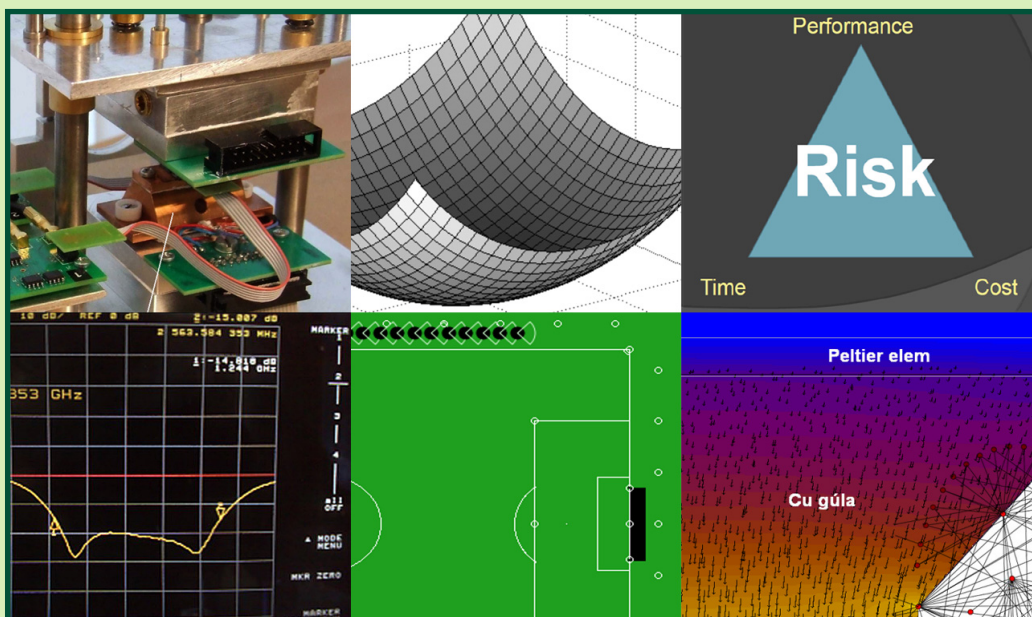


híradástechnika

1945 VOLUME LXVI. 2011

hírközlés ■ informatika



Szélessávú infrastruktúrák

„Green IT”

Adatközpontok

Projektmenedzsment

2011/1

A Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület folyóirata
a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával

nka

Tartalom

<i>ELEKTRONIKUSAN...</i>	1
Horváth Pál A szélessávú infrastruktúra értéke	2
Bodnárné Sándor Renáta, Garamvölgyi Ernő, Mártha Péter Green IT – avagy szórakoztató-elektronikai és IT-eszközök használata a környezettudatosság szemszögéből	12
Gyarmati László, Trinh Anh Tuan Scafida: egy energiahatékony adatközpont-struktúra	18
Babarczy Péter, Tanai Ferenc, Csikor Levente, Tapolcai János, Heszberger Zalán Útvonalválasztás késleltetés-toleráns hálózatokban	23
Bátfai Norbert, Ispány Márton, Jeszenszky Péter, Széll Sándor, Vaskó Gábor A Debreceni Egyetem labdarúgást szimuláló szemináriuma	32
Székely Vladimír, Kollár Ernő, Somlay Gergely, Szabó Péter Gábor, Juhász László, Rencz Márta, Vass-Várnai András Statikus TIM teszter tervezése	37
Fúzy Csaba Szélessávú kompleximpedancia-illesztő hálózatok tervezése és alkalmazása	48
Réti Kornél Biztonságos elektronikus kézbesítés	54
Szalay Imre A projektmenedzsment gyökereiről	61

Védnök

SALLAI GYULA a HTE elnöke

Főszerkesztő

SZABÓ CSABA ATTILA

Szerkesztőbizottság

Elnök: ZOMBORY LÁSZLÓ

BARTOLITS ISTVÁN
BÁRSONY ISTVÁN
BUTTYÁN LEVENTE
GYÓRI ERZSÉBET

IMRE SÁNDOR
KÁNTOR CSABA
LOIS LÁSZLÓ
NÉMETH GÉZA
PAKSY GÉZA

PRAZSÁK GERGŐ
TÉTÉNYI ISTVÁN
VESZELY GYULA
VONDERVISZT LAJOS

Elektronikusan...

szabo@hit.bme.hu

A szokásos bevezető mondatom az lenne, hogy „lapunk 2011-es évfolyamának első számát tartja kezében a tisztelt Olvasó”, ami még valamennyire igaz, ha egy iPad-on vagy hasonló eszközön olvassuk, de a szokásos értelemben már nem az, hiszen ahogy ezt tavaly év vége felé már jeleztük, mostantól kezdve a Híradástechnika nem nyomtatott, hanem elektronikus formában jelenik meg. Remélem, mielőbb megbarátkoznak ezzel a ma egyre inkább terjedő publikációs formával.

Nézzük, mit találnak olvasóink ebben a számunkban, amelyben továbbra is változatos körképet kívántunk adni szakmánk érdekes kérdéseiről áttekintő írások, új eredményeket bemutató cikkek és határterületeket érintő munkák formájában.

Horváth Pál „A szélessávú infrastruktúra értéke” című írásában érdekes és fontos műszaki, gazdasági és társadalmi kérdéseket tárgyal a szélessávú távközlési infrastruktúrák kiépítésével kapcsolatban. Bevezeti az infrastruktúra fogalmát, behatóan foglalkozik a piacok és az állam szerepével a szélessávú infratrutkúrák kiépítésében és megmutatja, hogy pusztán piaci alapon nem lehet elérni fontos gazdasági és társadalmi célkitűzéseket. Állami szerepvállalással viszont elérhetők a kívánt külső gazdasági hatások, közgazdasági nyelven pozitív externáliák, mint például a versenyképesség javulása, a területi ellátottsági egyenlőtlenségek felszámolása.

Bodnárné Sándor Renáta, Garamvölgyi Ernő és Mártha Péter „Green IT, avagy szórakoztató-elektronikai és IT eszközök használata a környezettudatosság szemszögéből” című cikke arról számol be, hogy a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány Logisztikai és Gyártástechnikai Intézete a GREEN_IT projekt keretében célul tűzte ki a társadalom vásárlási és felhasználási szokásainak vizsgálatát, valamint az energetikai és környezeti szempontú információterjesztést. Fon-

tos elvárás, hogy az otthoni és irodai informatikai eszközök beszerzésekor az ár mellett az üzemeltetési költség, valamint az energiafogyasztás is érvényesüljenek.

Az adatközpontok üzemeltetési költségének jelentős és egyre növekvő részét teszi ki az energiafogyasztás, emiatt az adatközpontok energiahatékonysága kiemelt figyelmet kapott mind az akadémiai, mind az ipari kutatási közösségekben. *Gyarmati László és Trinh Anh Tuan* „Scafida: egy energiahatékony adatközpont-struktúra” című cikkükben egy új, skálázható és flexibilis adatközpont-struktúrát (Scafida) javasolnak, ami a skálafüggetlen hálózatok alapján épül fel és megvizsgálják energiafogyasztását, összehasonlítva a jelenleg alkalmazott adatközpont-struktúrákéval.

Babarczi Péter, Tanai Ferenc, Csikor Levente, Tapolcai János és Heszberger Zalán „Útvonalválasztás kiselletés-toleráns hálózatokban” cikke olyan hálózatokkal foglalkozik, amelyekben az idő jelentős részében nem áll rendelkezésre végponttól végpontig terjedő útvonal a forrás és a célcsonópont között. Ilyen hálózatok körébe tartoznak többek között egyes szenzorhálózatok, mobil járműhálózatok, vagy akár a katonai célra alkalmazott hálózatok. Az ilyen környezetben az útvonalválasztás nagy kihívás, hiszen a hagyományos technikák jellemzően stabil, folyamatosan rendelkezésre álló végponttól végpontig terjedő útvonalak keresésére alkalmasak.

Korábbi számunkban már helyt adtunk a Debreceni Egyetem Informatikai Karának Információ Technológia Tanszéke által kezdeményezett szoftverfejlesztői közösség létrehozásáról, működéséről és első eredményeiről. Most *Bátfai Norbert és szerzőtársai* a labdarúgás szimulációjával foglalkozó szeminárium munkájáról számolnak be.

Székely Vladimir és szerzőtársai „Statikus TIM teszter tervezése” a termikus interfész anyagok (Thermal Interface Materials – TIMs) termikus pa-

ramétereinek meghatározásával foglalkozik, olyan problémával, amely már több évtizede komoly kihívást jelent, és napjainkban továbbra is bonyolult feladat ezen tulajdonságok pontos meghatározása, mivel a mérendő hőellenállás értékek egyre kisebbek. Cikkükben egy újfajta TIM-mérési elvet és az azon alapuló műszer fejlesztését mutatnak be.

Egyesületünk minden évben Diplomaterv-pályázatot ír ki a adott évben végzett mérnökhallgatók legjobb munkáinak díjazására. Örömmel adunk helyet két, a BME Villamosmérnöki és informatikai Karán végzett hallgató díjnyertes diplomaterve alapján készült cikknek. *Füzy Csaba* cikkének címe „Szélessávú kompleximpedancia-illesztő hálózatok tervezése és alkalmazása”, amelyben a lehetséges szélessávú impedanciaillesztő módszerek összefoglalása mellett új, főként optimalizáción alapuló tervezési módszert ad lépcsős és nem-uniform tápvonalstruktúrákra, mint szélessávú impedanciaillesztő hálózatokra. *Réti Kornél* a biztonságos elektronikus kézbesítéssel foglalkozott diplomatervében. Egyes alkalmazási területeken, mint a közigazgatás, cégeljárás, üzleti levelezés, a köznapi használatnál nagyobb biztonságra van szükség a kézbesítés terén, például arra, hogy a feladó igazolást kaphasson a levél célbaérkezéséről. A cikk azzal foglalkozik, hogyan lehet a postai tértivevényes levélhez hasonló, de annál biztonságosabb és hatékonyabb szolgáltatást elektronikusan megvalósítani és részletezi a problémára létező megoldásokat.

Végül, de nem utolsósorban egy érdekes áttekintést olvashatunk *Szalay Imre* tollából „A projektmenedzsment gyökereiről” címmel a projektmenedzsment tudományának történetéről, az egyiptomi piramisok építésétől kezdve a több, mint 50 éves múlt-ra visszatekintő modern projektervezésig, számos adattal, érdekességgel.

Szabó Csaba Attila főszerkesztő

A szélessávú infrastruktúra értéke

HORVÁTH PÁL

A HTE főtitkára
phorvath@anotel.com

Kulcsszavak: kritikus infrastruktúra, pozitív externália, jóléti veszteség, externáliák internalizálása, állami támogatás

A szélessávú hálózatok ma már közismerten magas gazdasági és társadalmi jelentősége egyaránt következménye az infrastruktúra és a hálózatos jellegnek. Infrastruktúraként a gazdasági és társadalmi folyamatok zavartalan mozgásterének biztosításával, míg hálózatként a külső gazdasági hatásai, az ún. pozitív externáliák révén fejt ki a fejlődést katalizáló hatását.

A piac és az állam történelmileg változó szereposztásában az állami szerepvállalás erősödéséhez vezet az a körülmény, hogy az externáliák miatt a társadalom számára olyan szélessávú fejlesztések is hasznot termelnek, amelyek pénzügyi szempontból nem ígérnek megtérülést. Az Európai Unió meghatározta a szélessávú infrastruktúra fejlesztés állami támogatásának feltételeit.

A szélessáv fejlődést katalizáló hatása egyaránt függ a szélessávot hasznosító környezet állapotától (befogadó képességétől) és a fejlesztés elégséges mértékétől.

1. Az infrastruktúra fogalma

A távközlési szakmát művelve nem kerülhetjük el a távközlés infrastruktúrális és hálózatos jellegének a vizsgálatát. Értelmeznünk kell az infrastruktúra fogalmát és vizsgálnunk kell, hogy mi következik a távközlési infrastruktúra hálózatos jellegéből.

Az „infrastruktúra” etimológiai szempontból szóösszetételnek számít és azt a struktúra alatti („infra”) struktúrát jelenti, amelynek a léte és működése szükséges ahhoz, hogy a „felépítményi” struktúra megfelelően működjék. Az infrastruktúra tehát relativisztikus jellemzőket hordoz, amennyiben bármely felépítménynek tekintett struktúra a vizsgált rendszer építkezésének szintjeit tekintve egy felette lévő felépítmény szempontjából alépítménynek és ezzel infrastruktúrának minősül. Semmi sem példázza ezt jobban, mint az OSI hétrétegű infrastruktúra modellje.

A fogalom korszerű meghatározása szerint az infrastruktúra a nemzeti vagyonnak az a meghatározott része, amely közvetlenül sem az anyagi javak előállítását, sem azok elfogyasztását nem szolgálja és amely a gazdasági fejlettség adott szintjén, a mindenkori technikai fejlettségnek megfelelően a termelés-elosztás-fogyasztás és társadalmi folyamatok zavartalan mozgásterét biztosítja.

1.1. A fogalom történelmi evolúciója

Az infrastruktúra fogalma a közhasználatban nem régi, az angol nyelvben is csak alig nyolcvan éves múlt-ra tekinthet vissza, bár a katonai terminológiában, elsősorban francia nyelvterületen már korábban is használták. A fogalom értelmezése az évtizedek során erősen

strukturálódott és az értelmezés hangsúlya is változott. A kapitalizmus vagy más néven piacgazdaság olyan gazdasági rendszer, amelyben a közjóságoknak csak a lehető legszűkebb körre vonatkozóan adnak szerepet. Mivel a termelési tényezők többségében magántulajdonban vannak, és ezeket hasznosítás céljából működtetik, a megtermelt javak és/vagy szolgáltatások elosztását többségében a szabad piac határozza meg. Az ilyen módon megvalósított verseny állandósította a társadalmi instabilitást, ami fokozatosan a közjóságok szerepének felértékelődését hozta magával – fontos lett a gondoskodás, az egyéni létbiztonság közösségi oldalról történő támogatása. A közjóság fogalma a XX. század közgazdaságtanában jelent meg – az infrastruktúrát azóta közjóságnak tekintjük, azaz annak használatáról nem valamely egyén, hanem egy szűkebb vagy tágabb közösség dönt. Megjelentek az infrastruktúra-politikák, amelyek a gazdaság közösségi vonatkozásainak az erősítését célozták: az infrastruktúra az, ami összekapcsolja egymással a gazdálkodókat és összekapcsolja a hatalmat az egyes gazdálkodóval, összességében elősegíti a termelés-elosztás-fogyasztás folyamatait.

A XXI. századra kiteljesedik a gazdaság és a társadalom minden egyedének a függősége a gazdasági és társadalmi mozgásokat támogató infrastruktúrától, mint támogató rendszerektől, megerősödik az infrastruktúrák közjóság és termelési tényező jellege és az infrastruktúra nevű közjóság a társadalmi együttműködésbe és munkamegosztásba való bekapcsolódás alapfeltételévé válik. Különösen igaz ez a tétel a távközlési infrastruktúrára, amely a gazdasági és a társadalmi folyamatok működéséhez szükséges információ eljuttatása révén valamennyi gazdasági és társadalmi folyamat nélkülözhetetlen feltételévé nőtte ki magát.

Tehát a korszerű gazdasági-társadalmi viszonyok nem jöhetnek létre a termelés-elosztás-fogyasztás gazdasági folyamatai és a társadalmi folyamatok zavartalan mozgásterét megfelelő szinten biztosítani képes infrastruktúrák, ezen belül az információt, mint a folyamatok szervezőerejét hordozó infokommunikációs infrastruktúrák nélkül.

Társadalmi és gazdasági folyamatokban betöltött szerepük miatt az infrastruktúrák meghatározott része kritikus infrastruktúrának¹ minősül, amennyiben az infrastruktúrát alkotó hálózatok, rendszerek vagy eszközök működésének meghibásodása, megzavarása, kiesése vagy megsemmisítése, közvetlenül vagy közvetetten, átmenetileg vagy hosszútávon súlyos hatást gyakorolhat az állampolgárok gazdasági, szociális jólétére, a közegészségre, közbiztonságra, a nemzetbiztonságra, a nemzetgazdaság és a kormányzat működésére. Az infokommunikációs, ezen belül a távközlési infrastruktúrák a kritikus infrastruktúrák közé tartoznak és jelentőségüket kiemeli az a tény, hogy minden más kritikus infrastruktúra tartalmaz támogató szerepű kritikus információs infrastruktúrát is.

1.2. A piac és az állam szerepe

Igen érdekes lehet – de mélységében a cikk kereteit messze meghaladja – az infrastruktúrák tulajdonviszonyainak a vizsgálata. Az elmúlt másfél évszázad során a domináns tulajdonviszonyok időről-időre változtak: például a vasút, távíró, telefon, elektromos áram a XIX. században magánbefektetők tulajdonaként kezdett elterjedni. Majd hosszú évtizedekre a magánbefektetők helyébe lépett az állam mind az eszközök, mind a szolgáltatási monopóliumok tulajdonosaként, hogy ezt követően – döntően az utóbbi harminc évben – az állam részben vagy egészen kivonuljon ezen és más (víz, gáz, csatorna, elektromos áram) területekről.

Az újra-magánosítás két-három évtizedes tapasztalatainak a külföldi szakirodalomban megtalálható feldolgozása² a társadalmi érdek számos sérelmét – infrastruktúrák leromlása, szabályozási hibák, tőke kivonás, fejlesztése elmaradása – mutatja ki és a tapasztalatok felhasználásával új szabályozási megközelítések láttak napvilágot. A társadalmi érdek felsorolt sérelmei egyes privatizált hazai infrastruktúrák, köztük a távközlési infrastruktúra esetén is azonosíthatók. Indokolt a kialakult helyzet elemzése és korrekciós stratégia kidolgozása.

