

Varmeudstraalingens Afhængighed af Overfladens Form.

Af

C. Christiansen.

(Meddelt i Mødet den 23de November 1883.)

Leslie har som bekendt undersøgt de vigtigste Omstændigheder, der betinge Udstraalingen fra en Overflade. Derved komme navnlig Overfladens Form og Natur i Betragtning. Han fandt, at Udstraalingen var størst fra en sværtet Flade, medens en metallisk Flade udstraalede omtrent 8 Gange mindre. Han undersøgte Udstraalingen fra samme Flade i forskellige Retninger og fandt, at den forholdt sig som Cosinus af den Vinkel, de udtrædende Straaler dannede med Normalen til Fladen. Endelig fandt han, at en ujævn Flade udstraalede meget mere, ofte dobbelt saa megen, Varme som en plan.

Disse Forsøg udførtes med Terninger af Tin fyldte med Vand. En saadan Terning stilledes i en Afstand af 3 Fod fra et Hulspejl, som opfangede en stor Del af Straalerne og samlede dem i en lille Flade, den udstraalende Terningsides Billede; der blev et Thermometer anbragt, hvis Stigning afgav et Maal for den udstraalede Varmemængde.

Sættes Udstraalingsevnen for en sværtet Flade lig 100, fandt han, at den for blank Tin var 12; blev den gneden med Sandpapir, saaledes, at den dannede en blank, men ujævn Flade, blev Udstraalingen 16. Ved at frembringe dybere regelmæssige Furer i en Afstand af $\frac{1}{30}$ — $\frac{1}{50}$ Tomme steg Udstraalingen til 19

og ved at gjøre Ridserne endnu tættere ved hinanden steg den til 26. Ridses en Flade derimod dybt i to paa hinanden vinkelrette Retninger, bliver Virkningen igjen mindre, og Udstraalingen er da ikke stort større end fra en plan Flade¹⁾.

Medens Overfladens Form er af stor Betydning ved Metallerne, synes den ingen videre Rolle at spille ved Legemer som Glas, Papir eller Kørnøg; disse udstraale efter Leslie lige megen Varme, enten de ere blanke eller matte; men herved maa erindres, at disse Legemers Udstraalingsevne ogsaa er meget stor²⁾.

Nogen Forklaring af disse Forhold giver Leslie ikke; da Udstraalingen forholder sig som Cosinus af Udfaldsvinklen, kan den Omstændighed, at den ridsede Overflade er større end den plane, ikke være af nogen Betydning, thi af denne Lov følger, at Udstraalingen maa rette sig efter Fladens Projektion paa et Plan lodret paa den Retning, i hvilken Udstraalingen foregaar.

Melloni³⁾ optog denne Undersøgelse igjen og fandt de samme Resultater som Leslie. Efter hans Mening er det ikke Ridserne selv, det kommer an paa, men derimod Forandringer i Metallets Tæthed, som frembringes ved at ridse det. Som Bevis derfor anfører han et Forsøg med en Terning af Sølv. To af dens Sider vare udhamrede Sølvplader, den ene var blank, den anden ridset. To andre Sider vare af støbt Sølv, behandlede paa samme Maade. Fyldtes Terningen med varmt Vand og stilledes foran den thermoelektriske Støtte beholdtes følgende Udslag

Den udhamrede blanke Side	10°.
Den udhamrede ridsede Side	18°.
Den støbte og blanke Side	13°7.
Den støbte og ridsede Side	11°3.

Ved at ridse den udstraalende Flade forøges altsaa Udstraalingen for det hamrede Sølv Vedkommende, men formindskes ved

¹⁾ Leslie: Inquiry into the nature and propagation of heat, London 1804. S. 81—85.

²⁾ Sømmesteds, S. 81.

³⁾ Melloni: Comptes Rendus, T. VII, S. 298.

den støbte. Heraf mente Melloni at kunne slutte, at Virkningen maatte hidrøre fra, at man ved at ridse den haarde Sølvplade bragte de dybere Lag for Lyset, og at disse enten vare blødere eller ligesom løsnedes ved at ridses. Ved de støbte Plader maatte altsaa det modsatte finde Sted.

