmer för fönster

Tunna reflekterande filmer för fönsterglas tillverkas redan av flera företag. De används till exempel på fönster och bilrutor för att hindra värmestrålningen att ta sig igenom glaset. Filmerna måste därför vara helt transparenta för att det fortfarande ska gå att se igenom dem. De ska alltså släppa igenom det synliga ljuset, men reflektera alla andra både kortare och längre våglängder. (Figur 9). Det ställer stora krav på materialet och gör det komplicerat och dyrt att tillverka.



Figur 9. Uppmätta resultat för en reflekterande film för fönster. (32)

De genomskinliga filmerna är uppbyggda av många lager av olika plastfilmer (figur 10). För att åstadkomma den reflekterande effekten används metalliserade lager mellan de stödande lagren. Med hjälp av nanoteknik är det också möjligt att tillverka reflekterande filmer utan metaller. Filmen kan då göras klarare, men de reflekterande egenskaperna är något sämre än för filmer med metalliserade lager.



Figur 10. Reflekterande transparenta filmer är uppbyggda av många olika lager. (2)

Flera tillverkare lovar att filmerna ska reflektera upp till 75 % av värmen från solen. Det går inte att få all värmeenergi reflekterad eftersom en del av den värmande strålningen ligger inom området för synligt ljus. Om också de våglängderna reflekterades skulle det inte längre vara möjligt att se igenom fönstret. När en del av strålningen reflekteras bort istället för att fastna inne i rummet på grund av växthuseffekten, hålls temperaturen på insidan lägre än med ett fönster utan film. Klimatet inne i huset hålls behagligare även utan nedkylning, och om luftkonditioneringsanläggning finns behöver den mindre energi för att hålla temperaturen på en lämplig nivå. Husets inredning hålls också fräschare längre eftersom en stor del av UV-strålningen som bleker möbler och inredning också stoppas av filmen. (2).

Också den värmestrålning som finns inne i rummet hindras att ta sig ut. Värmeförlusterna genom fönstret blir då mindre och det behövs mindre energi till uppvärmning. Strålningen inifrån rummet består av längre våglängder än strålningen från solen, så de reflekteras inte på samma sätt. Därför lovar tillverkare bara att ungefär 30 % av värmen inifrån rummet reflekteras tillbaka (2).

De reflekterande filmerna är svåra att göra helt färglösa så de har alltid en viss tonande effekt. Men oftast beskrivs färgningen som en positiv egenskap eftersom den minskar solens bländande effekt. Omgivningen utanför fönstret ser ändå ut att ha en lite mörkare färg jämfört med att se genom ett klart fönsterglas utan film. Metallerna som används i filmerna gör också att filmerna får en lätt speglade effekt också för det synliga ljuset, så utifrån kan fönstren se speglade ut och vara svåra att se in genom från längre håll. Denna egenskap kan anses både bra och dålig beroende på sammanhang. Offentliga byggnader kan ha nytta av att vara lite skyddade för insyn, men skyltfönstret i en affär måste vara lätt att se igenom. Därför tillverkas filmerna med olika egenskaper från så klara som möjligt till speglade för att de ska kunna anpassas efter olika ändamål. Den svaga toningen kan dessutom väljas i flera olika färger. (2)

Det finns flera tillverkare runt om i världen som tillverkar reflekterande fönsterfilmer, men ett lokalt exempel är 3M som också har verksamhet i Finland. 3M:s *Scotchint*-filmer har funnits på marknaden i flera år, och de används främst på officiella byggnader och kontorsbyggnader på grund av pris och installationskostnader. Det går inte att köpa enbart filmerna, utan enbart godkända installatörer får lägga upp 3M:s

filmer för att kunna garantera kvalitén på de installerade filmerna. 3M erbjuder sju års garanti för filmer installerade inomhus, och tre års garanti för filmer på fönstrets utsida. *Scotch tint* finns att få i olika grader av toning och i flera färger, bland annat klar, silver och nickel. Tekniska uppgifter om ett exempel finns i tabell 4. Som kan ses i tabellen släpper filmen bara igenom 16 % av det synliga ljuset. Fönstret kommer därför att bli mörkare. Men för de ljusare filmerna minskar också den reflekterade solenergin. När man väljer vilken film som ska användas måste man hitta en balans mellan vilka egenskaper som behövs. Filmen *Neutral 20* i tabell 4 är den mörkaste klara filmen, och den ljusaste *Neutral 70*, släpper igenom 66 % synligt ljus men reflekterar bara 34 % av solenergin. (4)

Tabell 4. Tekniska uppgifter om 3M:s fönsterfilm *Neutral 20*. Filmen släpper bara igenom 16 % synligt ljus och kommer därför att göra fönstret mörkare. (3)

<b>Neutral 20</b>	
genomstrålar synligt ljus	16 %
total solenergi som reflekteras	66 %
UV-ljus som reflekteras	99 %
reflekterat synligt ljus	17 %
minskad solvärme	59 %

3M har nu också en efterträdare till *Scotch tint*. Den nya *Prestige*-filmen tillverkas helt utan metaller med hjälp av nanoteknik (1). Tekniken gör det möjligt att tillverka filmen med hundratals lager med olika egenskaper utan att resultatet blir tjockare än en Post-it lapp. Eftersom filmerna inte innehåller metaller för att åstadkomma den reflekterande effekten försvinner också problemet med färgning och spegling. Därmed är de nya filmerna klarare än de gamla, och närmast osynliga på fönstret. 3M lovar 15 års garanti för *Prestige*-filmerna, så de är tydligen väldigt självsäkra på sin produkt. Filmens reflekteringsförmåga är dock lägre än för *Scotch tint*. Om det är maximal värmereflektion som eftersträvas, är därmed de gamla filmerna bättre även om de optiska egenskaperna är sämre. 3M marknadsför nu de äldre filmerna som traditionella och som kostnadseffektiva, så troligtvis är de nya filmerna märkbart dyrare än de gamla. Exakta prisuppgifter är svåra att hitta eftersom filmerna säljs genom offerter för specifika beställningar, så priserna varierar.

Filmerna används än så länge mest till större officiella byggnader, och inte så mycket av privatpersoner. Filmerna är dyra och säljs genom offerter, och enbart godkända företag får installera dem. Dessutom är det alltför få som känner till nyttan med filmerna och ens vet om att de existerar. För att filmerna ska bli vanligare också för privata hem måste de marknadsföras mer riktat för privat bruk, och allmänheten måste bli mer medveten om nyttan med filmerna. Dessutom borde filmerna göras mer lättillgängliga så att de är enklare att köpa och installera själva.

Samma slags reflekterande filmer kan också användas på bilrutor för att minska uppvärmningen av solen. Då behöver inte luftkonditioneringen jobba lika hårt för att avlägsna värmen, och bränsleförbrukningen minskar. Många vill dessutom också att filmerna skall vara färgade för att förbättra bilens utseende och minska insynen in i bilen. På framrutan får färgade filmer inte installeras eftersom de försämrar sikten speciellt i mörker. Det finns flera olika filmer avsedda för bilrutor på marknaden, men det bör skiljas på de som bara är färgade, och de som verkligen är värmereflekterande. Många av filmerna ger en mycket mörk färg åt fönstret. De blockerar då solljuset och därmed också en del av värmestrålningen från att ta sig in i bilen. Men solvärmens absorberas av det mörka materialet och kan sen ledas in i bilen genom konduktion så bilen värms upp ändå.

Det finns även filmer som verkligen reflekterar värmestrålningen. De är ofta dyrare än de mörkläggande filmerna, och de ger ofta bilrutorna en silveraktig speglade effekt. Därför är de inte lika eftertraktade eftersom bilen inte ser lika bra ut och de dessutom kostar mer. Många som installerar filmer i sin bil tänker ofta inte heller på värmestrålning i första hand, utan det är graden av mörkläggning, alltså utseendet, och priset som avgör när man väljer filmer. Det finns många olika tillverkare, men några exempel är m+ och Gila. Några av Gilas produkter finns i tabell 5. Värdena i tabellen kommer från en broschyr med Gilas fönsterfilmer (16). Filmerna kommer oftast i en standardkvalitet, och en reptålig.

Tabell 5. Gilas reptåliga filmer och deras egenskaper. (16)

<b>Film</b>	<b>Genomsläppt ljus</b>	<b>Reflekterat ljus</b>	<b>Genomsläppt UV-ljus</b>	<b>Blockerad solenergi</b>
rökgrå 50 %	50 %	5 %	max 5 %	30 %
rökgrå 35 %	35 %	5 %	max 5 %	34 %
rökgrå 20 %	18 %	5 %	max 5 %	35 %
rökgrå 5 %	5 %	5 %	max 5 %	40 %
rökgrå 2,5 %	2,5 %	5 %	max 5 %	45 %
brons 35 %	35 %	5 %	max 5 %	35 %
silver 20 %	15 %	60 %	max 5 %	79 %

Som kan ses i tabellen blockerar de mörkläggande filmerna en del av solenergin, men den reflekterande silverfilmen blockerar redan en mycket större del. Filmen reflekterar också samtidigt mycket mera av det synliga ljuset vilket ger filmen en speglade effekt som kan blända andra trafikanter. Tyvärr finns det också en varningsruta i broschyren där det nämns att reflekterande filmer inte får användas på fordon i vägtrafik. För att en värmereflekterande film ska vara möjlig att användas i trafiken måste den reflektera UV-ljus, släppa igenom allt synligt ljus, och sedan återigen reflektera IR-ljus. Det innebär redan ett mycket mer komplicerat material som blir dyrare än de enklare mörkläggande filmerna.

De tidigare nämnda materialen är sådana som kan köpas på många ställen där det säljs biltillbehör. Det finns ytterligare material av samma typ som fönsterfilmerna som redan diskuterades. Dessa filmer är betydligt dyrare, men de har också bättre optiska och reflekterande egenskaper än de billigare. Man får då både utseende och reflektion i en film som får användas i trafiken. Dessa filmer kan beställas från tillverkarna, och installeras ofta av godkända installatörer för att garantera kvalitén (5). Men för att flera ska vara villiga att betala mer och göra mer jobb än bara gå till närmaste affär, krävs det kunskap om vilka fördelar materialen har. Också i det här fallet är det viktigt att informationen sprids. Det borde också göras undersökningar för att få tydligare uppgifter om vilka skillnader det finns mellan de olika materialen i praktiken.



## 7.2. Målarfärger

Ett mycket enkelt sätt att ändra en ytas emissivitet är att måla den med en färg med hög/låg emissivitet. Det finns många företag runt om i världen som tillverkar färger med reflekterande egenskaper ämnade för till exempel hustak och husväggar för att förhindra att de värms upp av solen. Om husets utsida hålls svalare, kommer också husets innetemperatur att hållas lägre och behovet av nedkylning minskas. Färgerna kan naturligtvis också användas till andra ändamål där värmestrålningen behöver stoppas eller kontrolleras. Enbart fantasin sätter gränser i det här fallet.

Dessa färger fungerar med två olika principer. Den ena varianten har utvecklats för att öka färgens reflektivitet och minska absorptionen. Det leder till att en större del av värmen aldrig kan absorberas av materialet och värma det. Den andra principen går ut på att blanda med isolerande partiklar i vanlig färg för att minska färgens värmeledningsförmåga samtidigt som färgens reflektion också ökar. Färgerna som ger den bästa effekten är de som fungerar både reflekterande och isolerande.

Om ytan redan är målad med en färg med högre emissivitet borde det inte påverka resultatet även om den gamla färgen lämnas kvar. Eftersom värmestrålningen är ett ytfenomen i ogenomskinliga material är det bara det yttersta lagrets emissivitet som påverkar värmestrålningen från ytan. Om det är en het yta som ska kylas ner kan den undre färgens värmeledningsförmåga hindra värmen från att ledas ut till det yttre lagret. I sådana fall lönar det sig att först avlägsna den gamla färgen innan ytan målas ifall det finns risk att den fungerar som en isolator.

Praktiska undersökningar borde utföras för att ta reda på hur stor inverkan ytans emissivitet har på den totala värmeöverföringen i olika situationer, och samtidigt också ta reda på hur, eller om, en eventuell gammal färg kan påverka i praktiken. Vid högre temperaturer kommer värmestrålningen att ha större betydelse än vid lägre temperaturer.

### 7.2.1. Värmereflekterande färg

Det finns många olika företag som tillverkar reflekterande färger. En enkel Google-sökning på *heat reflective paint* ger många träffar på företag som säljer dessa färger.

