

**Smartare
Elektroniksystem**

ELECTRONIC COMPONENTS & SYSTEMS



Kort introduktion till THERMAL MANAGEMENT i elektronik

Jussi Myllyluoma

Initiativledare

Cool Sweden Initiative

Varför är THERMAL MANAGEMENT en grej?

All elektronik skapar värme.

SANT!

Evolutionen inom elektronik



Evolutionen inom elektronik

LÄGG TILL DETTA att fältet för det vi kallar
"elektronik" nu expanderar mycket snabbt!

Och till skillnad från EMC –
oavsett hur skicklig eller listig man är,
värme går inte att konstruera bort!

Hur är detta viktigt för oss?

Ingen ökad förmåga

Inga kompaktare enheter

Inga snabbare system

Inga kraftfullare komponenter

Ingen ökad effekttäthet

Inga högre frekvenser

*Inget
högre
värme-
flöde*

*"Peak Thermal
Management"*

Vad är "värme"?

Värme *kvantifieras* som:

- ▶ Termisk *effekt* – enhet watt (W)

Värme *ansamlas* som:

- ▶ Termisk potential, dvs. *temperatur* – enhet kelvin (K) eller grader celsius (°C)

Värme *överförs* genom tre fysikaliska mekanismer:

- ▶ Ledning – värmeöverföring i och mellan solida kroppar, eller stillastående fluider
- ▶ Konvektion – värmeöverföring genom rörelse av massa (molekyler) i fluid
- ▶ Strålning – värmeöverföring genom fotoner/elektromagnetisk strålning

Ledning

Fouriers lag:

$$\dot{Q} = -k \times A \times \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

För visad geometri gäller:

$$t_1 - t_2 = \frac{\dot{Q} \times \Delta x}{k \times A}$$

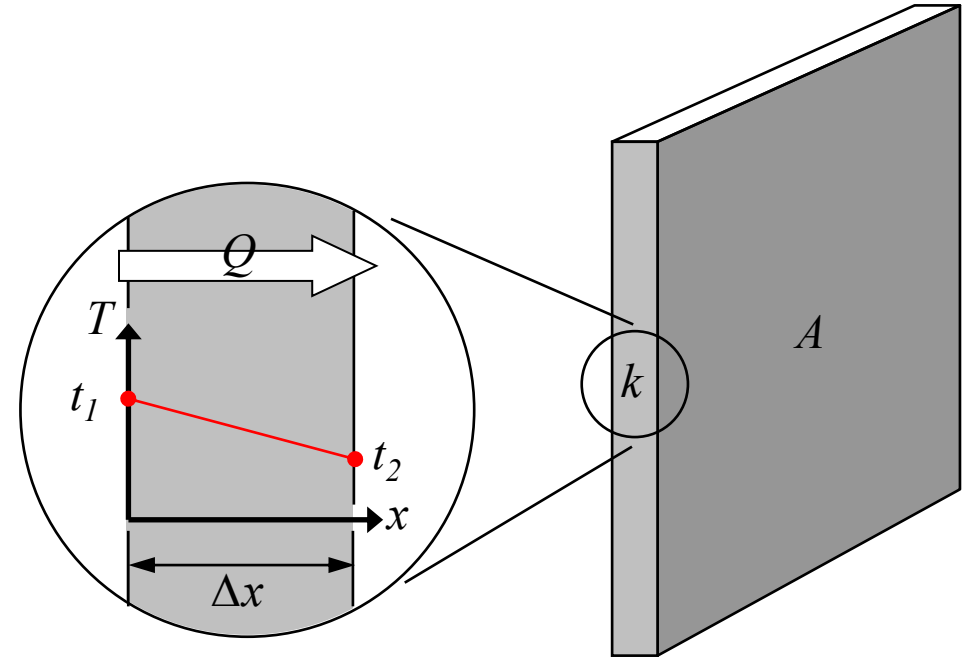
Där:

\dot{Q} : värmefflöde

t : temperatur

k : termisk konduktivitet

x : ledarlängd



A : ledarens tvärsnittsarea

Ledning

Termisk konduktivitet, även värmeledningstal (k)

- ▶ Enhet **W/(m·K)**
- ▶ *Materialspecifikt värde*

Magnitud	Material	k [W/(m·K)]
10^{-2}	Stillastående luft	~0,02
10^{-1}	Polymerer	~0,2
10^0	Glas	~1
10^1	Rostfritt stål	~20
10^2	Extruderat aluminium	~200
10^3	Diamant	~2 000
10^4	Heat pipes (ekv.)	<20 000

Konvektion

Newtons samband:

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot \Delta t$$

För visad geometri gäller:

$$t_s - t_\infty = \frac{\dot{Q}}{h \cdot A}$$

Där:

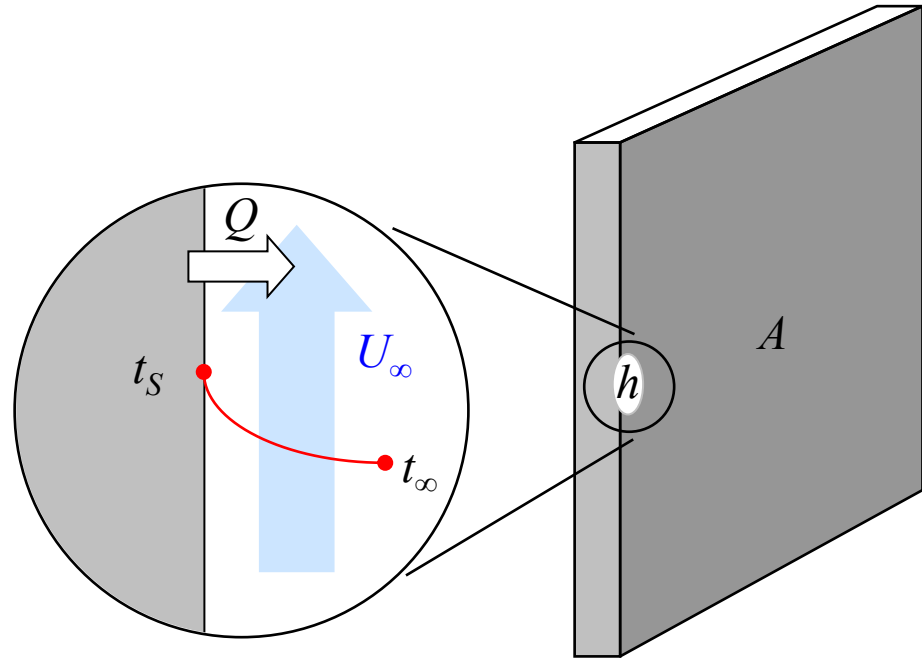
\dot{Q} : värmeflöde

t : temperatur

h : värmeövergångstal

U : friflöde

A : area



Konvektion

Värmeövergångstal (h)

- ▶ Enhet **$W/(m^2 \cdot K)$**
- ▶ Värde påverkas av:
 - Konvektionsmekanism/flödesregion
 - Konvektionsytans geometri
 - Fluid
 - Flödeshastighet
 - Med mera

Strålning

Stefan-Boltzmanns lag:

$$\dot{Q} = \sigma \varepsilon A T^4$$

Nettoutbyte om $A_2 \gg A_1$:

$$T_1^4 - T_2^4 = \frac{\dot{Q}}{\sigma \varepsilon_1 A_1}$$

Där:

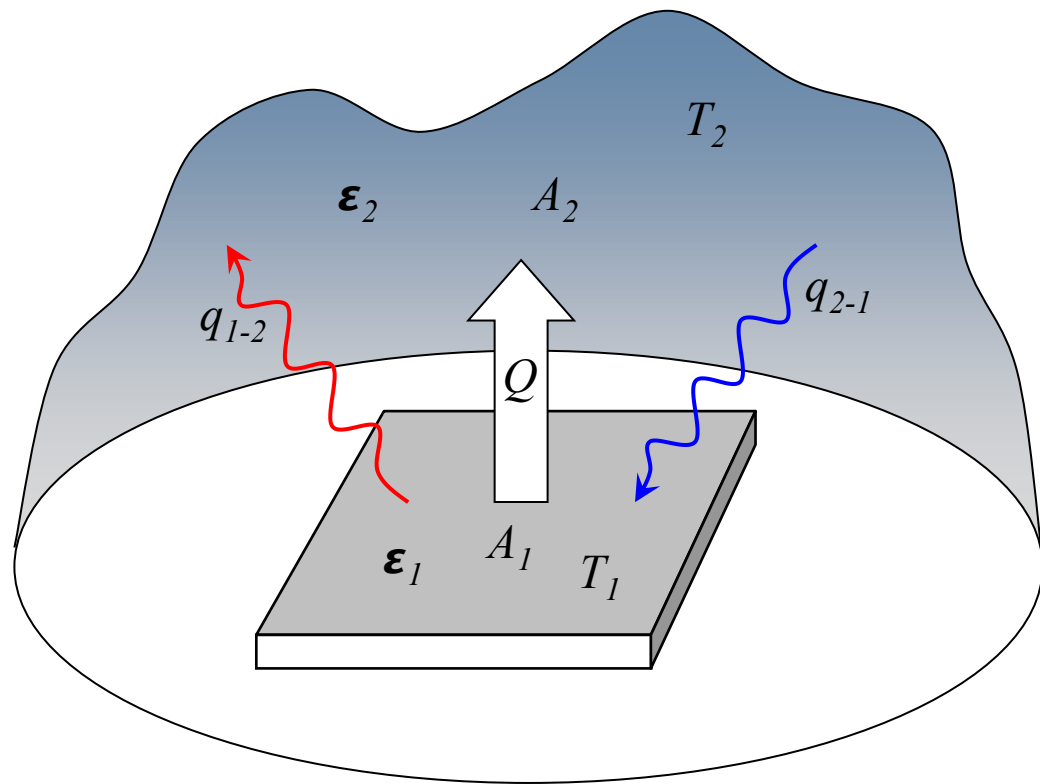
\dot{Q} : värmeflöde

ε : emissivitet

σ : Stefan-Boltzmanns konstant [$5,6704 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$]

T : temperatur (absolut)

A : yta



Strålning

Emissivitet (ε)