Til væsentlig samme Resultat er ogsaa Knoblauch¹⁾ kommen ved Forsøg med en Terning af Blyplader; men i dette Tilfælde var Forskjellen mellem en glat og en ridset Flade dog meget ringe, som det ses af nedenstaaende Sammenstilling:

Den udvalsede og glatte Side . .	42°.50.
Den udvalsede og ridsede Side .	40°.00.
Den støbte og glatte Side . . .	40°.50.
Den støbte og ridsede Side . . .	40°.00.

Man ser, at Forskjellen er ganske ubetydelig og gaar tilmed i modsat Retning af den, man maatte vente for de udvalsede Pladers Vedkommende, men dette stemmer efter Knoblauchs Mening med Mellonis Iagttagelser, idet han mener, at Blyet maa blive tættere ved at ridses, medens Sølvet derimod bliver blødere. Det ses imidlertid let, at disse Forsøg dog vel snarere maa siges at gjøre den hele Forklaring tvivlsom.

Mere afgjørende Resultater erholdt Knoblauch ved Forsøg med fire Kobberplader, hvis Udstraaling først maalttes, Resultaterne ere angivne under *a*, og derefter bleve alle fire galvanisk forkobrede, hvorved de under *b* anførte Resultater erholdtes:

	<i>a</i>	<i>b</i>
En glat Kobberplade . . .	29°.00	49°.25.
Pladen ridset paa langs .	40°.00	50°.25.
Pladen ridset kredsformigt	42°.50	50°.87.
Pladen ridset paa kryds .	47°.75	51°.50.

Idet alle Pladerne ved at overtrækkes med Kobber have faaet ensartede Overflader, er altsaa Udstraalingen paa det nærmeste

¹⁾ Knoblauch: Pogg. Ann., Bd. 70, S. 337, 1847.

bleven den samme for dem alle. Dette synes i høj Grad at tale for, at Overfladens Form kun er af ringe Betydning ved Udstraalingen, men at det væsentlig kommer an paa dens Natur, her fornemmelig dens Haardhed. Dog indrømmer Knoblauch, at man ingenlunde er berettiget til at mene, at det skulde være denne sidste, det alene skulde komme an paa.

Endelig har ogsaa Magnus¹⁾ undersøgt Udstraalingens Afhængighed af Overfladens Tilstand. Han fandt, at en Platinplade udstraler lige megen Varme, enten den er udvalset, altsaa haard, eller udglødet, altsaa blød. En anden Platinplade blev trukken mellem Valsler, af hvilke den ene var glat, den anden fint graveret; Udstraalingen fra begge Sider var den samme. Blev en udglødet Platinplade derimod ridset med fint Smergel-papir steg Udstraalingen til det dobbelte. Ved at overtrække en Platinplade med et tyndt Lag af Platinsvamp steg Udstraalingen derimod til det syvdobbelte.

Magnus mener at kunne forklare den ved Ujævnhederne i Overfladen frembragte forøgede Udstraaling ved at antage, at Varmen udgaar fra Punkter inde i Metallet og brydes i Overfladen; det er da let at se, at nogle Straaler blive tilbagekastede og Udstraalingen derved formindsket, men denne Tilbagekastning vil være afhængig af Overfladens Form. Efter hans Mening er det navnlig smaa Ujævnheder, der forøge Udstraalingen, medens større Ujævnheder ikke skulle have synderlig Indflydelse.

Man kunde søge Aarsagen til den større Udstraaling fra ujævne Flader i den Omstændighed, at Cosinusloven ikke er almengyldig, ja i mange Tilfælde ikke engang kan siges at være tilnærmelsesvis rigtig. Den Varmemængde, som udstraales fra en Flade S i en Retning, der danner en Vinkel i med Fladens Normal, kan sættes lig $SE \cos i$, men det er ingenlunde givet, at E er uafhængig af i . Forsøg af Provostaye og Desains²⁾ have vist, at E virkelig er Konstant for en Flade, som er

¹⁾ Magnus: Pogg. Ann., Bd. 140, S. 337, 1870.