A piac valójában csak a privatizációkor koncessziós szerződésekben foglalt kötelezettségeket, továbbá az alkukban kialakított szabályozási követelményeket teljesíti, és saját döntései alapján csak befektetői profitelvárásokat kielégítő igények kiszolgálását oldja meg. A közel húsz évvel ezelőtt kötött távközlési koncessziós szerződések nem foglalkoztak a szélessávú távközléssel, ezért erre vonatkozó követelményeket nem tartalmaztak. A privatizált távközlési vállalatokkal szemben a szélessávú infrastruktúra fejlesztésében megjelelő társadal-

mi érdek csak szabályozással vagy a tulajdonosi viselkedés más eszközzel történő motiválásával érhető el.

Mivel az infrastruktúrák közgazdasági tulajdonságai miatt az infrastruktúrákkal kapcsolatos társadalmi igények általában meghaladják a profitelvárásokat kielégítő igények körét, önmagában a piac nem fogja kielégíteni a jogos társadalmi igények azon részét, amelynek a kielégítését sem a koncessziós szerződések, sem a szabályozás nem követeli meg. Minél később történik meg a privatizációs és szabályozási hibák felismerése és korrekciója, annál nagyobb infrastrukturális elégtelenségek halmozódnak fel és annál nagyobb lesz a helyreállítás anyagi, politikai és szabályozási terhe. Korunkban ismét nagyobb szerepet kap az állam, azonban nem csupán a tulajdonosi pozícióban – a korszerű államnak számos közpolitikai eszköz áll rendelkezésére az infrastruktúrák fejlesztésének az előmozdítására. Az infrastruktúrák nemzetgazdasági jelentősége és közgazdasági sajátosságai nagy tudományos figyelmet kapnak, ezért az infrastruktúra-politikáért felelős döntéshozók ma már a korábbiaknál alaposabb közgazdasági megalapozottsággal és kifinomultabb jogi technikákkal elvileg elkerülhetik a közelmúltban rossz privatizációkkal, a közösség számára hátrányos közösségi-magán együttműködési (PPP) konstrukciókkal, vagy elhibázott állami támogatásokkal létrehozott infrastruktúrákkal előállított csapdahelyzeteket. Az igazi kihívást azonban nem az újabb privatizációs, koncessziós vagy PPP ballépések elkerülése jelenti, hanem a hibás privatizációk, koncessziósztatások és PPP konstrukciók korrekciója.

Bár a hazai elemzések még vártnak magukra, a távközlési infrastruktúra vonatkozásában az már bizonyosan kijelenthető, hogy megalapozatlanok voltak a piaci liberalizáció korszakában hangoztatott azon nézetek, melyek szerint a piac minden fejlesztési problémát megold. A korábbi elvárások megalapozatlansága különösen megmutatkozik a magas beruházási igényű, magas elnyelt költség szintet és lassú megtérülést mutató új generációs szélessávú infrastruktúrák terén. A nemzetközi kitekintés azt mutatja, hogy csak kormányzati kezdeményezésre és irányítással, nagy kormányzati prioritással, komoly szakmai és pénzügyi erőforrásokkal megvalósított, átfogó tervekre épített, a kormányzati és a piaci erők összefogására épített nemzeti fejlesztési programok alkalmasak a szélessávú infrastruktúrák és alkalmazások fejlesztését az országok gazdasági-társadalmi fejlődésének meghatározó hajtóerejévé tenni.

2. A szélessávú infrastruktúra hazai helyzetének egyes jellemzői

Magyarország szélessávú ellátottsága jóval az EU 27-ek átlaga alatt van. A mai vezetékes szélessávú elérési hálózatok döntően az eredetileg más (vezetékes telefon vagy kábeltévé) célra épített hálózatok továbbfejlesztésével álltak elő, magukban hordozva az eredeti célból

¹ A kritikus infrastruktúrák hazai meghatározását és listáját a 2080/2008. számú Kormányhatározat tartalmazza

² Dieter Helm: *Utility regulation, the RAB and the cost of capital*, University of Oxford, May 6th 2009

fakadó korlátaikat (xDSL, DOCSIS) és inkább a múlt hálózatos hagyatékra és szerszerű továbbhasznosításának, mintsem a jövő feltételének tekinthetők. A szolgáltatási innovációt és a szolgáltatás minőségét támogató, úgynevezett új generációs, alapvetően optikai alapú hálózatok építése alig történik Magyarországon, ezen a területen növekszik a lemaradásunk. Mivel egyes EU tagországok NGA ellátási feltételeinek a modellezése³ azt mutatja, hogy az új generációs elérési hálózatok terén a piac csak a háztartások egy kis részének a bekapcsolását fogja finanszírozni, az állami szerepvállalás a vizsgált országokban is és Magyarországon is elkerülhetetlen.

A szélessávú távolsági hálózatok továbbfejlesztése már hosszú ideje lényegében a sok éve létesített optikai szálkapacitás hatékonyabb kihasználására korlátozódik, következésképp az országnak nincs optikai szálban gazdag, a távolsági sötétszál-piacon kínálatot teremtő, a távolsági szélessávú piacon új piaci szereplők megjelenését és a piaci verseny erősítését lehetővé tevő hálózata. Mivel nem várható, hogy piaci szereplők ezen a téren érdemi változást hozzanak az elkövetkező években, az állam szerepvállalása elkerülhetetlen.

Az ország igen sok települését egyáltalán nem éri el optikai távolsági hálózat, a települések egy másik kategóriáját csak egy optikai hálózat éri el, értelemszerűen a verseny lehetőségeinek a kizárásával – a települések és térségek gazdasági és társadalmi leszakadásának az elkerülése érdekében az állam szerepvállalása ezen a területen is elkerülhetetlen.

A mobil Internet elérési szolgáltatások igen gyors terjedése sokszorosára növelte a mobil bázisállomások kiszolgálásához szükséges sáv szélesség-igényt. A mobil hálózatok sáv szélesség-igényének a kiszolgálásához gyorsan növekvő kapacitású és konnektivitású optikai hálózatokra van szükség. A mobil hálózatokban egyre inkább csak a bázisállomás – készülék szakaszon marad vezeték nélküli az átvitel, a mobil hálózati csomópontok közti sáv szélesség-igény mindinkább optikai átviteli utakat kíván. A mind helyi, mind távolsági vonatkozásban elégtelen és stagnáló sötét szál kínálat egyaránt visszafogja és drágítja a szélessávú mobil szolgáltatások nyújtására alkalmas mobil hálózatok fejlesztését.

Az állam szélessávú hálózatfejlesztési szerepvállalása több téren tehát elkerülhetetlen, azonban a belső és külső gazdasági hatások összességén keresztül a szakszerűen megvalósított állami támogatások jól megterülő befektetésnek minősülnek.

3. Az externáliák természete és megjelenése a szélessávú távközlésben

Externáliáról vagy külső gazdasági hatásról akkor beszélünk, ha egy gazdasági szereplő tevékenysége piaci ellentételezés nélkül befolyásolja egy másik piaci szereplő helyzetét, azaz egy piaci adásvétel esetében

externáliának vagy külső gazdasági hatásnak nevezzük az adott ügyleten kívülálló szereplő(k) környezetét befolyásoló, nem szándékolt hatásokat.

- **Pozitív externália** esetén a külső hatás által befolyásolt személy számára az externália *kedvezően* befolyásolja a környezetét.
- **Negatív externália** esetén a külső hatás által befolyásolt személy számára az externália *hátrányosan* befolyásolja a környezetét.

A közgazdaság szokásos fogalomrendszerében az externáliák léte a piaci kudarcok egyik legsúlyosabb formája. A klasszikus közgazdaság fogalmkörében gondolkodva a külső gazdasági hatások minimalizálását tekinthetnénk célnak. A jóléti közgazdaságtan (welfare economy) ugyanakkor az egyéni és a társadalmi hasznok és költségek eltéréseiből fakadó jóléti veszteségeket a külső hatások belsővé tételével (internalizálásával), azaz az ügylet résztvevői számára gazdaságilag érzékelhetővé tételével igyekszik megszüntetni. Ez a megközelítés a pozitív externáliák esetén célnak nem azok megszüntetését, hanem a hasznosításba bevonását tekintti (ezzel egyébként megszűnnek externália lenni, de hasznosulnak). A jóléti közgazdaságtan megközelítését használva alapvetően új felismerésekhez vezetett a távközlés, ezen belül pedig különösen a mobil és a vezeték nélküli szélessávú távközlés igen magas pozitív externália-tartalma: a szélessávú infrastruktúrák hasznosságát nem csak az infrastruktúrák létesítésébe történő tőkebefektetés profitjával (a belső haszonnal), hanem a gazdasági és társadalmi folyamatokat katalizáló, ezáltal többlet-hasznot előállító pozitív hatások hasznáival (a külső haszonnal) együtt kell tekinteni és ennek megfelelően támogatni. A „megéri, vagy nem éri meg a szélessávú fejlesztésbe befektetni” dilemma egészen más megoldást nyer a befektetői profitelvárás és a társadalmi haszonmaximalizálás szempontjai szerint.

Pozitív externáliák esetén a piaci alapon megvalósuló kereslet-kínálati egyensúlyi helyzet kisebb kibocsátott mennyiség mellett áll elő, mint a társadalmi szükségletnek megfelelő kereslet-kínálati egyensúlyi helyzet – bekövetkezik az elégtelen kibocsátás miatti *jóléti veszteség*. A jóléti veszteség a társadalmi igény kielégítésével szüntethető meg.

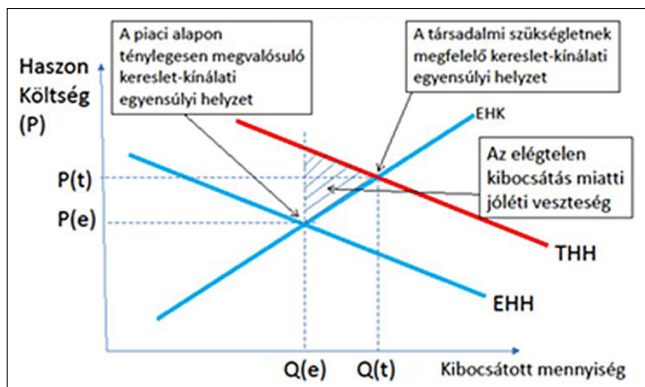
A jóléti közgazdaságtan **egyénnek** tekinti a gazdasági tranzakciók résztvevőit, a **társadalom** együttesen jelenti a tranzakció résztvevőit és a tranzakció hatásait élvező vagy elszennvedő környezetet, továbbá a haszon- és költségfüggvények deriváltjait, azaz a **határhaszon** és **határköltség** függvényeket vizsgálja.

Az **egyéni határhaszon** és az **egyéni határköltség** az egyénnél, mint termelőnél vagy fogyasztónál egyéni termék vagy szolgáltatás termelésével vagy fogyasztásával előálló haszon- vagy költségváltozás.

³ The Economics of Next Generation Access – Executive Summary, WIK-Consult GmbH, Germany, Bad Honnef, September 10, 2008

A **társadalmi határhaszon** (THH, vagy MSB: *Marginal Social Benefit*) egy termék vagy szolgáltatás egy egységének előállításával vagy fogyasztásával járó összes (azaz a külső hatásokat is tekintetbe vevő) hasznváltozás (többség-haszon).

A **társadalmi határköltség** (THK, vagy MSC: *Marginal Social Cost*) egy termék vagy szolgáltatás egy egységének előállításával vagy fogyasztásával járó összes költségváltozás (többség-költség).



A jóléti veszteség kimutatása pozitív externália esetén

A szélessávú infrastruktúra fejlesztésében előálló csapdahelyzet oka az a kettősség, amely szerint az externáliák pozitívak, azonban az új generációs hálózatok belső megtérülési jellemzői a befektetési alternatívákhoz képest igen gyengék (magas egyszeri költség, lassú megtérülés), a megtérülési jellemzők a korábbi szélessávú megoldásokhoz képest romlanak, a befektetők igényt tartanak⁴ a megtérülést nem kockáztató szabályozásra.

Az erőforrások társadalmi szintű elosztása akkor hatékony, ha a társadalmi határhaszon megegyezik a társadalmi határköltséggel, azaz $THH = THK$.

A valóságban a piac az egyéni termelői és fogyasztói döntések szerint működik, emiatt

- $Q(e) = Q(\text{piac}) < Q(t)$, azaz a piac a társadalom számára szükséges mennyiségnél kevesebbet állít elő. A $Q(t) - Q(\text{piac})$ mennyiség a társadalom számára többet ér, mint amennyiért a termelők ezt a mennyiséget hajlandók lennének előállítani.

- A tökéletes verseny túl kevés erőforrást juttat a pozitív külső hatással rendelkező gazdasági tevékenységnek.

A távközlés nyelvére lefordítva az ábrán bemutatott jelenség azt jelenti, hogy a piaci szereplő nem építi meg az elvárt pénzügyi megtérülést nem garantáló hálózatot, még akkor sem, ha a hálózat a hasznosításának külső (társadalmi és gazdasági) hatásaival együtt a megtérüléshez elegendő hasznot állítana elő. A piaci szereplő döntése az ő egyéni szempontjából észszerű, mivel a külső hasznok nem nála csapódnak le, az ő befektetésének a megtérülését közvetlenül nem érintik. Követ-

kezésképp nem épül meg a hálózat abban az esetben, ha magas az építés fajlagos költsége (például családi házas terület), vagy alacsony az elérhető átlagos havi árbevétel, vagy a kettő együttese, miközben a társadalmi hasznok összege elérheti, vagy meghaladhatja a befektetés összegét. Az elégtelen kibocsátás, azaz a vizsgált esetben a nem megépített szélessávú hálózat miatti jóléti veszteség egyszerű analitikus számítására nem ismertek módszerek. Ugyanakkor számos külföldi elemzés empirikus módszerekkel bizonyította a szélessávú infrastruktúrák gazdasági katalizációs hatásának a létét és mértékét. Ennek példáit a későbbiekben bemutatjuk.

3.1. Magas externália-vonzattal jellemezhető ügyletek

Jelentős externáliáról⁵ beszélünk, ha egy gazdasági tevékenységhez kapcsolódó extern hatás nagyobb, mint magának a tevékenységnek a hatása. A pozitív hálózati externáliák összességükben jelentős externáliának minősülnek. A hálózati externáliák egyben diffúz externáliának is minősülnek, mert a teljes extern hatásnak csak egy töredéke esik egy-egy passzív (az ügyletben nem résztvevő) érintettre. Társadalmi szinten azonban a viszonylag nagyszámú, de kismértékű haszon, összeadódva jelentősen növelheti a passzív érintettek jólétét és a teljes jóléti nyereség meghaladhatja – és ésszerű fejlesztések esetén meg is haladja – a szélessávú szolgáltatónál elért jóléti nyereséget. A pozitív hálózati externáliák paradoxonja az a tény, hogy egy pénzügyileg veszteséges, de hatékony működésű szélessávú szolgáltató is előállíthat annyi externális társadalmi hasznot, hogy összességében a vállalkozás a belső és a külső hasznok összességében pozitív haszontermelőnek minősülhet – az ilyen esetek szükségessé tehetik a vállalkozás működési feltételeinek szabályozási vagy pénzügyi eszközökkel támogatását annak érdekében, hogy a vállalkozás képes legyen folyamatosan működni és előállítani a társadalmi hasznot. A folyamatos működés feltétele az elégséges egyéni haszon elérése.

3.2. Az externáliák internalizálási technikai szélessávú infrastruktúrák esetén

A jóléti közgazdaságtan az externáliák internalizálásában keresi az általuk okozott piachiba feloldását. Ezen megközelítés szerint a társadalmi optimum eléréséhez a külső hatások belsővé tételére (internalizálására) van szükség. A járulékos költségeket és hasznokat a belső szereplők számára érzékelhetővé kell tenni. Ekkor a társadalmi és egyéni hasznok és költségek megegyeznek.

⁴ Lásd az EC NGA Ajánlásával kapcsolatos, immár évek óta zajló alkudozás folyamatát és hajtóerőit.

Az EC folyamatosan azt a megoldást keresi, amely lehetővé teszi új monopóliumok keletkezésének az elkerülését, és egyben elfogadható a befektetői érdekek szempontjából is.

⁵ Az externália új dimenziói;

Tóth I. János, a filozófiai tudományok kandidátusa, habilitált docens, Szegedi Tudományegyetem, Filozófia Tanszék

A közgazdaságtudomány két alapvető internalizálási iskolát ismer:

- **Coase elmélete** a szabályozást és a tulajdoni viszonyok megváltoztatását (beleértve a megegyezésre kész tulajdonosok preferálását, vagy akár a részleges vagy teljes államosítást is) tekinti eszköznek, míg
- **Pigou** az adók (negatív externáliák esetén) és/vagy támogatások (pozitív externáliák esetén) eszközét tekinti célszerű megoldásnak.

A külső hatások belsővé tételének több módja van. Az állam olyan externáliák esetén avatkozhat be hatáson, amelyek nagy terjedelműek, sok embert érintenek. Adót kell kivetni a visszaszorítani kívánt negatív externáliák forrástevékenységére (pl. környezetszennyező termelés), az ösztönözni szándékolt pozitív externáliák forrástevékenységét pedig támogatni kell.

A klasszikus megközelítés szerint a szélessávú hálózatot építeni szándékozó vállalkozó akkor lesz érdekelt a profitelvárást nem teljesítő hálózat kiépítésére, ha az állam kipótolja a profithiányát (profitability gap) vagy más kedvezmények révén biztosítja a vállalkozó profitelvárását.

Valamely támogatás akkor minősül állami támogatásnak, ha a következő kritériumok együttesen teljesülnek:

- tagállam nyújtja, vagy állami forrásból nyújtott;
- gazdasági előnyt ad a kedvezményezettnek;
- szelektív hatású, azaz érvényesül
„bizonyos vállalkozásoknak vagy bizonyos áruk termelésének előnyben részesítése”;
- a verseny torzítását okozza, vagy a verseny torzításának a kockázatával jár;
- hatást gyakorol a tagállamok közti kereskedelemre.

4. Az állami szerepvállalás feltételei

4.1. Az EU állami támogatással kapcsolatos politikájának alapelemei

Az EU állami támogatásokkal (state aid) kapcsolatos politikája Pigou-t követi és jelentős elmozdulást mutat a támogatások elismerése, sőt bátorítása irányában, miközben fenntartja az államok bejelentési kötelezettségét és az EC mérleget és hozzájárulási jogát. Az EC állami támogatásokra vonatkozó Iránymutatása⁶ az állami támogatások nyolc formáját értelmezi.

