

III. LED konferencia

LED-es világítótestek hűtése

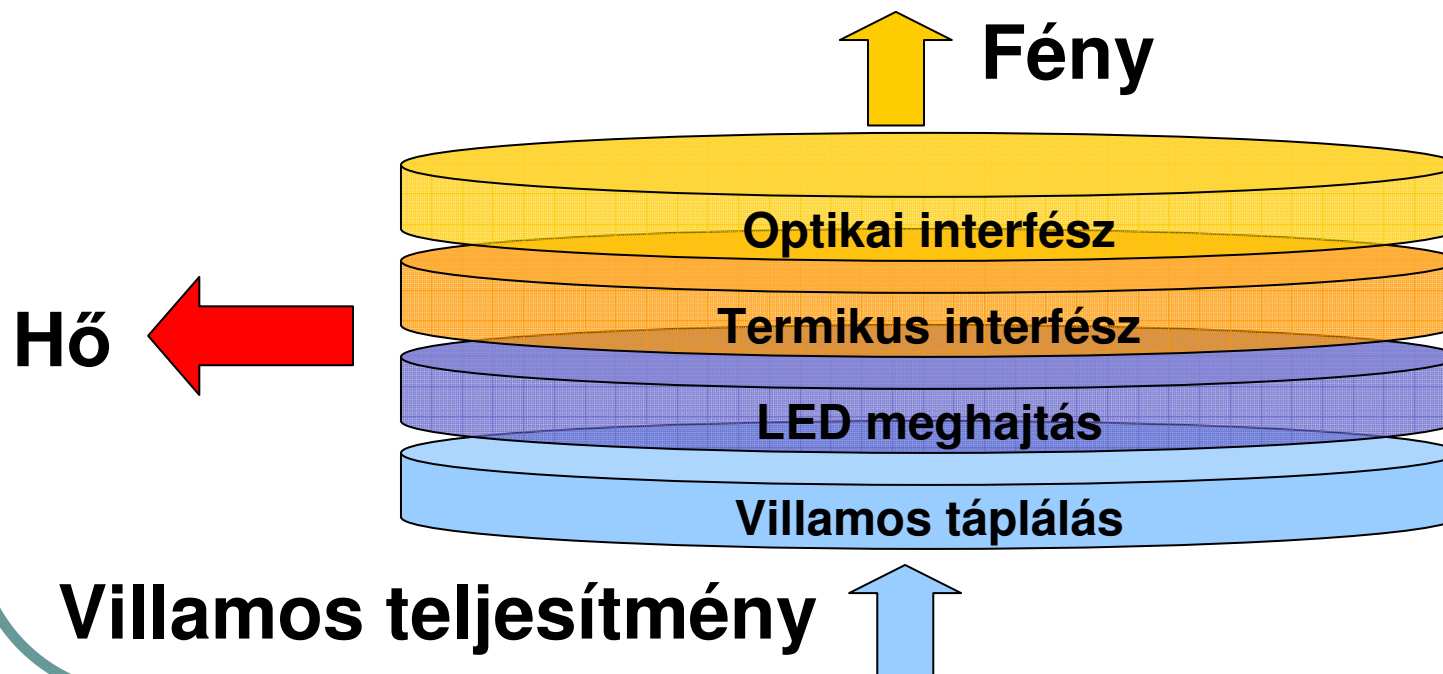
Lambert Miklós

lambert@milambi.hu

A LED mint világítóeszköz

Fizikai folyamat:

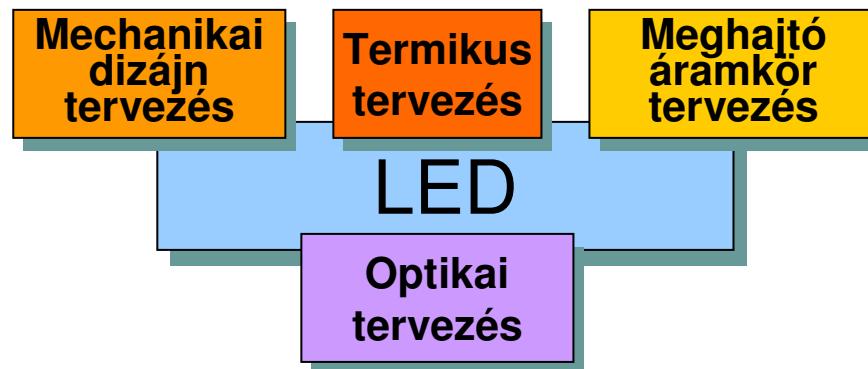
- A *pn* átmenetben folyó áram fotonokat gerjeszt
- A világításcélú LED látható fényt emittál
- Nincs ultraibolya fényemisszió (csak a speciális UV sugárzóknál)
- Nincs infravörös fényemisszió (csak a speciális IR sugárzóknál)
- A dióda termikus vesztesége csak **hővezetés** útján távolítható el



