

# A Celeron 600 MHz-es processzor és hűtőbordájának vizsgálata termovíziós kamerával és termikus tranziensmérővel

KOLLÁR ERNŐ doktorandusz  
BME Elektronikus Eszközök Tanszéke  
kollar@eet.bme.hu

Reviewed

Ebben a cikkben egy FC-PGA tokozású processzor termikus tranziensét vizsgáljuk termovíziós kamerával. Megvizsgáljuk, miként terjed a hő a PCB (Printed Circuit Board) hordozó felé, hogyan terjed szét a hűtőbordával felszerelt processzoron nyugvó és kényszerített légáram mellett.

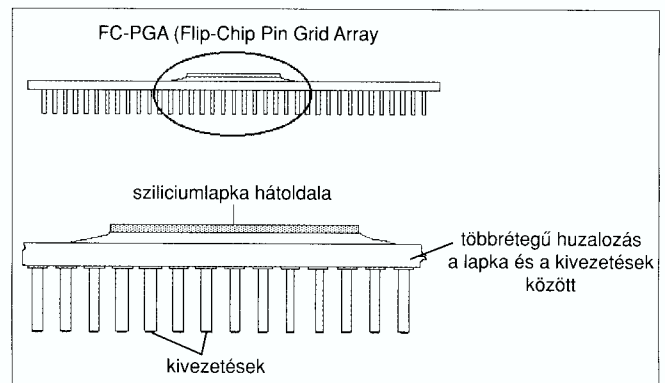
## Bevezető

A processzor hőelvezetése a számítógép működése szempontjából kulcsfontosságú. Már a hordozható számítógépek is aktív (ventillátoros) processzorhűtéssel kerülnek forgalomba. A maximális aktív zóna hőmérséklet (Maximum Junction Temperature) hordozható gépeknél rendszerint 100°C fok, asztali gépeknél alacsonyabb, típustól függően általában 70°C és 90°C fok körüli. A processzor tervezésénél figyelembevett teljesítmények (TDP – Thermal Design Power) asztali gépekbe szánt élvonalat képviselő processzorok esetén 70-80W körül, a hordozható gépekbe szánt processzorok esetén pedig 25-30W körül jár (1. táblázat) [1][2][3][4][5].

Processzor		TDP W	Max Tcase C	Max Tjunction C
Celeron	600 MHz	19,4		90
	1.000 GHz	29		75
Pentium 4, 478-pin	1.50 GHz	59.7	73	
	2.50 GHz	75.3	76	
Pentium 4, 478, 0.13um	2.00 GHz	54.3	69	
	2.50 GHz	61.0	72	
	3.06 GHz	81.8	69	
Mobile Pentium III	450 MHz, 1.05 V	57		100
	850 MHz 1.15 V	10		100
	1.000 GHz 1.40 V	20.5		100
Mobile Pentium 4	1.2 GHz, 1.3 V	20.8		100
	1.4 GHz 1.3 V	25.8		100
	1.8 GHz 1.3 V	30		100
	2.4 GHz 1.3 V	35.0		100

1. táblázat A processzor tervezésénél figyelembevett teljesítmények és hőmérsékletek

Kísérleteinkben azt vizsgáltuk, hogy miként jut el a hő a környezet felé olyan hűtési megoldások esetén, mint a hűtőbordával ellátott processzor, hűtőborda és ventilátor, vagy a hűtőborda nélküli eset.



1. ábra Az FC-PGA tok

Ebben a cikkben egy FC-PGA (Flip-Chip Pin-Grid-Array) tokozású Celeron 600 MHz-es processzor hőelvezetését vizsgáltuk. Az FC-PGA tok egyik szembetűnő sajátossága, hogy a szilíciumlapka hátoldala szabadon van, nem fedi be a tok anyaga (1. ábra). Ez a tok azzal biztosít jobb hőelvezetést, mint egy teljesen zárt, hogy a hő a szilíciumlapkáról az interfész anyagon (pl.: hővezető krémen) keresztül közvetlenül a hűtőbordára jut, elkerülve a tok anyagát.

A méréseket az AGA-782 típusú termovíziós kamerával és a termikus tranziens teszterrel az Elektronikus Eszközök Tanszéke Termikus laboratóriumában végeztük.

## A processzor előkészítése a méréshez

A méréshez egyfelől disszipációt kell kényszerítenünk, másfelől mérni kell a chip belső hőmérsékletét. Mindezek egy p-n átmenettel megoldhatók. Ebben a kísérletben a processzorra fordított polaritással adtuk rá tápfeszültséget, azaz a szubsztrát dióda nyitó irányban történő előfeszítésével a processzort egyetlen nagy diódaaként használtuk. A diódára állandó áramot kényszerítve nyitófeszültsége az eszköz hőmérsékletének függvényében változik, így alkalmas az eszköz hőmérsékletének mérésére.

