



# A KONVEKCIÓS ÚJRAÖMLESZTŐ KEMENCÉK MÉRÉSTECHNIKÁJA ÉS AZ ÚJRAÖMLESZTÉSES FORRASZTÁS TERMIKUS MODELLEZÉSE

---

PHD TÉZISFÜZET

Illés Balázs

Tanszékvezető: Dr. Harsányi Gábor egyetemi tanár

Doktorandusz témavezető: Dr. Harsányi Gábor egyetemi tanár

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Elektronikai Technológia Tanszék

2009

## ***A kutatások előzménye és célkitűzései***

Az elektronikus áramkörök előállítása során elterjedten alkalmaznak valamilyen forrasztási technológiákat. Napjainkban a felületszerelési (SMT) technológia előretörésével ez leggyakrabban az ún. újraömllesztéses forrasztás. Az elnevezés a technológia azon sajátosságából adódik, hogy a hordozóra előzetesen felvitt paszta állagú forraszt az alkatrész-beültetés után, egy ún. újraömllesztő kemencében a forraszt ötvözet olvadáspontja fölé fűtik, amely során a forraszt megömlik, ezzel létrehozva a forrasztott kötések.

A felületszerelési technológia rohamos fejlődése magával vonta a felületszerelt alkatrészek (SMD) palettájának kibővülését: manapság már nem csak az apróbb passzív alkatrészeket és IC-eket készítenek felület-szerelhető formában, hanem nagyobb méretű teljesítmény alkatrészeket is. Mindemellett, az elmúlt néhány évben a forrasztó berendezések is rohamos fejlődésen mentek át. Az infrasugaras fűtésű kemencéket szinte teljesen felváltották a tisztán konvekciós fűtésű kemencék, amelyekben a hőmérséklet eloszlás pontosabban szabályozható. Az Európai Unió RoHS szabályozás miatt bevezetett magasabb olvadáspontú ólommentes forrasztók, és az egyéb új anyagok alkalmazása szintén problémákat vet fel. A fenti jelenségek és folyamatok miatt, az új típusú SMD alkatrészeknél ismét megjelentek korábban már kiküszöbölt forrasztási hibák, mint a forrasztás közbeni alkatrész elúszás, de akár előfordulhat a „sírkö” effektus is, amely során az alkatrész egyik vége elemelkedik a hordozótól, ez a hiba eddig csak a kisebb méretű chip-méretű alkatrészekre volt jellemző. A forrasztás alatti alkatrész elmozdulások döntő többsége a hibásan megtervezett hordozó topológiának köszönhető, amely a gyártás folyamán már csak igen magas költségráfordítással módosítható, ezért az ilyen típusú hibák esetében, a tervezési fázisban modellezéssel történő hiba előrejelzés nagy jelentőséggel bír.

A szakirodalom áttekintése alapján megállapítottam, hogy a tömeggyártásban alkalmazott forrasztási technológiák és berendezések túlhaladták a rendelkezésre álló modellezési és mérési módszereket. A konklúzióimat a következő pontokban foglaltam össze:

- A legtöbb újraömllesztéses forrasztással foglalkozó termikus modell az infrasugaras és vegyes fűtésű kemencékkel foglalkozik. Ezek között található számos kiemelkedő munka, de mára a konvekciós kemencék egyeduralma miatt ezek a modellek elavultak és csak korlátozottan alkalmazhatók. A mai napig alig néhány tisztán konvekciós fűtésű kemencékkel foglalkozó munka született.
- Az alkatrészszintű termikus modellek kis hányada foglalkozik forrasztási környezet szimulációjával, és ebből is csak néhány a konvekciós környezettel. A nagyobb részük az alkatrészek (általában nagy teljesítményű IC-k) működése miatt keletkező termikus hatásokat vizsgálja, viszont ezekkel forrasztási folyamatok nem szimulálhatók.