Az Iránymutatás külön és egymástól jól megkülönböztetett módon kezeli az alapszintű és az új generációs hálózati fejlesztések állami támogatásának szabályait. Az Iránymutatás bevezeti az úgynevezett fehér, szürke és fekete térségek fogalmát – a fogalmakkal jellemzi a területek szélessávú infrastruktúrával ellátottságának szintjét, és ezzel összefüggésben az infrastruktúra kié-

pítése állami támogatásának a megengedhetőségét (fehér), annak tilalmát (fekete), vagy a többszörös mérleget szükségességét (szürke).

Amennyiben egy fejlesztési projekt állami támogatásban részesül, akkor a létrehozott hálózat az EU szabályai szerint csak nyílt hálózati elven hasznosítható.

4.2. Közjavak és magánjavak

A jóléti veszteség elkerülésének egyik megközelítése szerint az állam is és a társadalom is jobban jár, ha bizonyos jószágokat nem tesz ki profitelvárásoknak, vagy a profitelvárást alacsony szinten tartani képes. Ezek a jószágok a közjavak.

A **magánjavakra** jellemző, hogy a fogyasztók között rivalizálás van a fogyasztásban, s megvalósítható a fogyasztók bizonyos részének kizárása. A magánjavakat piacon, pénzért lehet megszerezni, a kínálatot egyéni termelők biztosítják. Magánjavak esetén a fogyasztó pontosan azonosítható. Magánjavak lényegében a hagyományos piaci áruk.

A **tiszta közjavak** ezzel szemben azok a jószágok, amelyek fogyasztásából nem zárható ki senki, s amelyek egyének általi fogyasztása nem csökkenti a többiek rendelkezésére álló készletet, azaz nincs rivalizálás a fogyasztók között. A közjavak fogyasztásában a kollektív fogyasztás a jellemző, azaz egyidejűleg többen is fogyaszthatják ugyanazon szolgáltatást. A fogyasztásból nincs kizárási lehetőség.

A **vegyes javak** azok a jószágok, amelyek esetén az egyéni fogyasztás érzékelhetően nem csökkenti a rendelkezésre álló készletet, de bizonyos személyek kizárhatók belőle (pl. Internet szolgáltatás, kábeltévé-hálózat).

A **közjavak és a vegyes javak** általában olyan jószágok és szolgáltatások, amelyek a mindennapi élet és a termelés normális működéséhez elengedhetetlenül szükségesek. Megfelelő kínálatuk biztosítása valamilyen állami szerepvállalás nélkül, tisztán piaci mechanizmuson keresztül nem megoldott. A közjavak igen költségesek (autópálya, víz-, gáz-, szennyvíz-közmű, szélessávú infrastruktúra stb.), jellemzőjük a fix költségek magas aránya és a hosszú megtérülési idő.

A szélessávú szolgáltatások a vegyes javak csoportjába tartoznak és jellemző rájuk a szolgáltatások területileg elégtelen kínálata, mert a magas költségek vagy az ügyfelek korlátozott fizetőképessége miatt alacsony bevételek okán a vállalkozó nem épít hálózatot és nem szolgáltat magas költségekkel vagy alacsony fizetőképességű ügyfelekkel jellemzett térségekben. Ezekben az esetekben a társadalmi és térségi egyenlőtlenségek feloldásához elkerülhetetlen az állam szerepvállalása.

⁶ Közösségi iránymutatás az állami támogatásra vonatkozó szabályoknak a szélessávú hálózatok mielőbbi kiépítésére való alkalmazásáról – EGT-vonatkozású szöveg (2009/C 235/04)

4.3. A térségek gazdáinak szerepe

Világszerte jellemző trenddé vált, hogy a térségek gazdái (nemzeti vagy tartományi kormányok, települési önkormányzatok vagy azok szövetségei) – felismerve a szélessávú hálózati ellátásban a fentiekben ismertetett közgazdasági okokból előálló hiányosságokat a maguk kezébe veszik a megoldás keresését és a fejlesztés irányítását – erre számos, köztük több követendő példa hozható. A térségek gazdái olyan hálózatokban érdekeltek, amelyek a legkisebb létesítési és működtetési költségek mellett eredményeznek jövőálló infrastruktúrát, erős piaci versenyt és erős fogyasztói pozíciót.

Az ésszerű infrastruktúra-politika a **társadalmi hasznok maximalizálásából** indul ki és ehhez a célhoz keresi az alkalmas finanszírozási, létesítési és hasznosítási modelleket. Az erőforrásokat rosszul hasznosító infrastruktúra alapú verseny modellje helyett gyorsan nyernek teret az új generációs hálózatok közgazdasági jellemzőihez sokkal jobban illeszkedő nyílt hálózati hozzáférésű modellek, amelyek alkalmasak a társadalmi hasznok maximalizálását célzó kormányzati vagy önkormányzati célok megvalósítására – ennek igazolására nemzetközi példák sora áll rendelkezésre.

A legkisebb létesítési és működtetési költséget akkor lehet elérni, ha nem saját hálózatot épít magának minden egyes piaci szereplő, hanem egyetlen hálózat jön létre és azon valósul meg az intenzív piaci verseny. Ebben az esetben a szolgáltatások díjában egyetlen infrastruktúra létesítési és működtetési költségeit kell az előfizetőkkel téríteni. Tehát az ismertetett közgazdasági csapdahelyzetek elkerülését egy olyan hálózatos modell teszi lehetővé, amely egyetlen „jövőálló”, újgenerációs hálózat létrehozásával valódi versenypiacot és ezzel erős fogyasztói pozíciót állít elő. Egy infrastruktúrán (hálózaton) úgy lehet a szolgáltatók közti versenyhelyzetet és ezzel erős fogyasztói pozíciót előállítani, ha a hálózat erőforrásai minden, a területen szolgáltatást nyújtani szándékozó piaci szereplő számára azonos feltételekkel állnak rendelkezésre. Az ilyen módon hasznosított hálózatot nyílt hozzáférésű hálózatnak nevezzük. A nyílt hozzáférésű hálózat üzemeltetésével és a hálózat aktív és passzív nagykereskedelmi szolgáltatásainak nyújtásával megbízott vállalkozás általában nem szereplője a kiskereskedelmi piacnak. Az állami támogatások felhasználásával létrehozott hálózatok nyílt hozzáférésű hálózatként történő hasznosítása alapkövetelmény az EC állami támogatásokat engedélyező szervezeti egysége, a Versenypolitikai Főigazgatóság részéről.

5. Az infrastruktúra értéke

A termelő szempontjából a kérdés egyszerűen megválaszolható: az infrastruktúra értéke megegyezik az infrastruktúra létrehozásának vagy megszerzésének és működtetésének költségeiből és bevételeiből számított jövőbeli szabad pénzfolyamok jelenértékével. Ez a vállalatértékelésben elterjedten használt DCF (*Discounted*

Cash Flow) módszer lényege. Az érték akkor nő, ha a hasznosító kisebb beruházási és működési költségek mellett nagyobb bevételeket képes elérni. A legnagyobb infrastruktúra értéket elismerő és az infrastruktúra hasznosítási jogáért a legtöbbet fizetni kész vállalkozó bizonyosan a szabad pénzfolyamai maximalizálására törekszik és projektértékelési rendszerében bizonyosan elvet minden olyan fejlesztési és szolgáltatási lehetőséget, amelynek a profittartalma az elvárásai alatt marad még akkor is, ha ezzel akadályozza a szélessáv használatára épülő lakossági, üzleti, vagy akár kormányzati alkalmazások terjedését, és azok hasznainak a lakosságnál vagy a gazdaságban történő megjelenését, azaz jóléti veszteséget okoz.

Egy infrastruktúrahasonosítási modellt tekintve bizonyos, hogy a konzervatívan számító vállalkozó nem jár rosszul, ha vállalkozói kockázatait is tekintetbe vevő DCF értéken megvásárolja az infrastruktúra hasznosítási jogát (vagy az infrastruktúra építés és hasznosítás koncessziós jogát). Feltételezve, hogy a vállalkozó a szakterületén felkészült és hatékony működésű, akkor azt kell elérnie a nálánál feltehetőleg kevésbé tájékozott állammal (annak képviselőjével) szemben, hogy vételi (koncessziós), valamint a fejlesztési és működtetési költségei ne legyenek magasabbak, bevételei pedig ne legyenek alacsonyabbak, mint az eladó által elfogadott DCF érték-megállapításban ugyanezekre a tételekre vonatkozó értékek.

Mivel a szélessávú infrastruktúra fentiek szerint számított értéke a pozitív extern hatások elhanyagolása miatt bizonyosan kisebb, mint a térség gazdái szempontjából, a külső hatások számbavételével számítható érték, az állam vagy önkormányzat számára megtérülő befektetésnek minősülhet a szélessávú infrastruktúra megépítése és a fenti elven történő hasznosítási koncesszióba adása – különösen, ha visszatápláló (claw back) követelményt is rögzít a koncessziós szerződés. Ebben az összefüggésben válnak érthetővé Stockholm városának, valamint a svéd államnak a város, illetve az ország szélessávú infrastruktúrájának a létrehozására hozott döntései – itt nem koncesszióba, hanem bérbe adják a hálózatok erőforrásait. A svéd döntés nem a város vagy az ország gazdagságából, hanem józan üzleti megfontolásból történik. A gazdagság Svédországban nem az idézett megfontolások és döntések oka, hanem következménye.

5.1. Infrastruktúra-koncessziós játszmák

A közösségi források felhasználásával létrehozott szélessávú infrastruktúrák hasznosításának egyik jellemző megoldása a hálózat hasznosítási koncesszióba adása. Az infrastruktúra-hasznosítási koncessziók értékesítése mindig egy információs és kockázatkezelési játszmát eredményez az eladó és a vevő között, ahol a leggyakrabban mindkét téren az állam vagy önkormányzat, mint eladó a gyengébb pozíciójú fél. Az a tény, hogy a játszmának ki a nyertese, csak évek múltán derül ki. Kifinomult szerződéses technikák állnak rendelkezésre annak a kivédésére, ha a vevő túlzott anyagi előnyre ten-

ne szert, azaz profitja jóval meghaladja azt a szintet, amelyet az értékszámítás során terveztek. Ebben az esetben léphetnek életbe a szerződés úgynevezett visszatápláló (claw back) klauzúái, amelyek a vevőt a többletprofit megosztására kényszerítik az eladóval. Természetesen számolni kell azzal, hogy a vállalkozó megtalálja a módját annak, hogy a keletkező többletet a szerződés eszköztárszeret megkerülve kivigye a cégből – ez az eladó mindig meglévő kockázata.

Tehát nem jelent elméletileg nehezen megoldható problémát annak az eldöntése, hogy a vevő jól járhat-e a koncesszió megvásárlásával. A monetarista közgazdasági értékrend szerint az eladó is jól járhat, bár neki több a kockázata az értékesítéssel, mert nem azonos szintű szakértője a szakterületnek, mint a vevő. Ellenkező esetben egyszerűen értelmetlen lenne hasznosításra átengedni a jószágot.

6. A szélessávú távközlés externáliái

6.1. Termelési és fogyasztói externália a szélessávú távközlésben

Termelési externália akkor jelentkezik, ha egy vállalat termelési lehetőségeire befolyást gyakorolnak egy másik termelő vagy a tekintett vállalat fogyasztóinak a döntései. A szélessávnak igen erős pozitív termelési externáliái vannak. A szélessáv kontextusában lényeges pozitív extern hatás a távmunka, amely a munkáltatónál irodaköltséget, a munkavállalónál utazási költséget és időt takarít meg, a természeti környezet számára pedig a közúti forgalom csökkenését, ezáltal a zaj- és légszennyezés csökkenését eredményezi. Szintén lényeges extern hatás a vállalatirányítás, illetve a vállalatközi együttműködés helytől függetlenné tétele, ezáltal a termelési egységek alacsony termelési költségeket (ingatlanárak, munkaerő költségek) eredményező térségekbe telepítése.

Különösen nagy pozitív externáliát eredményez az anyagi javak szállítását nem igénylő szellemi termelő tevékenység (K+F, szoftverfejlesztés, telemarketing, kreatív tervezés stb.) olyan térségbe telepítése, ahol jó a szélessávú ellátottság, és a kvalifikált munkaerőből főleg van. Negatív extern hatás esetén az externália forrásaként tekintett tevékenység pótlólagos költségeket vagy más hátrányokat ró az extern hatás kárvallottjára. A szélessávra nem jellemzők a negatív termelési externáliák.

Fogyasztói externáliákról akkor beszélünk, ha fogyasztási tevékenység következtében alakul ki külső gazdasági hatás. Pozitív fogyasztói externália akkor keletkezik, ha egy fogyasztónak előnye származik abból, hogy ha egy másik fogyasztó is fogyaszt. A pozitív fogyasztói externália a hálózatos tevékenységek legfontosabb fogyasztási „mellékterméke” és egyben a hálózat-hasznosság forrása: egy hálózat annál hasznosabb a használói részére, minél több használója van, ugyanis egy – egy használó emiatt több másik használóval létesíthet kapcsolatot, cserélhet információt. Éppen ez a

körülmény adja a legnagyobb előfizetőszámú szélessávú hálózat, az Internet kiemelkedő hasznosságát. Fogyasztói negatív externáliának tekinthető a személyes kapcsolatoknak az intenzív internethasználatból fakadó csökkenése, a destruktív tartalmak terjesztéséből fakadó erkölcsi romlás stb. A fogyasztói externáliákkal kapcsolatosan meg kell jegyeznünk, hogy azok gyakran erősen szubjektív jellegűek.

6.2. A szélessáv sajátos externáliái

Tekintsük át a szélessávú hálózatok és szolgáltatók sajátos externalitáit, amelyeket négy csoportba sorolhatunk:

6.2.1. Hálózati externália

A korábbiakban tett megállapításunk szerint a hálózati externália pozitív termelési külső gazdasági hatás. Két típusát különböztetjük meg: a direkt és az indirekt típusú hálózati externáliát.

A *direkt* (közvetlen) hálózati externalitás az előfizetéssel kapcsolatos:

- Minél több előfizetője van egy hálózatnak, annál hasznosabb a hálózat az előfizetők számára, mert több kapcsolatot hasznosíthatnak;

- Minél több előfizetője van egy hálózatnak egy térségben vagy egy közösségben, annál nagyobb a még nem előfizetők készítése arra, hogy előfizetővé/használóvá váljanak, jórészt azért, hogy ne szenvedjenek komparatív hátrányokat azokkal szemben, akikkel lakhelyük vagy személyes kapcsolataik révén mindennapi életükben „összeméretkezni” kénytelenek.

Az *indirekt* (közvetett) externália a hálózaton keresztül elérhető alkalmazásokkal és tartalmakkal kapcsolatos. Magasabb előfizetőszámok esetén megéri magas minőségi követelményeket kielégítő és elérhető áron forgalmazható, de nagy fejlesztési költséggel járó alkalmazásokat és tartalmakat fejleszteni, ugyanakkor az ilyen fejlett alkalmazások és tartalmak piaci megjelenése még attraktívabbá teszi a hálózat használatát, ezért az előfizetők számának gyarapodásához, a hálózati forgalom növekedéséhez vezet.

6.2.2. Vegyes, ún. prosumer (producer-consumer) típusú externália

A „*prosumer*” fogalom a termelő (producer) és a fogyasztó (consumer) angol elnevezéseinek az összevonásából állt elő és azt a fogyasztóoldali működési hatékonyságot javító, a gazdasági teljesítményt növelő szélessávú hálózati fogyasztási hatást nevezi meg, amelynek a megvalósulása során összekeverednek, elmosódnak, összevonódnak a klasszikus értelemben vett termelői és fogyasztói szerepek, mert a szélessávú hálózaton keresztül elért alkalmazások révén a fogyasztó maga is a termelési folyamat részévé válik. Az elektronikus vásárlás, a repülőgépre vagy vonatra történő helyfoglalás, adóbevallás, lakcímnnyilvántartási adatok módosítása, autópálya úthasználati díjának elektronikus megfizetése, elektronikus parkolás – mind-mind olyan alkalmazásokat takar, amelyeket a termelők kínálnak a fogyasztóknak és eredőben csökkentik mind a terme-

lők, mind a fogyasztók költségeit és növelik mindkét fél működési hatékonyságát. A prosumer típusú externalitások nem csak anyagi előnyökkel járhatnak. A telemedicina és az idősek vagy betegek otthoni távfelügyelete olyan egészségi és szociális eredményeket kínál, amelyek hasznosítása elkerülhetetlen a lakosság romló egészségi állapotát, valamint az idősek társadalmon belüli hányadának a rohamos növekedését tekintve. A gyorsan változó gazdasági környezet a szaktudás folyamatos megújítását, az élethosszig tartó tanulást igényli – ennek legfontosabb és leghatékonyabb eszköze a szélessávon megvalósított, interaktív, multimédiás távoktatás.

6.2.3. Versenyképességi externália

Michael Porter szerint⁷ egy ország gazdasága szempontjából hajtóerőnek számít, ha az ország fogyasztói a legszofisztikáltabb és a legtöbbet követelő fogyasztók közé tartoznak a világon. Egy ország innovációs potenciálja szempontjából meghatározó jelentőségű, hogy lakossága és vállalatai mennyire képesek a hétköznapi tevékenységük szerves részévé tenni az informatika és a kommunikáció legújabb vívmányait. Azok az országok, amelyek magas szélessávú penetrációt mutatnak fel, ezt a pozíciót a hazai IT-cégek gyors hazai fejlődésére és nemzetközi versenyképességére konvertálhatják. A legjobb példa erre Korea, ahol mind a szélessávú távközlési technológia, mind az online játékok, oktatási szoftverek és multimédiás fogyasztói elektronikai termékek fejlesztése és gyártása felgyorsult és világméretben is jelentős pozíciót szerzett azzal párhuzamosan, hogy a kormány egy tervszerű országos szélessávú fejlesztési programot vitt végig és Koreát a világ szélessávval legjobban ellátott országává tette. A magas szélessávú ellátottság először elérhetővé, majd a normál tevékenységi körbe beépíthetővé, később pedig nélkülözhetetlenné teheti azokat a fejlett, szélessávú hálózati megoldásokat igénylő szolgáltatásokat és alkalmazásokat, amelyeknek a hazai fejlesztői a hazai piaci gyakorlat megszerzését követően kiléphetnek a nemzetközi piacra.

