

# **híradástechnika**

VOLUME LIX.

# **2004/1**

*Január*



**Társadalom és gazdaság**

**Hullámtan**

**Technológiák**

**A Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület folyóirata**

# Tartalom

Nem szabad késlekedni  
(KOVÁCS KÁLMÁN INFORMATIKAI ÉS HÍRKÖZLÉSI MINISZTER ÚJÉVI ÜZENETE) 1

## TÁRSADALOM ÉS GAZDASÁG

**Bögel György**  
Rosszkedvünk tele – Gyorsfénykép az informatikai piacról 4

**Talyigás Judit, Mojzes Imre**  
Az elektronikus kereskedelem az információs társadalom katalizátora 10

**A Nemzeti Hírközlési Hatóság a piaci versenyt támogatja** 15

**Nagy Beatrix Havaska**  
Sikeremberek – Interjú Dr. Kürti Sándorral, Dr. Mlinarics Józseffel és Dr. Prószéky Gáborral 17

## HULLÁMTAN

**Erhardt Zoltánné dr. Ferencz Orsolya**  
Impulzus-terjedés vizsgálata vákuummal kitöltött csőtápvonalon 19

**Földvári Rudolf, Gyimesi László**  
Hallásmodellre alapozott optimális jeltisztítási eljárás alkalmazásával szerzett tapasztalatok 25

## TECHNOLÓGIA

**Kuthi Edvard**  
Szelektív emitteres kristályos napelemek és az önadalékoló kontaktus 31

**Gordon Péter, Balogh Bálint**  
Lézersugár paraméterszabályozása többrétegű struktúrák mintázatának függvényében 43

**Berényi Richárd**  
Fémzési technológia és lézeres furatkészítés furatfémezett flexibilis hordozók előállítására 47

**Horváth Gyula**  
EMC kompatibilis lapos képcső – anno 1936! 52

*Címlap: A természetben is előfordulnak elektromágneses jelenségek (dr. Ferencz Orsolya cikkéhez)*

**Főszerkesztő**  
ZOMBORY LÁSZLÓ

**Szerkesztőbizottság**  
Elnök: LAJTHA GYÖRGY

BARTOLITS ISTVÁN  
BOTTKA SÁNDOR  
CSAPODI CSABA  
DIBUZ SAROLTA

DROZDY GYŐZŐ  
GORDOS GÉZA  
GÖDÖR ÉVA  
HUSZTY GÁBOR

JAMBRIK MIHÁLY  
KAZI KÁROLY  
MARADI ISTVÁN  
MEGYESI CSABA

PAP LÁSZLÓ  
SALLAI GYULA  
TARNAY KATALIN  
TORMÁSI GYÖRGY

# Nem szabad késlekedni

## Kovács Kálmán informatikai és hírközlési miniszter újévi üzenete

**Q**uid, quid agis prudenter agas et respice finem, vagyis bármit teszel okosan tedd, és jól fontold meg, mi lesz az eredménye. 2000 évvel ezelőtt ez még egy általánosan elfogadott alapigazság volt, mind politikusoknak, mind üzletembereknek. Akkor még volt idejük az embereknek minden döntés előtt tanácskozni, végiggondolni a következményeket és a pillanatnyi együttes tudás eredménye képpen egy törvényt, egy szerződést megfogalmazni. Akkor, az élet minden folyamata lényegesen lassabb volt. Elég, ha az utazásokra gondolunk, amikor egy 100 km-es utazásra két napot szántak és a tengeri úton sem türelmetlenkedtek, ha nem fújt a szél. A műszaki változásokról nem is beszélve, melyek több évszázadon keresztül értek be és váltak közkinccsé. Ezek után nem is csoda, ha a jogászok olyan megfontoltan dolgoztak, hogy a római jog ma is a jogászok oktatásának alapja. Szép lenne, ha ma is tudnánk ilyen gondosan és precízen dolgozni. Ezt azonban nem tehetjük meg, mert minden területen felgyorsultak az események.

Az informatika és a hírközlés területén a mai technika és technológia 20 évvel ezelőtt még az egyetemi tananyagban sem szerepelt, és gyanús, hogy amivel ma dolgozunk, azzal unokáink már csak a múzeumokban fognak találkozni. Ilyen körülmények között nem lehet mindent végiggondolva, az összes szempontot áttekintve, időtálló döntéseket és mindenre érvényes jogszabályokat hozni. A két évezreddel ezelőtti alapszabályok helyett most más irányelv lebeg a döntéshozók szeme előtt: Jobb ma egy döntés, ami talán nem tökéletes, mint a tétovázás, amivel elveszítjük a lehetőségeket. Mindezeket szem előtt tartva tekintsük át az elmúlt évek eseményeit és igyekezzünk napjaink feladatait felvázolni.

### Az elmúlt évtized eredményei

A rendszerváltást követő igen sok feladatot kellett megoldanunk. Ezen időszakban építettük fel mindazt, ami re Európának egy évszázad állt rendelkezésre, kezdve a bankrendszer, a részvénytőke, a teljes pénzügyi szabályozás kialakításától, a közlekedés korszerűsítésén keresztül az oktatás liberalizációjáig. Mindez a teljes lakosság szokásainak, ismereteinek megváltozását is igényelte. Bár még van mit tenni valamennyi területen, de az alapok meg vannak és az emberek nagy része

idomult ehhez. Természetesen ez a népesség nagy része számára jelentős energiákat igényelt, sokan bele is fáradtak.

Ugyanakkor sok kedvező hatást is tapasztalhat a lakosság. Növekedett például a gépkocsi használat, többen beszélnek idegen nyelveket. Jellemző az is, hogy a karácsonyi forgatagban, az ajándék vásárlás során, legnagyobb érdeklődés a mobil telefonok, a digitális fényképezőgépek, a nyomtatók és más Internet-hez, számítástechnikához kapcsolódó eszközök iránt mutatkozott. Különösen a fiatalok váltak fogékonyá az új technológiák iránt.

Ezen tapasztalatok alapján hihetjük, hogy a XXI. század feladatainak megoldását már a világ élvonalával együtt kezdhethetjük meg. Ezt alátámasztja például, hogy az elmúlt évben 50%-kal emelkedett az Internet használata, és több mint 7 millió mobil felhasználó van. A további korszerűsödés előfeltétele, hogy az oktatási rendszerünket is sürgősen illeszteni kell a megváltozott világunkhoz.

### Napjaink problémái

A törvényalkotásnak, és az államigazgatásnak is segítenie kell a változások elterjedését. A kapcsolatos sürgős döntéseket közvetlenül követnie kell a szabályozásnak és a törvényalkotásnak. Az IHM igyekezett eleget tenni ennek az igénynek és egy év alatt számos intézkedéssel támasztotta alá a fejlődés rendezett menetét. A késlekedés veszélyét felmérve némely esetben a kellő megfontoltság helyett vállaltuk a gyors döntés kockázatát. Talán ezzel magyarázható az elmúlt időszak néhány kritizált döntése, melyekről szeretnék említést tenni.

Az *Elektronikus Hírközlési Törvény* biztos, hogy tíz év múlva nem lesz helytálló. A törvényhozók fejében is megfordult ezzel kapcsolatos számos gondolat, de nem lehetett kiadását halogatni. Mind a szolgáltatók, mind a felhasználók számára sürgős volt a törvény, le kellett zárni a munkát. A jövő bizonytalan, és a technika fejlődésének hatására újabb törvényre lesz szükség. Az is látszik, hogy a következő évtizedben az elektronikus szó a haladás gátja lesz. A fénytechnika, a fotonika megtette már első lépéseit, hiszen az átviteli útjainkon nem elektronok viszik az információt, hanem fotonokra bízunk üzeneteinket. Várható, hogy az irá-

nyítás és a jelkezelés is felhasználja majd a foton alapú berendezéseket. Ez azonban nemcsak a törvény címében szereplő elektronikus szó kiegészítését teszi szükségessé, hanem a teljes hálózati struktúrára hatással lesz. Talán majd oly mértékben rendelkezik minden lakás hozzáférési kapacitással, hogy indokolatlan lesz az azonos jelkezelés különböző híranyagoknál. Azt sem tartom kizártnak, hogy a konvergencia jelszava helyett ugyanilyen lelkesedéssel fogjuk hangoztatni a divergenciát, az egyéni igényeknek megfelelő információ-ellátást. Előre nem láthatók sem a felhasználói igények, sem az ipari teljesítmények változása.

Ha két évtizeddel tekintek előre, akkor megjelenik előttem a nanotechnika informatikai és távközlési hatása, amellyel kapcsolatban még vázlatos jóslásokat sem mernék mondani. Ezek alapján biztos vagyok a törvény néhány éven belüli átalakításában.

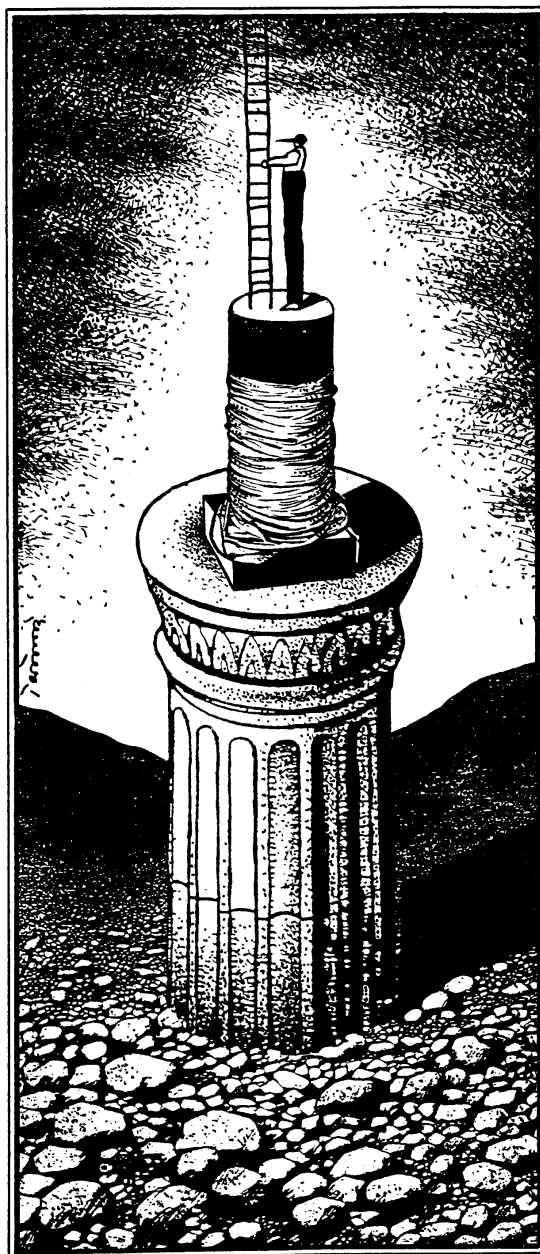
Ennek ellenére remélem, hogy a következő 1-2 év fejlesztéséhez hozzájárul ez a törvény. Nem a gondosan és precízen megfogalmazott mondatok segítik gazdaságunkat, hanem az a koncepció, hogy a világszerte több mint 100 évet megélt monopólium helyett igyekezzünk a fejlődést versennyel serkenteni. Ha elérjük azt, hogy mindenki hozzáférjen azokhoz a technikai megoldásokhoz, mellyel életét, családi és baráti kapcsolatait javíthatja, akkor lelkiismeret-furdalás nélkül nézhetünk a törvény esetleges későbbi megváltoztatása elé.

Az informatika terjesztésének pénzügyi támogatása sok embert gondolkodásra készítet. Ha az Internet használata, az elektronikus kereskedelem és a sokféle szórakoztatási lehetőség előnyös mind a lakosoknak, mind a vállalatoknak, akkor miért kell ezt kormányzati támogatással elősegíteni. Ha egy újfajta cipő, vagy autó jelenik meg, azt az emberek megveszik, egymásnak elmondják, hogy elégedettek, vagy nem és ami jó, az sikeres lesz. Egyértelműen látszik, hogy az e-Magyarország valamennyiünk számára sok előnyt kínál. Ennek ellenére jelenleg, ha valakinek van félretett pénze, előbb dönt úgy, hogy autót, majd az autóba benzint vesz, mint, hogy a szükséges informatikai eszközöket megvásárolná, és szolgáltatásaikat igénybe venné. Az utazás, a nyaralás és még sok minden egyéb megelőzi az emberek többségénél a korszerű technika bevezetését.

Miért nincsenek az emberek kellően motiválva? Mint tudjuk, természetes ösztön az, hogy félünk az újtól, nem szívesen veszünk fel új szokásokat. Mindez halmozottan jelenik meg, ha az újdonságok használatához még tanulnunk is kell. A vásárlás támogatásának az a célja, hogy az emberek elfogadják, mert alig kell fizetni értük, és ha már a lakásban van az új eszköz, akkor legalább a fiatalok el kezdik használni, és az idősebbek is megbarátkoznak az informatikával. Hasonló a célunk, amikor különböző pályázatokkal bővíteni akarjuk a szolgáltatások körét. Szeretnénk, ha az elérhető tartalmak olyan színvonalasak és vonzóak lennének, hogy idővel előkelőbb helyet foglaljanak el a családok költségvetésében.

Így, ha jól megfontoljuk, ez a támogatás egy megalapozott befektetésnek is tekinthető. Reméljük ugyanis, hogy a gazdasági élet változásának felgyorsulása és ezen technikai eszközök használata hozzájárul majd nemzeti jövedelmünk növekedéséhez. Ilyen formában a kritikusok tekinthetik ezt a támogatást olyan befektetésnek, ami lehet, hogy előbb megtérül, mint, ha valaki bérházat épít, vagy iparvállalatot alapít.

A hálózati struktúrák és azok együttműködése szintén kritizálható. Célunk, mely szerint az új szolgáltatóknak nincs szükségük engedélyre, csak bejelentésre, nem biztos, hogy ez káoszhoz vezet. Reméljük, hogy az újonnan piacra lépők ötleteikkel felfrissítik a több évtizede piacon lévők konzervatív módszereit. Bár a korábbi monopol szolgáltatóknak nagy tapasztalatuk van, és infrastruktúrájuk hatalmas értéket képvisel. Nagyon nehéz lesz újonnan belépőknek ugyanazon szabályok szerint és technikai módszerek felhasználásával megszorítani őket.



Koncepciónk nem is erre irányul. Inkább azt várjuk, hogy új műszaki megoldásokkal és vonzó szolgáltatásokkal újabb, alternatív lehetőségeket kínáljanak. Nem hiszem, hogy a fix állomások piacán igazán élénkítő hatású lenne a verseny. De a szabadság lehetővé teszi, hogy a kábeltelevíziós hálózatokon többféle szolgáltatást kínáljanak. Az irodalomban 3 play, vagyis 3 különböző szolgáltatás egy szolgáltatótól, egy hozzáférési áramkörrel már lehet, hogy vonzó lesz. Ha a szórakoztatás, az Internet adta lehetőségek, a lakás és az egyén biztonságát növelő különleges figyelő rendszerek egy helyen megrendelhetők, akkor ennek a szolgáltatónak reménye lehet arra, hogy a fix állomásokat is üzemeltetheti.

A világ mindezekben a kérdéseken már néhány évvel ezelőtt is gondolkodott. Sok helyen eredményes, új struktúrák alakultak ki. Kiderült, hogy az informatika, a távközlés, valamint a szórakoztatás kombinált kínálatával néhány éve alakult szolgáltatók már a leggazdagabbak sorába léptek. Erre most különös figyelemmel kell lennünk, mert még 20 évvel ezelőtt is az országhatárok biztos védelmet nyújtottak a nemzeti távközlési szolgáltatóknak. Az állami monopólium lehetetlenné tette, hogy külföldi cégek versenyre keljenek az egyetlen hazai távközlési vállalattal. Erre elsősorban az infrastruktúra adott garanciát. Most a rádiós eszközök megjelenésével, a fényvezetők árának csökkenésével és a különböző gyors, olcsó hálózatlétesítési eljárásokkal megszűnt a határok jelentősége és a távközlés világ-méreteken versenyre kényszeríti a vállalkozókat.

Mindezek talán magyarázzák, hogy miért nem törekedtünk a törvényben tökéletességre. Nemcsak azért, mert a maximalizmust az ügyek elszabotálásának leghatásosabb módszerének tekintjük, hanem, mert késlekedésünk veszélyeztetné hazai szolgáltatóink helyzetét. *Nem szabad késlekednünk* és ezért pillanatnyi tudásunk szerint a legkisebb kárt okozó döntéseket hoztuk meg. Igazán jó törvényt utoljára 3000 évvel ezelőtt hoztak nyilvánosságra. A tízparancsolat időtálló, tömör, egyértelmű és egyik pontjában sincsenek beépített kiskapuk. Egyszerűsége folytán a gyerekek is kívülről meg tudják tanulni nyolc éves korukban, és nem találnak kifogást arra, ha nem e szerint élnek.

## A fejlődés várható iránya

Az informatika lassan általános szolgáltatássá válik. Hasonlóan a vízhez, a villanyhoz, a távközléshez az informatika is természetes része lesz életünknek. Már nem érdekes az eszköz, amivel a szolgáltatáshoz hozzáférünk, azok működésével már csak a szakemberek fognak foglalkozni. Az embereket általában nem érdekli, hogyan működik egy erőmű amikor a villany világítást bekapcsolja, és közömbös, hogy milyen típusú központ hozza létre a telefon kapcsolatot.

A felhasználó tudomásul veszi, hogy mely gombokat kell a számítógépen megnyomni, ha a kívánt szolgáltatáshoz hozzá akar férni. Már nem fél attól, hogy

egy hibás billentyű megnyomása tönkre teszi értékes eszközét. Bízunk a rendelkezésre álló berendezésekben, megtapasztalta azok *működési biztonságát és stabilitását*. A használatot már gyerekkorban elsajátította és olyan életfogytiglan megmaradó, reflexszerű tudássá válik, mint az olvasás, a biciklizés, az úszás vagy a pénzhasználat.

A *kezelés egyszerűsödésével* az idősebb generáció is megbarátkozhat az Internet szolgáltatásaival, melyek számára előnyösek. Még arra van szükség, hogy a felhasználók bizalmát is megnyerjék az újdonságok. Itt a sajtónak van nagy felelőssége. Nincs szükség „kincstári optimizmusra“, viszont reális képet kell adniuk, melyek a veszélyeket gyakoriságuknak megfelelően értékelik. A bűnözést nem szabad az e-kereskedelem velejárójának tekinteni, mert az utcán sem minden járókelő zsebtolvaj.

## A jövő

Eddigi vízióink most válhatnak realitássá. Az ország lakosságának nagy része folyamatosan kap lehetőséget szélessávú hozzáférésre. Mind az ADSL, mind a kábeltelevíziós rendszereken elérhető néhány Mbit/s a lakások igényeit tökéletesen kielégíti. További lehetőséget rejt magában, hogy a fényvezető hálózat a közeljövőben néhány méterre megközelíti a végfelhasználókat.

Az Internet alapú szolgáltatások köre folyamatosan bővül. Remélhető, hogy kialakul a tartalmak olyan választéka, melyben mindenki talál igényeinek megfelelőit. Ennek megvalósítása a különböző *vállalkozóknak, cégeknek biztató lehetőség*. Az *államnak* viszont *kötelezettség* az előfeltételek biztosítása. Ebbe beleértve, hogy a tartalom megalkotójától, az Internetes csomagoláson, a távközlési szállításon keresztül az értéklánc minden szereplője érdekelt legyen és megtalálja reális hasznát. A szolgáltatás az elsődleges, és ha ez teret nyer, akkor a gyártók, üzemeltetők is sikeresek lesznek.

## Összefoglaló

Remélem, hogy sikerül valamennyi kollégánkat, kutató és felhasználó egyaránt arra biztatni, hogy a pillanatnyi lehetőségek legjobb felhasználásával gyorsítsák meg a rendelkezésre álló technika bevezetését és alkalmazását. Akinek módja és tehetsége van rá, nézzen előre, mert mindenki előtt nyitva áll az út az új technikai megoldások kidolgozására és akár a nemzetközi elismertség, vagy siker megszerzésére.

Rajtunk áll miként tudunk élni a lehetőségekkel. Az ismeretek terjesztésével a jelenleginél szélesebb rétegek számára tehetjük lehetővé, hogy az újdonságoktól ne féljenek, hanem sikeresen éljenek azokkal. Mindehhez sikeres boldog új évet kívánok a Híradástechnika minden olvasójának és ezen túlmenően mindenkinek, remélve, hogy élvezői lesznek az újságban megjelenő informatikai és távközlési eredményeknek.

# Rosszkedvünk tele

## Gyorsfénykép az informatikai piacról

BÓGEL GYÖRGY

A KFKI Számítástechnikai Rt. stratégiai tanácsadója,  
a Közép-Európai Egyetem Üzleti Iskolája tanári karának tagja, a Debreceni Egyetem docense  
gybogel@kfk.com

### **Kulcsszavak: informatikai piac, beruházások, közműszolgáltatás**

Az informatikai piac újra magához tér, de más lesz, mint amilyen a kilencvenes években volt. A közelmúltban tapasztalt visszaesés tehát nemcsak ciklikus ingadozást, hanem korszakhatárt is jelent. Milyen lesz a piac a következő években? Ha röviden kell válaszolnunk, a következőket mondhatjuk: érett, tömeg- és globális piac lesz, ahol a hangsúly a használaton, és nem az építkezésen van. Az informatikát szabványos szolgáltatásként kell majd megvenni szakosodott közüzemektől, informatikai erőművektől, és a használat arányában kell érte fizetni.

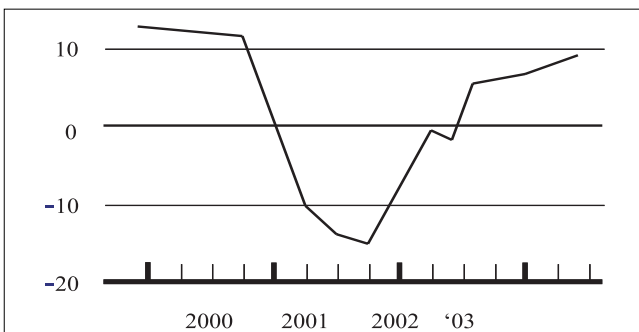
Autóvezetés közben az ember legfeljebb két-három műszert figyel. Ha arra vagyunk kíváncsiak, milyen idő várható, leginkább a barométerre pillantunk. Egy vállalat teljesítményét firtatva elsősorban a nyereségére kérdezzük rá.

Vajon milyen műszert nézzünk akkor, ha az informatikai piac állapotáról szeretnénk képet kapni? Nyilván sokféle lehetőség adódik: lehívhatjuk például a tőzsdei mutatókat, tanulmányozhatjuk a piaci elemzések keresleti és kínálati adatait, figyelhetjük az árakat, a vezető cégek beszámolóiban megjelenő számokat. Igen valószínű, hogy a sokféle műszer közül legtöbben ma azt figyelik, amelyik az amerikai informatikai beruházások nagyságának alakulását mutatja. Vessünk rá mi is egy pillantást!

Az 1. ábrán látható görbében tömören benne van mindaz, ami az informatikai piacon az ezredforduló óta történt. Leginkább egy gyökjelre hasonlít. Magasról indul, hiszen a kilencvenes évtized beruházási szempontból az informatika aranykora volt. Aztán hirtelen lefelé fordul: 2001-től a beruházások visszaestek, ami alaposan megtépázta a piacot. A 2003-as számok azonban ismét biztatóak, a görbe felfelé megy – a kérdés az, hogy milyen magasra, és meddig marad ott.

#### 1. ábra

Az információs technológiai kiadások alakulása az USA-ban (változás negyedéveknént az előző évhez képest)  
Forrás: USA, Commerce Dept. 2003. okt.



### **Járó és álló motorok**

A fagy enyhülésének több jele van. Az informatikai kiadások felfelé tartó menete azt jelzi, hogy egyes motorok beindultak. A lakosság például egyre jobban beleszeret a mindenféle ketyerékbe (digitális fényképezőgépekbe, új generációs telefonokba, lapos monitorokba stb.), szívesen vásárolja azokat, és ebben már az árak sem akadályozzák meg. Nyilván nem véletlen, hogy 2003. második felében az Európai Unió országaiiban ugrásszerűen nőtt a noteszgépek forgalma, leginkább a 7-800 dolláros kategóriában: nagy tömegek engedhetik meg maguknak, hogy ebben az ársávban vásároljanak.

A lakosság mellett a másik motor a kis- és közepes vállalkozásoké. Az USA piacán manapság sok szervert lehet eladni a 2000 dollár körüli árkategóriában – ezek többsége kisvállalkozásoknál áll szolgálatba. Arról se feledkezzünk meg, hogy az EU támogatási programjai is kiemelten kezelik ezt a szektort.

A harmadik járó motor Ázsia, azon belül is elsősorban Kína. A régió és az ország a növekedési statisztikák élén áll. Hatalmas beruházási, infrastruktúra-építési programok indultak el és haladnak sikeresen, óriási a befektetői érdeklődés, fejlődik az oktatás – mindezek más jelenségekkel együtt jó hatással vannak az informatikai termékek és szolgáltatások iránti keresletre.

A piac gyorsan felkap egyes technikai újdonságokat (lásd például a WI-FI karrierjét), bár nem mindig világos, hogy azokhoz milyen működőképes üzleti modelleket lehet kitalálni. A működőképeség fontos feltétele a védhetőség, a másolás ugyanis nagyon felgyorsult, senki sem számíthat arra, hogy tartósan egyedül lesz a piacon.

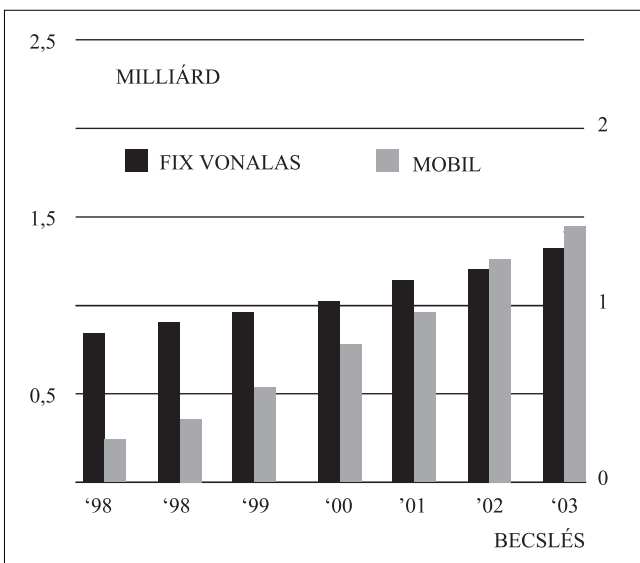
Vannak tehát (már?) járó motorok, de vannak olyanok is, amelyek állnak vagy köhögnek. A nagyvállalatok pénztárcája egyelőre nem akar igazán kinyílni. A többségük az elmúlt években nagy és drága informatikai beruházásokat hajtott végre, és most nem azon

töri a fejét, hogy mi újat vásároljon, hanem hogy a meglévő eszközeit miként használja ki. Napjaink nemzetközi konferenciázási, könyvkiadási és direkt eladási sláger témái – érthető okokból – a „Hogyan térülnek meg az informatikai beruházásaink?”, a „Mennyit ér nekünk az informatika?” és a „Hogyan szerezz pénzt informatikára az üzleti főnöködtől?” kérdéskörök.

Köhögő motornak tekinthetjük az államigazgatási szektort: beszélnek az információs társadalom, az elektronikus kormányzás, az e-oktatás és hasonló dolgok fontosságáról, szeretnének is rájuk költeni, de ha éppen nagy a deficit (lásd USA vagy Magyarország), meg kell nyirbálniuk a kiadásait.

A beinduló motorok másokat lefékezhetnek. Ha egy pillantást vetünk a távközlési statisztikákra, láthatjuk, hogy a mobil rendszerek előfizetőinek száma ma már meghaladja a fix, hagyományosakét (2. ábra). Az utóbbi még növekszik, de például az USA-ban már milliós nagyságrendben mondják vissza a második vonalat. Globális szinten a fix vonalas szolgáltatásokból származó bevételek csökkenni kezdtek.

2. ábra  
Telefon-előfizetők száma a világban  
Forrás: ITU, Business Week 2003. okt. 20.



A tőzsde mindenestre optimistább, mint a megelőző két évben volt. Az informatikai és a távközlési cégek árfolyama általában emelkedik. Az is látszik, hogy ezt a trendet nemcsak a hit élteti: sok helyen valóban javulnak a pénzügyi eredmények. Az árfolyamok néhol túlságosan is magasra kapaszkodnak, ami azt jelzi, hogy egyesek keveset tanultak a tőzsdei léggömb kipukkanásából. Mindenesetre ahol a vállalat *piaci érték-per-nyereség* hányadosa (az úgynevezett P/E, azaz price-per-earnings mutató) meghaladja a 25-30-at, nem árt fölöttébb óvatosnak lenni.

A vállalati pénzügyi eredmények értékelésénél egyébként is kellő gondossággal kell eljárni. Aki az infokommunikációs szektorban az elmúlt két évben javuló nyereséget tudott felmutatni, ezt inkább a *költségei csökkentésének*, és nem a bevételei növelésének kö-

szönhette. A költségcsökkentési kampány az egész iparágban végighullámozott: rengeteg embert bocsátottak el, megszorongatták a beszállítókat, olcsóbb forrásokat kerestek mindenfelé. Akinek a radikális fogyókúra ellenére sikerült talpon maradnia, most jó eséllyel számíthat arra, hogy a növekvő kereslet pozitív hatása közvetlenül meglátszik majd az eredménymutatóin.

A tőzsde növekvő érdeklődését és bizalmát jelzi az is, hogy ismét mozgolódní látszanak az *internetes vállalkozások*. A kilencvenes évek hálózat-lázában gombamód szaporodtak, aztán a tőzsdei válság elsodorta őket, éltető elemükkel, a kockázati tőkével együtt. Nem csoda: többségük soha semmiféle nyereséget sem csinált, sőt jócskán akadtak közöttük olyanok is, akik bevételt se. Most viszont ismét kezdenek megjelenni: kevesen vannak, de kifinomultabbnak, rendezettebbnek tűnnek a korábbiaknál. A Szilícium-völgy sokáig kihalt éttermei előtt ma ismét jobb kocsik állnak, a vendégek újra üzleti terveket firkálnak a szalvétákra.

## Érett tömegpiac

Egy évtized múlva valószínűleg tisztábban fogjuk látni, mi is történt valójában 2000. és 2003. között, melyek voltak a tartós, mélyebben fekvő trendek, és milyen rázkódást okoztak a piac átmeneti ingadozásai, tartós tavasz jött-e „rosszkedvünk tele” után. Azt is tudni fogjuk, hogy kik éltek túl a nehéz időket, és a szerencsén kívül minek köszönhetik a fennmaradásukat. Most viszont a magyarázatokkal és a jövővel kapcsolatban csak találgatni tudunk.

Hát akkor próbáljunk meg jósolni! Valószínű, hogy a két inséges év után az informatikai kiadások ismét növekedni fognak. Nem olyan gyorsan, mint a kilencvenes években: a tartós trend közel lesz a GDP növekedéséhez, de aligha fogja meghaladni annak kétszeresét. Hogy ez pontosan mennyit jelent? Az OECD 2004-re és 2005-re négy százalék körüli GDP növekedést jósol az Egyesült Államokban, és valamivel kevesebbet az Európai Unió országaiban (*The Economist*, 2003. nov. 29., p.106.) Az informatikai kiadások tekintetében a tartós trend (amennyiben a mai gazdaságban valamit tartósnak lehet nevezni) feltehetően némi ingadozás után fog beállni, ami egy hosszabb visszaesés után nem meglepő.

Az ingadozást az is erősíti, hogy a 2000. év vélt vagy valóságos problémája miatt sokan előrehozták a vásárlásaikat, vagyis kiköltekeztek magukat az 1998-99-es években. A megvásárolt gépek ma körülbelül négyévesek, azaz elérkezett a tömeges csere ideje. A GDP-ből kiinduló jóslatok bizonytalanságát Kína is növeli: nagy a bizonytalanság abban a kérdésben, hogy az ázsiai ország jelenlegi gyors növekedése fenntartható-e.

Az informatikai piac magához tér, de más lesz, mint amilyen a kilencvenes években volt. A közelmúltban tapasztalt visszaesés tehát nemcsak ciklikus ingadozást, hanem korszakhatárt is jelent. Milyen lesz a piac a kö-

vetkező években? Ha röviden kell válaszolnunk, a következőket mondhatjuk: *érett, tömeg- és globális* piac lesz, ahol a hangsúly a *használaton*, és nem az építkezésen van.

A marketing tankönyvekből és saját tapasztalatainkból tudjuk, hogy minden piac *beér*ik egyszer. Ezt a folyamatot több tényező segíti: az újdonságok terjedése és általános elfogadása, a termékek és a technológiák stabilizálódása, a szabványosodás, az árak „beállása”. A beérés legbiztosabb jele a magas penetráció: a termék megszokott, hétköznapi cikké válik, ami gyakorlatilag mindenkinek van. Beérett piacon a kínálati oldalt nem az innovátorok és az új vállalkozások tömegei képviselik.

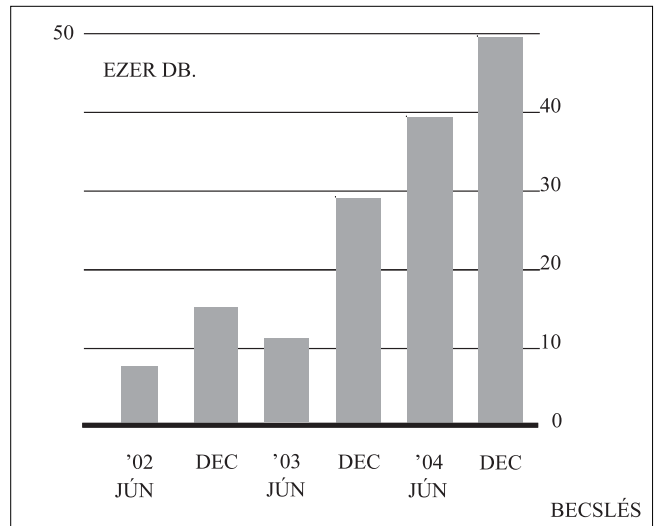
A mezőny *konzolidálódik* és kialakul a klasszikus piaci szerkezet: kis számú nagyvállalat az élen, néhányan mögöttük követői-támadói szerepben, valamint egyes piaci résekkel, speciális szegmensekkel foglalkozó cégek, együttesen is kicsi piaci részesedéssel. A termékek megkülönböztetésére egyre kevesebb lehetőség van, a fogyasztók megnyerésében pedig nagy szerepe van a márkáknak.

A piaci konszolidáció sokak számára megszűnést jelent. Tudjuk például, hogy jelenleg több mint 2.300 szoftveres cég működik a világban nyilvános részvénytársasági formában – a számuk akár 30-40%-kal is csökkenhet. A piaci hullámokat nyilván a nagy felvásárlások és összeolvadások hírei borzolják fel legjobban, mint nemrég az Oracle bejelentett ellenséges felvásárlási szándéka a PeopleSoft-ra vonatkozóan. A felvásárlás és az összeolvadás egyébként keserves és kockázatos műfaj, az akció gyakran kudarcra végződik.

Az informatikai piac *tömegpiaccá* válása a szemünk előtt zajlik le. Az első számítógépek egyetemi laboratóriumok, hadiipari óriásszervezetek rejtett kincsei voltak. Napjainkban az ezeknél lényegesen fejlettebb gépek ott vannak mindenki asztalán. Ha a társadalmat és a gazdaságot vízszintesen rétegzett piramisként ábrázoljuk, tetején a leggazdagabb emberekkel és a legnagyobb cégekkel, az alján pedig a szegényekkel és a kisvállalkozásokkal, elképzelhetjük, hogyan ereszkedtek és ereszkednek lefelé az informatikai eszközök rétegről rétegre. Amit nemrég még csak a leggazdagabbak és a legnagyobbak engedhettek meg maguknak – például hogy noteszgépet, egy jobb szervert vagy integrált irányítási rendszert vásároljanak – azt ma az alsóbb szinteken lévők is megtehetik (lásd a dél-koreai példát a 3. ábrán).

A piramis lefelé szélesedik, tehát ahogy az árak csökkennek, az eszközök mennyiségi szempontból egyre nagyobb piacokon jelennek meg. Igazi nagyvállalatból csak néhány száz vagy ezer van a piramis tetején; lejjebb viszont a kisvállalkozások száma több tízmillióra rúg.

Aki lépést akar tartani ezekkel a változásokkal, és ki akarja használni az „ereszkedésből” adódó piaci lehetőségeket, meg kell tanulnia a tömegpiacok elérésének és kiszolgálásának módjait. Nyilván nem véletlen, hogy a kis- és középvállalati szektor piacként egyre fonto-



3. ábra

Internet-alapú tervezési és vezetési szoftvert használó kisvállalkozások száma Dél-Koreában

Forrás: Korean National Computerization Agency, 2003. szept.

sabb szerepet játszik a legnagyobb informatikai cégek (pl. SAP, Microsoft) stratégiájában, és hogy a lakossági piacon olyan vállalatok is megpróbálnak megjelenni, mint például a CISCO.

A tömegpiacok egyik fontos jellemzője az árakra nehezedő nyomás. Mivel sok az egyforma termék, a versenyben egyre fontosabb szerepet játszik az ár. Gyilkos árversenyek indulnak be, ami nyilván állandó költségcsökkentési kényszert is jelent, ha valaki megpróbálja tartani a nyereséghányadát.

Az ár- és költségcsökkentés stratégiája – sőt, nyugodtan mondhatjuk: *kultúrája* –, jól megfigyelhető a Dellnél. A cég bevételeinek nagyjából mindössze másfél százalékát költi kutatásra és fejlesztésre, annál többet foglalkozik viszont a saját működésével és folyamataival, megkeresve és kihasználva minden lehetőséget a költségek csökkentésére. A példáját persze nem követi mindenki: a skála másik végén ott van például a SAS Institute, ahol hatalmas összegeket költenek K+F-re, azaz nem a *költségvevői*, hanem a *megkülönböztető* stratégiára játszanak. A választás nem könnyű, ahogy ezt a SUN ellentmondásos piaci üzenetei és lépései is példázzák: a cég mintha egyik lábával az egyik táborban, a másikkal pedig a másikban akarna állni.

A tömegesedés egy következő lépcsőfokát jelentetik a „utility computing”-gal és a „software on demand”-dal kapcsolatos elképzelések. Ez nagyjából annyit jelent, hogy a szükséges eszközökhöz és alkalmazásokhoz ugyanúgy lehetne hozzájutni, mint a vízhez vagy az elektromossághoz: kinyitjuk a csapot vagy bedugjuk a zsinórt a konnektorba, és ott van. Nem kell otthon kutatófürt vagy generátort működtetni – azaz nem kell nagy létszámú saját informatikai részleget fenntartani, drága alkalmazásokat és rendszereket vásárolni és fejleszteni: az informatikát szabványos szolgáltatásként kell majd megvenni szakosodott közüzemektől, informatikai erőművektől, és a használat árnyában kell érte fizetni.

Meglátjuk, hogy mi válik valósággá ebből a jövőképből. Tény az, hogy több nagy cég (pl. IBM, HP) stratégiájában hangsúlyos szerepet kap. A statisztikákból és prognózisokból az is látszik, hogy egyre több vállalat próbálkozik informatikai tevékenységei kiszervezésével, a másik oldalon pedig növekvő számú informatikai cég kínál outsourcing szolgáltatásokat.

A sajtóban gyakran lehet találkozni a Salesforce.com cég nevével és „No software!” jelszavával. Ne vásárolj szoftvert – üzeni a cég –, inkább bérelj tőlünk távolról, potom havi díjért felhasználónként. A honlapjuk nyitóoldalán közzétett adatok szerint 110 országban, 8000 cégnél összesen 110.000 előfizetővel rendelkeznek (2003. dec. 5.). Hasonló kísérletek korábban is voltak, de kétes eredménnyel. A szemek most a Salesforce.comra szegeződnek: sikeres lesz ez az üzleti modell? Hogyan fognak reagálni a befektetők, ha a fiatal cég megjelenik a tőzsdén?

A tömegesedést segíti a szabványok kialakulása, a kompatibilitás, az installálási költségek csökkenése. A liberális, versenypárti gazdaságpolitika – ahol komolyan veszik – újabb és újabb falakat bont le. Az USA-ban nemrég tették lehetővé, hogy aki mobil szolgáltatót vált, joga van magával vinni a számát. Rövidesen látni fogjuk, vajon hányan élnek majd a váltás lehetőségével. Hong Kongban milliók cseréltek szolgáltatót, másutt a számok szerényebbek; a nyitás mindenestre élezi a versenyt, a verseny lefelé nyomja az árakat, az olcsóbb termékeket többen használják...

A tömegesedés és a vele járó árverseny és költségcsökkentési kényszer sok kellemetlenséget okoz az informatikai cégeknek. Normális cég monopólium szeretne lenni, és minden tőle telhetőt megtesz ennek érdekében – a kérdés az, hogy meg tudja-e tenni.

Sokan azzal védekeznek a tömegesedés ellen, hogy megpróbálnak feljebb kapaszkodni az informatikai értékláncban a működtetés és más szolgáltatások felé. Abban bíznak – nagyrészt joggal –, hogy a szolgáltatások személyesebbek, különlegesebbek, kevésbé hajlamosak a tömegesedésre, e tevékenységeknél a nyereséghányadok nagyobbak és fenntarthatóbbak. A szolgáltatások felé való elmozdulás nem sikerül mindenkinek, akiknek viszont igen, azok élénkülő versenyel találkoznak ezekben az alszektorokban – hiszen mindenki épp oda igyekszik.