- Az újraömllesztéses modellek terén talán a legnagyobb hiányosság a modellparaméterek meghatározása terén tapasztalható. Hozzávetőleg mindössze az esetek 15%-ában találtam bármiféle törekvést arra, hogy a szükséges paramétereket (fűtőhőmérséklet, emissziós ráta, hőátadási tényező stb...) az adott környezetben meghatározzák, vagy legalább ahhoz hangolják. A szerzők legtöbbször vagy körülbelüli irodalmi adatokra támaszkodnak, vagy egymás eredményeit alkalmazzák, sokszor téves analógiát vonva a vizsgált kemencék vagy szerelőlemezek között. Ez a tisztán infrasugaras és vegyes fűtésű kemencék idején még nem okozott jelentős problémát, mivel a radiációs fűtés paramétereiről rengeteg adat áll rendelkezésünkre. Viszont annál problematikusabb a helyzet a tisztán konvekciós fűtésű kemencék esetén, mivel itt a paraméterek terén kevesebb a tapasztalatunk.

Következésképpen a korábbi újraömllesztéses forrasztási modellek és mérési eljárások egyáltalán nem, vagy csak korlátozottan alkalmazhatók. Így különösen aktuálissá vált a hibaanalitikai és modellezési módszerek, valamint a kemencék mérés technikai eljárásainak kutatása és fejlesztése. A fentiek tükrében, jelen értekezésem fő témáinak a következőket választottam:

- Konvekciós újraömllesztő kemencék működésének, valamint a kemencékben lezajló termikus és áramlási folyamatok vizsgálata.
- Olyan mérési módszerek fejlesztése, amelyek segítségével a konvekciós újraömllesztő kemencék termikus paramétereinek (hőátadási tényező, fűtő hőmérséklet) nem csak egy átlagos értéke, hanem a kemencén belüli eloszlása is meghatározható.
- Olyan háromdimenziós alkatrész szintű termikus modellek megalkotása, melyekkel a konvekciós kemencében az újraömllesztéses forrasztás során fellépő hibajelenségek megjósolhatók és kiküszöbölhetők.

## ***Vizsgálati módszerek***

Ahhoz, hogy egy újraömllesztés forrasztási hibatípust megfelelő mélységben tudjunk elemezni, szükségünk van az alkalmazott kemencében lezajló termikus és áramlási folyamatok leírására, valamint ezen folyamatok fizikai paramétereinek pontos ismeretére. Ezért kutatásom elején arra fektettem a legnagyobb hangsúlyt, hogy olyan új mérési módszereket dolgozzak ki, amelyekkel az újraömllesztő kemencék termikus paramétere meg határozhatók, ezek után pedig olyan modellezési eszközöket alkottam, amellyel a forrasztási hibák hatékonyan vizsgálhatók. Munkám első célja egy olyan mérési módszer kutatása volt, amellyel gyártási körülmények között, minél pontosabban és minél nagyobb felbontásban mérhető, az újraömllesztő kemencékbe befűjt vertikális fűtőgáz-sugarak hőátadási tényezője.

A kemencébe belépő vertikális irányú fűtőgáz-sugarak csak a hordozótól mért adott magasságig tekinthetők vertikálisnak, innentől egy átmenti szakaszba lépnek, amely során becsatlakoznak a hordozó felszínén lévő összefüggő radiális irányú áramlási rétegbe. Ennek a radiális áramlási rétegnek ugyancsak nagy szerepe van a kemencében forrasztott áramkörök hőprofiljának kialakításában, ezért a hőátadási tényezőjének meghatározása szintén fontos feladat. Mindemellet az a megszokott gyakorlat, hogy a kemencéket dupla szállítószalagos kivitelűre tervezik, azonban a felhasználók csak egy szállítószalaggal alkalmazzák, amely aszimmetrikusan helyezkedik el a kemence hossz tengelyével párhuzamosan. Az újraömllesztő kemencékkel kapcsolatos kutatásom egyik alapkérdése volt, hogy ez a körülmény hogyan befolyásolja a radiális áramlási réteg kialakulását.

Az újraömllesztő konvekciós kemencékben mért paraméterek azon túl, hogy a kemence működését jellemzik elengedhetetlenek a kemencében lezajló termikus folyamatok megértéséhez és modellezéséhez. Amint azt fentebb tárgyaltam, jelenleg nagyon kevés olyan modell létezik, amellyel a konvekciós kemencékben lezajló termikus folyamatok szimulálhatók az alkatrészek szintjén. Így a kutatásom következő fázisában adott volt a cél: az általam meghatározott kemence paraméterek felhasználásával olyan újszerű termikus modellek megalkotása, mellyel konvekciós kemencében, az újraömllesztés forrasztás során fellépő hiba jelenségek vizsgálhatók és értelmezhetők.