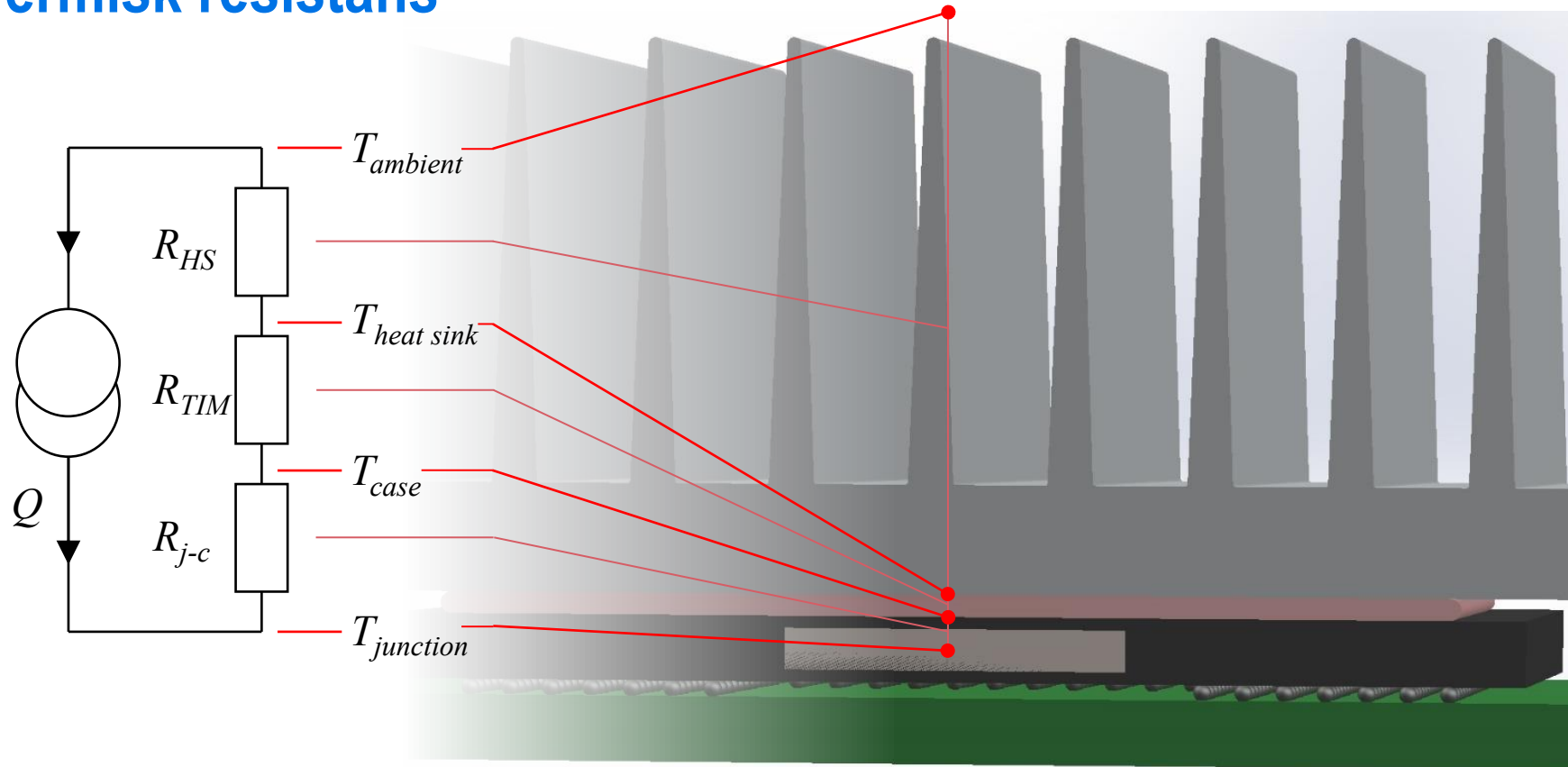
Den värme en yta avger som strålning i proportion till en ideal emitter, en "svartkropp" ($\varepsilon=1$).

For de flesta ogenomskinliga solider gäller:

$$\text{emissivitet } (\varepsilon) = \text{absorptivitet } (\alpha)$$

Emissivitet är enhetslöst, och varierar med strålningens våglängd, vilken i sin tur är beroende av ytans temperatur.

Thermal resistances



Termisk resistans

- ▶ Enhet **K/W**
- ▶ *Applikationsspecifikt värde*

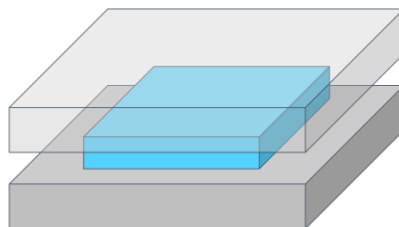
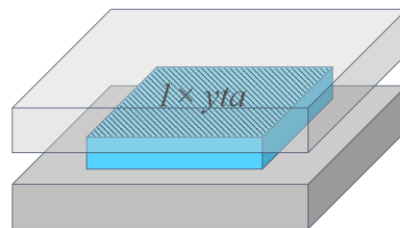
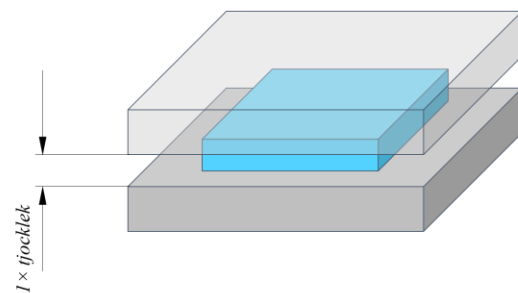
Definition:


$$R_{\theta} = \frac{\Delta t}{Q}$$

$$= \frac{\Delta x}{k \times A}$$

$$= \frac{1}{h \times A}$$

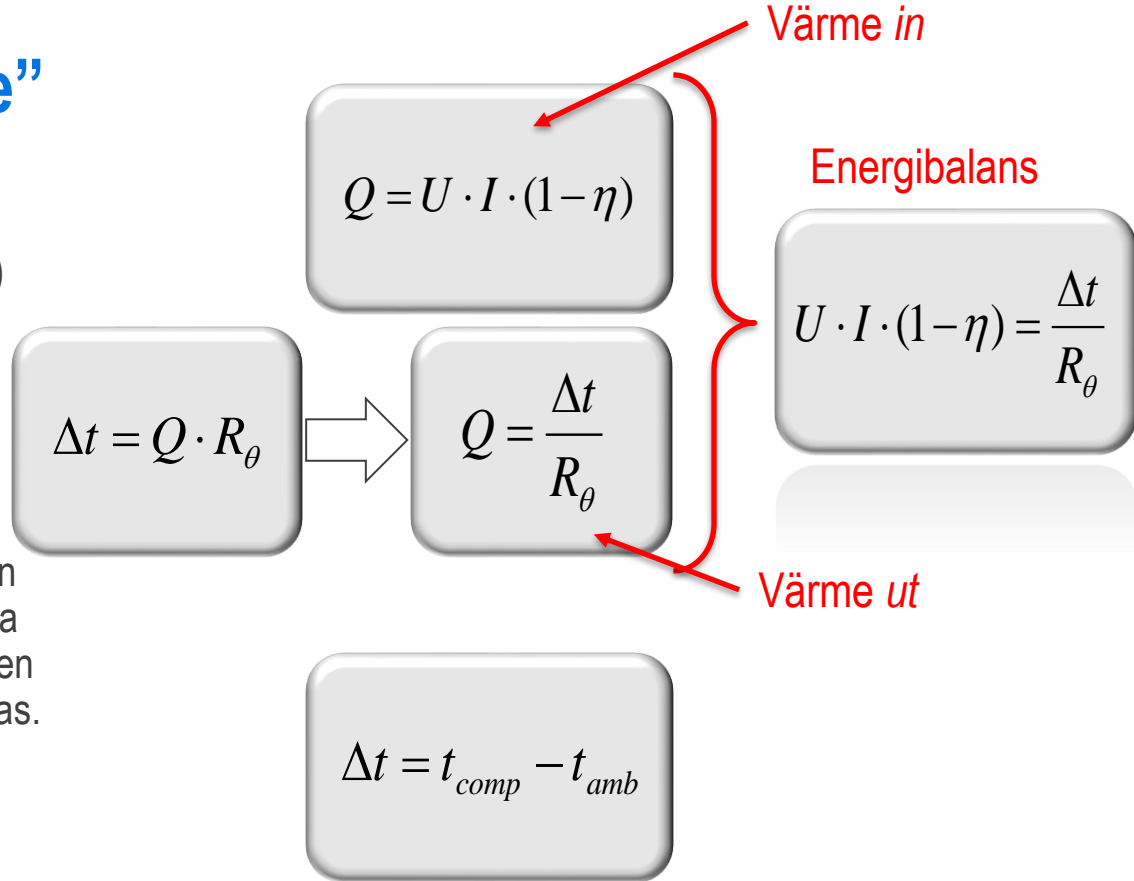
Termisk resistans har viss analogi med Ohms lag, och beskriver förhållandet mellan *temperaturskillnad* och *värmeflöde* — dvs. den termiska gradientens lutning.



 $1 \times \text{konduktivitet}$

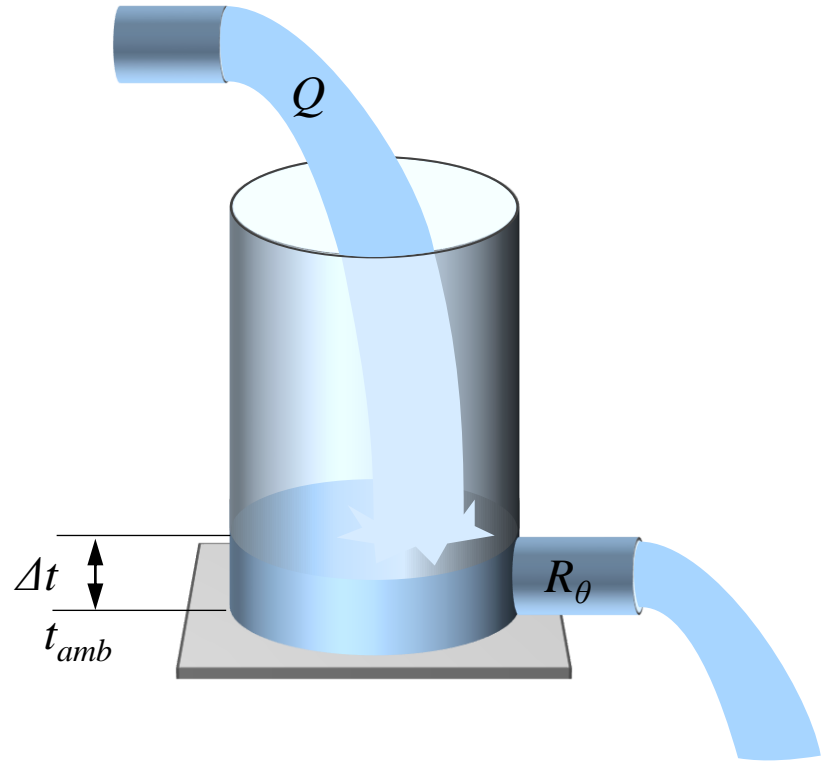
“Ackumulerad värme”

- **VÄRMEN** den termiska effekten (Q)
- **TEMPERATUREN** (t) uppstår som konsekvens av ackumulerad värme
- Värme ackumuleras tills dess att den termiska gradienten (Δt) förmår driva värmeavgivningen genom resistansen (R_θ) i samma takt som värmen alstras.



“Ackumulerad värme”

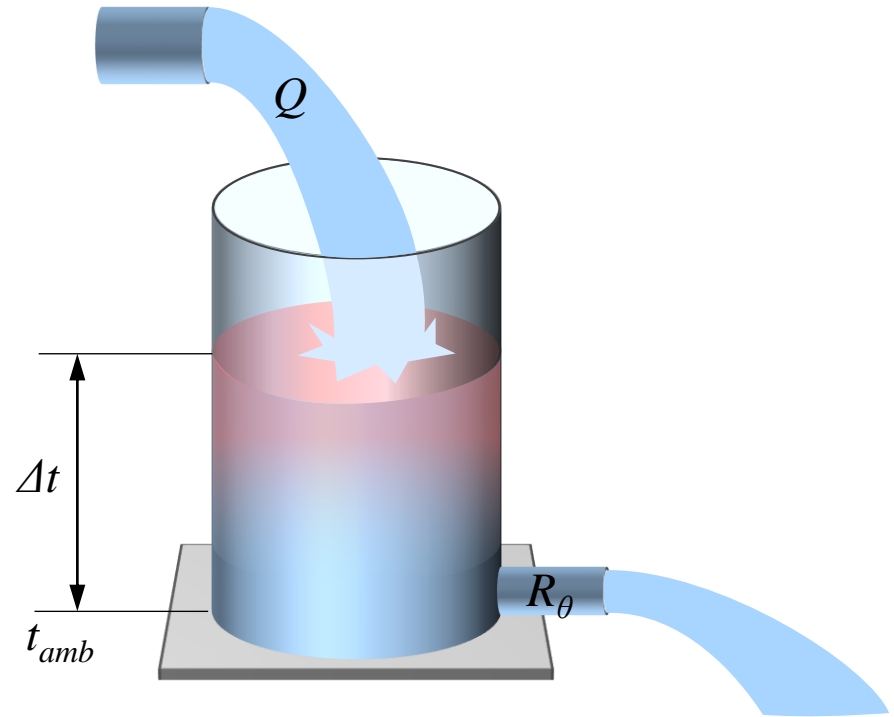
- En låg resistans låter värmen lämna systemet i samma takt som den ”rinner in”.
- Värmenivån – temperaturen – stiger inte.



