

Varme og kolde farver

Af Peter Svane

Overflader opvarmes af solen, men temperaturen afhænger ikke kun af absorption og refleksion i den synlige del af spektret. Det nære infrarøde område er lige så afgørende. Desuden spiller varmeafgivelsen i den langbølgede del af IR-spektret en rolle, samt overfladens emissivitet. Uanset om man ønsker at overflader skal opvarmes så meget som muligt eller om man vil prøve at holde temperaturen nede, er det nyttigt med en vis forståelse af de forhold der bestemmer ind- og udstråling i en bredere del af spektret end blot det synlige lys

Farver

"Farve" eller "kulør" er et indtryk i den (menneskelige) hjerne. Når øjet opfanger lys, oversætter hjernen det til rødt, grønt osv. Hos normale mennesker handler det om den del af det elektromagnetiske spektrum som ligger mellem ca. 400 og 700 nanometer (nm) – det der kaldes *synligt lys*.

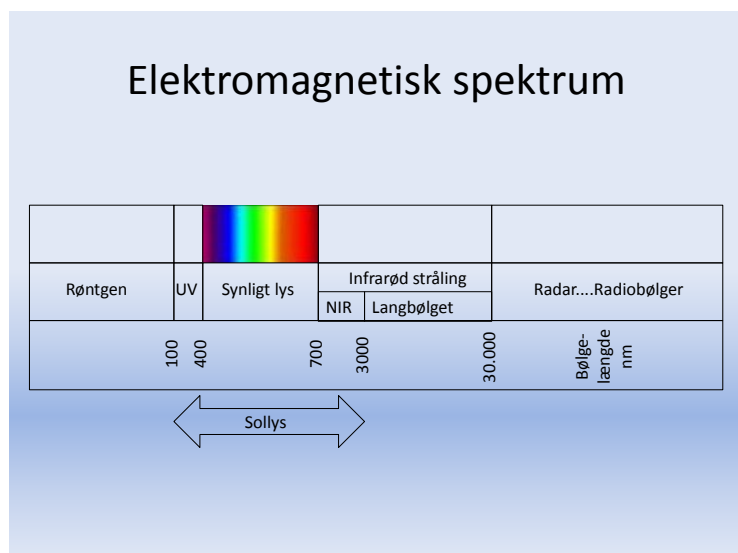


Fig. 1) Forenklet oversigt over spektrets forskellige områder. Det synlige lys udgør en forsvindende lille del af hele spektret; i figuren er dets udstrækning overdrevet. Grænserne mellem de forskellige bånd kan diskuteres; nogle kilder anfører f.eks. at det infrarøde område strækker sig helt til 1.000.000 nm (1 mm)

En rød farve opfattes som rød, fordi overfladen *absorberer* de andre bølgelængder i det synlige område, altså blå, grøn og gul. Omvendt *reflekteres* de røde bølgelængder.

Det synsmæssige indtryk af den røde farve fortæller imidlertid intet om hvad der sker i den øvrige del af spektret – om overfladen absorberer eller reflekterer f.eks. ultraviolet "lys" og infrarød stråling; det kan ikke ses – men det kan måles.

Sollys

Solens stråler bliver filtreret når de passerer gennem atmosfæren (heldigvis, for det fjerner de mest aggressive stråler). Af den stråling der når jordens overflade er kun lidt under halvdelen synligt lys. UV-andelen fylder 5 %, men netop denne kortbølgede stråling har stor indflydelse på materialers nedbrydning, og på solbrændthed osv. Den spiller imidlertid kun en beskedne rolle for opvarmning af overflader – her er det det synlige lys og den infrarøde stråling der tæller.