A következő fejezetben bemutatom a kutatásom során – az újraömllesztés forrasztás területén – elért új tudományos eredményeket, valamint azok hasznosulását.

## ***Új tudományos eredmények***

### **I. téziscsoport**

**I/1. tézis:** Mérési módszert dolgoztam ki, amellyel meghatározható a fúvóka-mátrixos konvekciós újraömlesztő kemencékbe befújt vertikális gázsugarak hőátadási tényezőjének eloszlása a forrasztott hordozótól mért távolság függvényében.

A módszer alapja, hogy a kemence fúvóka sorai alatt, a befújási iránnyal szemben, különböző magasságokban mérem a hőmérséklet változását. Bevezettem egy számítási és kiértékelési módszert, amely segítségével, a kemencében mért hőmérséklet-idő görbékből, valamint a mérőszensor hőegyensúlyi egyenletéből, a fűtőgáz-sugarak hőátadási tényezője és hőmérséklete meghatározható. A hőátadási tényező az un. Newton egyenlet meghatározó konstansa, amellyel a konvekciós hőáram számítható. Az általam javasolt mérési elrendezéssel és adatfeldolgozással elértem, hogy a szükséges mérések száma (egy teljes kemence mérése esetén) az adatrögzítő által szabott elvi korlát negyedére csökkenjen.

**I/2. tézis:** Az I/1. tézisben ismertetett mérési módszer segítségével kísérletileg igazoltam, hogy a fúvóka-mátrixos konvekciós újraömlesztő kemencékbe befújt vertikális gázsugarak hőátadási tényezője függ a forrasztott hordozótól mért távolságtól. A mérések segítségével kísérletileg felállítottam a vertikális fűtőgáz-sugarak hőátadási tényezőjének jellemző karakterisztikáját a mérési magasság függvényében.

A hőátadási tényező a befújás helye és a hordozótól mért  $H/2.5$ -es távolság közötti szakaszban közel állandó, majd a  $H/2.5-H/12$ -es tartományban a távolság csökkenésével  $2.9-3.9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K/mm}$ -es gradienssel csökken, majd a  $H/12$ -es tartomány alatt még meredeken letörnek. Az eredményeim alkalmazásával a fúvóka-mátrixos újraömlesztő kemencékben elegendő  $\alpha_0$  meghatározása a  $H/60$  magasságon, amiből az adott fúvókasor hőátadási tényezőjének karakterisztikája meghatározható.

*Az I. téziscsoportozhoz kapcsolódó közlemények: L1, R1, R2*

### **II. téziscsoport**

**II/1 tézis:** Mérési módszert dolgoztam ki, amellyel a fúvóka-mátrixos konvekciós újraömlesztő kemencékben, a hordozó felszínén kialakuló radiális áramlás hőátadási tényezőjének iránykarakterisztikája mérhető a hordozótól mért távolság függvényében.

A módszer alapja, hogy a radiális áramlásba mérőkaput helyezek, amelyben az áramlási iránnyal szemben pozícionált, különböző magasságokban elhelyezett mérőszondák találhatóak. A mérőkapu szerepe, hogy kiküszöbölje a vertikális gázáramok zavaró hatását. A mérőkapu helyzetét a vizsgált hordozó középpontja körül, attól 30mm távolságban 12db,

egyenként 30° lépésben változtatom. A mérőszenzor hőegyensúlyi egyenletéből és a mért hőmérséklet-idő görbékből a fűtőközeg hőátadási tényezője meghatározható.

**II/2. tézis:** A II/1. tézisben ismertetett mérési módszer segítségével megmutattam, hogy a kemence felépítése miatt a radiális gázáramlás hőátadási tényezője 80–120% nagyobb a fűtőzónák kijárata felé, mint a fűtőzónák falai felé. Valamint bebizonyítottam, hogy a kemence hossz tengelyére aszimmetrikusan pozícionált szállítószalag is hatással van a radiális áramlási réteg kialakulására, ami miatt közel 40% eltérés tapasztalható a fűtőzóna szemközti falai felé irányuló radiális áramlás hőátadási tényezői között.

**II/3. tézis:** A II/1. tézisben ismertetett mérési módszer segítségével kísérletileg igazoltam, hogy a fúvóka-mátrixos konvekciós újraömllesztő kemencékben a radiális áramlási réteg hőátadási tényezője függ a hordozótól mért távolságtól. Mérések segítségével kísérletileg meghatároztam a radiális áramlási réteg hőátadási tényezőjének jellemző karakterisztikáját a hordozótól mért távolság függvényében. Az eredményeimet analitikai modellel igazoltam.