A LED-es világítóeszköz tervezési fázisai

Tervezési szempontok:

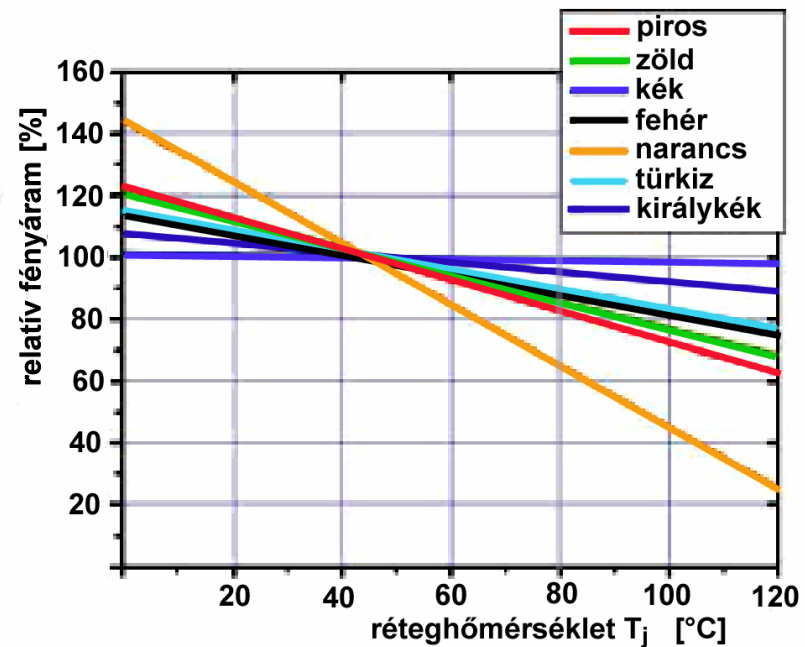
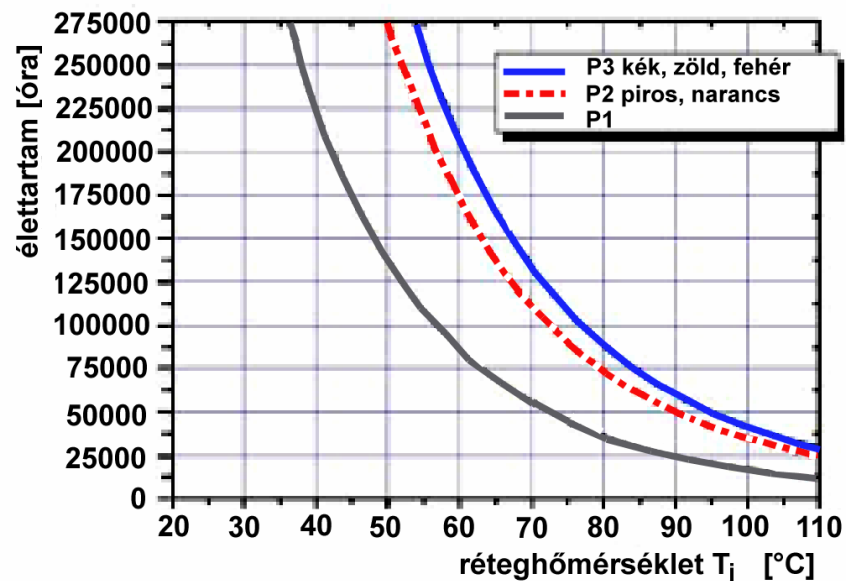
- A LED speciális félvezető dióda, árammal kell meghajtani
- A LED optikai tulajdonságai eltérnek a világítóeszköz kívánalmaitól, optikai illesztésre van szükség
- Mechanikai tervezéssel kell a környezethez illeszteni, megfelelő formatervezéssel kell az esztétikai és ergonómiai igényeket kielégíteni
- **A veszteségi hő eltávolításáról termikus tervezéssel kell gondoskodni**



Érdemes-e hűteni?