Några exempel finns i tabell 6. De flesta tillverkarna finns i varmare delar av världen där färgerna kan göra mest nytta. Färgerna används främst för tak och husväggar eftersom det är där man kan få den största effekten eftersom det gäller stora ytor. I Australien finns flera olika företag, och användningen av färgerna verkar där bli allt vanligare även bland privatpersoner. Många av företagens hemsidor ser lite väl amatörmässiga ut, vilket tyvärr ger företagen och därmed även färgerna ett rätt oseriöst intryck. Vid val av färg lönar det sig därför att välja en färg från ett företag som ser seriöst och etablerat ut, och som inte verkar lova för mycket.

*Tabell 6. Några företag som tillverkar reflekterande färger, och deras varumärken.*

<b>Tillverkare</b>	<b>Varumärke</b>
Dulux	InfraCOOL
The Ultimate Coatings Company	Thermo-Seal Eco-Therm Elastomeric
Shieldcoat	Thermobond
EXCEL Coatings	EXCEL CoolCoat

Ett sätt att öka en färgs reflektivitet är att tillsätta små glaspartiklar i färgen (35). Partiklarna reflekterar en del av strålningen från solen och hindrar ytan från att värmas upp. Färgen bör också ha en hög emissivitet för längre våglängder för att den energi som ändå absorberas lättare ska kunna avges igen. Undersökningar som gjorts i Florida och Kalifornien visar att man genom att måla om taket med en reflekterande färg kan minska energibehovet för luftkonditionering med 10-50 % beroende på husets isolering (8).

Färgerna marknadsförs som värmereflekterande, och företagen presenterar gärna alla fördelar med färgen. Men nästan ingen anger värden för emissivitet och reflektivitet. Det nämns bara att färgen reflekterar mer energi. För att kunna jämföra olika tillverkares färger måste deras olika egenskaper vara kända. Därmed är det lite märkligt att nästan ingen vill skriva ut några värden. Det leder till funderingar om färgerna verkligen är mer reflekterande än andra ljusa färger, eller om det bara är den ljusa färgen som ger effekten. Fenomenet borde undersökas närmare genom att mäta emissiviteten för färg som marknadsförs som reflekterande, och vanlig färg av samma kulör för att ta reda på skillnaden.

Vanliga målarfärger har ofta en hög emissivitet. De enda färgerna som i tabeller har lägre emissivitet är metalliska färger, och deras emissivitet ligger redan mellan 0,30-0,50. Så inte ens de är så väldigt reflektiva. Några exempel finns i tabell 7. Men jämfört med andra målarfärger kan metalliska färger i alla fall ge en bättre effekt. Tabellen som värdena är hämtade ifrån anger inte tillverkare och inte heller våglängd, så de verkliga värdena kan variera kraftigt för olika tillverkares färger. (20).

Tabell 7. Några metalliska färgers emissivitet. (20)

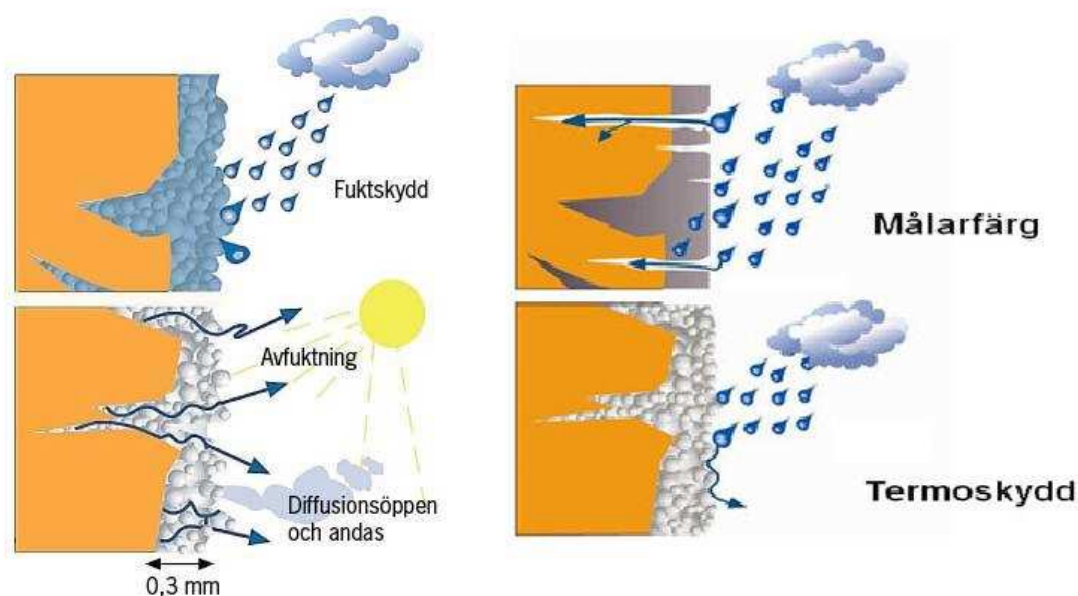
Metallisk målarfärg	Emissivitet
aluminium	0,45
kadmium gul	0,33
Chromatone	0,26

### 7.2.2. Isolerande färg

Isolerande färger säljs oftast inte som färdiga färger, utan säljs ofta som tillsatsämnen som kan blandas med i vanlig målarfärg för att göra färgen isolerande och reflekterande. Tillsatsen är ofta ett mycket fint pulver som består av mikroskopiska keramiska sfärer. Keramiska material har en dålig värmeledningsförmåga redan i sig, och för att ytterligare öka effekten är sfärerna ihåliga. Sfärerna har också en värmereflekterande effekt. För att ta den isolerande effekten ett steg längre kan gasen avlägsnas inifrån sfärerna för att få ett vakuum som ytterligare försämrar värmeledningsförmågan. När färgen torkar packar partiklarna ihop sig tätt och bildar en hinna som värmestrålningen har det svårt att ta sig igenom. Eftersom färgen bildar ett mycket tunt lager är det tveksamt om den kan hindra konduktionen alltför mycket, utan den största effekten måste komma från dess reflekterande egenskaper.

Tekniken utvecklades av Nasa till Apollo-programmet för att skydda rymdfärjan från strålningen i rymden. Sedan dess har färgen också tagit sig ut på den allmänna marknaden. I Nasas årliga rapport Spinoff som tar upp rymdteknologi som börjat användas också för privat bruk finns en artikel om Hy-Techs mikrosfärer med vakuum. (24).

Det finns flera andra företag som också tillverkar liknande tillsatsämnen och färdigt blandade färger. Ett exempel är det svenska företaget ThermoGaia. Företaget har dessutom vidareutvecklat sitt *termoskydd* till att också fungera som fuktspärr. (Figur 11). Färgen innehåller de isolerande ihåliga mikrosfärerna med vakuum, men också en akrylatdispersion som bindemedel. Bindemedlet sväller när färgen blir våt och blir helt tätslutande runt mikrosfärerna. Det gör att fukten inte kan ta sig genom färgen. När färgen sedan torkar drar bindemedlet ihop sig igen och bildar kapillärer som kan suga ut fukten ur väggen.



Figur 11. Färgen sväller och blir tät när den blir fuktig, och drar ihop sig och andas när den torkar (vänster). Vanliga färger är inte täta, utan fukten kan ta sig in i väggen (höger). (31)

Färgen blockerar och reflekterar värmestrålning samtidigt som fukten avlägsnas från det målade materialet. Mindre fukt gör att det behövs mindre energi till uppvärmning, och fastigheten mår också bättre av en lägre fukthalt. Färgen finns till innerväggar, ytterväggar och tak, och finns att få i många olika kulörer.

Färgens egenskaper låter lite för bra för att vara sanna, och därför har färgen också fått kritik (23). Men ThermoGaia har gjort dokumenterade undersökningar av materialet i flera år, och deras resultat visar att färgen verkligen kan ha energisparande och fuktreglerande effekter för hus målade med färgen. Till exempel två bostadskomplex i Botkyrka målades med den termoskyddande färgen. För det ena huset har det uppmätts en minskad energiförbrukning med 15 %, och i det andra 18 %. Fuktigheten som uppmätts i huset är också på en lägre nivå än för hus målade med vanlig färg. (31).

Resultaten låter dock lite osannolika och borde granskas närmare. Mätningarna utfördes av ThermoGaia, och de andra forskningsresultaten företaget hänvisar till har utförts av deras tyska samarbetspartner. Oberoende undersökningar borde utföras för att noggrannare ta reda på vilken energibesparande effekt färgen egentligen har.

De isolerande färgerna har tyvärr råkat ut för allmänna missförstånd. De har i många fall marknadsförts som någon slags superisolering, och människor har uppfattat det som om ett lager med isolerande färg kan ersätta den tjocka isoleringen som vanligtvis används i hus. När det sedan naturligtvis inte fungerat har färgerna fått dåligt rykte och ansetts som en bluff. Ett färglager på cirka en millimeter kan naturligtvis inte ersätta 200-300 mm isolering, utan de isolerande färgerna ska fungera som ett tillägg för att hindra värmen från att alls nå den egentliga isoleringen genom att reflektera värmestrålning. Den tjocka isoleringen ska hindra konduktionen medan färgen ska hindra strålningen. De ska komplettera varandra, inte ersätta. Till och med i en artikel i Scientific American (14) är kritiken riktad som om färgerna skulle kunna ersätta all annan isolering, och att de därmed inte fungerar. Artikeln räddar ändå lite av sin heder genom att nämna att det visserligen kan ge en energisparande effekt om färgerna används tillsammans med annan isolering. I artikeln rekommenderas till och med tillverkarna Insuladd, Hy-Tech, Therma-Guard och Eagle Coatings.

En annan faktor som gör det svårare för värmereflekterande färger är de värden som används idag för att beskriva ett materials värmeisolerande förmåga. Beräkningarna tar inte värmestrålning i beaktande, och de är anpassade för tjock isolering (31). Om då samma uträkningar används för att beräkna värmereflekterande färgers isoleringsförmåga får man väldigt låga värden, vilket tolkas som att de inte fungerar alls. Men om de formler som används idag utvecklades till att också ta värmestrålning i beaktande skulle värdena för de värmereflekterande färgerna förbättras samtidigt som värdena för traditionella isoleringar försämrars. Då skulle det också kunna noteras att materialen kompletterar varandra, och att bästa effekten fås om de används tillsammans.

För att keramiska tillsatser ska börja användas i större skala måste alla missförstånd först klaras upp, och materialets egenskaper får inte överdrivas som den ultimata isoleringen igen. En viktig förutsättning är att allmänheten får en bättre kunskap om hur

värmestrålningen fungerar, och vilken betydelse den har för den totala värmeöverföringen.

### 7.3. Tunna metallfolier och metallytor

När det gäller elektriskt isolerande material med hög emissivitet kan deras reflekterande förmåga visserligen förbättras. Men eftersom de ofta är mycket absorberande kan de aldrig bli lika reflekterande som metallytor. Ofta är isolerande material lättare att använda och de kan ändå ge en viss effekt. I vissa fall är de därmed ett bättre alternativ. I många fall är det inte heller möjligt att använda metaller med tanke på till exempel utseende och installation.

I de fall där bästa möjliga värmesköld önskas är det metaller som gäller. Ädla metaller som guld och silver har en mycket låg emissivitet och är därmed mycket reflekterande. Ädla metaller är däremot dyra och kan därför bara användas i små mängder inom till exempel elektronikindustrin. Mindre ädla metaller som aluminium har en något högre emissivitet, men är redan betydligt billigare och finns att tillgå i större mängder. En yta av rostfritt stål som poleras kan visserligen se mycket blank ut, men emissiviteten är fortfarande betydligt högre än för aluminium. För en ökande användning av reflekterande värmesköldar är aluminium därför ett bra alternativ för att få en bra effekt utan att leda till alltför höga kostnader. Emissiviteterna för de nämnda materialen finns i tabell 8.

Tabell 8. Emissiviteten för några metaller vid 300 K. (19)

Metall	$\epsilon$ polerad	$\epsilon$ oxiderad
guld	0,03	
silver	0,02	
aluminium	0,04	0,82
rostfritt stål	0,17	0,33

Vanlig aluminiumfolie kan visserligen användas som en enkel och billig värmesköld. Men folien går lätt sönder och blir skrynklig, och ytan kommer snabbt att oxideras och bli smutsig. Då minskar ytans reflektivitet och materialets egenskaper försämras. Det finns däremot bättre material på marknaden som består av aluminiumfilmer laminerade

på tunna plastfilmer för att öka hållbarheten och förhindra skrynkling. Ett exempel på ett material är *radflek*. Det är en värmesköld som tillverkas för att installeras bakom värmeelement för att reflektera värmen från elementets baksida istället för att energin går förlorad genom väggen. Största delen av den reflekterade energin träffar då elementets baksida och värmer det igen. Elementet kan då använda mindre energi men ändå hålla den inställda temperaturen. På så sätt kan uppvärmningskostnaderna minskas, och på längre sikt kan stora mängder energi sparas. Filmen kan naturligtvis också användas på andra ställen där energi behöver reflekteras så länge temperaturen inte blir för hög för plastfilmen i materialet. Tillverkaren anger att filmen har en livslängd på minst 60 år, och att enda underhållet som krävs är att materialet hålls fritt från damm. (26).