## Globalizálódás

Mint már jeleztük, a mai informatikai piacnak egy további jellemzője is van: globalizálódik. „A globalizáció azt jelenti, hogy ott szerzünk tőkét, ahol a legolcsóbb, ott termelünk, ahol a legalacsonyabbak a költségek, és ott adunk el, ahol a legnagyobb nyereséget tudjuk elérni” – mondta egyszer Narayana Murthy, az Infosys elnöke. Nem véletlen, hogy pont ő mondta, és pont tőle szokták idézni. Az Infosys egyike azoknak az indiai informatikai vállalatoknak, amelyek üstökösként emelkedtek fel az informatikai piac égére, és ott vannak ma is.

Sikerükhöz több dologra volt szükség, így például az indiai gazdaságpolitikai nyitásra, a piacgazdaságra való áttérésre, modern infrastruktúra-szigetekre, az elmaradottságból kitörni vágyó vállalkozókra, jól képzett, angolul tudó, olcsó szakemberekre és egy nagy adag ambícióra. Vannak közöttük olyanok, akik szinte a semmiből jöttek (Infosys, NIIT), de néhány tradicionális családi vállalatnak (Tata, Wipro) is sikerült felülnie az informatika vonatára. A Wipro egykor az étolajáról és a szappanjairól volt ismert, ma viszont egyike a világ legnagyobb és legsikeresebb informatikai vállalatának.

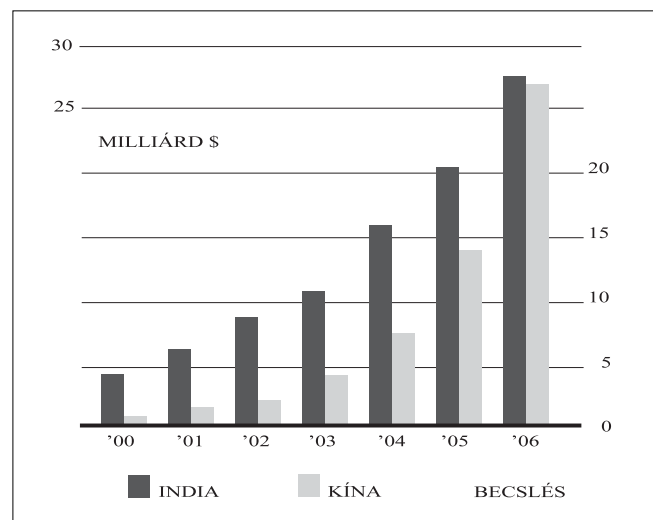
Az indiai cégek fokként másztak fel a létrán. Először csak embereket exportáltak, majd egyre bonyolultabb projekteket vállaltak fel, cégeket alapítottak külföldön, megjelentek a Nasdaq-on. Mivel a piac kezdetben bizalmatlan volt velük szemben, igen szilárd *minőségbiztosítási* rendszereket kellett kiépíteniük, ügyelniük kellett az *átláthatóságra* és az üzleti etikára. Meg kellett tanulniuk, hogy bontsák fel az elkészítendő szoftvereket világos kapcsolódási pontokkal rendelkező modulokra, hogyan fejlesszék azokat párhuzamosan különböző földrajzi helyeken, majd miként kapcsolják őket össze ismét. Amit ma „gyárszerű szoftverfejlesztésnek” és a hozzá tartozó módszertannak nevezünk, nagyrészt a félsziget fejlesztési központjaiban tenyészik.

Az indiaiak tehát globalizálódnak a világ felé, a világ pedig feléjük globalizálódik. Ma ők az úgynevezett folyamat-outsourcing legfontosabb célpontjai. Folyamatok kiszervezéséről akkor beszélünk, ha nem csak az informatikai tevékenységeket bízzák külső vállalkozóra, hanem egyes, az informatika által támogatott üzleti folyamatokat, funkciókat (könyvelés, bérszámfejtés, telefonos ügyfélszolgálat) is. Sajtójelentések szerint egyes amerikai cégek egyszerre 500-2000 állás kiszervezését is fontolgatják. „Mindenkinek el kell döntenie, hogyan viszonyul az Ázsia-jelenséghez” – mondják (4. ábra). Becslések szerint ma több szoftverfejlesztő mérnök van Bangalore-ban, mint a Szilícium-völgyben.

### 4. ábra

Indiai és kínai szoftverfejlesztési és informatikai szolgáltatási bevételek

Forrás: Gartner Dataquest, 2003. augusztus



A jelenség kétségtelenül figyelemre méltó. Az informatikai szektorban a gyártás globalizálódása, keletre költözése már régi történet. Most viszont a fejlesztés és a szolgáltatás, azaz a magas szintű szellemi munka is megindult ezen az úton. A fogadókésztséget erősítő India és Kína gyors tempóban fejleszti az *oktatási rendszerét* és növeli a kibocsátott diplomások számát.

E lépéseknek megvannak a veszélyei is: Kínában jelenleg rengeteg a diplomás munkanélküli, ami akár politikai feszültségeket is okozhat. Érdekes módon feszültségek mutatkoznak az USA-ban is, ahol sokan úgy vélik, hogy az amerikai vállalatoknak otthon kellene munkahelyeket biztosítaniuk. Nem csoda: az országban a 2003. novemberi statisztikák szerint 234 ezer informatikai szakember volt állás nélkül. A szoftverfejlesztő mérnökök körében a munkanélküliség három év alatt megduplázódott, mutatója jelenleg négy és öt százalék között lebeg. Versenyezniük nehéz, hiszen egy hasonló képességű indiai bére alig az ötöde az övének.

A kiszervezési hullámnak Közép- és Kelet-Európában is lehetnek haszonélvezői. Vannak például olyan elképzelések, hogy a jelenlegi EU egyes vállalatai és pénzügyintézetei az új csatlakozó országokba, például Litvániába vagy Magyarországra fogják telepíteni háttér- (back-office) tevékenységeiket.

## Jövőképek, modellek és ideológiák

Mint az eddigiekből is láthatjuk, az informatikai piac kilátásait nehéz megítélni. A kilencvenes évek eufóriája után nehéz éveket éltünk át, a mai helyzet pedig leginkább egy lábadozó betegéhez hasonlít: még nem lehet tudni, hogy gyors talpraállás következik-e, vagy lassú erősödés, esetleg visszaesés.

A helyzet érdekes és figyelemre méltó nézeteket és magyarázatokat szül. A makroközgazdászokat például élénken foglalkoztatja a *termelékenység* kérdése. Foglalkoztatja, és egyben meg is osztja, mivel a helyzet e tekintetben sem egyértelmű. A statisztikai adatok szerint a termelékenység az USA-ban a kilencvenes évek közepéig csökkenő tendenciát mutatott annak ellenére, hogy a gazdaságban tömegével jelentek meg a számítógépek. A jelenséget „termelékenységi paradoxonnak” nevezték, és élénk vitákat folytattak a számítógépesítés gazdasági hasznáról, illetve annak kimutathatóságáról.

Az utóbbi időkben a trend megfordulni látszik: az USA termelékenységi mutatója látványosan emelkedett. Egyesek már ki is jelentik, hogy a paradoxon megoldódott: lám, a számítógépek növelik a termelékenységet (érdemes tehát pénzt költeni rájuk), csak meg kell tanulni a használatukat, az új technológiához kell igazítani az eljárásokat és a működési módokat, és az bizony beletelik egy kis időbe. Mások viszont óvatosságra intenek és azt mondják, e kérdésben nyilatkozni csak akkor lehet, ha a számokból ki tudjuk szűrni a recesszió átmeneti hatásait. Az mindenesetre érdekes

jelenség, hogy a munkaügyi statisztikák az élénkülő amerikai gazdaságban csak nagyon nehezen akarnak javulni, mivel a vállalatok nagyon óvatosak a felvételekkel kapcsolatban, és egyelőre nem akarják növelni a létszámukat.

A probléma nem kizárólag elméleti és makrogazdasági. Korábban már bemutattuk, hogy az informatikai piac egyes motorjai (lakosság, kisvállalkozások, Kína) már járnak, mások viszont alig duruzsolnak, és a nagyvállalatok az utóbbiak közé tartoznak. Keresletük élénkítéséhez jó lenne valamilyen hatásos érvet, erős bizonyítékot találni: tessék új gépeket és rendszereket vásárolni, mert megéri.

Az informatikai ipar vállalatainak legnagyobb félelme talán az, hogy a piac nem fogja olyan érdeklődéssel fogadni az innovációit, mint a korábbi évtizedekben. Bill Joy szavai – aki akkor a Sun vezető tudósa volt – sokakat szíven találtak a múlt télen Davosban, a World Economic Forum ülésén: „Mi van akkor, ha az emberek már megvették azt, amire szükségük van?” Mi van akkor, ha az újdonságok már „túl jók” a korlátozott felszívó- és alkalmazkodóképességgel rendelkező vállalatoknak, ha az eszközök és alkalmazások képességei már fölé lőnek a reális tömegigényeknek?

A legnagyobb felháborodást és sajtóvisszhangot azonban Nicholass Carr cikke váltotta ki, amit 2003. tavaszán publikált a Harvard Business Review-ban „IT Doesn't Matter”, „Az IT nem számít” címmel. Ebben azt fejtegeti, hogy mivel az informatikai eszközök tömegcikké váltak, használóiknak többé nem adnak versenyelőnyt: a jövőben afféle közüzemi szolgáltatásoknak kell őket tekinteni. Aztán az eladói oldal számára dermesztő következtetésre jut: kevesebbet kell költeni rájuk, türelmesen ki kell várni, amíg az újdonságok olcsóbbak és biztonságosabbak lesznek. Carrnak valószínűleg nincs, vagy nincs teljesen igaza, de az iparág képviselőinek és hangadóinak heves reakcióiból látható, hogy az általa leírtak igen érzékeny idegszálakat találtak telibe.

Egy biztos: 2004-ben az informatikai piacon ismét izgalmas éveknek nézünk elébe.

## Irodalom

- [1] Bógel György (2000): *Verseny az elektronikus üzletben*. Műszaki Könyvkiadó
- [2] Bógel György – Forgács András (2003): *Informatikai beruházás – üzleti megtérülés*. Műszaki Könyvkiadó (megjelenés alatt)
- [3] Brynjolfsson, E. – Hitt, L. (2001): *Computing Productivity: Firm-Level Evidence*. MIT Sloan School of Management, Sloan Working Paper 4210-01
- [4] Carr, N. (2003): *IT Doesn't Matter*. Harvard Business Review, május
- [5] Christensen, C. (2003): *The Innovator's Solution*. Harvard Business School Press
- [6] Freeman, C. – Louca, F. (2001): *As Time Goes by*. Oxford University Press

- [7] Liebowitz, S. (2002):  
*Re-thinking the Network Economy.*  
Amacom, New York
- [8] Murphy, T. (2002):  
*Achieving Business Value from Technology.*  
John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey
- [9] Perez, C. (2002):  
*Technological Revolutions and Financial Capital.*  
Edward Elgar, Cheltenham, UK
- [10] Porter, M. (2001): *Strategy and the Internet.*  
Harvard Business Review, március
- [11] Reinhardt, A.–Groves, E. (2003):  
*Europe is for Laptop Lovers.*  
Business Week, november 24.
- [12] Roach, S. (1987): *America's Technology Dilemma: A Profile of the Information Economy.*  
Morgan Stanley
- [13] Shapiro, C.–Varian, H. (1999): *Information Rules.*  
Harvard Business School Press, Boston
- [14] Strassmann, P. (1990):  
*The Business Value of Computers.*  
New Canaan, CN: The Information Economics Press
- [15] Strassman, P. (1997): *The Squandered Computer: Evaluating the Business Alignment of Information Technologies.*  
Information Economics Press
- [16] Thurow, L. (1986): *White-Collar Overhead.*  
Across the Board, 11. sz.
- [17] Tyson, Laura D'Andrea (2003):  
*Why Europe is Even More Sluggish than the U.S.*  
Business Week, január 13.
- [18] Szabó Katalin – Kocsis Éva (2002):  
*Digitális paradicsom vagy falanszter?*  
Aula Kiadó

## Hírek

**A Magyar Információs Társadalom Stratégia (MITS)** egyik kiemelt területe az internethasználat hazai elterjedésének elősegítése. Ennek érdekében az Informatikai és Hírközlési Minisztérium pályázatot írt ki közösségi Internet-hozzáférési pontok létesítésére. A tárcsa szándékai szerint ezek a pontok elsősorban közintézményekben, vagyis önkormányzatoknál, könyvtárakban, művelődési házakban létesülnek, ezért csak közintézmények pályázhatnak.

**A Magyar Teleház Mozgalom** létrehozását és támogatását a kormányzat a kilencvenes évek közepétől folyamatosan fontos feladatának tekintette. Együttműködésük értelmében az IHM 150 millió forinttal támogatja a Teleház Szövetséget. Az Együttműködési Megállapodás ugyanakkor azt is tartalmazza, hogy a Közháló program keretében az IHM támogatásként nagy sáv szélességű Internet kapcsolatot biztosítana mintegy 400 teleház számára.

Az IHM elkötelezett a civil szervezetek támogatásában. Az év közepéig több ezer **eMagyarország pont** létrehozását tűzte ki célul. eMagyarország pontok létrehozására és működtetésére jelentkezhetnek nyilvános könyvtárak, közművelődési intézmények, bejegyzett egyházak jogi személyiséggel rendelkező intézményei és települési önkormányzatok, állami, önkormányzati vagy egyházi fenntartású kórházak, szakkórházak, szanatóriumok, az idősek otthonai és klubjai, kiskereskedelmi, vendéglátó vagy postai tevékenységet folytató gazdálkodó szervezetek (pl. könyvesboltok, internet-kávézók, posták stb.), alapítványok és közhasznú társaságok.

**A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem** lett az egyik nyertese az Informatikai és Hírközlési Minisztérium HHÁT-1 (rádióberendezések és távközlő végberendezések megfelelőségét vizsgáló szervezetek létrehozásának támogatása) pályázatának. A pályázattal elnyert támogatási összeg 143 millió forint, a megállapodás értelmében a távközlő végberendezések követelményeinek vizsgálatára. A teljesítéséhez a következő előfizetői interfészek vizsgálati eljárását kell kidolgozni:

Integrált szolgáltatású digitális hálózat (ISDN) alaphozzáférésű (2B+D), primer sebességű (3...30B+D) előfizetői interfész, valamint nagysebességű adatátviteli előfizetői interfész fémes érpáron (xDSL).

A pályázat által megvalósuló vizsgáló laboratóriumnak a Nemzeti Akkreditációs Testületnél akkreditált laboratórium minősítést kell nyernie. A szerződés akkor teljesül, ha a pályázónak sikerül a kijelölést megkapnia. A kijelölés tényét a minisztérium bejelenti az Európai Bizottságnak, ahol a kijelölt szervezet „notified body”-ként nyilvántartásba kerül, ezúton ismertté válik az Unió tagországaiban, és más tagországok gyártóinak is végezhet vizsgálatokat.

Az **Infopark Rt.** német tulajdonosa az IVG Immobilien AG meghozta a döntést a következő épület építési munkálatainak megkezdésére. Az IVG Hungária Kft a STRABAG Rt-vel állapodott meg a 12.700 m<sup>2</sup> bérbeadható területtel rendelkező C jelű épület megépítésére. Az átadást 2005. első negyedévében tervezik.

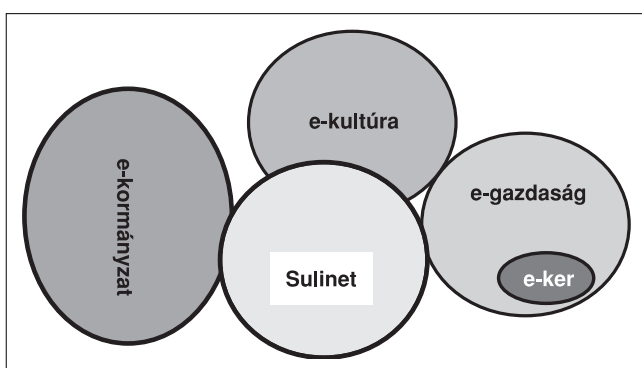
# Az elektronikus kereskedelem, mint az információs társadalom kiterjesztésének katalizátora

TALYIGÁS JUDIT, MOJZES IMRE

talyigas@mti.hu, mojzes@ett.bme.hu

**Kulcsszavak:** Internet, elektronikus pénzforgalom, mobil kereskedelem

Az elektronikus kereskedelem egy kis részterülete az e-gazdaságnak. Cikkünk első ábráján feltüntetett nagyvonalú közelítés érzékelteti, hogy a távmunka és távoktatás, az e-bankolás, e-kultúra stb. mellett az e-gazdaság csak egy, bár jelentős szakterülete az új technológiákon alapuló, folyamatosan alakuló világunknak. Az e-kereskedelem pedig ennek a része.



1. ábra

Szükséges és lehetséges-e, hogy az e-kereskedelem katalizátorként működjön?

Ismerve – és a későbbiekben bemutatva – a hazai információs társadalomra jellemző adatokat egyértelműen kimondható, hogy lemaradásunk az EU-csatlakozás időpontjában e területen egyértelmű. A katalizátor hatása csak akkor működhet, ha a feltételek adottak. Jelen esetben ezek: a technikai infrastruktúra, a szabályozás – beleértve az önszabályozást is – a tartalom, a használati kultúra és képesség, a fejlesztés lehetősége, továbbá a bizalom.

Az *infrastruktúra* a legfejlettebb technikai formákban is rendelkezésre áll hazánkban, azonban mennyiségükben és eloszlásukban nem megfelelően.

A *szabályozás* területén igen elől tartunk. Évek óta létezik az elektronikus kereskedelemről (2001/CVIII. tv.) és az elektronikus aláírásról szóló (2001/XXXV. tv.) törvény, sőt ezeknek módosításai is napirenden vannak. Az Egységes Hírközlési Törvény 2001-ben (2001./XL. tv.) lépett életbe és heteken belül helyébe lép az Elektronikus Hírközlési Törvény. E törvények, illetve módosított változataik az EU-irányelvekkel, és ajánlásokkal is összhangban állnak, az elektronikus fizetésről pedig kormányrendelet született (232/2001.XII.10). Az önszabályozás kérdése ismert szakmai körökben és kormányzati szinten, de szükséges lenne a civil szférában is a megismertetése és elfogadtatása, más szóval az alkalmazás feltételeinek és elterjedésének segítése.

Természetesen ehhez szorosan kapcsolódik a még csak csírájában létező, átgondolt etikai kódex kialakítása, de ami ennél is fontosabb, a kultúrájának mindennapi életünk részévé tétele. Ehhez először meg kellene találni a szabályozás és önszabályozás helyes arányait. Túlszabályozás esetén az etikai gondolkodás és megfontolások nem tudnak érvényesülni.

A *tartalom* kérdése már sokkal nehezebb. Ma formailag sokfajta szolgáltatást tervez a kormány, de más tartalomszolgáltatási lehetőségekre utalnak az informatikai és távközlő vállalatok elképzelései, vagy igényelne a lakosság. A magyar nyelvű tartalomszolgáltatás a „világhálón” döntően statikus vagy katalógusszerű lekérdezést biztosító honlapok rendezetlen halmaza, vagy a könyvek, versek, fotók digitalizált formái találhatóak meg általában formai igényesség nélkül. A tartalomszolgáltatások jelentős része nem jut túl a hagyományos folyamatok új technikára ültetésén, azaz nem használják ki az új technológia valós lehetőségeit. A könyvtárosok leggyakrabban csak hagyományos katalógusaikat „digitalizálják” – nincs se forrásuk, se ötletük az új lehetőségek hasznosítására a könyvkereső rendszerek kialakításánál.

Mindez visszavezethető a használati kultúra és képesség kérdéséhez. Tudatosítani szükséges, hogy itt többről, újfajta probléma-megközelítésről van szó, nemcsak a „billentyűzet” megfelelő használatáról, vagy az alapszoftverek rutinszerű alkalmazásáról. E kultúra az elért adatok szolgáltatások tudatos használatát, a megtalált tartalmak megértését, illetve a létrehozásra kerülő új tartalmak esetében a technika adta lehetőségek ismeretét jelenti. Ez több, mint informatikai eszközök használata.

A *fejlesztés lehetősége* a kormányzati és az EU kutatási keretprogramok, pályázatok formájában hosszú évek óta biztosított. Igaz a hazai pályázatok esetében inkább a több nyertes elképzelés a jellemző, mint a hosszabb fejlesztés jelentősebb forrás és várhatóan tartósabb eredmény igénye. A valaha meghirdetett és vallott „Magyarország szoftver nagyhatalom”-hit és az eredmények eltűntek.

A *bizalom kérdése* – hogy az utolsóként említett feltételre is rátérjünk –, hazánkban talán egy fokkal rosszabbul áll, mint más államokban. A változás befogadása a mobilitás hiánya további gyengíti az általános emberi bizalmatlanságot az új megjelenése és elterjedése esetében. E terület egyik meghatározó eleme a média, amely partner lehetne az eredmények és lehetőségek publikálásában, ám ehelyett a megbízhatatlanságról és hackerekről szólnak az újságcikkek. No persze, ez nem magyar sajátosság.

## Helyzetelemzés

Nézzük a számokat, a látszólagos tényeket: A GKI-Westel-Sun-Microsystem által közösen végzett 2002-re vonatkozó felmérés szerint, a hazai vállalatok 8%-a kínálja áruit, szolgáltatásait Interneten keresztül, és a vállalatok 14%-a veszi igénybe beszerzéseinél az Internetet. Ez megnyugtató – mondhatnánk, ha kíváncsian nem néznénk jobban a számok mögé. Mert mit is jelent az, hogy a vállalatok 8%-a? Az áru kínálat még nem feltétlenül jelent értékesítést vagy valós eladást. Esetenként ez nem jelent többet, minthogy honlapján szerepel az áruk megnevezése. Az 1. és 2. táblázatok alapján már többet tudhatunk meg.

Döntően a nagyobb vállalatok rendelkeznek saját honlappal, pedig a hazai vállalkozások jelentős hányada kis- és középvállalkozás, – a KSH adatok szerint az összes vállalkozás több mint 90%-a – és azok között, melyeknek van ilyen elérhetősége, csak a 9%-uk alkalmas kereskedési tevékenységre.

Ahhoz, hogy valóban érzékeljük hol áll ma Magyarország a vállalkozói elektronikus kereskedelem terén, ismernünk kell a kutatás záró számait is, azaz: valamilyen számítógépes hálózaton érkezett megrendelés a 2002 évi vállalati árbevételek 0,7%-a, amíg a vállalatok 2002 évi beszerzéseinek 1,1%-a történt ilyen módon. E forgalom 2002 évben elérte a 354 milliárd Ft-ot. Sok ez vagy kevés? Igazi összehasonlítás nincs. Az említett számítógépes hálózat lehet belső vállalat csoportokon belüli rendszer, vagy kialakult beszállítói hálózat, ahol nem a kereskedés hagyományos formája, hanem a megrendelések és szállítások is folynak. De tudjuk, hogy azokban az országokban, ahol az új kereskedési forma elterjedtebb, ott is csak a forgalom néhány szá-

1. és 2. táblázat

Foglalkoztatottak száma	Honlappal rendelkezők
250 fő fölött	70%
50 fő fölött	35-43%

A honlapok jellemzői	Az összes honlaphoz viszonyítva
Statikus adathordozó	73%
Lehet katalógust nézni	18%
Kereskedni lehet	7%
Valamelyik piactéren jelen van	2%

zaléka bonyolódik ezen a módon, hiszen csak azt értékesítjük vagy szerezzük be így, amely ebben a formában nagyobb profitot vagy olcsóbb árat vagy más környelmi szolgáltatást jelent az eladónak vagy a vevőnek.

A jelzett kutatás a hazai lakossági fogyasztási területére is kiterjedt. Mondhatnánk hangzatosan: a hazai Internet-alapú kiskereskedelmi beszerzések 2001-ről 2002-re 40%-kal és 2003-ra további 30%-kal nőnek. A tényleges számokat tekintve (3. táblázat) azonban ez csak a következőket jelenti:

Év	mrd Ft
2001	3,2
2002	4,5
2003	6,0

3. táblázat

Ez 2003-ban kevesebb mint a teljes kisáruforgalom 0,01%-a.

Az OECD 2002-re vonatkoztatva 82 országban vizsgálta kereskedelmi tevékenységre alkalmas portálokkal rendelkező vállalatok arányát, az összes vállalat-hoz viszonyítva. Ezt mutatja a 4. táblázat. Ennek alapján látható, hogy Magyarország a középmezőnyben helyezkedik el, amely azonban az átlag alatti kereskedelmi tevékenységre alkalmas vállalati portál meglétét jelenti.

	Megnevezés	Helyezés	Érték %
Legjobb	Svédország	1	0,64
Átlag	Tunézia	34	0,20
Magyarország	Magyarország	41	0,18
Legalacsonyabb	Orosz föderáció	82	0,04

4. táblázat

A technikai lehetőség az e-kereskedelem elterjedésének az egyik feltétele de létezik egy másik, amely talán inkább a kereskedelemhez kötődik, a vevő szereti sőt igényli, hogy törődjenek vele. A portálokon „bekopogtató” vásárlókat e lehetőségek között kell kiszolgálni és ajánlatokkal, segítséggel körbevenni.

Az ide vonatkozó OECD által végzett nemzetközi összehasonlító eredményeket az 5. táblázat mutatja.

Az országokat egy 7 pontos skálán minősítették, ahol az 1 pont az előző időszakhoz képest nem tapasztalható változást, a míg a 7 pont a jelentős fejlődést jelenti. A felmérés fókuszában az Internet alkalmazása a fogyasztókkal és a beszállítókkal való kapcsolattartásban állt.

A kapcsolattartás képessége és az odafigyelés úgy tűnik a valós élet mellett hazánk virtuális világában is hiánycikk.

5. táblázat

	Megnevezés	Helyezés	Érték
Legjobb	Finnország	1	5,22
Átlag	Mexikó	37	3,7
Magyarország	Magyarország	68	3,15
Legalacsonyabb	Luxemburg	82	2,00

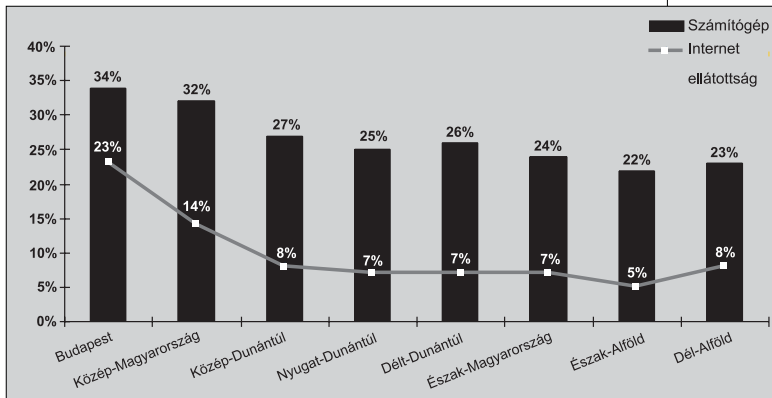
A vállalatok azonban elsősorban pénzügyi megfontolások alapján választanak és döntenek. E szemlélet egyik fontos alapeleme, hogy az információ amely alapján döntünk, megbízható legyen. Nézzük ezen a téren mit mutat a nemzetközi összehasonlítás?

A 6. táblázat azt firtatja, hogy a cégek weblapjain, portáljain milyen sűrűn frissítik az információt. A 7-es skálán az 1 a ritkán frissített, a 7 pedig a „világ legjobb portáljára” vonatkozik.

	Megnevezés	Helyezés	Érték %
Legjobb	Finnország	1	6,94
Átlag	Portugália	42	5,00
Magyarország	Magyarország	33	5,47
Legalacsonyabb	Románia	82	2,4

6. táblázat

E területen örömmel láthatjuk, hogy az átlagon felüli helyzetben vagyunk. Ez azt jelentheti, hogy aki e-technológiát épít ki, az használni is kívánja, azaz napi feladatokat lát el. Ez már biztatóbb jel arra, hogy elláthatja a katalizátori feladatot.

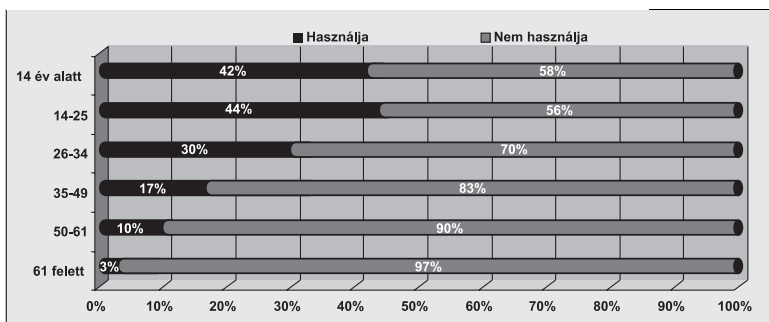


2. ábra

A hagyományokon túl mi akadályozza még az új technológia elterjedését? Az alkalmazáshoz eszköz kell. A hazai számítógép és Internet 2002-es elterjedését a háztartások arányában, regionális bontásban a 2. ábra szemlélteti (Forrás: NHIT-DNT Marketing-kutató és Tanácsadó Iroda).

A 3. ábra az Internet-használatot vizsgálja korosztályos bontásban. Nem az a meglepő, hogy a 14-25 év közötti korosztály esetében se éri el a használók aránya az 50%-ot, – bár az iskolákban, egyetemeken és

3. ábra



internet-kávézókban ma már elérhető – hanem hogy a 35-49 év közötti korosztályban, – amelyre döntően alapoznak a munkaadók –, az arány mindössze 17%!

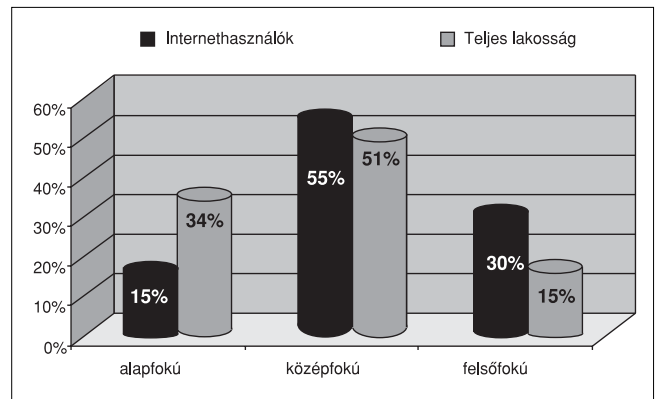
Az Internet elterjedése és használata sokak szerint csak eszköz kérdése. Nézzük meg mélyebben társadalmi helyzetre is utaló elterjedéseket. Ilyen az alkalmazók végzettségét, a munkahelyét és a jövedelmi viszonyait firtató kérdések. A 7. táblázat, a 4. és 5. ábra e megközelítésben mutatja a felhasználók megoszlásait.

7. táblázat

Foglalkozás	Teljes lakosságon belül %	Internetezőkön belül %
Szellemi vezető	5	11
Szellemi beosztott	18	33
Szellemi vállalkozó	3	9
Fizikai vezető	2	1
Fizikai beosztott	23	10
Fizikai vállalkozó	2	2
Tanuló	13	28
Nyugdíjas	26	3
Egyéb inaktív	8	3
összesen	100	100

A 7. táblázat az Internet használóinak foglalkozás szerinti megoszlását mutatja, oly módon hogy látatja az adott foglalkozást a teljes lakosságra vetítve is.

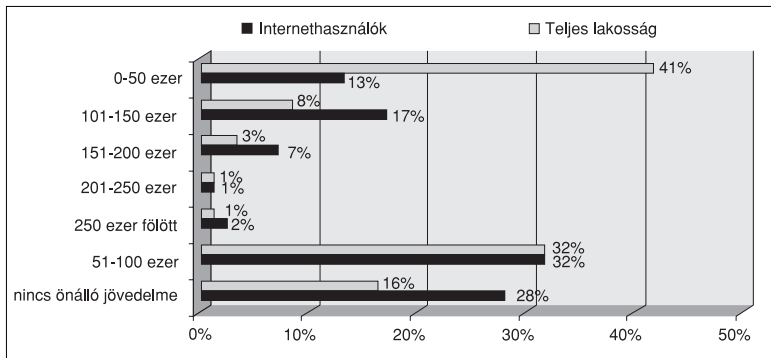
Amíg a teljes lakosság 5% szellemi vezető, addig az internetezőkön belül ez az arány 11%, hasonló torzulás látható ellenkező irányban is, miszerint a lakosság 23%-a fizikai beosztott, de ez csak az internetezők 10%-ra jellemző. Fontos, észrevenni, hogy a fizikai vállalkozók esetében már nem döntően kevesebb az internetezők aránya.



4. ábra

Érdekes a 4. ábrán a végzettség szerinti megoszlást a teljes lakossági arányokra is figyelve megismerni.

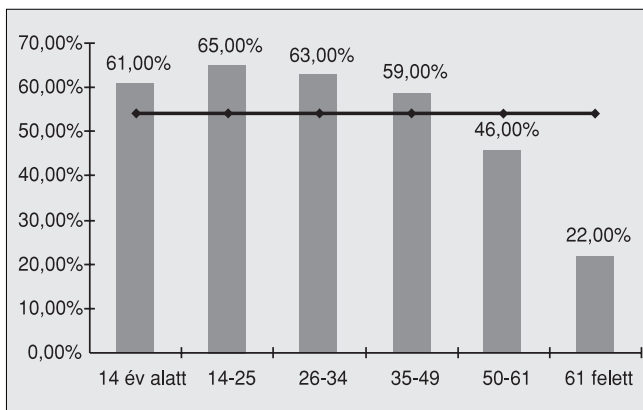
Amíg a lakosság 35%-a alapfokú képzettséggel rendelkezik, e rétegben az internetezők aránya 15%, addig felsőfokú végzettséggel a lakosság 15%-a rendelkezik, de az internetező populáció 30%-a is ebből rétegből kerül ki.



5. ábra

Még egy eloszlást érdemes megnézni, amely a jövedelmi viszonyokat mutatja a teljes lakosságra és azon belül az internetezőkre (5. ábra). Látható, hogy a jövedelem mértéke és az internethasználat között szoros a korreláció. A jövedelemmel nem rendelkezők elsősorban a tanulók.

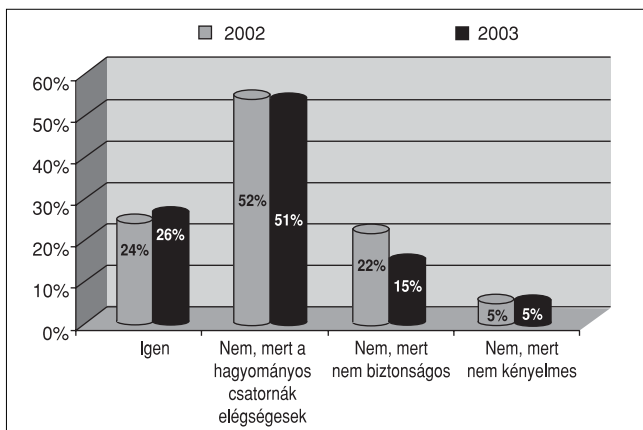
Most próbáljuk meg elemezni a 6. és 7. ábrán láthatókat. Hazánkban a felmérések szerint a mobiltelefon-ellátottság és -használat korosztályilag nem szór annyira mint a számítógép és az Internet.



6. ábra

A 7. ábra elgondolkasztató következtetések levonására készített. A GKI-Westel-Sun közös felmérésében azt is vizsgálták, hogy rendelnének-e szállítóiktól mobilon keresztül? A beszerzőknek, azaz vélhetően számítógép alkalmazóknak mindössze 24-26%-a válaszolt igennel.

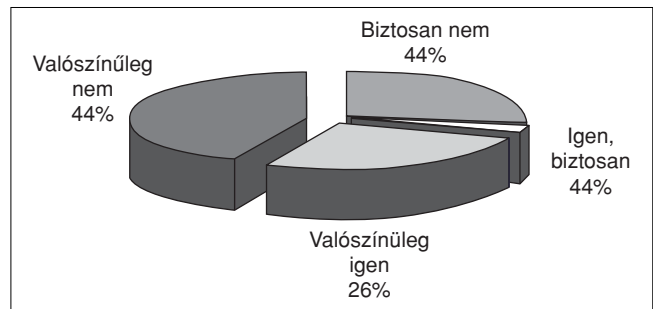
7. ábra



A többi elutasítja ezt a lehetőséget s az arány érdemben nem is változott 2002-ről 2003-ra.

A felmérés más alkalmazásra is rákérdezt (8. ábra): Ön szerint, ha erre lehetőséget biztosítanának, használnák-e vevők a „mobiltelefonos” fizetést?

A vállalatok 70%-a szerint ügyfeleik, vevők elutasítanák a mobil fizetést. Ez azt jelenti, hogy nem az eszköz-hozzáférési lehetőség az idegenkedés oka. Így marad a



8. ábra

feltételezés, miszerint a használati képesség vagy a megértés hiánya okozza az elutasítást. A használati képesség azonban elsajátítható. A válaszok is elsősorban arra utalnak, hogy a többségnek jó a hagyományos eljárás is, és nagy a bizalmatlanság.

Az elektronikus kereskedelem elterjedése elsősorban nem az eszközök szélesebb körű megjelenését, hanem használatát jelentené. Ehhez tudni kell, hogy az elektronikus kereskedelem egy eszköz a kereskedelmi tevékenységhez, egy lehetőség, amelynél tudni kell mikor érdemes a vevőnek illetve az értékesítőnek ezt a formát választani. Miben is különbözik ez az általános kereskedelmi eljárásoktól?

Ha a terméket elektronikusan értékesítik, akkor a hagyományos közgazdasági megfontolásokból csak néhány értelmezhető úgy mint régen. Az értékesítő alapvető érdeke, hogy a költség kisebb legyen mint a bevétel. De a költség tartalma megváltozik! Hagyományos termelési folyamatok esetében alapvetően minden termék költsége megegyezik az első termék előállítás költségeivel. Az e-kereskedelem területén az áruk jelentős részénél ez így nem igaz. Az előállítás megsokszorozása nem jelent egyenes arányú költség növekedést.

A termékek árában a szerzői jog, a tervezés költsége minden esetben megjelenik, de az újbóli előállítás költségében az anyag és a munkadíj csak csekély részt képvisel. A bevétel sem kötődik olyan egyértelműen az előállítási költségekhez, hiszen a vevő számára az Interneten keresztül közvetlenül elérhető szolgáltatások esetén az áru értékét elsősorban az információ értéke határozza meg. A napi hír holnap már kevesebbet ér, egy részvényárfolyam már 10 perccel később elértéktelenedik, a nem naprakész törvénytár pedig használhatatlan. Mind ez az áru árának kialakításakor a hagyományostól eltérő rugalmasságot is igényel.

Az új technológiák hatásának másik jelentős területe, hogy a technika fejlődése a kooperáció, az integráció irányába mozdítja el a piaci szereplőket. A hagyományos versenyszemlélet helyett a technikai kompatibilitás igénye, a szabványok megjelenése új lehetőségeket teremtenek az együttműködésekre, amelyeket a fejlesztések, az új eszközök, eljárások kialakításához szükséges nagy befektetések és jelentős kockázatok kikényszerítenek. Így egyre gyakoribb, hogy a régi versenytársak ezeken a területeken konzorciumokba tömörülve jelennek meg új piaci területek elnyerése érdekében.

A hagyományos termelésben a termék alacsony ára tömegtermeléssel volt biztosítható. A korszerű informatikai rendszerek alkalmazásával tömegtermelés mellett is lehetőség van az egyedi személyre szabott termékek előállítására. A termelésirányító rendszer paraméterezése összhangban lehet a „háttérben” elektronikus formában érkező igényekkel. Mindez úgy valósul meg, hogy a tér és idő faktor, amely eddig jelentős költség-tényező volt, ma már másként értelmezhető. Kooperációval lehetőség nyílik például arra, hogy a nap 24 órájában nemcsak értékesíteni, hanem gyártani is lehessen úgy, hogy a túlóradíjak ne jelentkezzenek, hanem a gyártás mindig abban az országban „folytatódjon” ahol nappal van, így a munkaidő ára a legolcsóbb maradhat.

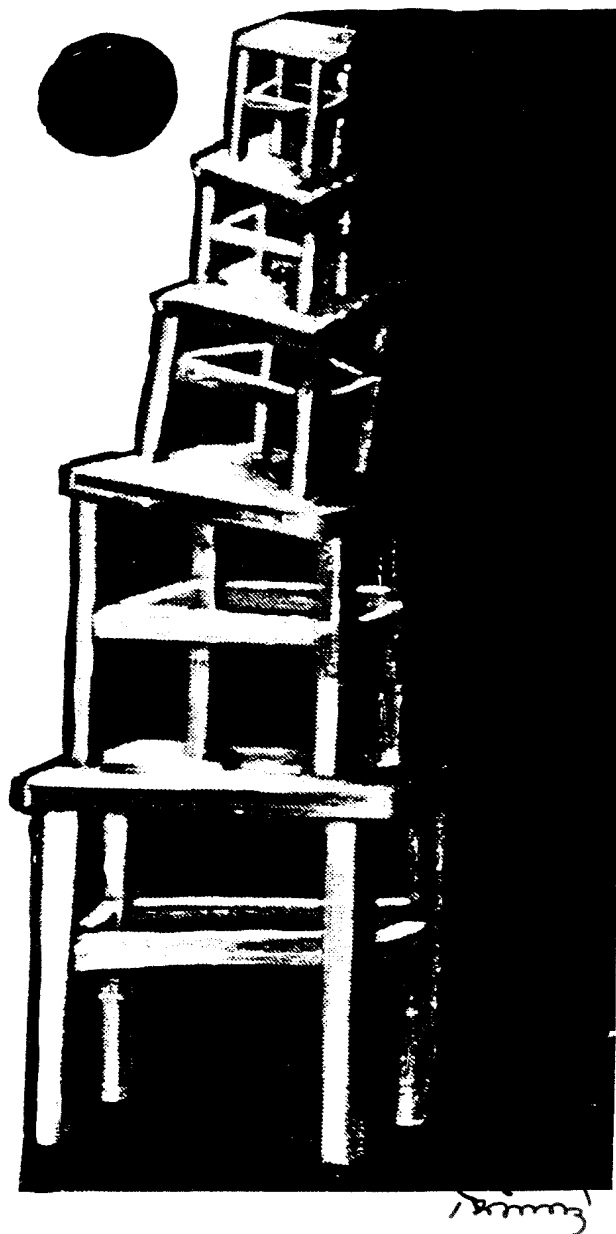
E bonyolult és jelentős szakmai tudást igénylő rendszerek már nem lehetnek egyedi kis cégek fejlesztési eredményei. Az e-kereskedelmi tevékenységet támogató szoftver-rendszerek az összes igényt; az interaktivitást, a többféle fizetési eljárás kezelését, a katalógus és „tárgyalási”, vagy aukciós megoldásokat, a kapcsolódó logisztikai rendszerek fogadását is lehetővé teszik, ám e megoldásokhoz jelentős befektetés szükséges. Jelentős befektetésre pedig akkor szánja rá magát egy vállalkozó, ha az igénybevevők várhatóan elérik azt a kritikus tömeget, amelynek hatására a profit még megfelelő időben és szükséges mértékben jelentkezik. Ennek egyik alapfeltétele, hogy megfelelő számú és minőségű alkalmazás álljon a felhasználók rendelkezésére.