Érdemes!

- Fényáramban fehérnél ~20%/50 °C nyereség
- Élettartamban fehérnél ~150000 óra/30 °C növekedés



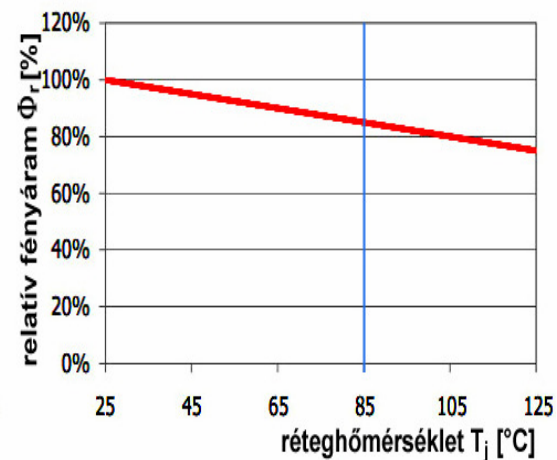
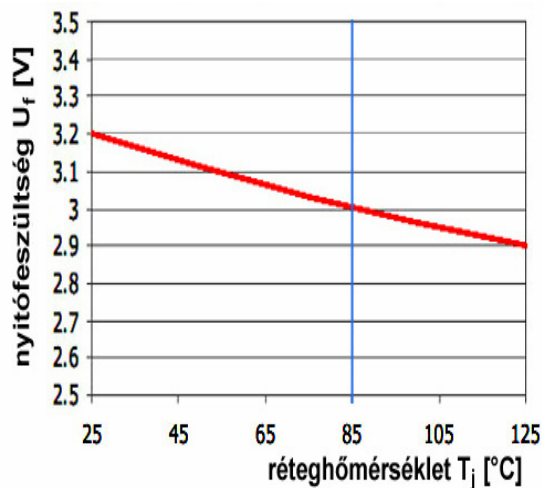
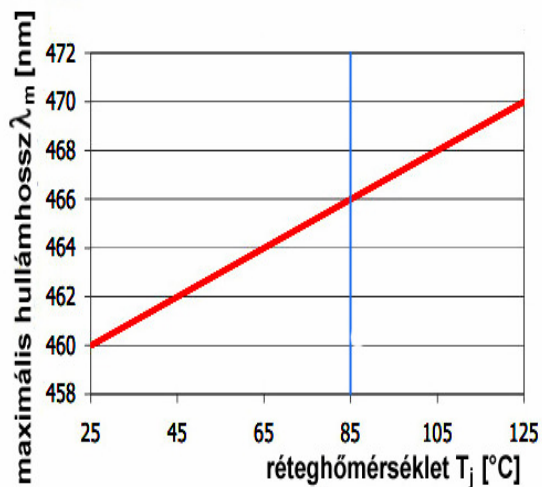
Hűtéstervezés

- 1. LED-es világítás villamos táplálása**
- 2. Disszipálendő teljesítmény meghatározása**
- 3. Hűtőfelület számítása, hűtőborda megválasztása**
- 4. Hűtési módszer megválasztása**
 - a) Természetes hűtés, hőátadás, termikus viák**
 - b) Hőátadást segítő módszerek**
 - i. Heat pipe**
 - ii. TIM fóliák**
 - iii. szilikonzsírok**
 - c) Mesterséges hűtés**
 - i. Ventilátoros**
 - ii. Peltier-elemes**
 - iii. SynJet rendszerű**
- 5. Mechanikai tervezés**
 - a) LED panelra ráépített tápegység (közös hűtés)**
 - b) Különálló tápegység: mindkettő külön hűtendő**

Veszteségek

A villamos energiával meghajtott LED-ből sugárzó hasznos fény mellett veszteségekkel kell számolni:

- Tápegység veszteség: (egyenirányító, konverter) 5...15%
- Optikai veszteség: (fényszórás, abszorpció) 5...10%
- **Termikus veszteség (járulékos hőmérsékleti hatások): 5...10%**



Az üzemi hőmérsékletet járulékos hűtéssel határolni kell, a T_j réteghőmérséklet ne haladja meg a +85 °C-t!