²⁾ Provostaye og Desains: Annales de Chimie et de Physique, T. 22, S. 397, 1848.

sværtet over et Lys. Sættes $E = 1.00$ for Kørøg fandtes følgende Resultater for forskellige Stoffer:

i	Kørøg-fernis.	Glas.	Bly-hvidt.	Økker.
0°	1.00	0.90	1.00	1.00
60°	"	0.84	0.95	"
70°	"	0.75	0.84	0.91
75°	"	0.65	"	"
80°	0.76	0.54	0.66	0.82

Medens disse Legemer let lade sig undersøge, da deres Udstrålingsevne er meget stor, frembyder den tilsvarende Undersøgelse for Metallernes Vedkommende større Vanskeligheder, da de have en meget lille Udstrålingsevne. Man kan dog ad indirekte Vej vise, at Cosinusloven heller ikke gjælder nøjagtigt for disses Vedkommende. Vi vide nemlig, at Udstrålingsevnen er proportional med Indsugningsevnen, maaler man altsaa den sidste, saa kan den første deraf findes. Provostaye og Desains have nu for forskellige Indfaldsvinkler bestemt Forholdet mellem den tilbagekastede og den indfaldende Varmemængde. Trækkes dette Forhold fra Enheden, erholdes altsaa Indsugningsevnen under Forudsætning af, at der ingen Diffusion finder Sted. Resultaterne findes i følgende Tabel:

i	Staal.	Platin.	Tin.	Sølv.	Mes-sing.
30°	0.35	0.33	0.34	0.04	0.16
50°	0.34	0.30	"	"	0.17
60°	"	"	0.31	"	"
70°	0.36	"	0.31	0.03	0.19
76°	0.28	0.35	0.31		0.18

Denne Tabel viser nu, at Udstraalingsevnen ikke forandres betydeligt naar Udfaldsvinklen forandres, saaledes at man neppe kan søge Aarsagen til de ujævne Fladers stærke Udstraaling deri.

Men der er en anden Omstændighed, som næppe har været tilstrækkelig paaagtet, nemlig at en ujævn Flade i Reglen maa have en større Indsugningsevne end en plan Flade. En Straale, som rammer en plan Flade, kastes tilbage fra denne, efter at have afgivet en Del af sin Varme til Legemet; er Fladen derimod ujævn, vil Straalen kunne ramme Fladen to eller flere Gange, inden den forlader Legemet; den vil derved svækkes mere end ved en enkelt Tilbagekastning; den ujævne Flade kan derfor siges at have en større Indsugningsevne end en plan Flade; man kan endogsaa tænke sig, at Fladens Form er en saadan, at Straalen slet ikke forlader Legemet igjen, men bliver indsuget af det. En saadan Overflade forholder sig da, som om den var absolut sort. Men med den forøgede Indsugning følger nødvendig en forøget Udstraaling, og vi se deraf, at vi herved kunne forklare den forøgede Udstraaling fra ujævne Flader uden at tage vor Tilflugt til Forandringer i Overfladens Natur.

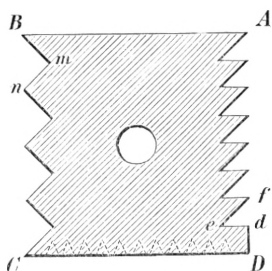
For at godtgjøre dette lod jeg forfærdige en Terning af Messing, hvis Sidelinie var 5.85 Centimeter. Den øverste og nederste Flade var plan, kun var der i den øverste boret et Hul til at anbringe Thermometret i. Af de fire andre Sider AB , BC , CD og DE var den første AB plan, den anden BC bestod af 8 Flader, der dannede rette Vinkler med hinanden, i den tredie, CD , var der boret 121 koniske Huller, hvis Grundfladers Diameter var 0.3, Dybden 0.4 Centimeter, den fjerde Side DA bestod af 15 Flader. Af disse var Dd lodret paa CD og $Dd = \frac{1}{8}DA$; de var lodret paa Dd , medens ef dannede en Vinkel paa 45° med de ; de følgende 12 Flader vare stillede paa samme Maade som de og ef .

Hele Terningen var forsølvet og blank, dog var det ikke

trods flere Forsøg lykkedes at tilvejebringe fuldkommen spejlende Flader.