Üzemszerű működés közben ezt a módszert természetesen nem lehet alkalmazni. (Kísérleteinkben a processzor melegedését kívántuk előidézni, ami nem jelentette azt, hogy a processzort üzemszerűen kellett volna használnunk.) Kifejezetten hőmérsékletmérésre egy mérődiódát

integrálnak a lapkára, ami lehetővé teszi a processzor működés közbeni hőmérséklet figyelését. Paraméterei e feladathoz igazodnak. Hőmérsékletmérésre a szubsztrát-dióda helyett inkább ezt a mérődiódat használtuk.

A processzort egy Slot1-FC-PGA átalakítón keresztül egy Slot1 csatlakozóba tettünk. A Slot1 csatlakozóhoz egy kis méretű 4x13 cm-es PCB hordozó tartozott, amire kiveztük a processzor föld és táp kivezetéseit, valamint a processzorban lévő hőmérő dióda lábait. A processzor melegedését ezzel a beépített mérődiódával is nyomon követtük. Ahhoz, hogy a szubsztrát diódat 10-20 W-tal melegíteni tudjuk, megfelelő áramgenerátort kellett keresnünk, ami képes ekkora áramot átkényszeríteni. A méréshez szükséges áramforrást a Thermal Transient Tester (T3Ster) [6] egy kiegészítő egysége a T3Ster Booster [7] biztosította. A mérési elrendezést a 2/a ábra a processzor és a PCB elrendezését az 2/b ábra mutatja.

Pontos infra-kamerás hőmérsékletkép készítéséhez az egész áramkört matt feketére kell festeni. Ekkor az egész felület emissziós együtthatója  $\approx 1$ . Amennyiben ez nem teljesül, úgy a felvétel tartalmazza az adott felületi pontra vonatkozó emisszivitást és reflexiót is. Ez azt jelenti, hogy egy homogén hőmérsékletű PCB-n más hőmérsékletűnek látszik a fehér színű foglalat, mint a zöld színű hordozó, vagy a foglalatot nyitó/záró fém kar. További hibaforrás a tárgyra vetődő külső sugárzás, mint például napfény, világítás, vagy a közelben lévő bekapcsolt fogyasztó, stb. Az említetteket kerülendő a kamera és a tárgy közötti térrészt még egy fekete lepellel is lefedtük, ezzel a szoba légmozgásából származó hatásokat is csökkentettük. A vizsgált objektum mögé fekete kartont helyeztünk.

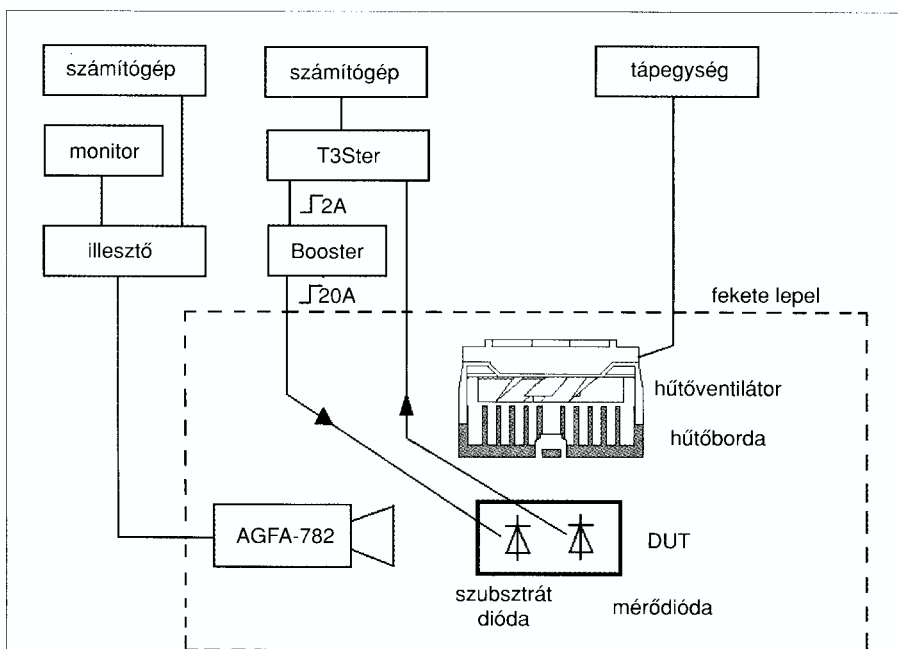
### Topográfiai felvétel készítése

A tranziens kiértékelése során szükség van olyan képre is, ami segít az egyes területek azonosításában, a tárgy topográfiáját mutatja ugyanabból a szemszögből, ahonnan a termovíziós tranziens felvettük. Ha viszont a fent vázolt előkészítés jól sikerült és a vizsgált tárgy is közel homogén hőmérsékletű, akkor a kamera legérzékenyebb állásában sem látszik szinte semmi. A kontrasztosabb felvételekért célszerű a tárgyat izzólámpával megvilágítani, ennek hatására a struktúra egyes részei felmelegednek, tehát látszanak.

