



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Elektronikus Eszközök Tanszéke

# Elektronika alapjai

## 11. Gyakorlat

Összeállította:

Ress Sándor, Jani Lázár, Krammer Olivér, Straubinger Dániel

**1. Feladat** - Egy retrofit LED világítótest tápegységébe olyan elektrolit kondenzátorokat szerelnek, amelyek várható élettartama 2000 h 105 °C-on. A belső hőmérséklet az 50 °C-ot nem haladja meg. A kereskedő 3 év garanciát vállal.



**A.** Érdemes-e megőrizni a vásárláskor kapott számlát?

MéRNÖKI közelítés az elektrolit kondenzátor esetére:

10 °C hőmérséklet csökkenés kétszeres élettartamot eredményez

Ekkor a várható élettartam:

- Ismert: gyártó általi élettartam: 2000 óra @ 105 °C
- Esetünkben a működési hőmérséklet: 50 °C

Ez alapján egyszerűen felírható:

$$t_{MTTF} = 2000 \cdot 2^{\frac{105-50}{10}} \approx 10 \text{ év}$$

**1. Feladat** - Egy retrofit LED világítótest tápegységébe olyan elektrolit kondenzátorokat szerelnek, amelyek várható élettartama 2000 h 105 °C-on. A belső hőmérséklet az 50 °C-ot nem haladja meg. A kereskedő 3 év garanciát vállal.



**B.** Keressünk bele olyan kondenzátort, ami épphogy kibírja a garanciális időszakot. Hány óra legyen az élettartama 85°C-on?

A probléma az előzőhöz hasonló, csak visszafelé.

Mekkora élettartam változást okoz a 85 °C-os hőmérséklet?

$$\text{A változás: } 2^{\frac{50-85}{10}} = 2^{-3,5}$$

Az eredeti 3 évből (ami 50 °C esetén érvényes) így:

$$t_{F85} = 3 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 2^{-3,5} \cong 2323 \text{ óra}$$

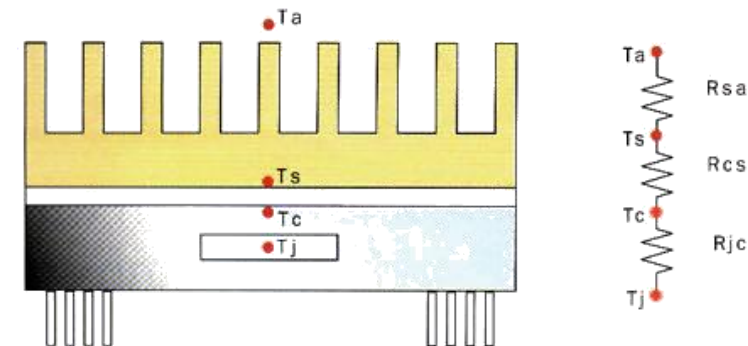
Ezt valamivel méretezzük túl, legyen pl. 2500 óra élettartamú a választott alkatrész!

**2. Feladat** - Egy mikroprocesszor adatai a következők:  $TDP=20\text{ W}$ ,  $R_{thjc} = 0,3\frac{\text{K}}{\text{W}}$ . A processzorra egy  $0,7\frac{\text{K}}{\text{W}}$  hőellenállású hűtőrendszer kerül. A processzor felszíne  $2\text{ cm}^2$ , a processzor és a hűtőborda közé pedig átlagosan  $60\text{ }\mu\text{m}$  vastagságú hővezető pasztát viszünk fel, amelynek hővezetési tényezője  $1\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ .

**A.** Mekkora lesz a processzor belső hőmérséklete, ha környezetének hőmérséklete  $22^\circ\text{C}$ ?

A már ismert villamos mennyiségeknek megfeleltethetők a termikus mennyiségek, és használhatóak az ismert módszertanok.