For Simpelheds Skyld kunne vi tænke os Siden AB delt i 8 lige store Dele og benytte en saadan Flade som Enhed . Kaldes den Varmemængde, som den udstraler i Normalens Retning Ea , hvor a er Sølvets Indsugningsevne og E en Funktion af Terningens Temperatur, saa vil den hele Varmemængde V_1 , som AB udstraler i denne Retning, være

$$V_1 = 8 Ea.$$



Betragtes dernæst Udstraa-lingen fra BC , saa gjælder det om at finde den fra en enkelt Flade, som Bm , udstraaled Varme. Idet vi antage, at Cosinusloven er rigtig for Sølvet, have vi fra Bm en Udstraaaling Ea , men Bm modtager tillige fra mn en Varmemængde Ea , hvoraf Bm tilbage-

kaster en Mængde $Ea(1-a)$ og altsaa udstraler Bm i en Retning parallel med AB en Varmemængde $Ea + Ea(1-a) = E(2a - a^2)$. Hele Udstraaingen fra BC bliver derfor V_2 , idet

$$V_2 = 8 E (2a - a^2).$$

For den tredie Sides Vedkommende maa man betragte den plane Del og Hullerne særskilt. Hullerne bedækkede netop den ene Fjerdedel af Siden. Kaldes Hullernes Indsugningsevne α , saa er den hele udstraaede Varmemængde V_3 altsaa lig

$$V_3 = 6 Ea + 2 Ea.$$

Fra den fjerde Side DA har man ingen Udstraaaling fra de og de med den parallelle Sider. Derimod udstraler Dd en Varmemængde Ea , ef udstraler direkte Varmen Ea , den modtager Ea fra de og tilbagekaster $Ea(1-a)$. Endvidere udstraler den Ea til de , som først kastes tilbage fra de og derefter fra ef , den

vil altsaa ialt udstraale en Varme $Ea + Ea(1-a) + Ea(1-a)^2$.
Den hele Udstraaling fra DA bliver altsaa

$$V_4 = Ea + 7Ea(3 - 3a + a^2).$$

Man finder altsaa, at Udstraalingen fra de 4 Sider i Retning lodret paa Terningsiderne selv forholde sig som

$$V_1 : V_2 : V_3 : V_4 = \\ 8Ea : 16Ea\left(1 - \frac{a}{2}\right) : 8Ea\left(1 + \frac{a-a}{4a}\right) : 22Ea\left(1 - \frac{21}{22}a + \frac{7}{22}a^2\right)$$

Da Sølvets Indsugningsevne er meget lille kan man med Tilnærmelse sætte

$$V_1 : V_2 : V_3 : V_4 = 8 : 16 : 8\left(1 + \frac{a-a}{4a}\right) : 22.$$

For at godtgjøre Rigtigheden heraf blev Terningen først opvarmet til 170° og derefter anbragt foran en meget følsom thermoelektrisk Støtte med tilhørende Multiplikator, hvis Udslag benyttedes som Maal for Udstraalingen. Disse Forsøg frembyde imidlertid en særegen Vanskelighed; Sølvets Udstraalingssevne er som sagt meget ringe; det tilbagekaster derimod Varmen meget rigeligt. Anstilles Maalingerne i et almindeligt Værelse, vil der ikke alene falde Straaler ind paa Støtten, som ere udgaaede fra Terningen, men Straaler, der komme fra Iagttageren, fra Væggene eller andre Gjenstande, hvis Temperatur er forskjellig fra Støtten, kunne efter Tilbagekastning fra Sølvet falde paa Støtten. Jeg har undertiden bemærket, at disse Straaler have havt Overvægten over dem, der kom fra Sølvet selv. For at bøde herpaa, brugte jeg et Telt af parallelpipedisk Form, 2 Alen langt, 1 Alen højt og ligesaa bredt. Støtten var anbragt inde i Teltet; med den sædvanlige Tragt paasat, men uden nogen Skjærm. Naar der var bragt Temperaturligevægt tilveje, blev Terningen bragt ind i Teltet gennem et Hul foroven. Nu iagttoges Naalens Udslag, Terningen toges ud igjen og Naalen vendte atter tilbage til Hvilestillingen. Paa denne Maade blev hverken Luften eller Teltets Vægge synderlig opvarmede,

og ingen fremmede Varmekilder kunde gribe forstyrrende ind. Ved at tage Middeltallet af flere Maalinger fandt jeg

$$V_1 : V_2 : V_3 : V_4 = 2^\circ.25 : 4^\circ.6 : 19^\circ.6 : 6^\circ.0.$$

Sammenlignes dette med det forud fundne Forhold mellem de samme Størrelser, ser man, at der er god Overensstemmelse deri, thi

$$\frac{2.25}{8} = 0.28, \quad \frac{4.6}{16} = 0.29, \quad \frac{6.0}{22} = 0.27.$$

Middeltallet af disse er 0.28, som kan tjene til at bestemme Forholdet mellem Hullernes og den plane Flades Indsugnings-evne. Vi maa nemlig have

$$\frac{19.6}{8 \left(1 + \frac{a-a}{4a} \right)} = 0.28,$$

som giver

$$\frac{a}{a} = 32.$$

Disse Forsøg vise saa tydeligt som muligt, hvor overordenlig stor Indflydelse Overfladens Form har paa Udstraalingen. Stærkest træder den dog frem ved Hullerne, idet disse indsuge Varmen over 30 Gange saa stærkt, som det blanke Sølv. Her ved maa dog bemærkes, at de vare matte, hvilket allerede forøger deres Indsugningsevne betydeligt.