Az üzleti szféra a kis- és nagykereskedelem területén alkalmazhatja, míg az iparvállalatok termékeik értékesítése mellett – pontosabban azzal összhangolva –, a belső igénylési és ellátási rendszereiket valósíthatják meg ezen elvek alapján. A pénzügyi szféra saját termékei értékesítésén túl a fizetési szolgáltatásaival és lehetőségeivel kapcsolódik az értékesítő rendszerekhez. A közlekedés területén a logisztikai feladatok – mint az elektronikus kereskedelemhez szorosan hozzátartozó szolgáltatások – új kihívásokkal és piaci lehetőségekkel találkoznak. A kultúra területén a színház- és mozijegy értékesítésénél fontos a kulturális értékek ilyen formában történő elérése és beszerzése. Ez az a terület, ahol a digitális televíziózás térhódítása az egyedi kulturális igények kielégítését teszi lehetővé a tömegtermeléssel készülő film- és színház-, valamint dokumentum-műsorajánlatok halmazából. E technikák

alkalmazása jelenti majd a lakosságbarát közigazgatást, amikor otthonról ügyintézőnk és tájékozódunk.

Nem is érdemes folytatni a sort, hiszen beszélhetnénk még egészségügyi, mezőgazdasági alkalmazásokról vagy éppen a szerencsejáték területéről, ahol már rég nem lottó szelvényeket dobunk be az erre rendszeresített ládikókba, ha meg akarunk gazdagodni. Mind ez akkor valósul meg ha az ígért szolgáltatások és áruk, tértől és időtől függetlenül beszerezhetők, elérhetők azaz megfelelő logisztikai rendszer is kiegészíti a szolgáltatásokat. Ne felejtjük el, mindez nem kiváltja, csak színesíti az értékesítési csatorna lehetőségeket és további választásra ad módot.

A felhasználók számára e rendszerek elérhetőségéhez szükséges technikai háttérrel – számítógépet és szélessávú Internet-elérést kell biztosítani. Fogalmazzunk pontosan: arra van szükség, hogy a technikai lehetőséget a jövőben felhasználók körében a kultúra és a műveltség is kövesse.



# Az Nemzeti Hírközlési Hatóság a piaci versenyt támogatja

Információ: Kommunikációs Igazgatóság, [bolcshazy@hif.hu](mailto:bolcshazy@hif.hu)

## Új fejezet kezdődött

2004. január 1-jével életbe lépett az Elektronikus Hírközlési Törvény és megkezdte működését a Nemzeti Hírközlési Hatóság (NHH). A két esemény elősegíti az EU szabályozással összhangban a távközlési piac versenyképességének fejlesztését, és ezzel az információs társadalom fejlődését – jelentette ki Kovács Kálmán informatikai és hírközlési miniszter az NHH sajtótájékoztatóján.

Az új törvény elsősorban fogyasztóbarát. Messzemenően védi a fogyasztók érdekeit, ezért a korábbinál jóval nagyobb szerepet kap a fogyasztói tájékoztatás. Pataki Dániel, az NHH elnöke bemutatta a Tanács tagjait, a Hivatal főigazgatóját és ismertette az új szabályozó Hatóság célkitűzéseit.

Az unióhoz csatlakozó országok közül egyedül a magyar hírközlési törvény teljesíti a brüsszeli követelményeket és a tagok közül is csak nyolc ország rendelkezik hasonlóval. Az NHH-nak ezt a pozíciót, a modern és európai hírközlés-politikát kell erősítenie, illetve továbbfejlesztenie. Az új törvény hatálybalépésével adottak a lehetőségek a valódi versenyipiaci kialakuláshoz és a Hatóság a verseny „éleződésének” szabályozói támogatására törekszik.

*Modern, korszerű szervezési-vezetési elvek alapján, hatékony és nagy tekintélyű hatóságot kívánok felépíteni, melyhez adottak a belső feltételek* – hangsúlyozta Pataki Dániel elnök.

Erősebb jogkörök, rugalmasabb szervezet, rendezett belső és külső kapcsolatok jellemzik az új intézményi modellt. A független személyiségekből álló Tanács látja el a korábbi HDB feladatait, és dönt a nagy súlyú ügyekben. A főigazgató irányítása alatt álló Hivatal pedig az operatív tevékenységeket, a hatékony folyamatok és eljárások kidolgozását végzi.

Az új Hatóság – a feladatok folyamatos végzése mellett (csak néhány példát, a helyi hálózatok igénybevétele január 1-jén hatályba lépett, az új referencia ajánlatok benyújtásának határideje: január 15.) kidolgozza részletes koncepcióját és a fő célok, feladatok kijelölését.

A korábbi gyakori változások után várhatóan a stabilitás és kiszámíthatóbb működés jellemzi a hatóság munkáját. Ebben messzemenően számít a partnerek, társhatóságok együttműködésére és a jogelőd intézmény dolgozóinak szakértelmére és tapasztalataira.

## A Nemzeti Hírközlési Tanács tagjai

Kovács Kálmán informatikai és hírközlési miniszter Dr. Detrekői Ákos akadémikusnak, az Elektronikus Hírközlési Törvényben meghatározott jelölőbizottság elnökének javaslatára kinevezte az új Nemzeti Hírközlési Tanács tagjait.

Az új testület hat főből áll, kiválasztásuknál a szakmai gyakorlat, nyelvismeret és más szempontok mellett szerepet játszott az is, hogy műszaki, jogi és közgazdasági szakemberek is helyet kapjanak. A tagok felét három, másik felét öt évre nevezik ki.

Három évre neveztek ki:

### **Bánhidi Ferencet,**

a Hírközlési Felügyelet korábbi alelnökét;

### **Debreczeni Sándor közgazdászt,**

az Amerikai Kereskedelmi Kamara tagját;

### **Hidasi István közgazdászt,**

aki a Hírközlési Döntőbizottság elnökhelyettesi posztját töltötte be.

Öt esztendőre kapott megbízást:

### **Nyevrikel Emília,**

a Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem oktatója,

### **Rácz Zsolt,**

az Informatikai és Hírközlési Minisztérium korábbi közigazgatási államtitkára,

### **Rozgonyi Krisztina,**

az Informatikai és Hírközlési Minisztérium szakértője.

A testület elnöke:

### **Pataki Dániel,**

aki kinevezéséig az Informatikai és Hírközlési Minisztérium hírközléséért felelős helyettes államtitkáraként tevékenykedett.

A Nemzeti Hírközlési Hatóság Hivatalának főigazgatójává, a Hatóság elnökének javaslatára **Bóday Csabát**, a korábbi HIF Budapesti Iroda vezetőjét nevezte ki az informatikai és hírközlési miniszter.

## Hírek

A **Matáv-PKI és az Ericsson** több évtizedes múlttal rendelkező együttműködésének új állomásához érkezett. Mostantól a felek fejlesztési erőforrásait hatékonyabban használják fel, közös feladataikat felgyorsítják, egyszerűbbé és költséghatékonyabbá teszik. Ennek érdekében Koralewsky Vilmos a PKI vezetője és Leif Hansson üzletág igazgató októberben mindkét fél számára előnyös fejlesztési együttműködési megállapodást írt alá. A keretmegállapodás lehetővé teszi, hogy az Ericsson új szélessávú, IP, Ethernet alapú termékjavaslatai műszaki megoldásainak kifejlesztésébe a PKI közvetlenül bekapcsolódhasson.

A kooperáció kiterjed az ADSL vonalakat végződtető berendezésekre (DSLAM) és a Matáv ehhez kapcsolódó hálózati architektúrájára. Így magában foglalja az új lehetőségeket rejtő Ethernet hozzáférési és aggregációs hálózati architektúra kidolgozását, a Fiber Ethernet Access (FEA) megoldás vizsgálatát, az alkalmazásához kapcsolódó üzleti modell kidolgozását, valamint az Ericsson softswitch rendszerének megismerését is.

A **GE Hungary Rt.** kiemelt figyelmet fordít azoknak a városoknak a fejlődésére, ahol GE működik. Magyarországon kilenc ilyen település van. A támogatás két formája a GE Foundation, a globális GE által létrehozott alapítvány pénzadományai, a GE ELFUN Volunteers (GE ELFUN Önkéntesek Szervezete) szervezésében végzett, a cég munkatársai által megvalósított közérdekű projektek. A GE Hungary Power Systems 2003-ban Veregyházán az alsó szintű oktatást támogatja. A Fabriczius József Általános Iskola új szárnyában a GEHPS egy számítástechnikai laboratóriumot szerelt fel, amely az informatikai oktatásában nyújt korszerű segítséget.

Magyarországon három olyan innovatív ösztöndíj is működik, amelynek célja a fiatal tehetségek felkutatása. Az Ózdi Nyíló Világ középiskolai program hosszú távú célkitűzése az üzleti angol, az üzleti ismeretek oktatásán és a kapcsolati hálózatépítésen keresztül egy olyan nemzetközileg versenyképes értelmiségi generáció felnevelése, amely képes lesz Ózd városát bekapcsolni a hazai és nemzetközi gazdasági életbe. A Nyíló Világ program jelentőségét az is mutatja, hogy a kormányzati és civil szférából további támogatókat mozgósított, úgy mint az Ifjúsági Gyermek és Sportminisztériumot, a Gazdasági és Közlekedési Minisztériumot, a Junior Achievement Magyarországot, az Ózdi Önkormányzatot.

Az Institute of International Education szervezésében a GE Foundation olyan egyetemi ösztöndíj, amely a felsőoktatásban tanuló, leendő szakemberek szakmai fejlődését hivatott segíteni. A hároméves programban öt egyetem tizennégy diákja vesz részt, a második 14 diák kiválasztása folyamatban van. Az ösztöndíjasok a pénzbeli támogatáson túl lehetőséget kapnak arra, hogy mentor segítségével betekinthessenek és részt vegyenek a GE magyarországi üzletágainak életében. Szintén a GE Hungary Power Systems divíziónál működik az a gyakornoki program, amelynek keretében egyetemisták mérnöki, minőségbiztosítási, munka- és környezetvédelmi, pénzügyi és karbantartási területekkel ismerkedhetnek meg. A GE Hungary Consumer Products-Lighting az Aschner Lipót ösztöndíjon keresztül a hazai fiatal műszaki kutató-tehetségeket támogatja. A többéves ösztöndíj keretében egy adott projekt megvalósítása a feladat.

Az **Antenna Hungária Rt.** 2003. decemberében 7 adó átadásával megkezdte az ORTT által a Magyar Rádióknak ítélt új, országos 100 MHz-es hálózatának kiépítését, mellyel jövő év végére immáron országosan a Kossuth Rádió sztereó adása is fogható lesz. A Kossuth Rádió sztereó sugárzása tavaly decemberben indult meg kísérleti jelleggel, a 107,8 MHz-es hullámsávon. Idén beindulhat az üzemszerű sugárzás, a Magyar Rádióval egyeztetett hálózatkiépítési menetrend alapján. Az Antenna Hungária Rt. és a Magyar Rádió között létrejött stratégiai megállapodás még a további területekre terjed ki: kis- és nagyteljesítményű közép- és rövidhullámú adórekonstrukció, a digitális földfelszíni rádió műsorszórási és vételi kísérletek folytatása a DAB (Digital Audio Broadcasting) rendszeren, valamint a DRM (Digital Radio Mondiale) vétel megfigyelési- és adáskísérleteinek indítása.

# Sikeremberek

## Interjú Dr. Kürti Sándorral, Dr. Mlinarics Józseffel és Dr. Prószéky Gáborral

NAGY BEATRIX HAVASKA

*nbh@mailbox.hu*

### **Mikor jutott eszükbe, hogy szükség lenne azokra az ötletekre, amelyek azóta széles körben elterjedtek?**

*Dr. Kürti Sándor:* A műszaki problémát (mágneses adattárolók meghibásodásának javítása) testvérem, Kürti János a világon elsőként ismerte fel 1978-ban, majd megkezdte a feladat megoldásának kidolgozását. A műszaki eljárás köré épített üzleti vállalkozásban is gondolkodott, de ebben az időben a magánvállalatok alapítása még igen korlátozott mértékben valósulhatott meg, országunk akkori politikai és gazdasági berendezkedése miatt.

*Dr. Mlinarics József:* Diákkoromban egy utcai standon szabadidőmben újságot árultam, akkor kezdtem érdeklődni a széleskörű információ (tartalom) terjesztés és felhasználás iránt. Utána az Agroinform fejlesztési igazgatójaként folytattam. A témával teljes egészében a Magyar Televízió teletext szolgáltatás fejlesztésének (TV+Sincler Z-80 számítógép-processzor) irányítása során kerültem kapcsolatba.

*Dr. Prószéky Gábor:* Ösztöndíjjal olyan országokban jártam, ahol beleláthattam a nyelvtechnológia lehetőségeibe, és több mesterséges intelligencia projektben is dolgozhattam. Majd itthon több fórumon is hallhattam egy kis csoport előadását arról, hogy létre akarnak hozni egy magyar helyesírás-ellenőrző programot. Mivel a program nem jött létre, kibújt belőlem a kisördög. Mi megcsináltuk. Ennek első beépítése a 100%-ig magyarított programba, az Írokba került be.

### **Miért gondolták, hogy ezzel nemcsak tudományos elismertséget, hanem az országhatárokon túl nyúló üzleti eredményeket is elérnek?**

*Dr. Kürti Sándor:* Mi nem gondoltunk ilyen gyors, átütő sikerre. Az üzleti világból váratlanul jelentkezett - az 1990-es évek elején - az igény az adatmentés iránt (aminek alapfeltétele a mágneses adattárolók javítási technológiájának ismerete, de ezen túl még jó néhány műszaki probléma megoldására is szükség volt a probléma teljes megoldásához). Az igényt nem mi gerjesztettük, hiszen mi magunktól semmilyen kereskedelmi tevékenységet nem generáltunk 1997 előtt. Az igények nemcsak Magyarországról jelentkeztek. A lényeg talán éppen az, hogy nekünk nem kellett egyebet tennünk, mint a műszaki-tudományos problémák együttes megoldásával a jelentkező piaci igényt megfelelő műszaki színvonalon, megfelelő szállítási feltételekkel, megfelelő áron kielégíteni.

*Dr. Prószéky Gábor:* Induláskor sem tudományos elismertségről, sem üzletről nem volt szó. Ezek minket

nem motiváltak. Szerencsénk volt. 1991-ben, amikor megalakultunk éppen akkor nyitott a világ kelet felé, megszűntek az embargók. Fontosak lettek a keleti piacok, a keleti nyelvek érthetősége.

### **Mikor gondolt először arra, hogy sikeres vállalkozás lehet, ha a tönkrement adatbázisokból vissza tudja nyerni az abban raktározott és mások számára nem hozzáférhető információt?**

*Dr. Kürti Sándor:* 1991-ben a Fővárosi Főügyészség fordult hozzánk azzal a kéréssel, hogy a leejtett adattárolóknak úgy kérik a javítását, hogy az adataik feltétlenül maradjanak épségben. Ez a kérés akkor teljesen abszurdnak számított, a világon szinte kizárólag csak mi foglalkoztunk adattároló javítással (gazdasági körülményeink miatt ez nálunk jövedelmező vállalkozás volt, de sehol máshol nem), de a technológia „csak” arra volt alkalmas, hogy a hibás mágneses felület helyére egy hibátlanat helyezzünk be. De ha nem cserélhetjük ki a hibásat hibátlanra, akkor mitől lesz megoldva a probléma? Végül is a gordiuszi csomó elvágását esetünkben azt jelentette, hogy az eredeti adattárolót nem kívántuk megjavítani, „csak” a rajta tárolt adatokat elolvasni és átmásolni egy hibátlan tárolóra.

### **Mikor gondolt először arra, hogy a tartalomszolgáltatás kulcsfontosságú lesz, amikor nagymértékben elterjednek a szélessávú átviteli utak, és azokat csak jó tartalommal kihasználni?**

*Dr. Mlinarics József:* Nem hiszem, hogy amit idáig tettem az tudományos eredmény, én „csak a havat söpröm a járdán”, hogy az emberek információhoz, tartalomhoz könnyebben hozzájussanak.

### **Mikor gondolt először arra, hogy a számítógépeket el lehetne látni helyesírási programmal, sőt zölddel aláhúzva nyelv és mondattani hibákra is fel lehet hívni a figyelmet?**

*Dr. Prószéky Gábor:* A zöld aláhúzás a Microsoft Word részeként angolul már működött. Így lehetőségünk volt átvenni. A magyar nyelv ezzel a hatodik olyan nyelv volt, amelyre működött az aláhúzás. Tehát a körülmények és a lehetőségek adták ezt a megoldást.

### **Hogyan vezetett el a szakmai tudományos műszaki eredményektől az út ennek üzleti alkalmazásáig?**

*Dr. Mlinarics József:* Magyarországon hiába állít valaki valamit, a meggyőző csak az, ha be is mutatja. Bár még ekkor sem biztos az anyagi siker. Munkatársaim-

mal az MTV Teletext szolgáltatás kiváló információ tartalma és a Nyugat-Európai fejlődést hat hónappal követő eredményei demonstrálták elképzeléseinket. Ezzel a szolgáltatással közel évi 300 millió Ft reklámbevételt is elértünk. Az EU támogatással alapított ir vegyes vállalat (Teletext+Internet kevert technológiával) tőzsdei információs szolgáltatása újabb 300 millió árbevételt és 20-30%-os osztalékot hozott az MTV-nek. Ez is igazolta vállalatunk tevékenységét. Ma az MTV éves reklámbevétele csupán 900 millió Ft, semmilyen fejlesztés nem folyik, a kormány évente 10 milliárd Ft támogatást nyújt az MTV-nek. Pedig a digitális tévétechnológia itt van, az ismeretek átadása másképpen is történhetne, mint ahogy ez most történik. (A szerk. megj.: Berlinben már csak digitális TV műsorszórás van. Másutt is éveken belül megoldják a teljes átállást.)

*Dr. Kürti Sándor:* Szinte a kezdetektől zárt volt ez a lánc. Éppen a várható gazdasági eredmények generálták a kutatás-fejlesztést és ezeknek az eredményeknek a mielőbbi üzleti célú bevezetését. Ez jelentős üzleti sikerrel kecsegtetett. Igen nagy szerencsénk volt abban a tekintetben, hogy e teljes folyamatot magunk tudunk irányítani, lényegében semmilyen külső erőforrást nem kellett bevonnunk. Így a leggyakoribb hátráltató tényezők (erőforráshiány, időkésés, tulajdonlasi problémák, együttműködési zavarok stb.), műszaki, tudományos és üzleti modellünket nem fenyegették.

**Most, mint sikeres vállalkozók foglalkoznak-e korábbi kutatási eredményeik továbbfejlesztésével, vagy esetleg új területen igyekeznek eredményeket elérni?**

*Dr. Mlinarics József:* Most még (a mai politikai-gazdasági időszakban) nem tartom magam sikeres vállalkozónak. Mert az utóbbi 13 évben a sikeresnek kikiáltott vállalkozókról más derült ki. Tisztelet a kivételeknek.

*Dr. Kürti Sándor:* Nekünk két, egymástól jól elkülöníthető szolgáltatás típusú termékünk van (az egyik az adatmentés, mely már a bekövetkezett informatikai károk enyhítését célozza, a másik az adatvédelem, mely a károk bekövetkezésének megelőzésére összpontosít). Kutatásfejlesztéseinkkel a továbbiakban is kizárólag e két területre fókuszálunk, és ennek megfelelően az üzleti területeken is ez a fő profilunk. Természetesen az iparág jellegéből adódóan ezen területek hihetetlen gyors változásai miatt fejlesztéseinknek e változásokat követniük kell. Más szavakkal csak addig tudjuk megőrizni piacvezető helyzetünket, amíg a technológiai változásokat a fejlesztéseink követni tudják.

*Dr. Prószéky Gábor:* Mindig sikerül további célokat kitűzni magunk elé. Az motivál, hogy nagy kihívásokra jobb válaszokat adjunk. Új területek mindig lesznek, ahol eredményeinket továbbfejleszhetjük.

**Sejtették-e, hogy kiinduló ötletük ekkora hatással lesz a következő években a szakmai közösségre és mindenkire, aki bármilyen kapcsolatban van számítógéppel, vagy Internettel ismeri nevüket és használja eredményeiket?**

*Dr. Prószéky Gábor:* Nem sejtettük, hogy ilyen sikereket érünk el. Magyarországon a legnagyobb példányban eladott és használt program a helyesírás-ellenőrző. Minden számítógép használóhoz eljutunk ily módon. Mert már nincs olyan gép, amit ne szövegszerkesztésre használnának, és azon ne lenne helyesírás-ellenőrző.

*Dr. Kürti Sándor:* Nem. Mi csak az életképesnek hitt ötletünkől kívántunk megélni.

*Dr. Mlinarics József:* Nem tartom nagyra az ötleteket, inkább azokat becslöm, melyek megvalósultak, de leginkább azokat, melyeket a munkatársaim továbbvittek.

**Külföldön mennyire ismertek azok a munkák, amelyeket idehaza bevezettek?**

*Dr. Kürti Sándor:* Nem vagyunk közismertek abban az értelemben, hogy nem tud minden informatikát használó rólunk. Ennek elsősorban pénzügyi okai vannak (PR, marketing). Ugyanakkor a nagyobb informatikai szolgáltató cégek tudnak rólunk és a náluk felmerülő, és az általuk nem megoldható problémákat elküldik hozzánk. Tehát nem vagyunk a piac számára elérhetetlenek. Ebből a szempontból Németország kivételnek számít, hiszen ott 100%-ban saját tulajdonú cégünk van ([www.datenambulanz.de](http://www.datenambulanz.de)) és ennek a cégnek van (noha erősen limitált) marketing kerete is.

*Dr. Prószéky Gábor:* Sok helyen fordulunk meg és ismernek is minket. Konferenciákon, találkozókra mindig tájékoztatást adunk az elért eredményeinkről. Az Unió csatlakozás előtt konferenciákat is szponzorálunk, hogy hírnevünket öregbítsük.

*Dr. Mlinarics József:* A 90-es években az iskolatelevízió a hazai távoktatásnak jó reputációja volt, most már ez kicsit más.

**Végül szeretném kérni, hogy néhány mondatban vázolja, mit tervez csinálni a elkövetkező években? Mindenki számára tanulságos, ha csatlakozhat valamilyen módon az ötletgazdag elmék közeli, vagy távoli jövőben várható elképzeléseihez.**

*Dr. Kürti Sándor:* A mi feladatunk a következő bármekkora időtávra az adatmentés és az adatvédelem területén jelentkező üzleti igények folyamatos kielégítése a kutatási-fejlesztési feladatok megoldásához.

*Dr. Prószéky Gábor:* Mindig adódnak feladatok, nem tudom, mit tervezek csinálni. Minden szövegen és nyelven van még sok tisztázandó probléma, ezért bőven akad majd feladatunk.

Bár e három kiemelkedő tudós, fejlesztő és üzletember eltérő válaszokat adott, de a tanulság azonos: Jó gondolatból szívós munkával használható termék készíthető. Ezután már szinte automatikusan jön az elismertség, melyre támaszkodva üzleti sikereket lehet elérni. Így leegyszerűsítve a recept adva van, ám az, hogy valaki a folyamat minden fázisához magas színvonalon értsen, nem mindennapi. Aki mégis képes erre, azt hívják zseninek.

# Impulzus-terjedés vizsgálata vákuummal kitöltött csőtápvonalon

ERHARDT ZOLTÁNNÉ DR. FERENCZ ORSOLYA

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Geofizika tanszék, Űrkutató Csoport  
spacerg@sas.elte.hu

Reviewed

## Kulcsszavak: Maxwell-egyenletek, zárt megoldások

Napjaink egyik fontos hullámterjedési kutatási területe a rövid impulzusok terjedésének vizsgálata hullámvezetőkben. Az eddig ismert megoldások mindegyike monokromatikus megközelítéseken alapul, adott frekvenciákat külön vizsgálva, illetve alapvetően monokromatikus kiindulópontokra építve fel a modellt és az elméletet (pl. permittivitás bevezetése) [1].

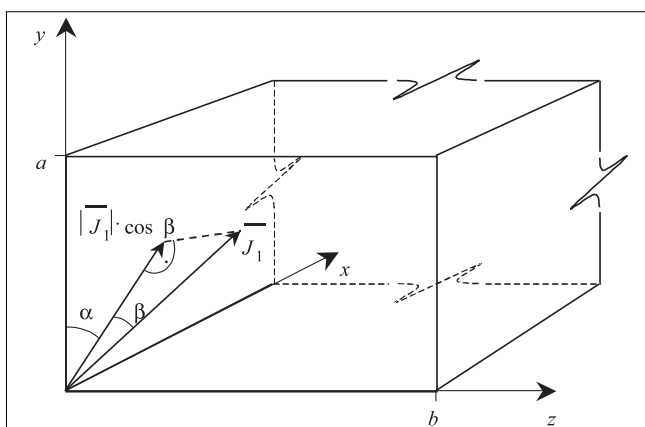
A cikkben egy teljesen új elméleti modellt és megoldási módszert mutatok be vákuummal kitöltött négy-szög keresztmetszetű csőtápvonalra, melyet tetszőleges alakú elektromágneses jellel gerjesztünk (Dirac, valódi rövid impulzus stb.) Ez a megoldási módszer nem alkalmazza a fent említett monokromatikus megfontolásokat. Elméleti alapjai tranzienst gerjesztésű síkhullámok esetén megtalálhatóak [2,3]-ban.

A cikkben bemutatandó zárt alakú megoldás monokromatikus gerjesztés esetén visszaadja a már jól ismert megoldásokat, ám azoknál jóval általánosabb leírást tesz lehetővé.

## A modell

Az új elméleti módszert az 1. ábrán látható modellen mutatom be, ahol a hullámvezető egy vákuummal kitöltött és ideális, veszteségmentes fémfallal határolt négy-szög keresztmetszetű csőtápvonal.

1. ábra Az alkalmazott modell struktúrája



Az általános irányú gerjesztő áramsűrűséget az alábbi alakban vesszük fel:

$$\begin{aligned} \vec{J}_1 &= J_{1x} \cdot \vec{i} + J_{1y} \cdot \vec{j} + J_{1z} \cdot \vec{k} \\ |\vec{J}_1| &= \delta(t) \cdot \delta(x) \cdot B_1(y) \cdot B_2(z) \end{aligned} \quad (1)$$

ahol  $B_1(x)$  és  $B_2(z)$  a modellben felvett peremfeltételeket tartalmazó burkolófüggvény

$$B_1(0) = B_1(a) \equiv 0 \quad \text{és} \quad B_2(0) = B_2(b) \equiv 0 \quad (2)$$

Tehát a gerjesztő áramsűrűség

$$\vec{J}_1 = |\vec{J}_1| \sin \beta \vec{i} + |\vec{J}_1| \cos \beta \cos \alpha \vec{j} + |\vec{J}_1| \cos \beta \sin \alpha \vec{k} \quad (3)$$

A továbbiakban vezessük be az alábbi, elméleti megszorítást nem jelentő, kellően általános gerjesztési alakot:

$$\vec{J}_{1x} \equiv 0$$

$$\begin{aligned} \vec{J}_1 &= \delta(t) \delta(x) B_1(y) B_2(z) \cos \alpha \vec{j} + \delta(t) \delta(x) B_1(y) B_2(z) \sin \alpha \vec{k} \\ |\vec{J}_1| &= J_1 = \delta(t) \delta(x) B_1(y) B_2(z) \end{aligned} \quad (4)$$

## A megoldási módszer

A kiindulópontként megoldandó egyenletek a Maxwell-egyenletek [4]:

$$\begin{aligned} \text{I.} \quad \nabla \times \vec{H} &= \vec{J}_1 + \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \\ \text{II.} \quad \nabla \times \vec{E} &= -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \\ \text{III.} \quad \nabla \cdot \vec{H} &= 0 \\ \text{IV.} \quad \nabla \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \end{aligned} \quad (5)$$

Vezessük be a retardált potenciált a szokott módon:

$$\begin{aligned} \nabla \times \vec{A} &= \vec{H} \\ \vec{E} + \mu_0 \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} &= -\nabla \psi \end{aligned} \quad (6)$$

A Lorentz-feltétel érvényesíthető a szokásos alakban:

$$\left( \nabla^2 \vec{A} + \epsilon_0 \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} \right) = 0 \quad (7)$$

Tehát a megoldandó egyenlet alakja az alábbi:

$$\nabla^2 A - \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} = -\bar{J}_1 \quad (8)$$

Tekintettel arra, hogy az általános alakú, hely és idő szerint tranziens gerjesztő jel határozott kezdőponttal rendelkezik mind a hely, mind az idő függvényében, valamint a vizsgált probléma lineáris, alkalmazzuk a Laplace-transzformációt a tér és az idő koordináták szerint az alábbi módon definiálva a transzformációs változókat:

$$\begin{aligned} t &\xrightarrow{L} s \\ x &\xrightarrow{L} p \\ y &\xrightarrow{L} u \\ z &\xrightarrow{L} l \end{aligned} \quad (9)$$

$$f(t, x, y, z) \xrightarrow{L} F(s, p, u, l)$$

A derivált tagok jelenléte a megoldandó differenciálegyenletekben azt eredményezi, hogy a transzformáció során a jel hely és idő szerinti (-0) pontbeli kezdeti értékei tűnnek fel a transzformált egyenletekben. Általában ezek a kezdeti értékek tartalmazák a közeg energetikai állapotára vonatkozó információkat. Azonban a jelen esetben a vizsgált közeg a gerjesztés bekapcsolását megelőzően energia mentesnek tekinthető. Ennek következtében az összes kezdeti értéket 0-nak tekinthetjük a továbbiakban.

A megoldandó transzformált egyenletek tehát:

$$\begin{aligned} H_x(s, p, u, l) &= u A_z(s, p, u, l) - l A_y(s, p, u, l) \\ H_y(s, p, u, l) &= -p A_z(s, p, u, l) \\ H_z(s, p, u, l) &= p A_y(s, p, u, l) \end{aligned} \quad (10)$$

továbbá (11)

$$\begin{aligned} E_x(s, p, u, l) &= \frac{1}{\epsilon_0} \frac{1}{s} [p u A_y(s, p, u, l) + p l A_z(s, p, u, l)] \\ E_y(s, p, u, l) &= \frac{1}{\epsilon_0} \frac{1}{s} [u^2 A_y(s, p, u, l) + u l A_z(s, p, u, l)] - \mu_0 s A_y(s, p, u, l) \\ E_z(s, p, u, l) &= \frac{1}{\epsilon_0} \frac{1}{s} [u l A_y(s, p, u, l) + l^2 A_z(s, p, u, l)] - \mu_0 s A_z(s, p, u, l) \end{aligned}$$

A gerjesztő áramsűrűség transzformált alakja (12):

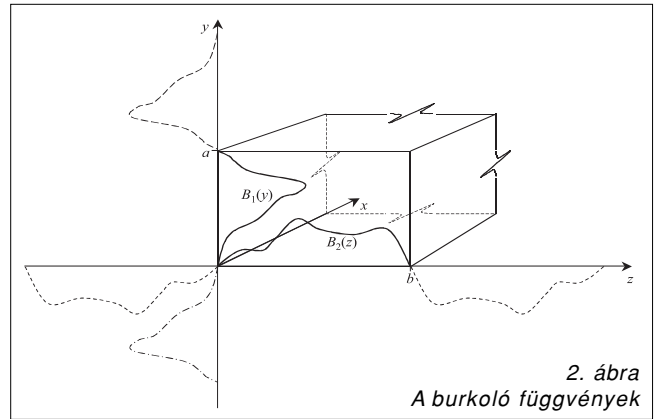
$$J_1(s, p, u, l) = \iiint \delta(t) \delta(x) B_1(y) B_2(z) \cdot e^{-st} \cdot e^{-px} \cdot e^{-uy} \cdot e^{-lz} dt dx dy dz = 1 \cdot 1 \cdot B_1(u) B_2(l)$$

Nagyon fontos  $B_1$  és  $B_2$  függvények megfelelő megválasztása. Ezek a burkoló függvények tartalmazzák a modell geometriai struktúrájából adódó peremfeltételeket. Ez látható a 2. ábrán.

A kielégítendő peremfeltételek az alábbiak:

$$B_1(0) = B_1(a) = B_2(0) = B_2(b) \equiv 0 \quad (13)$$

Ahogy az általában ismert [4], a  $B_1$  és  $B_2$  burkoló függvények a modell elméleti megszorítása nélkül



kiterjeszhetőek és periodikussá tehetőek, lehetővé téve ez által a Fourier-sorba fejtést:

$$B_1(y) = \sum_{m=0}^{\infty} C_m \cdot e^{jm \frac{\pi}{a} y} \quad (14)$$

$$C_m = \frac{1}{2a} \int_{-a}^a B_1(y) \cdot e^{-jm \frac{\pi}{a} y} dy$$

valamint

$$B_2(z) = \sum_{n=0}^{\infty} C_n \cdot e^{jn \frac{\pi}{b} z} \quad (15)$$

$$C_n = \frac{1}{2b} \int_{-b}^b B_2(z) \cdot e^{-jn \frac{\pi}{b} z} dz$$

ahol  $C_m$  és  $C_n$  Fourier-együtthatók,  $a$  és  $b$  a hullámvezető geometriai paraméterei,  $m$  és  $n$  egész számok, értékük

$$\begin{aligned} m &= 0, \pm 1, \pm 2, \dots \\ n &= 0, \pm 1, \pm 2, \dots \end{aligned} \quad (16)$$

(14) és (15) Laplace-transzformált alakjai:

$$\begin{aligned} B_1(u) &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \frac{C_m}{u - jm \frac{\pi}{a}} \\ B_2(l) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{C_n}{l - jn \frac{\pi}{b}} \end{aligned} \quad (17)$$

(17)-et behelyettesítve a (10) és (11) egyenletekbe, azt kapjuk, hogy az elektromos és mágneses térerősség komponensek transzformált alakjainak nevezői végtelen számú pólust tartalmaznak. Első pillantásra úgy tűnhet, hogy e tagok inverz transzformációja nem lehetséges. Azonban megvizsgálva ezeket a pólusokat, nyilvánvalóvá válik, hogy az inverz transzformáció során a Fourier együtthatókból származó pólusok 0 értékű tagokat eredményeznek a számlálóban, és így kiesnek. A megmaradó, nem virtuális pólusok tehát az alábbi egyenlet megoldásai:

$$p^2 + u^2 + l^2 - \epsilon_0 \mu_0 s^2 = 0 \quad (18)$$

Elvégezve az inverz Laplace-transzformációt és alkalmazva az  $s = j\omega$  összefüggést (19), a térkomponensek helytől függő spektrális alakjára a következő adódik:

$$\begin{aligned}
 H_x(\omega, x, y, z) &= \sum_m \sum_n \frac{P_- C_m C_n}{2k_x(\omega)} \cdot e^{j[k_x(\omega) \cdot x \cdot M \cdot N]} - \sum_m \sum_n \frac{P_- C_m C_n}{2k_x(\omega)} \cdot e^{j[-k_x(\omega) \cdot x \cdot M \cdot N]} \\
 H_y(\omega, x, y, z) &= \sum_m \sum_n C_m C_n \sin \alpha \cdot e^{j[k_x(\omega) \cdot x \cdot M \cdot N]} + \sum_m \sum_n C_m C_n \sin \alpha \cdot e^{j[-k_x(\omega) \cdot x \cdot M \cdot N]} \\
 H_z(\omega, x, y, z) &= \sum_m \sum_n C_m C_n \cos \alpha \cdot e^{j[k_x(\omega) \cdot x \cdot M \cdot N]} + \sum_m \sum_n C_m C_n \cos \alpha \cdot e^{j[-k_x(\omega) \cdot x \cdot M \cdot N]}
 \end{aligned} \tag{20}$$

és

$$\begin{aligned}
 E_x(\omega, x, y, z) &= \sum_m \sum_n \frac{-P_+ C_m C_n}{2\omega \epsilon_0} \cdot e^{j[k_x(\omega) \cdot x \cdot M \cdot N]} + \sum_m \sum_n \frac{P_+ C_m C_n}{(-2)\omega \epsilon_0} \cdot e^{j[-k_x(\omega) \cdot x \cdot M \cdot N]} \\
 E_y(\omega, x, y, z) &= \sum_m \sum_n \frac{[(-jm\pi/a)(jP_+) - \epsilon_0 \mu_0 \omega^2 \cos \alpha] C_m C_n}{2j\epsilon_0 \omega jk_x(\omega)} \cdot e^{j[k_x(\omega) \cdot x \cdot M \cdot N]} + \\
 &+ \sum_m \sum_n \frac{[(-jm\pi/a)(jP_+) - \epsilon_0 \mu_0 \omega^2 \cos \alpha] C_m C_n}{(-2)j\epsilon_0 \omega jk_x(\omega)} \cdot e^{j[-k_x(\omega) \cdot x \cdot M \cdot N]} \\
 E_z(\omega, x, y, z) &= \sum_m \sum_n \frac{[(-jn\pi/b)(jP_+) - \epsilon_0 \mu_0 \omega^2 \sin \alpha] C_m C_n}{2j\epsilon_0 \omega jk_x(\omega)} \cdot e^{j[k_x(\omega) \cdot x \cdot M \cdot N]} + \\
 &+ \sum_m \sum_n \frac{[(-n\pi/b)P_+ - \epsilon_0 \mu_0 \omega^2 \sin \alpha] C_m C_n}{(-2)j\epsilon_0 \omega jk_x(\omega)} \cdot e^{j[-k_x(\omega) \cdot x \cdot M \cdot N]}
 \end{aligned} \tag{21}$$

ahol

$$P_+ = m \frac{\pi}{a} \cos \alpha + n \frac{\pi}{b} \sin \alpha \quad P_- = -m \frac{\pi}{a} \cos \alpha + n \frac{\pi}{b} \sin \alpha$$

$$M = m \frac{\pi}{a} y \quad N = n \frac{\pi}{b} z$$

$$k_x(\omega) = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \omega^2 - \left(m \frac{\pi}{a}\right)^2 - \left(n \frac{\pi}{b}\right)^2}.$$

Jól látható, hogy a térkomponensekben az egyik tag előre terjedő, míg a másik ezzel az iránnyal szemben haladó jel, miközben a gerjesztés a végtelen hosszú csőtápvonal  $x = 0$  pontjában lép fel.

A határhullámhossz (és a határfrekvencia) (20) és (21) alapján meghatározható

$$\epsilon_0 \mu_0 \omega^2 - \left(m \frac{\pi}{a}\right)^2 - \left(n \frac{\pi}{b}\right)^2 = 0 \quad \text{és} \quad \lambda_{m,n} = \frac{2ab}{\sqrt{(mb)^2 + (na)^2}} \tag{22}$$

láthatóan visszaadva a monokromatikus esetben már ismert összefüggést.