Villamos mennyiség	Termikus mennyiség
Feszültség ( $U$ [V])	Hőmérséklet ( $T$ [K])
Kapacitás ( $C$ [F])	Hőkapacitás ( $C_{th} = \rho c_{th} V [\frac{\text{J}}{\text{K}}]$ )
Ellenállás ( $R$ [ $\Omega$ ])	Hőellenállás ( $R_{th} [\frac{\text{K}}{\text{W}}]$ )
Áram ( $I = \frac{U}{R}$ [A])	Hőáram ( $P = \frac{\Delta T}{R_{th}}$ [W])



**2. Feladat** - Egy mikroprocesszor adatai a következők:  $TDP=20\text{ W}$ ,  $R_{thjc} = 0,3\frac{\text{K}}{\text{W}}$ . A processzorra egy  $0,7\frac{\text{K}}{\text{W}}$  hőellenállású hűtőrendszer kerül. A processzor felszíne  $2\text{ cm}^2$ , a processzor és a hűtőborda közé pedig átlagosan  $60\text{ }\mu\text{m}$  vastagságú hővezető pasztát viszünk fel, amelynek hővezetési tényezője  $1\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ .

**A.** Mekkora lesz a processzor belső hőmérséklete, ha környezetének hőmérséklete  $22^\circ\text{C}$ ?

Számítsuk ki a rendszer hőellenállását!

A processzor és a hűtő között felírhatjuk:

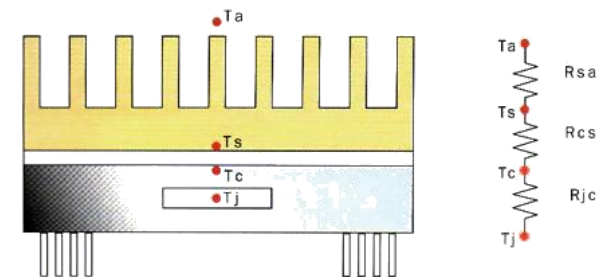
$R_{CS} = \frac{1}{\lambda} \frac{L}{A} \left[\frac{\text{K}}{\text{W}}\right]$ , ahol  $\lambda$  a hővezetés,  $L$  a jellemző hossz,  $A$  pedig a felület.

A feladat alapján behelyettesítve:

$$R_{CS} = \frac{1}{\lambda} \frac{L}{A} = \frac{1}{1} \frac{60 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-4}} = 0,3 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

Minden más, összegezzünk:

$$R_{TH} = R_{JC} + R_{CS} + R_{SA} = 0,3 + 0,3 + 0,7 = 1,3 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$



**2. Feladat** - Egy mikroprocesszor adatai a következők:  $TDP=20\text{ W}$ ,  $R_{thjc} = 0,3\frac{\text{K}}{\text{W}}$ . A processzorra egy  $0,7\frac{\text{K}}{\text{W}}$  hőellenállású hűtőrendszer kerül. A processzor felszíne  $2\text{ cm}^2$ , a processzor és a hűtőborda közé pedig átlagosan  $60\text{ }\mu\text{m}$  vastagságú hővezető pasztát viszünk fel, amelynek hővezetési tényezője  $1\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ .

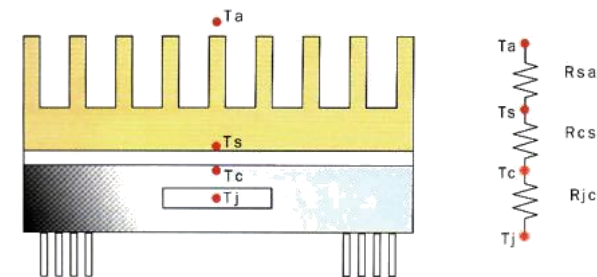
**A.** Mekkora lesz a processzor belső hőmérséklete, ha környezetének hőmérséklete  $22^\circ\text{C}$ ?

A hőmérséklet megváltozása:

$$\Delta T = P \cdot R_{TH} = 20 \cdot 1,3 = 26\text{ }^\circ\text{C}$$

Így a processzor hőmérséklete:

$$T' = T + \Delta T = 22 + 26 = 48\text{ }^\circ\text{C}$$



**2. Feladat** - Egy mikroprocesszor adatai a következők:  $TDP=20\text{ W}$ ,  $R_{thjc} = 0,3\frac{\text{K}}{\text{W}}$ . A processzorra egy  $0,7\frac{\text{K}}{\text{W}}$  hőellenállású hűtőrendszer kerül. A processzor felszíne  $2\text{ cm}^2$ , a processzor és a hűtőborda közé pedig átlagosan  $60\text{ }\mu\text{m}$  vastagságú hővezető pasztát viszünk fel, amelynek hővezetési tényezője  $1\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ .

**B.** Mekkora lehet a maximális teljesítmény, ha a belső hőmérséklet max.  $85\text{ }^\circ\text{C}$  lehet?

Ismerjük a megengedett maximális hőmérsékletet. Mekkora hőmérséklet emelkedést jelent ez (a környezethez képest)?

$$\Delta T = 85 - 22 = 63\text{ }^\circ\text{C}$$

Mekkora teljesítmény tartozik ekkora hőmérséklet emelkedéshez?

$$\Delta T = 63 = P_{max} \cdot R_{th}$$

$$P_{max} = \frac{63\text{ }^\circ\text{C}}{1,3\frac{\text{K}}{\text{W}}} = 48,46\text{ W}$$

**2. Feladat** - Egy mikroprocesszor adatai a következők:  $TDP=20\text{ W}$ ,  $R_{thjc} = 0,3\frac{\text{K}}{\text{W}}$ . A processzorra egy  $0,7\frac{\text{K}}{\text{W}}$  hőellenállású hűtőrendszer kerül. A processzor felszíne  $2\text{ cm}^2$ , a processzor és a hűtőborda közé pedig átlagosan  $60\text{ }\mu\text{m}$  vastagságú hővezető pasztát viszünk fel, amelynek hővezetési tényezője  $1\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ .

- C. Mennyit növekszik meg a processzor hőmérséklete, ha a TIM hővezetőképessége kiszáradás miatt az ötödére csökken?

*TDP: Thermal Design Power*

*TIM: Thermal Interface Material (jelen esetben a hővezető paszta)*

$$\lambda'_{TIM} = \frac{1}{5} \lambda_{TIM}, \text{ azaz: } R'_{CS} = 5R_{CS}$$

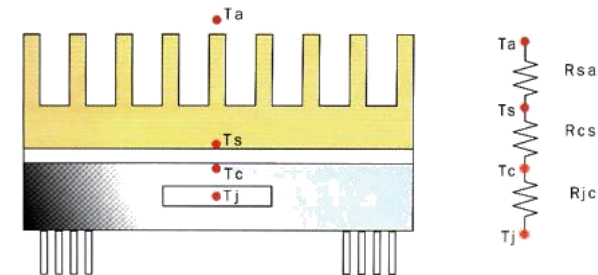
A teljes rendszer hőellenállása:

$$R_{TH}' = R_{JC} + R'_{CS} + R_{SA} = 0,3 + 1,5 + 0,7 = 2,5\frac{\text{W}}{\text{K}}$$

$$\Delta T = P \cdot R'_{th} = 20 \cdot 2,5 = 50\text{ }^\circ\text{C}$$

Így a hőmérséklet:

$$T' = T + \Delta T = 22 + 50 = 72\text{ }^\circ\text{C (szemben az eredeti } 48\text{ }^\circ\text{C-al)}$$





**3. Feladat** - Egy mikroprocesszor adatai a következők:  $TDP=15W$ ,  $R_{jc}=0,25 \frac{K}{W}$ . Ekkor a processzor 1,5 V-os magfeszültséggel 2 GHz órajelfrekvencián üzemel. A processzor környezetében  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  a külső hőmérséklet.

**A.** Mekkora lehet a hűtőrendszer hőellenállása, hogy a processzor belső hőmérséklete a  $100^\circ\text{C}$ -ot ne haladja meg?