Et andet Forsøg viste det samme paa en smuk Maade. Fladen AB sværtedes med Kønrogfernis saaledes, at der dannedes en mat Overflade. Endvidere bleve Dd , de og de 6 Flader, som ere parallelle med denne, sværtede. Fra AB udstraales da en Varmængde $V'_1 = 8Ea'$, naar a' er Indsugnings-evnen for Kønrog. Fra Dd udsendes en Varmemængde Ea' ; fra ef udstraales direkte Ea , desuden modtager ef fra de Varmemængden Ea' , hvoraf den tilbagekaster $Ea'(1-a)$ og endelig udstraaler ef til de Varmen Ea , som først kastes tilbage fra de og derefter fra ef , hvorved den bliver til $Ea(1-a')(1-a)$. Alt-saa udstraaler DA ialt en Varmemængde V'_4 :

$$V'_1 = Ea' + \gamma(Ea + Ea'(1-a) + Ea(1-a)(1-a')).$$

Da de sværtede Flader vare matte, kan man sætte $a' = 1$ og faar derfor

$$V'_1 = V'_4 = 8E.$$

I dette Tilfælde maatte altsaa Siderne AB og DA udstraale lige megen Varme. Dette fandt virkelig ogsaa tilnærmelsesvis Sted, dog var Udstraalingen fra AB altid noget større end Udstraalingen fra DA . En Forsøgsrække gav saaledes $V'_1 = 35^\circ.5$, $V'_4 = 34^\circ.0$, en anden Forsøgsrække, ved hvilken Afstanden mellem Terningen og Thermostøtten var noget større, gav $V'_1 = 20^\circ.5$, $V'_4 = 19^\circ.1$. Det maa dog herved bemærkes, at Afstanden fra Terningen til Støtten kun var nogle faa Tommer, medens Beregningen gaar ud fra, at de Straaler, der falde paa Støtten, ere indbyrdes parallelle, hvilket langtfra er Tilfældet.

Ligeledes har jeg fundet, at Udstraalingen er næsten den samme fra AB og fra BC , naar mn og de tre Flader, der ere parallelle med denne, sværtes ligesom AB ; dette forklares paa samme Maade.

Det fremgaar altsaa heraf, at Overfladens Form er af stor Betydning ved Udstraalingen, og det er saameget vigtigere at fremhæve dette, da man har draget den Slutning af Knoblauchs foran anførte Forsøg, at Overfladens Form skulde være ligegyldig. Dog kunne ikke alle de tidligere fundne Resultater forklares ved at tage Hensyn til Formen alene; der er ingen Tvivl om, at Udstraalingen fra haarde og bløde Metaller er forskjellig, og dette faar nødvendigvis Indflydelse paa Udstraalingen fra ridsede Overflader. Naar man ridser en metallisk Overflade, vil den i Reglen blive blankere, idet den befries fra det Iltlag, som danner sig paa de fleste Metaller, derved maa Udstraalingen formindskes. Dernæst vil Metallets Haardhed forandres, hvilket ogsaa maa indvirke noget paa Udstraalingen, og endelig bliver Overfladen ujævn, hvad der maa forøge Udstraalingen.

Det maa herved bemærkes, at det fornemmelig er Udstraalingen i Retningen lodret paa Overfladen, der forøges ved at gjøre Fladen ujævn; i andre Retninger vil det kun i ringere Grad finde Sted, hvilket let ses ved at sammenligne Udstraalingen fra Siderne AB og BC . Medens Udstraalingen er dobbelt saa stor fra BC som fra AB , naar Straaleretningen er lodret paa Terningens tilsvarende geometriske Grændseflader, er den ligestor fra begge, naar Udstraalingen foregaar i Retninger, der danne en Vinkel paa 45° med disse.