Mára közhellyé vált, hogy fejlett termelési rendszerek fejlett hálózatos informatikát igényelnek. A korszerű termelési rendszerek csak olyan munkatársakat tudnak alkalmazni, akik a megfelelő szakmai ismereteken túl az IT- és kommunikációs eszközök használatát is rutin szinten elsajátították és emiatt mind a munkára, mind a szakismeretük megújítására alkalmasak. Mind a hatékony termelés, mind a felkészült munkaerő szempontjából alapvető jelentőségű az üzleti és lakossági célra egyaránt és mindenütt elérhető szélessávú hálózat.

6.2.4. Területi externália

Ismert, hogy cégek és személyek működési hellyel vagy lakóhellyel kapcsolatos döntéseinek jelentős externáliái vannak. Ha egy vállalkozás vagy egy család egy zsúfolt és drága nagyvárosi környezetbe települ, akkor

az ő betelepülésük tovább növeli a terület zsúfoltságát és növeli az ottani közösség költségeit, például a lakásárak további növekedése, a forgalmi zsúfoltság miatti időveszteségek növekedése stb. következtében (negatív externália). Ugyanez egy kis ipari és lakósűrűségű, gyengén fejlett térségben éppen ellenkezőleg, pozitív externáliát, konjunktúrát jelenthet, mert munkaalkalom, munkavállalói választékbővülés, nagyobb kiskereskedelmi kereslet, nagyobb szolgáltatási kereslet áll elő a térségben, esetleg megmaradhat az általános iskola stb. Egy kiegyensúlyozott területfejlesztési politika a túlzású nagyvárosi térségek növekedésének visszafogásával és az alulfejlett térségek fejlődésének a gyorsításával egyszerre képes enyhíteni a túltelített, drága és zsúfolt nagyvárosi térségek által elszenvedett externális veszteségeken és javítani a termelési- és életfeltételeken az elmaradott térségekben. Napjainkban már semmilyen területfejlesztési program és területi esélykiegyenlítés sem valósítható meg a szélessávú infrastruktúra kiépítése nélkül.

Területfejlesztési szempontból a szélessáv két szempontból bír jelentőséggel:

1. Az elmaradott térségek között versenyelőnyre tesz szert az a térség, amely a többiekénél előbb valósít meg egy átfogó szélessávú fejlesztési programot⁸;
2. A szélessávú infrastruktúra és a szolgáltatások hiánya visszafogja a hiánnyal jellemzett térségek fejlesztését.

Mivel a szélessávú infrastruktúra a fejlődés feltétele, azt olyan feltételek között kell megépíteni, mikor a térség fejletlensége miatt a helyi kereslet alacsony szintje nem indokolja a vállalkozói alapú hálózatfejlesztést. A vállalkozó a térség alacsony kereslete és fizetőképessége miatt nem képes elérni a befektetése megtérülését. A profithiány („profitability gap”) pótlása közösségi erőforrásokból pótolható oly módon, hogy a kormány vagy a térségi/helyi önkormányzat anyagi hozzájárulásával olyan szintűre csökken a befektető által biztosítandó tőke, amelynek a megtérülését a térség fogyasztói jellemzői is biztosítani képesek. Községi forrásból akár helyközi, akár helyi hálózat fejleszthető, az autópályák mentén rendelkezésre álló alépítményekre alapozva a kormány a távolsági szélessávú hálózati erőforrások (cső, sötét szál, sávshélesség) vállalkozói fejlesztési és használati költségeit csökkentheti jelentős mértékben, hozzájárulva ilyen módon ahhoz, hogy az így lecsökkent vállalkozói tőkeigény megtérülését elősegítse.

7. A szélessáv gazdaság-katalizációs hatásának számszerűsítése

Külső gazdasági hatásain keresztül a szélessávú távközlés a gazdasági fejlődés katalizátoraként működik, ezért fejlődő, azaz a katalizációs hatást befogadó gaz-

⁷ Michael E. Porter: *The Competitive Advantage of Nations* (New York, The Free Press, 1990)

⁸ George S. Ford, Thomas M. Koutsky: *Broadband and Economic Development – A Municipal Case Study from Florida; Applied Economic Studies, April 2005*

dasági környezetben a szélessávú kommunikáció fejlesztése számszerűsíthető gazdasági növekedés-gyorsulást eredményez. Idézzük a Világbank 2010. januári keltezésű, a fejlődő országok szélessáv-fejlesztési stratégiáival foglalkozó tanulmányának⁹ ide vonatkozó megállapításait:

- a Világban elemzése¹⁰ azt mutatják, hogy alacsony és közepes jövedelmű országokban a szélessávú állomássűrűség minden 10 százalékpontos megnövelése 1,38 százalékpontot ad hozzá a GDP növekedéshez;
- a McKinsey&Company elemzése¹¹ azt mutatja, hogy a szélessávú háztartás-penetráció 10%-os növekedése 0,1-1,4% közötti GDP-növekedést eredményez;
- a Booz&Company azt találta¹², hogy a szélessávú penetráció egy adott évben elért 10%-os növekedése 1,5%-os élők munkahelyhatékonyság-növekedést eredményez az azt követő 5 év során;
- más gazdasági elemzők¹³ is hasonló hatásokat mutattak ki.

A hatáselemzés immár klasszikus példája a szélessávú fejlesztésben részesült és azok szomszédságában szélessávú fejlesztések nélkül tovább élő floridai megyék fejlődési pályáinak az összevetése¹⁴. Hasonló elemzés Magyarországon is szükséges az elmaradott települések állami támogatással történt fejlesztési hatásainak az értékelése céljából, természetesen a katalizációs hatásokról az alábbiakban írottak figyelembe vételével.

8. A szélessáv katalizációs hatásainak érvényesülési feltételei

A szélessáv externáliái csak a külső hatások befogadására és hasznosítására képes környezetben fejtenek ki kedvező hatásukat. Igen rossz hatékonyságú teljes el látásra alkalmas új generációs optikai hálózatot építeni egy elmaradott, más okokból is fejlődésképtelen, alapvető infrastruktúráknak (út, vasút, szennyvízelvezetés, oktatás, egészségügyi ellátás) híján lévő, alacsony iskolázottságú és digitálisan írástudatlan lakossággal rendelkező térségben és attól a térség vagy település helyzetének a javulását várni. A szélessávú infrastruktúra akkor képes húzóerővel hatni a térség társadalmi és gazdasági fejlődésére, ha időben ésszerű mértékig előremutatón képes támogatni a ténylegesen felmerülő igényeket, ha egyetlen időpontban sem hat korlátozóan a fejlődésre.

Az elmaradott térségek állami támogatással megvalósuló térségi szélessávú fejlesztéseit olyan komplex térségfejlesztési programokba kell ágyazni, amelyek a térség társadalmát és gazdaságát alkalmassá teszik a szélessáv katalizációs hatásainak a befogadására. Az elmaradott térségek szélessávú fejlesztésének ezért együtt kell járnia az egyéb elmaradott infrastruktúrák fejlesztésével, a munkahelyteremtéssel és a digitális írástudatlanság felszámolására indított programokkal. Az elmaradott térségek fejlesztését két lépcsőben indokolt megoldani: az első lépcsőben az alacsony állomássűrűséget és elfogadható szolgáltatási szintet alacsony fajlagos költséggel nyújtó technológiát célszerű választani (kezdetben lehetőleg vezeték nélküli technológiát, mert az alkalmasabb a kis állomássűrűség gazdaságos kiszolgálására), majd a környezet fejlődésének mértékében azt korszerű új generációs hálózattal átfedni. Az átfedés és nem a kiváltás szükséges, mert az elmaradott térségekben még hosszú ideig fennmarad a fogyasztói igény szintek széles választéka.

A jelenlegi szélessávú technológiákkal jelentős szélessávú penetrációt elért térségekben indokoltak az új generációs fejlesztések, mert a szélessávval ellátott települések jelentős része, a társadalmi, gazdasági és infrastrukturális környezeti feltételeket tekintve kész lenne a jelenlegi hálózatok korlátain túllépve, az új generációs hálózatok képességeinek a hasznosítására. Az xDSL és a DOCSIS hálózatok egyaránt erős szolgáltatási korlátokat, de ezzel együtt természetes monopóliumjegyeket is hordoznak. Magyarország sok települését fenyegeti az új generációs csapdahelyzet, mivel a meglévő vezetékes szélessávú ellátottság visszatartja az új generációs fejlesztéseket – a hálózattulajdonosok az új generációs hálózatokba befektetések nélkül is erős piaci pozícióban vannak. A csapdahelyzet feloldására új üzleti modellek és ezeket támogató kormányzati infrastruktúra-politika szükségesek. A világ sok követhető mintát kínál.

Összegzőképpen a szélessáv katalizációs hatásaira három tételt lehet megfogalmazni.

1. tétel: a szélessáv externáliáinak, ezzel a szélessáv katalizációs hatásának a kibontakozása függ a szélessávot hasznosító környezetnek az állapotától, ezért

- Az adott környezetben fejlődési húzóerőt kifejteni képes szélessávú fejlesztés követelményeit a tényleges és a várható környezeti állapot figyelembe vételével kell meghatározni;
- A környezet „feljavítása” nélkül a szélessávú fejlesztés csak kevéssé képes hasznosulni, ezért a

⁹ Yongsoo Kim, Tim Kelly, Siddhartha Raja: *Building broadband – Strategies and policies for the developing world*; Global Information and Communication Technologies (GICT) Department, World Bank, January 2010

¹⁰ World Bank (2009) *Information and Communication for Development: Extending reach and increasing impact, especially chapter three*, available at <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTINFORMATIONANDCOMMUNICATIONANDTECHNOLOGIES/EXTIC4D/0,,menuPK:5870641~pagePK:64168427~piPK:64168435~theSitePK:5870636,00.html>

¹¹ *Mobile broadband for the masses*, McKinsey&Company, February 2009
http://www.mckinsey.com/clientservice/telecommunications/mobile_broadband.asp

¹² *Digital Highways: The Role of Government In 21st-Century Infrastructure*, Booz&Company, 2009, p.5.

¹³ A tárgyban gazdag irodalomjegyzéket tartalmaz: C. Qiang, C. Rossotto, K. Kimura: *Economic impact of broadband*, Information and Communication for Development, World Bank, 2009, pp.35–50.

¹⁴ George S. Ford, Thomas M. Koutsky: *Broadband and Economic Development, A Municipal Case Study from Florida*, Applied Economic Studies – April 2005

szélessávú fejlesztéseket komplex térségfejlesztési programok részeként javasolt megvalósítani.

2. tétel: a szélessávú fejlesztésnek el kell érnie egy mértéket ahhoz, hogy egy befogadásra képes környezetben kellően erőteljes fejlődést katalizáló hatások kifejtésére legyen képes. A fejlesztés mércéjét négy paraméterben adjuk meg:

- Szélessávú állomássűrűség;
- A végpontok átlagos garantált le- és feltöltési sebessége, a le- és feltöltési sebességek minél nagyobb szimmetriájával;
- A helyi elérési, valamint a távolsági (körzet- és gerinc-) hálózatok fejlesztésének időben és kapacitásban összehangoltan kell történnie, hogy az egyenszilárdságú hálózatok jól kihasználtak és jó szolgáltatási képességűek legyenek;
- Megfizethető, az átvitt adatmennyiségtől igen tág határok közt független szolgáltatási díj.

3. tétel: a komplex térségfejlesztési programok, ezen belül a szélessávú fejlesztések következményeit hatáselemzéssel kell követni:

- A kívánt hatások elmaradásának okait vizsgálni és a komplex fejlesztési program paramétereit szükség szerint módosítani kell;
- Ajánlott a település- vagy településcsoport fejlődési pályák többszörös összemérése;
- Az összemérést javasolt megtisztítani az értékelést esetleg torzító hatásoktól: az összemérések során tekintettel kell lenni a fejlődéssel kapcsolatos okozati összefüggésekre, azaz el kell dönteni, hogy a településen azért van-e fejlődés, mert megtörtént a szélessávú fejlesztés, vagy azért lett szélessáv, mert a település fejlődésének előmozdítására alkalmas más hatások (polgármester, országgyűlési képviselő lobbijereje, országos nagyberuházás oda kerülése stb.) oldalvívén sikerült elérni, hogy állami pénzen a szélessáv kiépüljön a városban/faluban. A második esetben a szélessávotól független fejlődés állította elő a szélessávot, tehát a szélessáv itt a fejlődésnek nem oka, hanem okozata. Az okozat-jelleg nem az ördögtől való, ez legitim fejlődési pálya, ugyanis a fejlődés következő szakaszának már a szélessáv lehet a hajtóereje azon a településen is, ahol az azt megelőző fejlődési szakaszt más hajtóerők határozták meg.

A szerzőről



HORVÁTH PÁL szakmai pályafutását 1973-ban a Magyar Posta adatátviteli fejlesztési és szolgáltatási területén kezdte, majd 1986-tól a vezérigazgatóság kapcsolástechnikai osztályát vezette. 1990-ben előbb a Magyar Távközlési Vállalat vezérigazgató helyettese, majd vezérigazgatója lett. 1994-ben a vállalat stratégiai igazgatója volt, majd 1995-től a londoni székhelyű Inmarsat műholdas távközlési vállalat közép és kelet európai regionális igazgatója lett. Londonból hazatérve, 1998 közepétől a közreműködésével létrehozott Pantel Rt. vezérigazgatója. 2003-ban londoni partnerével megalapította az Anotel Kft-t. 2004-től az Anotel Kft. és külföldi befektető partnere által létrehozott Actel Kft. majd Zrt. ügyvezetője, illetve vezérigazgatója. Az Actel Zrt-nek 2008. közepén az Enternet cégcsoportba beolvadását követően az Enternet stratégiai és távközléspolitikai tanácsadója. 2010. novemberétől az új generációs helyi hálózatok fejlesztésére létrehozott EntertHód Zrt. vezérigazgatója. Hat éven keresztül részt vett a TMMB, majd az IHSZB munkájában. 2005. óta a HTE főtitkára, 2008. óta az ATSZÉ elnökségének tagja.

Green IT

– avagy szórakoztató-elektronikai és IT-eszközök használata a környezettudatosság szemszögéből

BODNÁRNÉ SÁNDOR RENÁTA, GARAMVÖLGYI ERNŐ, MÁRTHA PÉTER

*Bay Zoltán Alapítvány, Logisztikai és Gyártástechnikai Intézet
{sador.renata, garamvolgyi.erno, martha.peter}@bay-logi.hu*

Kulcsszavak: használat, szórakoztató elektronika, informatikai eszközök, LCA, „Zöld IT”, környezettudatosság

Az elektromos és elektronikai berendezések használata az utóbbi években jelentősen megnőtt, mindennapjaink szerves részévé vált, mind a munka, mind a szórakozás terén. A Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány Logisztikai és Gyártástechnikai Intézete a GREEN_IT projekt keretében célul tűzte ki a társadalom vásárlási és felhasználási szokásainak vizsgálatát, valamint az energetikai és környezeti szempontú információterjesztést.

Cél, hogy az otthoni és irodai informatikai eszközök beszerzésekor az ár mellett az üzemeltetési költség, valamint az energiafogyasztás is érvényesüljenek. A berendezések teljes életciklusuk során (alapanyag előállítás, gyártás, logisztika, használat, hasznosítás, ártalmatlanítás) terhelik környezetüket, ezen környezeti értékek meghatározása és vizsgálata a jövőben befolyásoló tényezőként szerepelhet a fogyasztók szempontjából a termékválasztáskor. A projekt a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával kerül kidolgozásra. Eredményei nyilvánosak, a kapcsolódó honlapon hozzáférhetőek.

1. Bevezetés

A hazai villamosenergia-fogyasztás a rendszerváltás után a GDP-hez köthető trend szerint növekedett. Míg 1995-ben 36 ezer GWh volt a felhasználás, addigra 2005-ben elérte már a 42 ezer GWh-át. Az Európai Unióban az elkövetkezendő 20 évben min. 30%-os emelkedést jósolnak a villamosenergia-fogyasztásban, várhatóan hasonló tendencia figyelhető meg majd hazánkban is. A lakossági villamosenergia-felhasználás a teljes fogyasztás 33%-át is eléri, és mértéke az elmúlt évek alatt nagyobb intenzitással növekedett az ipari szektorhoz képest.

A fogyasztói társadalom kialakulása hazánkban is érezteti hatását, a magasabb életszínvonal mellett a háztartások egyre több elektromos és elektronikai berendezéssel rendelkeznek. A korábbi egy televízió mellett, nem ritka, hogy ma már 2-3 készülékkel rendelkeznek a családok.

Emellett a munkahelyeken is mind szélesebb körben jelennek meg az elektronikai eszközök. Míg 1995-ben a munkahelyeken még nem volt általános az informatikai eszközök használata, addigra ma már nehezen képzelhető el ez. 2006-ban már hozzávetőlegesen 2 millió számítógépet használtak a munkahelyeken. A számítógépek hatékonyságának azonban komoly ára is van: az életciklus (gyártás, logisztika, használat, hasznosítás, ártalmatlanítás) során okozott környezeti terhelés igen jelentős. Mindezek ellenére a számítógépek környezeti hatásait a konfigurációk nem próbálják csökkenteni, minimalizálni. A divatos perifériák, a nagy teljesítmény és az ár mellett meg kell jelenjen a kis környezeti hatás is, mint fontos szempont és elérendő cél.