Ismert: megengedett maximális hőmérséklet, mekkora  $\Delta T$  társul ehhez?

$$\Delta T = 100 - 55 = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

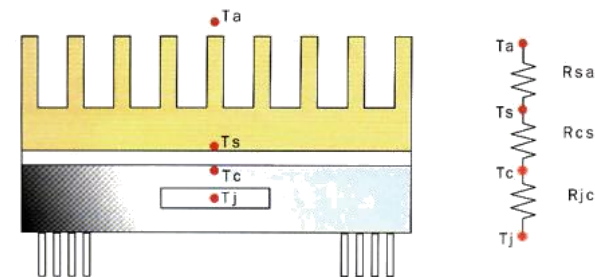
Az ehhez tartozó hőellenállás (teljes rendszer):

$$R_{th} = \frac{\Delta T}{P} = \frac{45}{15} = 3 \frac{K}{W}$$

$$\text{Ismert: } R_{jc} = 0,25 \frac{K}{W}$$

$$\text{A rendszerre igaz: } R_{th} = R_{jc} + R_{ca}$$

$$\rightarrow \text{így } R_{ca} = R_{th} - R_{jc} = 3 - 0,25 = 2,75 \frac{K}{W}$$



**3. Feladat** - Egy mikroprocesszor adatai a következők:  $TDP=15W$ ,  $R_{jc}=0,25 \frac{K}{W}$ . Ekkor a processzor 1,5 V-os magfeszültséggel 2 GHz órajelfrekvencián üzemel. A processzor környezetében 55 °C a külső hőmérséklet.

**B.** Tételezzük fel, hogy a hűtőventilátor meghibásodása miatt a hűtőrendszer hőellenállása kétszeresére növekedik, emiatt a mikroprocesszor automatikusan a legkisebb fogyasztású állapotba vált át, ahol a tápfeszültség 1V, az órajel frekvencia pedig 800MHz. Mekkora lesz így a processzor belső hőmérséklete? (Tételezze fel, hogy a fogyasztás nagy részét a töltéspumpálás okozza)

Összegezzük, hogy mi is változik:

$$R'_{th} = R_{jc} + R'_{ca} = 0,25 + 2 \cdot 2,75 = 5,75 \frac{K}{W}$$

$$f' = 800 \text{ MHz}, U' = 1 \text{ V}$$

Korábbi gyakorlaton láthattuk, hogy hogyan arányos a frekvenciával és a magfeszültséggel a fogyasztás, így a fogyasztások aránya:

$$\frac{P'}{P} = \frac{f' \cdot (V')^2}{f \cdot V} = \frac{800}{2000} \cdot \frac{1^2}{1,2^2} = 0,277$$

$$P' = 0,277 \cdot 15 \text{ W} = 4,166 \text{ W}$$

**3. Feladat** - Egy mikroprocesszor adatai a következők:  $TDP=15W$ ,  $R_{jc}=0,25 \frac{K}{W}$ . Ekkor a processzor 1,5 V-os magfeszültséggel 2 GHz órajelfrekvencián üzemel. A processzor környezetében  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  a külső hőmérséklet.

**B.** Tételezzük fel, hogy a hűtőventilátor meghibásodása miatt a hűtőrendszer hőellenállása kétszeresére növekedik, emiatt a mikroprocesszor automatikusan a legkisebb fogyasztású állapotba vált át, ahol a tápfeszültség 1V, az órajel frekvencia pedig 800MHz. Mekkora lesz így a processzor belső hőmérséklete? (Tételezze fel, hogy a fogyasztás nagy részét a töltéspumpálás okozza)

---

$$P' = 0,277 \cdot 15 \text{ W} = 4,166 \text{ W}$$

Ekkor a belső hőmérséklet:

$$T_j = T_{amb} + R'_{th}P' = 55 \text{ }^\circ\text{C} + 5,75 \cdot 4,16 = 79 \text{ }^\circ\text{C}$$

**4. Feladat** - A TMP35 hőmérsékletmérő szenzor tápfeszültsége 3 V, a szenzor árama  $50 \mu\text{A}$ ,  $R_{thjc} = 120 \frac{\text{K}}{\text{W}}$ . A szenzor érzékenysége  $10 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}}$ .