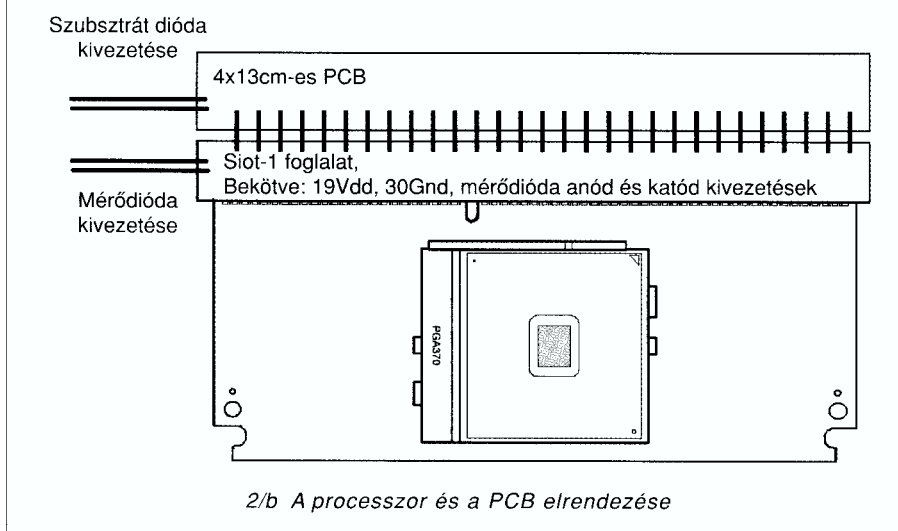
Azt tapasztaltuk, hogy egy PCB topográfiai képe viszonylag gyorsan elkészíthető. Ezzel szemben a hordozóból, a hűtőbordából és ventilátorból álló struktúra képe több időt, és ügyességet igényel. Míg a ventilátor műanyag háza könnyen felmelegszik, addig az alumínium hűtőborða szinte változatlan hőmérsékletű marad. A túl erős kontraszt zavaró hatást kelthet a szemlélőben. A legjobb felvételeket a kamera felett elhelyezett lámpával értük el.

### Tranziens vizsgálat egy hűtőeszköz nélküli processzoron

Egy FC-PGA tokozású processzor rendeltetésszerű használata valamilyen aktív vagy passzív hűtőeszköz nélkül valószínűtlennek tűnik.



2/a Mérési elrendezés



2/b A processzor és a PCB elrendezése

Mégis elvégeztük ezt a kísérletet, ezzel valójában az volt a célunk, hogy a PCB hordozó felé terjedő hőt vizsgáljuk, igaz egy kicsit sarkított formában. Azzal a feltételezéssel éltünk, hogy a hő jelentős része az eszköz kivezetésein távozik el a hordozó felé. Továbbá azt vártuk, hogy a foglalat 370 darab kivezetésének négyzetes elrendezése a felvételeken látható lesz.

A kísérlet elrendezését a 3/a. ábra mutatja. Az eszközt kímélvén mindössze 3A-rel hajtottuk meg, ami nagyjából 1,5 W-nak felelt meg. 10 perc alatt a lapka hőmérséklet emelkedése meghaladta a 26°C fokot.

A függőlegesen elhelyezett hordozót forrasz oldalról nézve azt tapasztaltuk, hogy a tranziens kezdeti szakaszában (3/b) valóban a kivezetések húzták ki a hőt, és a konvekció elenyésző volt. Szembe tűnő, hogy a kivezetések által közrefogott területen belüli viák (a PCB két oldalán lévő vezetékek közötti elektromos átvezetések) hőmérséklete magasabb volt, mint a közrefogott terület egyéb részei.