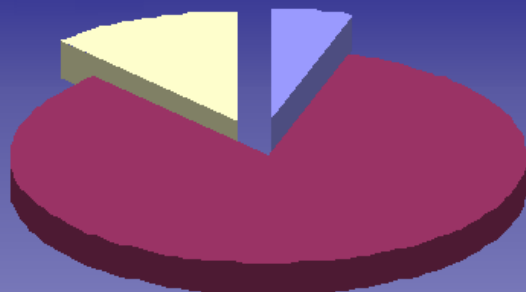
Termikus tervezés 1.

Fizikai alapok:

- Klasszikus világítótest hőt, fényt és haszontalan sugárzásokat termel, a keletkezett hő az alkatrészeket nem befolyásolja
- A LED fényhasznosítási hatásfoka jobb (~80...140 lm/W), de a keletkezett veszteségi hő a működést befolyásolja, korlátozza
- A keletkezett hőt a LED-től **hővezetéssel** kell kivonni és alkalmas módszerrel a környezetbe disszipálni

100 W-os izzólámpa

disszipált hő: **12%** fény: 5%



infra sugárzás: 83%

Teljesítmény LED

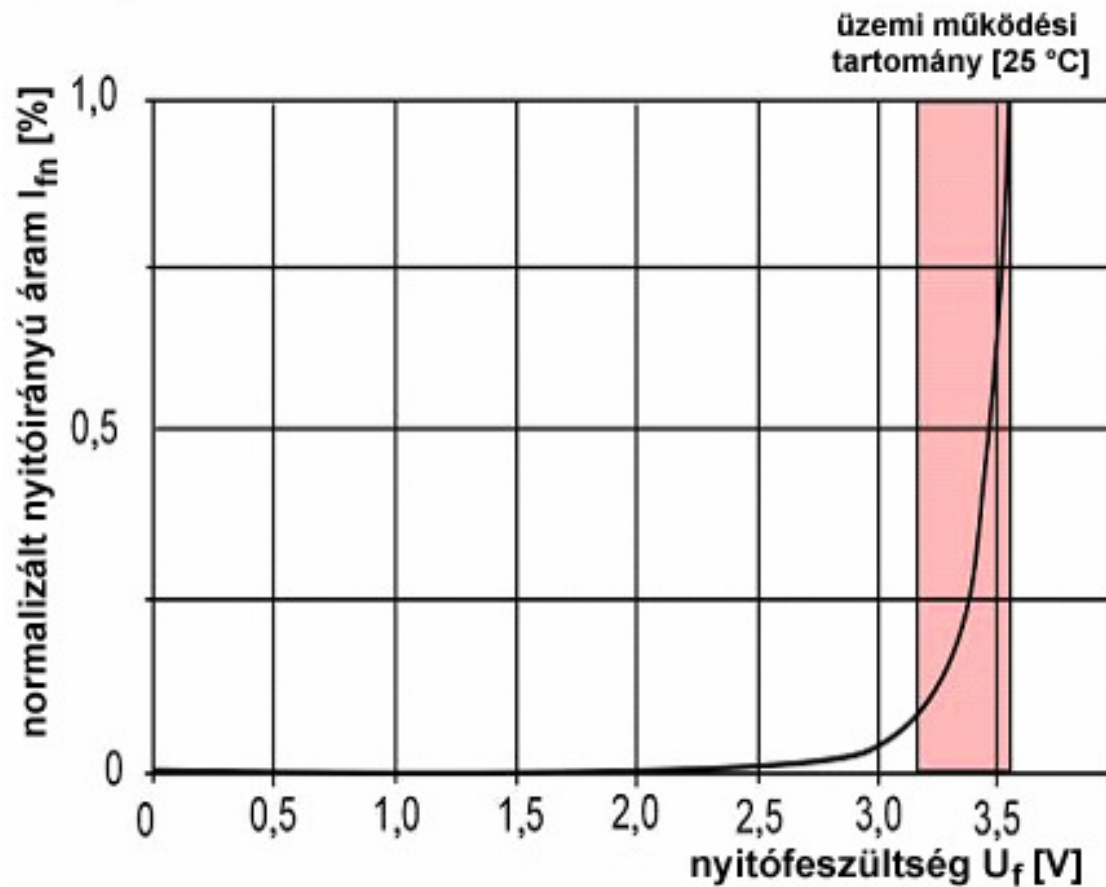
fény: ~15%



disszipált hő: **~85%**

Termikus tervezés 2.