**A.** Mekkora hibát okoz az önfűtés?

---

Mekkora teljesítmény okoz önfűtést?

$$P = I \cdot V_{DD} = 50 \mu\text{A} \cdot 3 \text{ V} = 150 \mu\text{W}$$

Az ezáltal okozott hőmérsékletemelkedés:

$$\Delta T = P \cdot R_{TH} = 150 \mu\text{W} \cdot 120 \frac{\text{K}}{\text{W}} = 0,018 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Az ezáltal a szenzor kimenetén okozott feszültségváltozás (hiba):

$$\Delta V = S \cdot \Delta T = 0,18 \text{ mV}$$

**4. Feladat** - A TMP35 hőmérsékletmérő szenzor tápfeszültsége 3 V, a szenzor árama  $50 \mu\text{A}$ ,  $R_{thjc}=120 \frac{\text{K}}{\text{W}}$ . A szenzor érzékenysége  $10 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}}$ .

**B.** Hány bites A/D átalakító kellene, hogy ezt a hibát észre vegyük? Az A/D átalakító referencia feszültsége legyen a tápfeszültség, azaz 3 V.

Akkor tudjuk a hibát észrevenni, hogyha az kisebb az LSB-nél (Least Significant Bit).

$$V_{LSB} = \frac{V_{DD}}{2^N} < \Delta V$$

$$\frac{V_{DD}}{\Delta V} < 2^N$$

$$\log_2 \frac{V_{DD}}{\Delta V} < N \log_2 2$$

$$N > 14,02$$

Azaz 12 bites A/D esetében az önfűtésből okozott hiba kisebb, mint az LSB, de pl. 16 bites esetben már számba tudjuk venni.

**5. Feladat** - Egy 1 W-ot disszipáló alkatrészre egy szobahőmérsékletű  $1 \text{ cm}^3$ -es alumínium kockát helyezünk. A környezet hőmérséklete  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Az alumínium hővezetési tényezője  $237 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}}$ , sűrűsége  $2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ , fajlagos hőkapacitása  $0,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$ .

**A.** A legegyszerűbb közelítéssel élve hogyan alakul az alumínium kocka átlagos hőmérséklete?

Legegyszerűbb esetben az alumínium kockát közelítsük egy termikus R-C taggal (a villamos analógia itt is használható):

$$\tau = R_{th} C_{th} \cong 1 \text{ s}$$

Ahol:

$$R_{th} = \frac{1}{\lambda} \frac{L}{A} = \frac{1}{237} \frac{10^{-2}}{10^{-4}} = 0,422 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$C_{th} = c_{th} \cdot \rho \cdot V = 900 \cdot 2700 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 2,43 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

A kocka hőmérsékletváltozása az R-C tag termikus feltöltődése:

$$\Delta T(t) = P \cdot R_{th} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = 0,422 \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

**5. Feladat** - Egy 1 W-ot disszipáló alkatrészre egy szobahőmérsékletű  $1 \text{ cm}^3$ -es alumínium kockát helyezünk. A környezet hőmérséklete  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Az alumínium hővezetési tényezője  $237 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}}$ , sűrűsége  $2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ , fajlagos hőkapacitása  $0,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot^\circ\text{C}}$ .

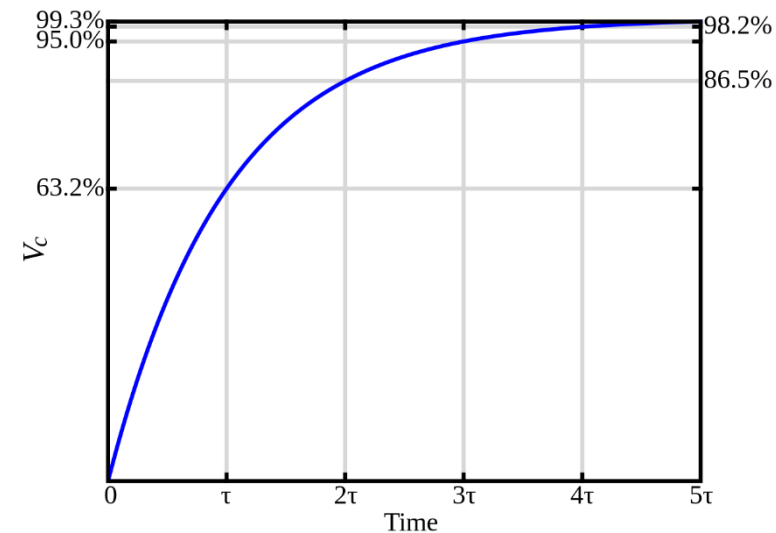
**B.** Hány másodperc múlva éri el a végleges hőmérsékletet?