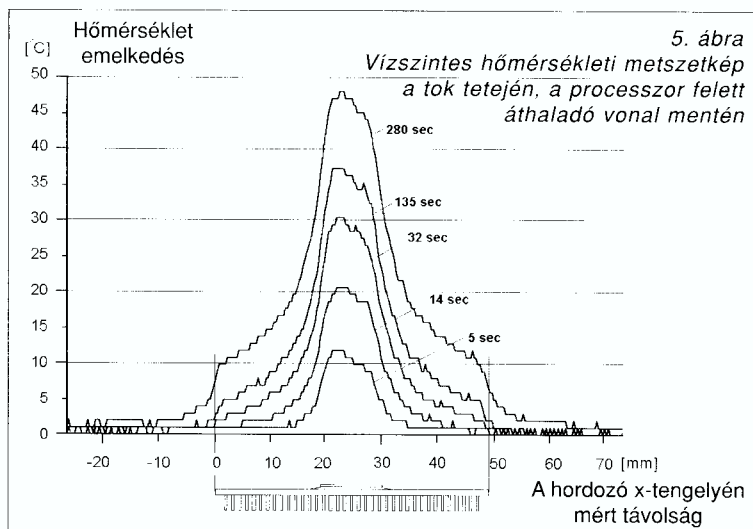
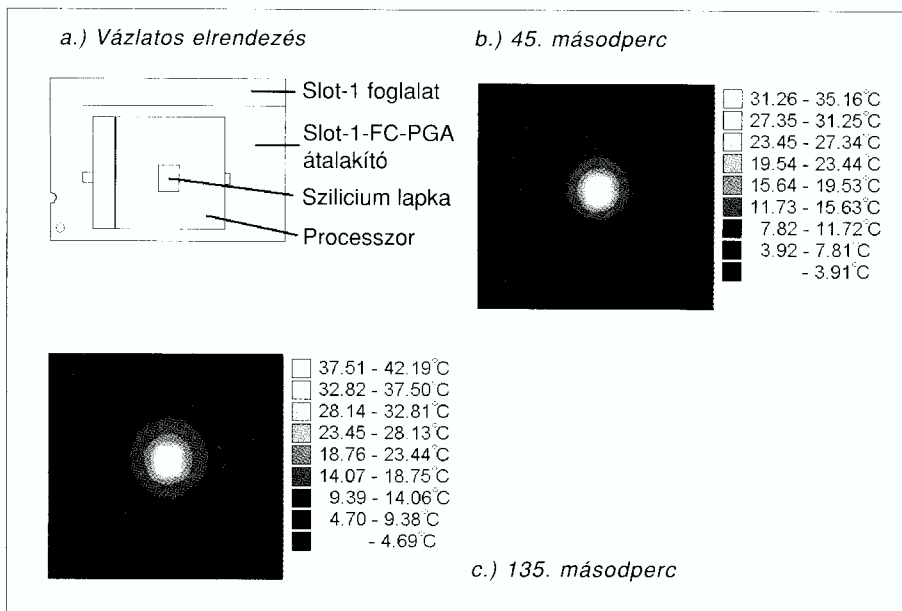
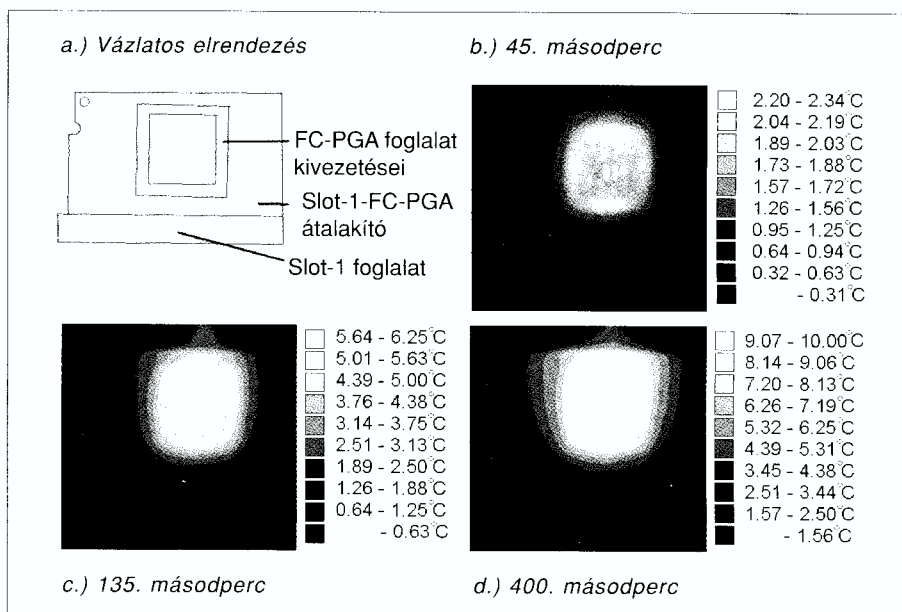
A következő szakaszban, mint azt sejteni lehetett, a közrefogott terület hőmérséklete jobban növekedett, mint a kívül eső részé (3/c). A kivezetett hő még csak a processzor alatti közvetlen környezetre lokalizálódott, de már jól látható a hordozó felett kialakuló konvekciós sáv, amint az átmelegedett levegő füstszerűen felfelé száll.