Aluminium laminerat på papper har redan länge använts som värmereflektor i bastuväggar. Värmen hålls då lättare kvar inne i bastun och det behövs mindre energi för att värma upp bastun. Samtidigt kan värmen inte heller ta sig ut ur bastun och värma resten av huset till en obekväm temperatur. Materialet måste också ha en bra hållbarhet. När man bygger om eller renoverar bastun som byggts för 30-40 år sen kan man hitta aluminiumpapper som fortfarande är blankt. Materialet finns att köpa i de flesta järnhandlar.

Företaget Innovative Insulation Inc. benämner sig själv som världens största tillverkare av strålningssköldar. Företaget erbjuder många olika slags aluminiumfilmer till många olika ändamål främst inom byggnadsindustrin. Filmerna består av en tunn polyesterfilm med aluminiumfilmer laminerade på båda sidor för att göra båda sidorna reflekterande. Flera av filmerna är perforerade för att de ska kunna andas och inte bilda en tät yta som kan orsaka fuktproblem. Ofta finns redan ett tätt lager i husväggar. Om det då installeras ytterligare ett tätt lager genom en tät värmesköld kan det bildas fukt mellan lagren som aldrig kommer åt att torka. Den stillastående luften kan sedan leda till mögelproblem. Därför är det viktigt att aluminiumfilmen inte är lufttät. Företaget tillverkar också bubbelplast med aluminium som ytbeläggning för att isolera mot både strålning och värmeledning. Materialen används främst i husväggar och tak för att minska värmeförlusterna genom strålning. (21)

### **7.3.1. Stabilisering av metallytor**

Ett problem med metaller som värmereflekterande material är att ytan måste hållas blank och ren för att behålla sin reflekterande effekt. Men en bar metallyta kommer att oxideras om den kommer i kontakt med luftens syre, och som kan ses i tabell 8 kan emissiviteten öka betydligt när ytan oxideras. Problemet är inte lika stort med ädla metaller eftersom de är mindre reaktiva, men den höga kostnaden gör det omöjligt att använda ädla metaller i större utsträckning.

För att metallerna ska behålla sin blanka yta måste de ytbehandlas med en beläggning som hindrar luftens syre från att komma i kontakt med ytan. Ytbeläggningen får inte påverka ytans elektromagnetiska egenskaper alltför mycket, utan ytan måste behålla sin reflektivitet för att kunna fungera som en värmereflektor. Ytbeläggningen måste därför vara mycket tunn, och genomskinlig för elektromagnetisk strålning. Polymermaterial i form av till exempel filmer eller målarfärg är troligtvis inte lämpliga som ytmaterial eftersom de är absorberande och kunde ha för stor inverkan på metallens egenskaper. Filmen måste i så fall vara mycket tunn för att bevara ytans reflektion. Lack som målas med pensel bildar för ojämna och tjocka lager som har för stor inverkan på strålningen. Ett alternativ kunde vara ett lack som appliceras som spray och bildar en mycket tunn och jämn yta. Ytan måste också vara tät och ha en låg permeabilitet för både syre och fukt för att skydda ytan. Utförligare undersökningar kunde utföras för att ta reda på hur olika lacker påverkar reflektionen, och samtidigt också lackens förmåga att skydda ytan.

Metallfilmerna som nämndes tidigare i kapitlet måste ha någon form av stabilisering på ytan eftersom de har en lång livstid. Det är dock svårt att veta exakt vad det stabiliserande materialet är eftersom tillverkarna gärna bevarar sina hemligheter.

### **7.4. Reflexfilmer och -tejp**

Några material som kunde vara intressanta att undersöka närmare är material som reflekterar synligt ljus för att se hur de reflekterar infraröd strålning. De värmereflekterande målarfärgerna reflekterar främst kortare våglängder, men för IR-strålning är de ofta absorberande. Därför fungerar färgerna inte om man vill reflektera infraröda våglängder, det vill säga värmestrålning närmare rumstemperatur. I de fallen måste metallfilmer av olika slag användas. Med tanke på utseendet är de dock inte



nödvändigtvis alltid de attraktivaste. Därför kunde det vara intressant att undersöka om reflexmaterial kunde användas istället. I en kamera med mörkerseende med hjälp av IR-strålning ses reflexen som mycket starkt lysande. Det är dock svårt att från det dra slutsatser om materialets egenskaper eftersom det är intensiteten som registreras i kameran och inte reflektionen. Utförligare undersökningar med noggrannare mätinstrument måste göras för att mer exakt ta reda på om reflexfilmer reflekterar värmestrålning eller inte.

Troligtvis har reflexmaterialen sämre reflektion än metaller, så den reflekterande effekten kommer att vara mindre. Men en fördel med reflexmaterial är att de finns att få i många olika färger och former. Med tanke på utseendet kunde materialen därför vara intressanta för vissa ändamål där materialet är synligt. Ur inredningsteknisk synpunkt är det ofta inte det populäraste att ha synliga aluminiumfilmer, så reflexfilmer kunde undersökas som alternativ.

Inom industrin kommer reflexmaterialen inte att vara intressanta eftersom det finns bättre alternativ. Men för privat bruk där man vill göra enkla och billiga saker för att optimera energiförbrukningen i hemmet kunde reflexmaterial möjligtvis vara ett alternativ. Materialet kunde till exempel användas för att ta tillvara värmen som annars fastnar bakom elementen, eller varför inte för att ta tillvara värmen från TV:n, förstärkaren eller datorn ifall de är placerade mot en yttervägg. En förutsättning är naturligtvis att materialet har de egenskaper som krävs.

## **8. EXEMPEL PÅ ABSORBERANDE OCH EMITTERANDE MATERIAL**

När en ytas emissivitet ökas kan ytan suga åt sig mer energi, och samtidigt kan ytan lättare avge sin energi i form av värmestrålning. Emissiviteten kan därmed användas både för att effektivisera en ytas uppvärmning, och för att öka takten värme avlägsnas från material som behöver nedkylning.

Emitterande material kan inte urskiljas lika tydligt som reflekterande eftersom många material förutom metaller ofta redan har en hög emissivitet. Det gäller att hitta just de material som har de bästa egenskaperna för ett visst ändamål, eller att ändra ytans

emissivitet med hjälp av ytbeläggningar. Ofta borde emissivitet och absorbtivitet kontrolleras var för sig för olika våglängder för att de ska samarbeta och komplettera varandra för bästa resultat.

Det finns flera olika möjligheter att öka en ytas emissivitet. Ytan kan målas eller tejpas med ett emitterande material, och ytan kan slipas för att bli grövre och mattare. Genom slipning fås ofta bara en liten ökning, så den bästa effekten fås ofta genom att måla ytan eller täcka den med en tunn film. Ytbeläggningen ska vara så tunn som möjligt för att det underliggande materialets egna egenskaper inte ska påverkas, och för att ytbeläggningens värmeledningsförmåga inte ska inverka. (25).

## 8.1. Målarfärg

Ett enkelt sätt att öka en ytas förmåga att släppa ifrån sig strålningsvärme är att måla den med en färg med hög emissivitet. Ytor av plast och andra isolerande material har ofta i sig självt en högre emissivitet än en yta av metall. De flesta målarfärger har en hög emissivitet, men det gäller att veta vilka som har den högsta emissiviteten för att få en så bra effekt som möjligt. Det finns många olika färger av olika tillverkare, så det är inte helt lätt att få en överblick över de olika färgernas emissiviteter. I tabeller kan man hitta allmänna värden för olika material, men ofta anges bara värdet för ”vit målarfärg” för en viss våglängd, eller ett medelvärde för hela spektret. I det här fallet bör emissiviteten för alla olika våglängder vara känd för att veta hur en färg kommer att påverka strålning av olika våglängder. När det gäller ytor av rumstemperatur är det emissiviteten för infraröda våglängder som är intressant. Men när temperaturen stiger börjar också egenskaperna för de kortare våglängderna ha betydelse.

I tabeller hittas värden för ljusa färger mellan ca 0,77-0,95, och för svarta mellan ca 0,80-0,98. Värden i olika tabeller kan variera för samma material beroende på vilken våglängd som mäts, och vid vilken temperatur. Genom att måla ett ljust element en mörkare färg är det möjligt att få en effektökning på upp till 12 %. (15). Jämfört med en blank metallyta är det möjligt att få en betydande effekt redan med en ljus färg. Om en mörk eller svart färg används kan effekten i vissa fall ökas ytterligare. Den lilla skillnaden mellan mörk och ljus färg beror på att ljusa färger visserligen reflekterar synligt ljus, men ofta har andra egenskaper för längre våglängder. Allmänt gäller också

att en matt färg har en högre emissivitet än en blank, och metalliska färger bör undvikas eftersom de ofta är till viss del reflekterande.

Mycket få tillverkare erbjuder utförliga mätresultat för sina färger eftersom de inte efterfrågas förutom i speciella fall. Därmed är det onödigt att lägga ner tid och resurser på att mäta emissiviteter. Utförligare undersökningar borde utföras för ett brett urval av färger för att ta reda på emissiviteten över hela spektret för att bättre veta vilka färger som har vilka egenskaper. I nuläget går det nästan bara att gissa sig fram till vad som fungerar bäst. Ett exempel är Krylons matta vita färg som enligt tabeller har en emissivitet på 0,992 för våglängden 3  $\mu\text{m}$  (20), men som måste ha en låg emissivitet för synligt ljus eftersom den fortfarande uppfattas som vit. Så långa vågor räknas redan som radiovågor, så det skulle vara intressantare att veta emissiviteten för mikrometerområdet.

När det gäller högre temperaturer som till exempel inne i olika ugnar gäller andra krav för färgerna. De måste tåla den höga temperaturen utan att påverkas och ändra sina egenskaper med tiden, och variationerna för materialets emissivitet beroende på temperaturen måste vara kända. Trots att det inte är så stor skillnad mellan emissiviteten för svart och vit färg vid rumstemperatur, kommer skillnaden att vara märkbar redan vid cirka 1000°C eftersom den emitterade strålningen från ytan består av kortare våglängder. När temperaturen blir så hög att ytan börjar glöda kommer en ljus färg att emittera en mycket liten del av strålningen jämfört med en svart yta. Dessutom är strålningens andel av den totala värmeöverföringen större vid höga temperaturer än vid lägre, så ytans emissivitet kan då ha stor betydelse.

## **8.2. Plaster**

Polymera material har ofta en relativt hög emissivitet. Isolerande material har allmänt en emissivitet över 0,6 (19). På samma sätt som för målarfärgerna gäller det att veta vilka plaster som har de bästa egenskaperna för en viss situation. I tabeller hittas ungefärliga värden för olika plaster, men emissiviteten varierar till och med för samma material beroende på pigmentering, tillsatser och ytans utseende. För att få mer exakta värden måste emissiviteten utredas i specifika fall. Som vägledning kan användas att

mörka färger ofta är mer emitterande än vita, och att en matt yta är mer emitterande än en blank.

Polymerfilmer kan allmänt inte användas för att absorbera solenergi eftersom plaster åldras och degraderas av UV-ljus. Men plaster kan användas för att absorbera värmestrålning av rumstemperatur, och som emitterande material när man vill avlägsna värme. Tunna plastfilmer kan användas till många olika ändamål för att ändra ytors egenskaper eftersom de är flexibla och lätta att installera. Det är också enkelt att ytbelägga filmerna på olika sätt för att ändra deras egenskaper. Filmerna kan användas för att snabbt och enkelt täcka stora ytor med en fördelaktigare emissivitet.

### **8.3. Tejp**

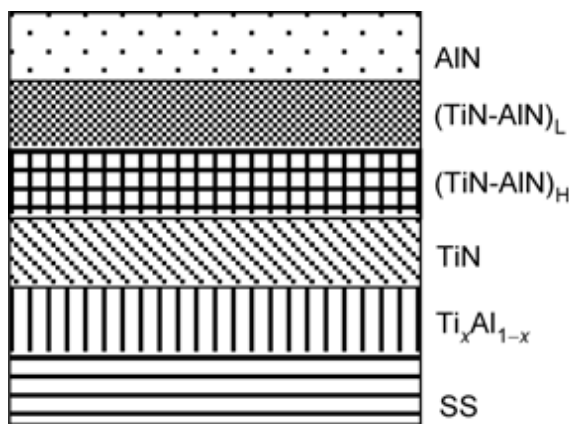
Om man snabbt och enkelt behöver en yta som absorberar infraröd strålning är vanligt silvertejp ett bra alternativ. Tejpen är mycket absorberande, och i kameror med mörkerseende syns den som totalt svart. Den kan därmed lätt användas för tillfälliga märkningar eller för tillfälliga reparationer av en annan absorberande yta. Permanenta användningsområden för tejp inom värmehantering är säkert sällsynta eftersom silvertejps utseende inte är det attraktivaste, och det finns ofta bättre alternativ.

