

# ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK



**6 ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK**

**6-02 ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK  
TERMIKUS KONSTRUKCIÓJA**

**ELEKTRONIKAI TECHNOLÓGIA ÉS ANYAGISMERET  
VIETAB00**



BUDAPEST UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AND ECONOMICS  
DEPARTMENT OF ELECTRONICS TECHNOLOGY

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---

---

---

**A TERMIKUS KONSTRUKCIÓ SZÜKSÉGESSÉGE**

- Az elektronikus alkatrészekben működésük során hő keletkezik,
- a készülékeket kívülről különböző hőhatások érhetik,
- a hő és a hőmérséklet változása káros hatásokat gyakorolhat az elektronikus készülékek működésére.



Túlhevült furatszerelt ellenállás



Túláramtól sérült csatlakozóelemek



Túlhevült felületszerelt ellenállás



Termikus konstrukció

2/25

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---


---

---


---


**AZ ESZKÖZÖKBEN, ANYAGOKBAN DISSZIPÁLÓDÓ TELJESÍTMÉNY**

- Rezisztív veszteség:  $P(t) = \frac{1}{T} \int U(t) \cdot I(t) dt$
- Dielektromos veszteség:  $P_d = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot k \cdot E_{eff}^2$
- Hiszterézis veszteség:  $P_{hisz} = \gamma \cdot f \cdot V \cdot B_{max}^x$   
(f: frekvencia,  $E_{eff}$ : effektív térerősség,  $B_{max}$ : indukció maximális értéke, V: térfogat, k,  $\gamma$ , x: anyagjellemző állandók)
- MOSFET:  $P = I_D^2 \cdot R_{DS(on)}$  (bekapcsolt állapot)  
$$P = f \cdot \left( \int_0^{t_{on}} U_{DS}(t) I_D(t) dt + \int_0^{t_{off}} U_{DS}(t) I_D(t) dt \right)$$
- CMOS:  $P = C_L \cdot f \cdot U_{DD}^2$  (csak kapcsoláskor disszipál)  
( $t_{on}$ ,  $t_{off}$ : kapcsolási idők, f: kapcsolási frekvencia,  $C_L$ : terhelő kapacitás,  $U_{DD}$ : tápfeszültség)



↓





Termikus konstrukció

3/25

WE CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---

---

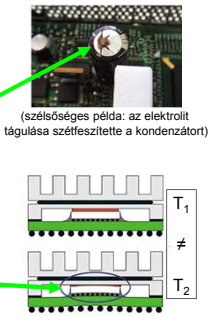
---

## Termikus konstrukció

# ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

## A HŐ ÉS A HŐMÉRSÉKLETVÁLTOZÁS HATÁSAI

- Magas hőmérséklet:
  - anyagok vegyi bomlása,
  - diffúzió felgyorsul,
  - lágylás, fémek korróziója
  - polimerek öregedése,
  - villamos paraméterek (irreverzibilis és reverzibilis) változása,
  - intermetallikus réteg képződés.
- Hőmérséklet változása:
  - anyagok hőtágulásának illetetlenségéből származó mechanikai feszültség léphet fel.



(szélsőséges példa: az elektróit tágulása szétfeszítette a kondenzátort)

**BMEETT** Termikus konstrukció 4/25

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## HŐVEZETÉS (KONDUKCIÓ)

A hőenergia terjedése a szilárdtestekben a helyhez kötött részecskék közötti kinetikus energiaátadással és a szabad részecskék diffúziójával valósul meg.

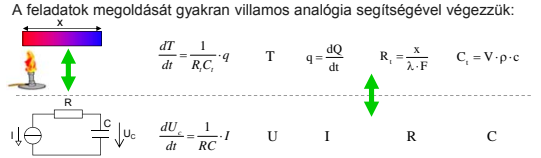
Matematikai leírása: **Fourier-törvény (1822):**  $\frac{dQ}{dt} = -\lambda \cdot F \cdot \frac{dT}{dx}$

ahol  $dQ/dt$  a hőáram,  $\lambda$  a hővezetési tényező,  $F$  a felület,  $dT/dx$  a hőmérsékleti gradiens.

**A hővezetés általános egyenlete:**  $\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) = \frac{\rho \cdot c}{\lambda} \cdot \frac{\partial T}{\partial t}$

ahol  $\rho$  a sűrűség,  $c$  a fajhő,  $\lambda$  a hővezetési tényező.

