

# Indholdsfortegnelse

---

|     |                       |   |
|-----|-----------------------|---|
| 0.1 | Indledning . . . . .  | 1 |
| 0.2 | Beskrivelse . . . . . | 2 |
| 0.3 | Processor . . . . .   | 3 |
| 0.4 | Metode . . . . .      | 4 |
| 0.5 | Gitter . . . . .      | 5 |
| 0.6 | Beregninger . . . . . | 6 |
| 0.7 | Konklusion . . . . .  | 8 |



## 0.1 Indledning

Computere med dertilhørende køling og termodynamiske systemer fylder generelt meget i hverdagen for de fleste mennesker, men vi ved meget lidt om de termodynamiske processer i en PC.

Forfatterne interesserer sig for moderne højtydende PC-systemer, hvor køling i særdeleshed er en meget væsentlig faktor, herunder køling af den centrale regneenhed/processor (CPU - Central Processing Unit) samt evt. dedikerede grafik regneenhed/processorer (GPU - Graphics Processing Unit).

Det termodynamiske system vi har valgt at skrive om til den skrevne projekt i termodynamik er i overordnede træk processor-kølere som bruger tør atmosfærisk luft som kølemedie.

Vi har vi valgt at definere at systemgrænsen ligger mellem processoren og det køletekniske system, således at processoren og dens interface med det køletekniske system ligger udenfor det termodynamiske system vi beskriver.

Processoren kommer da til at definere energistrømmen ind i systemet og dermed den varme der skal transporteres ud af systemet for at det forbliver stationært ved maksimal belastning. Vi vil i det følgende komme ind på hvorfor kølesystemets kapacitet ved konstant, maksimal belastning er en særdeles vigtig parameter i designet af computere.

Lauritzens og Eriksen, Termodynamik danner grundlaget for beregninger samt samt tabelopslag for diverse værdier i dette projekt.

FIXME: Indsæt passende figurer der illustrerer vores setup.

## 0.2 Beskrivelse

Moderne CPU og GPU enheder er bygget op af millionvis af elektroniske transistorer. Disse transistorer er konstrueret af halvledermaterialer, som typisk kun bevarer deres halvlederegenskaber indenfor et bestemt temperaturområde. Bliver disse udsat for konstante drifttemperaturer udenfor dette område, degraderer ikke bare deres elektriske signaler (i form af regnefejl og signalfejl og nedsat stabilitet) men også selve halvleder materialet de er konstrueret af, med betydelig nedsættelse af levetiden til følge.

FIXME: Indsæt billede af moderne CPU uden heatspreader, hvor man kan se arealet og den fantastiske kompleksitet

Forfatterne noterer sig at specielt GPU enhederne i en moderne PC fylder mere og mere i trit med at udviklingen af software og skærme betyder at der skal foretages flere og flere beregninger. Det betyder at der rent fysisk skal bruges flere transistorer og typisk mere energi i en GPU for at opnå det ønskede ydelsesniveau.

FIXME: Indsæt billede af moderne GPU uden heatspreader, hvor man kan se arealet og den dissiperede effekt.

Det betyder reelt at termodynamik i allerhøjeste grad indgår i design, funktion og brug af en computer.

Det umiddelbare indtryk er dog at GPU og CPU i termodynamisk forstand er identiske, hvorfor ordet CPU vil bruges i flæng om både CPU og GPU.

## 0.3 Processor

Den elektriske effekt  $P$  afsat i en CPU kan beskrives således :

$P = \text{strømforbrug (I)} * \text{taktfrekvens (f)} * \text{kapacitans (C)} .$

(kilde: <ftp://download.intel.com/design/network/papers/30117401.pdf>)

I kølesystemet for en computerprocessor foregår den første varmetransmission som varmeledning fra processorens varmespreder til kølesystemet.

Ofte faciliteres denne varmetransmissionen af en kølepasta, som er med til at maksimere kontaktfladen til kølesystemet og som modvirker galvanisk tæring.