### **8.4. Selektiva ytmaterial**

Många av de tidigare nämnda absorberande materialen har liknande egenskaper för olika våglängder eftersom man ofta vill att energin ska avges igen som värmestrålning. I de fallen fungerar det med liknande emissivitet för olika våglängder. Om energi ska absorberas, ska materialet däremot absorbera så mycket energi som möjligt utan att emittera värmen igen. Dessa material kallas selektiva eftersom de bara absorberar och emitterar vissa våglängder. Materialen används till exempel för att ta tillvara värme från solen. Materialen har en hög emissivitet för solstrålningens våglängder, men de måste samtidigt ha en låg emissivitet för infraröda våglängder för att värmen inte ska avges igen i form av strålning. Eftersom materialet har som uppgift att lagra energi kommer temperaturen att stiga och ytbeläggningen måste därför tåla värme.

Ett exempel på en selektiv färg är *Thurmalox 250 Selective Black Solar Collective Coating* som tillverkas av Dampney. Det är en silikonbaserad sprayfärg som används

till olika anläggningar som tar tillvara värmeenergi från solen. Färgens absorptivitet är 0,96 för solljus, och för ett mycket tunt lager är emissiviteten för IR-strålning 0,56. Om lagret är tjockare stiger emissiviteten, så lagret måste hållas tunt för att få en bättre effekt. (12). *Thurmalox 250* är alltså inget perfekt selektivt material eftersom emissiviteten ändå är så hög som 0,56. Färgen ger ändå en betydande skillnad jämfört med vanlig svart färg som kan ha en emissivitet på upp till 0,98. Färgen är också billigare än mer utvecklade material med bättre egenskaper.



Figur 12. Selektivt material undersökt av kinesiska forskare. Det understa lagret SS är rostfritt stål. (17)

strålning är 0,08. Beläggningen behåller sina egenskaper upp till 500°C. Vid högre temperaturer är molekylstrukturen inte längre stabil och materialets egenskaper försämras. (17)

Materialet är därför ett bättre selektivt material än sprayfärgen från Dampney. Men materialet är också mer komplicerat och dyrare att tillverka. Sprayfärgen kan enkelt appliceras var som helst medan den galvaniserade beläggningen kräver speciella anläggningar. Om en selektiv yta önskas och det finns möjligheter att få den galvaniserad lönar det sig helt klart, för materialets kan då ge en mycket bättre effekt. Om man däremot snabbt och billigt behöver ett selektivt material utan högre krav på prestationen är sprayfärgen ett alternativ. Om en galvaniserad selektiv yta blivit skadad kan den också repareras med sprayfärgen (13). Sprayen ska då bara täcka de skadade delarna av ytan för att inte försämra egenskaperna för de intakta delarna av ytan.

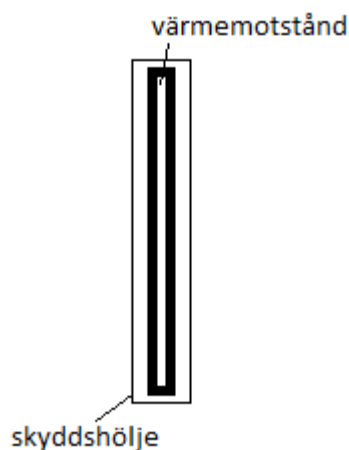
För att få ett selektivt material med bättre egenskaper behövs mer utvecklade material. De bästa egenskaperna fås med ytbeläggningar av metallföreningar genom galvaniska processer. Kinesiska forskare har gjort en undersökning av selektiva materials värmebeständighet. Materialet de undersökte är uppbyggt av

flera lager av olika nitritter. (Figur 12). Materialets absorptivitet för solstrålning är 0,943 och emissiviteten för IR-

## 9. NÅGRA ANVÄNDNINGSOMRÅDEN FÖR REFLEKTERANDE MATERIAL

Reflekterande material kan användas på många ställen för att hindra strålningsenergi från att nå fram till en yta, eller för att rikta strålningen åt ett visst håll där den gör mer nytta. I de flesta hushåll idag finns det till exempel många olika elektriska apparater som producerar energi som kunde tas till vara genom att rikta värmen in mot rummet istället. Bara fantasin sätter gränser för möjligheterna.

### 9.1. Värmeelement

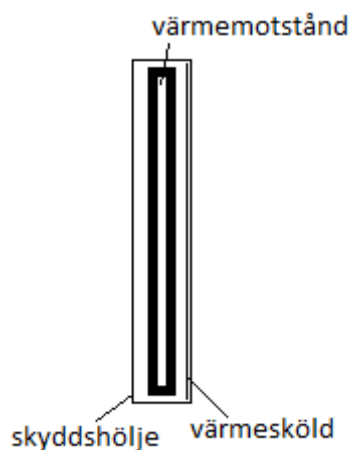


Figur 13. Ett elektriskt värmelement med ett skyddande skal.

Ett vanligt sätt att värma hus är med hjälp av värmeelement fästa på väggen. Ofta finns elementen under fönster. Element som fungerar med direktverkande el har ett elektriskt motstånd som värms med elektricitet. Runt motståndet finns ett skyddande hölje av plast eller metall. (Figur 13). Skalets uppgift är att skydda elementet från smuts och skadliga ämnen, och att skydda bostadens invånare och eventuella husdjur från att komma i kontakt med värmemotståndet. Skalet förbättrar samtidigt också utseendet på elementet. Ett annat alternativ som används är element som värms med cirkulerande varmvatten. Dessa element har inget skyddshölje, utan själva elementet värmer rummet direkt. De har alltså inget bakre skal som kommer att diskuteras här nedan, men för de här elementen kan väggen bakom elementet anses som det bakre skalet.

Värmen avges alltså från båda sidorna av motståndet, och fortsätter med att värma upp skalet med hjälp av konvektion och strålning. Skalet värmer sedan rummet, också det genom strålning och konvektion. Men eftersom elementet är monterat mot väggen kommer därmed hälften av all värme som elementet producerar att avges av baksidan och hamna mellan elementet och väggen. Väggen bakom värms då upp, men värmen gör liten nytta i resten av rummet. En del av värmen stiger uppåt eftersom varm luft är lättare än kall. Men det är till största delen enbart konvektionsvärmen som stiger uppåt. Strålningsvärmen hamnar rakt på väggen och värmer upp den. En liten del av värmen

från väggen stiger sen också uppåt eftersom också väggen värmer luften med hjälp av konvektion. Men en stor del av värmen som hamnar bakom elementet leds in i väggens isolering där den inte gör någon nytta.



Figur 14. Värmeelement med värmesköld på insidan av det bakre skalet.

Ett bättre alternativ är om största delen av värmen skulle sändas ut från elementets framsida. Det är dock svårt att övertala ett elektriskt motstånd att bara värma ena sidan. En annan lösning behövs därför för att få värmen riktad in mot rummet istället. En möjlighet är att installera en reflekterande värmesköld på insidan av det bakre skalet. (Figur 14). Strålningsvärmen från elementet reflekteras då tillbaka mot motståndet istället för att värma upp elementets baksida så värmen fastnar vid väggen. Den reflekterade värmen strålar då tillbaka mot motståndet och värmer det så att det inte behöver gå på lika hög effekt för att upprätthålla den inställda temperaturen. En större del av den producerade värmen hamnar då ut i rummet där den gör större nytta. En del av energin går ändå åt till att värma baksidan eftersom det bara är strålningsvärmen som reflekteras medan konvektionsvärmen fortfarande hamnar bakom elementet. Men den energin gör också nytta genom att en del av den stiger uppåt och bildar en varm luftström över fönstret utan att desto mer värma väggen. Utan värmesköld är det till största delen strålningsvärmen som står för den onödiga uppvärmningen av väggen. Problemet med att ha en värmereflektor bakom elementet i fria luften är att den samlar damm med tiden och effekten minskar. Materialet måste då rengöras tillräckligt ofta. En värmesköld som finns skyddad innanför skalet utsätts inte på samma sätt för smuts.

Exempel på material som kunde användas som värmesköld i element är till exempel någon form av aluminiumfilm. Eftersom insidan av skalet inte syns har utseendet mindre betydelse, och transparens är inte nödvändig. Metaller är allmänt bättre på att reflektera värme än andra material, så bästa effekten på enklaste sätt är att använda till exempel aluminium. Bara en tunn aluminiumfilm skulle gå sönder för lätt, så ett lager av aluminium laminerat på ett annat tunt material är ett bättre alternativ. Eftersom miljön inne i elementet kan nå höga temperaturer får det inte vara ett lättantändligt material som exempelvis papper, utan en värmetålig plastfilm med en yta av aluminium

är ett bättre alternativ. En annan möjlighet är att använda en värmereflekterande färg som målas på insidan av det bakre skyddet. Nackdelen är dock att målarfärger har en mycket sämre reflektion än aluminiumfilmen, och tillverkningen tar längre tid eftersom färgen måste torka. Ett tredje alternativ är att använda en tunn reflekterande plastfilm, men problemet är då också att reflektionen är sämre än för aluminium. Den bästa reflektionen till ett rimligt pris fås troligtvis med en aluminiumfilm. Men när man väljer material måste man också ta hänsyn till vad som fungerar bäst ihop med den övriga tillverkningsprocessen. Materialval och tillverkningsmetod borde alltså undersökas skilt för att se vad som passar bäst för olika tillverkare.

Om skalet är av metall och någon begått misstaget att måla insidan av det bakre skalet är det redan en bra början att avlägsna den absorberande färgen. Till och med en matt metallyta är mer reflekterande än en målad yta. För att ytterligare förbättra reflektiviteten kan ytan poleras och sen skyddas till exempel med ett tunt lager lack. Om ytan lämnas obehandlad kommer den att oxideras och tappa sin reflekterande effekt (kapitel 7.4.1). Om skalet är av stålplåt kan ytan ändå aldrig bli lika reflektiv som med aluminium. Om det krävs en bättre reflektion än själva stålets yta kan ge, kan plåtens yta täckas med en stabiliserad aluminiumfilm. För att få en bättre effekt borde det finnas en luftspalt mellan värmereflektorn och skalets yta. Luftspalten hindrar då värmen som ändå absorberas från att ledas genom filmen och vidare till skalet som man försöker hålla värmen borta ifrån.

Om man själv vill göra vad man kan för att minska sina uppvärmningskostnader utan att behöva köpa nya element kan man installera en reflekterande värmesköld bakom de existerande elementen för att minska energiförlusterna till väggen. Vanlig aluminiumfolie kan visserligen användas, men effekten kommer snabbt att avta när foliens yta oxideras av syret i luften. För att få en mer bestående effekt finns det bättre material på marknaden som till exempel *radflek* som beskrivits tidigare. Materialet kan beställas via företagets hemsida, och kan enkelt installeras av vem som helst. Tillverkaren lovar att det reflekterar 95 % av värmestrålningen som annars bara skulle värma väggen.

För att ta reda på hur energiförbrukningen påverkas i praktiken, och hur värmeskölden påverkar rummets uppvärmning borde utförligare undersökningar utföras. För ett enskilt



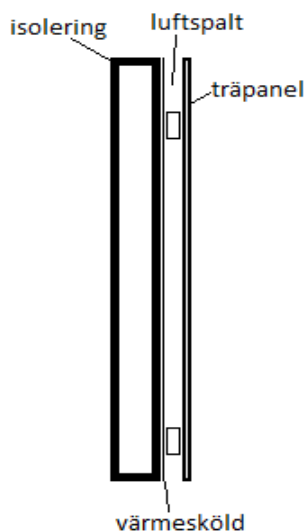
värmeelement blir skillnaden kanske inte så stor. Men med tanke på det stora antalet element som används för uppvärmning kan redan en liten skillnad ha en effekt på världens energibehov om alla värmeelement utrustades med värmereflektorer.

## 9.2. Bastuväggar

När man värmer en bastu värms ett litet rum till en temperatur betydligt högre än den övriga innetemperaturen. Värmen bör då inte spridas till de övriga utrymmena och höja temperaturen till en obekväm nivå i resten av huset. Samtidigt går det också åt mindre energi till att värma upp bastun om värmeförlusterna är mindre.