A hőt a LED diódaüzemű ohmos veszteségi teljesítménye termeli:



$$P_{el} = U_f \cdot I_f$$

Termikus méretezési fogalmak

- Hőellenállás: R_{th} [K/W; °C/W]
- Hővezetőképesség: hőáramsűrűség/hőmérséklet-gradiens k_{th} [W/m·K]
- Réteghőmérséklet: T_j [K; °C]
- Referenciapont hőmérséklete: T_r [K; °C]
- Környezeti hőmérséklet: T_a [K; °C]
- Disszipált teljesítmény: P_d [W]
- Lesugárzott optikai teljesítmény: P_{opt} [W]
- Hőkapacitás: hőenergia/hőmérséklet-különbség C_{th} [J/K; J/°C]
- Struktúra függvény: a termikus impedancia hálózati modelljének grafikus ábrázolása (TERALED) $C_{th} = f(R_{th})$

A LED hűtés-konstrukció menete 1

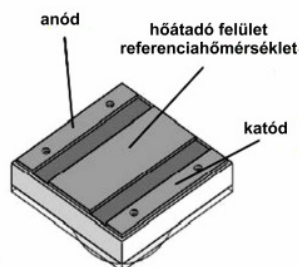
1. Kiindulási adat a működés során keletkező hőmennyiség meghatározása, amely a LED-et melegíti
 - a) A réteghőmérsékletet nem szabad túllépni ($T_{jmax}=+125\text{ °C}$)
 - b) A hőmérsékletet a gyártó által megjelölt referenciaponton lehet ellenőrizni (R_{thjr} katalógusadat)
2. A szerkezeti felépítésben a legkisebb hőellenállású csatolásokat kell alkalmazni
3. Alkalmas hőellenállású eszközzel kell elvezetni a környezetbe a fölösleges hőt
4. Világítófelület felépítései:
 - a) Egyedi (SMD) LED-ek: epoxi tokos és PLCC
 - b) Integrált LED
 - c) Sok integrált LED

A LED hűtés-konstrukció menete 2

Példák hőmérsékletmérési referenciapontokra



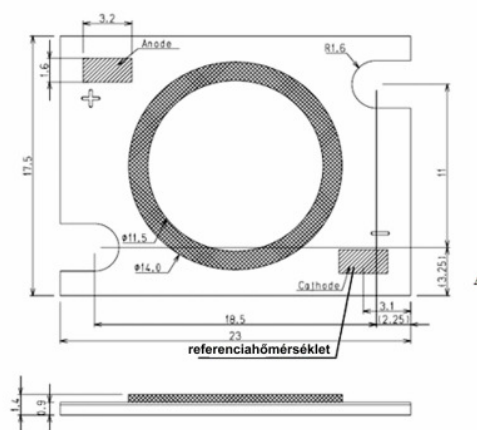
PLCC LED
referenciahőmérséklet
a forrasztási lábon



SMD LED



1 W-os teljesítményled



Multichip
teljesítményled

- Réteghőmérséklet közvetlenül csak infra hőmérővel lehet mérni, sok zavaró tényezővel
- Megbízható hőmérsékletmérés a referenciapontokon
- R_{thjr} (katalógusadat) és I_f ismeretében a réteghőmérséklet számítható