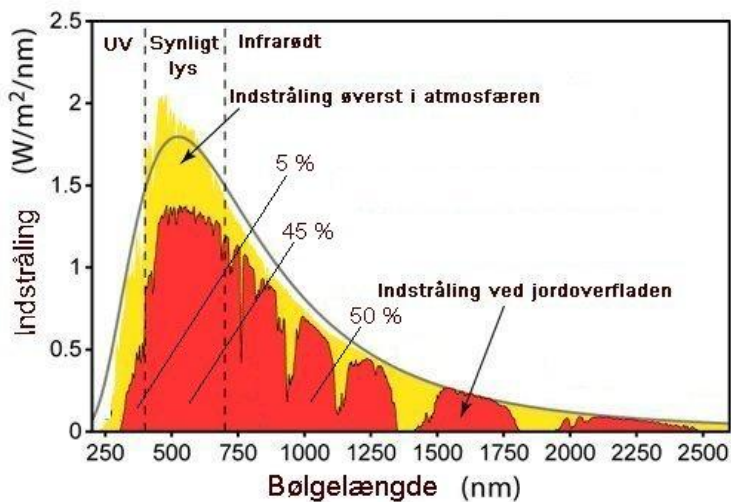


Fig. 2) Sollysets spektrale sammensætning før og efter passage gennem atmosfæren (med inspiration fra ASTM G-173-03). 5 % af energiindholdet (ved jordoverfladen) ligger i det ultraviolette område, 45 % er synligt lys, og 50 % findes i det nære infrarøde (NIR) spektrum

Opvarmning

Når solen skinner på et rødt tegltag bliver det opvarmet fordi overfladen absorberer en del af det indstrålede spektrum. Et rødt tag absorberer blåt, grønt og gult lys – men ikke rødt. Jf. fig. 3 kan man skønne at tagfladen i hvert fald absorberer ca. 30 % af den indstrålede energi fra sollyset.

Men hvad så med resten af spektret? - Det ved vi ikke. Måske taget også absorberer i det infrarøde område og i den ultraviolette region. Det eneste der er sikkert, er at det ikke absorberer de ca. 15 % rødt lys, for de bliver reflekteret. Tagfladen absorberer altså mindst 30 % og højst 85 % af den indstrålede energi. Det er oplagt at der vil være stor forskel på opvarmningen i de to yderpunkter.

En sort flade vil absorbere alt synligt lys, altså minimum 45 % af den indstrålede energi. At fladen er sort betyder imidlertid ikke at den absorberer i de ikke-synlige områder. Måske den gør, måske ikke. Absorptionen vil altså mindst være 45 % og kan gå helt op til 100 %. Også her er der stor forskel mellem yderpunkterne.

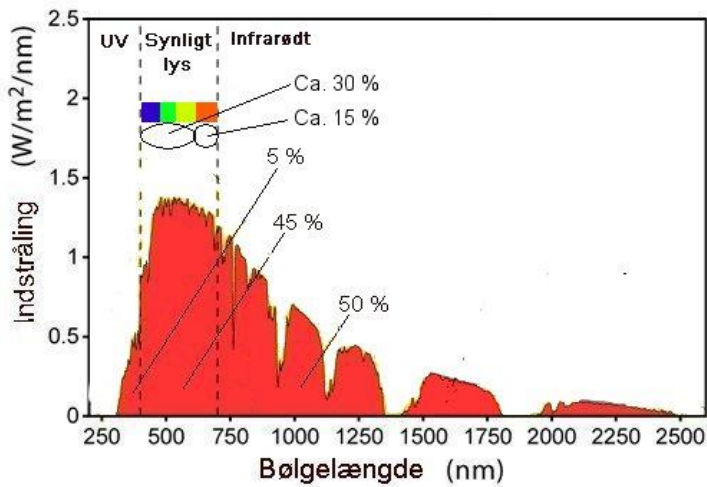


Fig. 3) Indstråling ved jordoverfladen. En rød flade absorberer blåt, grønt og gult lys. Det svarer til ca. 30 % af den indstrålede energi. Fladen absorberer ikke rødt lys (ca. 15 %). Men det kræver målinger at afsløre hvor meget overfladen absorberer af den ikke-synlige stråling (UV og NIR som tilsammen udgør 55 % af spektrets energi)

Endelig vil en hvid overflade reflektere alt det synlige lys – men ikke nødvendigvis stråling i de ikke-synlige områder. Absorptionen vil således kunne være alt fra 0 til 55 %. De tre eksempler er vist i fig. 4.