“Ackumulerad värme”

- ▶ En hög resistans får värmenivån – temperaturen – att stiga.
- ▶ Enligt den konceptuella illustrationen kommer värmenivån att fortsätta stiga tills dess att trycket i pelaren förmår pressa ut den i samma takt som den rinner in.
- ▶ När denna punkt uppnås stabiliseras temperaturen vid den etablerade nivån ("steady state").

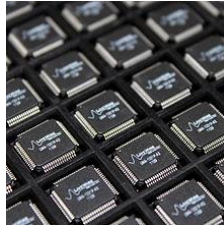
Illustrationen är **rent nonsens** i strikt fysikalisk bemärkelse, men analogin borde tjäna till att förmedla en viss intuitiv känsla för inblandade mekanismer.



Var finns värmen i elektronik?

Några typiska värmealstrande komponenter

- ▶ CPU:er
- ▶ GPU:er
- ▶ Nord-/sydbryggor
- ▶ Minneskretsar
- ▶ ASIC:ar
- ▶ FPGA:er
- ▶ DSP:er
- ▶ Effekttransistorer
- ▶ IGBT:er
- ▶ MOSFET:ar
- ▶ Förstärkarkretsar



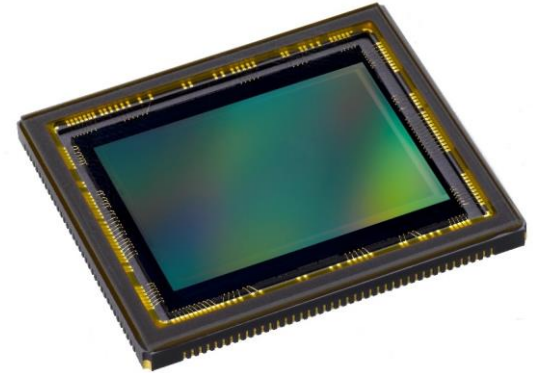
- ▶ Transformatorer
- ▶ Effektomvandlare
- ▶ Induktanser
- ▶ LED:ar
- ▶ BLU:er
- ▶ Lasrar
- ▶ TEM:er
- ▶ Opto-transceivrar
- ▶ Batterier
- ▶ Motorer (t.ex. fläktar)
- ▶ Användaren



Var finns värmeproblemen i elektronik?

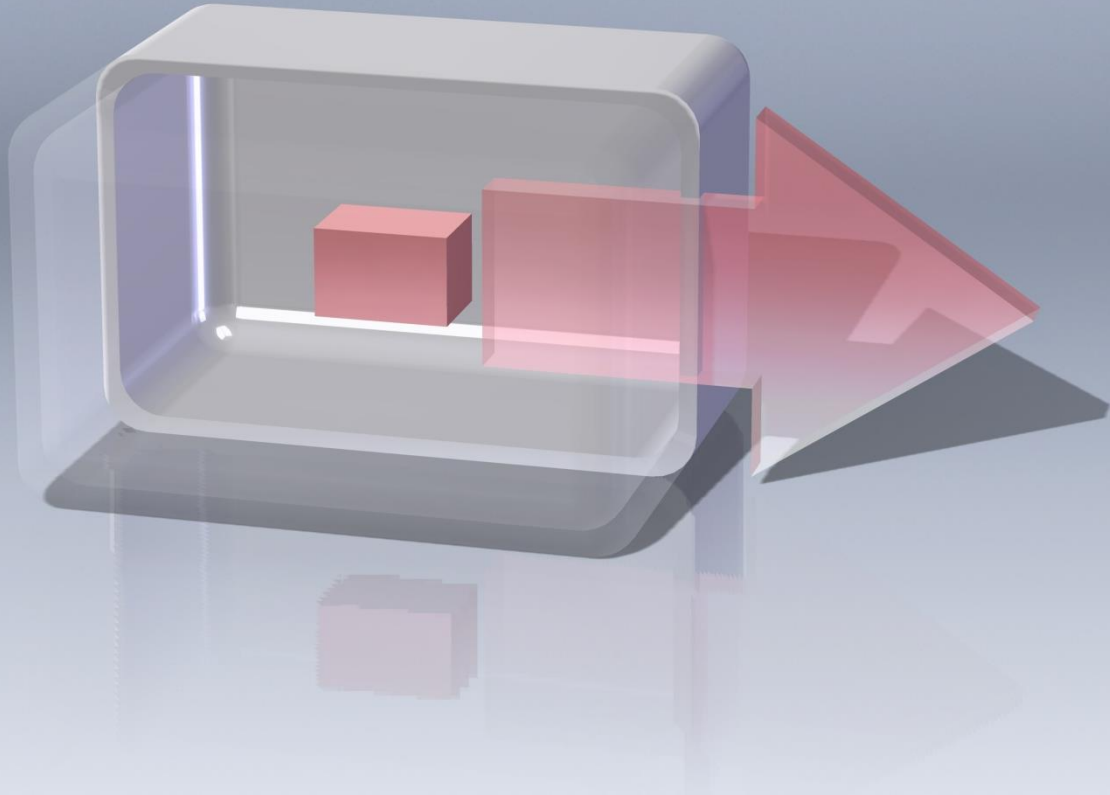
Några typiska värmekänsliga komponenter för funktion, verkningsgrad etc:

- ▶ Bildsensorer (CCD, CMOS, etc)
- ▶ ASIC:ar
- ▶ LED:ar
- ▶ **Halvledare generellt**
- ▶ Displayer (LCD/OLED)
- ▶ Lasrar
- ▶ Batterier
- ▶ Lager (t.ex. fläktar)
- ▶ Användaren



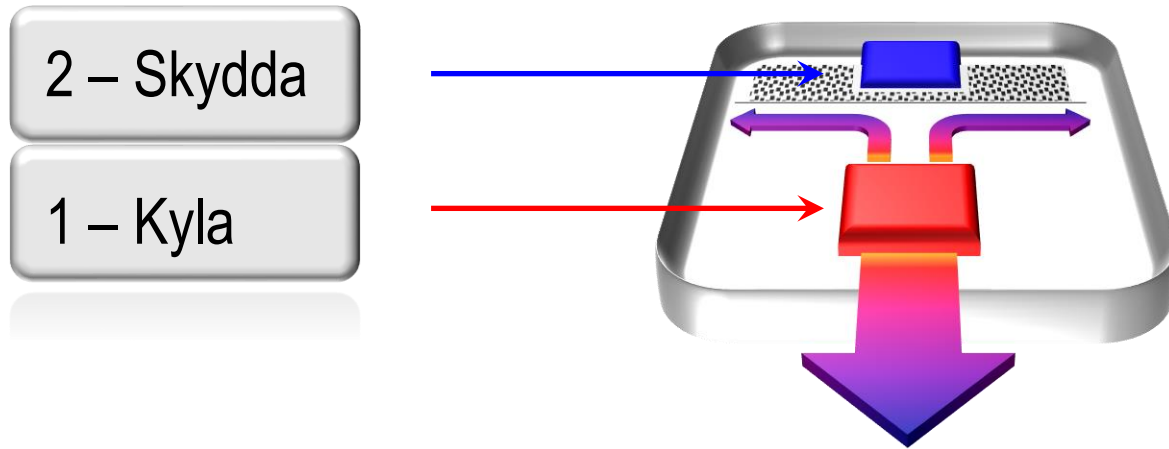
Värme skapar även andra problem som t.ex. utmattning pga. CTE-mismatch,

Thermal Management 101



Thermal Management 101

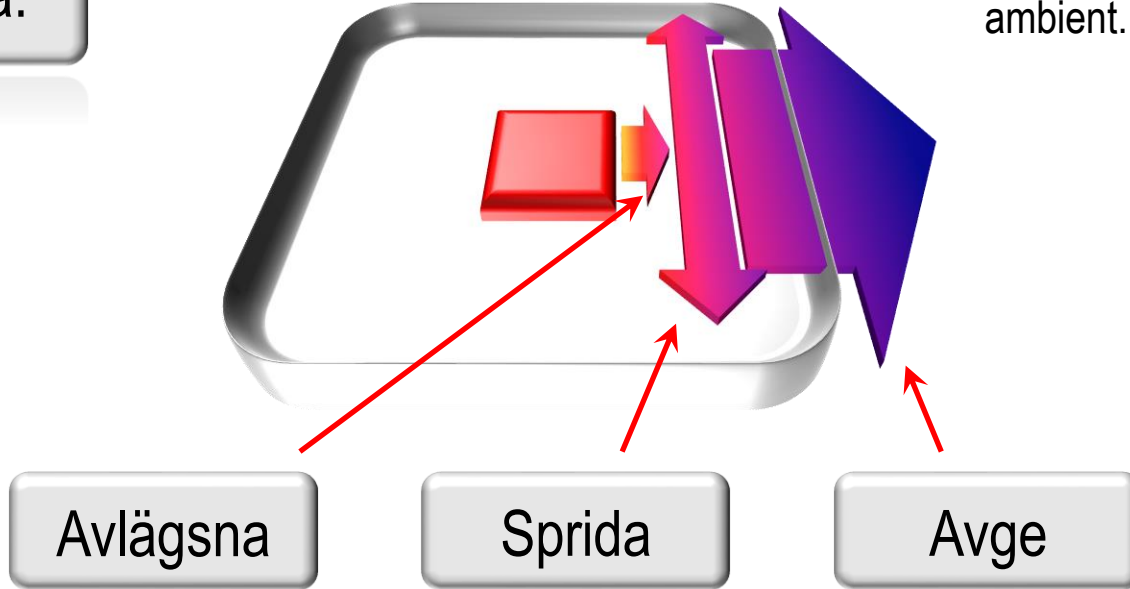
Termisk design har två huvuduppgifter:



Thermal Management 101

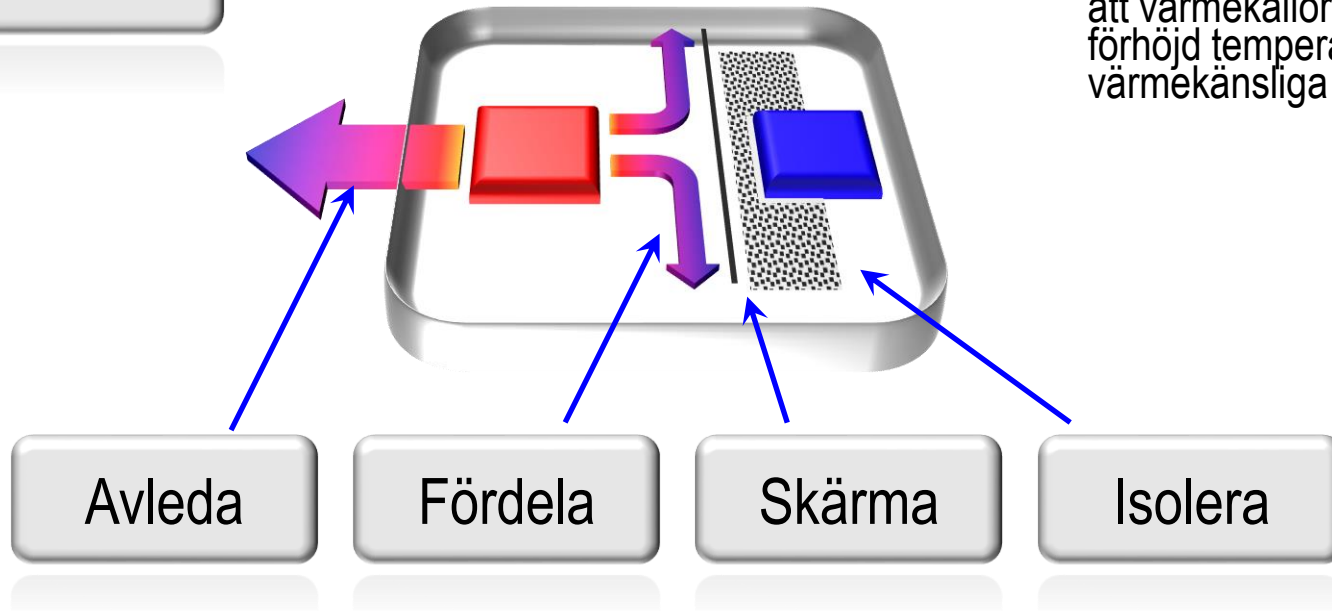
1 – Kyla:

Främja den termiska energins
rörelse från värmekälla till
ambient.



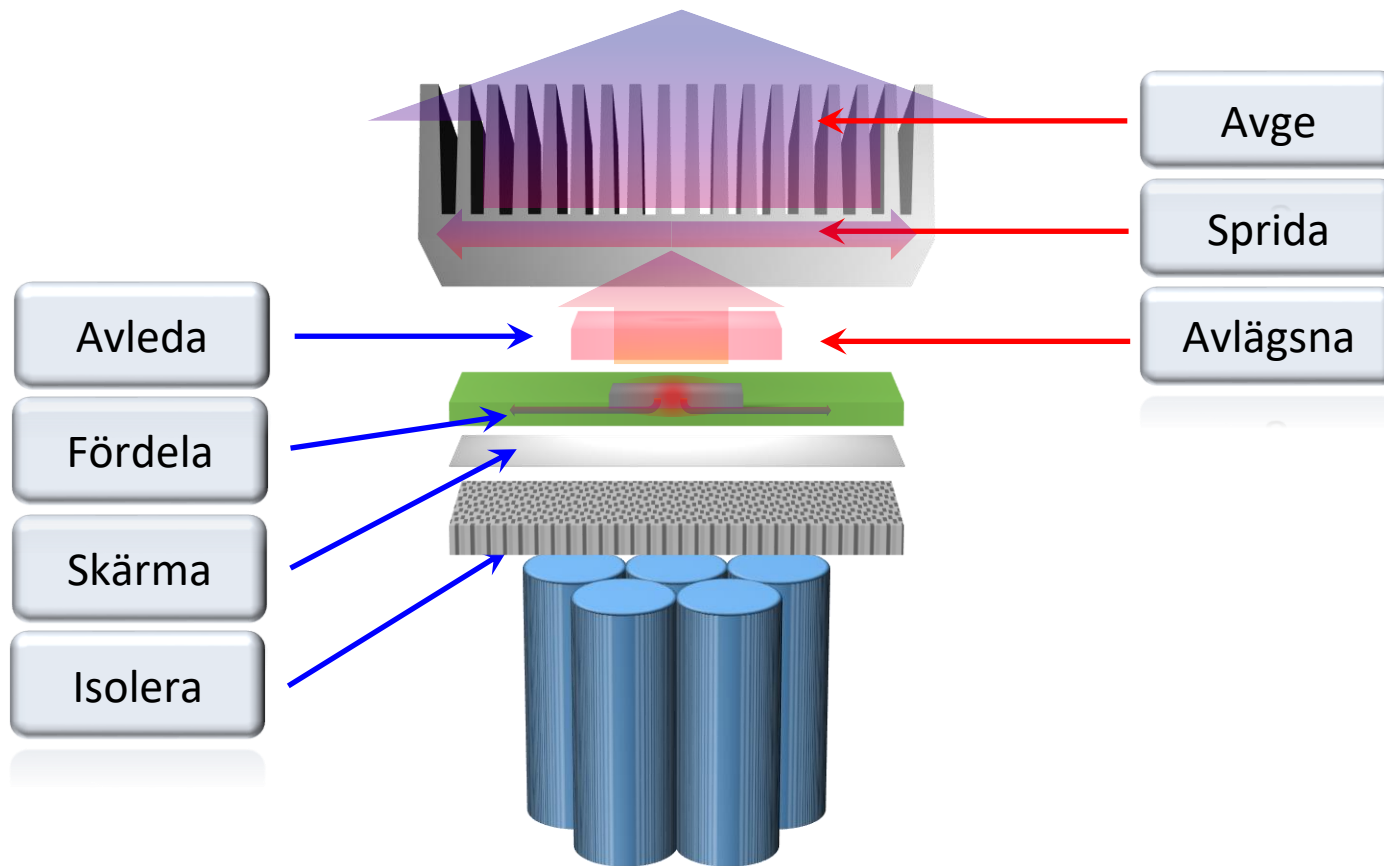
Thermal Management 101

2 – Skydda:



Kontrollera termiska gradienter och resistanser i i systemet så att värmekällor inte förorsakar förhöjd temperatur i värmekänsliga komponenter.

Thermal Management 101



Elektronikkylningens verktygslåda

Passiv kylning

Utnyttjar endast den naturliga värmegradienten för att driva värmeflödet

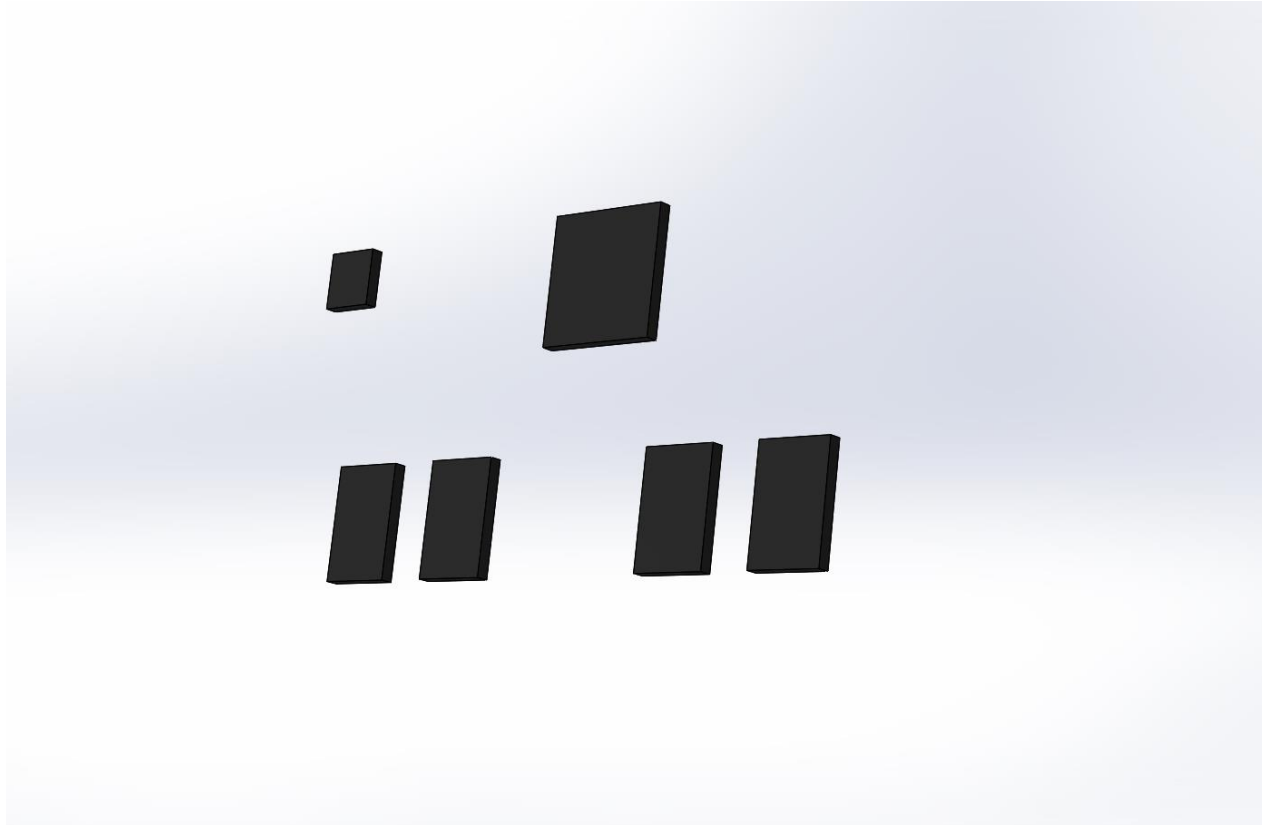
- T.ex.
- TIM
 - Värmespridare
 - Kylflänsar
 - Ytoptimering
 - Heat pipes/vapour chambers
 - PCM-kylare

Aktiv kylning

Utnyttjar en extern kraftkälla för att driva eller förstärka värmeflödet

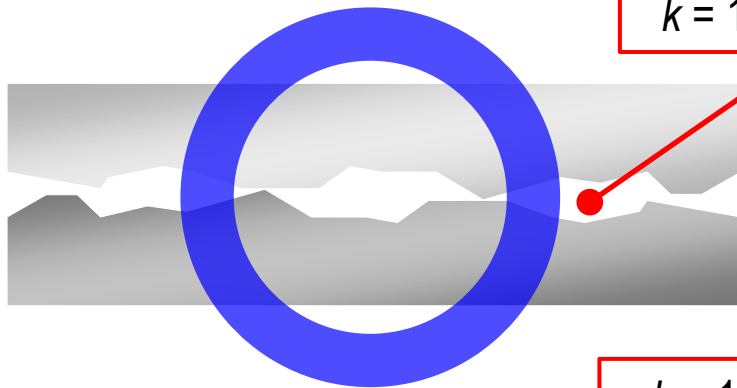
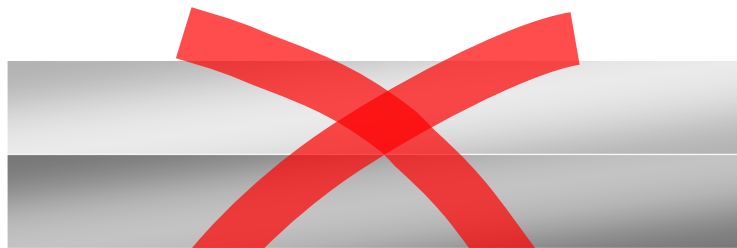
- T.ex.
- Fläktar
 - TEM
 - Kompressorkylare
 - Vätskekylning
 - Kompressorkylare

Termiska interface-material (TIM)



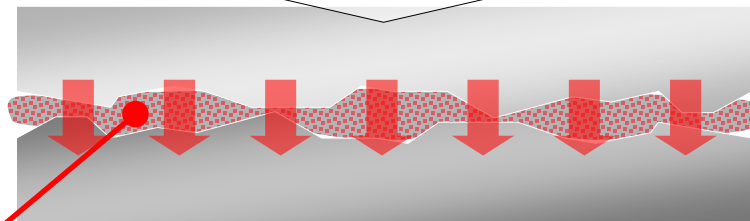
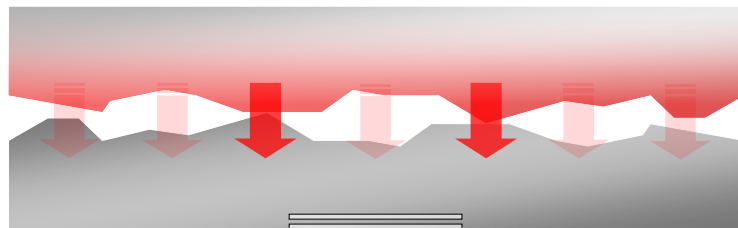
Vad gör TIM, egentligen?

$$R_{\theta} = \frac{\Delta x}{k \cdot A}$$



$k = 10^{-2} \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

$k = 10^{0-1} \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$



Huvudtyper av TIM

Thin Bondline

Material för lägsta möjliga termiska resistanser.