A tranziens ezt követő szakaszában (3/d) a hordozó egész területére szétterjedt a hő, és a konvekciós sáv is kiszélesedett. A közrefogott területen aszimmetria lépett fel, a felső térrész jobban melegedett. Ez a konvekcióból adódhatott. A hőmérsékleti skálák mindegyike Celsius fokban értendő és hőmérsékletemelkedést jelent.

A felvételt megismételtük a processzor felől is (4. ábra).

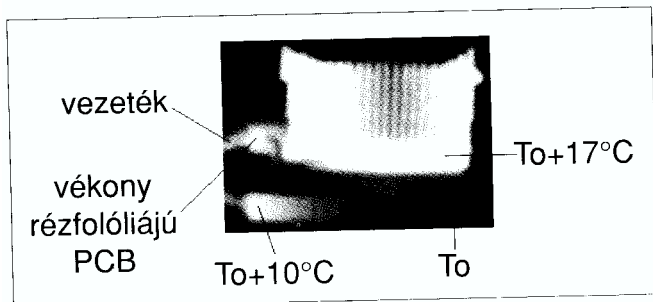
Azt tapasztaltuk, hogy a szilícium lapka téglalap körvonala a tranziens időtartama alatt mindvégig látszott, és a hőmérséklete kiugróan eltért a környezetétől. Ezzel szemben a processzor felületén szétterülő izotermikus vonalak már koncentrikus körök formájában jelentkeztek (4/b és 4/c).

A szilícium lapka kiugró hőmérsékletét legjobban az 5. ábrán szemlélhetjük.



Az ábra a processzor közepén vízszintesen áthaladó metszet öt különböző időpillanatát vetíti egybe. A középben lévő csúcs mutatja a lapka hőmérsékletét. A két legfelső görbéből pedig azonosíthatók a Socket370-es foglalat szélei is.

Az ábra érdekessége, hogy a lapka bal széle melegbnek tűnik, mint a jobb oldala. Ez azért meglepő, mert feltételeztük, hogy a jó hővezetésű szilícium a disszipáció eloszlás egyenetlen voltát jól kompenzálja, és a görbék teje lapos marad.



6. ábra Csalóka hűtőbordás kép, középső bordák között a háttér látszik

### Tranziens vizsgálat hűtőbordával ellátott processzoron

Ezen kísérlet során processzort egy FOP-38-as [8] hűtővel láttuk el, de a ventilátort leszereltük róla. A processzor és a hűtőborda közé TTG-S101 ezüst tartalmú hővezetőpasztát [9] tettünk. A processzorra kb. 20 W teljesítményt adtunk ahhoz, hogy a hőmérsékletemelkedés számottevő legyen.

Eddig a tokra merőlegesen néztünk, most oldalról. A sűrű bordázatú hűtőbordák csalóka melegedési képet mutatnak. A képek szerint a hűtőborda külső része jobban melegszik, mint a belsőé (6. ábra). Persze tévedés lenne azt hinni, hogy ez így is van! Amikor a kamera a hűtőborda közvetlen közelében van, akkor a szembeeső bordák között átlát. Az oldalt levő bordáknál viszont már nem a háttérrel látja, hanem valamelyik borda közepét vagy végét. Az ábra még egy „hibát” is elárul, miszerint túl kis keresztmetszetű vezetékét és vékony rézfóliájú PCB hordozót használtunk a betáplálásnál. A kép bal oldalán látszik, hogy mindket- tő jelentősen felmelegedett.

### Tranziens vizsgálat FOP-38 hűtővel processzoron, ventilátorral

A mérési beállítások megegyeztek az előző kísérletben használtakkal, azzal az eltéréssel, hogy a kamera kisebb hőmérséklettartományban dolgozott. A hűtőventilátort névleges feszültségén már a tranziens előtt el-

indítottuk, hatása az első felvételen is látszik: a ventilátormotor melegszik (7/a). Nem sokkal a tranziens kezdete után a hűtőbordán megjelenik a szilíciumlapka hatása. Annak ellenére, hogy takarásban van, elhelyezkedése pontosan megállapítható (7/b). Az is látható, hogy az aktív hűtés mellett is melegszik a hordozó (7/c). Az állandósult állapothoz közeli 7/d. ábrán megpróbáltuk láthatóvá tenni a ventilátor által kifújott meleg levegő nyomát a hűtőborda mögött elhelyezett fekete kartonon.