A formális inverz Fourier-transzformációval a pontos hely-időfüggő zárt alakú megoldást kapjuk a terjedő jel elektromos és mágneses térerősség-komponenseire:

$$\begin{aligned}
 H_x(t, x, y, z) &= \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \sum_m \sum_n \frac{P_- C_m C_n}{k_x(\omega)} \cdot e^{jT_+} \cdot e^{jM} \cdot e^{jN} - \sum_m \sum_n \frac{P_- C_m C_n}{k_x(\omega)} \cdot e^{jT_-} \cdot e^{jM} \cdot e^{jN} \right\} d\omega \\
 H_y(t, x, y, z) &= \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \sum_m \sum_n C_m C_n \sin \alpha \cdot e^{jT_+} \cdot e^{jM} \cdot e^{jN} + \sum_m \sum_n C_m C_n \sin \alpha \cdot e^{jT_-} \cdot e^{jM} \cdot e^{jN} \right\} d\omega \\
 H_z(t, x, y, z) &= \frac{-1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \sum_m \sum_n C_m C_n \cos \alpha \cdot e^{jT_+} \cdot e^{jM} \cdot e^{jN} + \sum_m \sum_n C_m C_n \cos \alpha \cdot e^{jT_-} \cdot e^{jM} \cdot e^{jN} \right\} d\omega \\
 E_x(t, x, y, z) &= \frac{-1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \sum_m \sum_n \frac{P_+ C_m C_n}{\omega \epsilon_0} \cdot e^{jT_+} \cdot e^{jM} \cdot e^{jN} + \sum_m \sum_n \frac{P_+ C_m C_n}{\omega \epsilon_0} \cdot e^{jT_-} \cdot e^{jM} \cdot e^{jN} \right\} d\omega
 \end{aligned} \tag{23}$$

$$E_y(t, x, y, z) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \sum_m \sum_n \frac{[(-m\pi/a)P_+ - \epsilon_0 \mu_0 \omega^2 \cos \alpha] C_m C_n \cdot e^{iT_+} \cdot e^{iM} \cdot e^{jN} - \sum_m \sum_n \frac{[(-m\pi/a)P_+ - \epsilon_0 \mu_0 \omega^2 \cos \alpha] C_m C_n \cdot e^{iT_-} \cdot e^{iM} \cdot e^{jN}}{\epsilon_0 \omega k_x(\omega)} \right\} d\omega$$

$$E_z(t, x, y, z) = \frac{1}{4\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \sum_m \sum_n \frac{[(-n\pi/b)P_+ - \epsilon_0 \mu_0 \omega^2 \sin \alpha] C_m C_n \cdot e^{iT_+} \cdot e^{iM} \cdot e^{jN} - \sum_m \sum_n \frac{[(-n\pi/b)P_+ - \epsilon_0 \mu_0 \omega^2 \sin \alpha] C_m C_n \cdot e^{iT_-} \cdot e^{iM} \cdot e^{jN}}{\epsilon_0 \omega k_x(\omega)} \right\} d\omega$$

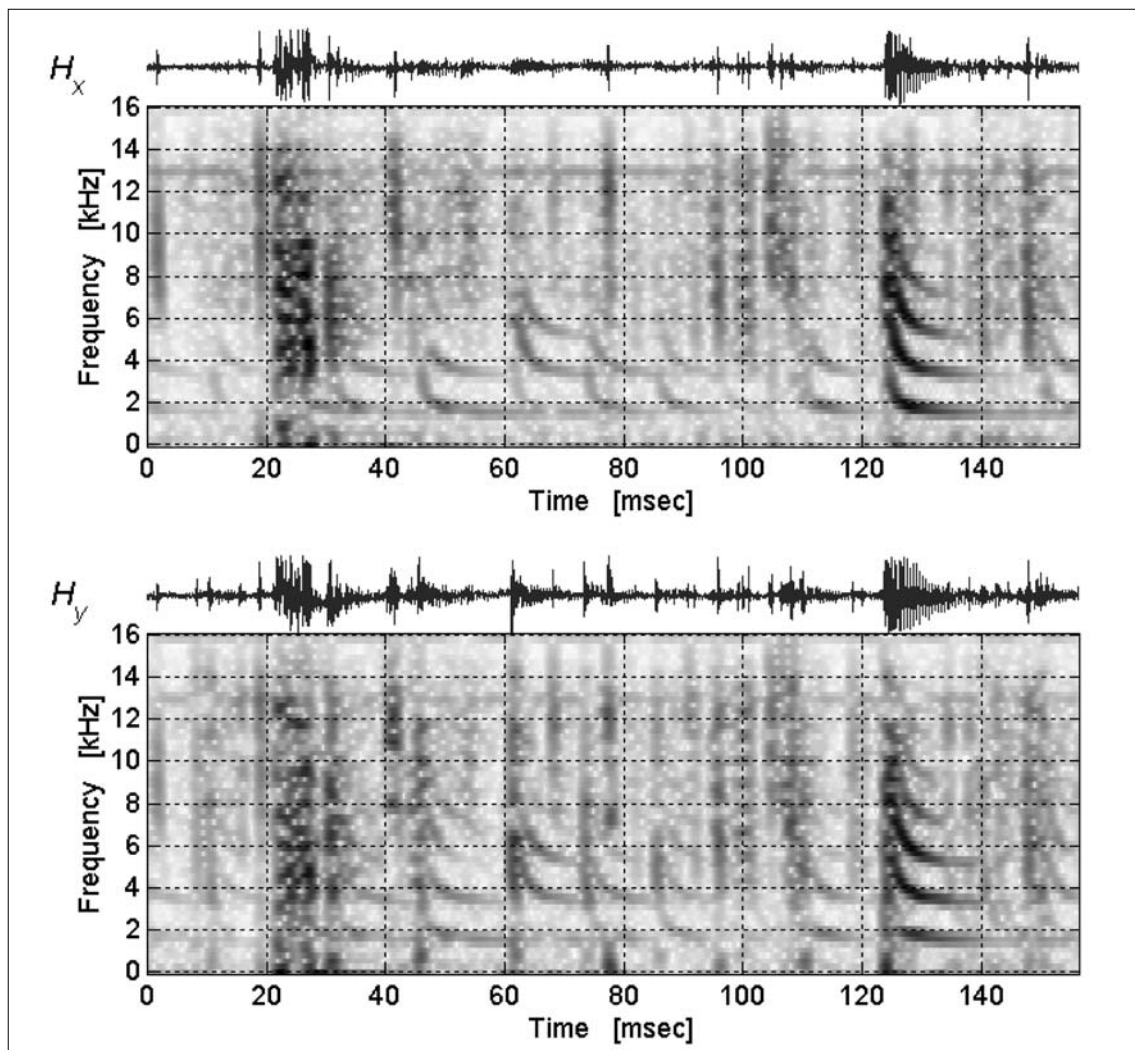
ahol:

$$T_+ = \omega t + k_x(\omega) \cdot x \quad T_- = \omega t - k_x(\omega) \cdot x$$

### Numerikus eredmények és konklúziók

A kapott zárt alakú megoldás egyik első alkalmazási példája a Föld-ionoszféra hullámvezetőben terjedő, villám által gerjesztett impulzus terjedésének vizsgálata.

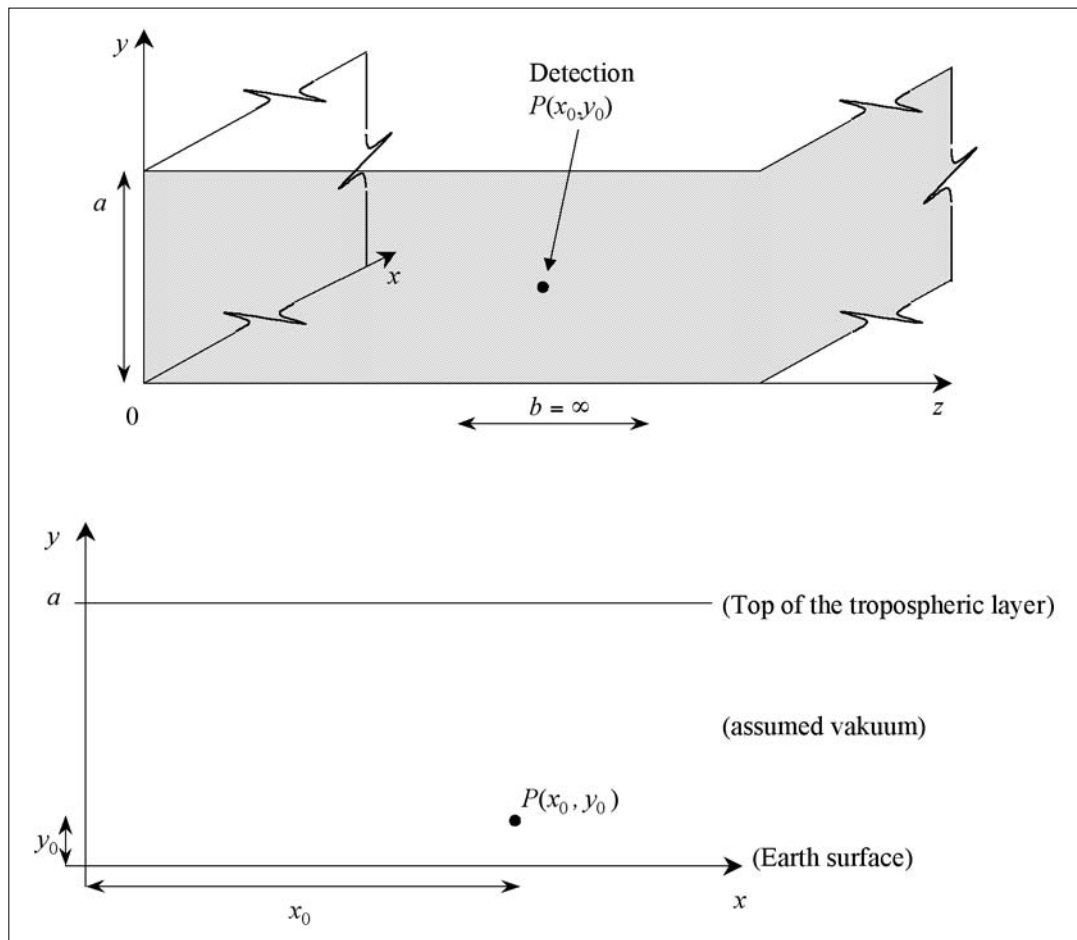
A 3. ábrán egy, a Föld-ionoszféra hullámvezetőben terjedő és a földfelszínen detektált jel két mágneses térerősség komponensének dinamikus spektruma és időfüggvénye látható.



3. ábra Mért jel két különböző mágneses térerősség-komponensének dinamikus spektruma és időfüggvénye (Marion szigetek, 2001.04.22. 02:30:07)

Számos cikk foglalkozik e jelek terjedésének vizsgálatával, és az ismert tény, hogy a dinamikus spektrum jellegét a hullámvezetőben történő vezetett terjedés okozza [5, 6, 7, 8]. A móduskép közelítő leírásai azonban eddig a vezetett hullámok monokromatikus leírására épültek.

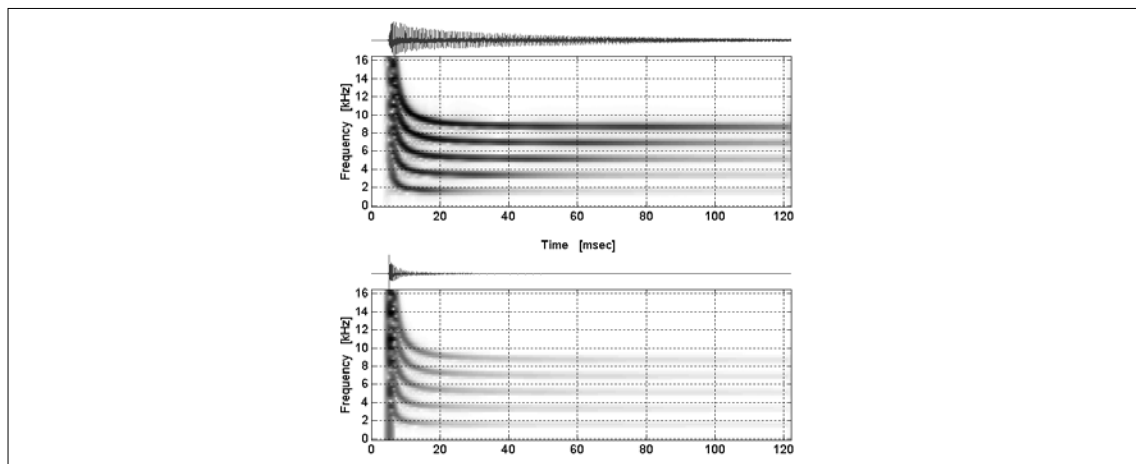
A 4. ábrán látható az alkalmazott modell, feltételezve, hogy  $b = \infty$ , azaz a jel két végtelen, tökéletesen vezető fémlap között terjed és a gerjesztés az  $x = 0$  síkon lép fel.



4. ábra  
A Föld-ionoszféra  
hullámvezető  
modellje

A modellszámításban az ionoszféra aljának magassága 85 km, a megtett terjedési út 2000 km, a mérő-antenna magassága (a detekció helye) 1000 m. A gerjesztő jel Dirac-delta, a burkoló függvények Fourier-együtthatói azonosan 1 értékkel szerepelnek,  $\alpha = 45^\circ$ , továbbá a figyelembe vett módusok száma  $m = 0, \dots, 5$  (mindezek a paraméterek rugalmasan változtathatóak).

A számított időfüggvények és dinamikus spektrumok a  $H_x$  és  $H_y$  térerősség komponensekre egy adott P pontban az 5. ábrán láthatóak.



5. ábra Dirac-delta gerjesztés esetén számított időfüggvények és dinamikus spektrumok

A 3. és az 5. ábra összehasonlítása során számos fontos hasonlóságot láthatunk. A valódi impulzus leírás pontos magyarázatot ad a mért jelenségre. A jel spektrumában látható párhuzamos ágak száma a figyelembe vett Fourier együtthatók, azaz módusok számától függ.

Az egyes ágak között látható frekvenciabeli távolság a hullámvezető geometriai méretétől, vagy más szóval a troposzféra vastagságától függ, azaz az ionoszféra aljának (a D-rétegnek) a magasságától függ. Ez a tény lehetővé teszi, hogy az ionoszféra aljának magasságát folyamatosan monitorozhassuk.

Az új, a korábbiaknál pontosabb megoldás alkalmas arra, hogy egyetlen villám által gerjesztett vezetett jel dinamikus spektrumából is meghatározhassuk a D-réteg magasságát, és nem szükséges a régebbi, monokromatikus számításokkal kapott modellekben alkalmazott kiátlagolás, amikor több (esetleg össze nem tartozó, különböző gerjesztésektől származó) spektrális jelet összeadva határozzák meg ezt a paramétert.

Az új modell és megoldás további nagyon jelentős előnye, hogy a gerjesztő villám-impulzus távolsága a detekció helyétől, a diszperzió mértékéből megbecsülhető, továbbá a terjedés iránya is egyértelműen meghatározható a  $H_x$  és  $H_y$  komponensek arányából, tekintettel arra, hogy az  $m = 0$  módus esetén  $H_x = 0$ ,  $H_y$  viszont nem. Így (amennyiben a két komponenst mérő antenna kalibrálva van), a mért adatokat különböző a szögértékekkel „elforgatva” a beérkezés iránya kiszámítható.

A megoldás teljesen analitikusan, közvetlenül a Maxwell-egyenletekből kapott, zárt alakú formula, amely nem tartalmaz monokromatikus közelítéseket, így a tranzienst jelenségek, impulzusok leírására pontosabban alkalmazható, mint a korábbi megoldások. A gerjesztés alakja általános, a Dirac-deltára kapott válasz a lineáris közeg átviteli (súly-) függvényét adja meg, és így a konvolúció segítségével más gerjesztésekre adott válaszok is meghatározhatóak.

Az alkalmazott geometriai struktúra tovább fejleszthető.

Az eredmények jól numerizálhatóak, és így a mért adatok és a modellszámítás eredményei összevethetőek.

## Köszönetnyilvánítás

A kutatási eredmények létrehozásához az OTKA T034831, T037611 és F037603; a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja; a DAK-11/02 Magyar–Dél-Afrikai Kormányközi Tudományos és Technológiai Együttműködési Program és a Magyar Űrkutatási Iroda Kutatási és Fejlesztési alapja nyújtott támogatást.

## Irodalom

- [1] Budden K.G.:  
*Radio waves in the ionosphere*;  
Cambridge University Press, London 1966.
- [2] Ferencz O.E.:  
*Electromagnetic Wave Propagation in Different Terrestrial Atmospheric Models*;  
Ph.D.Thesis, Budapest University of Technology and Economics, 1999.
- [3] Ferencz Cs., Ferencz O.E., Hamar D. and Lichtenberger J:  
*Whistler Phenomena, Short Impulse Propagation*;  
Kluwer Academic Publishers, Astrophysics and Space Science Library, Dordrecht, 2001.
- [4] Simonyi K.:  
*Foundation of Electrical Engineering*,  
Pergamon Press, New York, 1963.
- [5] Shvets A. V., M. Hayakawa:  
*Polarisation effects for tweek propagation*,  
Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics,  
Vol. 60, No. 4, pp.461–469, 1998.
- [6] Shvets A. V., Lazebny B., V., Kukushkin A., S.:  
*Synchronous measurement of atmospherics on the sea surface and underwater*,  
Journal of Atmospheric and Solar-terrestrial Physics,  
Vol. 16, No. 3, pp.221–226, 1996.
- [7] Hayakawa M., Ohta K., Baba K.:  
*Wave characteristics of tweek atmospherics deduced from the direction-finding measurement and theoretical interpretation*,  
Journal of Geophysical Research,  
Vol. 99, No. D5, pp.10,733–10,743, 1994.
- [8] Cummer S. A., Inan U. S., Bell T. F.:  
*Ionospheric D region remote sensing using VLF radio atmospherics*,  
Radio Science,  
Vol. 33, No. 6, pp.1781–1792, 1998.



# Hallásmodellre alapozott optimális jeltisztítási eljárás alkalmazásával szerzett tapasztalatok

FÖLDVÁRI RUDOLF

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési Tanszék

GYIMESI LÁSZLÓ

Győri Széchenyi István Egyetem, Digitális Elektronikai Laboratórium, gyimesi@sze.hu

**Kulcsszavak:** akusztika, hangosság érzet, kritikus sáv szélesség, szűrők, transzformációk

A Földvári-féle hallásmodellben használt általánosított amplitúdó- és frekvencia-transzformáció (GAFT – Generalized Amplitude and Frequency Transformation) ismertetése után bizonyítások nélkül felsoroljuk annak tulajdonságait. Bemutatjuk az optimális jeltisztítási eljárás blokkvázlatát, és a háttérzaj becslésének módszerét. Számos DEMO-t adunk, melyekhez rövid értékeléseket mellékelünk, továbbá közöljük az eredeti és a tisztított wav fájlok, valamint a PC-n futtatható exe fájl elérhetőségét.

## 1. Hallásmodellezés

A hallás és a hallásmechanizmussal kapcsolatos kérdések évezredek óta foglalkoztatják az emberiséget [6]. Egészen a 20-ik század végéig rendkívül ellentmondásos elméletek kerültek napvilágra [1, 2, 3, 4 és 9]. A 60-as évek közepétől azonban már nyilvánvalóvá vált, hogy lineáris transzformációk segítségével nem magyarázható, ennek egyik legalapvetőbb tulajdonsága, az idő- és frekvenciatartományban való igen jó felbontóképessége [7].

### Fizikai-érzeti leképezés

A hangforrás fizikailag mérhető mennyiségei, az intenzitás, frekvencia, időtartam, hangszín és irány, pszichológiai érzeteket váltanak ki a megfigyelőben. A fizikai inger az érzékszerven, idegi vezetésen és agyműködésen keresztül alakítja ki az érzetet. Az egyes ingerek, azaz a fizikai összetevők és az érzet, azaz pszichológiai összetevők között nincs kölcsönösen egyértelmű kapcsolatot, összefüggéseik rendkívül bonyolultak [9].

Az érzeti oldal egyes mennyiségeit módunkban áll számszerűleg megismerni, ha a méréshez előzetesen sikerül skálát felállítani. Ez minden pszichológiai kísérlet alapja, és egyben a legnehezebb lépése is. Az érzékelt hangosság és hangmagasság elsősorban a hang intenzitásától és frekvenciájától függ, de a színkép, időtartam és irány is befolyásolja hangosság és hangmagasság érzetünket.

### Hangosság

Barkhausen (1927) vezette be a phon fogalmát, amely definíciószerűen a dB értékekkel egyezik meg 1000 Hz-en, más frekvenciákon pedig a Fletcher-Munson görbéről olvasható le [5].

### Hangmagasság

A hangmagasság érzete a frekvenciával logaritmikusan növekszik és a legjellegzetesebb intervallum

az oktáv. A hangmagasság érzet rendkívül erősen függ attól, hogy a hangokat egyszerre, vagy egymásután szólaltatjuk meg.

Kétféle hangmagasság érzetünk működik, egy melodikus és egy harmonikus. Hangmagasságnak a melodikus skálát fogadjuk el, ugyanis az egyszerre megszólaltatott hangok harmónia érzetet váltanak ki, melynek nincs közvetlen köze a hangmagasság érzethez [9]. A melodikus hangmagasság skála kísérletileg meghatározott összefüggés a frekvencia és a hangmagasság érzet között. Az érzeti skála sem lineárisan, sem logaritmikusan nem függ a frekvenciától.

### Az alaphang felismerése

A természetben tisztán szinuszos hang alig fordul elő. A tiszta szinuszhoz a furulya, fuvola és az orgona hangja áll a legközelebb. Az alaphangon kívül annak az egészszámú többszöröse is jelen vannak. Az alaphang érzékelésével áttekinthetetlenül sok irodalom foglalkozik, melyek részben ellentmondóak. Az akusztikai Ohm törvény (1843) szerint a hang magassága a legalacsonyabb Fourier összetevő értékével azonos. Később Helmholtz is csatlakozott Ohm elképzeléséhez [1, 2]. Az alaphang azonban akkor is tisztán hallható, ha a megszólaltatott hang a legmélyebb összetevőt nem tartalmazza.

A jelenség legegyszerűbb, de a valóságnak egyáltalán nem megfelelő magyarázata, a közép- és belsőfül nonlinearitására való hivatkozás, mely szerint a hiányzó alaphang torzítás eredményeképpen keletkező különbségi hang. A legmeggyőzőbb kísérlet, mely bizonyítja, hogy nem „különbségi hang” jön létre, rendkívül egyszerű. Egy  $2f_0$  frekvenciájú hangot az egyik,  $3f_0$  frekvenciáját pedig a másik fülben megszólaltatva, az  $f_0$  frekvenciájú virtuális hang változatlanul hallható, pedig ez esetben az egyik alaphártyát csak az egyik, a másik alaphártyát pedig csak a másik hanggal ingereltük. Ezzel bizonyítható, hogy a virtuális hang agyi eredetű, és semmi köze sincs a különbségi hanghoz, mely nem jöhet létre kétfülű (dichotikus) gerjesztés esetén.

## 2. Kritikus sávok, fázishatár-frekvencia és két frekvencia-határ fogalma

### Kritikus sávok értelmezése

A hangosságérzetünk függ az ingerlő jel sávzélességétől. Akár sok szinuszos hanggal, akár zajjal gerjesztjük a fület, a sáv szélesedésével csak a fizikai hangintenzitás változásával halljuk a jelet hangosabbnak. Ha azonban ez a sávzélesség egy határértéket túllép, akkor megváltozik a helyzet, erőteljesebben növekszik a hangosság érzete, mint ahogy azt az ingerlő hatás növekedése indokolná.

Gondos vizsgálatokkal sikerült tisztázni ezeknek az összefoglaló képességgel rendelkező frekvenciasávoknak az értékét, melyeket kritikus sávoknak nevezünk [6].

### Fázishatár-frekvencia értelmezése

Az emberi hallás nemcsak a hangosság érzékelése során mutat egy kritikus sávon belül más tulajdonságot, mint szélessávban, hanem egy adott frekvencia környezetében a fázisra is érzékeny. Ha a frekvenciasávot szélesítjük, akkor egy határ után ez az érzékenység megszűnik, és már nem tudunk az amplitúdó-modulált és a frekvenciamodulált jel között különbséget tenni [6].

Feltűnő megegyezés, hogy ezen a területen belül a különböző frekvenciák hangingere az energiával arányosan okoz hangosságérzetet, azaz megegyezik a kritikus sávokkal. Érdekes, hogy míg a hallásküszöb görbe alakulásában az egyes egyedek között nagy szórás mutatkozik, ezeknek az összefoglaló tulajdonságú sávoknak az értéke egyénektől függetlenül egyetemlegesen érvényes adatnak tűnik.

### Két tiszta hang érzékelése

Ha két tiszta hang egyszerre szólal meg, és frekvenciájuk azonos, akkor a hangmagasság nem változik, de ha kissé eltérnek egymástól, akkor előbb lebegést, majd ha még jobban különböznek, érdességet érzékelünk. Nem két különböző frekvenciájú hangot, hanem a két frekvencia számtani átlagának megfelelő egyetlen hangmagasságú hangot hallunk. További távolodáskor az érdes, kellemetlen hang egyszer csak két külön hangra hasad szét. Ezt az értéket megkülönböztetési frekvenciatávolságnak, vagy két hang érzeti hátrának nevezzük. Nagyjából a kritikus sáv távolságában megszűnik az érdességi megítélés, és ekkor hallunk egymás mellett két „sima”, zavartalan hangot [6].

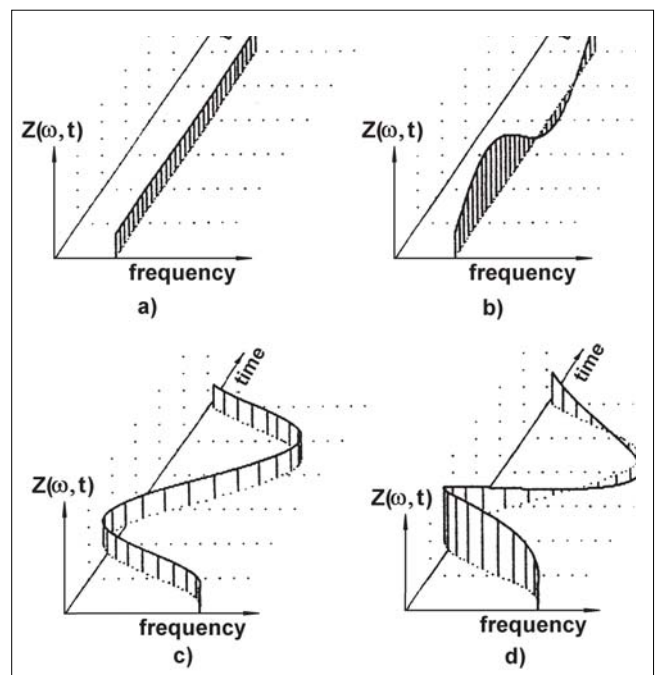
## 3. Általánosított amplitúdó és frekvencia transzformáció

Ha egy  $x(t)$  időfüggvény Fourier-transzformálható, továbbá nem tartalmaz egyen komponenset, akkor létezik a Hilbert párja, és ezt jelöljük  $y(t)$ -vel. Felhasználva  $x(t)$  és  $y(t)$  időfüggvényeket bevezethetjük a következő transzformációt:

$$A(t) = x(t) \left[ \cos \left( \Phi_0 + \int_{t_0}^t \Omega(\tau) d\tau \right) \right]^{-1} \quad (1)$$

$$\Omega(t) = \frac{d}{dt} \Phi(t) = \frac{x(t)y'(t) - x'(t)y(t)}{x^2(t) + y^2(t)}$$

ahol  $A(t)$ -t (mely negatív is lehet) általánosított pillanatnyi amplitúdónak,  $\Omega(t)$ -t pillanatnyi frekvenciának nevezzük. Ezt a függvénytranszformációt  $Z(\omega, t)$ -vel jelöljük, és **GAFT**-nak (Generalized Amplitude Frequency Transformation) hívjuk [10]. Az (1) egyenlettel adott pillanatnyi paraméterek úgy tekinthetők, mint kölcsönösen független és ideális AM és FM demodulátorokat megvalósító transzformáltak. Az elmondottakat az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra a) modulálatlan vivő b) amplitúdó moduláció c) frekvencia moduláció d) együttes amplitúdó és frekvencia moduláció

### A pillanatnyi paraméterek (GAFT) tulajdonságai

- A pillanatnyi paraméterek az idő-frekvencia sík felett egy görbét határoznak meg (1. ábra). Az (1) egyenletből látható, hogy a kapcsolat nemlineáris, a pillanatnyi paraméterekre a szuperpozíció elve nem érvényes.
- A GAFT a geometriai értelemben hasonló jeleket hasonló függvényekbe képezi le.
- A GAFT invariáns az időeltolással szemben.
- A jel pillanatnyi teljesítménye  $A^2(t)$ .
- Az általánosított amplitúdó és pillanatnyi frekvencia tartója azonos a jel időtartománybeli tartójával.
- A GAFT tetszőlegesen sokszor ismételhető, ha az  $A(t)$  és  $\Omega(t)$  jelek DC komponenseit leválasztjuk. Ilyenkor hasonló tulajdonságú függvényeket kapunk, mint az  $x(t)$ .
- Ha egy jel periodikus, akkor  $A(t)$  és  $\Omega(t)$  szintén periodikus.

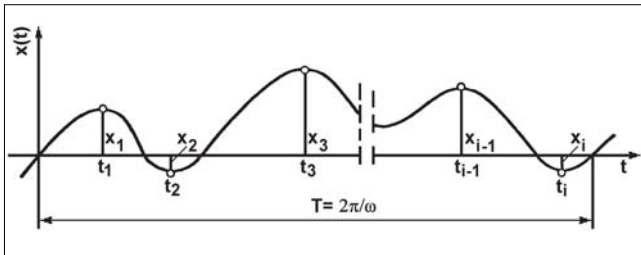
Az úgynevezett bizonytalansági reláció közvetlenül nem értelmezhető a GAFT esetében. A pillanatnyi paraméterek által meghatározott  $A(t)$ ,  $\Omega(t)$ , mint az a (1) egyenletből látható, csak az időtől függ, zérus „szórású”. Az illesztett mintavételezés hasonló tulajdonságokkal rendelkezik.

#### 4. Illesztett mintavételezés

Egy sávkorlátos periodikus jel mindig felírható a következő alakban (2):

$$x(t) = \sum_{n=n_L}^{n_H} (a_n \sin n\omega t + b_n \cos n\omega t) = \sum_{n=n_L}^{n_H} c_n \sin(n\omega t + \Phi_n)$$

Legyen  $x(t)$  a (2)-nek megfelelő alakú, és a  $(0, T)$  intervallumban vegyünk mintát a jel helyi szélsőértékeinél a 2. ábrának megfelelően. Bizonyítható, hogy a  $\{x_1, t_1, x_2, t_2, \dots, x_i, t_i\}$  halmaz egyértelműen meghatározza  $x(t)$ -t, ha  $\omega_H < 2\omega_L$ , azaz ha  $x(t)$  komponensei egy oktávnál szűkebb sávba esnek [8]. Ez a feltétel esetünkben teljesül, ugyanis a Zwicker-szűrők kb. terc szélességűek.

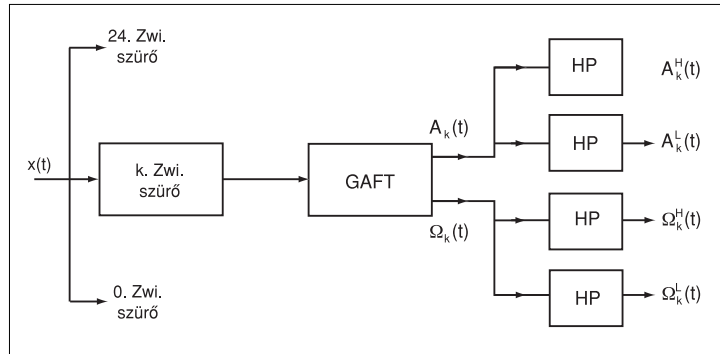
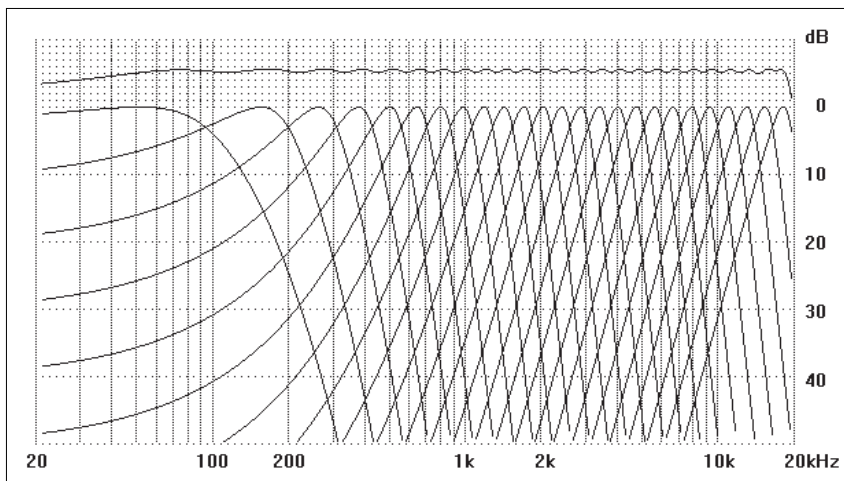


2. ábra  
Periodikus, véges sáv szélességű jel helyi szélsőértékei

#### 5. A hallásmodell felépítése és tulajdonságai

Az emberi hallás alapvető tulajdonságaira pontos magyarázat adható a Zwicker-féle szűrősor kimenetein alkalmazott GAFT (vagy illesztett mintavételezés) felhasználásával (3. ábra).

3. ábra  
Zwicker-féle szűrők (0-24) karakterisztikái és eredőjük



4. ábra A hallásmodell tömbvázlata

Az általunk javasolt legegyszerűbb hallásmodell blokkvázlata a 4. ábrán látható. A váltószűrők feladata a lassan változó komponens és a kváziperiodikusan változó komponensek szétválasztása. További kiegészítésekre attól függően van szükség, hogy a modell felhasználásával milyen feladatot kívánunk megoldani.

##### A hallásmodell alapvető tulajdonságai:

- A 3. ábrán jól látható, hogy a szűrőbank eredő karakterisztikája tökéletesen meghatározza a bemeneti  $x(t)$  jelet. Az ingadozás kisebb, mint 0.5 dB, a késleltetés kb. 10 ms. Az összegezett jel, még zene esetén sem különböztethető meg az eredetitől.

- Tekintettel arra, hogy mind a GAFT, mind az illesztett mintavétel egzakt transzformáció, a  $A_k(t)$  és  $\Omega_k(t)$  jelek, illetve a váltószűrők kimeneti jelei, egyértelműen meghatározzák az  $x(t)$  jelet. A kapcsolat egyértelmű, de a nemlineáris transzformáció miatt rendkívül bonyolult. Minden  $x(t)$ -hez különböző válaszfüggvények tartoznak, és természetesen a lineáris szuperpozíció nem érvényes.

- Az  $A_k(t)$  jelek felhasználásával meghatározható az  $x(t)$  jel által okozott hangosság érzet. A szűrőbankot az „igazi” hangosság méréséhez használják, hiszen hangosság érzetünk döntően függ attól, hogy az inger komponensei melyik frekvenciatartományba esnek.

- Hosszan megszólaltatott tiszta hang esetén a modell szinte tetszőleges felbontást valósít meg a frekvenciatartományban. Triviális, hogy végtelen hosszú szinuszos jel esetén a Zwicker-féle szűrősor a jelre nincs hatással, kimenetein a pillanatnyi paraméterek elvileg bármilyen pontossággal meghatározhatók.

- Két szinuszos jellel vizsgálva a modellt, a fent elmondottak továbbra is érvényesek, ha a frekvenciák között több kritikus sáv távolság van. Ha a két jel ugyanabba a részsávba esik, akkor  $\Omega_k(t)$  átlaga a két frekvencia számtani átlaga.

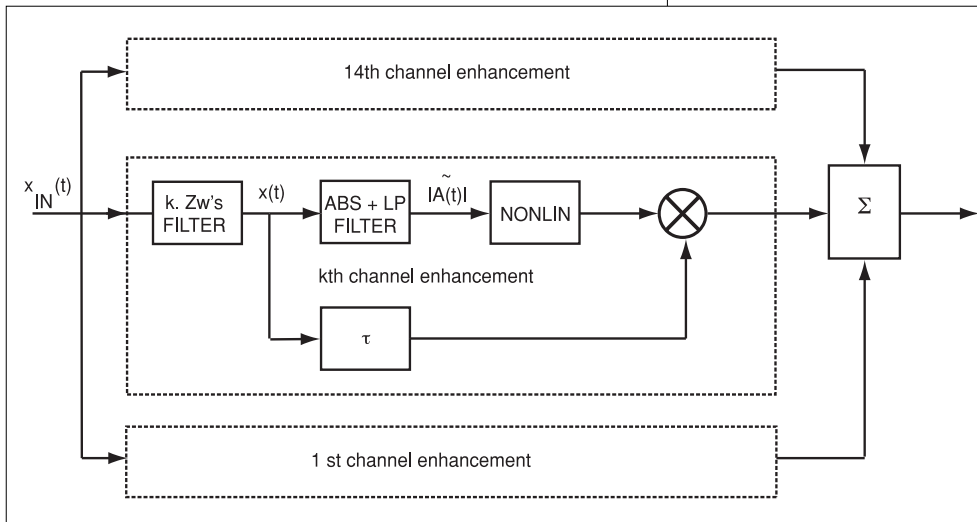
- A modell felhasználásával meghatározható a virtuális hang, ugyanis a hiányzó alaphang feletti részsávok jeléből  $\Omega_k(t)$  és  $\Omega_k(t)$  meghatározható a váltóáramú komponensek periódusideje, melyek a hiányzó alaphang pe-

riódusidejével egyeznek meg. Az így meghatározott periódusidőt nem lehet befolyásolni a hiányzó alaphang helyére beadott keskenysávú zajjal, és nem lehetséges a hiányzó alaphang környezetében lebegést elérni. Ha azonban a jel az alapot tartalmazza, akkor lebegés jön létre, hiszen a szóban forgó részsáv pillanatnyi paraméterei pontosan követik a lebegést.

• A modellen a bizonytalansági reláció csak meglehetősen bonyolultan értelmezhető. Azonban megmutatható, hogy a modell felhasználásával kisebb felbontás is elérhető, mint a hallásra publikált érték [7].

### 6. Beszéd kiemelése háttérzajból

A zajos háttérből történő beszédkiemelésre a hallásmodell egyszerűsített változatát célszerű használni. Az eljárás blokkvázlatát az 5. ábra mutatja.



5. ábra Zajos háttérből történő beszédkiemelés egyszerűsített blokkvázlata

A megoldás elméleti alapját az úgynevezett „optimumszűrő” szolgáltatja [11]. Ha egy rendszer bemenetére zajos jel kerül, azaz

$$x(t) = s(t) + n(t), \tag{3}$$

akkor a rendszer jellemzőit úgy célszerű megválasztani, hogy a kimeneti  $y(t)$  jel minél többet tartalmazzon a hasznos jelből, és minél kevesebbet a zavaró jelből. A feladat általános esetben nem oldható meg, ezért a feladatot célszerű lineáris rendszerre korlátozni. Az így nyert lineáris rendszer az „optimumszűrő”.

A Wiener-Hopf integrálegyenlet megoldása adja a keresett rendszer  $K(\omega)$  átviteli karakterisztikáját, amely a jel és a zaj teljesítmény sűrűség spektrumával kifejezve a következő:

$$K(\omega) = \frac{g_S(\omega)}{g_S(\omega) + g_N(\omega)}. \tag{4}$$

Ennek alapján a  $k$ -adik csatornában az  $A_k^*(t)$  súlytényezőt a következő értékre kell beállítani:

$$A_k(t) = K(\omega_k) = \frac{g_S(\omega_k)}{g_S(\omega_k) + g_N(\omega_k)}. \tag{5}$$

Ebben az egyenletben a teljesítmény sűrűség-spektrumok nem ismertek, de igen jó becslések adhatók értékükre.

Abból a felismerésből kiindulva, hogy a beszéd mindig tartalmaz szüneteket, következik, hogy  $A_k^*(t)$  minimumának négyzete arányos a háttérzaj teljesítményével, azaz

$$g_N(\omega_k) = c \left( \min \{A_k^L(t)\} \right)^2, \tag{6}$$

továbbá  $A_k^L(t)$  pillanatnyi értékének négyzete arányos a jel és a zaj teljesítményének az összegével, hiszen a jel és a zaj kölcsönösen független folyamatok. Mindezek alapján írhatjuk, hogy

$$g_S(\omega_k) + g_N(\omega_k) = c \left( A_k^L(t) \right)^2. \tag{7}$$

Normalizáljuk  $A_k^L(t)$  értékét a minimumával, és vesszük be a következő egyszerűsítő jelölést:

$$z_t = \frac{A_k^L(t)}{\min \{A_k^L(t)\}} \tag{8}$$

Fentieket felhasználva néhány egyszerű átalakítás után azt kapjuk, hogy a súlytényező értéke:

$$A_k(t) = \frac{z_t^2 - 1}{z_t^2}. \tag{9}$$

Ez a lassan változó jel (az 5. ábra közepén  $\tilde{A}(t)$ -vel jelölve) kerül a (9) által meghatározott nemlineáris karakterisztikára, melynek kimeneti jele állítja be minden egyes részsáv erősítését.

Természetesen, ha a beszéd nem tartalmaz háttérzajt, akkor a csatorna jele változatlanul kerül az összegzőre, hiszen ebben az esetben minden súlytényező értéke  $A_k(t) = 1$ .

### 7. Záró megjegyzések

A) A 6. pontban ismertetett eljárás igen jól használható régi zajos felvételek, hanglemezek tűzőreinek, valamint régi filmek hanganyagának tisztítására. Ezekben az esetekben az optimálisan megtisztított jel hangzása nem a legkellemesebb, ezért a normalizálást nem a minimummal, hanem egy kisebb értékkel célszerű elvégezni. Természetesen így kevesebb háttérzaj kerül eltávolításra, de kellemesebbnek halljuk a megtisztított anyagot. A legjobb megoldásnak azt tartjuk, ha a helyes arány beállítását hangmérnök végzi.

- B) Ha a háttérzaj egészen speciális (pl. egy üzemcsarnokban a beszédnél is hangosabb csattanások), az eljárás természetesen csak a beszédszünetekben hallható zajt csökkenti, a csattanásokat nem, hiszen a háttérzajból éppen úgy kiemelkedik, mint a beszéd. Ilyen speciális zavarok csökkentéséhez további kiegészítésekre van szükség. Például pitch detektor felhasználásával a beszéd maximumai meghatározhatók. A csattanások szintje egy, a zajforráshoz közel elhelyezett mikrofon segítségével csökkenthető (ismert jel elnyomás). Ez a megoldás bármilyen típusú zaj esetén használható, ha háttérzaj jól definiálható forrásból származik. Ha ez nem áll fenn, akkor ez a megoldás igen kevés eredménnyel kecsegtet. Például egy autóban a szélvédő bal és jobb oldalánál elhelyezett mikrofonok jelei gyakorlatilag függetlenek, ezért egyik jel sem csökkenthető a másik felhasználásával.
- C) Ha a háttérzaj összemérhető a beszéd hangosságával, azaz a jel-zaj viszony kisebb 10 dB-nél, akkor előfordulhat, hogy a tisztított beszéd rosszabbul érthető, mint az eredeti. Ilyen esetben a tisztítás hatásfokát csökkenteni kell. Ez a feladat megoldható, ha a minimumokon kívül a maximumokat is figyeljük, és megpróbálunk a jel-zaj viszonyra becslést adni. Sajnos minden típusra más-más algoritmust kellene kidolgozni (pl. a jelből kiemelkedő csattanás ad egy maximumot, de ennek semmi köze sincs a jel-zaj viszonyhoz).
- D) A nemlineáris hallásmodell [10] felhasználásával és további kiegészítésével majdnem minden feladat megoldását sikerült szimulálni. Rendkívül jól használható ismert jel elnyomásra, források szétválasztására, visszhang csökkentésére, zöngés-zöngétlen döntő, valamint pitch detektor készítésére, továbbá beszéd tömörítésére [12, 13]. A minőség még tökéletes (az eredetitől megkülönböztethetetlen) maradt 1000 bit/s átviteli sebesség esetén is (késleltetési idő kb. 100 ms). Kisebbs sebességű átvitel is megvalósítható, de természetesen csak minőségromlás és a késleltetési idő további növekedése árán.