En bastuvägg är oftast uppbyggd på samma sätt som de övriga väggarna i huset. Innerst finns en stomme av lättgrusblock eller trästolpar. Lättgrusblocken är i sig värmeisolerande, och mellan stolparna finns oftast isolering också i innerväggar. På insidan av stommen finns träribbor, och på ribborna fästs träpanelen som är bastuns synliga inredning. Träribbornas uppgift är att bilda en luftspalt. Om panelen ligger tätt mot stommen kommer fukten att kunna ta sig in men aldrig ha en möjlighet att torka. Fukten kan sedan börja bilda mögel. Så mellanrummet med luft är därför viktigt för att fukten ska kunna torka upp utan att skapa problem.

Det finns alltså redan isolering i bastuns väggar, så vad är då problemet? När luften i bastun värms upp av ugnen genom konvektion, kommer luften i sin tur att avge sin värme till panelen som också blir varmare. Väggen värms också direkt av värmestrålningen från ugnen. Värmen leds sen vidare genom träpanelen till dess baksida varifrån den strålas vidare mot isoleringen. Om värmen då träffar på isolering i form av ull kommer den att stanna där och inte kunna ta sig vidare. Då verkar ju problemet vara löst i och med att värmen fastnat i väggen och inte kan ta sig ut till resten av huset. Men värmen gör ingen nytta inne i väggen, utan den bör stanna inne i bastun. Ett enkelt sätt att kontrollera värmen är att installera en värmereflektor mellan isoleringen och träribborna. Reflektorn reflekterar då strålningen tillbaka mot panelen istället så att värmen aldrig kommer fram till isoleringen. (Figur 15). Värmen reflekteras då tillbaka mot panelen, och en större del av energin hålls kvar inne i bastun. Bastuns uppvärmning blir därmed effektivare.



Figur 15. Genomsnitt av en bastuvägg.

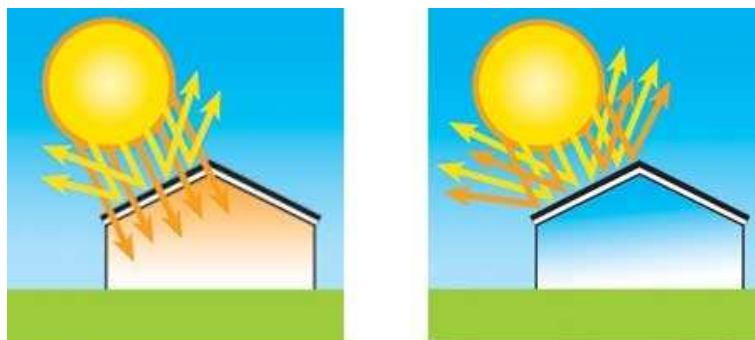
Värmesköldar i bastun har redan använts en lång tid. Mellan isoleringen och bastuns träpanel installeras ett tjockare papper med ett lager aluminium på ena sidan. Den blanka aluminiumsidan ska vara riktad in mot bastun. När värmestrålningen träffar den blanka ytan reflekteras den tillbaka mot träpanelen. Aluminium har en emissivitet på  $\varepsilon = 0,07$ , vilket samtidigt betyder att absorbtiviteten  $\alpha$  har ungefär samma värde (19). Aluminium absorberar alltså 7 % av strålningen som träffar ytan, och reflekterar resterande 93 %. Eftersom blanka metallytor allmänt har en mycket bättre reflektivitet än plaster är det tveksamt att det finns bättre alternativ än aluminium för värmeskölden i

bastun. Eftersom materialet är gömt inne i väggen har utseende och transparens ingen betydelse, utan det bästa resultatet fås med en tunn metallfilm. Ett problem är dock att pappret lätt går sönder vid installationen. Plastfilmer är däremot inget alternativ på grund av den höga temperaturen inne i bastun.

### 9.3. Hustak

På sommaren när solen skiner på ett absorberande tak blir taket hett. Värmen leds sedan genom taket och tar sig vidare in i huset och innetemperaturen stiger. Då tycker många att det blir för varmt inne på sommaren, så en luftkonditioneringsanläggning installeras allt oftare för att kyla ner luften igen.

Ett enkelt sätt att spara på elräkningen är då att se till att taket inte blir så hett. Om takets temperatur hålls lägre kommer också värmeledningen in till huset att minska. Ett enkelt alternativ att hålla taket svalare är att ha ett tak som reflekterar strålningen från solen istället för att absorbera den. (Figur 16). Ett glansigt plåttak fungerar då redan bättre än ett svart plåttak. Men på grund av exponering är plåttak sällan blanka alltför länge. Tegeltak är visserligen absorberande, men de har dålig värmeledningsförmåga så bara en del av värmen tar sig in till vinden.



Figur 16. Med ett tak som reflekterar solvärmen kan man hålla temperaturen inne i huset svalare. (11)

Om det existerande taket på huset har en hög emissivitet kan taket målas med en färg som reflekterar solens värmestrålning. Eftersom färgens kulör inte nödvändigtvis säger allt om emissiviteten behöver det inte betyda att alla tak borde målas vita eller ljusa. Kulören visar bara emissiviteten för synligt ljus, men för andra våglängder kan egenskaperna variera. Därmed är det möjligt att få ett värmereflekterande tak i nästan vilken färg som helst. Den bästa effekten fås med ytor som reflekterar den kortvågiga solenergin, men sedan lätt emitterar strålning av infraröda våglängder. Taket absorberar då bara en liten del av solvärmen, och den energi som ändå absorberas kan lätt lämna ytan igen som IR-strålning.

Det är svårt att teoretiskt räkna ut hur mycket som kan sparas genom att taket hålls svalare. Många olika faktorer spelar in, som till exempel husets isolering, klimatet och eventuella skuggande träd. Praktiska undersökningar i olika situationer kunde utföras för att få en tydligare bild av lönsamheten. I Australiens varmare klimat har utvecklingen på området gått längre, och flera tillverkare erbjuder värmereflekterande färger för husväggar och tak. Många av tillverkarna har berättelser från nöjda kunder på sina hemsidor, men det är svårt att veta hur tillförlitlig den informationen är. Men det hittas också nöjda användare på olika fristående diskussionsforum på Internet vilket redan ger en tydligare bild av att färgerna faktiskt kan ha en inverkan på innetemperaturen.

#### 9.4. Husväggar

Väggarna i hus är väl isolerade speciellt i områden med kallare klimat. Direktiven för isoleringens tjocklek uppdateras konstant, och nya material med lägre

värmeledningsförmåga utvecklas hela tiden. Ändå verkar det fortfarande glömmas bort att den isolering som används idag inte hindrar värmestrålningen från att avlägsna värme från husen. När materialens värmeisolerande förmåga räknas ut används formler som beskriver en förenklad version av verkligheten. I dessa formler hör värmestrålningen till de parametrar som ansetts som försumbara och lämnats obeaktade (31). Därmed begicks ett misstag vid utvecklingen av formlerna. Antingen för att uträkningarna blir mer komplicerade om också strålningen tas med, eller på grund av okunskap om strålningens betydelse för värmeflödet. Strålningen har en effekt när det gäller värmeförluster genom väggar och hustak, och det är möjligt att spara energi genom att också använda olika former av värmereflekterande isolering i husen, till exempel värmereflekterande filmer eller reflekterande färg. En tillverkare av värmereflekterande filmer anger att man genom att installera till exempel aluminiumfilmer laminerade på en tunn polymerfilm som värmesköld i väggen kan minska värmeflödet genom väggen med 60 % (21). Det värdet låter lite väl högt, och eftersom det är angivet av en tillverkare är det inte nödvändigtvis helt tillförlitligt. Tillverkaren anger att det resultatet uppnås med flera lager av reflekterande filmer i väggen. Det är dessutom tveksamt hur stor inverkan reflekterande isolering har inne i väggen. Resultaten av utomstående undersökningar av isoleringens effekter vore mer tillförlitliga.

Den bästa effekten fås om reflektionen sker redan på väggens yta så att värmeenergin aldrig tar sig in i materialet. För att reflekterande isolering ska fungera inne i en vägg måste den ha en luftspalt på åtminstone ena sidan. Ofta finns det redan en luftspalt bakom husets brädfodring. Då är det möjligt att enkelt installera en värmereflekterande film som reflekterar strålningen från solen och därmed hindrar värmen från att ta sig in till väggen. Reflekterande färg kan också användas på väggar både inomhus och utomhus för att hålla värmen borta från väggen.

Om också strålningen stoppas kommer värmeförlusterna genom väggen att minska. Det är därmed möjligt att spara energi genom att ta också strålningen i beaktande när man isolerar sitt hus. Reflekterande filmer som används ska helst vara perforerade för att inte göra väggen för tät och hindra luftflödet i väggen och skapa fuktproblem. Ofta finns det redan ett lufttätt lager i husväggen. Om ytterligare ett tätt lager installeras kan eventuell

fukt mellan de täta lagren aldrig torka. Den stillastående fukten kan sen leda till mögelproblem.

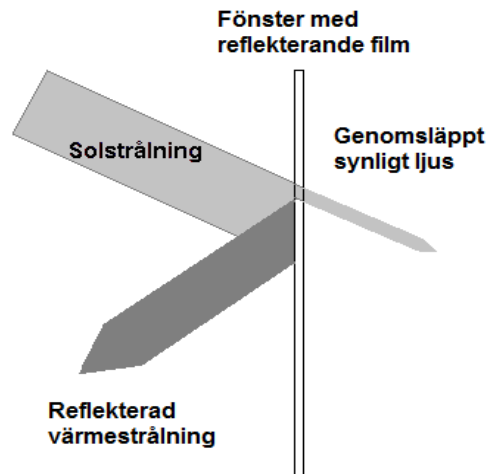
När det gäller reflekterande isolering som består av tunna filmer är det ingen idé att beskriva dem med samma värden som används för att jämföra tjock isolering. Eftersom de är ämnade för att reflektera strålning och inte alls har som uppgift att hindra värmeledning fungerar de med andra principer som inte kan beskrivas med värden som är koncentrerade kring materialets konduktivitet. Materialen bör istället beskrivas och jämföras utgående från deras reflekterande egenskaper.

## 9.5. Fönster

Väggarna i hus är väl isolerade (förutom för värmestrålning), och nya material och direktiv kommer hela tiden. Problemet med den värme som tar sig genom fönsterglasen är dock svårare att åtgärda. På vintrarna när husen måste värmas upp går mycket energi förlorad genom fönstren. På somrarna kan värmestrålningen ta sig in, men på grund av växthuseffekten kan strålningen inte ta sig ut igen utan fastnar inomhus och ökar behovet av nedkylning. Värmeförlusterna genom värmeledning och konvektion kan minskas genom dubbla fönsterglas med isolerande luft emellan. Men strålningsvärmem tar sig ändå igenom ett klart fönsterglas utan hinder. Strålningen kan visserligen enkelt stoppas med hjälp av gardiner eller persienner, men de hindrar också samtidigt ljuset att ta sig in och blockerar utsikten genom fönstret.

En lösning på problemet är att installera tunna genomskinliga filmer på fönstret som bara släpper igenom det synliga ljuset men reflekterar alla andra våglängder. (Figur 17). Solen kan då inte värma upp inneluften på samma sätt, och värmestrålningen som finns inne i rummet kan inte heller ta sig ut genom fönstret utan reflekteras tillbaka in mot rummet istället. Samma lösning fungerar alltså både för att minska behovet av nedkylning, och för att effektivera uppvärmningen. De tunna reflekterande filmerna är rätt så komplicerade konstruktioner eftersom de måste vara genomskinliga för synligt ljus, men reflektera alla andra både kortare och längre våglängder. Filmerna är uppbyggda av många lager av olika plastfilmer och lager av metalliserade filmer mellan dem. Filmerna finns både som helt klara och lätt tonade i olika färger. Enligt flera

tillverkare kan filmerna reflektera upp till 75 % av värmestrålningen som annars skulle ta sig genom fönstret. (2)



Figur 17. Ett fönster med en reflekterande film installerad blockerar solens energi och håller innetemperaturen svalare.

Dessa filmer används redan till exempel på kontorsbyggnader med stora glasytor som annars skulle fungera som växthus. Med filmerna kan temperaturen hållas nere också på sommaren när solen är som starkast, och värmeförlusterna genom de stora fönstertyorna blir mindre på vintern.

## 9.6. Bilrutor

Som nämnts tidigare i samband med filmer för fönster kan man spara bränsle genom att hindra värmestrålningen från att ta sig in i bilen. Det behövs då mindre energi till nedkylning. Det finns många olika filmer som är menade för bilrutor, men för att få en så bra effekt som möjligt måste man veta vilken sorts film man väljer. De billigaste filmerna fungerar bra som mörkläggnings och hindrar UV-ljus, men de reflekterar inga större mängder energi. De lite dyrare är mer reflekterande, men ger ofta en silveraktig speglade yta. Dessa filmer får inte användas för fordon i vägtrafik eftersom de också reflekterar synligt ljus och kan blända andra trafikanter. Med de dyraste filmerna kan man mer fritt välja färg, mörkläggnings och värmereflektion. Mer om de olika filmerna finns i kapitel 6.1.