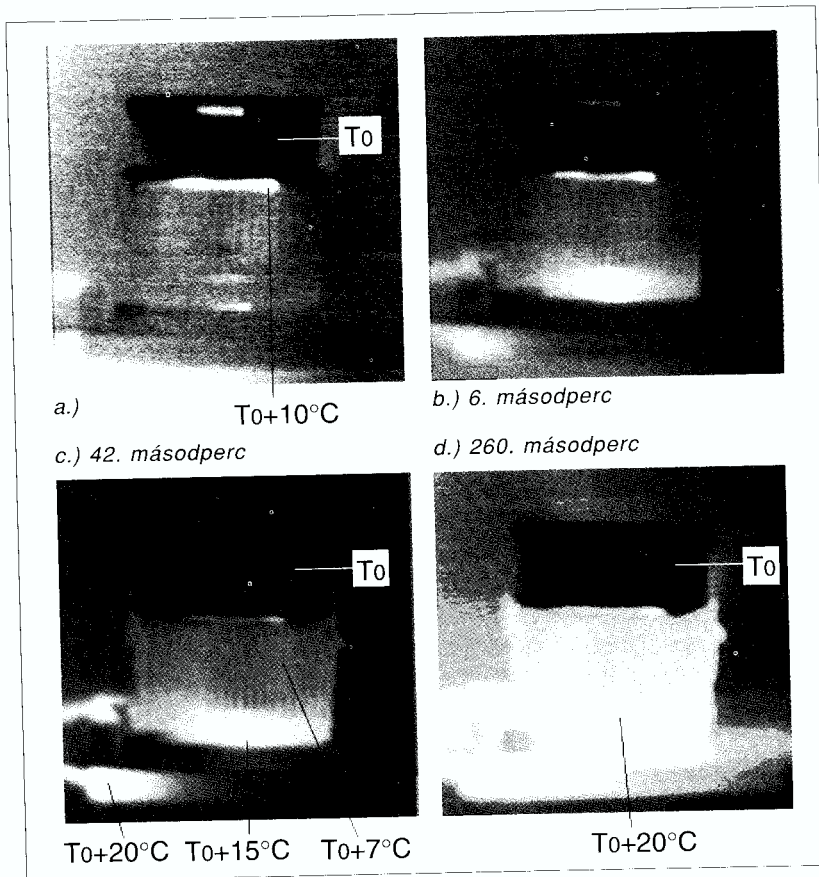
### Hűtőbordás tranziensek a processzor beépített hőmérőjének szemszögéből

Következő kísérletsorozatunkban termikus tranziens mérővel vizsgáltuk a processzort. A disszipációlépcsőt továbbra is a szubsztrát dióda tápellátásával biztosítottuk, míg a chip belső hőmérsékletét a beépített hőmérődióddal mértük.

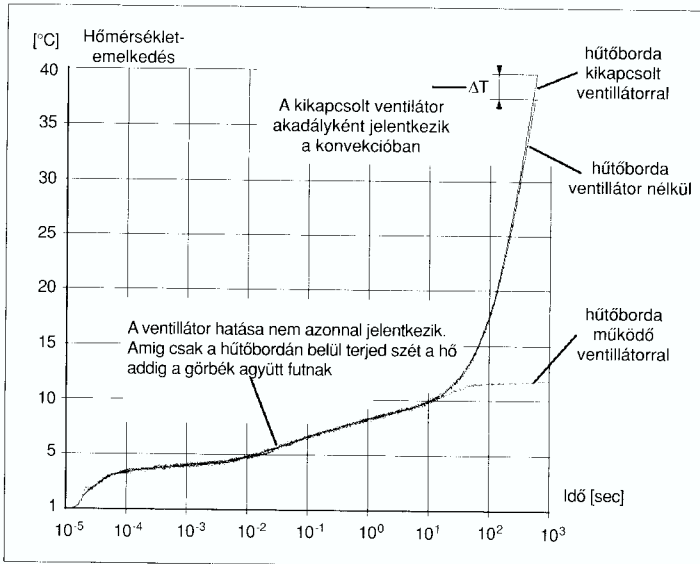
Azt tapasztaltuk, hogy az első 10 másodpercig a hővezetésnek, utána viszont már ventilátornak van döntő szerepe. Megvizsgáltuk azt az esetet is, amikor a hűtőventilátor fel van szerelve, de nem üzemel, és összehasonlítottuk a hűtőbordás tranzienssel.