I kildelisten er inkluderet to eksempler på kølepasta, med konduktivitets værdier på hhv. 0,8 og 12,5 W/m\*K.

Intentionen med kølepasta er at optimere kontakten mellem kølegitter og processor og undgå at der opstår små luftlommer, hvor der kan dannes ekstra varmemodstand. Dog vil laget af kølepasta her blive betragtet som liggende udenfor systemgrænsen.

De fleste kølegitter er lavet af aluminum, som har en varmekonduktivitet er på 229 W/m\*K.

Vi antager et endimensionelt, stationært system med konstant varmem strøm. Vi antager ydermere konstant densitet og temperatur på den omgivende, tørre atmosfæriske luft.

FIXME: Tykkelserne på godset i den retning varmen udbredes i er 0.5 mm for kølegitteret og regnes som en massiv væg, idet processoren regnes for at have en ens temperatur i hele sit areal. Varmen forsimples til at udbredes i en retning og i et stationært system. Med disse antagelser kan varmem strømmen igennem lamellerne beregnes. Luften antages at flytte sig 0.01 m/s

## 0.4 Metode

Der søges at udregne varmestrømmene for de forskellige komponenter, således at disse kan indgå i sammenligning af varme og temperatur.

1. Klarlægning af flowgeometrien
2. Beregn Referencetemperatur
3. Bestem kendetal( $Re$ ,  $Gr$ ,  $Ra$ ,  $Pr$ )
4. Vælg modelligning
5. Beregn varmeovergangstallet ud fra Nusselts tal

Det antages at processoren afgiver 100 % af sin varme i kølesystemet. Systemgrænserne udgøres (som tidligere nævnt) af interfacet til processoren og af bortledning af varme fra den sidste komponent i kølesystemet.

FIXME: Her bør være en illustration set fra siden.

## 0.5 Gitter

Fælles for alle 3 systemer er kølegitteret af aluminium, der er i kontakt med processoren. I simple systemer udgør kølegitteret den eneste part i kølesystemet som vi har defineret det og kan selvfølgelig bestå af andre materialer end aluminium. I nærværende rapport vil der dog tages udgangspunkt i aluminium.

Kølegitteret udnytter sit store overfladeareal til at bortlede varme ved konvektion fra et fast materiale (aluminium) til et fluid (tør atmosfærisk luft). Således vil der være to termiske modstande, nemlig en varmeledningsmodstand i kølegitteret og en varmeovergangsmodstand fra fast stof til fluid.

En hyppig forekommende geometrisk struktur i et kølegitter er ribber eller lameller, der giver en naturlig strømning af den varme luft bort fra kølegitteret, hvor kun termodynamiske kræfter har indflydelse på strømningen. Denne strømning foregår mellem to ribbe/lamel-vægge.

Der præsenteres her en oversigt over de værdier der bruges i udregningerne:

Der beregnes varmemstrøm for konvektion og for stråling.

Tallene for ovenstående kølegitter er importeret fra en partfil i Solidworks.

$$H = 20 \text{ mm}, b = 25,5 \text{ mm}, d = 1 \text{ mm}, \text{Areal } A_t = 93733.73 \text{ mm}^2, A_{\text{lamel}} = 500 \text{ mm}^2$$

$$\text{Massen } m = 31,58 \text{ g}$$

$$\text{Varmekonduktiviteten for aluminium, } \lambda_{al} = 229 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$\text{Lameltykkelsen } \delta = 0.5 \text{ mm}.$$

$$\text{Den specifikke varmekapacitet } c_p = 1.008 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$\text{Strømningshastighed lodret, i lamellens længde på } c = 0.001 \text{ m/s}$$

For at udregne varmemstrømmen  $\phi$  bruges udtrykket

$$\Phi = \alpha * A * (t_{fl} - t_v)$$

også kendt som Newtons ligning.