Ennek tudatosítására indította a Bay Zoltán Kutatási Közalapítvány Logisztikai és Gyártástechnikai Intézete a „GREEN_IT” projektet, amelyben a háztartásokban és irodákban előforduló informatikai és szórakoztató elektronikai berendezéseket vizsgálják. A projekt célja, hogy tudatosabbá tegye az informatikai eszközöket használók, beszerzők választását energetikai és környezeti szempontból. Az elérendő cél, hogy az otthoni és irodai informatikai eszközök beszerzésekor ne csak az aktuális trendek (magasabb órajel, nagyobb teljesítmény stb.) érvényesüljenek, hanem az élettartamra vonatkozó energiafelhasználási értékek is. Az eszközök kiválasztásánál legyen szempont a fogyasztás, az üzemeltetési költség, és az okozott környezeti terhelés. Ennek elérése érdekében indult a projekt ismeretterjesztő honlapja, amelyen a témával kapcsolatos információkat találhatnak az érdeklődők, illetve az elektronikai berendezésekkel kapcsolatos használati szokásokról is véleményt nyilváníthatnak.

A projekt ismeretterjesztő honlapja:

<http://www.green-it.hu/>



<http://www.green-it.hu/index.php/survey>

2. Egy háztartás szórakoztatóelektronikai és IT eszközeinek vizsgálata a fogyasztás szempontjából

A vizsgálat során egy konkrét háztartásban található szórakoztató-elektronikai és IT-eszközállomány energiafelhasználása került elemzésre (1. táblázat – a képek csak illusztrációk).

A mért eredmények alapján megbecsültük, mekkora lehet az egyes berendezések fogyasztása éves szín-

1. táblázat
Szórakoztató-
elektronikai
és IT-eszközök
energia-
felhasználási
igényei
egy háztartásban

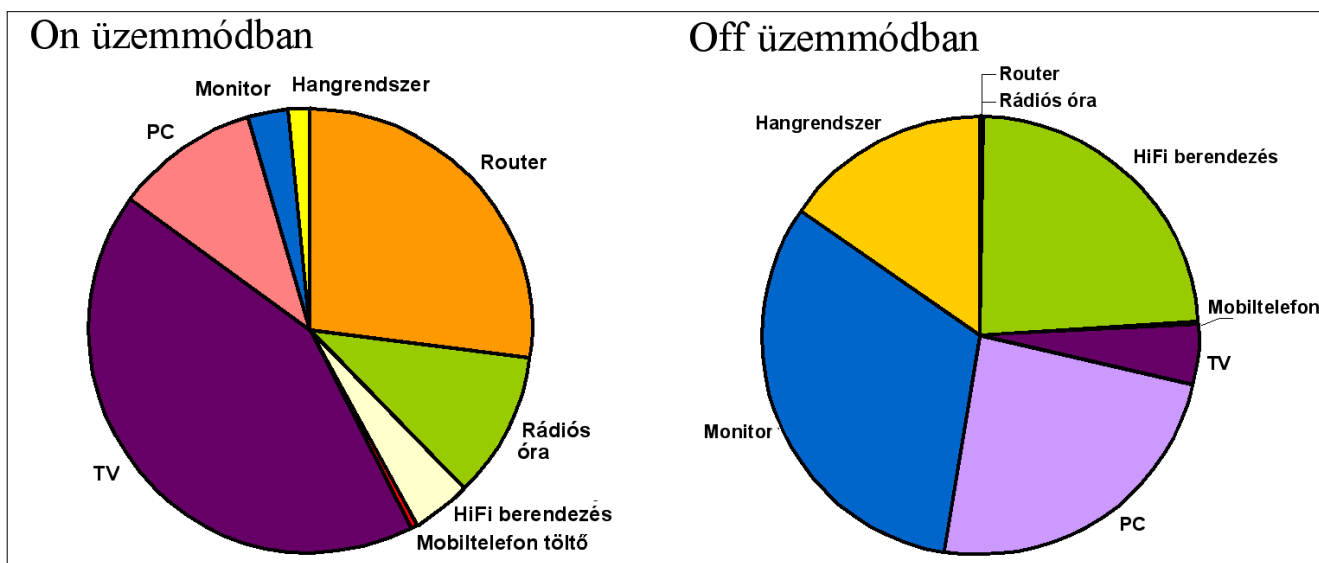
Vizsgálati eszköz	Tulajdonságok	Használati szokások
Televízió	66 cm (26") képátlójú LCD TV, „HD ready” képfelbontással	1,5 óra/nap
Hi-Fi berendezés	Minőségi egységekből felépített berendezés, amely különálló erősítőt, CD-t, tunert és DVD lejátszót tartalmaz	1 óra/nap 
PC (személyi számítógép)	Közepes számítógép-konfiguráció otthoni használatra, Athlon 64+ processzor, 1 GB memóriával	0,5 óra/nap együttes működéssel 
Monitor	43 cm (17") képátlójú LCD monitor a személyi számítógéphez	
Hangrendszer	4.1 hangrendszer a személyi számítógéphez, hangszóró teljesítmény: 4x6 W RMS, mélynyomó teljesítmény: 17 W RMS	
Router	A lakásban az internetkapcsolat megosztásához, helyi számítógép-hálózat működtetéséhez	24 óra/nap (függetlenül a Wi-Fi bekapcsolásától, a csatlakozott eszközök számától)
Rádiós óra	Ébresztőórát és egyszerű rádiót magában foglaló berendezés	24 óra/nap 
Mobiltelefon töltő	A lakók által használt négy darab mobiltelefon töltésére alkalmas töltőegység	4*1,5 óra/hét

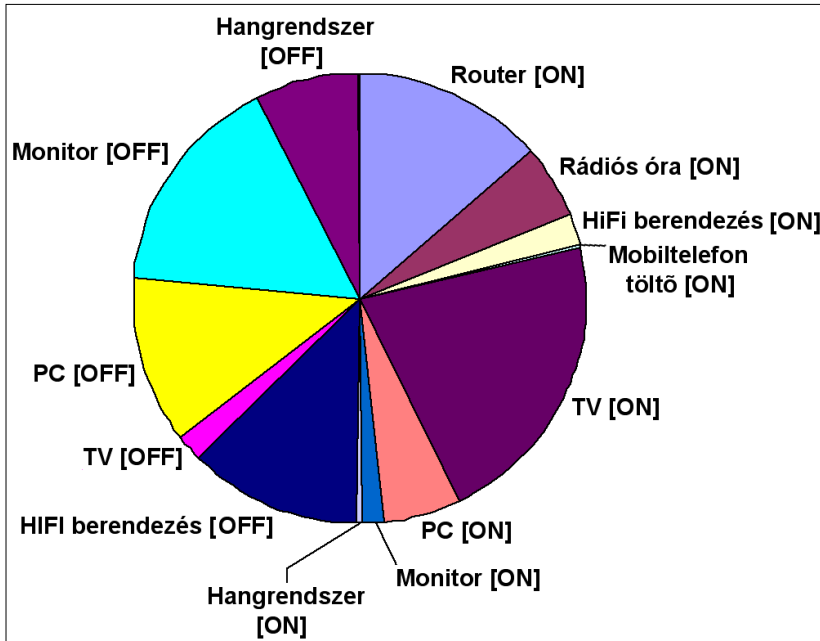
ten. Ezek alapján – 50 Ft/kWh fajlagos árat feltételezve – meghatároztuk a szórakoztatóelektronikai és IT-berendezések fogyasztásához kapcsolódó éves költséget. A berendezések életciklusuk használati fázisának túlnyomó részét OFF módban töltik, ahol a jelentkező látszólagosan fogyasztás igen kicsi, viszont rendkívül jelentős lehet éves szinten.

3. Eredmények

Az egyes berendezések ON módban (bekapcsolt, használatban lévő) fellépő fogyasztását éves szinten az 1. ábra első diagramja mutatja. Megfigyelhető, hogy a router és a rádiós óra, bár fogyasztásuk kicsi, hosszú bekapcsolt állapotukkal igen jelentős fogyasztású beren-

1. ábra Berendezések fogyasztási aránya évente





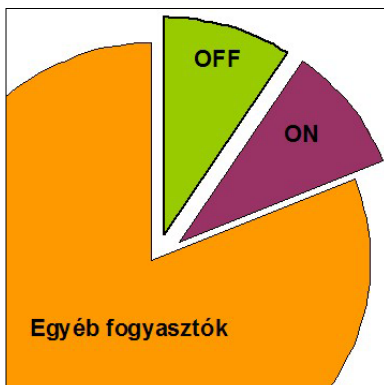
2. ábra
Berendezések fogyasztási aránya évente ON és OFF módokra megbontva

dezők. A TV készülék pedig, bár keveset üzemel, nagy fogyasztás miatt jelentős fogyasztó éves szinten is.

Az OFF módban (kikapcsolt, használatban nem lévő) fellépő fogyasztásokat éves szinten a második diagram mutatja, ahol legjelentősebb fogyasztók a PC és a hozzá kapcsolódó eszközök (monitor, hangrendszer). Emellett az esettanulmányhoz használt lakásban jelentős OFF mód fogyasztást mutatott a Hi-Fi berendezés, míg kevesebbet a televízió. A router és az óra esetében az OFF mód nem volt, így ebben a kimutatásban ezen eszközök nem szerepeltek.

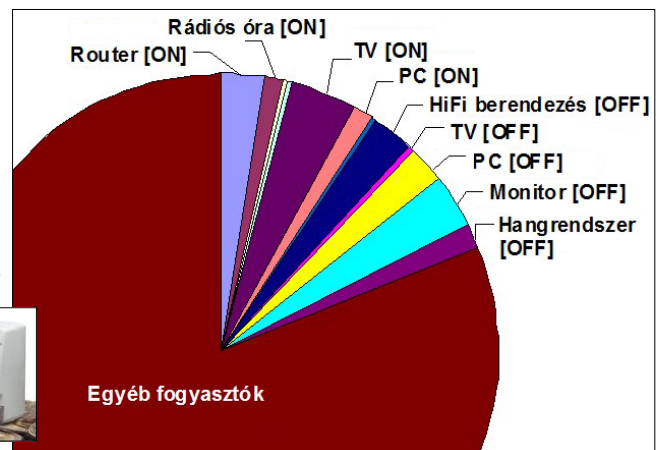
Még szemléletesebb a diagram akkor, ha megbontjuk az egyes eszközök fogyasztását ON és OFF mód szerint (2. ábra). Jól látható, hogy a fogyasztás közel fele OFF módban keletkezett, azaz olyan fogyasztás, amiért a berendezések semmilyen szolgáltatást nem nyújtottak, elsődleges funkciójukat nem töltötték be.

A következő diagramok az IT fogyasztások valós nagyságáról adnak információt, úgy, hogy azokat viszonyítjuk a háztartás teljes éves villamosenergia-fogyasztásához, ami 1215 kWh/év. Ezek alapján a vizsgált berendezések fogyasztása a háztartás fogyasztásának mintegy 20%-át teszik ki (3-4. ábra).



3. ábra
OFF és ON üzemmód fogyasztások aránya a háztartás fogyasztásában

4. ábra
Fogyasztások aránya a háztartás energiafogyasztásában



4. A költségek vizsgálata

50 Ft/kWh fajlagos árat feltételezve kiszámíthatjuk, hogy a berendezések OFF mód fogyasztása mintegy 5722 forint költséget eredményeztek évente. Bár ez elsőre nem tűnik soknak, de ha az ON mód 5817 forintos éves költségéhez viszonyítjuk, úgy már igen jelentős. Látható, hogy a berendezések kikapcsolásával (HARD OFF mód), ami sokszor csak a konnektorból történő kihúzással valósítható meg, a költségek és az elfogyasztott energia fele megtakarítható lett volna.

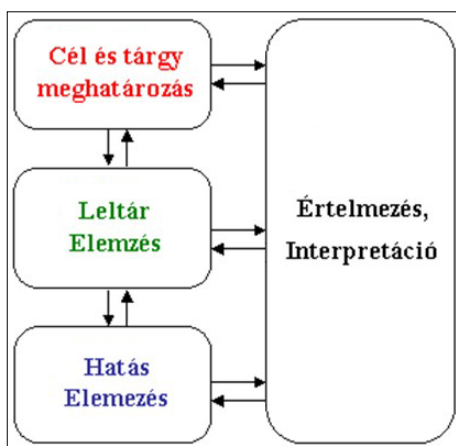
5. Televíziók környezeti szempontú életciklus-elemzése

Napjaink magas eladási értékekkel rendelkező berendezése és állandó keresett iparcikke a televízió. Forgalomban

három fő alaptípusa létezik: CRT, LCD és PDP technológiával készült televízió. 2004-ben Európában kb. 31 millió TV-t adtak el (melynek csak 2,5%-a PDP TV), egy 2010-es becslés szerint ez az érték 36,5 millióra emelkedik (15%-os PDP részaránnyal). A berendezések élettartamát összehasonlítva a PDP TV 60 ezer órát (úgy, hogy 30 ezer óra után elveszti fényességének 50%-át), az LCD TV 45 ezer órát, míg a CRT TV csak 15 ezer órát képes működni átlagosan. Ezen készülékek környezeti hatáselemzése már évek óta foglalkoztatja a világ életciklus-elemzéssel foglalkozó kutatóit. A projekt keretében külföldi tanulmányokat vetettük össze saját elemzésünkkel (5. ábra).

Az ISO 14040 szabvány alapján az életciklus-elemzés a következőképp definiálható: „a termékkel kapcsolatos környezeti tényezők és potenciális hatások értékelésének olyan módszere, amely leltárt készít a termékkel kapcsolatos folyamatok rendszerének bemenetéről és kimeneteiről; kiértékeli az ezekkel kapcsolatos potenciális környezeti hatásokat; értelmezi a leltári elemzésnek és a hatásértékelés fázisainak eredményeit a tanulmány céljainak figyelembevételével.”

5. ábra
Az életciklus-
elemzés
struktúrája
(Forrás:
ISO 14040:2006)



Cél és tárgy: Az eddig fellelhető irodalmi adatokon és munkákon keresztül célként határozódik meg a különböző típusú (CRT, LCD, PDP) televíziók életciklus-elemzése, összehasonlító elemzése, azokat a feltételezéseket figyelembe véve, mely szerint ezen berendezések élettartama, használati ideje azonos.

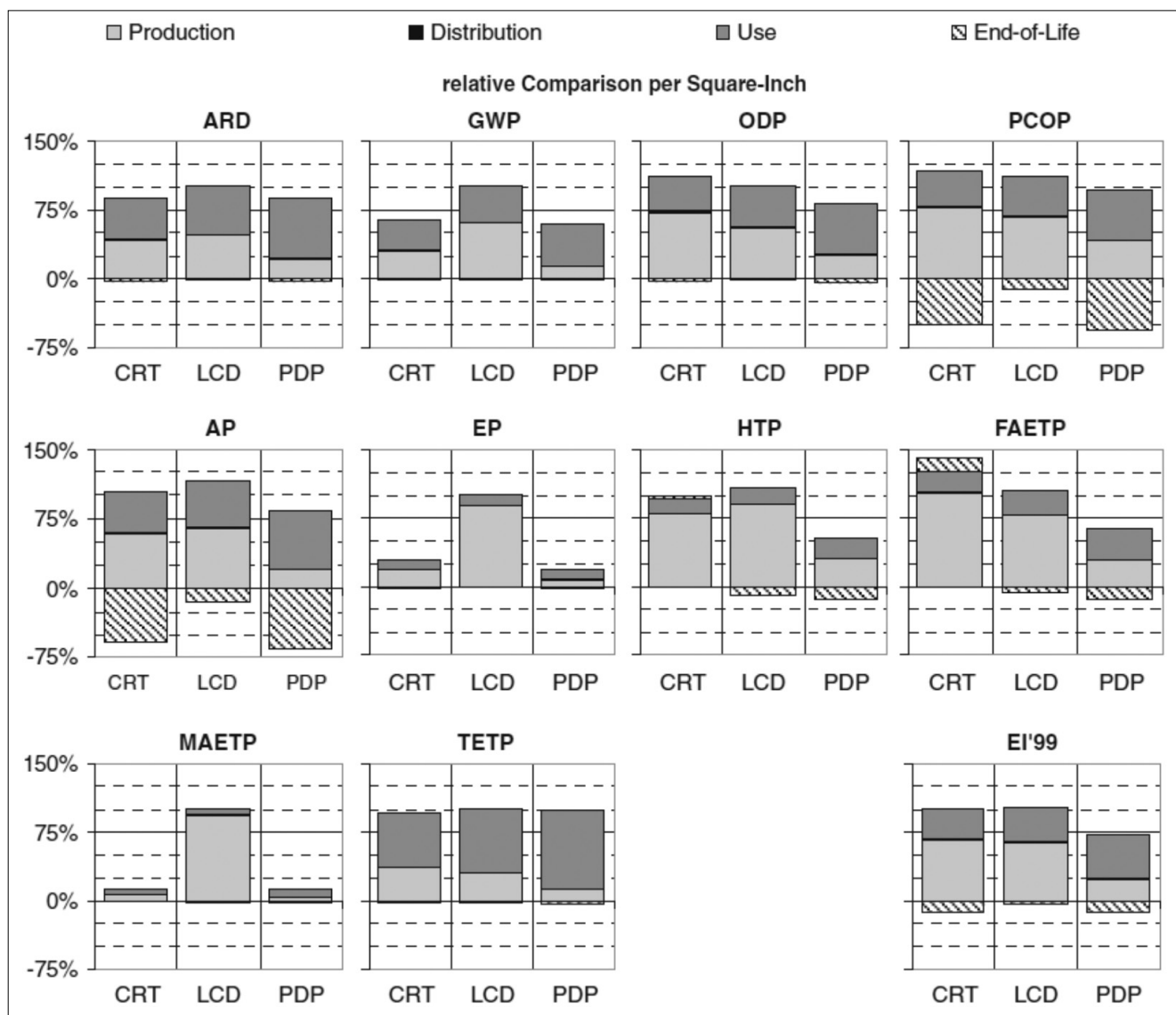
Funkcióegység: Az összehasonlítás alapja az egy-egy kiválasztott TV készülékfajta, illetve ezek képernyőjének egységnyi felületére (1 inch²) vetített értékek.