Biltillverkare har också börjat integrera de värmereflekterande egenskaperna i själva bilrutan. Bilsens vindruta består egentligen av två glas som lamineras med en

förstärkande polymerfilm mellan sig. Genom att göra polymerfilmen värmereflekterande med hjälp av metaller kan vindrutan ges värmereflekterande egenskaper. Flera biltillverkare som till exempel Volvo och Ford erbjuder redan värmereflekterande rutor som valbar extrautrustning till flera av sina modeller (34,33)

I Kalifornien har det införts nya direktiv år 2009 om att alla nya bilar modeller från och med 2012 ska ha värmereflekterande fönsterrutor. Det uppskattas att det från och med år 2020 kan sparas över 500 000 ton koldioxid per år med de reflekterande fönsterglasen. (29).

## **9.7. Billack**

Tidigare i samband med emissiviteten nämndes ett exempel där en svart bil blir varmare i solen än en vit. En svart bil med luftkonditionering kommer därför också att behöva mer bränsle för att hålla bilen sval. En enkel lösning skulle då vara att måla alla bilar i ljusa färger. Men bilköpare vill garanterat ha större valmöjligheter än så när det kommer till färgen på den nya bilen. Ett missförstånd om att Kalifornien ville förbjuda alla svarta bilar ledde i alla fall till upprörda reaktioner (29). En bättre lösning är därför att utveckla mörka färger som reflekterar värmen från solen. Allra helst skulle de ännu gärna få ha en hög emissivitet för infraröda våglängder för att lättare kunna släppa ifrån sig den värme som ändå absorberas.

Nu har flera biltillverkare redan börjat ta tag i saken. Flera tillverkare bland annat Ford marknadsför nu sina bilar modeller med värmereflekterande lack (36). Hur mycket man kan spara med en sådan bil beror på många faktorer som till exempel klimat och bilmodell, så det är svårt att ange exakta värden. Men en bil som körs med luftkonditioneringen avstängd kan vara upp till 20 % effektivare än en bil med den på. I Kalifornien vill man också införa direktiv om att alla nya bilar ska ha värmereflekterande lack. Det avvaktas dock för att ge lite mer tid för utvecklingen av färgerna för att förbättra deras hållbarhet innan några direktiv införs. (29).

I kommentarerna till en artikel om reflekterande billacker (29) kommer läsarna också med intressanta egna förslag. Ett förslag är att utveckla en bil som kan byta färg så den är ljus på sommaren, men har en mörkare färg på vintern. Ett annat förslag är att ljusa

bilar ska vara billigare än mörka för att flera köpare ska välja en ljus bil. Enligt en kommentar från Australien är 70 % av bilarna där vita. Så tydligen har de uppfattat skillnaden där i sitt varmare klimat. Samma kommentar tycker vidare att man istället kunde utveckla en lack som smutsen inte fastnar på så det går åt mindre vatten till att tvätta bilen.

## **10. ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN FÖR EMITTERANDE OCH ABSORBERANDE MATERIAL**

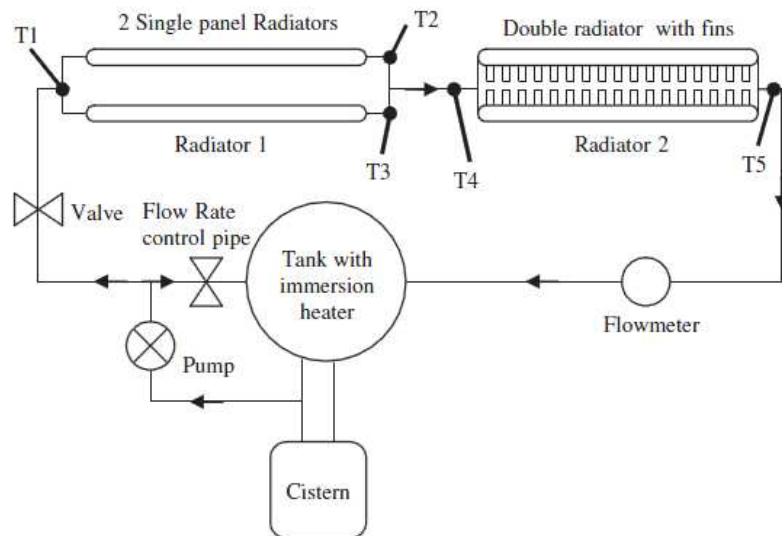
Emitterande material används när man vill att energin lätt ska kunna lämna ytan. Alltså när man inte vill att materialet ska värmas upp, eller när man vill underlätta materialets nedkylning. Materialets absorberande egenskaper utnyttjas när man vill att ytor ska värmas upp. Ofta vill man att emissivitet och absorptivitet ska samarbeta.

### **10.1. Värmeelement**

Tidigare nämndes att energi kan sparas genom att använda värmereflekterande material i värmeelement. Genom att använda emitterande material är det också möjligt att underlätta för elementet att avge värmen i form av värmestrålning. Elementet får då en högre effekt samtidigt som det behöver mindre energi.

Ett alternativ att effektivera energin för värmeelement med hjälp av absorberande material har undersökts i Storbritannien. Forskare vid Sheffield's Universitet undersökte hur ett material med hög emissivitet placerat mellan halvorna i ett dubbelt cirkulationselement påverkade det totala värmeflödet från elementet. (9). Teorin är att materialet absorberar strålningsvärmen från de båda halvorna och värms upp. Det ger då fler ytor som kan värma luften genom konvektion. Vanligtvis har dubbla radiatorer vågiga flänsar mellan sig för att öka ytan som kan avge värme till luften. (Figur 18).





Figur 18. Två enkla cirkulationselement, och ett dubbelt element med flänsar emellan. I den brittiska undersökningen placerades skivor av absorberande material mellan de enkla elementen. (9)

Forskarna i projektet undersökte olika uppläggningar med den absorberande skivan. Det bästa resultatet fick de med två absorberande skivor mellan elementen. Deras slutsats är att det då fanns många fler varma ytor som i sin tur kan värma luften.

De traditionella flänsarna och elementen med absorberande material mellan sig jämfördes i ett experiment över fyra månader. Resultatet av undersökningen är att flänsarna gav den bästa effekten så länge de var rena, men under experimentets gång sjönk effekten med 20 % när flänsarna samlade smuts. Det näst bästa alternativet som gav 71-88 % av flänsarnas effekt var att ha två absorberande skivor mellan radiatorerna. Forskarna tycker ändå att de absorberande skivorna kan vara en bra idé eftersom de är lättare att hålla rena än flänsarna, och de är billigare och lättare att tillverka. Med tiden när flänsarna blivit tillräckligt smutsiga är det möjligt att deras effekt till och med kan bli sämre än för de absorberande skivorna.

Tyvärre lönar det sig inte att göra någonting mindre effektivt än ett väl prövat alternativ. En intressant vidareutveckling kunde dock vara att se hur absorberande skivor kan påverka effekten för enkla radiatorer. En annan intressant undersökning kunde vara att undersöka hur effekten påverkas om elementets flänsar målas med absorberande färg istället för att de byts ut mot absorberande skivor. Och vad händer om en absorberande skiva placeras till exempel en bit framför ett element. Den skulle då värmas upp av

strålningen, och ge en större total yta som kan överföra värme till luften. Sen kan man ytterligare ha en värmereflektor bakom elementet för att minska värmeförlusterna till väggen. Men alternativen måste undersökas noggrannare för att hitta de lönsammaste uppläggingarna, och för att se hur elementets totala värmeöverföring påverkas.

Ett mycket enkelt sätt att öka värmen från en radiator är att se till att dess framsida har en hög emissivitet. Värmen kan då lämna ytan i ett snabbare flöde. Tyvärr vill så gott som alla i dagens värld ha vita, ljusa fina element som inte syns så mycket. Eftersom ljusa färger allmänt har en lägre emissivitet leder det till att de flesta element är dåliga på att avge värme i form av strålning. Ofta är ytbelägningen ändå ett plastmaterial i någon form, så emissiviteten borde sällan bli lägre än ca 0,6. Det skulle ändå göra en skillnad om värmeelementen skulle börja målas eller på annat sätt ytbeläggs så de får en så hög emissivitet som möjligt. Det behöver ändå inte nödvändigtvis betyda att alla element måste bli svarta eller mörka. Som exemplet med snön inom det infraröda området visar, kan också ljusa färger ha en hög emissivitet för andra våglängder än synligt ljus. Ett exempel som redan nämndes är Krylons matta vita färg som har en mycket hög emissivitet. Det borde alltså undersökas närmare vilka ljusa färger och ytmaterial som har en tillräckligt hög emissivitet för att göra nytta i sammanhanget. Tillverkarna måste också bli medvetna om vilken skillnad färgen kan ha, och börja fundera mer på materialvalets och värmestrålningens betydelse för elementets totala värmeöverföring.

## 10.2. Ugnar

Gaser reagerar inte på värmestrålning på samma sätt som fasta ytor. Medan fasta ytor absorberar och emitterar strålning av alla våglängder, absorberar gaser endast vissa våglängder. Vilka våglängder som absorberas varierar beroende på gasens sammansättning. Om en ugn som har som uppgift att värma en gas (t.ex. en krackningsugn) har reflekterande väggar kommer endast vissa våglängder att absorberas av gasen och värma den, medan resten av strålningen bara studsar runt i ugnen utan att göra nytta. Om väggarna däremot är emitterande kan de absorbera strålningen som träffar dem. Oberoende av den inkommande strålningens våglängder kommer väggen sen i sin tur att emittera strålning av alla våglängder. Då finns det strålning av rätt våglängder igen som kan absorberas av gasen och höja dess temperatur. En

förutsättning är då att ugnens väggar är tillräckligt isolerade så att energin inte kan ta sig ut utanför den inre väggen, utan energin avges tillbaka in mot ugnen. Forskaren Heynderickxs har gjort en undersökning om absorberande materials betydelse för ugnars verkningsgrad. Enligt Heynderickxs rapport kan verkningsgraden för en krackningsugn ökas med 5 % genom att ge väggarna en hög emissivitet. Ökningen baserar sig på en teoretisk uträkning, och inga förslag ges på vilka material som kan användas. (18).

När det gäller ugnar som är ämnade att värma fasta ämnen gäller inte samma principer. Fasta ämnen absorberar alla våglängder om än i olika grad, så omfördelningen av våglängder genom absorption och emission är inte nödvändigt. De allra flesta hushållsugnar är svarta på insidan. Ugnens väggar absorberar därmed värmestrålning. Ett intressant experiment vore därför att undersöka hur en ugnns effekt påverkas om dess insida görs reflekterande. En större del av energin skulle då hållas kvar inne i ugnen istället för att absorberas av ugnens väggar. Ett problem med en skinande blank ugn är dock att den skulle vara svår att hålla ren.

### **10.3. Motorer och maskinrum**

En förbränningsmotor som arbetar genererar mycket värme och måste därför kylas ner för att temperaturen inte ska bli så hög att motorn förstörs. Motorer kyls genom konvektion med hjälp av luft eller vätska som cirkulerar i kylsystem. Men ofta glöms det bort att också värmestrålningen kan hjälpa till med nerkylningen. Om motorn har en ytbeläggning som lätt ger ifrån sig värmestrålning kan värmeöverföringen genom strålning ökas och minska energibehovet för kylsystemet. Hur mycket energi som kan sparas varierar i olika situation och för olika material, så undersökningar borde göras för att se vilken effekten kan bli i olika situationer i praktiken.

Ofta finns motorer inne i maskinrum eller industrihallar där också människor jobbar. Temperaturen i utrymmet måste därmed hållas på en lämplig nivå för att arbetarna skall trivas. Förbränningsmotorer har också en bättre effekt om luften de behöver för förbränningen har en lägre temperatur. Därför behövs det också energi för att kyla ner luften i maskinrummet. En idé för att göra nedkylningen effektivare kunde vara att ha ytor med absorberande material som suger åt sig värmestrålningen som maskinerna

avger. Ytorna måste sedan kylas ner för att inte avge energin tillbaka till luften. En del av energin skulle då hindras från att värma upp utrymmet genom konvektion, och energibehovet för nedkylning skulle minska. Men systemet i sig skulle också behöva energi för att fungera, så undersökningar behövs för att ta reda på om den totala mängden energi som behövs verkligen minskar.

När det gäller stora fartyg kunde väggarna i maskinrummet målas med en absorberande färg så att väggarna suger åt sig värmestrålningen. Det behöver inte betyda att maskinrummet måste målas svart och bli mörkt och tråkigt, utan färgen som används behöver bara en så hög emissivitet som möjligt för infraröd strålning. Det stora skrovet skulle inte påverkas nämnvärt av uppvärmningen och värmen skulle snabbt ledas bort. Maskinrummet finns dessutom ofta under vattenlinjen för att stabilisera fartyget, så skrovet kyles hela tiden av vattnet.