A feladatok megoldását gyakran villamos analógia segítségével végezzük:



**BMEETT** Termikus konstrukció 5/25

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## HŐSZÁLLÍTÁS (KONVEKCIÓ)

A hőenergia terjedése gázokban és folyadékokban leginkább a közeget alkotó részecskék rendezett elmozdulásával (áramlás) valósul meg. (Szerepet játszhat a részecskék közötti molekuláris szintű hővezetés és sugárzás is.)

Matematikai leírása:  $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\rho c}{\lambda} \left( \frac{\partial T}{\partial t} + w_x \frac{\partial T}{\partial x} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} + w_z \frac{\partial T}{\partial z} \right)$

ahol  $w_x, w_y, w_z$  a közeg sebességösszetevői, melyek a Navier-Stokes egyenlet segítségével határozhatók meg.

A közegben a sebességtér kialakulása lehet:

- természetes (az anyagok sűrűsége hőmérsékletfüggő, ezért melegítés hatására áramlás alakul ki),
- mesterséges (a gáz vagy folyadék mesterséges áramoltatása).

**BMEETT** Termikus konstrukció 6/25

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

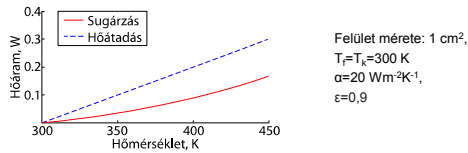
## HŐSUGÁRZÁS

Az energia térbeli terjedésének elektromágneses hullámok formájában megvalósuló folyamata.

Matematikai leírása: **Stefan-Boltzmann törvény (1879):**  $\frac{dQ}{dt} = \epsilon \cdot \sigma_0 \cdot F \cdot (T_{sz}^4 - T_k^4)$

ahol  $dQ/dt$  a hőáram,  $\epsilon$  az emissziós tényező,  $\sigma_0$  a Stefan-Boltzmann állandó ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ),  $F$  a felület,  $T_{sz}$  a szilárd test hőmérséklete,  $T_k$  a környezet hőmérséklete.

A sugárzás és a hőátadás összehasonlítása:



---

---

---

---

---

---

---

---

## HŐÁTADÁS

A hőátadás a szilárd testek és a folyadékok (gázok) határfelületén létrejövő hőterjedés, melyben a vezetés, a szállítás és a sugárzás is szerepet játszik.

Matematikai leírása: **Newton-szabály (1701):**  $\frac{dQ}{dt} = \alpha \cdot F \cdot (T_{sz} - T_f)$

ahol  $dQ/dt$  a hőáram,  $F$  a felület,  $T_{sz}$  a szilárd test hőmérséklete,  $T_f$  a folyadék (gáz) hőmérséklete,  $\alpha$  az ún. hőátadási tényező.

A hőátadási tényező függ:

- a test felületének minőségétől,
- áramló közeg áramlási tulajdonságaitól (turbulens, lamináris),
- a folyadék/gáz fizikai tulajdonságaitól (hőmérséklet, nyomás, áramlási sebesség, áramlás típusa...).

---

---

---

---

---

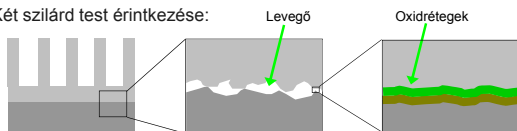
---

---

---

## A HŐÁTADÁS SPECIÁLIS ESETE

Két szilárd test érintkezése:



Az átmenetben mindhárom vezetési forma jelen van:

- vezetés (gyakran a szilárd test oxidjainak, vegyületeinek vezetése),
- hőátadás-szállítás,
- sugárzás.

Az átmenet igen nagy termikus ellenállást jelenthet, amely csökkenthető:

- a felületek polírozásával, és egymáshoz nyomásával,
- a felületek összprezselésével,
- a felületek egymáshoz való forrasztásával,
- a felületek közé helyezett ún. termikus interfész alkalmazásával.

---

---

---

---

---

---

---

---

# ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

## TERMIKUS INTERFÉSZ MEGOLDÁSOK

### Termikus interfész anyagok:

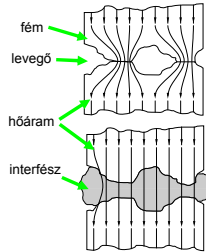
- rugalmasságuknak/viskozitásuknak köszönhetően kitöltik a réseket,
- viszonylag nagy hővezető képességgel rendelkeznek (levegőhöz képest),
- reaktív komponenseik segítségével a felületek minőségét javíthatják.