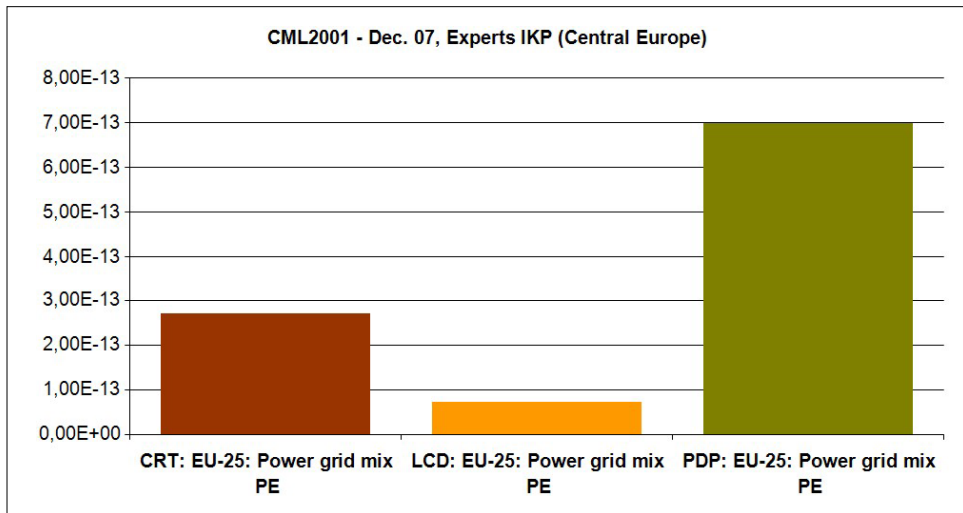
Rendszerhatárok: A tanulmányok – eltekintve az első életciklus szakasztól – az alapanyagok bányászatától kezdve, a gyártás, használat, majd az életciklus végi szakaszokra fókuszálnak.

6. Technológiák összehasonlító elemzése

Az elemzéseknél alkalmazott módszer a CML2001 és az Ecoindicator99 volt. A 6. ábrán látható grafikonok az egyes hatáskategóriákban 100%-ra normalizált értékeket mutatják. Ezen hatáskategóriák alapján az LCD berendezés több esetben mutat magasabb környezeti hatást, mint a másik kettő, illetve közel van a legmagasabb értékhez. Ezzel szemben a PDP technológia minden esetben a legalacsonyabb környezeti hatást mutatja. Ezeknél az eltéréseknél látható, hogy nem csak a használati szakasz a befolyásoló, hanem a gyártás is.

6. ábra A PDP, LCD és CRT technológiák összehasonlítása (Forrás: R. Hischer, I. Baudin: Haute Ecole, 2010)





7. ábra
Összefoglaló diagram a TV-k fajtája alapján EU-25 energiamix modellbe építésével

Az előzőekben leírtak alapján a televízió-előállítási szakasz mellett jelentős értéket képviselt szinte minden hatáskategóriában a használati életciklus szakasz, így jelentkezett igény ennek részletes vizsgálatára. GaBi életciklus-elemző szoftver felhasználásával modellezésre kerültek az egyes televíziókészülékek adatai, ahol a modellépítés alapját a használati szakaszban mért energiaértékek adták. Az egyes ország-specifikus energiamixek (energiaelőállítási módok) eltérése miatt érzékenységi vizsgálat készült, mely rámutatott a hatáskategóriákon belüli eltérésekre.

Az összefoglaló diagram alapján (mely a főbb hatáskategóriák súlyozott és normalizált értékeit foglalják magukba) egyértelműen a plazma TV emelkedik ki, ez fogyasztja használat során a legtöbb energiát egységnyi felületre vetítve is, így ennek legmagasabb a környezeti hatása. Mindhárom készüléknél a globális felmelegedésre (GWP) való hatás a legjelentősebb – az energiatermelés általi CO₂ és metán légkörbe kerülése miatt –, ezt követi a savasodás (AP), az erőforrás-csökkenés (ADP), valamint a fotokémiai ózonképződés (POCP). Az ózonréteg vékonyodása (ODP) és az eutrofizáció (EP) mindhárom esetben jóval elmarad a többi hatáskategória értékétől.

7. Összefoglalás

Az elvégzett kutatások azt mutatják, hogy az elektronikus berendezéseket ajánlatos addig használni, ameddig csak lehetséges. Az eredmények egyértelműen a gyártási fázis magas környezeti hatásértékeire mutatnak, amelyben kiemelésre kerülnek a fémes anyagokon kívül az elektronikai részek környezethasználata. Ugyanakkor figyelemreméltó a hulladékká vált részek feldolgozása, újrahászosítása, amely jelentős környezeti megtakarítást adhat abban az esetben, ha a lehető legjobb feldolgozási, ártalmatlanítási technológiát alkalmazzák.

A másik fontos életciklus-szakasz a használati fázis. Az energia-mix felhasználásán kívül a felhasználóknak nagy odafigyelést kell szentelniük a helyes használatra, így a használaton kívül a televízió kikapcsolására, beleértve a stand-by üzemmód mellőzését is.

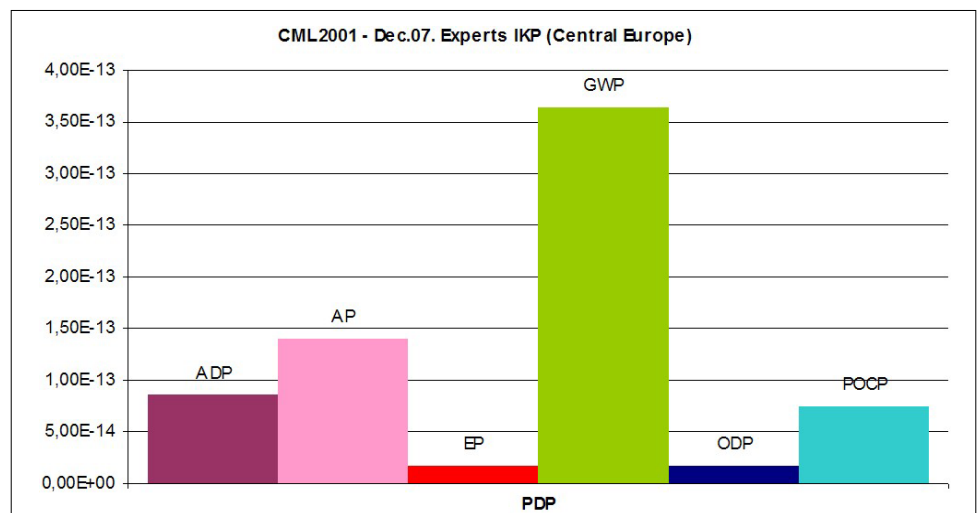
Teljes életciklus tekintetében a plazmatechnológia adta a legkedvezőbb hatásértékeket az LCD technológiával ellentétben. Ezeket a különbségeket főként a gyártási fázis hatásértékei adták. Külön elemezve a használati szakaszt viszont pont az ellenkező értékeket kaptuk. Ez egyértelműen rámutat a felhasználó felelősségére a használat során. Amennyiben a berendezést nem környezettudatosan használja, úgy a használati fázis magas környezeti terhelése ellensúlyozhatja a gyártási szakasz környezeti előnyét, a környezeti megtakarítás pedig elvész.

Teljes életciklus tekintetében a plazmatechnológia adta a legkedvezőbb hatásértékeket az LCD technológiával ellentétben. Ezeket a különbségeket főként a gyártási fázis hatásértékei adták. Külön elemezve a használati szakaszt viszont pont az ellenkező értékeket kaptuk. Ez egyértelműen rámutat a felhasználó felelősségére a használat során. Amennyiben a berendezést nem környezettudatosan használja, úgy a használati fázis magas környezeti terhelése ellensúlyozhatja a gyártási szakasz környezeti előnyét, a környezeti megtakarítás pedig elvész.

Köszönetnyilvánítás

A projekt a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatásával kerül kidolgozásra.

8. ábra
Plazmatelevízió energiafogyasztásának környezeti hatása – súlyozott és normalizált értékekkel, hatáskategóriák szerint



A szerzőkről



BODNÁRNÉ SÁNDOR RENÁTA 1998-ban szerzett környezetmérnök diplomát a Miskolci Egyetem Bányamérnök Karán, azóta a Bay-Logi tudományos munkatársa. Munkaterületei: ipari környezetvédelem, hulladékgazdálkodás, életciklus elemzés.



GARAMVÖLGYI ERNŐ 1996-ban szerzett gépészmérnöki diplomát a Miskolci Egyetemen. A Bay-Logi tudományos munkatársa. Kutatási területei: környezetmenedzsment, hulladékgazdálkodás, rendszertervezés.



MÁRTHA PÉTER 1999-ben szerzett gépészmérnöki diplomát informatikai szakirányon a Miskolci Egyetemen, azóta a BAY-LOGI tudományos munkatársa. Releváns szakmai területe a telemedicina, informatikai rendszerek tervezése, informatikai stratégiák kidolgozása.



Irodalom

- [1] Roland Hischier, Isabelle Baudin, LCA study of plasma television device – Life Cycle assessment and modelling Group, Technology & Society Lab (TSL), Swiss Federal Laboratories for Material Testing and Research (Empa), St-Gallen, Switzerland, Int. J. Life Cycle Assess (2010), 15:428–438. DOI 10.1007/s11367-010-0169-2
- [2] Chao Feng, Xiao Qian Ma, The energy consumption and environmental impacts of a color TV in China – Electric Power Collage, South China Univ. of Tech., Guangzhou, China, Journal of Cleaner Production (2009), 17:13–25.
- [3] Dr. Lutz Stobbe, EuP Preparatory Studies „Television” (Lot 5), Final Report on Task 4 „Technical Analysis”, Fraunhofer Institute for Reliability and Microintegration, IZM–Berlin, Germany (2007), No. TREN/D1/40 lot 5-2005.
- [4] M. Leet Socolof, J.G. Overly, L.E.Kincaid, J.R. Geibig, Desktop Computer Display: A Life-Cycle Assessment, University of Tennessee Center for Clean Products and Clean Technologies, USA (2001), EPA/744-R-01-004a and b.
- [5] Agilent Technologies, 2008. Television Power Consumption Testing

Scafida: egy energiahatékony adatközpont-struktúra

GYARMATI LÁSZLÓ, TRINH ANH TUAN

Network Economics Group

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Távközlési és Médiainformatikai Tanszék

{gyarmati, trinh}@tmit.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: adatközpont-hálózat, skálafüggetlen hálózat, energiafogyasztás, energiahatékony, fokszámkorlátozás

Az adatközpontok üzemeltetési költségének jelentős és egyre növekvő részét teszi ki az energiafogyasztás, emiatt az adatközpontok energiahatékonyasága kiemelt figyelmet kapott mind az akadémiai, mind az ipari kutatási közösségekben. Az adatközpontok energiafogyasztását a hálózati berendezések energiafogyasztása alapján elemezzük. Munkánk eredménye két részből tevődik össze. Először egy olyan, skálázható és flexibilis adatközpont-struktúrát (Scafida) javasolunk, ami a skálafüggetlen hálózatok alapján épül fel. Ezután pedig kvantitatív úton megvizsgáljuk a jelenleg alkalmazott adatközpont-struktúrákat, mint például a BCube, a DCell és a fat-tree topológiák, és az általunk javasolt, energiahatékony Scafida architektúra energiafogyasztását.

1. Bevezetés

Az adatközpontok hálózati felépítése (data center networking) az utóbbi időkben a hálózati kommunikációval foglalkozó közösség egyik legfontosabb tématerületévé vált. Ez annak köszönhető, hogy az elmúlt évtizedben a hálózati szolgáltatások forradalmi változáson mentek át. Többek között, a videómegosztó szolgáltatások, internetes közösségi oldalak és az úgynevezett cloud computing elterjedése miatt speciális hálózati infrastruktúrát, az adatközpontokat (data centers) dolgoztak ki. Ezek az adatközpontok akár több tízezer szervert képesek összekapcsolni, biztosítva közöttük a nagysebességű adatátvitelt. Az adatközpontok fontos szerepet játszanak majd az elkövetkező években is, például a tartalomközpontú hálózatokban (Content-Centric Networking [1]), ahol maga a tartalom, nem pedig annak a helye a lényeges, azaz a tartalom bárhol eltárolható a hálózatban, például egy adatközpontban is.

A méretgazdaságosság miatt az adatközpontok üzemeltetése költséghatékony, többek között a berendezések olcsóbban megvásárolhatóak, kevesebb karbantartó személyre van szükség. Ez a tény az internet legnagyobb vállalatait, mint például Microsoft, Google, Yahoo, Facebook és Amazon, arra sarkallta, hogy saját adatközpontokat hozzanak létre [2]. Ezeket a rendszereket közönséges hálózati berendezésekből, nem pedig speciális célberendezésekből építik fel, így további költségmegtakarítás érhető el. Egy-egy adatközpont jellemzésére általában olyan mértékeket használnak, mint a számítási, tárolási és hálózati átviteli kapacitás. Ezek mellett azonban egyre fontosabb szerepet kap az eddig elhanyagolt, a környezetre hatással lévő tulajdonság: az energiafogyasztás.

Az adatközpontok energiafogyasztása egyre jelentősebb részt vállal ezen rendszerek teljes üzemeltetési költségéből, sőt az egész társadalom energiaigényéből. A adatközpontok teljes üzemeltetési költségének 15 szá-

zalékáért az energiafogyasztás felelős. Ha globálisan tekintjük az adatközpontok energiafogyasztását, további érdekes adatokat láthatunk. J. Kroomey tanulmánya szerint [3] az adatközpontok energiafogyasztása az Amerikai Egyesült Államokban 6.4 GW, Nyugat-Európában 4.7 GW, míg Japánban 1.8 GW volt 2005-ben. Egy másik kimutatás szerint [4] az adatközpontok energiafogyasztása 1.5 százalékot tett ki az Amerikai Egyesült Államok teljes energiafogyasztásából 2006-ban.

Az adatközpontok energiafogyasztásból adódó üzemeltetési költségei az alábbi három ok miatt folyamatosan növekednek: a központokban található berendezések száma nő, ezen berendezések energiaigénye emelkedik, hiszen egyre több csomagot képesek továbbítani, egyre nagyobb sebességgel, továbbá az energia előállítása folyamatosan drágul.

Nem csupán a kutatói közösség, hanem a nemzeti szervezettek kutatásért felelős részei is felismerték az adatközpontok energiahatékonyaságának fontosságát, például a COST IC0804 európai projekt fő célkitűzése a nagy elosztott rendszerek energiahatékonyaságának növelése.

Folyamatosan jelennek meg az újabb és újabb adatközpont-struktúrák, ilyen például a BCube [5], a DCell [6] és a fat-tree [7] topológia. Ezek eltérő hálózati szerkezetet javasolnak, azonban mindegyikre igaz, hogy szimmetrikusan épülnek fel homogén eszközökből. Ebből adódik, hogy a topológia szerkezetét csupán nagy léptékekben lehet megváltoztatni, vagyis ezen rendszerek energiafogyasztása nem feltétlenül arányos a bennük található szerverek számával.

A biológiai hálózatok létezése bizonyítja, hogy ezen struktúrák energiahatékonyak, hiszen túléltek az evolúciós versengést. Számos biológiai hálózat rendelkezik hasonló hálózati szerkezettel: a hálózati pontok fokszámeloszlása hatványeloszlást (power law) követ [8], ezen hálózatokat skálafüggetlen hálózatoknak nevezik.

A skálafüggetlen hálózatok két olyan tulajdonsággal is rendelkeznek, melyek az adatközpont-hálózatok esetén is kedvezőek: kicsi hálózati átmérő és nagy hibátűrés. Skálafüggetlen hálózatok bármilyen méretben kialakíthatnak, így egy skálafüggetlen hálózat alapján felépített adatközpont-hálózat energiahatékony lehet.

E cikk célja kettős: egy skálafüggetlen hálózat alapján felépülő adatközpont-struktúrát javasolunk, majd megmutatjuk, hogy energiateljesítmény szempontjából milyen kedvező tulajdonsággal rendelkezik a jelenleg ismert adatközpont-hálózatokhoz képest. A cikk felépítése a következő: először áttekintjük az elmúlt években javasolt adatközpont-hálózatok felépítését. Ezek után ismertetjük az általunk kidolgozott skálafüggetlen hálózat alapuló adatközpont-struktúrát (Scafida), majd megmutatjuk, milyen tulajdonságokkal rendelkezik ez a skálázható és flexibilis topológia. Végül kitérünk az ismertetett adatközpont-architektúrák energiahatékonyságára, szimulációs eredmények alapján megmutatjuk, hogy a Scafida topológia egy energiaarányos adatközpont-hálózat.

2. Jelenleg alkalmazott adatközpont-hálózatok

Ebben a szakaszban bemutatjuk azokat az elmúlt években javasolt adatközpont-struktúrákat, melyek energiahatékonyságát vizsgáljuk a 4. szakaszban.

A BCube [5] elnevezésű adatközpont-hálózatot konténer típusú, moduláris felépítésű adatközpontokhoz dolgozták ki. Ezek az adatközpontok egy konténerben helyezkednek el, melyben néhány ezer szerver üzemelhet. Egy rekurzív algoritmus segítségével lehet a BCube topológiákat előállítani. Egy n hálózati portot tartalmazó switchből felépített BCube adatközpont legfeljebb n^{k+1} darab szerveret tartalmazhat, ahol k az algoritmus paramétere. A BCube adatközpontokban több független útvonal is adott két szerver között, ezért a terhelés hatékonyan elosztható az architektúrában.

A DCell adatközpont architektúra [6] közönséges hálózati switchekből épül fel, melyek 4, 8, 16, 24 vagy 48 hálózati porttal rendelkezhetnek. Hasonlóan a BCube struktúrához, egy DCell hálózatot is rekurzív algoritmussal generálhatunk. Az algoritmus miatt a DCell mérete nagyon gyorsan növekszik, emiatt nagyon kevés szerkezeti szinttel és kicsi portszámokkal hatalmas méretű adatközpontot lehet kialakítani. A DCell adatközpontban csak

a legalsó szerkezeti szinten vannak switchek, ezért a szerverek részt vesznek az útvonalválasztásban, felhasználva a hálózati interfészeiket.

A fat-tree szerkezet [7], amit Clos topológiának is neveznek, három szerkezeti szintből áll: egy felső, switchekből álló szintből, az aggregáló szintből, melyben két rétegben helyezkednek el a hálózati switchek és egy alsó szintből, ahol a szerverek találhatóak. Egy n portú switchből felépített fat-tree adatközpont $n^3/4$ szerverből áll, azaz az ilyen típusú struktúrának csak egy paramétere van, mellyel a rendszer méretét befolyásolni lehet.