#### **10.4. Värmeelement och kylflänsar**

Nu är det redan bekant att en yta med hög emissivitet lättare släpper ifrån sig värmen i form av strålning. Ett värmeelement kan därmed göras effektivare genom att det målas med en emitterande färg. Som bekant från kapitel 7.2 har alla färger utom de metalliska redan i sig en hög emissivitet. Men det kan ändå ge en skillnad om emissiviteten görs så hög som möjligt. Samma princip gäller också för kylflänsar av olika slag. Flänsarna är gjorda av metaller med god värmeledningsförmåga eftersom deras uppgift är att leda bort värme. En blank metallyta fungerar visserligen som kylfläns, men kylsystemet som sedan kyl flänsen måste jobba utan hjälp av strålningen eftersom en blank metallyta emitterar mycket små mängder energi. Om flänsen däremot målas till exempel svart kan värmestrålningen hjälpa till med värmeöverföringen och kylsystemet behöver mindre energi för att hålla flänsen vid samma temperatur.

Emissiviteten varierar beroende på våglängd och temperatur. Så när emissiviteten för olika färger jämförs måste man jämföra värden för samma förhållanden. I tabeller anges oftast bara ett värde, och för vilken eller vilka våglängder värdet gäller anges väldigt sällan. Ofta anges bara emissiviteten för "vit färg". Det gör att det också är svårt att veta vilka skillnader det finns mellan olika tillverkare och olika färgtyper. För att veta vilka färger som ger den bästa effekten för önskad färg på elementet borde det göras en

omfattande undersökning av ett stort urval färger. Emissiviteten inom IR-området skulle då mätas eftersom det är de våglängder som är intressanta i det här fallet då största delen av den emitterade värmestrålningen är infraröd vid lägre temperaturer.

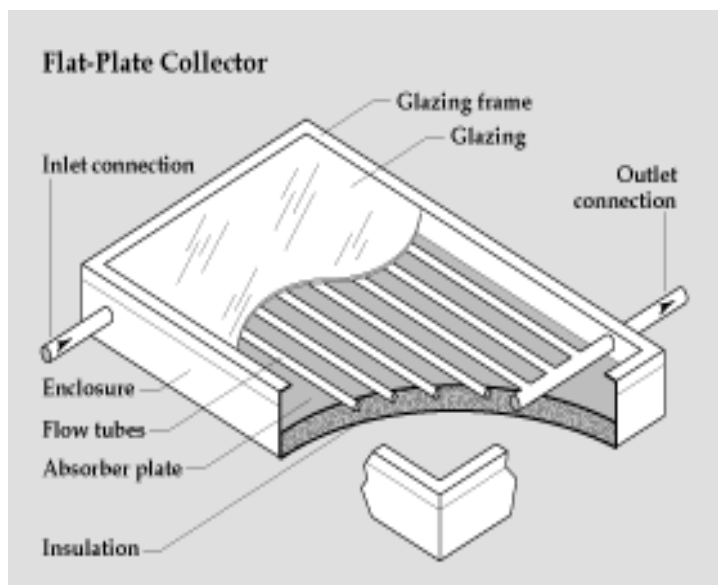
## **10.5. Heta ytor som behöver nedkylning**

Samma princip som för motorer och element gäller också för alla andra heta eller varma ytor som behöver nerkyllning. Till exempel en ficklampa i blank metall blir varmare av lampans värme än en likadan lampa som målats svart. Så med tanke på till exempel den enorma mängd hemelektronik som används i dagens värld finns det alltså stora möjligheter att minska energimängden som behövs för att kyla ner alla apparater. Visserligen fås kanske bara en liten effekt om man tänker på en enskild dator, men om det sedan plussas på med alla andra datorer och TV-apparater och DVD-spelare och så vidare som finns i världen kommer man snabbt upp i betydande energimängder. Som nämndes tidigare kan effekten för en kylfläns förbättras bara genom att den målas svart.

## **10.6. Solfångare**

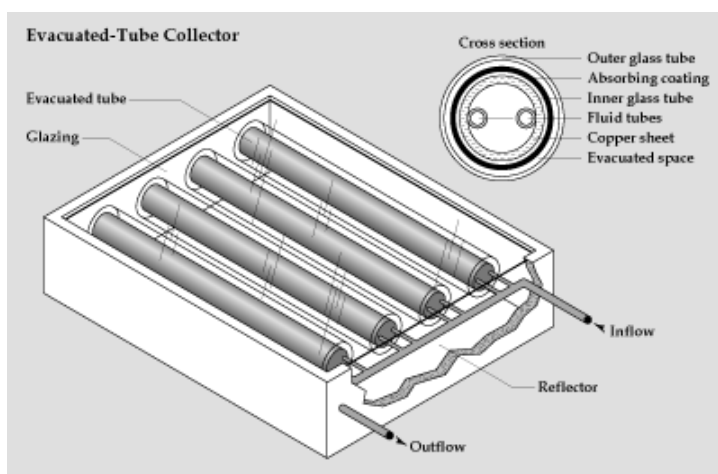
Solenergi kan användas för att producera elektrisk energi. Men solen kan också utnyttjas för att producera varmvatten för uppvärmning och användning. Solfångare absorberar värmestrålningen från solen och använder den till att värma vatten som cirkulerar i husets värmesystem. När solfångare installeras i anslutning till husets existerande värmesystem är det möjligt att med solens hjälp minska energin som används av husets varmvattenberedare.

Det finns två olika sorter av absorberande solfångare. De platta solfångarna är platta paneler som består av en absorberande skiva som värms upp av solen. (Figur 19). På den absorberande skivan finns ett rörsystem med cirkulerande vatten eller annan vätska som värms upp av den absorberade solstrålningen. Systemet täcks av en genomskinlig skiva för att hindra värmen från att sprida sig till omgivningen. Panelens baksida är också isolerad. Det cirkulerande vattnet kan sen antingen direkt eller via en värmeväxlare användas för uppvärmning och varmvatten. (28). De platta solfångarna är enkla system som till och med kan tillverkas hemma i garaget.



Figur 19. En platt absorberande solfångare. (27)

Den andra typen har det absorberande materialet inkapslat i ett rör med vakuum för att minska värmeförluster till omgivningen. (Figur 20). Den cirkulerande vätskan i röret hålls isolerad och värmen leds till resten av systemet via en värmeväxlare i rörets övre del. Också dessa solfångare täcks av en skyddande genomskinlig skiva. Solfångare med vakuumrör tar tillvara en större del av den absorberade energin än de platta solfångarna, men deras effekt per installerad yta är mindre. Dessutom är de mer komplicerade att tillverka och underhålla. Men möjligheterna att få en större effekt är bättre med vakuumrören, och när det gäller system som behöver vatten av högre temperatur har vakuumrören en klar fördel. (28)



Figur 20. En absorberande solfångare med vakuumrör. (27)

Det absorberande materialet i båda typerna är oftast aluminium eller koppar eftersom materialet behöver en bra värmeledningsförmåga. Men eftersom metaller är dåliga på att absorbera energi måste de ytbeläggas för att öka absorptiviteten. För att få den bästa effekten kan metallen beläggas med ett selektivt material som absorberar solvärmens våglängder, men sen inte emitterar infraröd strålning. Det absorberande materialet kan då inte göra sig av med den absorberade värmen igen i form av strålning, utan en större del av energin går till att värma vattnet. I fallet med vakuumrören tas en mycket stor del av energin till vara eftersom vakuumet i rören isolerar mot konduktion och konvektion, och det selektiva materialet vill inte heller avge värmestrålning. Om vanlig färg används istället kommer energin visserligen att absorberas, men temperaturen stiger aldrig lika högt eftersom energin försvinner i form av strålning. Om solen går i moln kommer temperaturen genast att sjunka när energi inte tillförs men ytan fortfarande emitterar värme. Med selektiva material som hindrar värmeförluster genom värmestrålning kan temperaturen i systemet bli högre, och effekten hålls jämnare även om det tillfälligt blir mulet.

De bästa selektiva materialen är inte de som enkelt kan målas på ytan. För att få en yta med bättre selektiva egenskaper måste ytan beläggas med galvaniska processer. Beläggningar som används är bland annat svart krom, svart nickel, och aluminiumoxid med nickel. Mer om de olika materialen finns i kapitel 8.4.

## **11. DISKUSSION**

Det finns alltså redan material på marknaden som i många fall gör det möjligt att spara energi genom att kontrollera värmestrålningen. Det finns material som kan reflektera strålning för att förhindra att energi absorberas av material man vill hålla svala, och det finns material som kan underlätta avkyllning genom att öka mängden värmestrålning som emitteras. Många av materialen kan enkelt användas i många olika situationer och den sammanlagda effekten kunde sparas stora mängder energi. Men ändå används materialen inte i så stor utsträckning.

En orsak är den bristande kunskapen och förståelsen för hur värmestrålningen fungerar, och vilken inverkan strålningen har på den totala värmeöverföringen. Konduktionen är lätt att förstå för den kan enkelt kännas av i praktiken varje gång man dricker en kopp

kaffe och märker att också skedens ände blir varm. Konvektionens möjligheter för nedkylning förstår man varje gång man noterar att det känns kallare när vinden blåser. Effekterna av värmestrålningen kan visserligen också kännas av i närheten av en yta av hög temperatur som till exempel en brasa eller en spisplatta. Men när alla ytor runt omkring är av rumstemperatur kan man inte känna av om det finns värmestrålning eller inte. Det är också allmänt känt att det behövs en temperaturskillnad för att värme ska flyttas via konduktion och konvektion. Samma slutsats antas då gälla också för strålningen, men faktum är att alla ytor över den absoluta nollpunkten emitterar energi i form av strålning. Det betyder att det hela tiden sker energiflyttningar mellan alla ytor runt omkring oss genom att de sänder ut och tar emot värmestrålning. Till och med ute en kall vinterdag när ingen skulle ha en tanke på värmestrålning. Professor Björk som kritiserade Thermogaias reflekterande färg (31) skrev i sin artikel att värmestrålningen knappast kan ha någon betydelse för de små temperaturskillnader som finns mellan väggarna i ett rum. Av det uttalandet får man lätt uppfattningen att han tror att värmestrålning enbart sker mellan ytor av olika temperatur. Men faktum är att väggarna i rummet alla sänder ut strålning oberoende av de andra ytornas temperatur. Om en del av strålningen då reflekteras tillbaka in till rummet istället för att absorberas av väggen kommer en större del av energin att hållas kvar inne i rummet. Rummet kommer då att kännas varmare samtidigt som mindre energi läcker ut genom väggen. Men om inte ens forskare har helt klart för sig hur det här med strålning egentligen fungerar är det inte så konstigt att allmänheten inte heller förstår vilken inverkan strålningen kan ha.

När det gäller materials egenskaper att flytta värme är det också lättare att förstå konduktion och konvektion. Skillnaderna i materials värmeledningsförmåga används i många vardagliga situationer. Många känner också till att vätskor kyler bättre än luft, och att den kylande effekten ökar när flödes hastigheten ökar. När man sitter vid en brasa känner man visserligen bra av värmestrålningen som kommer från det brinnande materialet. Om någonting kommer mellan brasan och huden märks det genast att strålningen stoppas. Men det är inte möjligt att notera någon skillnad på om det är ett reflekterande eller emitterande material som kommer emellan, utan man märker bara att strålningen stoppas oberoende av materialets egenskaper. Då är det också lätt att dra den felaktiga slutsatsen att alla material hindrar värmestrålning. Då finns det ju ingen orsak att fundera på värmereflekterande isolering, för man tror att strålningen stoppas ju redan



av väggen. Visserligen stämmer det att strålningen inte kan ta sig rakt igenom tjocka ogenomskinliga material. Men skillnaden är att reflekterande material kommer att reflektera strålningen medan absorberande material absorberar energin och värms upp. Värmen leds sen i olika takt igenom materialet och strålar ut igen från materialets andra sida. Skillnaden är då att det reflekterande materialet kommer att absorbera mindre mängd energi och därmed hålla en lägre temperatur, vilket betyder att mindre energi avges som strålning. En större del av energin hålls då kvar på den sida av väggen där man vill ha den. Reflekterande isolering inne i väggen behöver däremot en luftspalt för att fungera. Om materialet ligger tätt mot de andra materialen i väggen kommer värmen att ledas igenom istället för att reflekteras. Den bästa effekten fås om värmen reflekteras redan på ytan så att energin aldrig tar sig in i väggen.