Megállapítottuk, hogy a felszerelt ventilátor valameny akadályt jelent a konvekcióra nézve. Az elágazási ponthoz viszonyítva körülbelül 3-4%-kal volt magasabb a processzor hőmérséklete, mint ha nem lett volna akadály a konvekcióban.

A tranziensgörbék 8. ábrán lathatók.



7. ábra Működő ventilátor mellett készített tranziens képek



8. ábra A beépített mérődióával felvett termikus tranziensek

A fenti mérést megismételtük a névleges ventilátor feszültség 75%-án, 50%-án, 5 V-on továbbá azon a legkisebb feszültségen, ami mellett még éppen forog a ventilátor. Utóbbi 3,5 V volt. A tranziensgörbék a 9. ábrán láthatóak.

Azt tapasztaltuk, hogy a legkisebb ventilátorfeszültség mellett is jelentős hűtőhatása van a ventilátornak az álló esethez képest. A feszültség növekedtével a hűtőhatás egy darabig erőteljesen javul, majd egy ponton túljutva egyre kisebb lesz a hűtőhatás változása. Végül szinte változatlan marad. Az első 600 másodpercben alig tapasztalunk különbséget a 75%-os és a 100%-os névleges feszültség mellett felvett tranziensgörbékben.

## Következtetések

A termovíziós felvételekből kiderült, hogy a PCB hordozón lévő viák az elektromos összekötésen túl egyúttal hőhidakként is működnek. Közvetlenül látszódott, hogy a betáplálásnál használt 35  $\mu\text{m}$  rézfóliájú hordozó vékony volt a processzor áramigényéhez képest.

A processzor magja felett készített metszetképből látható, hogy jelentős hőmérsékletkülönbség lépett fel a lapka szélei között, ami adódhatott a szubsztrát dióda egyenetlen hozzávezetéseiből.

A processzorba épített hőmérődióda a működés közbeni hűtőventilátor leállást a leállás után körülbelül 30-60 másodperccel később érzékeli, akárcsak azt, ha a ventilátort a processzor működése közben késve indítjuk el.

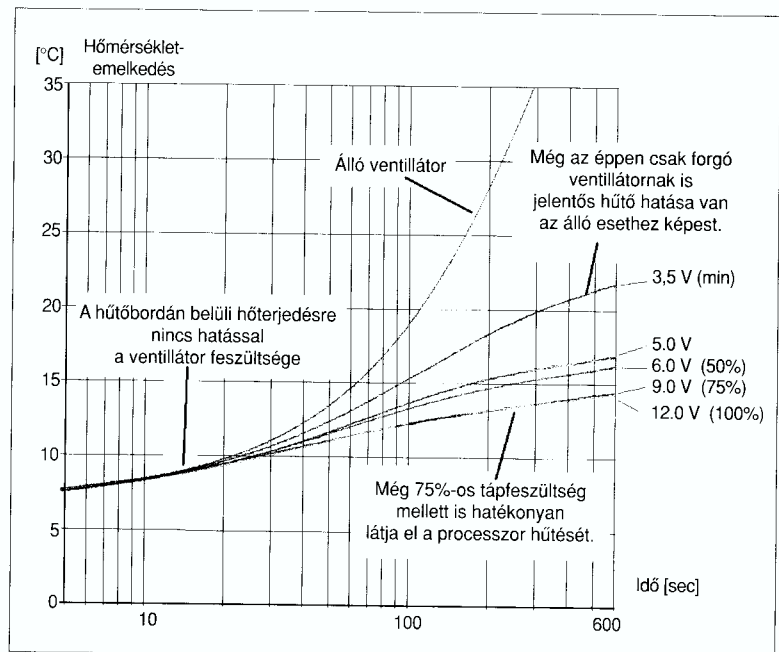
A hűtőventilátor hatása minimális feszültség mellett is jelentős. A hűtőhatást a feszültség növelésével csak egy darabig érdemes növelni, a továbbiakban nem okoz jelentős változást.

Megállapítható, hogy a processzorok a rájuk jellemző teljesítmények mellett megfelelő hűtés

híján hamar elérhetik a biztonságos hőmérséklettartomány felső határát. Így különösen fontosak a megfelelő hűtésen túl az olyan védelmi megoldások is, amelyek lehetővé teszik, hogy a processzor működés közbeni hőmérséklete a kritikus hőmérséklet alatt maradjon.