### Alkalmazásuk szempontjai:

- hővezető képesség,
- elektromos vezetőképesség,
- rugalmassági/területi jellemzők,
- hosszútávú stabilitás és megbízhatóság,
- kezelhetőség.

### Megvalósítás:

- hővezető paszta,
- hővezető ragasztó,
- hővezető alátét,
- halmazállapotváltó anyagok.



---

---

---

---

---

---

---

---

## TERMIKUS INTERFÉSZ MEGOLDÁSOK

### Hővezető paszta:

- leggyakrabban (oxidált) fémpehely szuszpenziója,
- a felületeket összeszorítva kell tartani,
- alkalmazása körülményes.

### Hővezető ragasztó:

- leggyakrabban kerámia por, UV-ra, illetve hőre keményedő szuszpenzióban,
- kikeményítés után a felületeket nem kell összeszorítva tartani,
- elektromosan vezető változata is elterjedt,
- hővezető képessége kisebb.

### Hővezető alátét:

- leggyakrabban nagy hővezetőképességű polimerek,
- a felületeket összeszorítva kell tartani,
- a réseket nem töltik ki tökéletesen (kevésbé rugalmasak),
- szigetelőképességük és átütési ellenállásuk nagy.

### Halmazállapotváltó anyagok:

- fémpehely vagy kerámia por szuszpenziója,
- a felületeket összeszorítva kell tartani,
- az alacsony olvadáspont miatt a réseket jól kitölti,
- alkalmazása jól automatizálható.



---

---

---

---

---

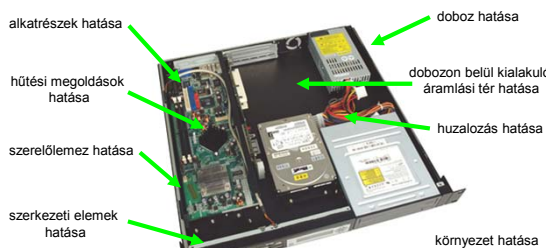
---

---

---

## TERMIKUS KONSTRUKCIÓ

A tervezésnél figyelembe kell venni:



---

---

---

---

---

---

---

---

Termikus konstrukció

# ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

## HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – HŰTŐBORDÁK ÉS LEMEZEK

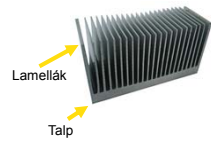
### A megvalósítás szempontjai:

- a hőt jellemzően kis felületről kell elvezetni,
- lehetőleg nagy felületen kell leadni,
- termikus ellenállást minimalizálni kell,
- a megoldás legyen gazdaságos (anyag, megmunkálás),
- hőleadást mesterséges konvekcióval javítani lehet.

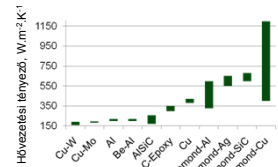
Hűtőlemez (heat spreader):



### „Klasszikus” hűtőborda felépítése:



### Alkalmazott anyagok hővezetési tényezői:



Termikus konstrukció

13/25

ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---

---

---

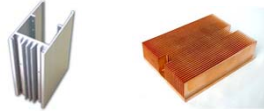
---

---

## HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – HŰTŐBORDÁK ÉS LEMEZEK

### Hűtőbordák és lemezek anyagai:

- alumínium:
  - olcsó,
  - könnyen megmunkálható,
  - jó hőleadás.
- vörösréz:
  - magasabb ár,
  - nehezen megmunkálható,
  - jobb hővezetőképesség,
  - rosszabb hőleadás,
- (ezüst, fémhab, szénszál kompozit, grafit, mesterséges gyémánt...).



### Hőleadási tényező javítása: mesterséges konvekció

#### Ventilátorok alaptípusai:

- axiális:
- radiális.

#### Legfontosabb jellemzők:

- fordulatszám,
- méret,
- lapátok dőlésszöge,
- lapátok kialakítása, felületének minősége.