### Köszönetnyilvánítás

A hallásmodell elméleti hátterének kidolgozásában nyújtott segítségért ezúton is szeretnénk köszönetet mondani dr. Papp Lászlónak és dr. Osváth Lászlónak.

### Irodalom

- [1] G. S. Ohm:  
*Über die Definition des Tones, nebst daran geknüpfter Theorie der Sirene und ähnlicher tonbildender Vorrichtungen.*  
Ann. der Physik, Vol. 59, No. 8, 512-565, 1843.
- [2] H.v. Helmholtz:  
*Die Lehre von den Tonempfindungen.*  
Braunschweig, 1863, 1913.
- [3] D. Gabor:  
*Acoustical Quanta and the Theory of Hearing.*  
Nature, Vol. 159, 591-692, 1947.
- [4] Békésy, Gy., Rosenblith, W. A.:  
*The early history of hearing observations and theories.*  
J. Acoust. Soc. Am. Vol. 20, 1948.
- [5] H. Fletcher:  
*Speech and Hearing.*  
Nostrand C., New York, 1950.
- [6] E. Zwicker, R. Feldtkeller:  
*Das Ohr als Nachrichtenempfänger.*  
Hirzel V., Stuttgart, 1967.
- [7] L. M. Grobden:  
*Appreciation of Short Tones.*  
Seventh International Congress on Acoustics, Budapest, Vol. 3, 329-332, 1971.
- [8] R. Földvári:  
*Adaptive Sampling.*  
Periodica Polytechnica Electrical Engineering, Vol. 33, No. 3, Budapest, 1989.
- [9] Tarnóczy T.:  
*Einführung in die musikalische Akustik.*  
Akadémiai Kiadó, Budapest, 1991.
- [10] R. Földvári:  
*Generalized instantaneous amplitude and frequency functions and their application for pitch frequency determination.*  
Journal of Circuits, Systems, and Computers, Vol. 5, No. 2, 1995.
- [11] R. Földvári, Gy. Ács:  
*Speech Enhancement Based on a New Hearing Model.*  
19th Czech-Hungarian-Polish Workshop on Circuit Theory and Applications, Prague, 1966.
- [12] R. Földvári, Gy. Ács:  
*Speech and Music Coder Based on a New Hearing Model.*  
7th Conference and Exhibition on Television and Sound Technique, Budapest, 1996.
- [13] R. Földvári, L. Gyimesi:  
*Very Low Bit Rate Voice Coder Based on a Nonlinear Hearing Model.*  
Eurospeech '99 – 6th European Conference of Speech Communication and Technology, Budapest, 1999.

# Hírek

2003. novemberében – immár ötödik alkalommal – kiosztották a középiskolai matematika- és fizikatanárok munkájának elismerésére alapított **Ericsson-díjakat**.

Az Ericsson Magyarország Kft. Kutatási-fejlesztési Igazgatósága 1999-ben díjat alapított, hogy hozzájáruljon a magyar természettudományos alapképzés hagyományosan magas színvonalának fenntartásához. Azok a tanárok részesülhetnek az elismerésben, akiknek tanítványai kiemelkedő teljesítményt értek el valamely jelentős tanulmányi versenyen, vagy akik a legtöbbet tették annak érdekében, hogy tanítványaikkal megismertessék, sőt megszerettessék ezeket a tantárgyakat.

A díjalapítók tisztában vannak vele, hogy a középiskolai matematika- és fizikaoktatásnak jelentős szerepe van abban, hogy a magyar műszaki és természettudományos diplomával rendelkezők tudása világviszonylatban is kiemelkedő. Ennek a szellemi kapacitásnak köszönhető, hogy egyre több hazai és külföldi befektető folytat Magyarországon kutatási és fejlesztési tevékenységet, így kapcsolva be hazánkat a különböző távközlési és egyéb csúcstechnológiák fejlesztésének nemzetközi vérkeringésébe.

Az Ericsson célja, hogy erkölcsi és anyagi elismerést nyújtson azoknak a matematika és fizika tanároknak, akik kiemelkedő eredményt értek el tárgyak oktatásában.

*„Ericsson a matematika és fizika népszerűsítéséért” díj*

Egyenként 200.000 Ft-tal járó díj, melyet olyan tanárok kaphatnak, akik tanítványaikkal az adott tanévben aktívan bekapcsolódtak a Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok pontversenyeibe, vagy több éve elismerten a legtöbbet teszik a tantárgyak iránti érdeklődés felkeltéséért és megszerettetéséért.

Az „Ericsson a matematika népszerűsítéséért” díjban 2003-ban:

Bereczkiné Székely Erzsébet (Leőwey Klára Gimnázium, Pécs)

Brenyó Mihályné (Mátyás Király Általános Iskola, Kecskemét)

Hegy Györgyné (Radnóti Miklós Gimnázium, Budapest)

Lajos Józsefné (Kiss Árpád Országos Közoktatási Szolgáltató Intézmény, Budapest)

Az „Ericsson a fizika népszerűsítéséért” díjban 2003-ban:

Jaloveczki József (Szent László Általános Művelődési Központ Iskolája, Baja)

Juhász Nándor (Rókusi Általános Iskola, Szeged)

Kobzos Ferenc (Széchenyi István Gimnázium, Dunaújváros)

Mester András (Diósgyőri Gimnázium, Diósgyőr) részesült.

*„Ericsson a matematika és fizika tehetségeinek gondozásáért” díj*

Az egyenként 200.000 Ft-tal járó díjat olyan tanárok kaphatják, akiknek tanítványai a Középiskolai Matematikai és Fizikai Lapok versenyein, vagy a Varga Tamás, Arany Dániel matematikaversenyek, matematika vagy fizika OKTV, Öveges József, Mikola Sándor, Fényes Imre, Szilárd Leó fizikaversenyek, a Nemzetközi Matematika vagy Fizika Diákolimpiák, a Kürshák József matematikai tanulmányversenyek, vagy az Eötvös Lóránd fizikaversenyek valamelyikén az 1996-97-es évtől kezdődően 1-3. díjat nyertek.

Az „Ericsson a matematika tehetségeinek gondozásáért” 2003. évi díjazottjai:

Pótáné Márton Mária (Neumann János Szakközépiskola és Gimnázium, Eger)

Zábrádiné Schmierer Emília (Révai Miklós Gimnázium, Győr).

Az „Ericsson a fizika tehetségeinek gondozásáért” 2003. évi díjazottjai:

Alapiné Ecseri Éva (Puskás Tivadar Távközlési Technikum, Budapest)

Pesti Gyula (Garay János Gimnázium, Szekszárd).

A hódmezővásárhelyi Kossuth Zsuzsanna Műszaki Szakközépiskola és Gimnázium 1998 óta vesz részt a **Cisco Hálózati Akadémia** munkájában. Munkájukat tavaly novemberben „**Év Akadémiája**” címmel jutalmazta a közösség. Az oktatási laboratóriumban található eszközök szinte kizárólag pályázati és szakképzési támogatásból sikerült az iskolának beszereznie. A kibővített laboratóriumot ünnepélyes keretek között december 16-án adták át az oktatók és a diákok számára. Az intézmény a múlt év áprilisában pályázatot nyújtott be, amelynek során az Oktatási Minisztérium 30 iskolát választott ki, köztük a Kossuth Zsuzsanna Műszaki Szakközépiskolát és Gimnáziumot. Ezek az intézmények felvételt nyertek az Európai Innovatív Iskolahálózatba és alapítói a Magyar Innovatív Iskolahálózatnak.

# Szelektív emitteres kristályos napelemek és az önadalékoló kontaktus

KUTHI EDVÁRD  
eddye@freestart.hu

Reviewed

**Kulcsszavak: fényelektromos átalakítás, napelem-cellák, hatásfok, gyártástechnológia**

A mai világ egyik kulcskérdése a világ energiaellátása az emberiség megmaradására alkalmas környezet megőrzése mellett. Ennek egyik lehetséges megoldása a megújuló energiaforrások felhasználása. Ezek részesedése Magyarország energiaellátásából ma még csupán néhány százaléknyi, a vízierőműveket is beleértve. Mialatt a biomassza és a geotermikus források felhasználása csak rövidtávú megoldást jelentenek, hosszabb távon a nap- és szélenergiát hasznosító technológiák alkalmazását is meg kell fontolni. Ezen energiák felhasználására az ország területén helyenként már láthatunk biztató példákat is.

## 1. Bevezető

A napenergia előnyei az alábbiakban foglalhatók össze:

- gyakorlatilag korlátlanul áll rendelkezésre;
- felhasználásával a fosszilis energiahordozó-készletek hosszabb ideig elegendők lesznek olyan célokra, melyekre más források nem használhatók;
- környezetbarát erőforrás és nem járul hozzá a globális felmelegedéshez.

A fotovoltaikus rendszerek a Nap sugárzását napelem cellák segítségével közvetlenül villamos energiává alakítják, így nagyon vonzó energiaforrások, hiszen működésük közben nem okoznak semmiféle szennyezést. Élettartamuk megfelelő anyagok alkalmazása esetén akár 20-30 év is lehet és nagyon kevés gondozást igényel fenntartásuk, amely szinte csak a felületük tisztaságának biztosítására korlátozódik.

A kristályos napelemek (egykristályos vagy multikristályos) esetében az egyik kutatási irány az, hogyan lehet az előoldali kontaktusokat úgy kialakítani, hogy a napelem paraméterek optimálisak legyenek. Az alapprobléma a következő: a legjobb napelem paraméterek elérése érdekében a p-típusú szilícium félvezető anyagban gyengén adalékolt és sekély (tehát nagy négyzetes ellenállású) n réteg szükséges, viszont ilyen adalékolt rétegen nehéz, vagy egyáltalán nem lehet ohmikus fémkontaktust létrehozni. A kontaktus szempontjából a minél erősebben adalékolt és kevésbé sekély (tehát kis négyzetes ellenállású) n réteget kell előállítani.

Ennek egyik lehetséges áthidalási lehetősége az eddig használt homogén emitter helyett a szelektív emitteres technika, amely a fémkontaktusok alatt erősen adalékolt réteget hoz létre, a fémkontaktusok között pedig gyengén adalékolt réteget képez, így mindkét emitter adalékolt követelménynek jól meg lehet felelni, és ennek következtében a napelem hatásfoka is javul a homogén emitteres napelemekéhez képest.

A kereskedelmi napelemek gyártásánál ma használatos fémréteg-felviteli technológia elsősorban egyszerűsége és olcsósága miatt (kristályos és multikristályos alapanyag esetén) a szitanyomás technológiája. Ennek, vagy más olcsó vastagréteg felviteli technológiának továbbfejlesztése, alkalmazásának optimalizálása a minél olcsóbb napelemek előállítását célzó kutatások egyik fontos iránya. Ezért a hatásfoknövelésre irányuló fejlesztések esetén érdemes az ilyen technológiák alkalmazásával létrehozni a kísérleti napelem cellákat, így mindkét kutatási iránynak meg lehet felelni az eredményes cellafejlesztés után.

## Alapfogalmak [2, 3]

A szelektív emitteres technológiák részletes ismertetése előtt érdemes néhány napelemekkel kapcsolatos alapfogalom jelentését tisztázni.

### Jellemzők:

- *AM1,5: a napsugárzás intenzitása a világűrben* (Air Mass 0, AM0 feltétel, vagyis nincs elnyelő légkör) az átlagos nap-föld távolságban  $1353 \text{ W/m}^2$ , jellemző spektrális eloszlással. Egyszeres földi levegőréteget feltételezve, tehát merőleges beesésnél (AM1) ennél valamivel gyengébb sugárzási teljesítménysűrűség érkezik a föld felszínére, mivel a levegőréteg molekulái megsűrűsítik a napsugárzás spektrumát. Ez az érték a merőlegestől eltérő beesés, tehát nagyobb levegőben töltött úthossz esetén tovább csökken, 45 fokos szög esetében (AM1,5) kb.  $970 \text{ W/m}^2$ , ami jó közelítés a szokásos kültéri alkalmazások esetére. A napelemek elektromos tulajdonságainak és hatásfokának méréséhez az AM1,5-hez tartozó sugárzási spektrumot veszik alapul,  $1 \text{ kW/m}^2$ -re normálva a spektrumot.

- *Rövidzárási áramsűrűség ( $J_{sc}$ ):* A megvilágított napelem rövidzárási ( $U=0 \text{ V}$  feszültséghez tartozó) árama adja a maximális áramot a napelemben, ugyanis gyakorlatilag megegyezik a fény által generált áram

nagyságával ( $I_{sc} = -I_L$ , ahol  $I_L$  a fény által generált áram). Mivel maga az áram a felület nagyságától is függ, ezért inkább az áramsűrűséget szokták használni ( $J_{sc} = I_{sc}/A$ , ahol  $A$  a felület). Ezen kívül függ a fény spektrális eloszlásától (ezért mérésénél standardizált AM1,5 eloszlást veszünk), a fény intenzitásától (a beeső fotonok számától), az áramgyűjtési valószínűségektől, és az optikai tulajdonságoktól. AM1,5 spektrum esetén Si napelemre az elméletileg lehetséges maximum rövidzárási áramsűrűség  $46 \text{ mA/cm}^2$ .

• **Üresjárási feszültség ( $V_{oc}$ ):** az eszköz üresjárási ( $I=0$  áramhoz tartozó) feszültsége adja a maximális lehetséges feszültséget a napelemben. Értéke:

$$V_{oc} = V_T \ln\left(1 + \frac{I_L}{I_0}\right) \cong V_T \ln \frac{I_L}{I_0}$$

ahol  $V_T$  a termikus feszültség, amely adott hőmérséklet esetén állandó,  $I_0$  a szaturációs áram, vagy sötétáram. Az üresjárási feszültség elsősorban az eszköz szaturációs áramától függ, mivel ez több nagyságrendet is változhat, de kis mértékben függ a fény által generált áramtól ( $I_L$ ) is. Mivel a szaturációs áram a rekombináció függvénye, mondhatjuk, hogy az üresjárási feszültség jellemzi a rekombinációt. Egyszeres napintenzitás, AM1,5 spektrum és szobahőmérséklet mellett a Si napelemek elérték már a 720mV-os értéket is.

• **Kitöltési tényező, formatényező (fill faktor, FF):** Ez az arányszám a maximális leadott teljesítmény ( $P_m = V_m I_m$ ) viszonya az adott megvilágításhoz tartozó üresjárási feszültség és rövidzárási áram (a maximális lehetséges értékek) szorzatához, tehát meghatározza a napelemből maximálisan kivehető teljesítményt:

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}}$$

A maximális kivehető teljesítmény elméleti úton is meghatározható, de a valóságban ennél kisebb lesz az értéke a parazita ellenállások miatt, ezért a FF-t általában mérés útján szokták meghatározni. Értéke leginkább a működtetés munkapontjától, valamint az eszköz üresjárási feszültségétől, és a napelem rekombinációjától, tehát a fényelem szerkezet minőségétől függ. Nagyobb rekombináció esetén mind az FF, mind a  $V_{oc}$  leromlik. Mivel a  $V_{oc}$  egy anyagrendszeren belül nem sokat változik, ez csak kis mértékben befolyásolja a FF-t. Az eddigi legnagyobb  $V_{oc}$ -hez tartozó FF elméleti érték kb. 0,85.

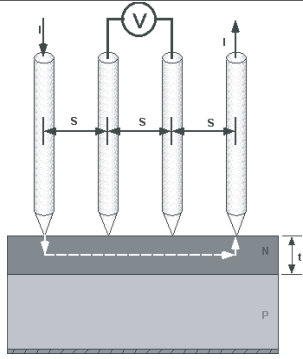
• **Hatásfok:** A napelem által leadott maximális teljesítmény, és a beérkező fotonok által szállított teljesítmény hányadosa:  $\eta = P_m/P_{be}$ . Értéke függ a napelem cella hőmérsékletétől, a beeső fény spektrális eloszlásától és intenzitásától, és a napelemszerkezet technológiai és anyagjellemzőitől. Ezért mérésekor standardizált fényforrást (egyszeres napintenzitással, AM1,5 spektrummal), és állandó szobahőmérsékletet (25°C) kell biztosítani.

• **Négyzetes ellenállás:** A napelemek emitterének ellenállása és vastagsága gyakran nem ismert, nehéz megmérni, ezért a napelem felső rétegének jellemző

sére gyakran használják ehelyett a négytűs módszerrel könnyen megmérhető négyzetes ellenállást. Ez az emitter ellenállásától és vastagságától is függ, értéke egyenletes adalékolás esetén:  $\rho_{\square} = \rho/t$ , ahol  $\rho$  a réteg ellenállása,  $t$  pedig a vastagsága. A négyzetes ellenállás annál nagyobb, minél nagyobb a réteg ellenállása (minél gyengébb az adalékoltsága), és minél kisebb a réteg vastagsága.

A felső emitter réteg négyzetes ellenállását nagyon egyszerűen lehet mérni a négytűs módszerrel. A külső tűkön áthaladó áram a belső tűkön feszültséget kelt. Az n és p típusú anyagok közti átmenet szigetelő réteggé működik. A cellát sötétben kell tartani a mérés során.

A leolvasott feszültség és áram felhasználásával:

$$\rho_{\square} \left( \frac{\Omega}{\square} \right) = \frac{\pi V}{\ln 2 I}$$


Négytűs mérés

• **Belső kvantumhatásfok (Internal Quantum Efficiency, IQE):** A kvantumhatásfok a napelem által összegyűjtött töltéshordozók számának és a beeső fotonok számának hányadosa egy adott energián, a hullámhossz vagy az energia függvényében megadva. Ezen belül a belső kvantumhatásfok csak azokra a beeső fotonokra adja meg ezt az arányt, amelyek töltéshordozókat tudnak generálni, tehát nem reflektálódtak, és nem transzmittálódtak. A kvantumhatásfok ábrája jól jellemzi a napelem anyagi paramétereit (felületi rekombináció, tömbi diffúziós úthossz stb.).

**Bevonatok:**

• **Felületpassziváló réteg:** A Si felületén kialakítanak egy átlátszó dielektrikum réteget, melynek megfelelő anyagszerkezete a felületi hibákat, szabadon álló kötésekkel betölti, így csökken a töltéshordozók felületi rekombinálódásának valószínűsége. A passziválás tovább növelhető tömbi passziválással, melyet hidrogénnel Si-ban való lekötésével, hidrogénezéssel oldanak meg.

• **Antireflexiós réteg:** ez a szintén átlátszó szigetelő réteg a napelem hatásfokát úgy növeli, hogy megfelelő vastagsága folytán a felület reflexióját lecsökkenti, a Si felületéről visszaverődő fotonokat újra visszaveri a Si-ba. Megfelelő anyag használata esetén (pl. SiO<sub>2</sub>, SiN<sub>x</sub>) ez a réteg egyben passziváló réteggé is funkcionálhat. A hatásfok tovább növelhető a Si felületének texturálásával, érdesítésével, amely matt felületet biztosít. A nagyobb felület, valamint strukturáltság nagyobb fotonabszorpciót és kisebb reflexiót eredményez.

**Kristályszerkezet:**

• **Egykristályos Si (Cz-Si, FZ Si):** Napelemekhez lehetőleg minőségi, kevés kristályhibát tartalmazó (mégis olcsó) alapanyagot kell használni, hogy a kisebb

töltéshordozók élettartama (egyben a diffúziós hossz) elég nagy legyen ahhoz, hogy a generálódott töltéshordozók nagy valószínűséggel elérjék a megfelelő kontaktusokat. A fenti minőségi követelményeknek megfelelő egykristályos alapanyagú napelem cellából Si alapanyag esetén 20%-on felüli hatásfokú napelem készíthető. Ez esetben az egész Si lemez egyetlen kristályból áll, mindenhol azonos kristályorientáltsággal és kristályszerkezettel. Előállítására hosszadalmas, magas hőmérsékletet és nagy körülményeket igényel. Ennek megfelelően ára is magas. A Cz-Si rövidítés a Czochralski-féle előállítási módra utal, a FZ Si pedig a Floating Zone (lebegőzónás) előállítási módra. A Cz-Si alapanyagban viszonylag sok az oxigén- és szénzennyeződés, amely lecsökkentheti a kisebbségi töltéshordozók élettartamát a tömbben, ráadásul magasabb hőmérsékleteken az oxigén aktiválódik, így a szelet érzékenyebb a magas hőmérsékletű eljárásokra. A FZ Si mind az oxigén mind a szén szennyeződésekből jóval kevesebbet tartalmaz, a kisebbségi töltéshordozó élettartama msec tartományba esik. Viszont ez a jobb minőségű alapanyag drágább mint a Cz-Si.

- *Multikristályos Si (mc-Si):* A jó minőségű szilícium egykristályok viszonylag drágák, és ez jelentős háttérerő volt a multikristályos félvezető alapanyagok alkalmazása felé. A multikristályos alapanyagban a kristályszemcsék külön-külön kristályosak, de különféle orientációjúak, így nem lehet számítani a kristályorientáció homogenitásának előnyeire. A multikristályos szilíciumnak ezen kívül hátránya, hogy a kristályhatárokon fellépő nagy hibahely sűrűség (növelve a helyi rekombinációt) csökkenti a kisebbségi töltéshordozók élettartamát, ami a hatásfok romlásához vezet. Ezzel szemben egyszerűbb az előállítása, és olcsóbb is. Ha a multikristályos szilícium a diffúziós hosszánál nagyobb és legalább néhány milliméteres kristályokat tartalmaz, akkor csökkennek a hátrányok. Lényeges, hogy a felülettel párhuzamosan ne legyenek kristályhatárok, mert ekkor az áramnak nem kell olyan térrészen átfolyania, amely sok rekombinációs centrumot tartalmaz. Ha az átlagos kristályméret nagyobb, mint a szelet vastagsága, a lemez függőleges kristály oszlopokból áll, így ez csekély valószínűségű.

## 2. Szelektív emitteres technológia

### Elmélet [1, 4, 5, 6, 7]

A homogén emitteres szilícium napelemek optimális emittere az alacsony sötétáram és az alacsony kontaktus-ellenállás követelményeinek kompromisszuma. Passzívált felületű emitter esetén a sötétáram (az emitter szaturációs áramsűrűsége,  $J_0$ ) alacsonyan tartásához az adalékanyag felületi koncentrációjának  $10^{20}$  atom/cm<sup>3</sup> alatt kell maradnia, és az emitternek sekélynek kell lennie. Viszont a megfelelő kontaktus kialakításához (ahol a felület ezért általában nem passzívált), főleg a szitanyomtatott kontaktusok esetén, az adalékanyag felületi koncentrációjának n-típusú szilícium ese-

tén  $10^{19}$ - $10^{20}$  atom/cm<sup>3</sup>-nél, p-típusú szilícium esetén  $10^{17}$  atom/cm<sup>3</sup>-nél nagyobbak kell lennie, és itt viszonylag vastag emitter is kell (>0,3 μm). A homogén emitterek kontaktálásához ilyen nagyságú felületi koncentráció és emittervastagság (tehát kb. 0,3-0,4 μm) szükséges, ami viszont a felület passziválását szinte lehetetlenné teszi. Megjegyzendő, hogy nagyobb adalékkoncentráció esetén a felületi állapotsűrűség,  $N_{it}$  is nagyobb, ami megnöveli a rekombinációt.

Fontos, hogy a cella teljes fajlagos soros ellenállása, amibe a határátmenetek és az elektróda anyagok is beleértendőek, ne legyen nagyobb  $1 \Omega\text{cm}^2$ -nél. Ezen belül a kontaktus-ellenállás maximuma  $10 \text{ m}\Omega\text{cm}^2$ . Kísérletek és modellezés alapján az optimális homogén emitter nem szitanyomtatott kontaktusok esetén  $60 \Omega/\square$  négyzetes ellenállású,  $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ -es adalékkoncentrációval és  $1,4 \mu\text{m}$  mélységgel. A szitanyomtatott Ag kontaktusok általában  $45 \Omega/\square$ -nél kisebb négyzetes ellenállású emittert igényelnek, hogy éppen elfogadható kontaktus-ellenállást és FF-t érthessenek el (minimum 70%). Viszont az ilyen erős adalékolású homogén emitter lecsökkenti a rövidhullámú fotonokra adott választ az erős adalékolási hatások és a nagy rekombinációs sebesség miatt, melyet felületpassziválással sem lehet elfogadható értékig csökkenteni.

A *szelektív emitter*, amelynek csak a fémezés alatt van magas adalékolása, akár  $70$ - $200 \Omega/\square$  négyzetes ellenállású fémezések közötti emittert is megengedhet. Így lecsökken az erős adalékolás hatása az emitterben, ugyanakkor jó ohmikus kontaktust és kedvező értékű FF-t eredményezhet, alacsony sötétáram mellett, és jó áramgyűjtési hozam érhető el. Ebben az esetben a napelem felülete jól passziválható a fémkontaktusok közti területen, a fémezés alatti emitter pedig kevésbé kritikus a kontaktus átétegetésére nézve. Érdekes eredmény, hogy ugyanazon négyzetes ellenállású emitterek esetén a mélyebb és így kevésbé adalékoló emitter kisebb veszteséget okoz a fotogenerált áramsűrűségben, mint a sekélyebb és erősebben adalékoló emitter.

Elméleti modellezés alapján [6] a kontaktus alatti területeken (ahol a felületi rekombinációt végtelennek vették) az emitter felületi adaléksűrűsége optimálisan  $10^{20} \text{ cm}^{-3}$ , mélysége  $3$ - $10 \mu\text{m}$ , és az adalékprofilnak folyamatosan kell csökkennie a szubsztrát belseje felé, míg a megvilágított területeken ideális esetben a felületi adaléksűrűség  $10^{18}$ - $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  nagyságú kell legyen, és az adalékprofilnak ezen értéktartása után abrupt jelleggel kell lecsökkennie  $0,2$ - $0,4 \mu\text{m}$  mélységben.

A *szilícium napelemek fémezése* kritikus tényező a cella teljes elektromos és fizikai tulajdonságainak meghatározásánál. A fémezés lehet vékonyrétegű (pl. porlasztással, párologtatással) vagy vastagrétegű (pl. szitanyomtatással, stencilnyomtatással). A vastagrétegű fémezési technológia olcsóbb, ezért az iparban, és a napelemfejlesztések során inkább ezt használják.

A vastagrétegű fémezést a kristályos napelemek készítésénél az elektromos kontaktusok megvalósításához és a fényáram összegyűjtés elősegítéséhez használják. Előnyei a nagy fotó-áramsűrűség, kis kontaktus-

ellenállás, viszonylag kis csikellenállás, viszonylag jó vonalfelbontás (50-100mm-es csikszélesség elérhető), megfelelő forraszthatóság, tapadás, és vegyi tartósság, valamint az egyszerű, gyors és olcsó technológia miatti nagy termelékenysége. Hátránya viszont a nagyobb csikellenállás, illetve a nagyobb kontaktus-ellenállás a kontaktus alacsonyabb magasság/szélesség aránya és nagyobb ellenállása miatt. A kívánt kontaktus-ábra a ráchel egy húzásával felvihető, vákuumra és fotolitográfiára nincs szükség a szelet fémezésénél. A problémák forrása a paszta beégetése, mivel hőmérséklete általában 400-1000°C-os tartományba esik, és fontos, hogy a kontaktusfém ennek ellenére ne hatoljon be a szilícium diffúziós rétegébe túl mélyen. Ezt úgy érhetjük el, hogy a lehető legalacsonyabb hőmérsékleten és a lehető legrövidebb idővel égetjük be a pasztát, ezért újabban előtérbe kerültek a gyors hőkezelés (RTP) technológiáját használó megoldások.

Az IBC (*interdigitated back contact*) cellastruktúra egyszerű és olcsó, mégis jó hatásfokú. Jellemzője, hogy a pozitív és a negatív elektródája is a cella hátoldalán van, így a nap felőli oldalon a kontaktusfém nem árnyékolja be a cellát. Az előoldalon csupán egy nagyon vékony és kis adalékoltságu (optimálisan n-típusú szubsztráttal  $10^{18}$  cm<sup>-3</sup> felületi foszfor-adalékoltságu) homogén diffúzió biztosítja a jobb felületi jellemzőket. A hátoldalon viszont n-típusú és p-típusú kontaktus is található, itt tehát a helyi adalékolás és így a szelektív emitter elengedhetetlenül szükséges.

## Megvalósítások

A létező, *homogén emitteres* kristályos napelem cellákat gyártó ipari eljárások az emitter diffúziójához gyakran futószalagos rendszereket (tisztító, szitanyomtató, szárító, hőkezelő kályha stb.) használnak. [8] Ebben a rendszerben a p-típusú Si szubsztrát texturált előoldalán a diffúzióforrás tipikusan felpermetezett vagy felcentrifugált foszfor tartalmú folyadék vagy szitanyomtatott foszfor paszta. Egy ezt követő szárító lépés közben minden oldószer és szerves összetevő kigőzölög vagy kiég az adalékforrás anyagából. A szele-

tek továbbhaladnak a szalagon egy többzónás kályhába, ahol tipikusan 900°C fölötti hőmérsékleteken alakítják ki a megfelelő emittert az adalékforrásból a szubsztrátba diffundáló foszfor atomok révén. Ez után általában passziváló és antireflexiós réteget választanak le a felületre, majd szitanyomtatják a fémkontaktusokat, melyeket egy újabb szárítási és kb. 900°C-os beégetési folyamat követ. Újabban a kályhák helyett futószalagos rendszerű gyors hőkezelőket alkalmaznak, amelyben a nagy teljesítményű halogénlámpák gyors felfűtésének következtében a diffúzió néhány másodpercesre csökkenthető.

*Szelektív emitteres* struktúrákat sokféleképpen hoztak már létre. Ezen technológiáknak alapvetően két típusuk van: ábraillesztést igénylő és önillesztett technológiák. Az illesztési eljárásnak több hátránya van az önillesztéssel szemben. Az ábrák egymáshoz illesztése eleve bonyolultabbá, így drágábbá teszi a technológiát. A legfontosabb eset, amikor a fémezést illeszteni kell az alá tervezett diffúzióhoz, ugyanis elillesztés esetén a fémezés túlnyúlhat az erősen adalékolt részekre a gyengén adalékolt részek fölé, így megnőhet az eszköz sötétárama és rosszabb kontaktus-ellenállás adódik. Az is előfordulhat, hogy a hőkezelés során a fém behatol a p-n átmenetig, és ezzel az egész eszközt rövidre zárja. Ennek elkerülésére az erős diffúzió ábráját a fémezés ábrájához képest az illesztési hiba mértékével (szitanyomtatás esetén 1-2 µm-rel, fotolitográfia esetén jóval kevesebbel) nagyobbra kell tervezni, ekkor viszont kissé megnő a sötétáram, holt réteg alakul ki ott, ahol az erősen adalékolt rész túlnyúlik a fémezésen. Ezen kívül lézeres túladalékolásos technika esetén (ld. IV.) a hosszabb lézержasználat az előállítási költségeket is növeli. Ugyanígy holt réteg alakul ki a visszamaradásos technológiánál (ld. II.), amikor a marás ellen védő réteget a fémezéshez illesztve kell szitanyomtatni.

A következőkben az előállítási módszerek szerint csoportosítjuk a legfontosabb eljárásokat.

Az 1. táblázat tartalmazza a bemutatott szelektív emitteres technológiákkal létrehozott napelemcellák publikált jellemzőit.

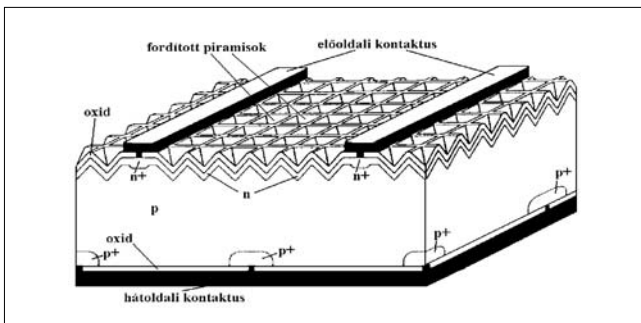
#	Kr.	Felület	Text.	H2	passz.	ARC	Bulk ell.	N. f. emit.	Kontaktus	Hatásfok
1	FZ	4 cm <sup>2</sup>	van	nincs	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	n. a.	n. a.	porl. v. g_zölt	22,8 %
2	FZ	4 cm <sup>2</sup>	van	nincs	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	n. a.	n. a.	porl. v. g_zölt	24,4 %
3	mc	1 cm <sup>2</sup>	van	n. a.	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	n. a.	n. a.	porl. v. g_zölt	19,8 %
4	c	n. a.	nincs	nincs	SiN <sub>2</sub>	SiN <sub>2</sub>	n. a.	n. a.	szitany.	13,2 %
5	Cz	100 cm <sup>2</sup>	van	nincs	van	nincs	1 Wcm	70 Ω/□	p. v. g. eltem.	12,8 %
6	FZ	n. a.	nincs	nincs	SiO <sub>2</sub>	SiN <sub>2</sub>	1 Wcm	80 Ω/□	p. v. g. eltem.	14,26 %
7	mc	n. a.	n. a.	n. a.	van	TiO <sub>2</sub>	n. a.	60 Ω/□	szitany.	12,8 %
8	mc	25 cm <sup>2</sup>	nincs	van	nincs	porSi	n. a.	100 Ω/□	porlasztott	14,1 %
9	mc	130 cm <sup>2</sup>	nincs	van	van	van	n. a.	100 Ω/□	szitany.	13,1 %
10	Cz	100 cm <sup>2</sup>	van	nincs	SiN <sub>2</sub> :H	SiN <sub>2</sub> :H	n. a.	n. a.	szitany.	17,3 %
11	mc	100 cm <sup>2</sup>	n. a.	nincs	SiN <sub>2</sub> :H	SiN <sub>2</sub> :H	n. a.	n. a.	szitany.	15,3 %
12	Cz	25 cm <sup>2</sup>	van	nincs	nincs	nincs	n. a.	130 Ω/□	szitany.	13,05 %
13	Cz	90 cm <sup>2</sup>	van	van	van	van	10 Wcm	n. a.	szitany.	18%
14	mc	100 cm <sup>2</sup>	van	van	van	kétrétegű	1 Wcm	n. a.	szitany.	16,9 %

### 1. táblázat

Rövidítések értelmezése:  
 Kr.: szubsztrát kristálytípus  
 FZ – Floating Zone,  
 Cz – Csokralzsjkij,  
 c – egykristályos,  
 típusa ismeretlen,  
 mc – multikristályos;  
 Text.: texturálás;  
 H<sub>2</sub>: hidrogénezés;  
 passz.: passziválás;  
 ARC: antireflexiós réteg;  
 Bulk ell.: a szubsztrát ellenállása;  
 N. f. emit.: nem fémezett emitter négyzetes ellenállása

I.) A *fotolitográfias*, kétszeres diffúziós megoldás nagy hatásfokú celláknál használatos, mivel a legfinomabb rajzolatokat így lehet elérni, viszont az előállítási költség itt a legnagyobb. Ezt az eredeti technológiát próbálták kiváltani egyszerűbb, olcsóbb, mégis jó minőségű szelektív emitteres napelemeket előállító technológiákkal (II.-V.).

a) A fotolitográfias szelektív emitteres technológiához először egy maszkoló oxidréteget hoznak létre a felületen. Ezt fotolitográfia segítségével a tervezett kontaktusterületeken eltávolítják (emulzióréteg felvitele, szárítás, megvilágítás, előhívás, beégetés, majd a nyitott területeken oxidmarás, végül az emulzió lemarása az oxidról), majd kialakítják az erős adalékolású területeket hagyományos diffúzió segítségével. Ezután egy újabb fotolitográfias lépéssel újra nyílásokat marnak az oxidba, amin keresztül a gyenge adalékolású területeket alakítják ki diffúzióval, majd az egész oxidréteget lemarják. Ez után következhet a passzíváló és antireflexiós oxidréteg kialakítása, melyet újabb fotolitográfias lépéssel kimarnak a kontaktusterületeken. Erre választják le a fémkontaktus réteget, majd (esetleg ismét fotolitográfiaival) a kontaktusok ábrakialakítása következik. Ezzel a technológiával hozták létre a szelektív emittert a ma ismert legnagyobb hatásfokú kristályos Si napelemeken (PERC – 1. táblázat, 1.sor [9], ill. PERL cellák – 2-3.sor [10]). Érdemes megjegyezni, hogy minden egyes oxidréteg kialakításakor körülbelül 1000°C-os hőmérsékletet kell alkalmazni, ami az előállítási költségeket növeli. Hátránya még, hogy két független diffúziós lépést igényel, amely bonyolítja az eljárást. Az erős adalékolás eléréséhez szükséges hosszú ideig tartó magas hőmérsékletű hőkezelés a szubsztrát minőségének romlásához vezethet. A többszörös ábra-illesztésből további hátrányok is adódnak.



1. ábra A PERL cella szerkezete

b) Fotolitográfias PIII-diffúzió használata [11]. A szelektív emittert az egész szeleten kialakított mély és erős adalékolású homogén emitterből úgy alakítják ki, hogy egy fotolitográfias maszk segítségével a fémzésen kívüli területeken a teljes emittert lemarják, majd PIII (plazma immerziós ionimplantációs) diffúzióval sekély emittert alakítanak ki a teljes felületen, majd az illesztett szitanyomtatott kontaktus felvitele után a pasztákat kiégetik (950°C, 1 perc), és ezzel az implantációt is aktiválják (1. táblázat, 4.sor). Ennek előnye, hogy egyszerűbb, elegendő egy fotolitográfias maszk a szelektív

emitter létrehozásához, így gyorsabb az előállítás és emellett a finom rajzolat lehetősége is megmaradt. Ráadásul a fémzés magasabban helyezkedik el a megvilágított felülethez képest, így a fémzés átlapolódása a megvilágított gyengén adalékolat emitterre jó illesztés esetén kevésbé valószínű. Még így is viszonylag bonyolult e technológia. A technológiából adódik annak lehetősége, hogy a fémzés alatti emitter nem kapcsolódik folytonosan össze a fémzésen kívüli emitterrel, és ez az áramgyűjtést megnehezítheti.

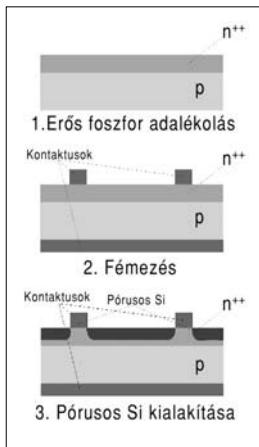
c) A kétszeres diffúziót egyszerűbben is meg lehet valósítani: először az erősen adalékolat emittert alakítják ki a fémzésnek megfelelően a megfelelő maszk kialakítása után, majd a maszk lemarása után az egész felületen gyenge adalékolást valósítanak meg (5.sor [12]). Előnye az előző eljáráshoz képest, hogy így az emitter marási lépést sikerült kiiktatni.

d) Egy tovább egyszerűsített módszerben először a gyengén adalékolat homogén emittert alakítják ki, majd ez után maszkolják le a felületet, hogy diffúzióval kialakítsák a fémzés ábrájának megfelelően az erősen adalékolat területeket a gyengén adalékolat rész meghagyásával. A maszkoló réteg egyben passzíváló és antireflexiós réteggént is használható (6.sor [13]). Előnye az előző változathoz képest, hogy a maszkoló réteget nem szükséges lemarni, ha további funkciói is vannak (pl.  $\text{SiN}_x$  használata esetén) és finom rajzolatok biztosíthatóak. Hátránya ugyanakkor a fémzés illesztésének szükségessége, a még mindig viszonylag bonyolult technika (kétszeres diffúzió), ezért tömeggyártásra nem alkalmas.

II.) A *visszamarásos technikák* azon alapulnak, hogy a homogén emitterből a szelektív emittert a fémzési ábrának megfelelő szelektív marással hozzák létre. Az emitter legfelső, nagy felületi adaléksűrűséggel jellemezhető rétegét a fémzések között lemarják, így az emitter vékonyabb és valamivel kisebb lesz az így keletkező felületi adaléksűrűség, valamint a fémzés kiemelkedik a megvilágított felület szintjéből, így könnyebben elkerülhető a fémzés átlapolódása a maró emitterre, ami kontaktus-ellenállás és sötétáram növekedést okozhatna. A maró emitternek az eredeti erősen adalékolat homogén emitterhez képest megnő az ellenállása, mivel az a vastagság csökkenésének arányában nő. A visszamarás általában időigényes, és nehéz irányítani, mivel az erősen adalékolat réteg általában csak kb. 0,3  $\mu\text{m}$  mély, és ha a marás tökéletlensége miatt megmarad az  $n+$  réteg, a teljesítmény lecsökken.

a) Egy egyszerű visszamarásos technológia a következőképp néz ki [14]. A szitanyomtatásos diffúzióforrásból p-típusú Si-on kialakított mély  $n++$ -típusú előoldali homogén emitterre ( $16-20 \Omega/\square$ ) – a hátdoldali fémzés (Ag-Al) felnyomtatása és kiégetése (720°C) után – ezüst pasztát szitanyomtatunk, majd beégetjük (645°C), és a fémzésekre egy polimer védőréteget nyomtatunk és szárítunk ki (150°C), amely megvédi a kontaktusokat a maró folyadék hatásától. A fémzések

közi területen a HF/HNO<sub>3</sub> folyadék kimarja az emittert, mellyel addig vékonyítjuk azt, amíg megfelelő négyzetes ellenállást nem érünk el. Egy ilyen napelem cellával (7.sor) a hagyományos homogén, 40 Ω/□ ellenállású emitteres cellához képest 0,5-1%-os abszolút hatásfokjavulást mutattak ki. Előny, hogy a technológia viszonylag egyszerű, valamivel gyorsabb az eddigieknél, kis hőfokokat igényel. Hátrány, hogy a fémezést védő réteget illesztve kell szitanyomtatni, viszont ha tudjuk, mennyire széles az alamaródás, beállítható az optimális védőréteg szélesség. Hátrány még, hogy a folyadékos marást nehéz pontosan beállítani, így a reprodukálhatóság csökken.