Az időállandó alapján jó közelítéssel élhetünk:

$5\tau$  idő elteltével a végső hőmérséklet 99,3%-át érjük el, azaz jelen példában 5 másodperc alatt.

A hőmérséklet ekkor:

$$\begin{aligned} T' &= T + \Delta T = T + 0,422 \left(1 - e^{-\frac{5\tau}{\tau}}\right) \\ &= 25 + 0,419 = 25,419 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$



*Kondenzátor töltődése és az időállandó (forrás: Wikipédia)*

**6. Feladat** - Mekkora hő távozik hőátadással egy 2,5" HDD esetén, ha az a környezeténél 20°C-al magasabb hőmérsékletű és az

**A. Vízszintesen, gumi lapra van szerelve** (ezt hőszigetelőnek tekintjük), vagy rövidebb élével függőlegesen van szerelve a tartóra, szintén gumilap hőszigeteléssel



2,5" HDD form factor:  $L=100\text{mm} \times W=70\text{mm} \times H=9,5\text{mm}$

**Vízszintes eset:**

Előadás alapján, vízszintes esetben:  $h_{conv} = 1,32 \left(\frac{\Delta T}{L_c}\right)^{0,25} \frac{W}{m^2K}$

Függőleges falak esetében:  $h_{conv} = 1,42 \left(\frac{\Delta T}{L_c}\right)^{0,25} \frac{W}{m^2K}$



A karakterisztikus hossz meghatározása:  $L_c = \frac{4A}{p}$ , ahol A a felszín, p a kerület



**6. Feladat** - Mekkora hő távozik hőátadással egy 2,5” HDD esetén, ha az a környezeténél 20°C-al magasabb hőmérsékletű és az

**A. Vízszintesen, gumi lapra van szerelve** (ezt hőszigetelőnek tekintjük), vagy rövidebb élével függőlegesen van szerelve a tartóra, szintén gumilap hőszigeteléssel



2,5” HDD form factor: L=100mm × W=70mm × H=9,5mm

**Vegyük számba a hőátadási felületeket:**

- Az egyik nagyobb oldalán fekszik (hőszigetelő): a másik nagy oldala illetve az oldalfalak azok ahol történik hőátadás
- A vízszintes felületen a karakterisztikus hossz:

$$L_c = \frac{4 \cdot (100 \cdot 10^{-3} \cdot 70 \cdot 10^{-3})}{2 \cdot (100 + 70)} = 0,0823$$

- Ekkor a hőátadási együttható:

$$h_{conv, fekvő lap} = 1,32 \left( \frac{\Delta T}{L_c} \right)^{0,25} = 5,2109 \frac{W}{m^2 K}$$



**6. Feladat** - Mekkora hő távozik hőátadással egy 2,5" HDD esetén, ha az a környezeténél 20°C-al magasabb hőmérsékletű és az

**A. Vízszintesen, gumi lapra van szerelve** (ezt hőszigetelőnek tekintjük), vagy rövidebb élével függőlegesen van szerelve a tartóra, szintén gumilap hőszigeteléssel

2,5" HDD form factor: L=100mm × W=70mm × H=9,5mm

**Vegyük számba a hőátadási felületeket:**

- Az oldalfalak esetében a karakterisztikus hossz a magasságuk.
- Így a hőátadási együtthatók az alábbiak adódnak:

$$h_{conv,fal} = 1,42 \left( \frac{\Delta T}{9,5 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,25} = 9,6187 \frac{W}{m^2K}$$



- A konvektív hőátadás vízszintes esetben tehát:

$$\begin{aligned} P_{conv} &= h_{conv} A_s (\Delta T) \\ &= h_{c.,fekvöl.} \cdot \underline{100 \cdot 70 \cdot 10^{-6} \cdot 20} + 2 \cdot (h_{c.,fal} \cdot \underline{100 \cdot 10^{-3} \cdot 9,5 \cdot 10^{-3} \cdot 20} \\ &+ h_{c.,fal} \cdot \underline{70 \cdot 10^{-3} \cdot 9,5 \cdot 10^{-3} \cdot 20}) = 1,35 \text{ W} \end{aligned}$$