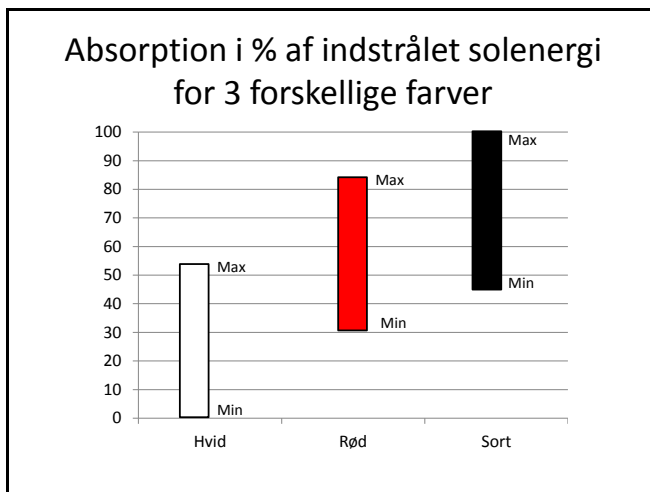


Fig. 4) Ud fra en gennemsnitlig betragtning ser det ud til at mørkere kulører absorberer mere energi fra sollyset end lysere farver. Det passer imidlertid ikke nødvendigvis i enkelttilfælde; det afhænger nemlig af fladernes absorption af ikke-synligt lys. Jf. diagrammet kan man således forestille sig en hvid flade med 55 % absorption og en sort der kun absorberer 45 %. I det tilfælde vil den hvide flade blive varmere end den sorte når solen skinner.

Afkøling

Det røde tegltag bliver varmt når solen skinner; taget optager energi. Men temperaturen bliver ikke ved med at stige, for tagstenene afgiver også deres energi igen. Når der er ligevægt – dvs. når der går lige så meget energi ud af stenene som de optager - standser temperaturstigningen. Forholdene er illustreret i fig. 5.

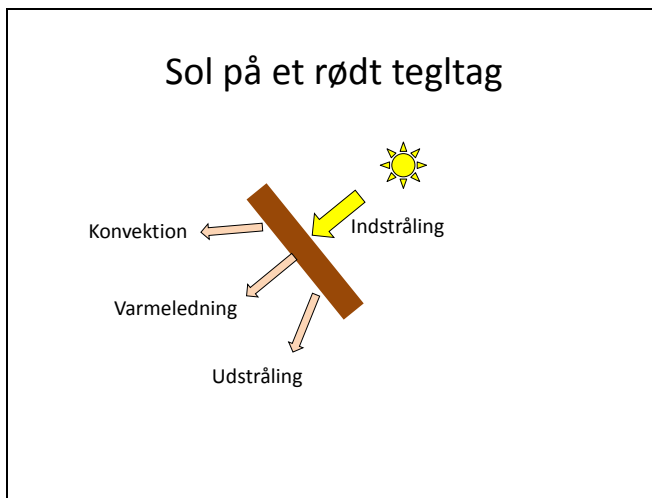


Fig. 5) Solen opvarmer taget til en temperatur hvor den indstrålede energi er i balance med varmeafgivelsen. Noget energi fjernes ved konvektion til luften, andet ledes bort til omgivelserne (tagkonstruktionen) og den sidste del stråler ud som langbølget IR

Konvektion og varmeledning afhænger af lokale forhold, herunder konstruktionens udformning; her vil vi alene betragte den del af varmen der afgives som stråling.

Et hvilket som helst legeme der er varmere end omgivelserne afgiver varme ved stråling. Det gælder helt ned til det absolutte nulpunkt dvs. -273 °C eller 0 K (grader Kelvin).

Strålingsenergien afhænger kraftigt af temperaturen – udstrålingen stiger med fjerde potens af temperaturen (T) målt i K – den er altså proportional med T^4 (Stefan-Boltzmanns lov).

Strålingens bølgelængde er omvendt proportional med temperaturen (Wien's forskydningslov): Jo varmere overflade, jo kortere bølgelængde.