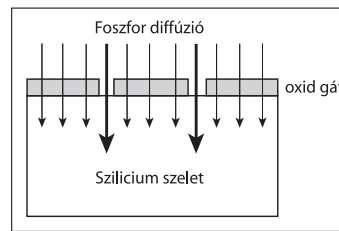
2. ábra  
A pórusos Si kialakításával létrehozott visszamarásos szelektív emitter előállítási lépései

b) Egy érdekes visszamarásos technika a *pórusos Si* létrehozásakor keletkező visszamaródás kihasználása, mert ez esetben a pórusos Si ARC jellegű tulajdonságait is ki lehet használni, így külön anti-reflexiós és paszsziváló réteget nem kell leválasztani. Megfelelő marószert esetén egyben a texturizálást is kialakítja (8.sor [15, 16]). Előnye ezen technikának, hogy a napelemkészítést rendkívül egyszerűvé teszi, gyors és olcsó technológiával, minimális hőkezeléssel és anyagszükséglettel. Hátrány lehet, hogy a pórusos Si szétszórja a fényt a cella belseje felé, így a fotonok egy része a fémezés alatt lévő erő-

sen adalékolt emitterbe jut, ahol nagyobb a rekombináció valószínűsége. További hátrány, hogy a HF tartalmú elektrokémiai marás közben, szitanyomtatott kontaktus esetén a fémezés és az alatta lévő Si felület kissé maródik, a kontaktusok törékenyebbé válnak, ráadásul az előoldali fémezésnél megnő a kontaktusellenállás, így leromlik a FF. Jobb minőségű, porlasztott fémkontaktusok esetén nincs szükség védőrétegre, mivel ekkor a marás nem okoz romlást a kontaktus minőségében és a FF-ban, de ez esetben lassabb lehet az előállítás, viszont így a pórusos Si készítés önillesztetté válik.

c) Másik lehetőség az *önillesztett plazma-visszamarásos* technika, ahol a szitanyomtatott fémezés a maszkoló réteg. Itt a fémcsíkok közti területen az erős adalékolású homogén diffúziós réteget plazma-marással (RIE, SF<sub>6</sub> használatával) vékonyítják [17]. Futószalagos technikával gyártott napelem cellával (9.sor) átlagosan a homogén emitteres cellához képest 0,35%-os abszolút hatásfokjavulást értek el. A legnagyobb teljesítményt kb. 90 nm-es Si réteg lemarásával lehet elérni (p-típusú Cz-Si szubsztrát esetén) [18]. Előnye az önillesztett technológia, valamint hogy a plazmaeljárás-tól csökken a soros ellenállás és a tömbi rekombináció, így az FF nagyobb lesz.

III.) A következő módszerekben a felületen a *különböző adalékoltságú területeket egyszerre valósíthatjuk meg* egyetlen magas hőmérsékletű hőkezeléssel, így csökkentve az előállítási időt és költséget.



3. ábra  
Szelektív emitter kialakítása diffúziós gáton keresztüli foszfor-diffúzióval

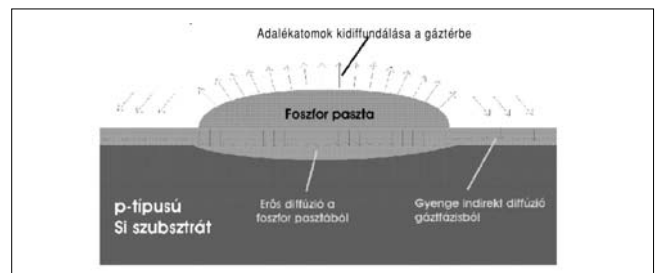
a) *Diffúziós gáton* (100-1000 nm vastag SiO<sub>2</sub>) keresztüli foszfordiffúzió esetén az oxid kialakított ablakain keresztül sok foszfor jut a szilíciumba, az oxidgáton keresztül pedig kevesebb foszfor hatol át, így ott vékony és kis felületi adaléksűrűségű emitter keletkezik [19].

A diffúziós gát tulajdonságainak változtatásával (vastagság, átjárhatóság, adalékoltság) szabályozni lehet az alatta lévő Si adalékoltságának fokát, bár ezt viszonylag nehéz beállítani. A kísérletezések során SiO<sub>2</sub> pasztát használtak, ahol a SiO<sub>2</sub> tartalom koncentrációja is befolyásolja az emitter-adalékoltságot.

b) Az oxidréteg adalékolásával a következő technológia adódik: először foszforral erősen *adalékolt SiO<sub>2</sub>-ot* (PSG) választunk le az egész felületre, majd egy maszk réteg nyomtatása után a majdani fémezés területén kívül a PSG-t lemarjuk, és a maszkréteg leoldása után egy foszforral gyengén adalékolt SiO<sub>2</sub>-ot (PSG) választunk le a teljes felületre. A foszfor diffúziót gyors hőkezeléssel (1000°C, 45 s) valósítjuk meg. Ezt követi a fémasztta illesztett szitanyomtatása és beégetése (10-11.sor [20]). Az emitterek tulajdonságai könnyen beállíthatóak a PSG foszfortartalmával. További előny, hogy a PSG rétegek vékonyak és átlátszóak, amit esetleg ki lehet használni például fénnel elősegített diffúzióhoz. Hátrány az illesztéses fémezés és a PSG-marás, amely bonyolítja a technológiát.

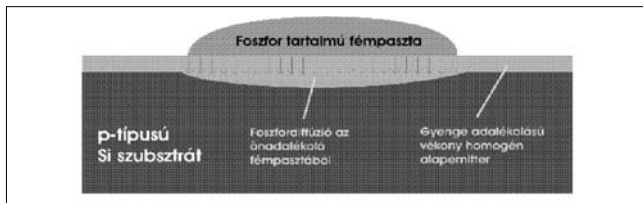
c) Az előző módszerhez hasonló, de egyszerűbb és olcsóbb, ha egy szitanyomtatható foszforos adalékforrás-pasztta fémezésnek megfelelő ábrával való nyomtatását egy kis adalékolású felcentrifugálható anyag felvitele követi az egész felületre, és ezek diffúziós behajtása (950°C, 80 s), majd a keletkezett üveg lemarása után illesztett fémkontaktálás (12. sor [21]). Ezzel az egyszerű technológiával a homogén emitteres cellához képest 1%-os abszolút hatásfokjavulást értek el. Hátrány az illesztés, valamint hogy egy helyett két szitanyomtatásra van szükség az előoldalon.

4. ábra  
Szelektív emitter létrehozása auto-adalékolásos módszerrel



d) Az *auto-adalékolásos* technikában egy foszfor paszta fémábrának megfelelő szitanyomtatása szükséges a p-típusú Si szubsztrátra, majd ennek diffundálása következik (960°C, 5 perc), így a paszta alatt erősen és mélyen adalékolt n-réteg lesz, a pasztacsíkok között pedig indirekt úton (a kipárolgó P-gáz hatására) kisebb adalékolt és sekélyebb n-réteg alakul ki. A paszta leoldása után az Ag paszta illesztett szitanyomtatása szükséges (13-14.sor [8, 22]). Előny, hogy a kisebb mennyiségű P forrás használata miatt kisebb az előállítási költség.

e) *Önillesztő adalékolt (önadalékoló) fém paszta* egyetlen szitanyomtatásával gyengén adalékolt homogén emitterre (lásd: következő fejezet) rendkívül gyors és egyszerű a technológia. Nincs szükség ábraillesztésre, valamint az anyagfelhasználása is gazdaságos. Nehéz viszont a paszta összetételét megfelelően megválasztani.



5. ábra  
Szelektív emitter és fémezés létrehozása önadalékoló fém paszttal

IV.) Egy másik módszer a szelektív emitter kialakításához a *lézeres túladalékolás* [23].

a) A homogén, gyengén adalékolt réteg kialakításához egy felcentrifugálható (spin-on) diffúziós forrást alkalmaznak, majd megfelelő energiájú lézerrel lokálisan melegítik azokon a helyeken, ahol az erős adalékolás szükséges. Előny, hogy a vonalszélességek a 10-25  $\mu\text{m}$ -es tartományban vannak, texturált felületek esetén kicsit szélesebbek. Hátrány a fémezés illesztése, valamint a hosszabb folyamat és a lézer használat miatti viszonylag bonyolult technika.

b) A fenti hátrányok kiküszöbölhetőek az *önillesztő kontaktusfelvitel alkalmazásával*, amely elektronmentes fémezéssel valósítható meg. Ehhez a lézernek a foszfor adalékforrást a túladalékolás során teljesen át kell égetnie, a Si olvadásiig kell felmelegíteni a területet, majd a keletkezett nyílásokon keresztül közvetlenül lehet fémezni a szilícium felületét, mivel az elektronmentes fémező oldatok általában tolerálják a melegítéskor képződött vékony oxidréteget. Az sem baj, ha nem mindenhol rongálódott meg a dielektrikum, mert a fémezés át tudja hidalni ezeket a hibákat.

V.) Bármelyik eddigi technológiával kialakítható kisebb ellenállású *eltemetett kontaktus* is. Ekkor a fémezett felület aránya és az árnyékoltóság is kisebbé válhat. Ehhez csupán egy árkot kell kialakítani a kontaktusterületeken, ahová ez után lehet erős adalékoltat bevinni, majd a fémezést vizik be illesztetten, vagy önillesztéssel. Az árok kialakítás maszkja megegyezhet a fémezés alatti diffúzió és a fémezés maszkjával,

így ez az újabb lépés viszonylag egyszerűen integrálható az eddigi technológiák lépései közé. Hátránya viszont a bonyolultabb és drágább előállításon kívül, hogy a fém/Si határfelület megnő, ami miatt csökken a  $V_{oc}$ . Modellelés alapján a szelektív emitteres struktúrával az eltemetett kontaktusú cella 0,5-0,6%-os abszolút hatásfok-növekedést okoz a szelektív emitteres nem eltemetett szitanyomtatott kontaktusú cellával szemben [7]. Sokféle szelektív emitteres technológiával párosították már az eltemetett kontaktus kialakítását, többek között például kétszeres diffúziós eljárással (mechanikus vágás: [24], lézeres fúrás: [25], kémiai marás: [12]), és autodalékolásos eljárással [12].

### 3. Adalékolt paszták és alkalmazásuk

Elmélet [4, 26, 27, 28]

#### A fém paszta

A szitanyomtatás, de más vastagréteg-felviteli technológiák esetén is a fémréteg kialakítását vastagréteg pasztákkal végzik, melyeket szitanyomtatáshoz terveztek. A paszta szemcsék keverékéből áll (vezető és szerves összetevők) egy szerves hordozóanyagban. A napelem kontaktusoknak sok feltételt ki kell elégíteniük, melyekhez nehéz megfelelő vastagréteg pasztát találni:

1. Kis kontaktus-ellenállás a szilíciumhoz
2. Kis csikellenállás (nagy elektromos vezeték)
3. Jelentéktelen hatás a Si szubsztrátra (ne csökkentse a szilícium elektromos minőségét rekombinációs centrumok létrehozásával)
4. Kis csíkszélesség, jó felbontás
5. Jó oldhatóság
6. Jó tapadás (erős mechanikus kötés a szilíciumhoz)
7. Alacsony ár
8. Felvihető legyen gazdaságos eljárással (pl. szitanyomtatással)

A hátsó kontaktusnál elvárható a BSF (hátoldali erőtér) megteremtése is.

Az előoldali kontaktusokhoz leginkább használt ezüst pasztánál más szervesen összetevők hiányában az ezüst nem hat a szilíciumra, vagy magasabb hőmérsékleteken vékony átmeneti réteget hoz létre 830°C-ig, ezen hőmérséklet fölött pedig egy eutektikum alakul ki [26]. Hasonlóképpen az ezüst nem lép reakcióba az antireflexiós bevonatokkal. Ezért nélkülözhetetlenek a szervesen alkotóelemek, mivel lehetővé teszik a kontaktus kialakítását az antireflexiós réteg átvágásával, fizikai kontaktust hozva létre a szilícium és az ezüst között. Erre jó az úgynevezett üvegfrítt összetevő, de sajnos ez a szilíciumot is oldja.

#### Az önadalékoló fém paszta

A szitanyomtatásos technológia a nagy négyzetes ellenállású emitteren gyenge ohmikus kontaktust hoz létre, ezen segíthet az ötvözött önadalékoló paszta

(SDP). Egy önadalékoló kontaktus anyagnak a fent felsoroltakon kívül követelménye még, hogy be tudjon vinni a szilíciumba közvetlenül maga alá valamilyen mennyiségű adalékanyagot. Ezeknek a követelményeknek egy ismert kontaktus anyag, az alumínium megfelel, ha p-típusú szilíciumot kontaktálunk vele. Az alumínium ötvöződés során tudja adalékolni a szilíciumot, ehhez a folyamat hőmérsékletének az Al-Si eutektikus pontja (577°C) fölé kell mennie. Ez 12,5% Si és 87,5% Al tömegarányt jelent az ötvöződésnél. Az Al-Si eutektikum elektród elektromos vezetőképessége elegendően nagy a napelem áramaihoz, és egy kitűnő kötődés (átmenet) a Si szubsztrát és az eutektikum vezető között. Ráadásul az Al szitanyomtatáshoz alkalmas paszta formájában elérhető áron a kereskedelemben is kapható.

Az n-típusú Si kontaktálásához azonban nincs ilyen anyag. Mégis, a paszták alkalmazásával egy újabb szelektív emitter kialakítási lehetőség adódik az előoldali ezüst paszták anyagába kevert foszfor vagy antimon adalékanyag alkalmazásával, amely az ezüst kontaktus kialakításával egy időben a kontaktus alatti rész adalékolását megnöveli. Ez esetben újabb illesztett szitamaszakra sincsen szükség, ami növeli a kihozatait, és az egyszerűbb technológia miatt olcsóbb a gyártás. Ezzel az önadalékoló, önillesztő kontaktuskészítő technológiával a 100-200  $\Omega/\square$  ellenállású emitterekhez is lehet kontaktálni.

#### A rövidzár problémájának megoldása

Az önadalékoló fém rendszerrel elkerülendő a fém kontaktus rövidre zárása az azt körbevevő Si-ban. Jelentős probléma lehet, ha az olvadt fém elfogyasztja az alatta lévő Si egy részét. Ebben az esetben az újránőtt Si nem lesz magasabb a környező Si szintjénél, így a fém könnyen kiiktathatja a p-n átmenetet. Ha az önadalékoló fémötvözetbe Si-ot is keverünk, a fém-Si hátfelület a megmaradt Si szelet szintje fölé kerül. Porlasztással felvitt Ag/Si/B összetételt használva sikeresen hoztak létre jó minőségű p-n átmenetet.

#### Egy alternatív önadalékolásos technológia

Önadalékoló negatív elektróda létrehozható egy ötvözetlen Ag rétegből kiindulva, melyet porlasztással vagy szitanyomtatással viszünk fel a Si szubsztrát felületére. A rétegfelvitel után felmelegítjük az Ag-t és a szubsztrátot az Ag-Si eutektikus hőmérséklete fölé (de még a Si olvadáspontja alá) egy P tartalmú környezeti gázban. Az Ag és a Si folyékonyabbá válnak. Az Ag-Si olvadt keverékébe abszorbeálódnak a környezeti gázban lévő P atomok, nagyobb mennyiségben, mint ha a szilárd Si felületbe abszorbeálódnának. Ahogy a hőmérséklet lecsökken, az olvadt Si újraformálódik, és ekközben a P adalékatomok bekerülnek az újránövő anyagba. Mikor a hőmérséklet az Ag és Si eutektikus hőmérséklete alá kerül, a szubsztrátba még nem beágyazódott Si kialakít egy szilárd fázisú ötvözetet az ezüstrrel. Ez az Ag-Si ötvözet a végső kontaktus anyag. Várhatóan az eutektikus arányból következően sokkal

több Ag lesz a végső kontaktus anyagban, mint szilícium, és ez jó elektromos vezetőképességet biztosít. Az eljárás alkalmazásakor figyelembe kell venni, hogy a szilárd Si is befogadja a gáz halmazállapotú P atomokat, bár sokkal kisebb mértékben, mint az olvadt fém.

Az ezüst helyébe más fémek is beilleszthetők (például az ón). Negatív elektróda létrehozására a P helyett a Periódusos rendszer V. főcsoportjában lévő más elemek is használhatóak. Pozitív elektróda létrehozására pedig a P helyett a III. főcsoportban lévő elemek is használhatóak adalék gázként.

#### Megoldatlan problémák

Nem világos még, hogy az eutektikus hőmérsékleten a növesztési feltételek hogyan befolyásolják a növesztett Si anyagminőségét. Elvileg egy folyékony eutektikus keverék a hűtés hatására az összetevőire választódik szét, de nem tiszta, hogyan tud epitaxiálisan nőni a Si összetevő. Lehetséges, hogy spontán gócképződés történik az olvadékban. Ez arra utal, hogy az eutektikus hőmérsékleten áthaladva a hűtésnek lassúnak kell lennie. Az önadalékoló fémrendszer által növesztett Si anyagminősége fontos kutatási téma.

#### Alkalmazási példák

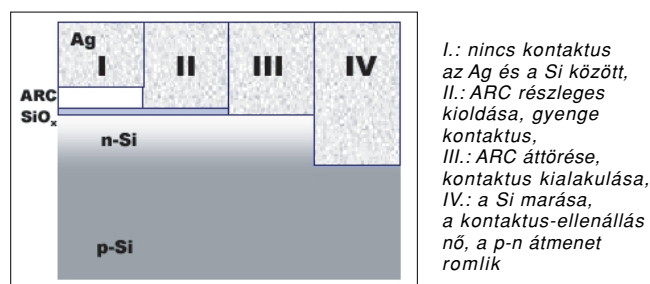
##### A fém paszta beégetése és a kontaktus-ellenállás

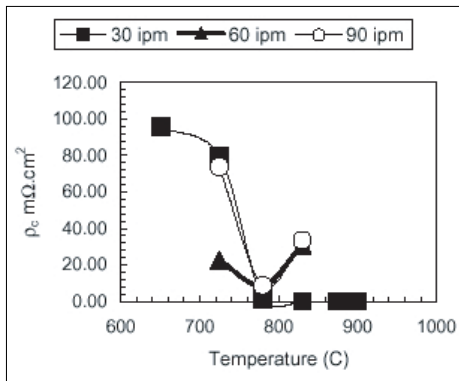
A szitanyomtatható paszta a kontaktus-ellenállás mérésével minősíthető, mivel a kontaktus-ellenállás befolyásolja az elektromos viselkedést [26]. A kontaktus-ellenállás explicit módon függ az emitter ellenállásától, amelyet a fémezés és a szilícium kölcsönhatása megváltoztathat. Ezért az emitter és a fémezés közti kölcsönhatás modellje megfigyelhető a kontaktus-ellenállás magas hőmérsékletű folyamatok alatti változásával.

N-típusú felület esetén a fémezés beégetésekor a felület négy állapoton megy keresztül (6. ábra):

1. Nincs áttörve az antireflexiós réteg (ARC), nagy kontaktus-ellenállás van.
2. Részlegesen van áttörve az ARC (például a  $TiO_x$  réteg feloldódott, de a  $SiO_2$  réteg nem), nagy kontaktus-ellenállás van.
3. Az ARC teljesen áttört, és jó kontaktus létesült az emitterrel, a kontaktus-ellenállás kicsi.
4. Az emitter réteg is maródik, ezért az emitter négyzetes ellenállása lassan növekszik, és a p-n átmenet megsérül a fénoxid összetevő diffúziója következtében.

6. ábra Az Ag kontaktus kialakulása közbeni állapotok





7. ábra  
Az égetési  
hőmérséklet  
és a  
beállítások  
hatása  
a kontaktus-  
ellenállásra

A kontaktuslétesítés utáni Si-maródás minimalizálása érdekében gyors termikus hőkezelést érdemes alkalmazni.

A hőkezelés hatását figyelve megállapítható, hogy 700 és 800°C között a kontaktus-ellenállás drámaian csökken, és a hőkezelő kályha kis szalagsebességénél (30 ipm), de a nagyobb sebességeknél is a kontaktus-ellenállás minimuma 800°C körülire tehető. Nagyobb szalagsebességeknél viszont 800°C fölött ismét nagyobbak lesznek a kontaktus-ellenállások valószínűleg a fém hirtelen beégetésének hatására létrejövő határfelületi folyamatok miatt.

Ebből is látszik, hogy az Ag-Si ötvözesi hőmérséklet (830°C) rövid idejű alkalmazásánál nem az optimális kontaktust érjük el, tehát az önadalékoló pasztahoz szükséges beégetési paraméterek (eutektikus hőmérséklet fölötti gyors hőkezelés) alkalmazása esetén több probléma felmerülésére számíthatunk (pl. hőtágulások különbsége, Si beáradása).

#### Az önadalékoló paszta használata és az üvegfritt jelentősége

Egy önillesztéses, önadalékoló, P-ral adalékoló Ag pasztával készített szelektív emitteres cella létrehozásának technológiája a következő volt [29]. Először a 75 Ω/□ négyzetes ellenállású, kb. 0,25 μm mély n-típusú diffúziós réteget hozták létre a p-típusú szeleten, majd egy SiN<sub>x</sub> antireflexiós réteget hoztak létre az előoldalon PECVD-vel. Ez után a hátoldali Al réteget nyomtatták fel, és szalagos kályhában 860°C-on két percig behajtották. Ezt követően szitanyomtatással felvitték az önadalékoló Ag pasztát (DuPont PV168) a SiN<sub>x</sub> tetejére, amelyet beszárítottak, majd beötvözték 900°C-on két percig.

Az üvegfritt pasztával elég jó kontaktus-ellenállást értek el (2 mΩcm<sup>2</sup>), de ez a bázisadalékolás csökkenésével (10<sup>18</sup> cm<sup>-3</sup> alatt) gyorsan növekedett, és 10<sup>15</sup> cm<sup>-3</sup>-es (n-adalékolás nélküli) bázisdiffúzió esetén elfogadhatatlanul nagy lett a kialakított emitter nagy négyzetes ellenállása következtében (700 Ω/□). Viszont ha n<sup>-</sup> réteg is volt a felület alatt, akkor elfogadható kontaktus-ellenállást kaptak (1-12 mΩcm<sup>2</sup>) egészen 100 Ω/□ négyzetes ellenállású n<sup>-</sup> rétegekig. A gond ott jelentkezik, hogy a paszta üvegfritt tartalma egy vékony szilícium réteget lemar a felületről, ezzel csökkenti a foszfor felületi koncentrációját.

A 75 Ω/□-es n<sup>-</sup> réteges szelektív emitteres cellák kicsit alacsonyabb soros ellenállást és nagyobb FF-t eredményeztek a hagyományosan elkészített 40-45 Ω/□-es homogén emitteres cellákhoz képest. A soros ellenállás kb. 0,75 Ωcm<sup>2</sup> lett, a sötét ellenállásra 2-25 kΩcm<sup>2</sup> adódott, a hatásfok kb. 0,3%-kal nőtt. Ezen értékek jobb felületpasszíválással tovább javíthatók, számítógépes modellezés szerint az előoldali rekombinációs sebességet 10000 cm/s alá kell vinni, hogy a szelektív emitter hatásos legyen.

#### A felületpasszívált önadalékoló szelektív emitteres cella jellemzői

Egy másik kísérlet során az előzőhöz hasonlóan elkészített napelemet 100 Ω/□-es homogén emitteren alakították ki [30]. A SiN<sub>x</sub> réteg alatt SiO<sub>2</sub> passzíváló réteget alkalmaztak, és mindkét oldali kontaktust egyszerre égették be. A hőmérséklet és a beégetés idejét vizsgálva arra jutottak, hogy a 900°C-os gyors hőkezelés biztosította a legjobb cellákat.

A hagyományos 45 Ω/□-es homogén emitterű cellák esetén a sötétáram (rekombinációs áram) az emitterben J<sub>oe</sub>=337 fA/cm<sup>2</sup> volt, a szelektív emitteres cellák esetén pedig 185 fA/cm<sup>2</sup> jött ki.

A szelektív emitteres celláknál az FF enyhén kisebb lett (0,768), mint a hagyományos celláknál (0,785), viszont a 100 Ω/□-es emittereken nem önadalékoló pasztával létrehozott kontaktusok FF-a jóval kisebb lett (0,479-0,704). A szelektív emitteres cellák enyhe FF csökkenését a számítások szerint az okozta, hogy az előoldali kontaktusrács a szelektív emitteres celláknál nem 100 Ω/□-es, hanem 45 Ω/□-es emitterhez lett optimalizálva (2,2 mm-es távközök). Tehát a FF csökkenése nem a kontaktus ellenállás miatt van, és visszaállítható a rácsra optimalizálásával.

A szelektív emitteres cellákkal a hagyományos cellához képest jobb rövidzárási áramot (0,8-1 mA/cm<sup>2</sup>-rel lett több: 33,4-33,6 mA/cm<sup>2</sup>) és jobb üresjárású feszültséget értek el (9 mV-tal több: 635 mV). A hatásfok így abszolút értékben 0,4%-kal lett jobb (hagyományos: 16%, szelektív emitteresek: 16,4%). A mérések azt mutatták, hogy oxidos passzíváló réteg nélkül a szelektív emitteres cellák használatával nem lesz jelentős javulás a hagyományos cellákhoz képest.

Az IQE ábrákat összehasonlítva észrevehető, hogy a rövid hullámhosszú fényre adott válasz sokkal jobb a szelektív emitteres celláknál, ha jó a felületpasszíválás, így jobb lesz a J<sub>sc</sub> is. A többi hullámhossz esetén is az oxidál passzívált szelektív emitteres cella adja a legnagyobb válaszokat, ettől jóval elmarad (főleg a rövidebb hullámhosszokon) a hagyományos cella. A hosszuhullámú válasz is kissé nagyobb a szelektív emitteres cellák esetén, amelyet a magas hőmérsékletű (900°C) hőkezelés okozott azáltal, hogy mélyebb és jobb lett a BSF.

#### Önadalékoló kontaktus dendritálós Si szubsztráton

A dendritálós Si szubsztrát előnyös tulajdonsága, hogy vékony (100 μm), elektromosan jó minőségű (a ki-

sebbségi töltéshordozók diffúziós hossza néhány-szorosra a vastagságnak), és olcsó az előállítás. Ilyen szubsztráton kísérleteztek P tartalmú frittmentes Ag pasztával (70 at% Ag, 0,07 at% P, ez a P maximum oldékonysága az Ag-ben szobahőmérsékleten) [31]. A beégetési hőmérséklet és idő változtatása alapján a legjobb eredményt 1000°C-os 10 perces beégetési paramétereknél érték el, ekkor a kontaktus-ellenállás  $<0,04 \Omega\text{cm}^2$  lett, míg P adalék nélküli Ag paszta használata esetén ez az érték  $1,9 \Omega\text{cm}^2$  volt. A vizsgálatok kimutatták, hogy a P atomok több mikrométernyi mélységben behatoltak a Si-ba. A Si felület közelében magasabb lett az adalékkoncentráció, így vékonyabb Schottky-gátat képezett a fém-félvezető határfelületen. Ezért a kontaktuson áthaladó áramban a töltéshordozók határfelületen való áttunnelezése (alagútáram) dominál. Ez esetben elmondható, hogy a kontaktus-ellenállás exponenciálisan függ a Schottky-gát magasságától és az adalékkoncentráció négyzetgyökének reciprokától. Ezen paszta segítségével p-n átmenetet is sikeresen létre tudtak hozni. Nyitófeszültség esetén a kimért kontaktus-ellenállás  $0,013 \Omega\text{cm}^2$  lett, mely már elfogadható értékű.

#### IBC cella önadalékoló kontaktusokkal

IBC cellát önadalékoló negatív és pozitív elektródával a következő lépésekkel lehet létrehozni egy Si szubsztráton [4]. Először diffundáltassunk egy n+ réteget a Si szubsztrát elülső felére a rekombinációk ellen. A diffúziós üvegnek a szubsztrát előoldaláról való leoldása után szitanyomtassunk a hátoldalra (ahol nincs foszfordiffúzió) Ag-Ga pasztát, és szárítsuk be. Ezután szitanyomtassuk fel az Ag-Sb pasztát a hátoldalra interdigitált ábrával, és égessük ki a szerves összetevőket mindkét pasztából kb. 400°C-on. Hozzuk létre egyszerre az önadalékoló pozitív elektródát (Ag-Ga), az önadalékoló negatív elektródát (Ag-Sb) és a p-n átmenetet (Ga az n-bázis esetén, Sb a p-bázis esetén), miközben termikus oxidot növesztünk ( $\text{SiO}_2$ ) a szabadon lévő Si felület passziválásához. Ezt RTP eljárással tudjuk elérni kb. 900°C-on két percig oxigénben hőkezelve a szeletet. A passziváló oxidréteg nemcsak az elülső oldalon (az n+ rétegen) alakul ki, hanem a hátsó oldal szabadon maradt Si felületein is. Válasszunk le egy antireflexiós bevonatot a cella elülső, fémezésmentes oldalán. Ekkor a fémezést ez a bevonat nem takarja le, így a kontaktus könnyebben hozzáférhető. Forrasztunk összeköttetéseket az oxidmentes Ag-bázisú pozitív és negatív elektródákra, hogy modulba köthessük a cellákat. A pozitív elektródát létrehozhatjuk tiszta Al-mal is, bár ez kevésbé vezet jól, a felülete oxidált és nem forrasztható. Az itt leírt eljárás alkalmas tömeggyártásra is.

Az eljárás egy változata lehet, ha az előoldali n+ réteget folyékony vagy szilárd foszforforrással hozzuk létre a hátoldali adalékolatlan Ag negatív elektróda beégetésével együtt, mely során a kipárolgó P atomok az olvadt Ag-Si réteg alá is bekerülnek, majd ez után vizsgáljuk föl, és égetjük be az önadalékoló Al vagy Ag-Ga

pasztát. Kereskedelemben kapható IBC cellát is gyártanak önadalékoló paszta használatával dendrithálós Si szubsztráton [32]. Dendrithálós Si-ban az előoldali n+ adalékolást akár kristálynövesztés közben is létre lehet hozni. Az n-típusú dendrithálós 20  $\Omega\text{-cm}$ -es szubsztráton a p-n átmenetet Al ötvözet alakítja ki, míg a szubsztráthoz való kontaktálást egy önadalékoló Ag-P anyagrendszer biztosítja. A  $\text{Si}_3\text{N}_4$  antireflexiós bevonatot az előoldalra PECVD-vel viszik fel. A kontaktus fémekeket szitanyomatják.

A hatásfok a 11%-ot is eléri,  $J_{sc}=28 \text{ mA/cm}^2$ ,  $V_{oc}=0,55 \text{ V}$ ,  $FF=0,69$ , a cellák területe  $5 \text{ cm}^2$ . A cellák hatásfoka remények szerint a jövőben el fogja érni a 15%-ot.

#### 4. Kitekintő

A fejlesztések során egyre olcsóbb előállítási technológiák kifejlesztése a cél a fényelektromos hatásfok megtartása vagy továbbnövelése mellett. Igaz ez nemcsak a kristályos Si napelemek, hanem az amorf-Si vagy a vékonyréteg vegyületfélvezető napelemek (pl. CIGS) esetében is, s ezeken a területeken is nagy előrehaladás figyelhető meg. Ma még nem tiszta, melyik fejlődési irányé lesz a jövő. Ennek eldöntésében fontos szempont az előállítási költség és a kinyerhető fényelektromos hatásfok, a tömeggyárthatóság és az élettartam. Például az egyik legolcsóbb napelemfajta az amorf-Si alapú struktúra, de szerény hatásfoka, és viszonylag rövid élettartama jelenleg csak rövidebb távra teszi alkalmassá a felhasználásra. Adott esetben a napelemmodulok mérete is döntő szempont lehet, mely a nagyobb hatásfokú eszközök alkalmazására adhat motívációt. Természetesen a nanotechnológiai fejlődéssel párhuzamosan már megjelentek az újabb típusú napelemanyagok is (például vékonyréteg-Si szubsztrát, kvantumtechnológiával módosított napelem-anyagok, fotovoltikus szén-nanocső stb.), melyek a távolabbi jövőben nagy előrelépéseket hozhatnak a fotoelektromos eszközök világában. De addig is a jelenlegi technológiákon érdemes javítani, s ennek egyik állomása a jelenleg leginkább alkalmazott kristályos Si napelemek esetén a szelektív emitteres struktúra minél gazdaságosabb előállítása, s ehhez kézenfekvő megoldás az önadalékoló szitanyomtatható fémkontaktus alkalmazása.

#### Irodalom

- [1] Kuthi Edvárd Bálint:  
„Foszfor diffúzióval kialakított sekély emitterekhez kontaktus készítése adalékolat Ag paszta segítségével és a p-n átmenetek vizsgálata”, diplomamunka, Budapesti Műszaki Egyetem Elektronikus Eszközök Tanszék, 2002.
- [2] Dr. Mizsei János: „Napelemek”, jegyzet, BME EET, 1999., [http://www.eet.bme.hu/publications/e\\_books/solar/napelem.zip](http://www.eet.bme.hu/publications/e_books/solar/napelem.zip)

- [3] Christiana Honsberg, Stuart Bowden:  
„Photovoltaics PVCDROM Part 1 – Photovoltaic Devices”,  
The University of New South Wales Photovoltaics Centre, 1999.
- [4] Meier, Daniel L., Davis, Hubert P.:  
„Method and apparatus for self-doping negative and positive electrodes for silicon solar cells and other devices”,  
USA szabvány 6180869, 2001. január 30.
- [5] R. R. King, R. A. Sinton, R. M. Swanson:  
„Studies of Diffused Phosphorus Emitters: Saturation Current, Surface Recombination Velocity, and Quantum Efficiency”,  
IEEE Transactions of Electron Devices, Vol. 37., No. 2., February 1990., pp. 365-371.
- [6] K. Misiakos, F. A. Lindholm:  
„Toward a systematic design theory for silicon solar cells using optimization techniques”,  
Solar Cells, No. 17., 1986, pp. 29-52.
- [7] J. Nijs, E. Demesmaeker, J. Szlufcik, J. Poortmans, L. Frisson, K. De Clercq, M. Ghannam:  
„Latest efficiency results with the screenprinting technology and comparison with the buried contact structure”,  
Proceedings 1st IEEE WCPEC, 1994., Vol. 2., pp. 1242-1249.
- [8] J. Horzel, J. Szlufcik, J. Nijs, R. Mertens:  
„A Simple Processing Sequence for Selective Emitters”,  
Proceedings 26th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, 1997, Anaheim, California, USA, pp. 139.
- [9] Andrew W. Blakers, Aihua Wang, Adele M. Milne, Jianhua Zhao, Martin A. Green:  
„22,8% efficient silicon solar cell”,  
Applied Physics Letters, Vol. 55., No. 13., 25 September 1989., pp. 1363-1365.
- [10] Jianhua Zhao, Aihua Wang, Martin A. Green:  
„19,8% efficient 'honeycomb' textured multicrystalline and 24,4% monocrystalline silicon solar cells”,  
Applied Physics Letters, Vol. 73., No: 14., 5 October 1998., pp. 1991-1993.
- [11] I. Pintér, A. H. Abdulhadi, Cs. Dücső, I. Bársony, J. Poortmans, S. Sivonththaman, H. F. W. Dekkers, G. J. Adriaenssens:  
„Silicon solar cells prepared by PIII-RTP technique”,  
Proceedings of the 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1-5 May 2000, Glasgow, UK, pp. 1743.
- [12] L. Pirozzi, U. Besi-Vetrella, S. Loreti, P. Mangiapane:  
„Screen printed contacts in buried silicon solar cells”,  
16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1-5 May 2000, Glasgow, UK
- [13] G. Arabito, F. Artuso, M. Belardinelli, V. Barbarossa, U. Besi Vetrella, L. Gentilin, M. L. Grilli, P. Mangiapane, L. Pirozzi:  
„Electroless metallizations for contacts in buried structures”, 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, 6-10 July 1998, Vienna, Austria, pp. 1558-1561.
- [14] J. Szlufcik, H. E. Elgamel, M. Ghannam, J. Nijs, R. Mertens:  
„Simple integral screenprinting process for selective emitter polycrystalline silicon solar cells”,  
Applied Physics Letter, Vol. 59, No. 13., 23 September 1991., pp. 1583-1584.
- [15] R. R. Bilyalov, H. Lautenschlager, R. Schindler:  
„Multicrystalline silicon solar cells with porous silicon selective emitter”,  
2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, 6-10 July 1998, Vienna, Austria, pp. 1642-1645
- [16] M. Schnell, R. Lüdemann, S. Schaefer:  
„Stain etched porous silicon – a simple method for the simultaneous formation of selective emitter and ARC”,  
16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1-5 May 2000, Glasgow, UK
- [17] S. Ruby, P. Yang, M. Roy, S. Narayanan:  
„Recent Progress on the Self Aligned, Selective Emitter Silicon Solar Cell”,  
Proceedings 26th IEEE Photovoltaic Specialist Conference, 1997, Anaheim, California, USA, pp. 39.
- [18] Nick Mardesich:  
„Solar cell efficiency enhancement by junction etching and conductive AR coating processes”,  
15th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 12-15 May 1981, Kissimmee, USA
- [19] J. H. Bultman, R. Kinderman, J. Hoornstra, M. Koppes (ECN Solar Energy):  
„Single step selective emitter using diffusion barriers”,  
16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1-5 May 2000, Glasgow, UK
- [20] J. Horzel, S. Sivonththaman, J. Nijs:  
„Screen-printed rapid thermal processed (RTP) selective emitter solar cells using a single diffusion step”,  
16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1-5 May 2000, Glasgow, UK
- [21] L. Debarge, J. C. Muller, B. Forget, D. Fournier, L. Frisson:  
„Screen-printed paste and spin-on source applied to selective emitter formation in a single rapid thermal diffusion step”,  
16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1-5 May 2000, Glasgow, UK
- [22] J. Horzel, J. Szlufcik, J. Nijs:  
„High efficiency industrial screen printed selective emitter solar cells”,  
16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1-5 May 2000, Glasgow, UK
- [23] Wenham, Stuart Ross, Green, Martin Andrew:  
„Self aligning method for forming a selective emitter and metallization in a solar cell”,  
USA szabvány 6429037, 2002. aug. 6.

- [24] W. Jooss, M. Spiegel, P. Fath, E. Bucher, S. Roberts, T. M. Bruton:  
„Large area buried contact solar cells on multicrystalline silicon with mechanical surface texturization and bulk passivation”,  
16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1-5 May 2000, Glasgow, UK
- [25] Shaoqi He, Yuting Wang, Xudong Li, Yuwen Zhao, Zhongming Li, Yuan Yu:  
„Laser grooved buried contact solar cell”,  
2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, 6-10 July 1998, Vienna, Austria, pp. 1446-1448.
- [26] Richard J. S. Young, Alan F. Carroll (DuPont Microcircuit Materials):  
„Advances in front-side thick film metallisations for silicon solar cells”,  
16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 1-5 May 2000, Glasgow, UK
- [27] D. E. Riemer:  
„Evaluation of thick film materials for use as solar cell contacts”, Proc. 13th IEEE Photovoltaic Specialist Conf (1978), 603
- [28] David D. Smith:  
„Review of Issues for Development of Self-Doping Metallizations”,  
[www.sandia.gov/pv/smith.pdf](http://www.sandia.gov/pv/smith.pdf)  
Sandia National Laboratories, 2000. május
- [29] A. Rohatgi, M. Hilali, D. L. Meier, A. Ebong, C. Honsberg, A. F. Carrol, P. Hacke:  
„Self-aligned self-doping selective emitter for screen-printed silicon solar cells”,  
17th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, 22-26 October 2001, Munich, Germany
- [30] M. Hilali, J.-W. Jeong, A. Rohatgi, D. L. Meier, A. F. Carroll:  
„Optimization of Self-Doping Ag Paste Firing to Achieve High Fill Factors on Screen-Printed Silicon Solar Cells with a 100 ohm/sq. Emitter”,  
29th IEEE PVSC, New Orleans, Poster 1P2.17, 2002. Május
- [31] L. M. Porter, A. Teicher, D. L. Meier:  
„Phosphorus-doped, silver-based pastes for self-doping ohmic contacts for crystalline silicon solar cells”,  
Solar Energy Materials & Solar Cells, No. 73. (2002), pp. 209-219.
- [32] Ebara Solar Inc.:  
„IBC cell process technology”,  
<http://www.ebarasolar.thomasregister.com/olc/ebarasolar/cellibc.htm> (2001-2002.)

## Hírek

A Magyar Villamos Művek Rt. jelentős beruházás keretében világszínvonalú, országos lefedettségű távközlési hálózatot hozott létre. Az MVM Rt. távközlési hálózata a villamosenergia-rendszer üzemeltetésében részt vevő szervezetek, azaz az áramszolgáltatók üzemirányítói, az országos rendszerirányító (a MAVIR Rt.), és az országos nagyfeszültségű villamos-átviteli hálózat tulajdonosa, az MVM Rt. telekommunikációs igényeit magas szinten elégíti ki.