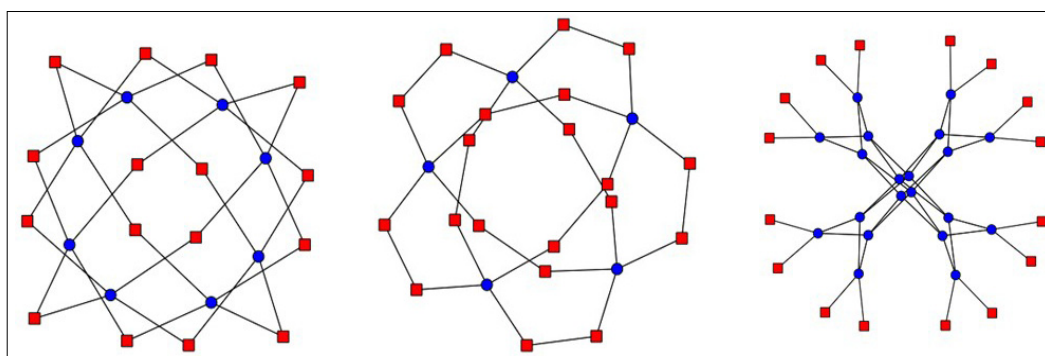
A technika jelenleg a szimmetrikus adatközpont-hálózatokat preferálja. Az előbb bemutatott architektúrák is ilyen felépítésűek. A BCube, a DCell és a fat-tree adatközpont architektúrákat az 1. ábrán illusztráltuk.

3. Scafida: a skálafüggetlen hálózatokon alapuló adatközpont-struktúra

A következőkben egy olyan adatközpont-struktúrát ismertetünk, ami biológiai hálózatok alapján épül fel. Ebből adódik, hogy a hálózat tetszőlegesen skálázható és testre szabható. A természetben számtalan példa fordul elő, ahol hálózatok alakulnak ki különböző alkotóelemekből. Léteznek például fehérjehálózatok, sejt-hálózatok és közösségi hálózatok is. Érdekes, hogy számos biológiai hálózat azonos szerkezeti tulajdonsággal rendelkezik: a hálózati csomópontok fokszáma hatványfüggvény eloszlást követ. Ezeket a hálózatokat skálafüggetlen hálózatoknak nevezik [8]. A skálafüggetlen hálózatok tulajdonságai összhangban vannak az adatközpont-hálózatok követelményeivel: kis hálózati átmérővel és kiváló hibátűrés képességgel rendelkeznek. A rövid útvonalak kisebb hálózaton belüli forgalmat eredményeznek, ami növeli az adatközpont átviteli teljesítményét. A hibátűrés szerkezet adatközpont-hálózat esetén kiemelten fontos, mert a hálózatban található rengeteg berendezés miatt gyakoriak a meghibásodások.

3.1. Algoritmus

Barabási és Albert javasolt egy olyan algoritmust [9], amely képes skálafüggetlen hálózatokat kialakítani. Az algoritmus során a pontok egymás után kerülnek a hálózatba. Az élek kialakítása véletlenszerű, azonban figyelembe veszi a pontok fokszámait is: egy él kialakításának valószínűsége arányos a pont fokszámával.



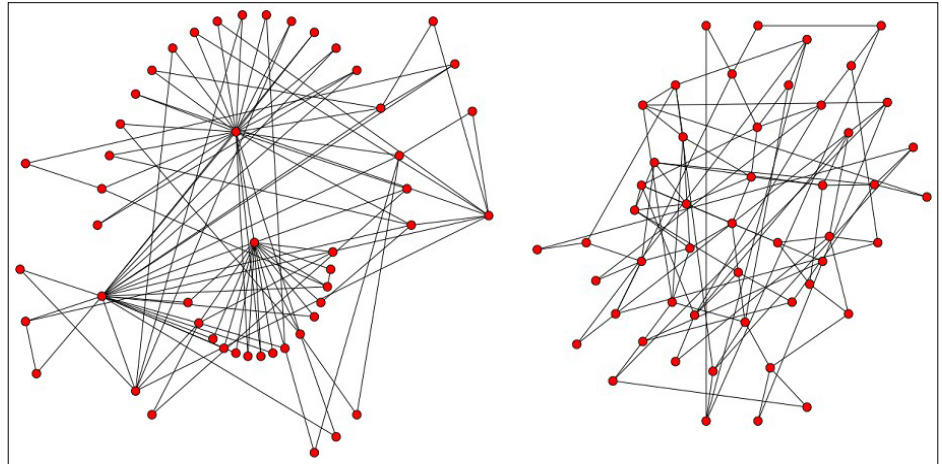
1. ábra
Szimmetrikus
adatközpont-struktúrák:
BCube, DCell és fat-tree
topológia

A hálózati berendezések korlátos hálózati interfésszel rendelkeznek, ezért kiterjesztettük az eredeti Barabási-féle hálózatgeneráló algoritmust. A skálafüggetlen hálózat alapú adatközpont architektúra mesterségesen korlátozza a hálózati pontok fokszámát annak érdekében, hogy a fokszámok megfeleljenek hálózati routerek és switchek portszámainak.

A 2. ábrán egy eredeti és egy fokszámkorlátozott skálafüggetlen hálózatot ábrázoltunk az algoritmus hatásának illusztrálásához. A javasolt algoritmus, amit Scafida-nak nevezünk, a bemenetként megadott hálózati eszközökből egy adatközpont-struktúrát alakít ki. Az algoritmus pszeudokódja a 3. ábrán látható.

3.2. A fokszámkorlátozás hatása

A szimulációs eredmények alapján megmutatjuk, hogy a fokszámok korlátozása nem befolyásolja jelentősen



2. ábra Egy eredeti és egy fokszámkorlátozott skálafüggetlen hálózat

a skálafüggetlen hálózatok tulajdonságát, azaz az ismert Scafida-algoritmus alkalmazható adatközpont-hálózatok előállítására. A 4. ábrán megfigyelhető, hogyan változik a korlátozás hatására az útvonalak átlagos hossza. Az útvonalak hosszát három különböző méretű adatközpont esetén vizsgáltuk, minden esetben 50 topológia eredményét átlagoltuk. A fokszámok korlátozására közönséges hálózati switchek portszámait használtuk. Az ábrán KN jelöli a korlátozás nélküli esetet. A hálózat méretétől függetlenül az útvonalak átlagos hossza csupán mérsékelten változik, a legtöbb esetben a növekmény kevesebb mint egy él. Az ábra nemcsak a korlátozás hatását illusztrálja, hanem rámutat arra is, hogy a javasolt eljárás mennyire skálázható, hiszen az eltérő nagyságrendű adatközpont-struktúrák is hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek.

A fokszámkorlátozás hibatűrő-képességre gyakorolt hatását úgy vizsgáltuk, hogy 1000 pontos Scafida-topológiákat generáltunk, majd fokozatosan növeltük a meghibásodott switchek számát. Az 5. ábrán szerverek közötti független útvonalak számát vizsgáljuk. Az eredmények különböző meghibásodási esetek átlagaként adódtak. Az áttekinthetőség érdekében két szélsőséges esetet ábráztunk: fokszámkorlátozás nélküli és erősen korlátozott (a maximális fokszám 8) Scafida-hálózatok útszámait mutatjuk be. Megfigyelhető, hogy a fokszámkorlátozás nem

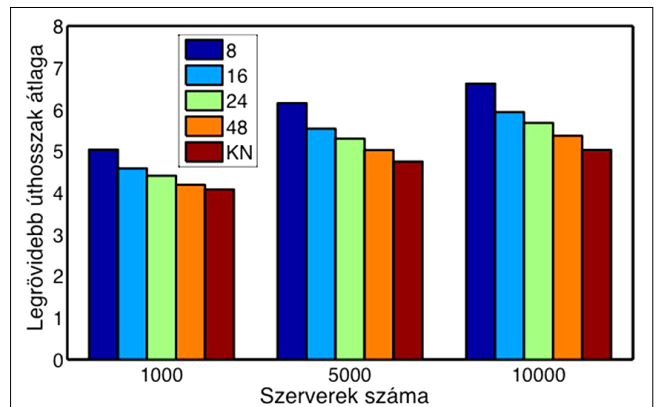
3. ábra
A Scafida adatközpont-hálózatot előállító algoritmus pszeudokódja

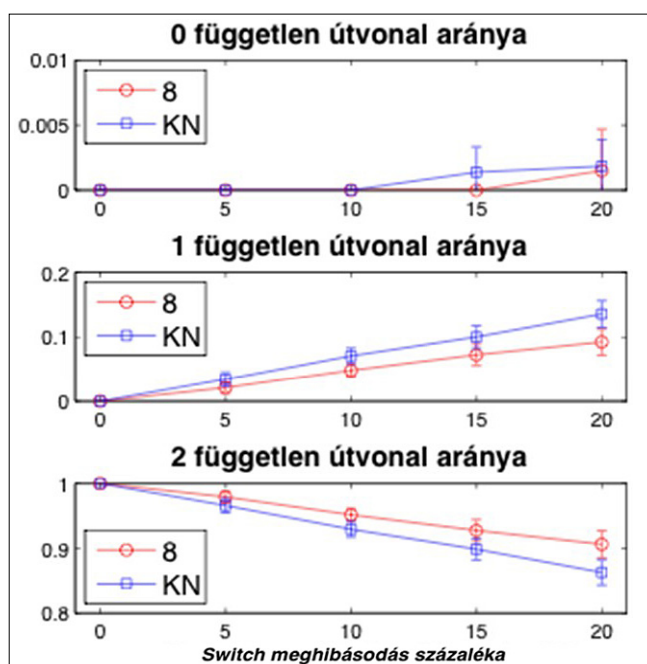
```

Bemenet
 $n_{t_0}$  — szerverek száma
 $p_{t_0}$  — szerverek portszáma
 $n_{t_1}, \dots, n_{t_k}$  — a  $t_i$  típusú switchek száma
 $p_{t_1}, \dots, p_{t_k}$  — a  $t_i$  típusú switchek portszáma
 $d_v$  — a  $v \in V$  pont fokszáma
 $m$  — egy új pont éleinek száma

Algoritmus
 $G = (V, E)$  // üres gráf
 $V = V \cup \{0, 1, \dots, m-1\}$  // kezdőpontok
 $R = \{\}$  // súlyozott véletlen választáshoz
 $E = E \cup \{(m, 0), (m, 1), \dots, (m, m-1)\}$ 
 $R = R \cup \{0, \dots, m-1\}$  // lista frissítés
 $R = R \cup \{m, \dots, m\}$  // m-szer
 $b = m + 1$  // következő pont
while  $b < \sum_{i=0}^k n_{t_i}$  // amíg nincs kész a teljes hálózat do
     $V = V \cup \{b\}$  // pont hozzáadása
     $T = \{\}$  // cél tárolása
    while  $|T| < m$  do
        repeat
             $v_t = \text{random}(R)$  // véletlen elem
        until  $v_t \notin T$ 
        if  $d_{v_t} \notin \{p_{t_0}, \dots, p_{t_k}\}$  then
             $T = T \cup \{v_t\}$ 
             $E = E \cup \{(b, v_t)\}$  // él felvétel
        else
            if a  $v_t$  switch mérete bővíthető then
                 $T = T \cup \{v_t\}$ 
                 $E = E \cup \{(b, v_t)\}$ 
            else
                // nem lehet több összeköttetés
                 $R = R \setminus \{v_t\}$ 
            // lista frissítés
             $R = R \cup T$ 
        for  $i = 1, \dots, m$  do  $R = R \cup \{b\}$ 
         $b = b + 1$ 
    
```

4. ábra
A fokszámkorlátozás nem növeli meg jelentősen a skálafüggetlen hálózatok átlagos úthosszát





5. ábra
A fokszámkorlátozás javítja a skálafüggetlen hálózatok hibatűrő képességét

rontja el a skálafüggetlen hálózatok hibatűrő képességét, sőt. A Scafida-topológiák esetén több független útvonal létezik a szerverek között adott meghibásodási arány esetén. Például, ha a switchek 20 százaléka meghibásodik, akkor is a szerverpárok 90 százaléka között létezik kettő független útvonal, vagyis a javasolt adatközpont-struktúra jó hibatűrő képességgel rendelkezik. A fokszámkorlátozás további hatását a [10] cikk tárgyalja.

4. Adatközpont-hálózatok energiahatékonysága

Az adatközpontok energiahatékonyságát többféleképpen lehet vizsgálni. Kutatásaink során az adatközpont-hálózatok energiafogyasztására koncentráltunk. Egy struktúra energiafogyasztásán a hálózati berendezések (switchek) energiaigényét és a szerverek portjain felhasznált energia összegét értjük. Ez a kettő energiafogyasztás az, ami közvetlenül a hálózati struktúra következménye. Az elemzés során az adatközpontok további berendezései, például a szerverek és a légkondicionáló egységek energiafelhasználását nem vettük figyelembe.

Az adatközpontok energiaigényét szimulációk segítségével vizsgáltuk. Mivel az adatközpontokat egyre inkább közönséges hálózati berendezésekből építik fel, hogy így csökkentsék a költségeket, a szimulációk során ilyen eszközök energiafogyasztásából indultunk ki. A következő, jelenleg is forgalomban lévő hálózati switchek energiafogyasztását használtuk a vizsgálataink során: a Cisco 8 portos (2960-8TC-L), 24 portos (2960-24TC-L) és 48 portos (2960-48TC-L) valamint a D-Link 5 portos (DGS-2205) berendezését, ezek energiafogyasztása 12W, 27W, 39W és 5.12W volt. Feltettük továbbá, hogy a szerverek fogyasztása 1W-tal nő hálózati porton-

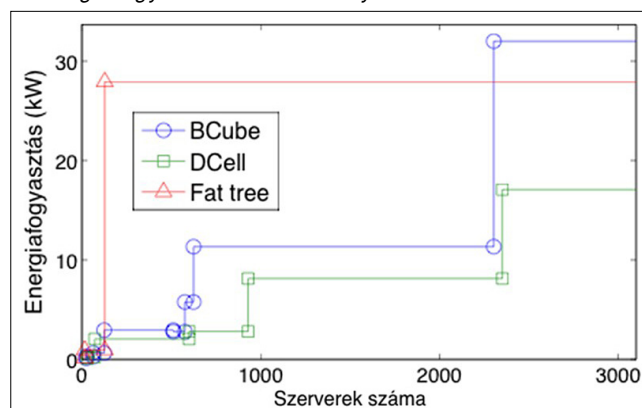
ként, az értéket az 5 portos switch energiafogyasztásából interpoláltuk. Megjegyezzük, hogy a szimulációk során használt fogyasztási adatok a termékek specifikációjából származnak, azonban az eszközök tényleges energiafogyasztása az aktuális hálózati forgalomtól is függhet.

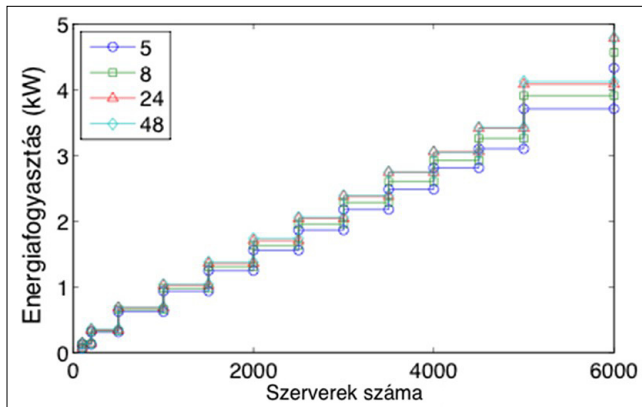
A 6. ábrán a technika jelenlegi állásához tartozó adatközpontok energiafogyasztása látható az adatközpontban található szerverek számának függvényében. Ezek a struktúrák csupán egy vagy két paraméterrel rendelkeznek, ezért a hálózatok méretét mérsékelten lehet beállítani. Ebből adódik, hogy a topológiák mérete nagy lépésekben változik. Például, a BCube topológia energiafogyasztása 2304 szerver esetén 11,3 kW, míg eggyel több szerver esetén már 32 kW. A hálózat egy szerverrel való növelése majdnem háromszoros energiafogyasztást jelent. A másik kettő struktúra esetén is hasonló ugrások figyelhetők meg a energiafogyasztásban. Ebből a szempontból az lenne ideális, ha a hálózatok energiafogyasztása arányos lenne a bennük található szerverek számával. Ez a tulajdonság nem teljesül sem a BCube, sem a DCell sem pedig a fat-tree adatközpont-hálózat esetén. Az eredményekből adódik, hogy ezeket a struktúrákat akkor érdemes alkalmazni, ha az adatközpont terhelése jól becsülhető előre, azaz nem szükséges a hálózatok méretét megváltoztatni. Az adatközpontok teljesítményének és energiafogyasztásának kapcsolatával részletesen a [11] cikk foglalkozik.

Ezek után vizsgáljuk meg a bemutatott Scafida adatközpont-hálózat energiafogyasztását! A Scafida-topológia skálázhatóságából adódik, hogy az algoritmussal tetszőleges méretű hálózat kialakítható. Az ismertetett hálózati switcheket felhasználva különböző típusú Scafida-hálózatokat készítettünk, majd szimuláltuk ezek energiafogyasztását.

Az eredmények a 7. ábrán láthatóak. Megfigyelhető, hogy a Scafida-hálózatok energiafogyasztása arányos a szerverek számával, azaz a Scafida adatközpont-hálózatok energiahatékonnyak. A korábbi struktúrákkal szemben a Scafida esetén a függvényugrásokat a futtatási paraméterek, és nem a topológia szerkezete okozza. Azaz, ha a szimulációkat minden lehetséges méretű Scafida-hálózatra lefuttatnánk, akkor az ábrán nem jelennének meg ugrások. A Scafida-struktúra energiafogyasztása

6. ábra
A BCube, a DCell és a fat-tree adatközpont-hálózatok energiafogyasztása nem arányos a szerverek számával





7. ábra

A Scafida adatközpont-hálózatok energiafogyasztása arányos a bennük szereplő szerverek számával

arányos a szerverek számával, vagyis minden olyan esetben alkalmazható, ahol az adatközpont mérete folyamatosan változik, növekszik.