- Typisk bondline 10-150µm

Pasta

Phase
Change

Grafit

Film

Hårt, silikongummiklätt nät eller folie

- Typisk bondline 0.1-0.2mm
- Mycket höga DBV (>20kVAC/mm)

“Sil-Pad”

PSA-tejp

Thick Bondline — fogfyllande

Mjuka material som kan hantera stora gap och grova toleranser.

- Typisk bondline 0.2-4.0mm

Gap-pads

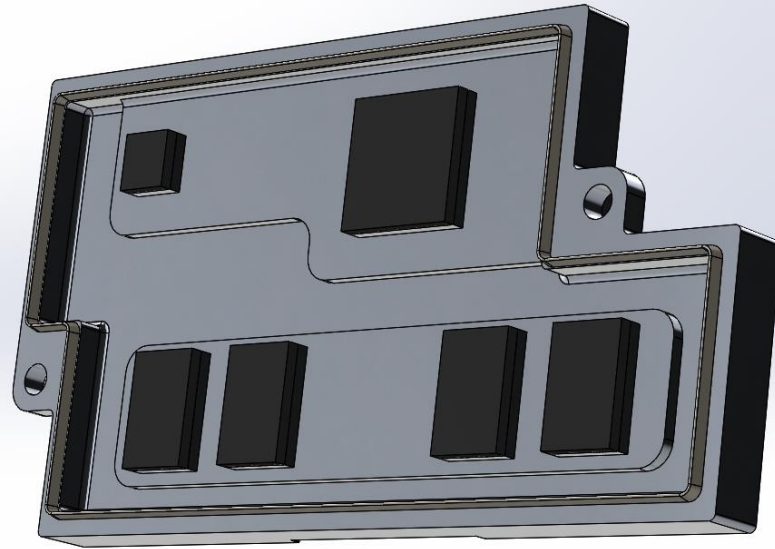
2-p fillers

1-p fillers

TIM



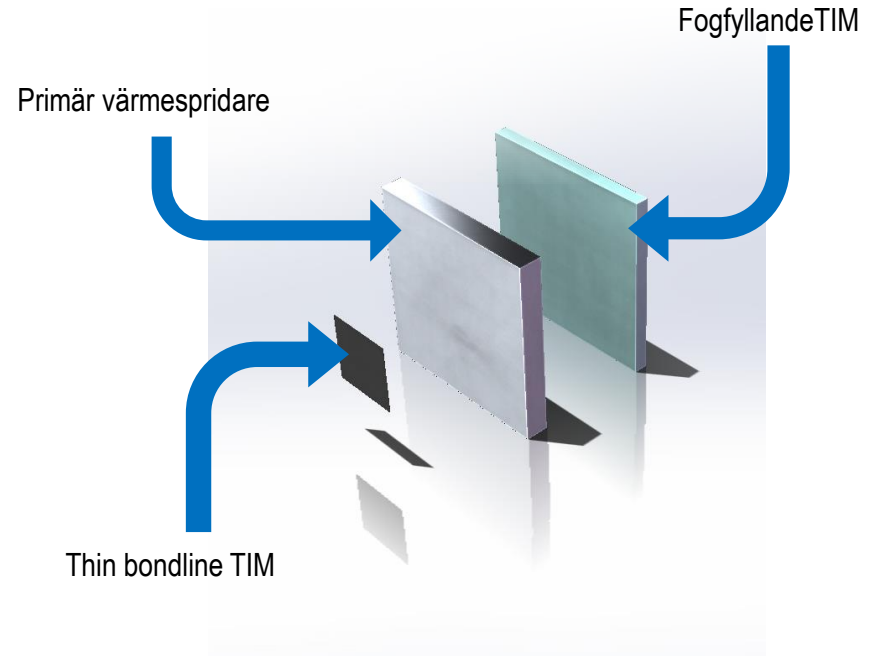
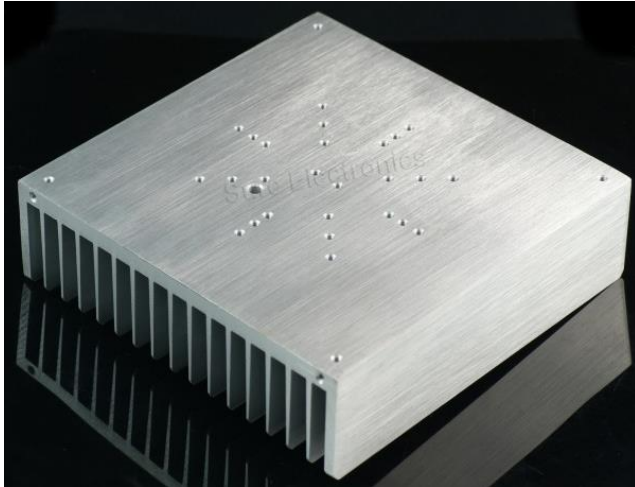
Värmespridare