Jag har också gjort en liten undersökning genom att diskutera värmestrålning och ytors egenskaper med vänner och bekanta. Alla går utan problem med på att en svart yta i solen blir varmare än en vit. Det är en observation som lätt kan göras av vem som helst, och de flesta går i ljusa kläder på sommaren eftersom man bara vet att det är svalare. Men andra effekter av strålningen som avkylning och reflektion har de flesta svårare att förstå. Värmestrålningens betydelse för uppvärmning och isolering tvivlar de flesta på. Att packa in sitt hus med perforerad aluminiumfilm under brädfodringen för att isolera mot värmestrålningen från solen tas som ett skämt.

Eftersom många inte förstår hur värmestrålningen fungerar är det inte heller så underligt att man inte vill lägga energi och resurser på att använda material som man inte förstår nyttan med. Materialens egenskaper är ofta speciellt utvecklade vilket gör att de också är dyrare än de traditionella alternativen. Så varför skulle någon betala mer för något man inte tror har någon betydelse? Och materialen kommer inte att bli billigare innan efterfrågan ökar. Materialens marknadsföring låter dessutom ofta överdriven och påhittad, vilket ytterligare minskar materialens trovärdighet. Första steget är alltså att på något sätt få ut information om hur strålningen fungerar till allmänheten på ett trovärdigt sätt. Att tillverkare skryter om sina egna material är inte trovärdigt, utan det behövs utomstående undersökningar som visar nyttan med materialen utan att överdriva. När flera börjar förstå att man verkligen kan få billigare elräkningar kommer också materialens efterfrågan att öka, och materialen kan då också börja bli billigare.

Ett viktigt steg är att se till att industrin blir mer medveten om problemet. Om man redan lyckas få industrin att förstå värmestrålningen och ta den i beaktande vid produktutvecklingen kommer produkter med strålningshanterande egenskaper att börja användas utan att en enskild konsument behöver veta om det. Ett exempel är värmereflektorn i värmeelementen. Om tillverkare börjar använda reflekterande material kommer andelen reflekterande element att öka utan att enskilda konsumenter behöver övertygas att installera aluminiumfilmer bakom sina element. Med tanke på hur många elektriska värmeelement det finns i världen kunde det sparas stora mängder energi även om effekten från ett enskilt element kan vara liten. På samma sätt kunde det till exempel börja läggas till ett reflekterande lager på vindskyddsskivor som används till husväggar. Värmeflödet genom väggen kunde då minskas utan att husbyggaren behöver fundera på att särskilt installera ett värmereflekterande material. Samma gäller också för ytor som behöver nedkylning, reflekterande färg på bilar och tak och så vidare.

En effektiv möjlighet att få ut informationen till industrin är att nyutexaminerade studenter tar informationen med sig ut i arbetslivet. Det här arbetet är bara en början med grundläggande information om några exempel på situationer där man kan spara energi bara genom att ändra en ytas elektromagnetiska egenskaper med hjälp av tunna ytbeläggningar. Arbetet innehåller dessutom många förslag för vidare forskning. Nu kunde andra studeranden utveckla det vidare genom att utföra noggrannare praktiska undersökningar för att ta reda på hur mycket energi man kan spara med de olika materialen i olika situationer, och komma med nya förslag för att föra arbetet framåt. Kunskapen om värmestrålningen kommer då via studeranden att spridas till många olika arbetsplatser som förhoppningsvis ser potentialen med att kontrollera värmestrålningen. Eftersom Arcada också har internationella studenter kunde informationen spridas också till andra delar av världen med olika klimat som alla kan dra sin egen nytta av kunskapen.

I dagens värld satsas det mycket på att hitta förnyelsebara energikällor för att det ökande energibehovet inte ska förstöra vår värld. Men problemet är att få ut tillräckligt mycket energi för att täcka energibehovet. Om man då kunde minska världens energibehov bara genom att ta värmestrålningen i beaktande, kunde man samtidigt också minska de skadliga koldioxidutsläppen och den globala uppvärmningen.

## KÄLLFÖRTECKNING

1. 3M. *Prestige Brochure*. Tillgänglig:  
[http://multimedia.3m.com/mws/mediawebsserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUN8\\_GM8mGev7qe17zHvTSevTSevTSeSSSSSS--&fn=Prestige\\_Brochure.pdf](http://multimedia.3m.com/mws/mediawebsserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUN8_GM8mGev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS--&fn=Prestige_Brochure.pdf) Hämtad: 20.2.2012
2. 3M. *Scotchtint Brochure*. Tillgänglig:  
[http://multimedia.3m.com/mws/mediawebsserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUN8\\_GmxmZev7qe17zHvTSevTSevTSeSSSSSS--&fn=Scotchtint\\_Brochure.pdf](http://multimedia.3m.com/mws/mediawebsserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUN8_GmxmZev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS--&fn=Scotchtint_Brochure.pdf) Hämtad: 20.2.2012
3. 3M. *Sun Control Window Films – Neutral 20*. Tillgänglig:  
[http://media.3m.com/mws/mediawebsserver?mwsId=55555RrWg9CPIUQqkUcZ\\_IUQSBSrNB9rWdSp5BSp5B555555--](http://media.3m.com/mws/mediawebsserver?mwsId=55555RrWg9CPIUQqkUcZ_IUQSBSrNB9rWdSp5BSp5B555555--) Hämtad: 20.2.2012
4. 3M. *Sun Control Window Films – Neutral 70*. Tillgänglig:  
[http://multimedia.3m.com/mws/mediawebsserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUO8\\_2UPY\\_1ev7qe17zHvTSevTSevTSeSSSSSS--&fn=Neutral%2070%20Sample%20Card.pdf](http://multimedia.3m.com/mws/mediawebsserver?mwsId=SSSSSu7zK1fslxtUO8_2UPY_1ev7qe17zHvTSevTSeSSSSSS--&fn=Neutral%2070%20Sample%20Card.pdf) Hämtad: 20.2.2012
5. 3M. *Window tint that looks hot, and feels cool*. Tillgänglig:  
[http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_US/Window\\_Film/Solutions/Markets-Products/Automotive/](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Window_Film/Solutions/Markets-Products/Automotive/) Hämtad: 20.2.2012
6. 9-4fordham. *Electro Magnetic Spectrum and Light*. Tillgänglig: <http://9-4fordham.wikispaces.com/Electro+Magnetic+Spectrum+and+light> Hämtad: 22.2.2012
7. Agudelo, Andrés; Cortés, Cristóbal. 2009, Thermal Radiation and the Second Law, *Energy*, nr. 35.2010, s. 679–691.
8. Akbari, Hashem; Levinson, Ronnen; Miller, William; Berdahl, Paul. 2005, *Cool Colored Roofs to Save Energy and Improve Air Quality*, Heat Island Group, Lawrence Berkeley National Laboratory. Tillgänglig:  
<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/860746-D3V0Ei/860746.pdf> Hämtad: 10.3.2012
9. Beck, S.M.B; Grinsted, S.C; Blakey, S.G; Worden, K. 2003, A Novel Design for Panel Radiators, *Applied Thermal Engineering*, nr. 24.2004, s. 1291-1300.
10. Clausing, L. Terry. 2007, *Emissivity: Understanding the Difference Between Apparent and Actual Infrared Temperatures*, Fluke Education Partnership Program, Fluke Corporation.

11. Custom-Built Metals. *The Energy-Efficient Cool Roof*. Tillgänglig: <http://www.custombiltmetals.com/cool-roof.php> Hämtad: 25.3.2012
12. Dampney Protective Coatings. *Solar Selective Coating brochure*. Tillgänglig: <http://www.dampney.com/Upload/Products/Products28.pdf> Hämtad: 20.3.2012
13. Dampney Protective Coatings. *Solar Selective Coating, Solar Paint*. Tillgänglig: <http://www.dampney.com/Products/Products.asp?ProductID=28> Hämtad: 20.3.2012
14. Dibrindisi, Bob. 2009, What Are the Benefits of “Insulating” Paint?, *Scientific American*, 15.7.2009. Tillgänglig: <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=benefits-of-insulating-paint> Hämtad: 1.3.2012
15. Energy Solutions Database. Tillgänglig: <http://energyexperts.org/EnergySolutionsDatabaseResourceDetail.aspx?id=4757> Hämtad: 1.3.2012
16. Gila broschyr. Tillgänglig: <http://www.motoral.fi/files/documents/25-60/Auringonsuojaus.pdf> Hämtad: 20.2.2012
17. Hao, Lei; Du, Miao; Liu, XiaoPeng; Wang, ShuMao; Jiang, LiJun; Lü, Fang; Li, ZhiNian; Mi, Jing. 2010, Thermal Stability of Nitride Solar Selective Absorbing Coatings Used in High Temperature Parabolic Trough Current, *Science China Technological Sciences*, juni 2010, nr 6, s. 1507-1512
18. Heynderickx, Geraldine; Nozawa, Masatsugu. 2004, High-emissivity coatings on reactor tubes and furnace walls in steam cracking furnaces, *Chemical Engineering Science*, november-december 2004, s. 5657-5662.
19. Incropera, F.P; Dewitt, D.P; Bergman, T.L; Lavine, A.S. 2006, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, sjätte upplagan, John Wiley & Sons.
20. Infrared Services Inc. *Emissivity Values for Common Materials*. Tillgänglig: <http://www.infrared-thermography.com/material-1.htm> Hämtad: 20.2.2012
21. Innovative Insulation Inc. Tillgänglig: <http://www.radiantbarrier.com/physics-of-foil.htm> Hämtad: 20.3.2012
22. Kothandaraman, C.P. 2006, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, New Age International, Daryaganj, Delhi, India.
23. Löfdahl, Olle. 2011, *Svar på Professor Folke Björks artiklar om Termoskydd*. Tillgänglig: <http://www.thermogaia.se/assets/responsetoprofessorbjork111002.pdf> Hämtad: 20.3.2012
24. NASA. 2003, *Home Insulation with the Stroke of a Brush*, Spinoff 2003. Tillgänglig: [http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20030099691\\_2003114632.pdf](http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20030099691_2003114632.pdf) Hämtad: 1.3.2012

25. OptoTherm. *Methods of Increasing Emissivity*. Tillgänglig: <http://www.optotherm.com/emiss-increasing.htm> Hämtad: 10.3.2012
26. Radfleks hemsida. Tillgänglig: <http://www.radflek.com/> Hämtad: 26.3.2012
27. Solar Power Information. *Solar Collector*. Tillgänglig: <http://www.solarpower2day.net/solar-collector/> Hämtad: 20.3.2012
28. Solar Server. *Solar Collectors: Different Types and Fields of Application*. Tillgänglig: <http://www.solarserver.com/knowledge/basic-knowledge/solar-collectors.html> Hämtad: 20.3.2012
29. Stern, Adam. 2009, More Ways to Cut Car Emissions: Reflective Glass And Paint, *The TerraPass Footprint*, 14.4.2009. Tillgänglig: <http://www.terrapass.com/science-technology/more-ways-to-cut-car-emissions-reflective-glass-and-paint/> Hämtad: 19.3.2012
30. Takeuchi, Seiji. 2010, Spectral Emissivity Using FTIR Spectrophotometry, *FTIR Talk Letter*, vol. 13, april 2010. Tillgänglig: <http://www2.shimadzu.com/applications/FTIR/C103-E081.pdf> Hämtad: 15.3.2012
31. Thermogaia hemsida. Tillgänglig: <http://www.thermogaia.se/index.cmsx> Hämtad: 20.2.2012
32. Tokai Rubber Industries Ltd. *Refle-shine broschyr*. Tillgänglig: [http://www.tokai.co.jp/english/catalog/pdf/5\\_TX71.pdf](http://www.tokai.co.jp/english/catalog/pdf/5_TX71.pdf) Hämtad: 20.2.2012
33. Virtanen, Pekka. 2005, Ford esittelee tekniikka, *Tuulilasi*, 30.11.2005. Tillgänglig: <http://www.tuulilasi.fi/artikkelit/ford-esittelee-tekniikkaa> Hämtad: 31.3.2012
34. Volvo XC60 Review. Tillgänglig: <http://www.privatefleet.com.au/volvo/volvo-xc60-review/> Hämtad: 31.3.2012
35. WiseGEEK. *What is Reflective Paint?*. Tillgänglig: <http://www.wisegeek.com/what-is-reflective-paint.htm> Hämtad: 10.3.2012
36. Wood, Colum. 2009, SEMA Preview: Ford Explores Three Sides of Fusion With Custom Hybrid, Sport and 4-Cylinder Models, *Auto Guide*, 27.10.2009. Tillgänglig: <http://www.autoguide.com/auto-news/2009/10/sema-preview-ford-explores-three-sides-of-fusion-with-custom-hybrid-sport-and-4-cylinder-models.html> Hämtad: 31.3.2012