Termikus konstrukció

14/25

ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---

---

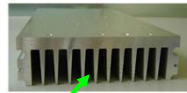
---

---

---

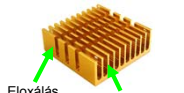
## HŰTŐBORDÁK MEGVALÓSÍTÁSI FORMÁI

### Egyszerű alumínium borda:



Elvékonyodó lamellák

### Továbbfejlesztett lamellák:

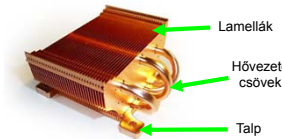


Eloxálás  
Megnövelt felület

### Kereszthornyos:



### Szerelt borda, lemez lamellákkal:



### Betétes borda:



Termikus konstrukció

15/25

ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Termikus konstrukció

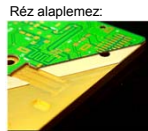
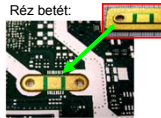
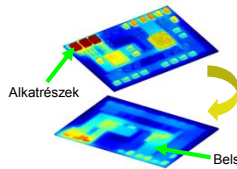
# ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

## HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – A SZERELŐLEMEZ

A szerelőlemez részt vesz az alkatrészekben disszipálódó hő elvezetésében.

A szerelőlemez termikus viselkedése javítható:

- több, egybefüggő rézréteg beépítésével a NYHL-be,
- fémbeté alkalmazásával,
- termikus viák alkalmazásával,
- nagy hővezető képességgel rendelkező hordozó alkalmazásával (pl. kerámia)



Belső, összefüggő rézrétegek hatása

---

---

---

---

---

---

---

---

---

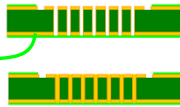
---

## HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – A SZERELŐLEMEZ

Termikus via alkalmazása (nagyteljesítményű LED példáján):



- Kivezetések
- Hőelvezető réz réteg, forrasztási felület
- Termikus via, mely lehet:
  - kitöltetlen (egyszerű megvalósítás)
  - kitöltött (jobb hővezetés).



A hordozó alsó oldalán összefüggő rézfelület biztosítja a hő elvezetését, de hűtőborda is alkalmazható.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## HŰTÉSI MEGOLDÁSOK - FOLYADÉKHŰTÉS

Kifejlesztésének motivációja:

- a folyadékok fajhője nagyobb a gázokénál, ezért azonos térfogatú folyadék nagyobb hőmennyiséget képes elszállítani (levegő:  $0,001 \text{ J.cm}^{-3}\text{K}^{-1}$ , víz:  $4 \text{ J.cm}^{-3}\text{K}^{-1}$ ),
- a folyadékok hővezetési tényezője nagyobb a gázokénál (levegő:  $0,026 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ , víz:  $0,61 \text{ W.m}^{-1}\text{K}^{-1}$ ), ezért a határfelületek hőleadási tényezője folyadékűtés esetén nagyobb (levegő:  $20 \dots 200 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ , víz:  $500 \dots 10000 \text{ W.m}^{-2}\text{K}^{-1}$ ).

Jellemzői:

- nagy hűtési teljesítmény és alacsonyabb hőmérséklet érhető el (léghűtéshez képest),
- alacsony működési zaj,
- hosszú élettartam, megbízható működés, zárt rendszer (környezetből szennyezés nem jut be),
- megvalósítása, gyártása körülményesebb,
- mérete, tömege nagy, rázás-, ütészállósága kicsi.

Megvalósítási lehetőségek:

- indirekt,
- direkt.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

## HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – INDIREKT FOLYADÉKHŰTÉS

Indirekt folyadékhűtés:  
a hűtőfolyadék közvetlenül nem érintkezik az elektronikus alkatrészekkel.

Felépítése:

Alkatrész

Hőcserélő

Hőcserélő Ventilátor (opcionális)

Tárolási tartály

Folyadékpumpa

Csatlakozások

Csatornák

Tömítés

Réz tálp

Csőmeander alumínium lamellákkal

Termikus konstrukció

BMEETT

19/25

---

---

---

---

---

---

---

---

## HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – DIREKT FOLYADÉKHŰTÉS

Direkt folyadékhűtés:  
a hőcserélő elhagyásával a hűtőfolyadék érintkezésbe kerül az alkatrészekkel.

Jellemzői:

- az alkatrészek és a hűtőfolyadék között a termikus ellenállás drasztikusan csökken,
- a hűtőfolyadék csak elektromosan szigetelő lehet,
- megvalósítása körülményes.

Alkatrészűtés:

Részegység, szerelőlemez hűtése:

hűtőfolyadék

csatlakozók

tokozás

chip-ek

tartály

részegységek/ szerelőlemez

hűtőfolyadék

hőcserélő

pumpa

víz

Szekunder kör, hűtőközege víz, nyitott rendszer

Primer kör, hűtőközege vill. szigetelő, zárt rendszer

Termikus konstrukció

BMEETT

20/25

---

---

---

---

---

---

---

---

## HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – FÁZISÁTALAKULÁS

Kifejlesztésük motivációja, hogy a folyadékok elforrásával nagyobb hő lehet elvonni, mint az áramoltatásukkal ( pl. 1 kg víz 20-100°C-ra melegítése 0,335 MJ, elforrálása 2,26 MJ energiát igényel).