A radiális áramlás hőátadási tényezője a hordozóhoz közeledve a H/2 – H/12 szakaszban egyre nagyobb mértékben nő, a H/12-es magasságra eléri a H/2-es magasságon tapasztalt kiindulási érték 160%-át, majd a H/12 – H/60 szakaszban meredeken csökken és a H/60-as magasságon újra eléri a kiindulási értéket ( $\alpha_0$ -át). (H a hordozó és a fúvóka-mátrix távolsága). Az eredményeim alkalmazásával a fúvóka-mátrixos újraömllesztő kemencékben elegendő  $\alpha_0$  meghatározása a H/60 vagy H/2 magasságon, amiből az adott mérési helyen a hőátadási tényező karakterisztikája meghatározható.

*A tézishez kapcsolódó közlemények: L2, L3, K1, K2, K3*

### **III. téziscsoport**

**III/1. tézis:** Háromdimenziós komponens szintű termodinamikai modellt készítettem, amely alkalmas az újraömllesztés forrasztás során fellépő különféle alkatrész-elmozdulásokért felelős, szomszédos forrasztási felületek közötti hőmérsékletkülönbségek számítására. A modell alkalmazását egy valós forrasztási hibán prezentáltam, amely során egy TO-263-as alkatrésztok forrasztási felületeinek melegeződését vizsgáltam.

Az eredményeim alapján, ha az alkatrész szemközti oldalain 20–30% konvekciós fűtési teljesítmény különbség van, akkor a forrasztási felületek között már kialakulhat a kritikus 0.2s-os forraszmegömlési időkülönbségnél nagyobb is, ami az alkatrész elúszását okozhatja.

Az általam bevezetett cellafelosztási rendszerrel (AID – adaptív interpolálás és decimálás) elértem, hogy a modell felbontása és pontossága a vizsgált helyeken megnőjön, ugyanakkor a komplexitás és a számítási idő ne változzon. A termikus cella módszer, az AID módszer

valamint az FDM (Finite Difference Method) számítási módszer együttes alkalmazásával elértem, hogy a modell számítási ideje nagyságrendekkel kisebb a hasonló FEM (Finite Element Method) modellek számítási idejéhez képest.

**III/2. tézis:** Dijkstra algoritmuson alapuló új modellezési módszert dolgoztam ki, az inhomogén anyagösszetételű szerkezetek hővezetési tulajdonságainak vizsgálatára. A módszerem alapuló algoritmus egy termikus cellamodellből a szomszédossági viszonyok alapján élsúlyozott és irányított gráfot épít, amelyben a gráf csomópontjai a cellák középpontjai (termikus csomópontok), az élek pedig az adott cellára jellemző termikus időállandókkal súlyozódnak.

A módszerem alapja, hogy a különféle anyagok hővezetési tulajdonsága a termikus kapacitásuk és hővezetési ellenállásuk szorzatával, mint egy termikus időállandóval jellemezhető. A gráf egyes pontjai között a Dijkstra algoritmus segítségével a legrövidebb utak bejárhatók, amely alapján megvizsgálható, hogy egy adott forrasztási felület az alkatrész mely külső felületi-pontjából (oldaláról) milyen úton és hatásfokkal melegíthető, valamint a forrasztás közbeni hőelvonási jelenségek felderíthetők. Az III/1. tézisben bemutatott AID módszer alkalmazásával elértem, hogy az útkeresés lépésszáma a cellaszám függvényében ( $N$ ),  $N^2$  –helyett  $\sim N/3$ -al arányos legyen.

*A tézishez kapcsolódó közlemények: L4, R3, R4, K4*

## ***Az eredmények hasznosítása***

A tudományos eredményeim hasznosíthatóságát a disszertációmban számos példával illusztráltam, amelyek eredményeit következőkben röviden összegezem.