$$T_j = T_r + U_f \cdot I_f \cdot R_{thjr}$$

A LED hűtés-konstrukció menete 3

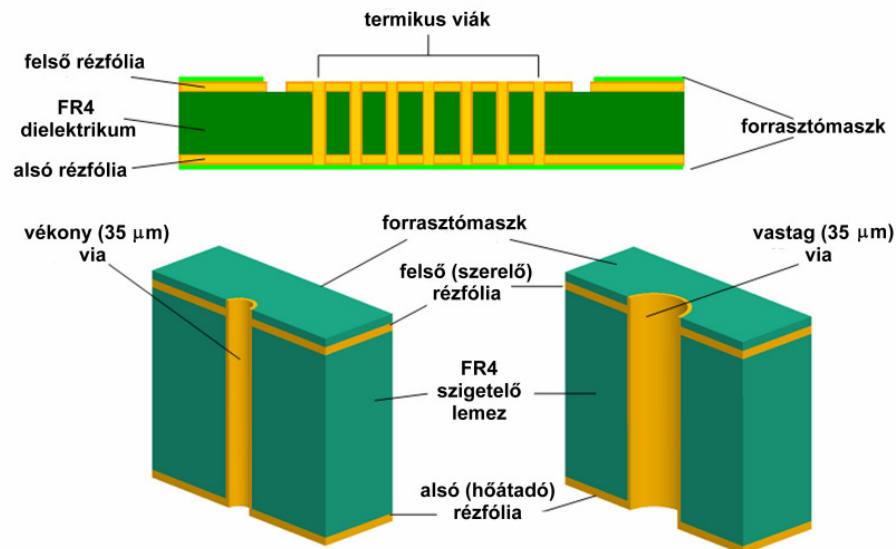
2. A szerkezeti felépítésben a legkisebb hőellenállású csatolásokat kell alkalmazni
3. Alkalmos hőellenállású eszközzel kell elvezetni a környezetbe a fölösleges hőt
4. Világítófelület felépítései:
 - Egyedi (SMD) LED-ek: epoxi tokos és PLCC
 - Integrált LED
 - Sok integrált LED
6. Szükséges hűtőborda hőellenállás számítható, ha ismerjük a lesugárzott optikai teljesítményt:

$$\frac{T_j - T_a}{P_{el} - P_{opt}} = R_{thjr} + R_{thrh} + R_{thha}$$

P_{opt} méretezési módszer TERALED mérési eljárással
(BME-MENTOR)

Hőellenállások a termikus áramkörben

Egy elem hőellenállása: $R_{th} = L / k_{th} \cdot A$
azaz egyenesen arányos az L hosszal és fordítottan az A felülettel



n számú via termikus ellenállása:

$$R_{th} = L / n \cdot k_{th} \cdot A$$

amely söntöli az FR4 ellenállását. Az eredő termikus ellenállás:

$$R_{ther} = (R_{thvia}^{-1} + R_{thFR4}^{-1})^{-1}$$

(telített viák még jobbak)

Hővezetési tényezők [W/m·K]

Vörösréz: 390

FR4: 0,2

Forrasz (Sn/Ag/Cu): 35

levegő (légbuborék): 0,024

Alumínium: 220

Hővezető műanyag: 1...10

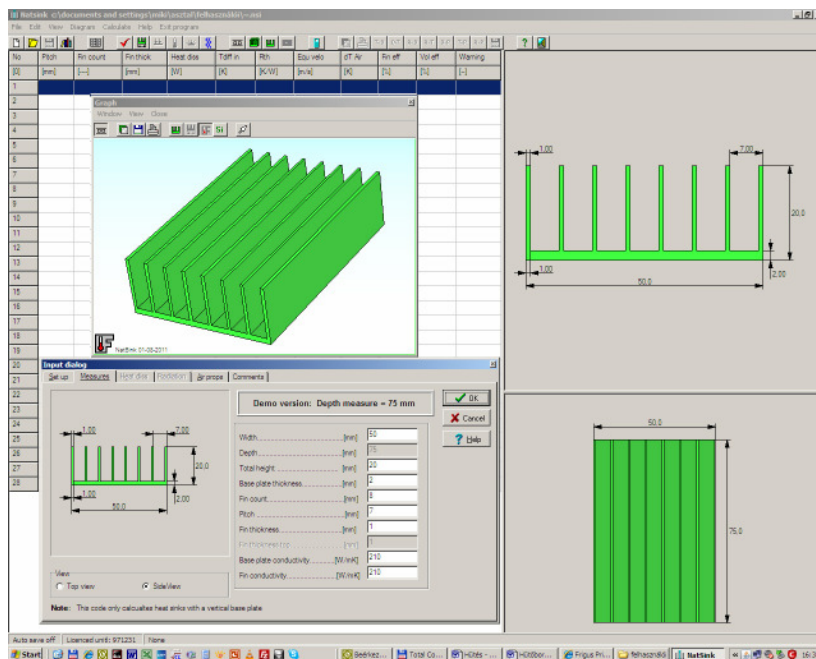
Léghűtési módok 1

➤ **Természetes hűtés:** a környezeti légtérbe disszipál, természetes konvekcióval.