Az MVM Rt. egységes rendszerbe foglalt, korszerű, homogén hálózatot valósított meg, mely gyűrűs struktúrájú, SDH (szinkron digitális hierarchia) technológiára épül. A mintegy 1100 km újonnan létrehozott fénykábeles hálózat jelentős része OPGW technológiával szerelt távvezetési nyomvonalon halad. Ezen túlmenően mintegy 57 km alépítményi összeköttetés is megvalósult. Így az MVM Rt. jelenleg közel 2300 km fényvezetős hálózatot mondhat magáénak.

A gyűrűs hálózatnak és a felügyeleti rendszernek köszönhetően a rendszer nagyfokú biztonsággal működik, 99,99%-os használhatóságot biztosítva. Ez nemcsak az iparági felhasználás számára nyújt nagy biztonságú távközlési összeköttetést, hanem a szabad kapacitásokat kihasználva korszerű távközlési szolgáltatásokra is alkalmas. Az MVM Rt. országos gerinchálózata természetesen egyes államigazgatási, kormányzati célok megvalósításának, és országos hatókörű szervezetek távközlési igényeinek az ellátásának is használható. Az MVM Rt. a jövőben nemzetközi távközlési szolgáltatásokat is nyújthat, jövőbeni célkitűzése az ország egyik legbiztonságosabban működő távközlési hálózatán keresztül ügyfelei igényeinek teljes körű kiszolgálása.

A hálózaton megfelelő forgalomtechnikai eljárások segítségével logikailag akár a teljes országhatár mentén húzódó távközlési optikai gyűrű is megvalósítható. Így az MVM számára lehetőség nyílik a távközlési piacon történő aktív és nyereséges megjelenésre. Ezzel megalapozhatja egy jövedelmező üzletág beindítását, amivel saját felhasználásának önköltsége is csökkenthető.

# Lézersugár paraméterszabályozása többrétegű struktúrák mintázatának függvényében

GORDON PÉTER, BALOGH BÁLINT

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Elektronikai Technológia Tanszék

[gordon@ett.bme.hu](mailto:gordon@ett.bme.hu)

Reviewed

## Kulcsszavak:

Az elektronikai ipar fejlődésének záloga a méretek folyamatos csökkentése, ami már a hagyományos technológiák tökéletesítésével sok esetben lehetetlen. A lézerek alkalmasak lehetnek ezek kiváltására, de mivel nem ismerjük tökéletesen a lézertanyag kölcsönhatás során lejátszódó folyamatokat, ezért jelenleg még nem tudjuk maximálisan kiaknázni a lézerek nyújtotta lehetőségeket. A cikkben ismertetjük a kölcsönhatás jellegét, a hordozón kialakított mintázat és a megmunkálási paraméterek hatásait a megmunkálás eredményére. Célunk a lézersugár paramétereinek mintázat és anyagfüggő változtatásával a lézeres megmunkálásban rejlő lehetőségek még jobb kihasználása.

## Bevezetés

Az elektronikai ipar fejlődése töretlen, még ha nem is feltétlenül a pár évtizede megjósolt sebességgel halad. Igényünk az egyre kisebb, egyre kevesebbet fogyasztó, de egyre több szolgáltatást nyújtó áramkörök, készülőek iránt állandóan fokozódik. Ahogy a méretek csökkennek, a hagyományos gyártási technológiák lassan képességük, kapacitásuk határára érnek. A gyártók persze tovább csökkentik a csíkszélességet és növelik a beépített funkciók számát. Az IC-k mérete így akár még csökkenhet is, miközben a külvilággal egyre több kapcsolódási pontot, azaz kivezetést igényelnek. A kivezetések akár több százas nagyságrendje már napjainkban sem engedi meg, hogy hagyományos tokozási módszerekkel tegyük könnyen kezelhetővé integrált áramköreinket, hiszen ezek így többszörös helyet foglalnának el az amúgy is mindig szűkös felületen. Le kell hát mondanunk a könnyen kezelhetőségről és a lehető legkisebb méretű tokot kell választanunk az IC-knek. Így jutunk el a mai CSP (Chip Scale Package) „tokozásokhoz”:  $\mu$ BGA, flip-chip, TAB.

Az „óriási” tokok elhagyása könnyebbséget jelenthet az IC-gyártóknak, az áramköri hordozók gyártóit azonban egészen új kihívások elé állítja. Egy CSP IC kivezetései akár  $25\mu\text{m}$  vonalszélességű vezetékekhez vagy  $50\mu\text{m}$  átmérőjű forrszemekhez (pad) kapcsolódnak. A hordozók gyártói így a hajszál átmérőjének nagyságrendjére kénytelenek finomítani technológiájukat. A hagyományos módszerekkel azonban ez vagy lehetetlen vagy nem gazdaságos.

Az évtizedek óta azonos elven alapuló, de teljesítő-képességük határára ért eljárások egyik alternatívája lehet a lézertechnológia. Cikkünkben bemutatjuk, mennyire elterjedt a technológia napjainkban, milyen előnyöket és perspektívákat nyújt, és milyen kompromisszumokra kényszerít, koncentrálna a flexibilis áramköri hordozók egyik legelterjedtebb anyagára, a poliimidre.

## A lézernyaláb mint szerszám

A lézer sugarának egyedi jellemzői jól ismertek: a nyaláb koherens, párhuzamos és többnyire monokromatikus. Egy ideális lézersugár rendkívül jól fókuszálható, így a megmunkálandó anyag felületén  $\text{MJ}/\text{mm}^2$ -es energiasűrűséget képes létrehozni. Ezzel a felületen akár robbanásszerű folyamatokat gerjeszthetünk, melynek következtében az anyag kis dózisosokban, a közvetlen környezet számára kímélő módon távolítható el. A fókuszált lézernyaláb mint megmunkáló szerszám (akár  $5\text{-}10\mu\text{m}$  átmérővel) relatíve tökéletes precizitással mozgatható optikailag, miközben nincs meghatározott előtolási irány és természetesen kopás sincs [2].

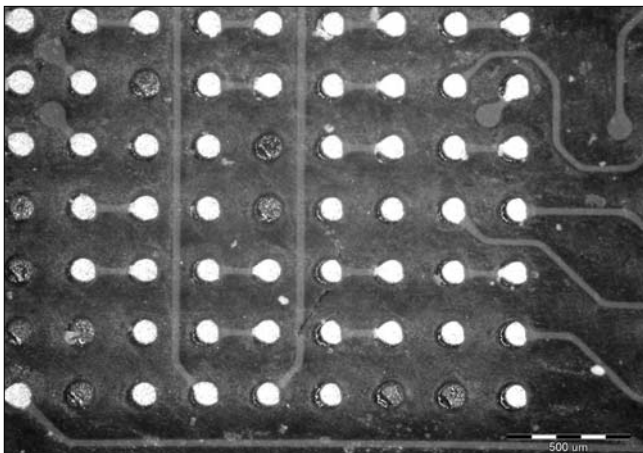
Áramköri hordozók átmenő vagy zsákfuratainak (viáinak) fúrása esetén vitathatatlanok a lézeres megmunkálás előnyei a mechanikus fúrással szemben, leszámítva a nagyobb átmérőjű furatokat. A lézeres megmunkálásnak ezen a területen évtizedes múltja van és minden, mai igényeknek megfelelő áramköri hordozógyártó sorban találunk mikrofurat készítő lézereket. A mikromegmunkáló lézerek vezérelhető, impulzusüzemű működése folytán a lézer akár többrétegű struktúrákban is képes a beállított mélységű lyuk fúrására, még úgy is, hogy a nyalábnak jelentősen eltérő fizikai tulajdonságokkal rendelkező anyagokon (réz, műgyanta) kell áthatolni. Teszi mindezt másodpercenkénti több száz furatnyi termelékenységgel [5].

Az áramköri hordozók gyártásában a megfelelő finomságú mintázat kialakításában a lézeres technológia még közel sem annyira elterjedt, mint a fúrás esetén. Míg az egy technológiai fázisnak számító fúrást a lézeres megmunkálás egy az egyben kiválthatta, a több lépésből álló mintázatkialakításban még nincs végleges válasz arra a kérdésre, hogy melyik lépést kell és érdemes rábíznunk a lézerekre. A lézerek mellett szól az áramköri hordozókon elérhető rendkívüli rajzolatfinomság (akár  $1\text{ mil}$  alatti vonalszélességek), akár öt technoló-

giai lépés (fotoreziszt felvitel, megvilágítás, előhívás, maratás, reziszt eltávolítás) kiváltása egyetlen lézeres munkafázissal, a flexibilitás, a megmunkálás közbeni újraelleszthetőség [2]. Ellene szól viszont az alacsonyabb termelékenységre, a hőhatásnak kitett környezet mind oldalirányban, mind a közvetlenül nem érintett alsóbb rétegekben. A mintázott többrétegű struktúrák egy termikusan is inhomogén közeggé változtathatják a mikromegmunkálás tárgyát, így – az egyébként akár egyesével is adagolható – lézerimpulzusok által képviselt, bevitt energia más és más hatást fejthet ki.

A lézersugár és az anyag kölcsönhatása rendkívül komplex folyamat. A lézeres megmunkáló berendezések alkalmazóinak nem szükséges ismerni ezeket a folyamatokat, a célra előre, durván „behangolt” gépet pár állítható paraméter segítségével a gyártósorba tudják illeszteni. Kérdés azonban, hogy ezek a dedikált funkciójú berendezések így maradéktalanul kihasználják-e a lézerek által nyújtott lehetőségeket. A megmunkálási paramétereket ugyanis nem változtatják meg a termikusan még kapcsolódó, belsőbb rétegek mintázatának függvényében. A mai lézeres berendezéseket „próbálgatással” beállító technológusok így hamar alkalmatlannak minősítik az eljárást bizonyos komplexebb feladatokra.

Egy általunk vizsgált példát mutat az 1. ábra. A hővezetés hatása az adott esetben közvetlenül érvényesül. Ennél összetettebb probléma, mikor a mintázott rézréteg nincs közvetlen kapcsolatban a megmunkált réteggel, de termikusan befolyásolja az eredményt.



1. ábra  
Lézerrel fúrt, 100 μm-es lyukak forrasztásgátló rétegben --  
A kivezetés nélküli forrszemek megsérültek  
azonos megmunkálási paraméterek mellett.

Ha ismernénk a lézer és a megmunkálandó anyag kölcsönhatásának folyamatát és azt, hogy erre miképpen, milyen súllyal hatnak bizonyos, a folyamatot kísérő jelenségek (termikus, optikai, akusztikai stb.), akkor rendelkezésre állna egy modell, mely alapján a tömeggyártásban alkalmazott lézereket – a flexibilitás megőrzése mellett – specifikusabb és komplexebb feladatok megoldására készíthetnénk fel. Így jelenthet a lézeres megmunkálás alternatívát a hagyományos, teljesítőképességük határára ért technológiáknak.

## A lézeres megmunkálás paraméterei

A megmunkálás közvetlen jellemzőinek száma már önmagában jelzi a folyamat összetettségét. A főbb paraméterek egy lehetséges csoportosítását mutatjuk be a következőkben:

1. Egy Q-kapcsolt lézerforrást jellemző adatok:
  - hullámhossz
  - impulzus szélessége, az energia időbeli eloszlása,
  - pulzusonkénti energia, átlagteljesítmény,
  - impulzus ismétlési frekvencia,
  - nyalábminőség  
(energia-eloszlás a nyaláb keresztmetszetében).
2. Az optikai rendszer jellemzőit leíró adatok:
  - nyaláb pásztázási sebesség,
  - a fókuszfolt átmérője,
  - mélységélesség.
3. A megmunkálási geometriát meghatározó adatok:
  - mintázat,
  - raszterávolság,
  - megmunkálási fázisok száma.
4. Környezeti adatok:
  - az inhomogén, többrétegű struktúrák összetett hővezetése,
  - az atmoszféra jellemzői  
(gáz típusa, áramlási sebessége) [3].

A felsorolt paraméterek nagy részének lehetséges értékeit a megmunkálandó anyag tulajdonságai és a technikai lehetőségek – szerencsére – hamar kezelhető intervallumra szűkítik. A hullámhosszt a lézer típusa határozza meg. Mikromegmunkálásra az elektronikai technológiában egyre elterjedtebben használják a 355 nm-es hullámhosszt, melyet az Nd:YAG lézer sugarából állítanak elő frekvenciaháromszorozással. Az elterjedés oka nem véletlen: a látható és az UV tartomány határán levő nyaláb jól elnyelődik szinte minden, akár merev, akár flexibilis NYHL technológiában alkalmazott anyagban. (Így persze nem apellálhatunk a szelektív anyageltávolításban automatikusan érvényesülő folyamatokra, pont ezért fontos a megmunkálás maximális kontrollálhatósága.) A lézerimpulzus szélessége és energia-idő függvénye ugyancsak a lézer megvalósításából következik. Egyértelműen bizonyítható, hogy a megmunkálás „tisztasága” hőterhelési értelemben erősen függ a kölcsönhatás időtartamától. Minél rövidebb idő alatt közlünk adott energiát a felülettel, annál gyorsabban ablációra kényszeríthetjük a megvilágított részt, mivel a hőnek kevesebb ideje marad szétterjedni a közvetlenül érintett területről [1].

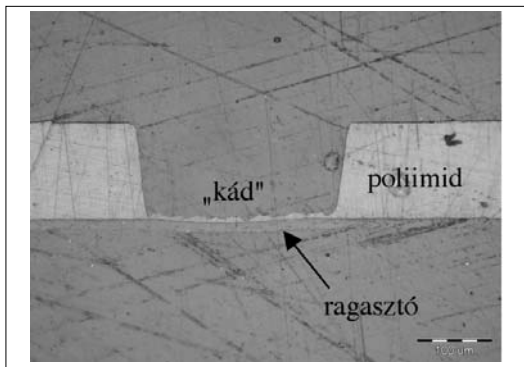
A megmunkálás sok-sok paramétere között nagyobb eséllyel találhatjuk meg azokat, amelyeket a megmunkálás sebességével összemérhető gyorsasággal tudunk változtatni a mintázat függvényében. A lézernyaláb energia- és frekvenciajellemzőit ugrásszerűen nem tudjuk módosítani a nyalábminőség megváltozása nélkül. (Bizonyos lézerek lehetőséget biztosítanak a lézerkristályban kialakuló termikus lencse kompenzálására, de ez másodperceket igényel.) A pász-

tázási sebességet, a megmunkálás geometriáját azonban bármikor megváltoztathatjuk. Mielőtt azonban megvizsgálánánk, miképpen hatnak ezek a megmunkálás végeredményére, bemutatjuk a hővezetés hatását réz-poliimid hordozó esetén.

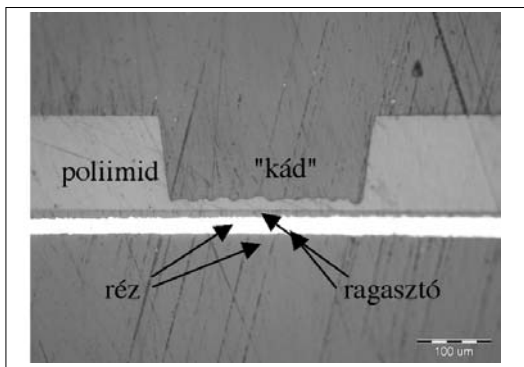
### A hővezetés hatása

Az előbbieken már utaltunk arra, hogy a megmunkálási paramétereket a mintázathoz kell igazítani a lézeres megmunkálás nyújtotta lehetőségek maradéktalan kiaknázásához. A hordozón, több rétegben létrehozott változatos mintázat hatására a felület közelében a termikus tulajdonságok rendkívül eltérőek lehetnek. Bár az UV lézerek esetében a termikus hatás jóval kisebb, mint a hosszabb hullámhosszú lézerek esetében [4], azonban a frekvencia-háromszorozott Nd:YAG lézer 355 nm-es hullámhossza mellett még komoly szerepet játszik. Ezt bizonyítja, hogy egy közvetlenül nem érintett, alsóbb rézréteg hővezetése kimutatható mértékben befolyásolja a megmunkálás eredményét.

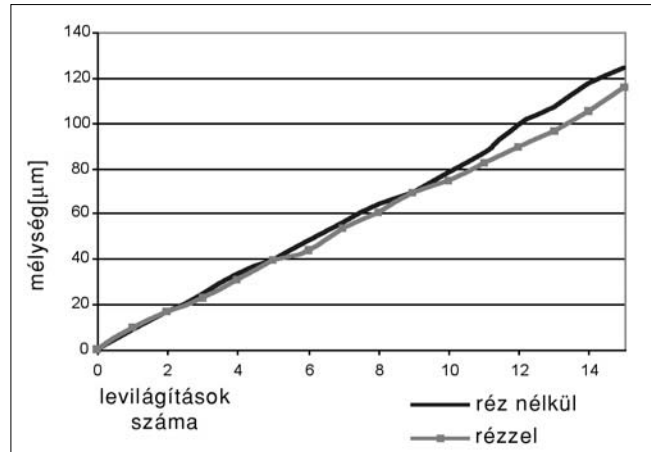
A 2/a és 2/b ábrán látható minták teljesen azonos lézerbeállításokkal (frekvencia: 100 kHz, sugáreltérítési sebesség: 300 mm/s, raszterávolság: 10 µm, impulzusenergia: 3,7 µJ), 15-szörös levilágítással készültek. Ahol nem volt réz a hordozón, ott szinte a teljes poliimid mennyiség eltávozott. A rézfólia, melynek hővezetése négy nagyságrenddel jobb, mint a poliimid hordozóé, képes volt elvezetni a keletkezett hő egy részét, így rajta 10 µm-rel vastagabb poliimid réteg maradt.



2/a. ábra Ablaknyitás poliimid fóliában 15 levilágítás utáni állapot



2/b. ábra Rézréteg jelenlétében kb. 10 µm-rel kevesebb anyag távozott el



3. ábra

Behatolási mélység a levilágítások számának függvényében

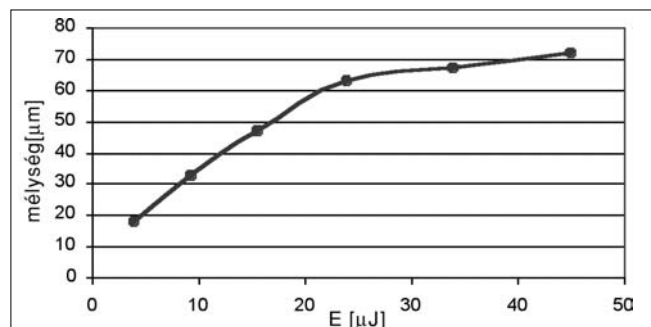
Az 3. ábráról leolvasható, hogy minden egyes levilágítási lépés kb. 8 µm vastagságú poliimid réteget távolított el. Adott beállítás mellett a tizenegyedik levilágításig a hordozóra ragasztott rézfólia nem okozott jelentős eltérést. Ettől kezdve a polimer réteg vastagsága, tehát a hőszigetelő képessége is lecsökkent, tehát a réz a keletkezett hő bizonyos részét képes volt elvezetni. Az alacsonyabb hőmérsékletű anyag ablációjához természetesen több energia szükséges, azaz belőle ugyanannyi energiával kevesebbet lehet eltávolítani.

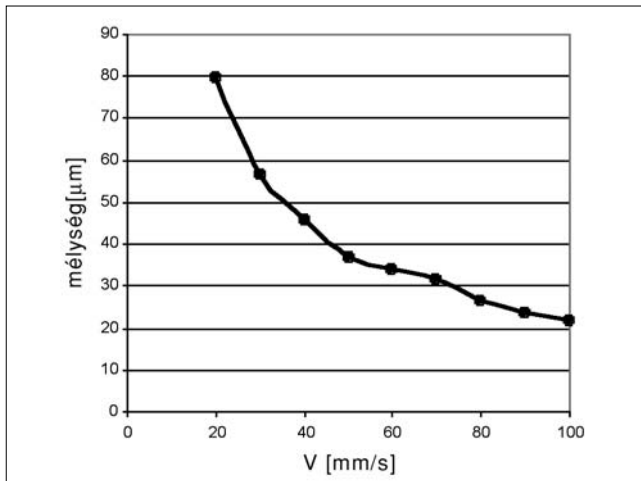
Kijelenthetjük tehát, hogy a hordozó alsóbb rétegének mintázatából következő hővezető-képesség különbségek megfigyelhetően befolyásolják az eltávolított anyag mennyiségét. A lézerparaméterek megmunkálás közbeni módosításával ez a hatás azonban kompenzálható. Kísérleteinkben megvizsgáltuk, hogy a poliimid hordozó miképpen reagál bizonyos paraméterek változtatására. Ezeket mutatjuk be a következőkben.

### Az impulzusenergia hatása

A 4. ábrán látható, hogy az impulzusenergia változtatása, ceteris paribus, miként befolyásolja a keletkezett „kád” mélységét. Az eltávolított poliimid mennyisége és az energia közti összefüggés egy szűk tartományban lineáris, itt energiaváltoztatással könnyen szabályozható a vágatok mélysége. Egy bizonyos szint (esetünkben 25 µJ) felett azonban az impulzusenergia növelése már alig befolyásolja az eltávolított anyag mennyiségét.

4. ábra Mélység az impulzusenergia függvényében





5. ábra Mélység a sugáreltérítési sebesség függvényében

Az impulzusenergia változtatása a legtöbb berendezés esetében több másodpercet is igénybe vehet, így ezt csak a megmunkálási fázisok közt célszerű módosítani. A mintázat inhomogenitását másik, gyorsabban állítható paraméterrel fogjuk kompenzálni.

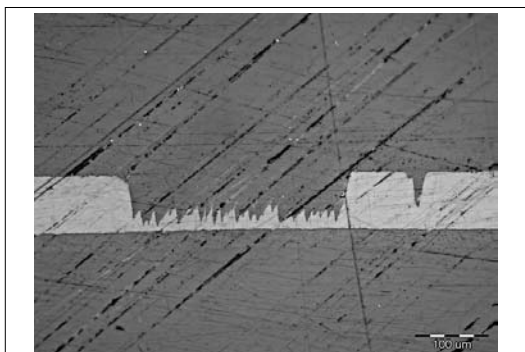
### Pásztázási sebesség

A széleskörűen használt galvanométeres sugáreltérítő rendszerekkel a pásztázási sebesség gyakorlatilag ug-rásszerűen változtatható. Az eltávolított anyag mennyisége a sebesség növelésével logaritmikusan csökken, tehát viszonylag kis sebességváltoztatással a rajzolat által okozott nagy hővezető képesség különbséget is kompenzálni lehet. Adott impulzusismétlési frekvencia mellett azonban a sugáreltérítési sebesség nem növelhető minden határon túl, ekkor ugyanis az egymást követő lövések „lenyomatainak” átfedése annyira lecsökkenne, hogy ez a keletkező barázdák szélének tús-késedéséhez vezetne.

### Rasztartávolság

Adott felület megmunkálásánál a rasztartávolság határozza meg az egymás mellé kerülő barázdák számát. A raszter csökkentésével a vonalak száma, és így a megmunkálási idő is arányosan nő.

6. ábra Túlságosan nagy raszter miatti egyenetlen felület



A barázdák távolsága a pásztázási sebesség mellett a másik legfontosabb paraméternek bizonyult, hiszen ez bármikor változtatható és determinálja a felületegységre bevitt energiát. Az energia mennyisége és közvetítésének ideje pedig közvetlenül meghatározza az ablált anyag mennyiségét, azaz az általunk vizsgált jelenségek legfontosabb tényezőjét.

Tömeggyártás esetén célszerű lenne nagy rasztert választani, ezzel időt takaríthatnánk meg. A barázdák távolságát mégis kellően kicsire kell választani, különben a megmunkált anyag felszíne túlságosan egyenetlen lesz. A 6. ábrán egy túl nagy rasztertávolsággal készült ablak keresztmetszete látható. (A jobb oldalon megfigyelhető V alak egy lézerrel készített barázda keresztmetszete.)

### Konklúzió

A nagy kivezető számú, CSP tokozások térnyerése a hordozógyártásban is a lézeres technológiák bevezetését vonja maga után. Ezek azonban még nincsenek maradéktalanul felkészítve arra, hogy akár 10 mikronos dimenziókban is tiszta és reprodukálható eredményt produkáljanak. Megmutattuk, hogy ilyen finom megmunkálások esetén az anyagon az érintett térfogat környezete is visszahat a folyamatra.

Kísérleteinket két Európai Uniósi projekt keretében végeztük, melyekben négyféle merev, illetve flexibilis hordozóhoz kiválasztottuk és optimalizáltuk a megfelelő lézeres technológiákat.

Munkánkkal továbbá egy olyan modell megalkotását készítjük elő, amely alkalmas lehet a lézersugár paramétereinek anyag és mintázatfüggő szabályozására. Ehhez meg kell határoznunk és szimulálnunk kell a domináns folyamatokat. Ezután lesz beépíthető egy ipari lézeres megmunkáló-állomás vezérlőprogramjába.

### Irodalom

- [1] Illyefalvi-Vitéz Zsolt:  
Laser processing for microelectronics packaging applications, Microelectronics Reliability 41 (2001) 563-570. oldal
- [2] Laser Machining Processes,  
www.columbia.edu/cu/mechanical/mrl/ntm (03.05.12.)
- [3] Gordon P., Berényi R., Balogh B.:  
Controlled Laser Ablation of Polyimide Substrates, 36th International Symposium on Microelectronics, IMAPS 2003, Boston, Massachusetts, November 18-20, 2003, pp.725-730.
- [4] Y.H. Chen, H.Y. Zheng, K.S. Wong, S.C. Tam:  
Excimer laser drilling of polymers – Microelectronics Packaging and Laser Processing, SPIE, Singapore, Június 23-26, 1997, pp.202-210.
- [5] William M. Steen:  
Laser Material Processing, Springer Verlag 1998.

# Fémezési technológia és lézeres furatkészítés furatfémezett flexibilis hordozók előállítására

BERÉNYI RICHÁRD

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Elektronikai Technológia Tanszék

berenyi@ett.bme.hu

Reviewed

## Kulcsszavak:

A rajzolatfinomság folyamatos növelése megköveteli újfajta áramköri hordozók előállítását melyek képesek követni a mikrochipek fejlődését. A cikkben beszámolunk a lézeres fúrás optimalizálásáról és a flexibilis polimer hordozók rézzel történő bevonására vonatkozó kutatásunkról. Az alkalmazott nagysebességű lézerrendszer használata lehetővé teszi, hogy költség-hatékony módon állítsunk elő mikroviákat polimer hordozóban. Szabadalmaztatott eljárásunk keretében a furatfémezési és a polimer rétegre történő fémlévasztást egy lépésben végezzük el. A kialakult réz összefüggő, jól tapadó alapréteget biztosít a galván réz növesztéséhez.

## Bevezetés

Az elektronikai ipar fejlődése következtében már nem csak az elektronikus eszközök, például chipek fejlesztése nélkülözhetetlen, hanem az ehhez a technológiához illeszkedő áramköri hordozóké is. Ezek közül már jelenleg is nagy jelentőségűek a flexibilis hordozók, melyek a chipek beültetési helyén túl összeköttetéseként is szolgálnak. Polimer áramköri hordozók használata szigetelő és védő rétegeként előnyös mind teljesítmény mind költség szempontjából. Az átmenő furatok nélkülözhetetlenek a nagy huzalozás-sűrűségű összeköttetések, a tokozás, vagy a méretcsökkentés eléréséhez. Ehhez azonban már 10-30  $\mu\text{m}$  átmérőjű mikrofuratok kialakítására van szükség, hiszen a chip-kivezetések és kontaktuspadek is ebbe a mérettartományba esnek. Mechanikus fúrók használatánál az elérhető legkisebb furatátmérő megközelítőleg 100  $\mu\text{m}$ , következésképpen szükséges egy precízebb eszköz használata, mint például a lézer. [3]

Három különböző hullámhosszt (9600, 355, 248 nm) használtunk kísérleteinkben, hogy megtaláljuk az optimális megmunkálási paramétereket. A jól fókuszálható UV sugár használatával lehetőség nyílt 10-25  $\mu\text{m}$  átmérőjű átmenő furatok készítésére 25-50  $\mu\text{m}$  vastag polimer hordozóban. A nagy energiájú és nagy ismétlési frekvenciájú (100 kHz) Nd:YAG lézerrel a minőségsebesség optimalizálása esetén a vizsgálataink szerint kb. 1500 furat készíthető másodpercenként.

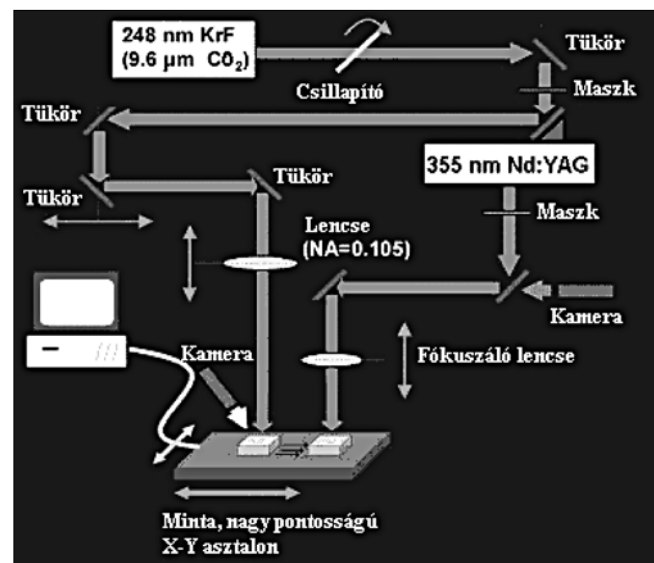
A gyártási idő és ár csökkentésére, és a rajzolatfinomság növelésére kifejlesztettünk egy egyedülálló technológiát flexibilis hordozók rézzel történő bevonására. A technológia használatával a polimer fólia mindkét oldalára, illetve a már elkészített furatok falára egyszerre készítünk fémbevonatot (a szabadalomban leírtaknak megfelelően [1]). Ez nem csak meggyorsítja az eljárást, hanem szükségtelemmé is teszi a nehezen beszerezhető ragasztóanyagok használatát.

## A rendszer összeállítása [4]

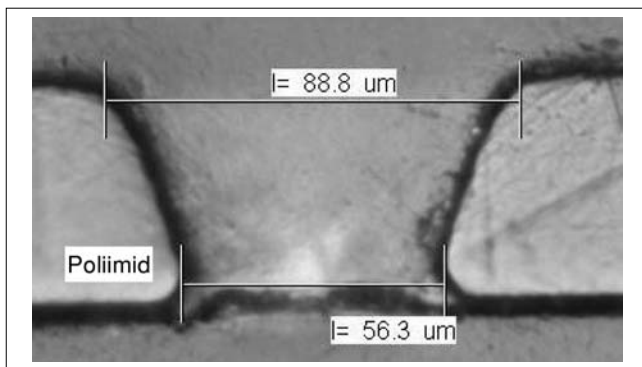
A lézeres furatkészítés új lehetőségeket kínál a huzalozási sűrűség növeléséhez, anélkül, hogy finomabb felbontású huzalozás kialakítására lenne szükség. A gyakorlatban a lézeres viakészítést két fázisban oldják meg. Első lépés a viafúrás, majd következhet az elektromos összeköttetés készítése furatfémezéssel, vagy a furat vezető anyaggal való teljes feltöltésével.

A felhasznált lézeres megmunkáló állomás három különböző, a mikroelektronikában leginkább használatos lézerforrást tartalmaz. Tervezésében arra törekedtek, hogy minél szélesebb tartományban lehessen a felszerelt optikai elemeket és maszkokat hangolni. A három lézerforrás egy közös fókuszáló mechanizmussal van ellátva, így pontos beállítás után egyszerű vezérléssel alkalmazkodhatunk az aktuális mintadarab vastagságához.

1. ábra A rendszer összeállítása



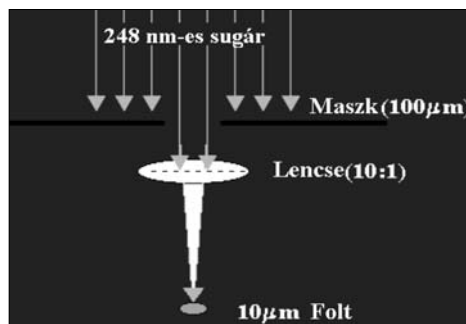
Előkészítésként az impulzus üzemű **CO<sub>2</sub>** lézeres megmunkáló állomást teszteltük, mely optimálisnak tűnt nagy számú mintadarab előállítására. A megmunkáló állomás egy 60 W teljesítményű, Impact 2150T (Lumonics Company) típusú pulzus üzemű CO<sub>2</sub> lézerre épül. Az emittált fényt egy kb. 100-200 μm átmérőjűre fókuszálhatjuk. Ezt a 9600 nm hullámhosszú sugarat a fémek visszatükrözik, viszont nagyon jól elnyelődik a polimer anyagok nagy többségében, hatékony, lokalizált melegedést okozva. A polimerek az érintett zónában megolvadnak és elpárolognak. Ezek a lézerek így eredményesen használhatóak nyomtatott huzalozású lemezek polimer anyagának, a fényvezető erősítésnek és fóliák, rendszerint kapton, parylen anyagának szelektív eltávolítására. A 2. ábra egy 50 μm vastag poliimidbe készített 90 μm átmérőjű furatot mutat.



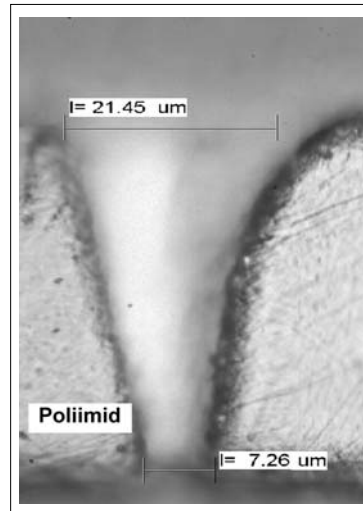
2. ábra CO<sub>2</sub> lézerral készített furat

A 9600 nm-es CO<sub>2</sub> lézerek használata elfogadhatatlanul nagy átmérőjű furatokat eredményezett. Kutatási célunk az volt, hogy kis átmérőjű furatok használatával nagy rajzolatfinomságot érjünk el. A furattal megfelelően függőleges, szenesedéstől mentes és furatfémezhető volt, azonban a 60 μm-es legkisebb átmérő miatt eltekintettünk a további kísérletezésektől [5].

Második választásunk az **excimer** lézerek voltak, melyek max. 300 Hz-es frekvencián 15 mJ energiájú, 248 nm UV hullámhosszú lézerek sugár-impulzusokat bocsát ki. Ez a hullámhossz nagy hatással nyelődik el, de csak néhány anyagban. A nagyenergiájú fotonok becsapódásának hatására a polimerek molekuláiban a kötések felszakadnak és csak kis hőhatást fejtenek ki, minek köszönhetően a sorjaképződés minimális lesz. A lézer egy kb. 3x6 mm keresztmetszetű, téglalap alakú sugár bocsát ki, melyet maszkon keresztül egy 10-500 μm-es felületre koncentrálnak képvetítési eljárással.



3. ábra Maszkolás és vetítés



4. ábra Excimer lézerral készített furat

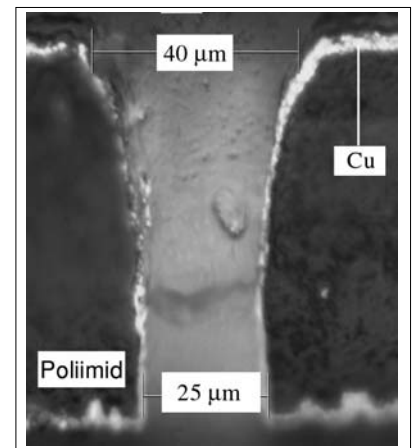
A 4. ábrán egy excimer lézerral készített furatot láthatunk. A sugár foltátmérője 10 μm körül van a fókuszbán, így ennek megfelelő furatátmért várunk.

Ez a típusú mikrofurat ugyan elfogadható az ipari termelésben, de a lézer fúrási sebessége nem

megfelelően gyors, több mint száz lövés kellene átmenő furat készítéséhez. Ez abból adódik, hogy a nagyenergiájú, téglalap alakú sugárnak 10 μm átmérőre való vetítéséhez 100 μm-es maszk használatára van szükség (3. ábra), így a maszkolás után a kezdeti 15 mJ helyett már csak 6,5 μJ energia marad impulzusonként. A maximum 300 Hz-es működési frekvencián ezzel is csak 2-3 furat készíthető másodpercenként, ami a termelékenység szempontjából nem elégséges.

Az általános ipari használat ösztönzött bennünket arra, hogy kipróbáljuk az UV **Nd:YAG** lézerek használatát. Ezek egyre elterjedtebbek a mikroelektronikában, mivel sugaruk jól elnyelődik az alkalmazott merev vagy flexibilis hordozók anyagaiban. Ez a lézerforrás 3-7 ns hosszúságú impulzusokat generál legfeljebb 100 kHz ismétlési frekvenciáig, maximum 520 μJ impulzusenergiával. A 1064 nm-es sugár harmadik felharmonikusa elnyelődik a legtöbb anyagban, a magas csúcsteljesítménynek és a rövid impulzushossznak köszönhetően, viszonylag minimális hőhatással. Fémek, polimerek, kerámiák könnyen vághatóak, fúrhatóak, habár a lézerimpulzusok kontrollált használatával szelektív anyageltávolítás is lehetséges, például eltemetett kontaktusfelülethez ablak nyitása a polimer eltávolításával.

Saját kísérleteink is bizonyították, hogy a 355 nm-es lézerek megfelelő eszköz mikrofuratok készítésére; nagy energiával a rézréteg teljes átfúrása, míg kisebb energiával a rézréteg tisztítása lehetséges. Megfelelő optika használatával és fókuszlással 20-150 mm átmérőjű furatok készíthetők [5].



5. ábra UV Nd:YAG lézerral készített furat 50 μm vastag poliimidbe

Anyag	Optimális Paraméter beállítások		
	Frekvencia	Lövesszám	Energia [mJ/pulzus]
25 mm PI	10 kHz	12	520
	10 kHz	25	168
	100 kHz	40	6.2
50 mm PI	10 kHz	20	520
	10 kHz	35	168
	100 kHz	50	6.2

1. táblázat Optimális paraméterek

A furat átmérője 25-40  $\mu\text{m}$ , valamint vékony (1-2  $\mu\text{m}$ ) rézréteget is kialakítottunk már a felületen.

Az 1. táblázatban láthatók a lehetséges, optimális fúrási paraméterek. A vastagon szedett paramétereket használtuk a végleges mintadarabok előállítására. A paraméterek kiválasztásánál törekedtünk a sebesség maximalizálására, ezért választottuk a 100 kHz-es frekvenciát.

Meg kell azonban jegyezni, hogy frekvencia növelésével az impulzusenergia csökken, tehát több lövésre van szükség. (Kísérletek útján az is bebizonyosodott, hogy a furat minősége nagyobb frekvencia használatával jobb lesz).

## Cu leválasztás

A poliiimid hordozók rendkívül jó fizikai és kémiai jellemzőkkel bírnak, tehát kiválóan használhatók dielektrikumként. Ennek köszönhető, hogy széles körben elterjedtek az elektronikai iparban nyomtatott áramköri hordozóként, hibrid áramkörökben, valamint félvezetők (chipek, multi-chip modulok) hordozójaként. A poliiimidek a magasabb hőmérsékletnek és legtöbb vegyszernek is ellenállnak. Ez azonban megnehezíti, hogy az eddig használatos eljárásokkal válasszunk le fémet a felületükre.

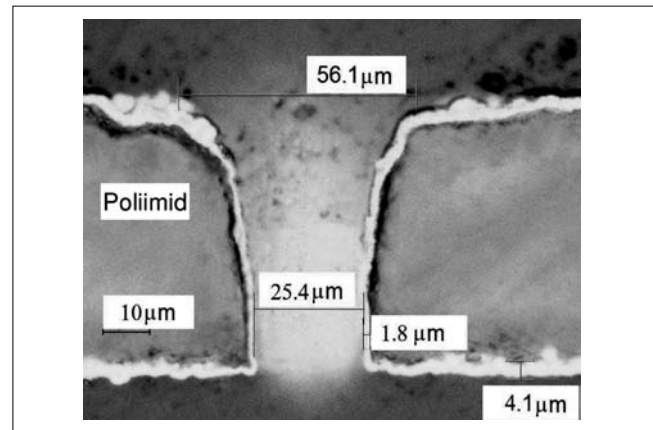
Az iparban a laminált rézréteg és a poliiimid közé ragasztó réteget visznek fel. Melegítéskor, például forrasztási technikáknál, vagy furatfémezéshez használt vegyszerek hatására ez azonban meglágyulhat, ezzel csökkentve a rétegstruktúra stabilitását.

Kutatási cél volt tehát egy olyan eljárás kidolgozása, ahol laminálási fázis és ragasztó nélkül, csupán kémiai eljárással lehet áramköri hordozót készíteni. További cél volt egy kb. 5-10  $\mu\text{m}$  vastag, jól tapadó rézréteg egy lépéses leválasztása mind a poliiimid felületre, mind a furatokba. Egy ilyen eljárás sokban egyszerűsítheti, gyorsabbá és olcsóbbá teheti a flexibilis nyomtatott huzalozású lemezek készítését, hiszen lehetővé teszi a tekercsről tekercsre való gyártást, megőrizve a nagy rajzolatfinomság lehetőségét.

Ezt szem előtt tartva a feladat adott volt: kereskedelemben kapható anyagok felhasználásával nagyszűrűségű, finom rajzolatú, megbízható hordozó alacsony költségű gyártása. Fontos szempont volt, hogy ne használjunk környezetre ártalmas vegyszereket, mint példá-

ul a cianidok. Mindent összevetve választásunk az elterjedt FR4-es technológiára, a Shipley-féle fémleválasztásra esett [6]. Az első próbálkozásunk kétes eredménnyel zárult: ugyan egyenletes rézréteg keletkezett a poliiimid felületén, azonban minimális tapadással. A réz egyszerűen lemosható volt a felületről.