Hvoraf varmekonduktiviteten  $\alpha$  er fundet ved tabel opslag  $\alpha = 21.8$

Kinematisk viskositet er: 18.88 og dynamisk viskositet = 16.92

$$\text{Volumenudvidelseskoefficienten } \beta_{luft} = 3,2$$

$$\text{Varmeledningsmodstanden : } R_l = \frac{\delta}{\lambda_{al} * A_{\text{lamel}}} = 4.281$$

$$\text{Varmeovergangsmodstanden : } R_o = \frac{1}{\alpha_{tl} * A_{\text{lamel}}} = 89.394$$

$$\text{Total termisk modstand er } R_{tot} = R_l + R_o = 92.225$$

## 0.6 Beregninger

Varmestrømmen  $\phi$  udregnes ved ligningen  $Nu = \frac{\alpha}{k} \lambda$

Nu er Nusselts tal og findes herunder ved at udregne Reynolds(Re) og Prandtls(pr) tal.

Strømningsforholdende for luft(fluiden) imellem lamellerne i gitteret er fri indvendig strømning, idet lamellerne kan ses som kanalvægge og udgangen i en antaget lodret given retning er smal og bred med 3 åbne sider og derved tillader en fri udvikling af strømmingen. Den hydrauliske diameter bruges og sættes lig med afstanden imellem 2 givne lameller.  $\approx 0.5mm$

Reference temperaturen udregnes til :

$$t_{film} = \frac{t_{lamel} + t_{fluid}}{2} \Rightarrow t_{film} = 30$$

$$\text{Grasshofs tal } Gr = \frac{g * L^3 * \beta * \Delta t}{\nu^2} = 8,771 * 10^4$$

$$\text{Prandtls tal } Pl(\text{opslag}) \Rightarrow Pr = 0.69$$

Der antages lodret laminar strømning af luften og Reynold tal undersøges for at få en idé om strømningsformen

$$Re = \frac{c_{luft} * L_{hyd}}{\nu} = 2.648 * 10^{-5}$$

Den kritiske værdi for Re hvor strømmingen overgår fra at være laminar til at blive turbulent er  $10^9$ . Da ovenstående beregnede værdi af Re er meget mindre end den kritiske værdi, ses at der må være tale om laminar strømning over hele længden af en lamel, hvorfor strømmingen ikke undersøges yderligere.

Hastighedsprofilen hvorved den opvarmede luft stiger til vejrs er udregnet til:  
 $0.05 * Re * L_{hd} = 0.001$

Det medfører at Nusselts tal kan udregnes som

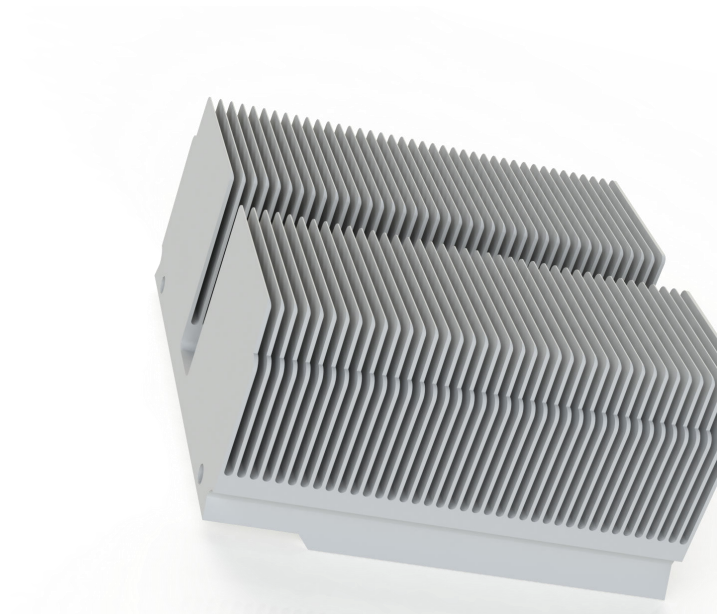
$$Nu = 3,66 + \frac{0.0668 * Re * Pr * \frac{D}{L_{lamel}}}{1 + 0.004 * \left( \frac{D}{L_{lamel}} \right)^{1/4} * Re * Pr} )^{2/3} = 3.661$$