Előnye: csendes, nem szükséges járulékos tápforrás

Hátránya: további burába zárva túlmelegedhet

Hőszugárzó felület kell hozzá: rézfólia felület, hűtőzászló, hűtőborda



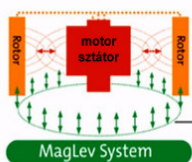
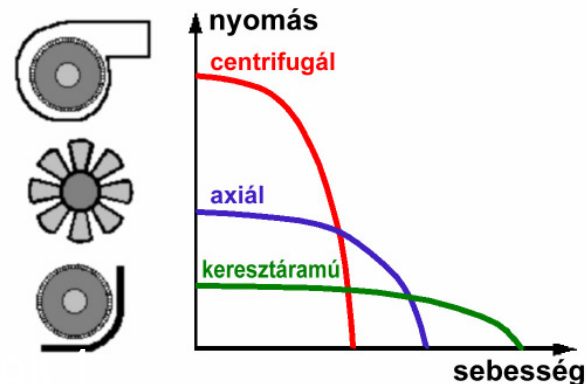
Termikus méretezés:
Frigus Primore
(<http://frigprim.x10.mx>)
Hőellenálláshoz borda méretek számíthatók (felület)

Léghűtési módok 2

➤ Forszírozott hűtés

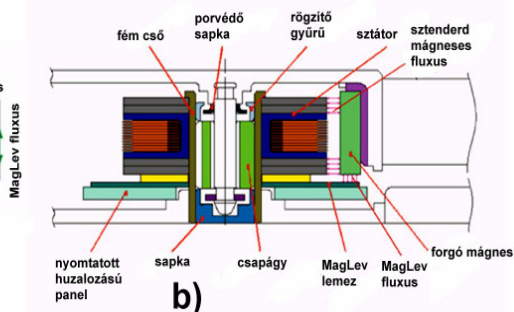
❖ Ventilátoros hűtés:
hangkeltés, karbantartási igény, a hagyományos LED-eknél kevésbé használatos

❖ MagLev csapágyazás
(Sunon: 50000 óra, legkisebb méret: 8×8×3 mm)

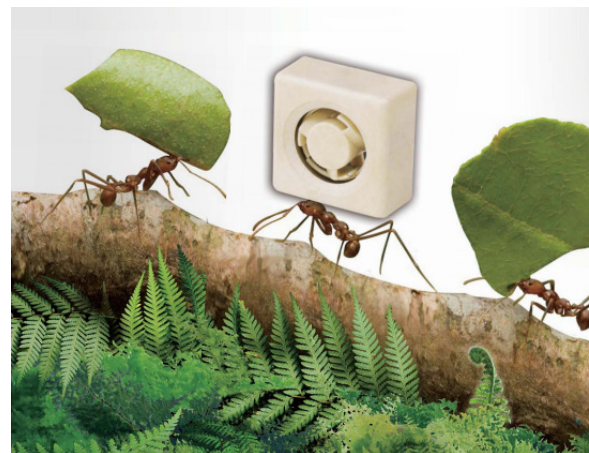


a)

szttender mágneses fluxus
360° MagLev forgás

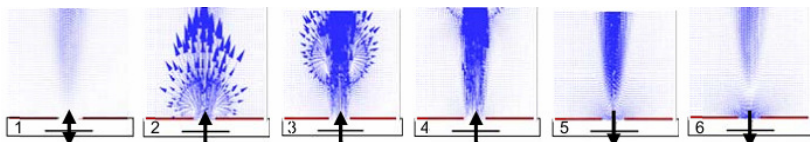


b)



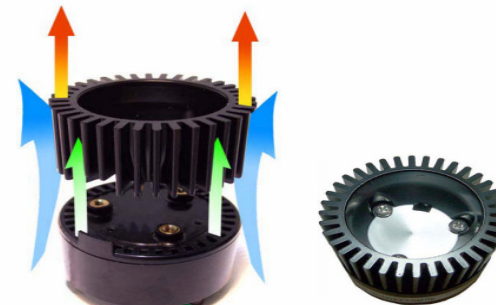
Léghűtési módok 3

❖ SynJet hűtők Nuventix: MR16 SynJet



Piezelektromos hőszivattyú működési elve:

Piezelektromos membrán ultrahanggal (~1,5 MHz) impulzusüzemben mozgatja a levegőt egy fúvókán át. Eredmény: turbulens hullámok mozgatják a levegőt, jó hatásfok, kis zaj, kis energiaigény (ventilátornál 1,5...2-szer jobb)



❖ Peltier elemes hűtés

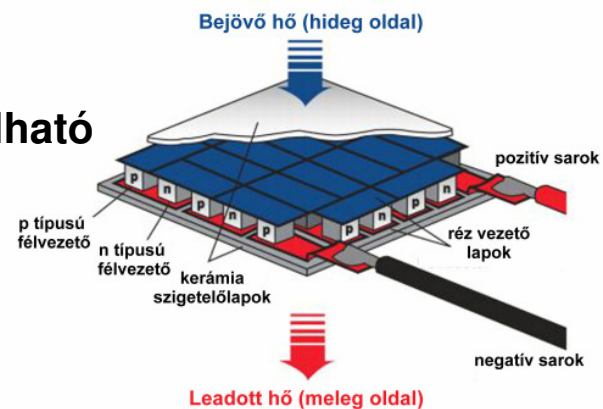
Peltier effektus Laird Technology: 10...600 W

Felületi illesztés fontos! Több panel láncbakapcsolható

Kombinálható heat pipe-pal

Átvitt hőteljesítmény a hideg oldalon:

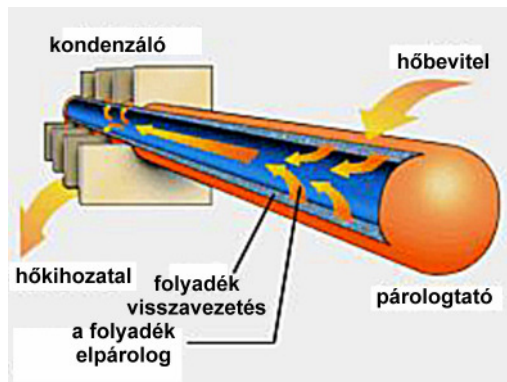
$$P_{th} = 2 \cdot N \left[\alpha \cdot I \cdot T_c - \frac{I^2 \cdot \rho}{2 \cdot G} - k_{th} \cdot \Delta T \cdot G \right]$$



Hőtranszfer

Hőcsatolás:

- **Közvetlen szerelés:** ha van rá hely
- **Csatolás hővezető csővel (heat pipe),** ha a hűtés nem fér el a világítófelület mellett (nemcsak cső kivitelben)



Heat pipe működése:

párolgás hőelvonással jár.

Közvetítő párolgó anyag

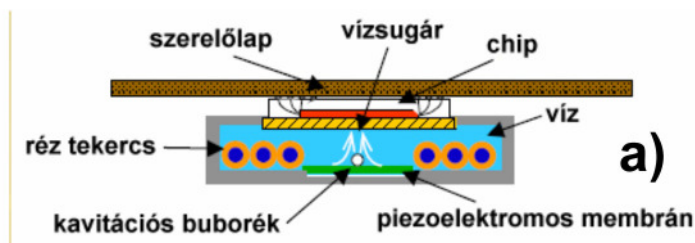
körforgalma zárt térben:

kettős falú csőszerkezet

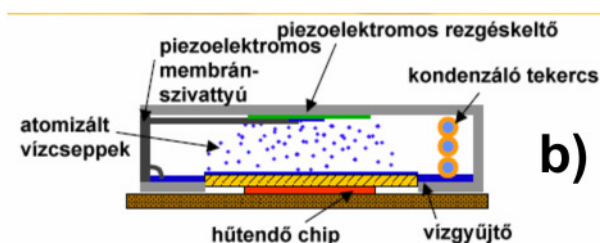
Hővezetése a vörösrézének ~100-szorosa

Vezető gyártó: Thermacore

Hőszivattyú folyadékkal teljesítményfelvezetők számára (IC-k, MOSFET-ek)



VIBE hőtranszfer modul (Vibration-Induced Bubble Erection)



VIDA hőtranszfer modul (Vibration-Induced Droplet Atomization)

Köszönöm figyelmüket