Két éves kutatás eredményeképpen kiemelkedő minőségű hordozót sikerült előállítani. A 6. ábrán látható 50  $\mu\text{m}$  vastag poliiimid hordozónak mindkét oldalán és a furatokban is összefüggő rézréteg keletkezett.



6. ábra Furatfémezés

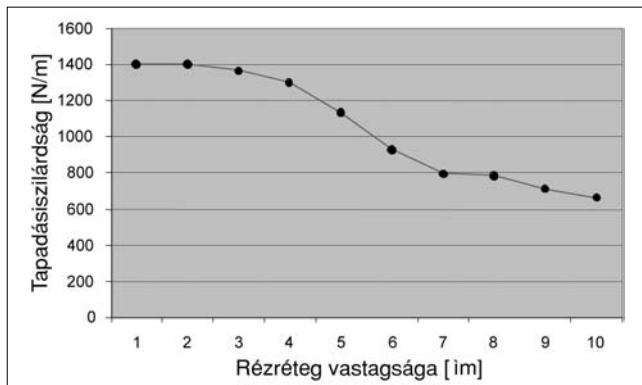
Kiindulásul az UBE gyár szabványos 25 és 50  $\mu\text{m}$  vastag poliiimid hordozóit választottuk. A kívánt minőség eléréséhez jelentős átalakításokat kellett véghezvinni a vegyületek összetételében, új lépéseket kellett beiktatni és feleslegessé váltakat kivenni a sorból. A változtatások kiterjedtek a hőmérséklet, idő, mozgatás és adalékanyag módosításra. A hozzáadott lépések magára az árammentes rézleválasztásra vonatkozóan nagyon fontos változtatások, melyek nemzetközi szabadalom véd. A felhasznált új adalékanyag segíti a kötések létrehozását a polimer hordozón a kezdeti rézréteg kialakításához.

## A folyamat

A lézeres fúrást követően kémiai tisztítás és előkezelő savas fürdő következik, hogy a fúrást, mozgatást során a hordozóra került szennyeződések eltávolítsuk. Ez a minta kerül a módosított Shipley féle, palládium katalizátor alapú, árammentes rézleválasztó sorra. Az előkészítő lépések után helyezük a mintát a szabadalomban tárgyalt adalékanyagot tartalmazó magas hőmérsékletű (50°C) fürdőbe. Ebben a lépésben az alkalmazott hosszuláncú molekulák erős, hálószerű kötések alkotnak a poliiimid felületén, melyhez már a fém atomok hozzákapcsolódhatnak. A második árammentes rézfürdőben egyenletes, jó tapadású, kb. 500-700 nm vastag rézréteg jön létre mind a felületeken, mind a furatokban. Ennél vastagabb árammentes réz kialakítása azonban már nem hatékony, viszont jó alap a galván rézrétegnek [2]. Ehhez szintén a Shipley cég elterjedt vegyületeit használjuk. Az elektromos úton felvitt rézréteg vas-

tagsága a folyamat idejének hosszával beállítható, mintáinkon az 5-10  $\mu\text{m}$  vastagság elérésére törekedtünk, mivel a vastagság növelésével a tapadási szilárdság csökken (7. ábra).

Ezzel az eljárással sikerült a kezdetekben kitűzött céljainkat elérni: csak kereskedelmi forgalomban levő, nem agresszív, nem környezetszennyező vegyületeket használtunk, az FR4-es technológiával összeegyeztethetően. Mindamelllett, hogy sikerült a kitűzött 10  $\mu\text{m}$ -es vastagságot elérni, a rézréteg tapadása kielégítő (min. 650 N/m), valamint a négyzetes ellenállása is megközelíti a hagyományosan laminált réteget.

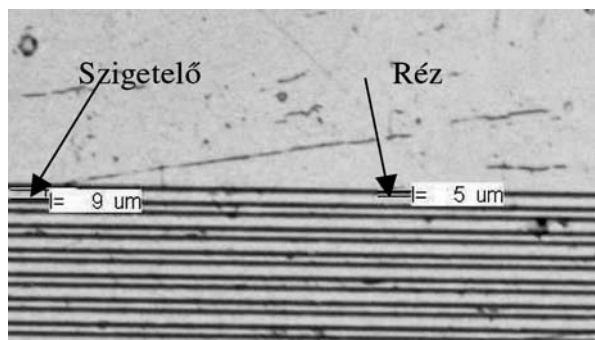


7. ábra Rézréteg tapadási szilárdsága

Pillanatnyilag a minták elektromos méréseit és azok kiértékelését végezzük. Legfőbb szándékunk poliimid fóliából flexibilis áramköri hordozók készítése, tehát a mintázatkialakítás még hátra van. Mint a fémleválasztásnál, itt is egy hagyományos eljárást alkalmazunk, így a fotolitográfias eljárást csak kis mértékben (koncentráció és idő) kellett módosítani a kívánt eredményhez.

Annak ellenére, hogy a keletkezett két réteg (500-700 nm kémiai és 5-10  $\mu\text{m}$  galván réz) szerkezetileg eltérő, nem kell különböző összetételű, vagy adalékolású marószert használni. A mintázat kialakítása egy lépésben történt, azonban fontos a pontos maratási idő meghatározása a rézréteg vastagságának függvényében azonban a nem kívánt alámaródás elkerüléséhez. A szükséges marási idő táblázatok alapján határozható meg. A legjobb rajzolatfinomság, melyet kis hibaszázalékkal, több egymás utáni mintán is el lehetett érni, kb. 14  $\mu\text{m}$  volt (5  $\mu\text{m}$ -es vonalak, 9  $\mu\text{m}$ -es csíktávolsággal) melyet a 8. ábrán láthatunk.

8. ábra 14  $\mu\text{m}$ -es rajzolat a poliimid hordozón



Ennél nagyobb felbontás már elfogadhatatlanul sok hibát okozott, tehát ilyen irányban már nem folytattuk a kísérleteinket.

## Teszt áramkör

Az elsődleges ellenőrzéshez egyszerű furatláncot alkalmaztunk, melyen 50  $\mu\text{m}$  vastag poliimid +7  $\mu\text{m}$  vastag rézhordozón 100  $\mu\text{m}$  széles huzalok és 500 db 20  $\mu\text{m}$  átmérőjű furat volt láncba kapcsolva. A végső kiértékeléshez azonban erre a célra készített BGA chip-et és Flip chip-et fogunk használni, melyeket több száz fémezett furattal kötünk össze.

## Konklúzió

Az elektronikai ipar fejlődése a miniatürizálással nem csak a chip méretét, hanem a kivezetéseik számát is növelte, megkövetelve a nagyobb rajzolatfinomságot. Ehhez azonban már újfajta hordozókra van szükség. Kézenfekvő lehetőség poliimid alapú flexibilis hordozók használata, azonban ezek még a mai napig is drágábbak a hagyományos merev hordozóknál. Kutatásunk eredményeképpen létrehozott és szabadalmaztatott, komplett flexibilis hordozó-technológia jó alternatívát jelenthet az ipar számára. Az eredményekből arra következtethetünk, hogy mind kis sorozatszámú prototípus készítésre, mind nagy számú minták előállítására alkalmas a kidolgozott technológia.

## Köszönetnyilvánítás

A fent említett kísérletek zöme az ELIS-TFCG tanszéken (Genti Egyetem, Belgium) készült a Magyar-Flandriai kétoldalú együttműködés keretében. A szerzők külön köszönetet mondanak a partner intézet munkatársainak, kifejezetten Jan Vanfleterennek, Sam Siaunak és Johann de Baetsnek a szakszerű tanácsaikért és együttműködésükért.

## Irodalom

- [1] „Fémezési eljárás”, bejegyzés alatt levő EU-US szabadalom.
- [2] Losonci, Pető, Tihanyi: Galvanotechnikai zsebkönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1992.
- [3] Illyefalvi-Vitéz Zsolt: Laser processing for microelectronics packaging applications, Microelectronics Reliability 41 (2001) pp.563-570.
- [4] Harry J. E.: „Ipari lézerek és alkalmazásuk”, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1995.
- [5] Gordon P., Berényi R: Laser Processing of Flexible Substrates. IMAPS, Denver, USA, 3-6 Sept., 2002 pp.494-499.
- [6] <http://www.rodel.com/pwb/metallization/> Shipley Company

# Hírek

Az elmúlt év végén harmadik alkalommal vehette át ünnepélyes keretek között a **Rátz Tanár Úr Életműdíjat** hat középiskolai tanár a pályafutása során nyújtott kiemelkedő teljesítményéért. A Graphisoft R&D Rt., az Ericsson Magyarország Kft., valamint a Richter Gedeon Rt. által létrehozott Alapítvány a Magyar Természettudományos Oktatásért kuratóriuma évente ítéli oda a díjat összesen 6 millió forint értékben. Az alapítvány díjazottjai azok a középiskolai tanárok, akik az alapítók tevékenységi köréhez szorosan kapcsolódó magyarországi matematika-, fizika- és kémiaoktatásban kimagasló szerepet töltenek be a tantárgyak népszerűsítésében és a tehetséggondozásban.

Az idei díjazottak:

*Fizika – Kovács Mihály (Budapest)*

1916-ban Szegeden született. Belépett a Piarista Rendbe, majd 1935-1941 között teológiai és egyetemi tanulmányokat folytatott. 1941-ben matematika-fizika szakos tanári diplomát szerzett. Tanári tevékenysége során igyekezett a legkorszerűbb fizikaoktatást kialakítani. Az iskolai atomfizika oktatást már az 1960-as években elkezdte. Több atomfizikai témájú, az oktatást segítő előadást tartott, szaklapokban publikált, több eszközét a tanszergyártó cég gyártja. 1958-tól kezdve a kibernetikai eredményeinek elterjesztése került tanári munkájának előterébe. Könyve jelent meg 1968-ban Kibernetikai játékok és modellek címmel. Diákjait megismertette a programozás alapjaival, a gépi nyelvekkel. Tanítványi közül sokan értek el értékes helyezéseket tanulmányi versenyeken. Tanári kisugárzása sok diákban keltette fel a fizika iránti érdeklődést.

*Fizika – Dr. Wiedermann László (Budapest)*

Budapesten született 1931-ben. Az ELTE-n 1953-ban szerzett matematika-fizika szakos tanári diplomát. 1964-ben egyetemi doktori címet szerzett. Négy évtizeden keresztül irányította a középiskolai tanárok szakmai továbbképzését. Sok tanulmányt publikált a Fizikai Szemlében és más kiadványokban. Tanári munkáját a biztos szaktudás, a precizitás jellemzi. Több tanulmányi verseny szervező munkájában vesz részt.

*Matematika – Czapáry Endre (Győr)*

1922-ben született, 1946-ban végzett az Eötvös Kollégiumban. Számos Arany Dániel és OKTV díjas tanítványt nevelt. Több volt diákja jelenleg is különböző magyarországi és külföldi egyetemeken oktat. Aktív szerepe volt regionális matematikaoktatási programokban. 33 alkotás (könyv, jegyzet, feladatgyűjtemény) szerzője vagy társszerzője. Szakmai munkája, elkötelezettsége, emberi nagysága, figyelmesége, bölcs gondolatai ma is példaértékűek. Életművével jelentősen hozzájárult a magyar matematikaoktatás eredményességéhez.

*Matematika – Rábai Imre (Budapest)*

1926-ban született, 1951-ben Szegeden főiskolai diplomát, majd 1954-ben az ELTE-n tanári oklevelet szerzett. 1962-ben kezdeményezte az első emelt szintű matematika-tantervű osztály létrehozását. Tanítványai szinte minden versenyt megnyertek, és részt vettek a Középiskolai Matematikai Lapok szerkesztésében. A Fazekas Gimnáziumban töltött évek alatt számos hírességet nevelt. Irodalmi tevékenysége számottevő, könyvei keresettek a középiskolások körében.

*Kémia – Dr. Kovácsné dr. Csányi Csilla (Budapest)*

1947-ben született. Az ELTE-TTK biológia-kémia szakán végzett 1972-ben. A Fővárosi Pedagógiai Intézet kémiai vezető szaktanácsadója, 1975-ben „summa cum laude” minősítéssel doktorált. A hazai kémiai szakdidaktika egyik meghatározó személyisége. Ezt tanúsítja sok publikációja és könyve, szereplése és rendezői tevékenysége hazai és nemzetközi szakdidaktikai rendezvényeken. Tanítványai eredményesen szerepeltek a Hevesy és Irinyi versenyeken.

*Kémia – Dr. Velkey László*

1955-ben született. Szegeden szerzett biológia-kémia tanári diplomát 1978-ban. Széleskörű kutatómunkát végzett, ennek eredményeként „summa cum laude” minősítéssel doktorált 1985-ben. Kutatómunkája nem ment a pedagógiai tevékenysége rovására. Eredményes szakdidaktikai oktató-szervező tevékenységének betetőzését jelentették az általa kezdeményezett és 1986 óta rendszeresen megszervezett „Sárospataki Diákvegyész Napok”.

# TECHNIKATÖRTÉNET

## EMC kompatibilis lapos képcső – anno 1936!

HORVÁTH GYULA

távközlési tanácsadó mérnök

horgyul@hdsnet.hu

### Kulcsszavak:

Napjainkban a lapos képcső megjelenése ráirányítja a figyelmet egyik érdekes elődjére, melyről csak egy szabadalmi leírás maradt meg. Az ennek beadása óta eltelt hosszú időt a feltaláló által alkotott egyes elnevezések használata, és két, az eredeti leírásból változtatás nélkül átvett ábra érzékelteti. Ennek ellenére a leírásban messzire előremutató megoldásokat találunk.

### Egy különleges alapötlet

Mint ismeretes, a televízió képátviteléhez másodpercenként milliós nagyságrendű képpontot kell letapogatni, hogy a képcsővel élvezhető képet lehessen előállítani. Ehhez olyan kapcsolóra van szükség, amely az egyes képpontok fényességével arányos villamos töltéseket egymásután az átviteli rendszerhez juttatja. A televízió történetéből tudjuk, hogy ezt a kapcsolót a katódsugárcsőben keltett, a kellő sebességgel mozgatható elektronsugár formájában találták meg. Eme kitűnően működő megoldás hátránya, hogy a vevőben megfelelő hosszúságú katódsugárcsőre van szükség, amivel a készülék mérete kényelmetlenül megnövekszik. Lapos képcső megvalósítását lehetővé tevő ötletre támaszkodva e hátrány megszüntethető.

Tihanyi Kálmán (1897-1947) fejében született meg a gondolat, hogy a kapcsoló szerepét ionizált gázmolekulák is betölthetik, ha azokra az elektródok között villamos feszültség hat, mivel a létrejött kisülés, mint elektromos áram, szintén gyorsan mozgatható. Gondolatának gyakorlati kivitelezését 1936-ban készített szabadalmi leírásban fejtette ki [1]. Ennek laboratóriumi kivitelezésében azonban a háborús események, majd váratlan halála meggátolták.

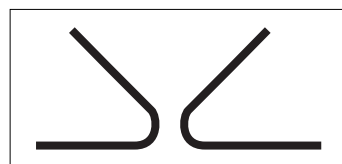
Az 1930-as évek televíziót népszerűsítő irodalma a televízió magyar úttörői között másokkal együtt Tihanyi Kálmán eredményeit is népszerűsítette. A Műegyetemen dr. Babits Viktor a televízióról tartott előadásában és könyveiben [2, 3] részletesen szólt Tihanyi szerepéről a televízió fejlesztésében. Az éles elméjű fizikus gyermekkorától kezdve egymásután szabadalmaztatta találmányait. Figyelme már 1917-ben a televízió felé fordult; többek között 1926-ban főtálatálta a töltéstárolás ma is ismert elvét. Erre vonatkozó szabadalmait a Radio Corporation of America (RCA) vette meg, mert azok fölhasználása nélkülözhetetlen volt az ikonoskópnak és a nyomában keletkezett, a mai televízió technikában is használatos képbontó- és képcsőnek a megvalósításához. A második világháború alatt részvétele az ellenállási mozgalomban majdnem az életébe

került. A háború után megromlott egészsége és újra-kezdett megfeszített munkája következtében szíve fölmondta a szolgálatot és 1947-ben váratlanul meghalt.

### A működés elve

Megfelelően nagy feszültségű áramforrás sarkaira kapcsolt két vezető közötti kisülés két vezető mentén magától mozog, mert a villamosság törvényei szerint a villamos áramkör tágulni kíván, aminek esetünkben kézenfekvő következménye a helyhez nem kötött kisülés mozgása. Ezt használja ki a legalább száz éve ismert szarvas villámhárító (1. ábra), amelynek széttartó vezetői között a kisülés a vezetők végei felé mozog, egyre hosszabb lesz, majd kialszik, amikor a vezetők távolsága már meghaladja a fönntartásához szükséges távolságot. A képpontok letapogatására ez a módszer egyszerű formájában nem használható, mert a kisülésnek a képbontóban és a képcsőben megkívánt azonos mozgási sebességét igen nehéz biztosítani.

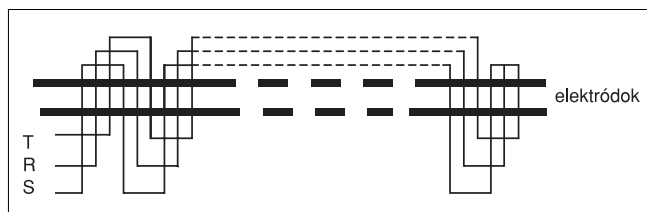
1. ábra  
Szarvas villámhárító



### Segít a háromfázisú váltakozóáram

A háromfázisú motor állórészének tekercselése forgó mágneses teret létesít. Ha a tekercselést az említett vezetőkkel párhuzamosan kiterítjük, akkor a vezetőkkel párhuzamosan mozgó mágneses erőtér (vagy más módon keltett, például elektrosztatikus erőtér), a főtálatáló összefoglaló elnevezésével: futómező a kisülést megragadja és magával viszi.

A kisülés ugyanúgy, mint a háromfázisú szinkronmotorok forgórésze, a mezővel pontosan együtt mozog, beleértve azt is, hogy a mező meghatározott pontja tartja fogva. A kiterített tekercselés a 2. ábrán látható. A futómező mozgási sebessége a háromfázisú áramnak csupán a frekvenciájától függ.



2. ábra Elektromágneses futómezőt gerjesztő tekercselés

### Letapogatás

A képbontó csőben szükséges letapogatás abból áll, hogy mivel a párhuzamos vezetők kisülés felőli oldala fény hatására villamos ellenállását változtató bevonattal van ellátva, a kisülés áramát a képpontról jövő fény modulálja. Az említett módon mozgatott kisülés a képcsőben is használható úgy, hogy mint fényforrásnak intenzitását a bejövő jellel moduláljuk.

Mindkét esetben fontos, hogy a kisülésnek az elektródokkal érintkező pontjai ne legyenek nagyobbak, mint maga a képpont. Ez előtét-ellenállással (másként fogalmazva: állandó áramú táplálással) valósítható meg.

### Szinkronizálás

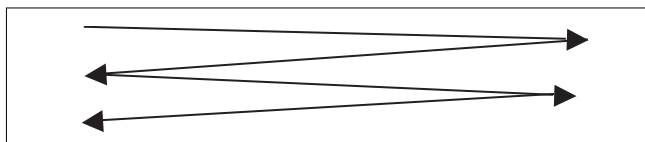
A képbontóban és a képcsőben kulcsszerepet játszó kisülés pontos szinkronmozgatására Tihanyi Kálmán már 1926-ban javasolta, hogy a villamosenergia elosztó-hálózatnak a minden pontján azonos frekvenciáját használják föl. Erre természetesen csak évtizedekkel később kerülhetett volna sor, amikor az addig önálló erőművekhez tartozó hálózatokat kontinentális hálózattá kapcsolták össze. Ennek megvalósulásáig mind az adóban, mind a vevőben egyfázisú váltakozó áramból fázistolással háromfázisú áramot állított elő. Az egyfázisú váltakozó feszültséget a vevőbe a videojellel együtt továbbította.

Ezen ötletek képezik Tihanyi Kálmán 1936-os találmányában leírt rendszer alapját, amiből kiindulva sokkal korábban lehetett volna lapos képbontó- és képcsővek, később a számítógép monitorok számára lapos képernyők, és más célokra is fölhasználható lapos kijelzők gyártását megkezdeni.

### A kivitelezés

A föltaláló a „képíró vonal” kifejezést használja annak a pályának megnevezésére, amelynek mentén a kép letapogatása folyik. Mivel az állandó sebességgel haladó mágneses futómező egy sor letapogatása után csak a letapogatás sebességével tudná a kisülést a sor elejére visszavinni, a készülék folyamatos letapogatásra alkalmas, a 3. ábra szerinti képíró vonal mentén működik.

3. ábra



*Kisüléscsőben* zajlik a kép átalakítása videojelle, majd annak visszaalakítása kivetíthető képpé. A kisüléscsőben található az állandó feszültségre kapcsolt két elektród, amin a kisülés végigfut. Az egyik elektród fotoellenállással (szeléntellur, thallium-szulfid, stb.) van bevonva. Töltéstárolás céljára a bevonat a képpontok között meg van szakítva, hasonlóan az ikonoszkópban található kondenzátor-mátrixhoz, mely eljárást szintén szabadalmaztatta.

Ennek a bevonatnak ellenállása képpontról-képpontra az odavetített képpont intenzitása függvényében változik. Más megközelítésben a két letapogatás között a beeső fotonok töltéshordozókat gerjesztenek, amik száma befolyásolja a kisülésen keresztül letapogatáskor folyó áramot. Ennek pontról-pontra változását transzformátoron keresztül kicsatolva kapjuk meg az erősítésre és továbbításra alkalmas képjelet.

A kisüléscső az egész képfelület beborítása végett a 3. ábra szerinti képíró vonalat követve van „meggörbítve”. Az elektródok közötti légrés az alkalmazott gáztól, annak nyomásától és az elektródok közötti feszültségtől függően (a leírás 160-250 V körüli feszültségre utal) 6-60  $\mu\text{m}$  között várható. A képcsővekben inkább kisebb, a képbontó csővekben inkább nagyobb légrések ígérkeznek legjobbnak. A kisüléscső az alkalmazástól függően megválasztott összetételű, alacsony vagy nagy nyomású gázzal lehet megtölve.

A 2. ábrán bemutatott elven alapuló *tekercselés* elkészítésének szellemes módja az, hogy a három fázis vezetőkeiből légmagos tekercset készítünk és azt laposra összenyomva kívül a kisüléscső oldalán bemart horonyba helyezzük. Vasmagként akár a ferromágneses huzalból készült egyik elektród is szolgálhat.

### Kisülés indítása és kioltása

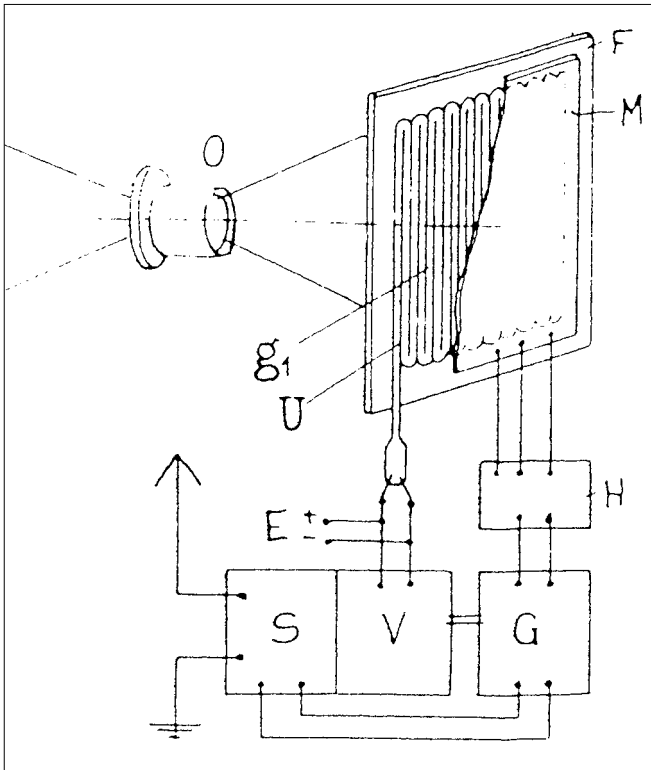
Avégett, hogy a kisülés mind a képbontó-, mind a képcsőben minden pillanatban a képíró vonal ugyanazon pontján legyen, a kisülés a két készülékben egyszerre indul, a vevőkészülékbe is továbbított képváltójel hatására.

Az elektródok elején a légrés kisebb, hogy az elektródok közötti, csak a kisülés fönntartására elégséges feszültség azt átüthesse, majd a futómező magával ragadja. Ez biztosítja azt is, hogy a csőben csak egyetlen kisülés halad. A kisülés a cső végén – a szarvas villámhárító elvét alkalmazva – az egymástól eltávolodó elektródok között szűnik meg.

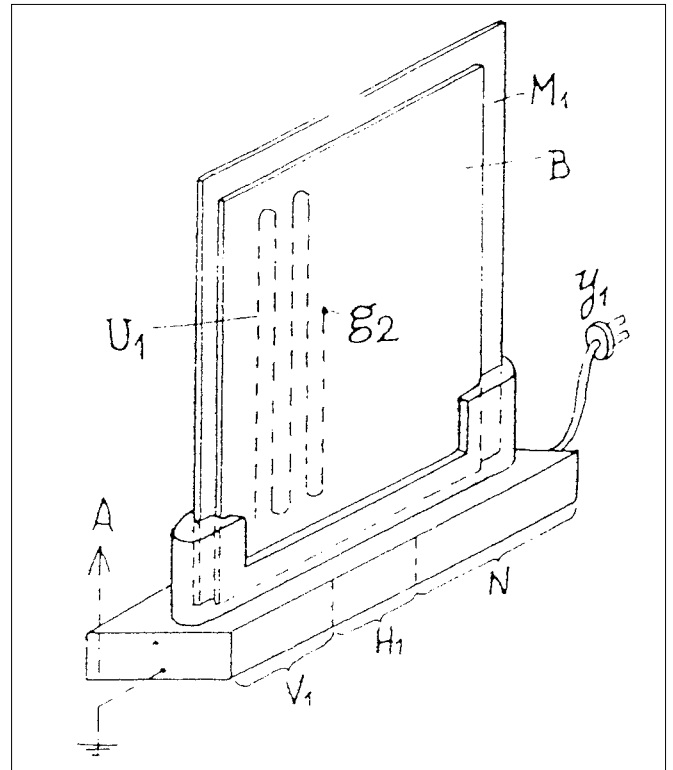
### Képviteli rendszer

A tárgyalt elemekből összerakott képbontó készüléket a 4. ábra, a képvevőt a 5. ábra mutatja. Mindkét ábra a szabadalmi leírásból származik. Ezekben a csak sematikus felrajzolt részegységek műszaki megoldása már annakidején ismert volt.

A szabadalom szempontjából lényeges részek: a képfölvevőben F képfoltszűrő, ami az elektródnak a nem teljes hosszában pontosan azonos fényérzékenységet korrigálja, az U kisüléscső és az M futómezőt előállító tekercselés (4. ábra).



4. ábra Képfeltevő készülék és adóberendezés



5. ábra Képleadó készülék és vevőberendezés

A képbontóban fontos, hogy az optikai rendszer által előállított virtuális kép a fényérzékeny elektródra kerüljön. A képleadó lényeges részei az U1 kisüléscső és az M1 futómezőt előállító tekercselés (5. ábra). Ha a kisülés fényereje kevés, a képvevőben a kép a kisülés által megvilágított foszforeszkáló rétegen keletkezik (az ábrán nincs föltüntetve).

A szabadalom érthetően nem terjed ki a hang átvitelére, mert annak akkoriban már több megoldása volt ismeretes. A színes televízióval kapcsolatban a leírás utal a föltaláló 1926-ban és 1928-ban elnyert szabadalmaira, amelyek a színes televízióra vonatkozó megoldására is kiterjednek.

A föltaláló figyelmét nem kerülte el az, hogy a kisülés elektromágneses sugárzást is kelt, ami a környezetében lévő elektronikus szerkezeteket, például a televízió vevőkészülék elektronikus áramköréit, ezenkívül a nézőket zavarhatja. Ezért mind a képbontó- mind a képcsövet árnyékoló fémdobozba helyezte. Ma megelégedetten állapíthatjuk meg, hogy ezzel a mi fogalmaink szerint is elektromágnesesen kompatibilis készüléket talált fel.

A szabadalmi leírás szokás szerint kitér a találmány alapelveinek megvalósítására alkalmas számos további változatra is. Ezekben a szóban forgó találmány leírása bővelkedik. Közülük most csak a legérdekesebbel, a kondenzátoros vezérléssel foglalkozunk.

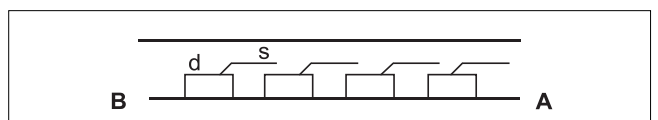
A kondenzátoros vezérlés elve szerint a fényérzékeny anyaggal bevont, folytonos elektróddal szemközti, képpontonként kialakított ellenelektródok megfelelő kapacitású kondenzátoron keresztül kapcsolódnak az áramforrás másik sarkához. Az elektródoktól az 6. ábrán

látható nyúlványok a sorban rákövetkező szikraközbe nyúlnak. A segédelektróddal begyűjtött első szikraközben folyó árammal a hozzátartozó kondenzátor töltődik, miközben nyúlványának potenciálja a folytonos elektród potenciáljához közeledik. Mihelyt elérte a begyűjtáshoz szükséges potenciált, segédelektródként begyűjtja. Az előző szikraközben a feszültség a kondenzátor föltöltődése következtében lecsökken és a kisülés kialszik, tehát a kisülés átugrott a következő szikraközbe. Az ugrások közötti, a kisülés haladási sebességét meghatározó időtartam az elektródokat tápláló állandó egyenfeszültségtől és az áramkör időállandójától függ.

A képcső áramát a kisüléscső áramkörébe iktatott elektroncső a vett képpel modulálja, mire a képcsőben vagy mellette elhelyezett foszforeszkáló csík a kisülések hatására megfelelő erősségű fényt bocsát ki. Ezek a fénypontok együttesen az eredeti képet adják vissza, mert ugyanott helyezkednek el, mint a képfeltevőben azok a képpontok, amelyek fényességével arányos képpel hatására keletkeztek.

Miután a kisülés mind a képfeltevőben, mind a vevőkészülékben végigfutott a kisüléscsővön, az összes kondenzátor kisütésének egyik módja az, hogy az elektródokra vezetett feszültség polaritását soronként váltogatjuk. Az átváltást a képváltó jele vezérli.

6. ábra Kondenzátoros vezérlés



## Tihanyi Kálmán munkamódszere

Tihanyi Kálmán Edison-típusú föltaláló volt. Munkamódszerét tekintve Edison példáját követve gazdaságilag mindenkitől függetlenül, szabadalmainak eladásából származó jövedelméből élt és finanszírozta föltalálói tevékenységét. Ennek megfelelően találmányai sokféle területen mozogtak, pl. hangosfilm, elektroncső, rádiótechnika, telefontechnika, villamos lámpák és motorok, ultrahang, autó stb. Végső célja a találmányaira alapozott önálló cég alapítása volt holding formájában, és ezen belül külön kutatóintézetet. Céljához az 1940-es években már egészen közel járt.

Föltalálói leleményességét arra is fölhasználta, hogy a találmányaiban alkalmazott megoldásoknak szokatlanul sok változatát gondolja ki. Például a töltéstárolás bevezetését javasoló végleges szabadalmának (1928) leírásához 127 igénypontot csatolt. Ezzel sikeresen akadályozta meg szabadalmának megkerülését. Ezen kívül általánosításban is kiváló volt, mert fölismerte, hogy egyes megoldásai mely más területeken is alkalmazhatók. Szabadalmi leírásait úgy fogalmazta meg, hogy a szabadalmi védelem a televízió kívüli alkalmazásra is kiterjedjen.

Sokoldalúságának köszönhetően szabadalmi bejelentéseiben találmányainak kivitelezéséhez használható technológiai megoldásokat is leírt. Az ebben a cikkben ismertetett találmányához például üvegtechnikai, fototechnikai és más megoldásokat is kidolgozott. A kisüléscső elektródjait ötletesen úgy javasolja elkészíteni, hogy fényképezési úton fémréteget csapat le üvegre, majd galvanizálással megvastagítja. A  $\mu\text{m}$  nagyságrendű elektródtávolság pontos megvalósítására a fényképezési technika fölhasználását ajánlja. Mai ismereteink birtokában ebben a nyomtatott huzalozású lapok készítésére hosszú évekkel később bevezetett technológia elemei ismerhetők föl.

A 21. század elején rendelkezésre álló tudományos és műszaki ismeretek birtokában természetesen ezen feladatokat egyszerűbben, olcsóbban, elegánsabban lehet megoldani. Tihanyi Kálmánnak a több, mint 60 évvel ezelőtti felismerései, azokon alapuló ötletei azonban technikatörténeti jelentőségűek. Mint az eddig számos esetben megtörtént, előfordulhat, hogy valamelyik ötletét, megoldását a kutatók előveszik és egyelőttük álló probléma megoldásához fölhasználják. Munkásságának ez méltó emléke lenne.

### Irodalom

- [1] Tihanyi Kálmán:  
Távolbalátó készülék futó kisülési fényponttal, szabadalmi leírás, kézirat, 1936., MTA Kézirattára. Felhasználása a szerzői jog örökösének engedélyével.
- [2] dr. Babits Viktor:  
A távolbalátás és az ultrarövid hullámok technikája, Budapest, Mérnöki Továbbképző Intézet kiadványai, VI.3, 1947, pp.65-67.

- [3] dr. Babits Viktor:  
A távolbalátás technikája, Hungária, 1948, pp.19, 76, 89, 91.
- [4] Nagy Ferenc, szerk.:  
Magyar Tudós Lexikon, Budapest, OMIKK, 1997.
- [5] Emmerson, Andrew:  
Rewriting History, Electronics World, 1998. november
- [6] Abramson, Albert:  
The History of Television, 1880 to 1941, Jefferson-McFarland, 1986. német nyelven: Die Geschichte des Fernsehens, Fink Verlag, München 2003.
- [7] dr. Lajtha György:  
Egy lány harca az igazságért, Magyar Távközlés, VI. évfolyam, 7. szám, 1996. július
- [8] Tihanyi Katalin:  
A televízió nagy magyar úttörője, Magyar Tudomány, CVII kötet – Új folyam, XLV. kötet, 2000.
- [9] Tihanyi Katalin:  
Az ikonoszóp magyar vonatkozása. Megemlékezés Tihanyi Kálmán életéről és munkásságáról, Iparjogvédelmi Szemle, a Szabadalmi Közlöny, az MSZH hivatalos lapjának melléklete, 102. évf. IV. szám, 1997. augusztus

## Helyreigazítás

**A Híradástechnika 2003.11. számában megjelent Dósa György cikke „A hazai antenna vizsgálótelephely története” címmel, amely összefoglalójában téves információkat tartalmaz, miszerint: „Magyarországon nincs professzionális antennamérő telephely.”**

A Grante Rt. tulajdona egy mérőtelep, amely alkalmas a 2-40 GHz-es frekvenciasávban sugárzási karakterisztika mérésére normál, valamint nyújtott (6-szoros illetve 36-szoros nagyítási szögtartomány) üzemmódban. A rendszer dinamika-tartománya 80 dB, és 300 MHz-2GHz tartományban is képes mérni.

A Grante Rt. az elmúlt tíz évben mintegy 500 féle professzionális mikrohullámú antennát fejlesztett ki ezen a mérőtelepen. A hazai hálózatokban kb. 30 000, a külföldi hálózatokban kb. 4000 Grante gyártmányú antenna működik (Antenna Hungária, Westel, Pannon, Vodafone, Matáv, Intracom, Radian Praha stb.)

A közelmúltban az Antenna Hungária számára végeztek kísérleti méréseket a DVB-T országos hálózatának rendszertervezéséhez.

**NO TIME TO WASTE**

**New Year's message from Kálmán Kovács, Minister of Information Technology and Communications**

Quid, quid agis prudenter agas et respice finem – i.e. anything you do, do it wisely and think of its consequences. 2000 years ago this was a generally accepted axiom both for politicians and businessmen. That time people had enough time to discuss and think over outcomes before making decisions and thus to compile a contract based on the actual accumulated knowledge. That time processes of life were much slower...

**ERA OF MOROSENESS – Snapshot of the IT market**

*Keywords: information technology market, investments, role of China, public utility provision*

Information technology market is recovering again but it will be different from that of the 90s. The decline experienced during the past years meant not only cyclic fluctuation but also the border of an era. What the market will look like in the years to come? To characterize it with a few words: it will be a mature mass and global market where the emphasis lies on usage and not on building.

**E-COMMERCE AS CATALYST OF THE INFO-SOCIETY**

*Keywords: Internet, money transfer, m-commerce*

Electronic commerce is a small part of e-economy. The rough approximation outlined in this article suggests that in addition to teleworking, e-learning, e-banking and e-culture, e-economy is just one though important aspect of our ever-changing world based on new technologies. Can e-economy become the engine of development, and if yes, in what cases?

**SUCCESSFUL MEN**

**Interview with dr. Gábor Prószéky, dr. Sándor Kürti and dr. József Mlinarics**

When did you recognize the necessity of ideas which have already been widely adopted? When did you feel that these ideas would bring not only scientific merits but international business results as well? What was the way leading from professional scientific results to their business deployment?

**ANALYSIS OF PULSE PROPAGATION...**

*Keywords: Maxwell-equations, closed solutions*

The analysis of propagation of short pulses in waveguides is an important research field of wave propagation. Our article introduces a quite new theoretical model and method for quadrilateral waveguides under vacuum which are excited with electromagnetic signals of any shape.

**EXPERIENCES WITH OPTIMAL SIGNAL CLARIFICATION BASED ON HEARING MODEL**

*Keywords: subjective loudness, critical bandwidth, filters, transformations*

This article gives an overview on GAFT (Generalized Amplitude and Frequency Transformation) used in the Földvári hearing model then its main characteristics,

the block diagram of the optimal signal clarification process and an evaluation method of background noise are introduced. Several demos with short evaluations are attached which are followed by the original and the clarified wav files and also the availability of the exe file to be run on PC is indicated.

**CRYSTAL SOLAR ELEMENTS WITH SELECTIVE EMITTER AND THE SELF-DOPING CONTACT**

*Keywords: light-electricity conversion, solar cells, outlets, efficiency*

One of the most crucial issues of our world is provision of energy with preserving an environment for the survival of mankind. One solution of the problem is the use of regeneratory energy sources. While the use of bio-pulp and geothermal energy sources can offer short-term solution, technologies using solar and wind energy can be considered as long-term solution as well. There are some encouraging examples for the use of these energy sources in Hungary.

**PARAMETRIC CONTROL OF LASER BEAM...**

*Keywords: lasertechnology, microelectronics*

One of preconditions of the development of electronics industry is the continual decrease of dimensions which in many cases is impossible with the improvement of traditional technologies. Lasers could be used to replace them but we do not know in full details the processes taking place in course of the laser-material interaction and therefore cannot make a maximum use of the potential of lasers. This article explains the nature of this interaction and the effects of working parameters on the resulting object.

**METALLIZATION TECHNOLOGY AND LASER BASED VIA PRODUCTION...**

*Keywords: optimization of laser boring, microvias*

The continual increase of draw finesse requires the production of new circuit board bearers which are able to keep pace with the development of microchips. This article is dealing with the optimization of laser boring and the studies carried out on copper coating of flexible polymer bearers. The use of the applied highly rapid laser system allows for the cost-effective production of microvias on polymer bearers.

**EMC COMPATIBLE FLAT ICONOSCOPE– ANNO 1936!**

*Keywords: television, charge storage, iconoscope*

The appearance of flat screens draws the attention to an interesting predecessor of this device of which we have just a patent specification. This document occurred under curious circumstances and it was not modified later based on laboratory tests and further experiences. Very few persons are alive of those who witnessed the electronics and radio technology of that time. The inventor died ten years later and all his notes and calculations were lost. The partial reconstruction of these documents helped us to direct the attention of our readers to the 70 years old forerunner of the much promising flat screen of our days.

# Contents

No time to waste

(NEW YEAR'S MESSAGE FROM KÁLMÁN KOVÁCS, MINISTER OF INFORMATION TECHNOLOGY AND COMMUNICATIONS) 1

## SOCIETY AND ECONOMY

**György Bógel**

Era of moroseness – Snapshot of the information technology market 4

**Judit Talyigás, Imre Mojzes**

Electronic commerce as catalyst of the information society 10

**The National Communications Authority supports market competition** 15

**Beatrix Havaska Nagy**

Successful men – Interview with dr. Sándor Kürti, dr. József Mlinarics and dr. Gábor Prószéky 17

## WAVE THEORY

**dr. Orsolya Erhardt-Ferencz**

Analysis of pulse propagation in waveguides under vacuum 19

**Rudolf Földvári, László Gyimesi**

Experiences with optimal signal clarification based on hearing model 25

## TECHNIQUES

**Edvard Kuthi**

Crystal solar elements with selective emitter and the self-doping contact 31

**Péter Gordon, Bálint Balogh**

Parametric control of laser beam as function of patterns of multilayer structures 43

**Richárd Berényi**

Metallization technology and laser based via production for the manufacturing of hole metallized flexible bearers 47

**Gyula Horváth**

EMC compatible flat iconoscope – anno 1936! 52

Cover: Electromagnetic phenomena occur in the nature as well (to the article by dr. Orsolya Erhardt-Ferencz)

---

### 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

### 2004-es előfizetési díjak

Hazai közületi előfizetők részére:  
1 évre bruttó 31.200 Ft  
Hazai egyéni előfizetők részére:  
1 évre bruttó 7.000 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.