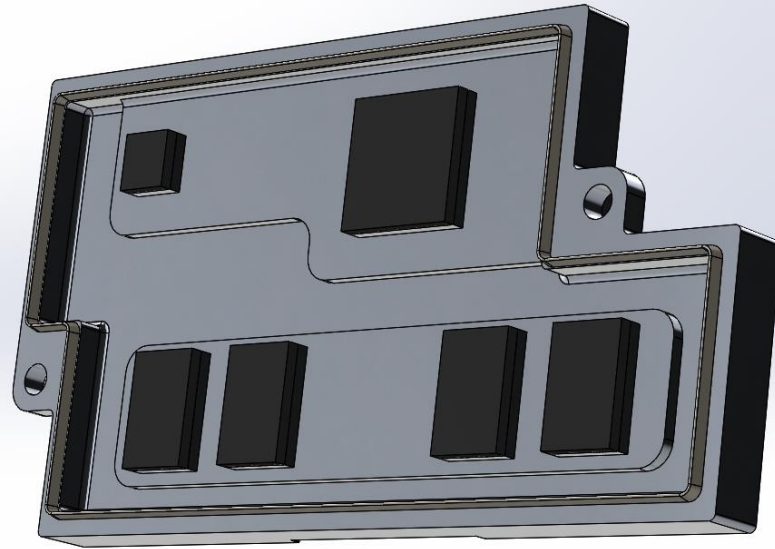
Värmespridare

$$t_1 - t_2 = \frac{\dot{Q} \cdot L}{k \cdot A}$$

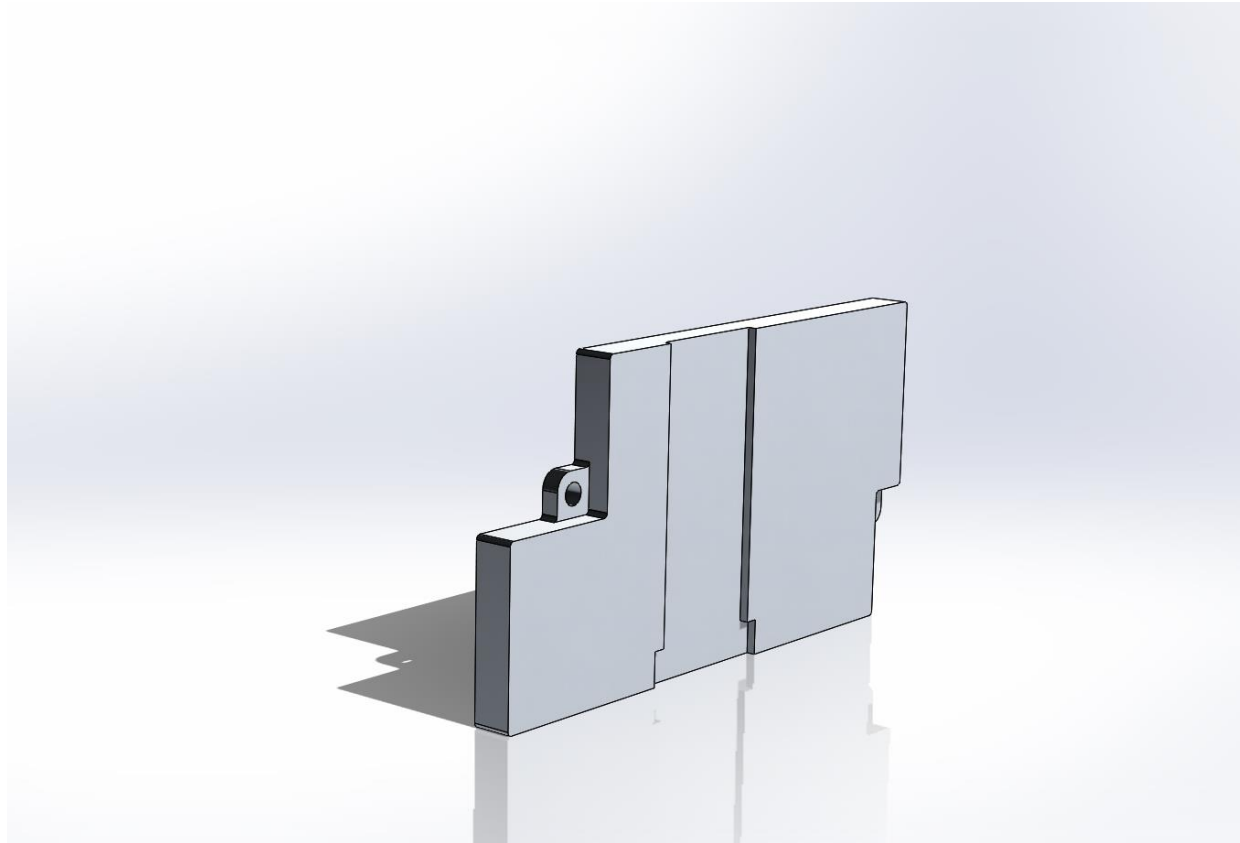
$$R_{\theta} = \frac{L}{k \cdot A}$$



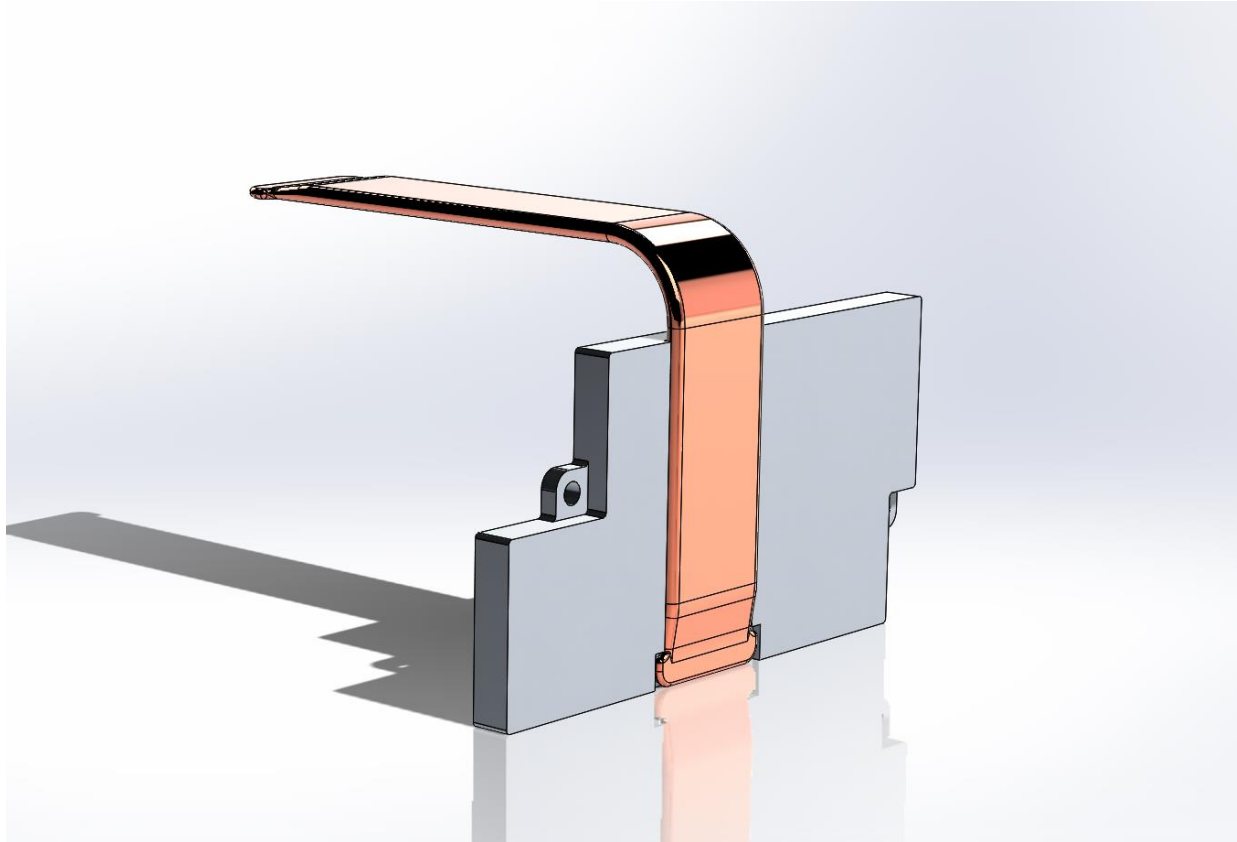
Värmespridare



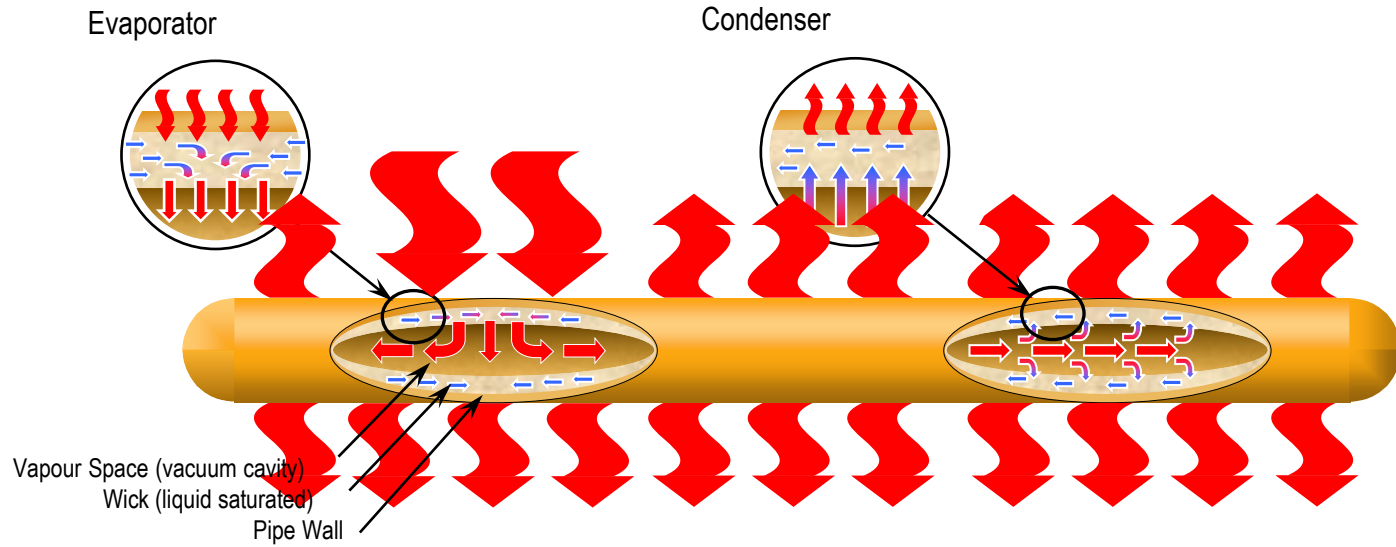