$$\text{og } \Phi = \alpha * A(t_{fl} - t_v) \Rightarrow 2.597 * 10^6 W$$

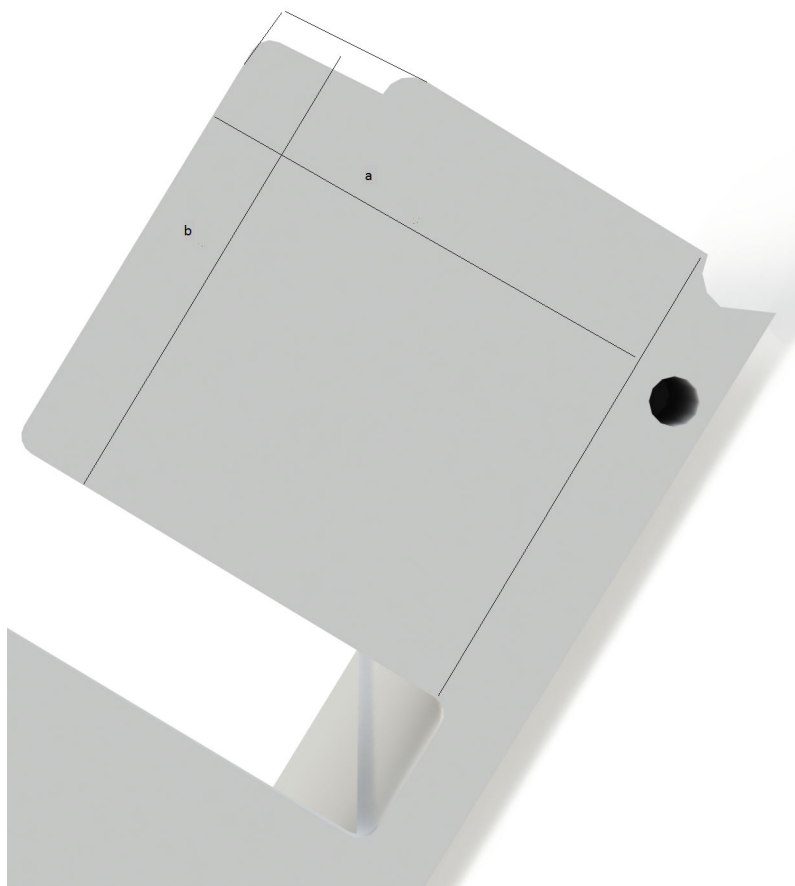
$$\text{justeret til millimeter ved udtrykket: } \frac{\Phi = \alpha * A * (t_{fl} - t_v)}{10^6} \Rightarrow 0.75 W$$

samtlig lammeler afgiver da  $0,75w * 40 \approx 30W$  i varmemstrøm til luften der passerer.





**Figur 0.1.** Eksempel på kølegitter, Fra grabcad.com - bruger: Fernando



**Figur 0.2.** Lamel. Genstand for vore termdynamiske undersøgelser. Fra grabcad.com - bruger: Fernando

## 0.7 Konklusion

Et varmegitter af aluminium forekommer umiddelbart at være en relativt effektiv måde at aflede varmen på. Den store hindring i varmetransmissionen forekommer at være overgangsmodstanden for luft. Materialet lader ikke til at gøre en synderlig forskel, dog skal det bemærkes at aluminium er et af de mest varmeledende materialer, billigt, let og nemt at forarbejde.

Ulempen ved sådan en konstruktion her er, at fluidets filmlag er relativt tykt og har laminart flow, hvorfor luftudskiftningen er lidt langsom og mindre effektiv i konvektion. Men materialet er generelt underordnet ift. laminart/turbulent flow og det samlede overfladeareal, hvorfor det giver god mening at aluminium bruges i vid udstrækning til pc kølesystemer.