Az I/1. tézisben ismertetett mérési módszerem amellet, hogy az újraömllesztéses forrasztás modellezéséhez szükséges paraméterek meghatározására szolgál, a kemence működését is hatékonyan ellenőrizheti. Segítségével megvizsgálható a kemence elhasználódó alkatrészeinek valamint a kemencében lecsapódó folyasztszer maradványok hatása a vertikális gázáramok hőátadási tényezőjének eloszlására. A mérési ciklusok számának csökkentésével valamint a I/2. tézisben ismertetett karakterisztika mérése eredményeivel elértem, hogy mindezt gyártási körülmények között tehetjük, ami az elektronikai ipar számára elengedhetetlen feltétel.

A II/1. tézisben ismertetett mérési módszerem valamint a II/3. tézisben bemutatott karakterisztika mérés eredményei szintén lényegesek az újraömllesztéses forrasztás modellezéséhez szükséges paraméterek meghatározásában, emellett viszont alkalmasak annak vizsgálatára is, hogy milyen hatással van kemence felépítése annak fűtési képességeire. A II/2. tézis eredményei alapján a kemence felépítése adott esetben nagy



fűtési teljesítménybeli eltérések okozhat, ami egy szerencsétlen alkatrész elrendezés esetén könnyedén forrasztási hibákhoz vezethet. Azonban, ha tisztában vagyunk a kemencénk képességeivel, pontos szimuláció, hiba előrejelzés és az alkatrész elrendezés optimalizálása végezhető, amely lépésekkel a nem kívánt hibák elkerülhetők.

Az I/1. és II/1. tézisekben bemutatott mérési módszereim (esetlegesen kisebb módosításokkal) nemcsak újraömlasztó kemencékben alkalmazhatók, hanem más olyan kemencében is, ahol konvekciós fűtés történik.

Habár a disszertációmban csak egy példát mutattam a III/1. tézisben ismertetett modellezési módszerem alkalmazására, de az összes többi SMD alkatrésztípus újraömlasztó forrasztás során történő elúszásának előrejelzésére is alkalmas, ha azt az inhomogén konvekciós fűtés vagy az alkatrész inhomogén hővezetési tulajdonságai okozzák. Ezenfelül a módszerem alkalmas lehet más, termikus eljárások vizsgálatára is, ahol konvekciós fűtés történik, úgymint a hullám- és szelektívforrasztó berendezések előfűtő rendszere, magas hőmérsékletű tisztító és festékszárító berendezések.

A III/2. tézisben ismertetett modellezési módszerem legfőbb előnye, hogy inhomogén anyagszerkezetek hővezetési tulajdonságait egyszerűen és gyorsan számszerűsíti, ezáltal összemérhetővé téve azokat. Ezek az eredmények aztán hatékonyan alkalmazhatók az áramkörök tervezése során vagy akár már az alkatrészek a tervezése során is, mivel manapság egyre nagyobb hangsúlyt kap az alkatrészek szerelhetőségének optimalizálása. Az újraömlasztó forrasztás területén kívül a módszerem más olyan technológiákban is hasznos lehet, ahol a hővezetés fontos szerepet játszik, mint például teljesítmény áramkörök hűtésének optimalizálása.

## ***A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények***

### *Lektorált folyóirat cikkek:*

- L1. **B. Illés**, G. Harsányi: 3D Mapping of Forced Convection Efficiency in Reflow Ovens, Periodica Polytechnica Electrical Engineering (2009) xxx-xxx. (megjelenés alatt)
- L2. **B. Illés**, G. Harsányi: Heating Characteristics of Convection Reflow Ovens, Applied Thermal Engineering 29 (2009) 2166–2171
- L3. **B. Illés**, G. Harsányi, Investigating Direction Characteristics of the Heat Transfer Coefficient in Forced Convection Reflow Oven, Experimental Thermal and Fluid Science 33 (2009) 642–650
- L4. **B. Illés**, G. Harsányi, 3D Thermal Model to Investigate Component Displacement Phenomenon during Reflow Soldering, Microelectronics Reliability 48 (2008) 1062–1068