Värmespridare



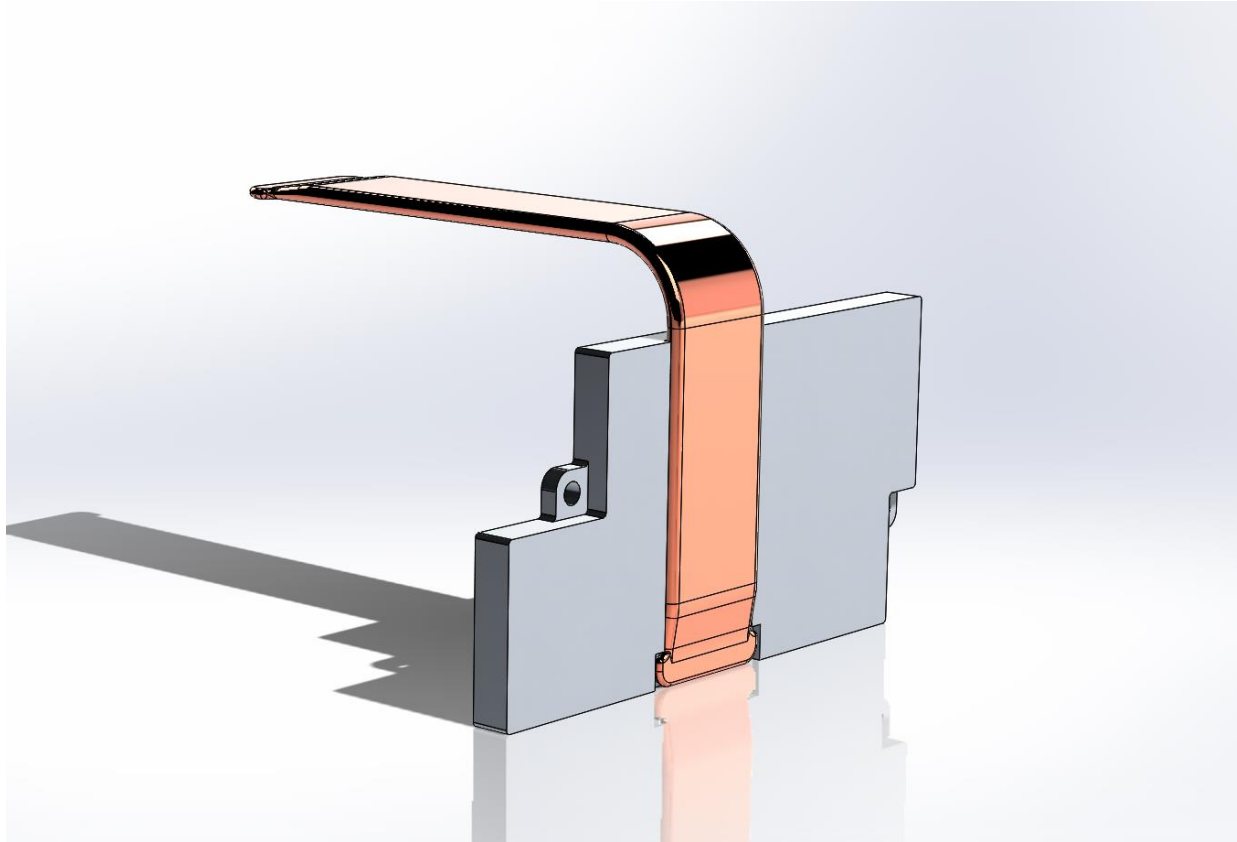
Heat Pipes



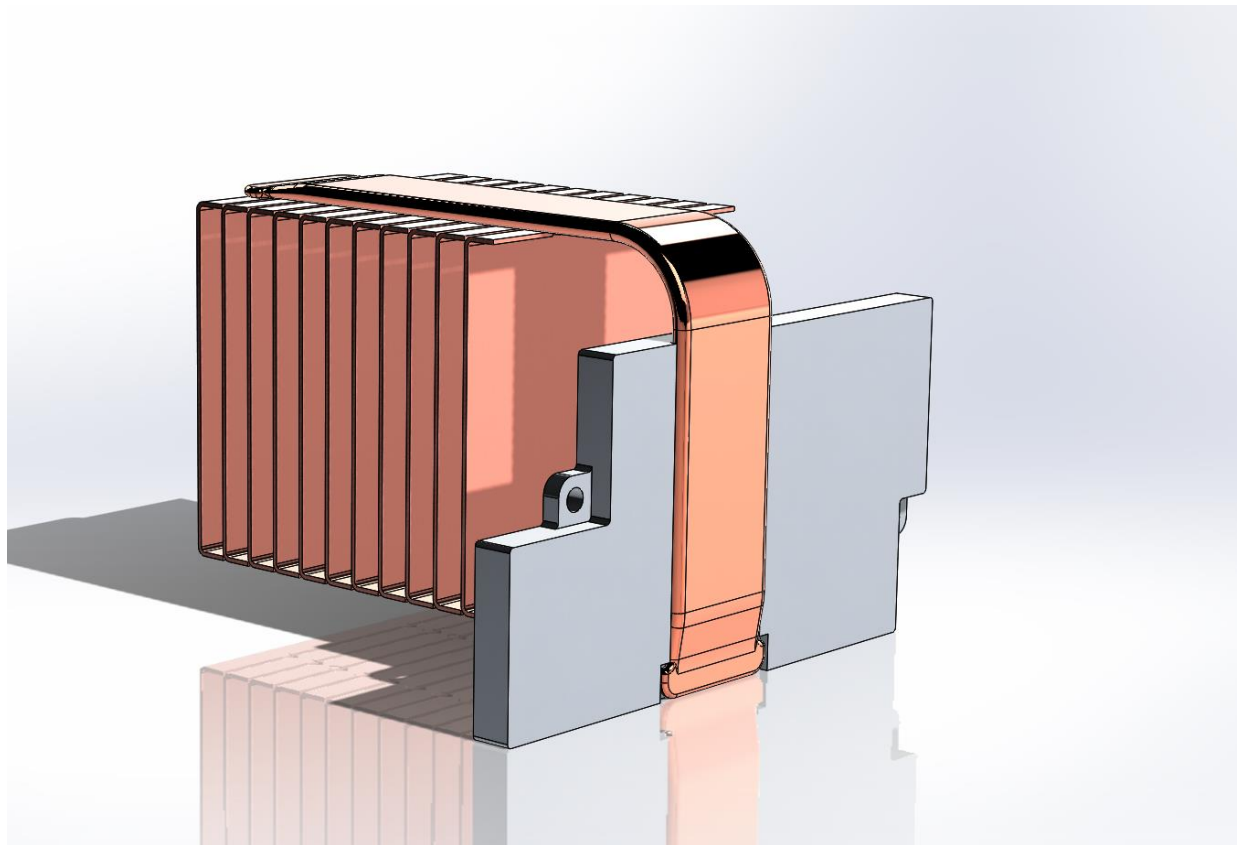
Heat Pipes



Heat Pipes



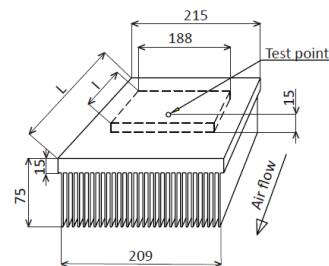
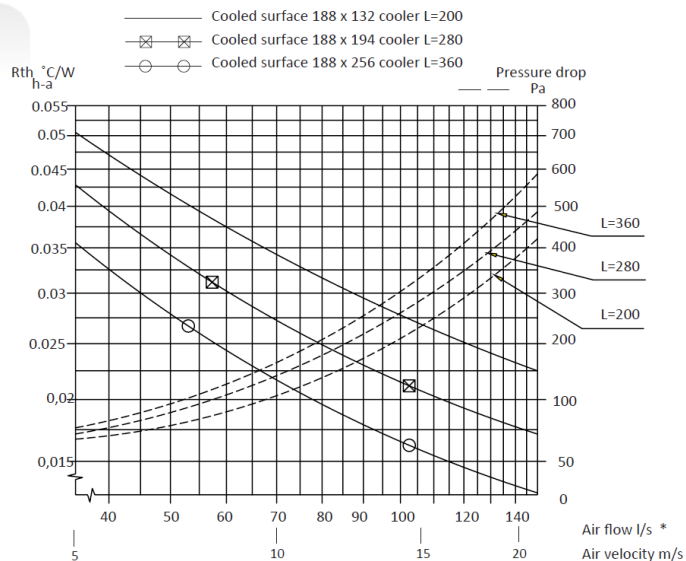
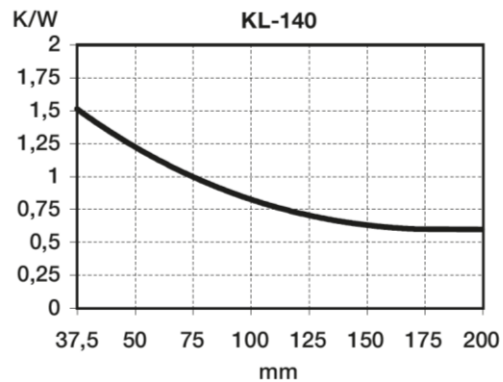
Kylflänsar