## Irodalom

- [1] Intel® Celeron® Processor up to 1.10 GHz, Datasheet, January 2002, Document Number: 243658-020, 66.oldal, [www.intel.com/design/celeron/datashts/243658.htm](http://www.intel.com/design/celeron/datashts/243658.htm)
- [2] Intel® Pentium® 4 Processor with 512-KB L2 Cache on 0.13 Micron Process at 2 GHz–3.06 GHz, with Support for Hyper-Threading Technology 1 at 3.06 GHz Datasheet, Dec. 2002, Document Number: 298643-006, 64.oldal
- [3] Intel® Pentium® 4 Processor in the 478-Pin, Package at 1.40 GHz, 1.50 GHz, 1.60 GHz, 1.70 GHz, 1.80 GHz, 1.90 GHz and 2GHz Datasheet, April, 2002, Order Number: 249887-003, 79.oldal
- [4] Mobile Intel® Pentium® III Processor - M Datasheet, January 2003, Order Number: 298340-006, 75.oldal, [www.intel.com/design/mobile/datashts/298340.htm](http://www.intel.com/design/mobile/datashts/298340.htm)
- [5] Mobile Intel® Pentium® 4 Processor-M Datasheet, January 2003, Order Number: 250686-005, 89.oldal, [www.intel.com/design/mobile/datashts/250686.htm](http://www.intel.com/design/mobile/datashts/250686.htm)
- [6] T3Ster Hardware Reference Guide, Rev.1.6, 2nd Printed, July 2000, [www.micred.com/t3ster.html](http://www.micred.com/t3ster.html)
- [7] T3Ster Booster, [www.micred.com/booster.html](http://www.micred.com/booster.html)
- [8] [www.globalwin.com.tw/new-product/fop38.html](http://www.globalwin.com.tw/new-product/fop38.html)
- [9] [www.titan-cd.com/s101.htm](http://www.titan-cd.com/s101.htm)



9. ábra Különböző ventilátorfeszültségek mellett felvett tranziensgörbék

# Contents

<i>ATTRACTIVE TELECOMMUNICATIONS SERVICES (MAY)</i>	1
<b>THE EVOLUTION OF TELECOMMUNICATIONS</b>	
<b>The development and future of mobile telecommunications</b> Interview with Mr. András Sugár, CEOs Westel Co.	2
<b>György Bögel</b> The specialities of the infocommunications wave	5
<b>THEORETICAL CALCULATIONS AND RESULTS</b>	
<b>Dr. János Ladvánszky, Dr. Gerhard Schultes</b> Noise minimization in RC polyphase filters	15
<b>László Pohl</b> The thermic and electrostatic simulation of MEMS elements with the method of successive node reduction	21
<b>Ernö Kollár</b> The examination of the Celeron 600 MHz processor and its heatsink with a thermovision camera and a thermic transient analyzer	27
<b>INFORMATION SOCIETY</b>	
<b>Zoltán Hornák</b> WTLS-SSL protocol conversion	33
<b>Gergely Tóth, Zoltán Hornák</b> The source-hiding property of the observable black-box channel	41
<b>Dr. Tamás Sárkány</b> Possible attacks against telecommunications networks	45
<b>László Sipos</b> Hannover CeBIT: the ICT sector recovers	47
<b>TELECOMMUNICATIONS HISTORY</b>	
<b>György Dósa</b> The evolution of short-wave circular radiating antennas and antenna systems, and domestic results	50
Erratum	54
Book review	55

*Cover: Let us not wait sleepily for the future, but let us shape it actively*

---

## Szerkesztőség

HTE Budapest V., Kossuth L. tér 6-8.  
Tel.: 353-1027, Fax: 353-0451, e-mail: hte@mtesz.hu

## Hirdetési árak

1/1 (205x290 mm) 4C 120.000 Ft + áfa  
Borító 3 (205x290mm) 4 C 180.000 Ft + áfa  
Borító 4 (205x290mm) 4 C 240.000 Ft + áfa

## Cikkek eljuttathatók az alábbi címre is

BME Szélessávú Hírközlő Rendszerek  
Budapest XI., Goldmann Gy. tér 3.  
Tel.: 463-1559, Fax: 463-3289,  
e-mail: zombory@mht.bme.hu

## Előfizetés

HTE Budapest V., Kossuth L. tér 6-8.  
Tel.: 353-1027, Fax: 353-0451  
e-mail: hte@mtesz.hu

## 2003-as előfizetési díjak

Hazai közületi előfizetők részére:  
1 évre bruttó 30.000 Ft  
Hazai egyéni előfizetők részére:  
1 évre bruttó 6.000 Ft

## Subscription rates for foreign subscribers:

12 issues 150 USD, single copies 15 USD

www.hte.hu

Felelős kiadó: MÁTÉ MÁRIA  
Lapmenedzser: Dankó András

---

HU ISSN 0018-2028

Layout: MATT DTP Bt.  
Printed by: Regiszter Kft.