Forholdene om udstrålingens (emissionens) energi og bølgelængder er vist i fig. 6. Det fremgår at

- udstrålingen foregår over et bredt udsnit af spektret – ikke som én skarpt afskåret bølgelængde; kurverne er brede og bløde
- sollysets energi topper i det synlige spektrum (ved ca. 600 nm), mens kurven for "stuetemperatur", dvs. ca. 25 °C , har sit maximum helt oppe på ca. 10.000 nm – altså i det infrarøde, nærmere bestemt i det langbølgede infrarøde område

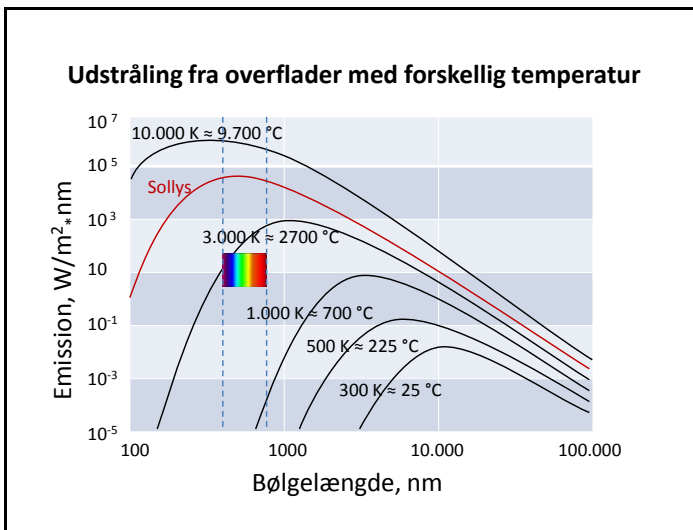


Fig. 6) Energi og bølgelængde af udstråling fra overflader, afhængig af temperaturen. Sollyses temperatur ligger omkring 6.000 K (med inspiration fra Wikimedia commons user Sch.)

Den røde teglsten i fig. 5 modtager altså solenergi fra bølgelængder med et maximum på 600 nm (100-3000 nm); stenen bliver opvarmet til måske 40 °C, og afgiver så strålingsenergi med bølgelængder fordelt omkring et maximum på ca. 10.000 nm (3.000- 200.000 nm).

Emissivitet

Udstråling fra overflader afhænger altså af temperaturen, men derudover af overfladens *emissivitet*. Denne størrelse er et udtryk for hvor effektiv udstrålingen er i de forskellige dele af spektret. Hvis udstrålingen er 100 % i et bestemt bølgelængdeafsnit er emissiviteten 1,0^(a). De fleste overflader har emissivitet meget tæt på 1 (ca. 0,95) i det langbølgede IR-område; dvs. at de let afgiver varme ved temperaturer mellem 25 og 100 °C – det gælder også malede flader, uanset bindemiddel og kulør. En sort overflade afgiver således varmen lige så ubesværet som en hvid.

Den mest bemærkelsesværdige undtagelse er metallisk blanke overflader. De har lav emissivitet (~ 0,3), og afgiver derfor varme meget langsommere end stort set alle andre flader. De optager forresten også varmen langsommere, for absorptionen – selv i sollysets område – er også lav. Et blankt, metalskinnende bliktag er altså længe om at blive varmt, men det tager også tid inden det køler af igen. Fænomenet udnyttes f.eks. i thermoflasker med sølvskindende belægning på glasindsatsen.

"Metallicfarver" – altså malinger der er peppet op med metallisk skinnende, skælformede pigmenter – vil formentlig opføre sig som en hybrid mellem almindelig maling og blanke metaloverflader med emissivitet et sted mellem 0,3 og 0,95.