**6. Feladat** - Mekkora hő távozik hőátadással egy 2,5" HDD esetén, ha az a környezeténél 20°C-al magasabb hőmérsékletű és az

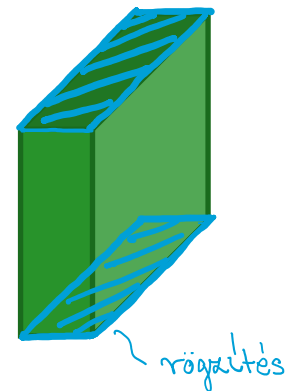
**A.** Vízszintesen, gumi lapra van szerelve (ezt hőszigetelőnek tekintjük), vagy **rövidebb élével függőlegesen van szerelve a tartóra**, szintén gumilap hőszigeteléssel

2,5" HDD form factor: L=100mm × W=70mm × H=9,5mm

**Vegyük számba a hőátadási felületeket:**

- A felső és alsó keskeny oldal mentén rögzítve, ezeket szigetelőnek tekintjük (nincs hőátadás)
- Hőátadás: a két nagyobb lapon, illetve a rövidebb oldalfalakon
- Ebben az esetben mindegyik fal függőleges:
  - Karakterisztikus hosszuk: a magasságuk (70mm)
  - Hőátadási együttható:

$$h_{conv,fal} = 1,42 \left( \frac{\Delta T}{70 \cdot 10^{-3}} \right)^{0,25} = 5,838 \frac{W}{m^2K}$$



**6. Feladat** - Mekkora hő távozik hőátadással egy 2,5" HDD esetén, ha az a környezeténél 20°C-al magasabb hőmérsékletű és az

**A.** Vízszintesen, gumi lapra van szerelve (ezt hőszigetelőnek tekintjük), vagy **rövidebb élével függőlegesen van szerelve a tartóra**, szintén gumilap hőszigeteléssel

2,5" HDD form factor:  $L=100\text{mm} \times W=70\text{mm} \times H=9,5\text{mm}$

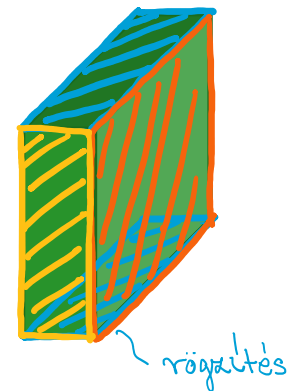
A konvektív hőátadás a függőleges esetben esetben tehát:

$$P_{conv} = h_{conv} A_s (\Delta T) = 5,838 \cdot 2(\underbrace{100 \cdot 70 \cdot 10^{-6}} + \underbrace{70 \cdot 9,5 \cdot 10^{-6}}) \cdot 20$$

$$P_{conv} = 1,79 \text{ W}$$

Összehasonlítva:

$$\frac{P_{függőleges}}{P_{vízszintes}} = \frac{1,79}{1,35} = 132,5\%$$



**6. Feladat** - Mekkora hő távozik hőátadással egy 2,5" HDD esetén, ha az a környezeténél 20°C-al magasabb hőmérsékletű és az

**B.** Mekkora közelítőleg a sugárzással távozó hő, mindkét esetben, ha a környezet 25°C-os?

$$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$T_{HDD} = 25^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C} = 318 \text{ K}$$

A sugárzási hőátadás:

$$P_{rad} = \epsilon A_s \sigma (T_S^4 - T_A^4) \text{ ahol } \sigma \text{ a Stefan-Boltzman állandó } (5,672 \cdot 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}^4})$$

Tökéletes emisszivitást feltételezve, vízszintes esetben:

$$P_{rad} = \sigma (A_{100.70} + 2A_{9,5.70} + 2A_{9,5.100}) (318^4 - 298^4) = 1,36 \text{ W}$$

Hasonlóképp a függőleges esetre:

$$P_{rad} = \sigma (2A_{100.70} + 2A_{9,5.100}) (318^4 - 298^4) = 2,04 \text{ W}$$