### *Referált konferencia-kiadványban megjelent előadások:*

- R1. **B. Illés**, O. Krammer, G. Harsányi, Zs. Illyefalvi-Vitéz, A. Szabó: 3D Investigation of Internal Convection Coefficient and Homogeneity in Reflow Ovens, Proceedings of 30<sup>th</sup> ISSE, Cluj-Napoca, (2007) 320–325
- R2. **B. Illés**, O. Krammer, G. Harsányi, Zs. Illyefalvi-Vitéz, Modelling Heat Transfer Efficiency in Forced Convection Reflow Ovens, Proceedings of 29<sup>th</sup> ISSE, St. Marienthal, (2006) 80-85
- R3. **B. Illés**, G. Harsányi, Investigate Heat Conduction Ability of Power Components with Dijkstra Algorithm, Proceedings of 31<sup>th</sup> ISSE, Budapest, (2008) 426-431
- R4. **B. Illés**, O. Krammer, G. Harsányi, Zs. Illyefalvi-Vitéz, A. Szabó: Effect of Component-Level Heat Conduction on Reflow Soldering Failures, Proceedings of 1<sup>th</sup> ESTC, Dresden, (2006) 1386–1392

### *Konferencia-kiadványban megjelent előadások:*

- K1. **B. Illés**, Direction Characteristics of the Heat Transfer Coefficient in Convection Reflow Oven Part I: Parameters and Gas Flow Model, Proceedings of 14<sup>th</sup> SIITME, Brasov, (2008) 60–64.
- K2. **B. Illés**, Direction Characteristics of the Heat Transfer Coefficient in Convection Reflow Oven – Part II: Measurements and Discussion, Proceedings of 14<sup>th</sup> SIITME, Brasov, (2008) 65–69.
- K3. **B. Illés**, O. Krammer, Variation of Gas Flow Parameters in Forced Convection Reflow Oven, Proceedings of 13<sup>th</sup> SIITME, Baia Mare, (2007) 27–31.
- K4. **B. Illés**, O. Krammer, G. Harsányi, Zs. Illyefalvi-Vitéz, and A. Szabó: 3D Thermodynamics Analysis Applied for Reflow Soldering Failure Prediction, Proceedings of 4<sup>th</sup> EMPS, Terme Catez, (2006) 217–222

## ***További tudományos közlemények***

### *Referált konferencia-kiadványban megjelent előadások:*

- R5. O. Krammer, B. Sinkovics, **B. Illés**, Studying the Dynamic Behaviour of Chip Components during Reflow Soldering, Proceedings of 30<sup>th</sup> ISSE, Cluj-Napoca, (2007) 18–23
- R6. O. Krammer, B. Sinkovics, **B. Illés**, Predicting Component Self-Alignment in Lead-Free Reflow Soldering Technology by Virtue of Force Model, Proceedings of 1<sup>th</sup> ESTC, Dresden, (2006) 617–623
- R7. O. Krammer, **B. Illés**, Lead-Free Soldering Technology Review – Evaluating Solder Pastes and Stencils, Proceedings of 29<sup>th</sup> ISSE, St. Marienthal, (2006) 86–91

- R8. M. Janóczki, **B. Illés**, Cost Effective Design for Six Sigma in Component Placement, Proceedings of 29<sup>th</sup> ISSE, St. Marienthal, (2006) 441–446
- R9. L. Tersztyánszky, **B. Illés**, Incompatibility Problems in Soldering Technology, Proceedings of 28<sup>th</sup> ISSE, Wiener Neustadt, (2005) 90–96
- R10. Zs. Illyefalvi-Vitéz, J. Pinkola, G. Harsányi, Cs. Dominkovics, **B. Illés**, L. Tersztyánszky, Present Status of Transition to Pb-free Soldering, Proceedings of 28<sup>th</sup> ISSE, Wiener Neustadt, (2005) 72–77

*Konferencia-kiadványban megjelent előadások:*

- K5. O. Krammer, A. Nyakó, **B. Illés**, Measuring Methods of Solder Paste Hole Filling in Pin-in-Paste Technology, Proceedings of 13<sup>th</sup> SIITME, Baia Mare, (2007) 142–146
- K6. O. Krammer, **B. Illés**, Comparative Study of Stencils for Advanced Lead-Free Reflow Soldering Technologies, Proceedings of 12<sup>th</sup> SIITME, Iasi, (2006) 58–62
- K7. O. Krammer, **B. Illés**, Reflow Soldering Optimization in Lead-Free Environment – Immersion silver finishes are an alternative for Electroless Nickel Immersion Gold finishes, Proceedings of 11<sup>th</sup> SIITME, Cluj-Napoca, (2005) 85–89

*Egyéb publikációk:*

- E1. **Illés Balázs**: Különböző kontaktusfelület-bevonatok hatása az ólommentes kötések megbízhatóságára, ELEKTRONet (2006) (1) 64–65