^a Hvis emissiviteten er 1 i hele spektret kalder man den pågældende overflade for "et absolut sort legeme"

Varmereflekterende malinger

Malede overflader absorberer (og reflekterer) sollys som tidligere beskrevet. En grøn farve må nødvendigvis absorbere de røde, gule og blå andele af det synlige lys. Det absorberede lys tilfører energi som opvarmer overfladen. Hvis man ønsker at holde temperaturen så lav som muligt må man se på den øvrige del af solspektret, altså først og fremmest på NIR-andelen. Her gælder det om at finde pigmenter der reflekterer så godt som muligt i det nære infrarøde område; husk på at ca. halvdelen af sollysets energi ligger i den usynlige NIR-stråling. Se fig. 7.

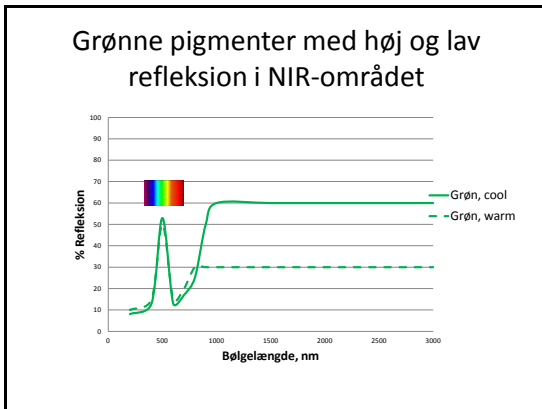


Fig. 7) Konstrueret eksempel på to grønne pigmenter hvor det ene ("cool") reflekterer rimeligt i NIR-området, mens det andet ("warm") absorberer NIR-stråling. Det sidstnævnte vil optage mere energi og derfor blive opvarmet mere end det første.

Der er inspiration at hente i naturen, for det viser sig at farven i grønne blade netop har temmelig stor NIR-refleksion. Se fig 8 hvor refleksionsspektret for bladgrønt er sammenholdt med det hvideste hvide vi kender: titandioxid TiO_2 .

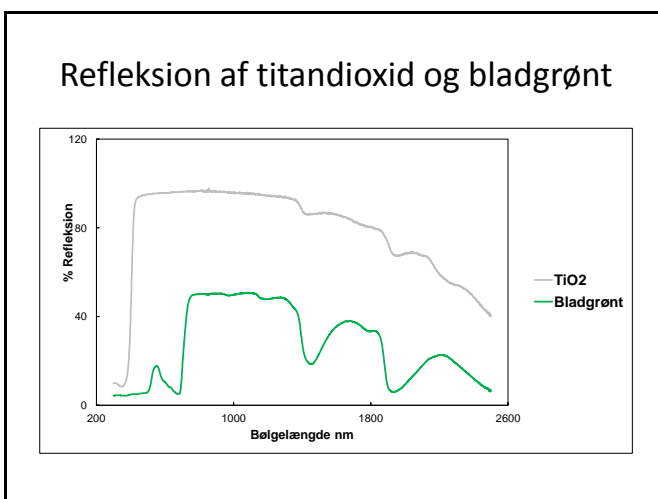


Fig. 8) Titandioxid reflekterer godt både i det synlige område og i NIR. Bladgrønt reflekterer naturligvis grønt lys, men er også ganske effektivt i NIR-området¹

I en nyligt publiceret undersøgelse fra ILF i Magdeburg (Institut für Lacke und Farben) har Neumann et al. forsøgt sig med alternativ pigmentering af en 2-k polyurethanmaling i kuløren RAL 3031 ("Orientrød") – netop for at reducere opvarmningen i sollys. Ét af resultaterne fremgår af fig. 9.