Megvalósítás lehetőségei:

- direkt:
  - folyadéktartály gáztérrel:
    - külső lecsapatással,
    - belső lecsapatással,
  - folyadékkal feltöltött tartály:
    - lecsapatóval,
    - hűtött fallal.
- indirekt (heat pipe).

hűtőborda ventilátorral

szelep

lecsapató

gőztér

hűtőfolyadék

szerelőlemez

hűtővíz

nyomás- kiegyenlítő

lecsapató

hűtött tartályfal

ventilátor

hűtővíz

Termikus konstrukció

BMEETT

21/25

---

---

---

---

---

---

---

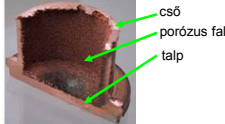
---

# ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

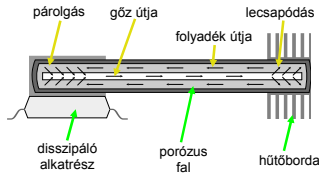
## HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – FÁZISÁTALAKULÁS

A hővezető cső (heat pipe): a fázisátalakulással működő hűtés megvalósítása kompakt kivitelben, a lehető legkisebb termikus ellenállás elérése érdekében. Hővezetőképessége 100...1000-szer akkora, mint a réz.

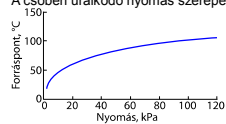
Felépítés: porózusfalú vákuumcső, kis mennyiségű folyadékkal (víz).



Működési elv:



A csőben uralkodó nyomás szerepe:




---

---

---

---

---

---

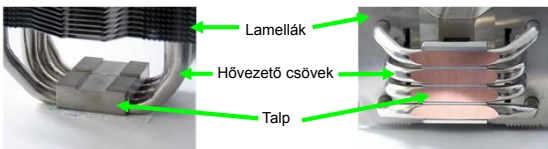
---

---

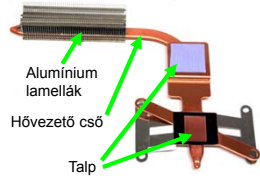
---

---

## HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – HEAT PIPE, PÉLDÁK



Borda különböző talpakkal:




---

---

---

---

---

---

---

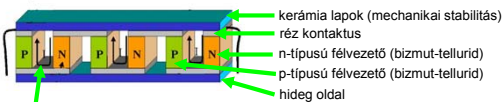
---

---

---

## HŰTÉSI MEGOLDÁSOK – PELTIER-HŰTÉS

Peltier-elem: félvezető alapú hőszivattyú (a meleg oldalról disszipálni kell!)  
Felépítés és működési elv:



az átmenetek elektromosan sorba, termikusan párhuzamosan vannak kapcsolva

a külső energiaforrás segítségével áthajtott elektronok az alacsonyabb energiaszinttel rendelkező n-típusú félvezetőből a magasabb energiaszinttel rendelkező p-típusú félvezetőbe lépve a szükséges energiát a környezetből veszik fel.

Felhasználása üresközlemben és termikus zaj csökkentése esetén indokolt (pl. CCD chip), többlépcsős változattal ~ -150°C is elérhető.




---

---

---

---

---

---

---

---

---

---



# ELEKTRONIKUS KÉSZÜLÉKEK

## KITEKINTÉS

Az elektronikus készülékek termikus konstrukciójának fejlesztési irányai:

- hővezető anyagok:
  - fejlesztésük napjainkban már nem jellemző,
- hűtési megoldások:
  - léghűtés: az ár és a felépítés bonyolultsága háttérbe szorul a teljesítmény mellett,
  - folyadékűtés elterjedése, továbbfejlesztése,
  - kompresszoros hűtés,
  - fázisátalakulásra épülő, aktív hűtés,
- termikus interfészek:
  - minél könnyebb alkalmazhatóság, termikus ellenállás csökkentése,
  - a felületek minőségének javítása,
- funkciók összevonása a készüléken belül,
- modellezés alkalmazása (ököl szabályok helyett).



Termikus konstrukció

25/25

ME CONNECT CHIPS AND SYSTEMS

---

---

---

---

---

---

---

---