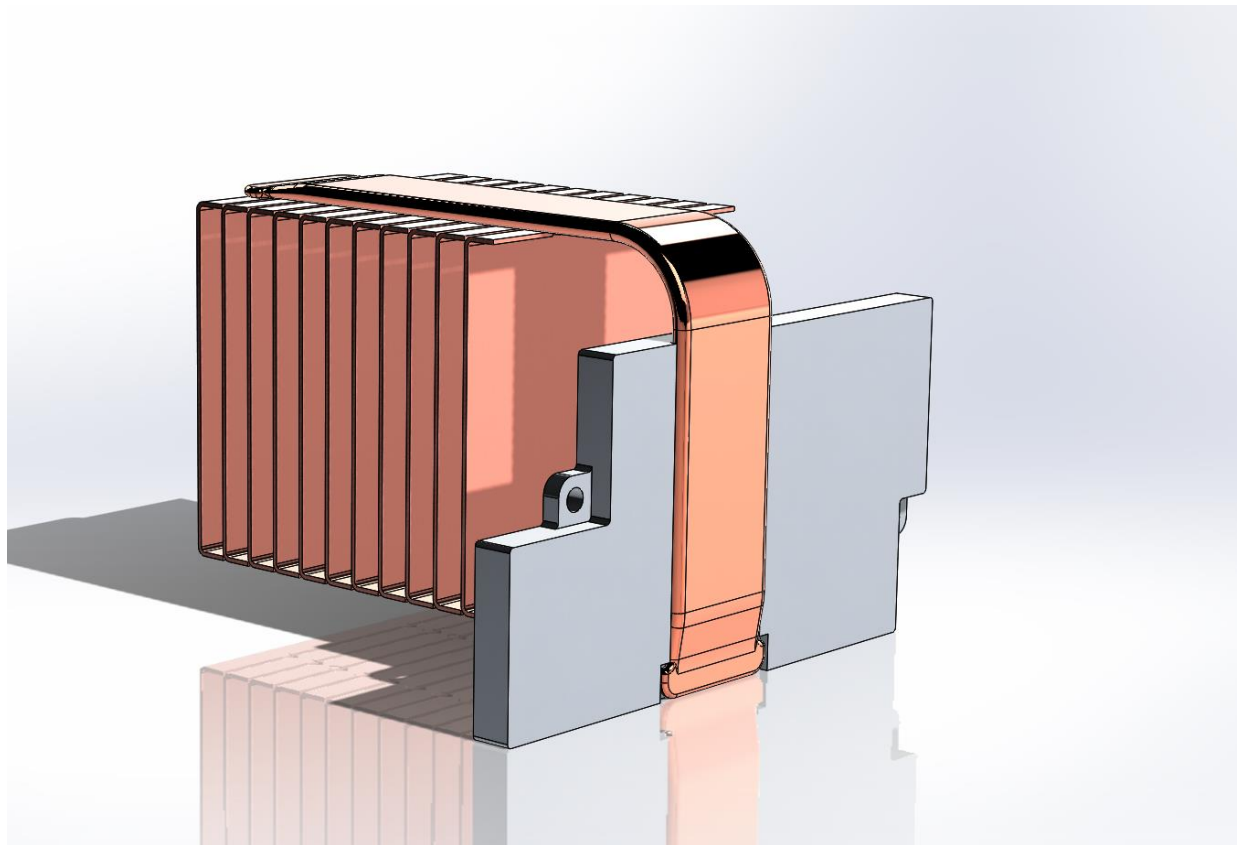
Kylflänsar

$$t_s - t_\infty = \frac{\dot{Q}}{h \cdot A}$$

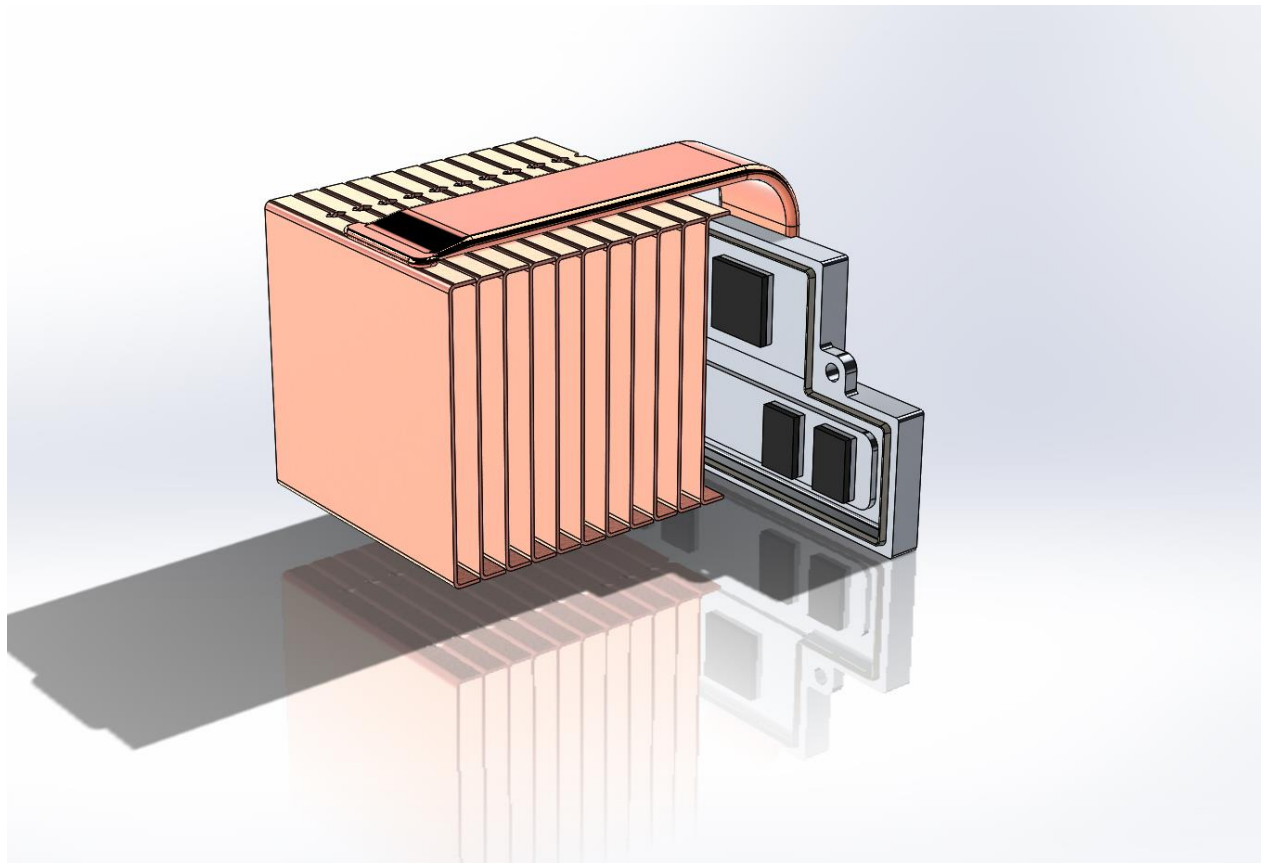
$$R_\theta = \frac{1}{h \cdot A}$$



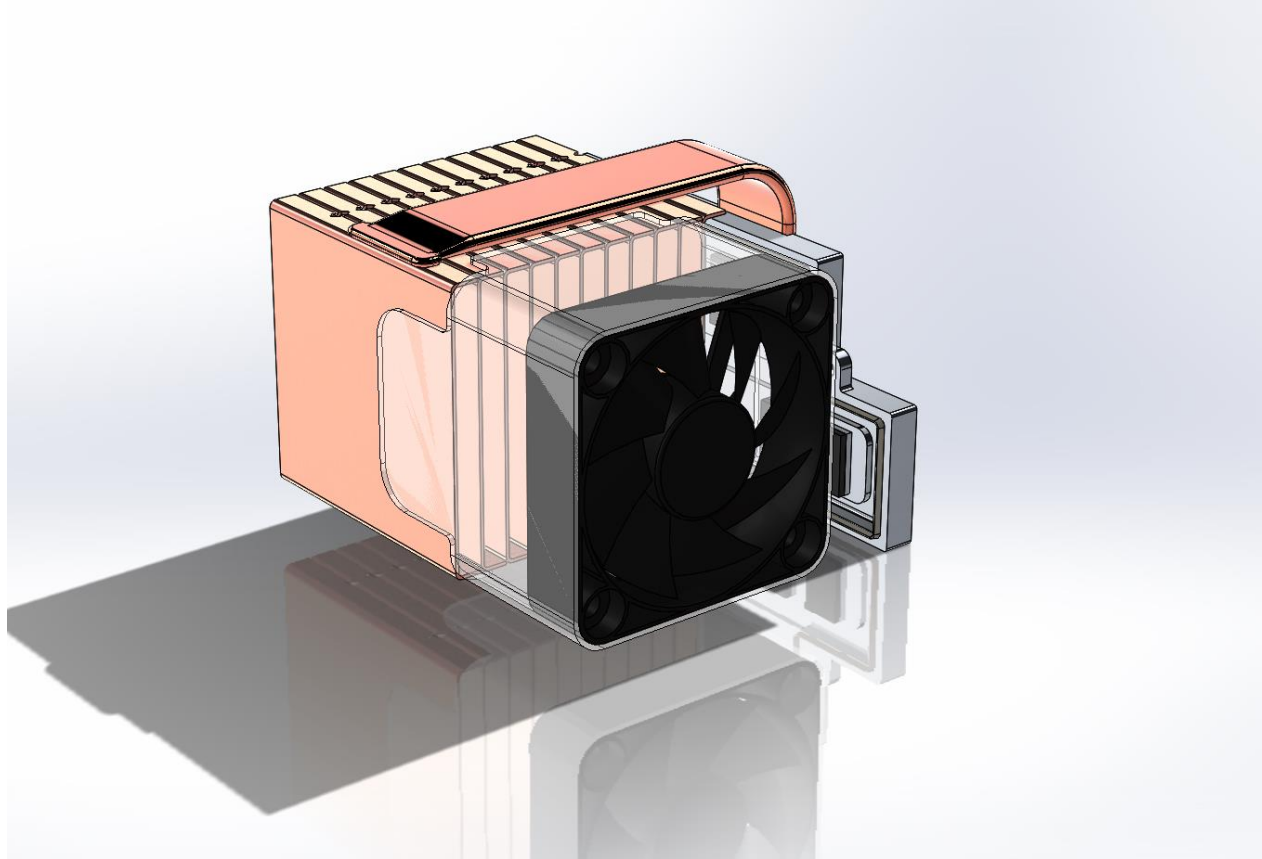
Kylflänsar



Kylflänsar



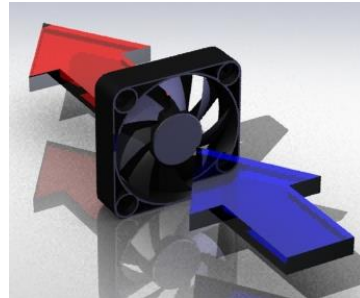
Fläktar



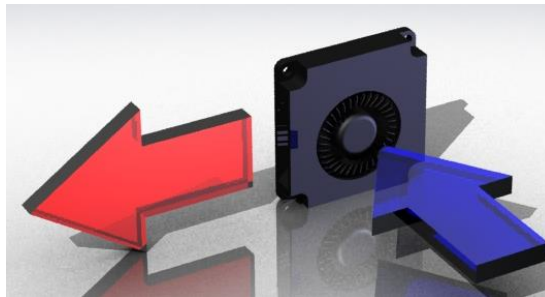
Fläktar

Mekanism	h spann	h typisk
Naturlig	3 – 20	5 W/(m ² ·K)
Forcerad	10 – 200	50 W/(m ² ·K)

Axialfläktar



Radial-/centrifugalfäktar



Fläktar

Fläktdatablad anger ett maxflöde och ett max statiskt tryck.

Men:

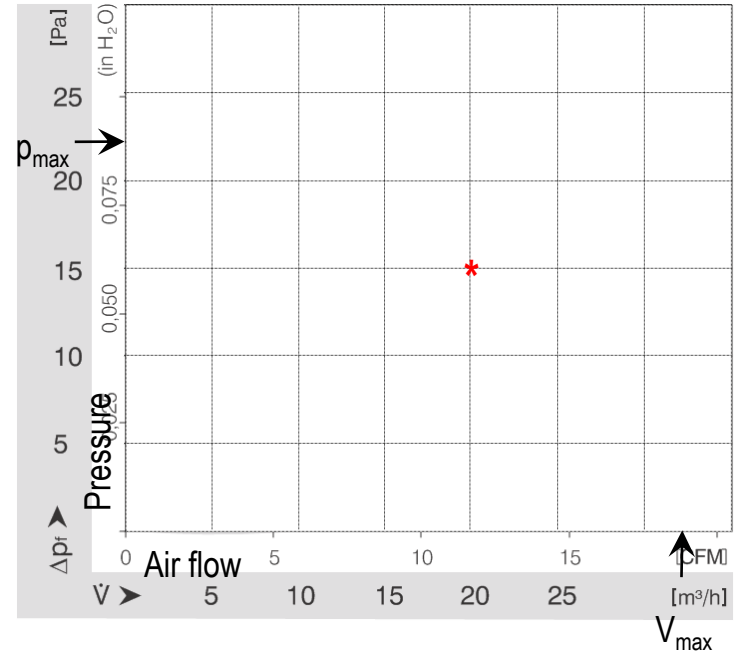
- Antag ett behov av $V=20\text{m}^3/\text{h}$ vid $p=15\text{Pa}$
- Antag en fläkt spec med $V_{\text{max}}=32\text{m}^3/\text{h}$ och $p_{\text{max}}=22\text{Pa}$

Funkar, inte sant?

Inte sant!

För att specifikationen anger

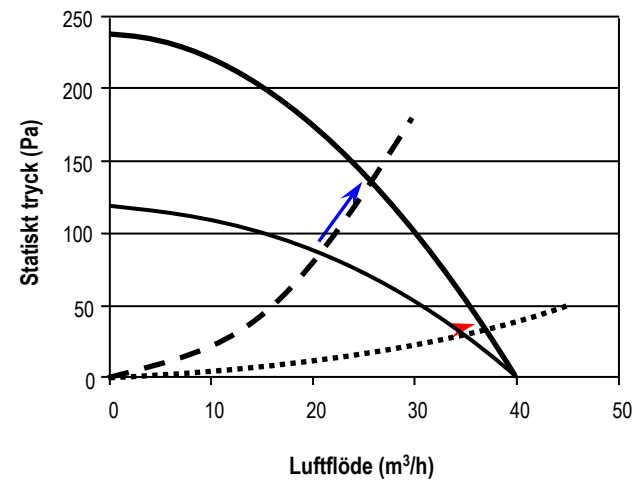
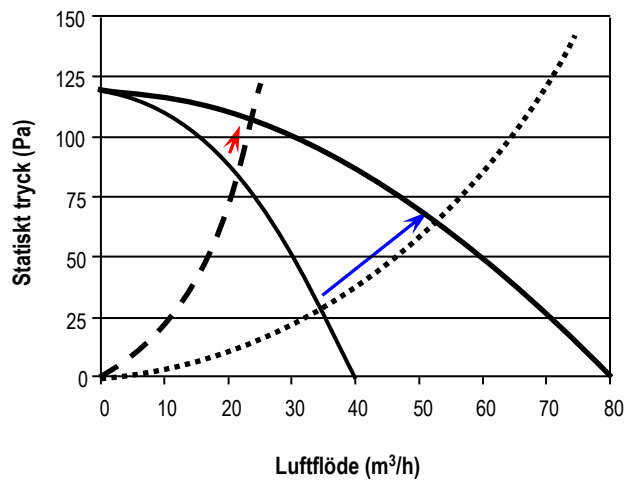
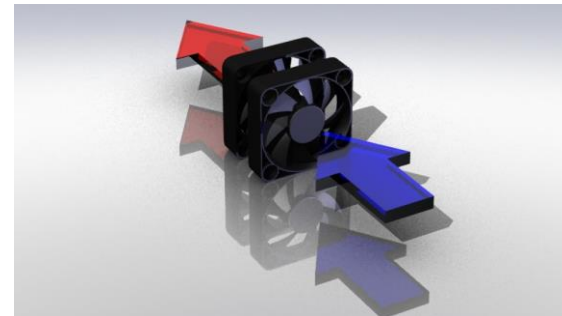
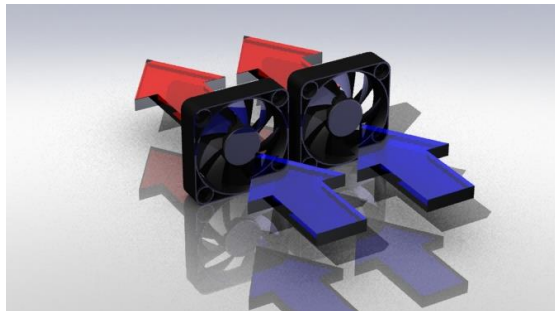
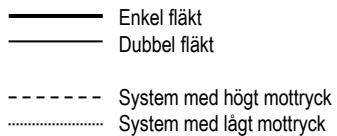
V_{max} @ $p=0$ och p_{max} @ $V=0$.



Fläktar

Enkel mot dubbel fläkt

- ▶ Dubbla **parallella** fläktar dubblar **luftflödet**
- ▶ Dubbla **seriella** fläktar dubblar **trycket**



Cool Sweden Initiative

Elektronikkylning som problemområde är av snabbt ökande strategisk vikt för elektronikindustrin, men erhåller detta till trots begränsad fokus från akademi och institutioner.

Detta är potentiellt problematiskt utifrån ett perspektiv att vilja säkerställa Sveriges ledande position som elektronikproducerande nation på sikt.

Initiativet avser skapa branschnätverk och samla Thermal Management-kompetens inom svensk elektronikindustri för att börja råda bot på detta.

Ingångsvärden till initiativet och vissa diskussioner från första workshopen behandlas i artikel:
<https://www.linkedin.com/pulse/elektronik-hetare-%C3%A4n-n%C3%A5gonsin-jussi-myllyluoma/>

Cool Sweden Initiative (CSI)

Initiativet nås enklast via följande kontaktuppgifter:

Telefon: +46 (0)73 – 334 13 02

Email: jussi.myllyluoma@smartareelektroniksystem.se

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/in/myllyluoma/>

Initiativet samt de frågor som initiativet avser påverka har även behandlats bl.a. i följande artiklar och intervjuer:

Electronic Environment nr. 1 2020 s.20-23: "Elektronik är hetare än någonsin"

Electronic Environment nr. 2 2020 s.24-25: "Nytt nätverk ska lyfta fram kylning av elektronik"

Electronic Environment nr. 3 2020 s.14-16: "Optimerade aluminiumkomponenter allt viktigare för kylning på systemnivå"

Electronic Environment nr. 4 2020 s.27-30: "Vad handlar värme och elektronikkyllning om, och varför skall jag bry mig?"

Elektroniktidningen nr. 11, Nov.2020 s.16-17: "När slår vi i värmetaket?"

Electronic Environment nr. 1 2021 s.26-28: "Thermal Management i Sverige — kompetensbrist på flera nivåer"