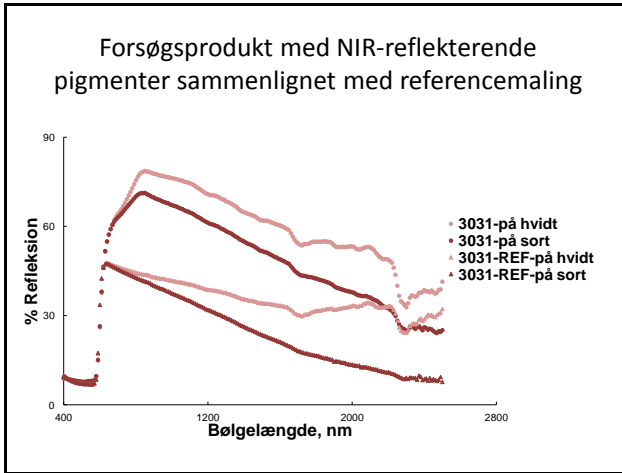


Fig. 9) Malingerne (RAL 3031 – "Orientrød") er påført på hhv. hvidt og sort underlag. Det viser sig for det første at der er forskel på forsøgsmalingen og referenceproduktet - forsøgsmalingen reflekterer bedre i NIR-området. Men: underlaget "skinner i gennem" – altså i NIR-området. Visuelt er farverne ens. Når NIR-refleksionen afhænger af underlagets farve skyldes det sandsynligvis at den langbølgede stråling formår at gennemtrænge malinglaget; det gør de kortere bølger i det synlige område ikke (1).

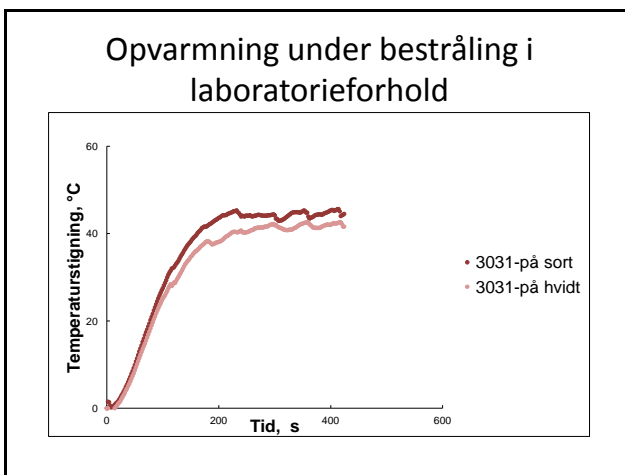


Fig. 10) Opvarmning af én af farverne fra fig. 9 med varmelampe i laboratoriet. Malingen påført på hvidt underlag opvarmes mindre end samme maling på sort baggrund (1)

Neumann et al. (1) kan regne sig frem til temperaturreduktionen ved at måle en størrelse de kalder "TSR" – "Total Solar Reflexion" – et udtryk for den samlede procentiske refleksion i hele solspektret. Jo større TSR-værdi – jo lavere opvarmning.

Det er oplagt at malevarers pigmentering spiller en væsentlig rolle for behandlingernes refleksion og opvarmning. I en anden undersøgelse (²) fra en pigmentleverandør (Heubach) viser L. Frischmann imidlertid at både bindemiddel og fyldstoffer også spiller ind. Én detalje er pigmenternes partikelstørrelse – store partikler reflekterer stråling med lang bølgelængde, små partikler reflekterer mere kortbølget stråling. Frischmanns artikel har titlen "Sort og alligevel kold". Helt kold bliver en sort farve nok aldrig når solen skinner, men lunken kan den nok gøres.

Hvad kan det bruges til

Overfladers temperatur er af interesse, når man beskæftiger sig med energi; bygningers opvarmning og køling til eksempel. Temperaturen er også af betydning for materialers nedbrydning; for plastikkomponenters udvidelse og sammentrækning, og i nogle tilfælde for irreversibel krympning; for træoverfladers termiske og fugtbetingede deformationer – herunder deres tendens til revnedannelser. Endelig er det generelt at de fleste nedbrydningsprocesser fremskyndes af høje temperaturer – en kendsgerning som forresten også gælder maling. Kulørte malinger nedbrydes med forskellig hastighed; det skyldes forskelle i receptur og i PVK (pigmentvolumenkoncentration), men dertil kommer selve opvarmningen som en særskilt faktor.

¹ Med venlig tilladelse fra Neumann, B. og C. Dreyer: Hitze verhindern und sparen. Farbe und Lack 01. 2014 p. 52-57

² Frischmann, L.: Schwarz und trotzdem kalt. Farbe und Lack 08, 2008, p. 30-33