5. Összefoglalás

Célunk az adatközpont-hálózatok energiafogyasztásának vizsgálata volt. Áttekintettük, hogy jelenleg milyen hálózati struktúrákat alkalmaznak az adatközpontokban, azután javasoltunk egy biológiai ihletésű, skálázható és flexibilis adatközpont-struktúrát. A Scafida-topológia a skálafüggetlen hálózatokra épül, azonban korlátozza a hálózati pontok fokszámát annak érdekében, hogy a hálózat megvalósítható legyen a fizikai berendezések véges számú hálózati interfészeivel. Szimulációs eredmények alapján megmutattuk, hogy a jelenleg alkalmazott adatközpont-struktúrák energiafogyasztása nem arányos a bennük található szerverek számával. Ezzel szemben a javasolt Scafida-topológiák energiahatékonyak, hiszen energiafogyasztásuk arányos a szerverek számával.

Köszönetnyilvánítás

A cikk a BME HSN Laboratóriuma (<http://www.hsnlab.hu>) részleges támogatásával készült.

A szerzőkről



GYARMATI LÁSZLÓ a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerzett műszaki informatikus (2008), illetve egészségügyi mérnök (2010) diplomát. Jelenleg a Távközlési és Médiainformatikai Tanszék doktorandusz hallgatója. Kutatási területe a hálózati rendszerek vizsgálata társadalmi-gazdasági szempontok alapján, távközlési problémák játékelmélet alapú modellezése, energia-hatékony infokommunikációs rendszerek vizsgálata.



TRINH ANH TUAN a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerzett műszaki informatikus diplomát 2000-ben. Jelenleg a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék tudományos munkatársa. Informatikai tudományokból doktori fokozatát 2005-ben védte meg. Kutatási és oktatási területe a távközlési protokollok teljesítményelemzése, játékelmélet távközlési alkalmazása. Rendszeresen publikál nemzetközi szakmai konferenciákon illetve folyóiratokban.

Irodalom

- [1] Jacobson, V., Smetters, D.K., Thornton, J.D., Plass, M.F., Briggs, N.H. and Braynard, R.L., „Networking named content”, ACM CoNext '09, pp.1–12, 2009.
- [2] Greenberg, A., Hamilton, J., Maltz, D.A., Patel, P., „The cost of a cloud: research problems in data center networks”, ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev., Vol. 39, No.1, pp.68–73, 2009.
- [3] Kroomey, J. G., „Worldwide electricity used in data centers”, Environmental Research Letters, Vol. 3., No.3, pp.1–8, 2008.
- [4] Schappi, B., Belloso, F., Przywara, B., Bogner, T., Weeren, S., Anglade, A., „Energy efficient servers in Europe”, The Efficient Servers Consortium, Oct. 2007.
- [5] Guo, C., Lu, G., Li, D., Wu, H., Zhang, X., Shi, Y., Tian, C., Zhang, Y., Lu, S., „BCube: a high performance, server-centric network architecture for modular data centers”, ACM SIGCOMM '09, pp.63–74, 2009.
- [6] Guo, C., Wu, H., Tan, K., Shi, L., Zhang, Y., Lu, S., „DCell: a scalable and fault-tolerant network structure for data centers”, ACM SIGCOMM '08, pp.75–86, 2008.
- [7] Al-Fares, M., Loukissas, A., Vahdat, A., „A scalable, commodity data center network architecture”, ACM SIGCOMM '08, pp.63–74, 2008.
- [8] Albert, R., Jeong, H., Barabási, A-L., „Internet: Diameter of the World-Wide Web”, Nature, Vol. 401, No. 6749, pp.130–131, Sept. 1999.
- [9] Barabási, A-L., Albert, R., „Emergence of Scaling in Random Networks”, Science, Vol. 286, No. 5439, pp.509–512, 1999.
- [10] Gyarmati, L., Trinh, T. A., „Scafida: A Scale-Free Network Inspired Data Center Architecture”, ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev., Oct. 2010.
- [11] Gyarmati, L. and Trinh, T. A., „How Can Architecture Help to Reduce Energy Consumption in Data Center Networking?”, E-energy 2010, 1st Int. Conference on Energy-Efficient Computing and Networking, Passau, Germany, April 2010.

Útvonalválasztás késleltetés-toleráns hálózatokban

BABARCI PÉTER, TANAI FERENC, CSIKOR LEVENTE,
TAPOLCAI JÁNOS, HESZBERGER ZALÁN

*Nagysebességű Hálózatok Laboratórium (HSNLab)
BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszék
{babarci, tanai, csikor, tapolcai, heszi}@tmit.bme.hu*

Lektorált

Kulcsszavak: késleltetés-toleráns hálózatok, útvonalválasztás, ad hoc járműhálózatok, időszakos összefüggőség

A késleltetés-toleráns hálózatok (DTN) olyan hálózatok, amelyekben az idő jelentős részében nem áll rendelkezésre végponttól végpontig terjedő útvonal a forrás és a célsomópont között. Ilyen hálózatok körébe tartoznak többek között egyes szenzorhálózatok, mobil járműhálózatok, úrkommunikációs rendszerek vagy akár a katonai célra alkalmazott hálózatok.

A DTN környezet kétségtelenül legfontosabb kihívása az útvonalválasztás, hiszen a hagyományos technikák jellemzően stabil, folyamatosan rendelkezésre álló végponttól végpontig terjedő útvonalak keresésére alkalmasak.

Cikkünkben áttekintést nyújtunk a környezet legnagyobb kihívásairól és az útvonalválasztó módszerek főbb kategóriáiról, megkülönböztetve az egyetlen üzenetmásolatot alkalmazó, illetve az elárasztás jelleggel működő eljárásokat.

A különböző kategóriák néhány alapvető algoritmusának részletes ismertetése után áttekintésünk végén szimuláció segítségével hasonlítjuk össze a bemutatott módszerek teljesítményét nagyvárosi környezetben.

1. Bevezetés

Napjainkban az internet térhódításával a hálózati forgalom jelentős része IP-alapon továbbítódik a végpontok között. A hálózatok túlnyomó része az IP-alapú hálózati réteg felett TCP-t alkalmazva a szállítási rétegben megfelelő szolgáltatásminőségi szintet képes nyújtani az alkalmazások számára, ezzel biztosítva a felhasználók elégedettségét. Mindez ugyanakkor az alsóbb hálózati rétegekkel szemben implicit módon számos követelményt támaszt. A három legfontosabb elvárás az egyes linkektől, vagy akár a teljes hálózattól, hogy minden pillanatban létezzen végponttól végpontig terjedő útvonal az adat forrása és célsomópontjai között, továbbá a maximális körülfordulási idő ne nőjön egy bizonyos határ fölé, illetve a végpontok közötti csomagvesztési valószínűség alacsony legyen [15].

Abban az esetben, ha ezen tulajdonságok közül bármelyik is sérül, nehézségekbe ütközünk a hagyományos protokollok alkalmazását illetően. Például végponttól végpontig terjedő útvonal hiányában a hálózatnak a *tárolás és továbbítás elvén* kell működnie, azaz a résztvevő csomópontoknak (vagy a forrásnak) akár órákra is el kell tárolnia egy csomagot, mielőtt továbbítani tudná azt. A jelenleg alkalmazott útvonalválasztók ugyan fel vannak készítve különböző adatkapcsolati rétegbeli protokollokkal való együttműködésre, de a csomagok huzamosabb tárolására nem alkalmasak az egyes linkek kiesése esetén. Hasonló a helyzet egy magas körülfordulási idővel rendelkező összeköttetés esetén, ahol a TCP-kapcsolatok rendre megszakadnának, valamint a magas csomagvesztés is érzékelhető minőségromlást eredményezne a felhasználók számára. Az olyan hálózatokra, ahol a három legfontosabb alapelv közül bármelyik sérül, összefoglaló néven késleltetés- vagy meg-

szakítás-toleráns hálózatokként (Delay or Disruption Tolerant Networks – DTN [9]) hivatkoznak.

Amint az előbbi példákban is láthattuk, DTN környezetben hagyományos protokollok alkalmazásával a minimális szolgáltatásminőségi szint nyújtása is kérdéses (pl. TCP, DNS [9]), ezért módosított hálózati architektúrák kidolgozására van szükség. Az igényelt szolgáltatásminőség, alkalmazási területtől függően vonatkozhat minimális időzítési követelmények betartására, vagy extrém esetben egyáltalán az adat célba juttatására. Az egyes hálózati rétegek funkcióinak késleltetés-toleráns környezetben való megvalósítására megoldások és ajánlások széles skálája létezik.

Az egyik legérdekesebb javaslat a fizikai rétegben postagalambok alkalmazása. Az IETF hagyományosan minden április 1-én tréfás RFC-eket tesz közzé, ezek közé tartozott az 2549-es is, amely IP-csomagok küldését specifikálta postagalambokon. A módszert később implementálták is, melynek során kinyomtatott IP-csomagokat csatoltak a galambokra. A mért adatok alapján a hálózat körülfordulási ideje 3 óra volt, így megállapítást nyert, hogy TCP-kapcsolatok továbbítására nem alkalmas. Az adatkapcsolati rétegben más környezetből származó módszerek adaptálhatóak, például törlő kódolás (erasure coding [11]) vagy hálózati kódolás (network coding [17]), melyek alkalmazási területtől függően jelentősen javíthatnak a DTN-hálózatok teljesítményén.

Felsőbb rétegekben is találkozhatunk a DTN-hálózatok „tárolj és továbbíts” alapelvével. Erre példa a hálózati rétegben a FIDONET [16], amely több aspektusból is hasonlít egy DTN-hálózatra és teljesíti a DTN-alkalmazások minimális megbízhatósági követelményeit. A hálózatot számítógépek közötti telefonos adatátvitelre tervezték az Amerikai Egyesült Államokban, ahol a helyi hívások díjazása nem percalapú volt, míg a távolsági

hívásoké igen. Így helyi hívás kezdeményezése napszaktól függetlenül megérte, míg a távolsági adathívásokat olcsóbb volt éjszaka bonyolítani. Ezért az egyes igényeket a két gép közötti közvetlen hívás helyett egy helyi központban gyűjtötték össze, és éjszaka továbbították őket a távolabbi célpontok felé. A bolygóközi kommunikációt biztosító DTN-típusú InterPlaNetary Internet szállítási rétegében a szigorú időzítést igénylő TCP helyett a TP-Planet [12] szállítási protokollt alkalmazzák. A TP-Planet egyszerűen a hagyományos TCP-protokollt terjeszti ki és teszi alkalmassá magas késleltetésű linkek történé megbízható adattovábbításra.

A hagyományos alkalmazási rétegbeli protokollok legtöbbje megfelelő változtatásokkal könnyen illeszthető DTN-környezetbe. Számos olyan alkalmazási példa említhető, ahol a rendelkezésre álló hálózati infrastruktúra a fenti kihívásokkal rendelkezik. Szenzorhálózatok széles köre tartozhat a DTN-hálózatok közé, ahol mobil csomópontok is részt vesznek a mért adatok központba juttatásában. Ilyen alkalmazás például egy vízmonitorozó hálózat, ahol a víz minőségét bálnákra szerelt szenzorok mérik, majd amikor a bálna visszatér a táplálkozó helyére, átadja az adatokat a bázisnak. A magas körülfordulási idő miatt a víz alatti hanghullámokkal való kommunikációt használó hálózatok is a késleltetés toleráns hálózatok körébe sorolhatóak. További alkalmazási példa lehet egy vadállatok élőhelyének monitorozására telepített szenzorhálózat (pl. ZebraNet).

A DTN-koncepciót követő alkalmazások közül az egyik legfontosabb példa az interneteléréssel nem rendelkező távoli területek számára biztosítani a világhálózathoz való hozzáférést DTN-hálózat segítségével, ahol más technológia kiépítése költséges lenne. Ez történhet állatokra erősített adóvevők vagy motorkerékpárok segítségével, melyek folyamatosan ingáznak az Internet összeköttetéssel rendelkező nagyváros és a települések között, lehetővé téve az off-line böngészést. A késleltetés-toleráns hálózatok körébe sorolhatóak azok a közlekedési járművekkel megvalósított mobil hálózatok is (VANET, Vehicular Ad hoc NETWORKS), amelyekben időszakosan előfordulhat, hogy nem áll rendelkezésre útvonal a célhoz. VANET-hálózatok használhatóak státuszjelzések küldésére az út minőségét, a szabad parkolóhelyeket, vagy a dugókat illetően broadcast jelleggel, vagy akár videóteka szolgáltatás megvalósítására is alkalmazhatóak pont-pont kommunikációval.

Láthattuk, hogy hálózatok széles köre létezik, melyekben nincs folyamatosan végponttól végpontig terjedő útvonal például a csomópontok mozgása vagy az energiatakarékos működés miatt, illetve a tradicionális protokollok által nem tolerálható késleltetés tapasztalható a távolság vagy az átviteli közeg jellemzői miatt. Ilyen tulajdonságokkal rendelkező környezetben az útvonalválasztás jelenti a legnagyobb kihívást. Jogosan vetődik fel a kérdés: „Melyik csomópontnak adjuk tovább a csomagot (vagy DTN-terminológiával: üzenetet), ha még nincs is útvonal, sőt, még a cél helyzetéről rendelkezésre álló információ is bizonytalan?”. Ilyen környezetben a hagyományos útvonalválasztó algoritmusok (pl. RIP, OSPF),

illetve a mobil ad hoc környezetben alkalmazott módszerek (pl. DSR, AODV [4]) gyakran nem alkalmazhatóak, mivel sem a végponttól végpontig terjedő útvonal létezése, sem a célcsomópont helyzetének vagy akár címének (pontos) ismerete nem garantálható. A hagyományos algoritmusok viszont éppen azon alapulnak, hogy a célig vezető lehetséges útvonalakat felderítsék, mielőtt bármilyen hasznos adatot küldenék a hálózatba.

Cikkünk a DTN útvonalválasztó algoritmusok alapvető tulajdonságairól és teljesítményéről próbál átfogó képet nyújtani. A következő szakaszban ismertetjük azokat a teljesítménymérőket és hálózati sajátosságokat, amelyek befolyásolják az alkalmazási környezethez legjobban illeszkedő algoritmus kiválasztását. Az ismertetett tulajdonságok alapján a 3. szakaszban különböző megközelítéseket alkalmazó útvonalválasztó algoritmusokat mutatunk be. Végül a 4. szakaszban nagyvárosi tömegközlekedést szimuláló környezetben hasonlítjuk össze a bemutatott algoritmusok teljesítményét a korábban bevezetett fontosabb teljesítménymutatók mentén.

2. DTN-hálózatok jellemzői

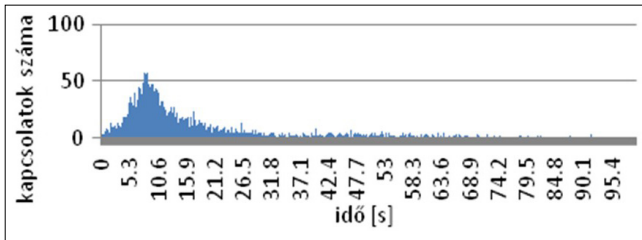
2.1. Az alkalmazási környezet tulajdonságai

A DTN-hálózatok tulajdonságai igen széles spektrumot ölelnek fel, gondoljunk csak a csomópontok sebességének hatására az átviteli paraméterekre, vagy a csomópontok számára rendelkezésre álló energiára (például szenzorhálózatok és járműhálózatok esetén). Ebben a szakaszban a DTN útvonalválasztó algoritmusok teljesítményének szempontjából lényeges három paramétert vizsgáljuk meg: a találkozások időpontjának ismeretét, a létrejövő összeköttetés sáv szélességét, illetve a továbbítandó üzenetek tárolására szolgáló tároló méretét.

A *találkozások időpontjának ismerete* a konkrét DTN-hálózattól és alkalmazástól függ. Műholdakkal való kommunikáció során precíz információknak van arról, hogy a műhold mikor kerül a horizont fölé és mikor bukik le. Egy ad hoc hálózatban ezzel szemben semmilyen információnk nincs a csomópont jövőbeni helyzetéről és a jövőbeni összeköttetés paramétereiről. A két véglet közötti átmenet, ha valamilyen (pontatlan) információnk van a csomópontok helyzetéről vagy mozgásáról. Ilyen információ lehet például a menetrend egy tömegközlekedési hálózatban, amelytől a forgalom függvényében a találkozás időpontja eltérhet. A csomópontok mozgásáról ad hoc hálózatban is tudunk információt gyűjteni, például ha léteznek olyan régiók, ahol a csomópontok gyakrabban tartózkodnak, mint máshol (például állatok esetén az etető hely). Ezekben az esetekben statisztikai módszerekkel becsülni tudjuk a csomópontok jövőbeni helyét és az így nyert információt fel tudjuk használni az útvonalválasztási döntés meghozatalakor.

Az *összeköttetések sáv szélessége* a maximálisan átvihető adatmennyiségen túl azt is meghatározza, hogy mekkora üzenetméretet érdemes alkalmazni. Túl kicsi üzenetek esetén nagy lesz az overhead, nagy üzenetek alacsony sáv szélességű, vagy rövid ideig élő vezeték

nélküli összeköttetésen való továbbítása viszont csak többszöri próbálkozásra sikerülhet. A sikertelen próbálkozások ideje alatt viszont nem küldtünk hasznos adatot, ezzel is rontva a hálózat teljesítőképességét. A 4.1. szakaszban a videotéka alkalmazáshoz megadott átviteli jellemzőkkel az összeköttetés időtartamára azt kapjuk, hogy nagyvárosi környezetben két jármű várhatóan 8 másodpercig lesz összeköttetésben, mely idő alatt az adtcserére lehetőség van (1. ábra).



1. ábra

Járműhálózatban létrejövő összeköttetések hossza

A tárolóméret és az alkalmazott tárolóstratégia nagyban befolyásolja, hogy mennyi másolatot érdemes megengedni egyetlen üzenetből. Végtelen tároló alkalmazása esetén azok a módszerek lesznek előnyben, melyek minél több (potenciálisan az összes) útvonalon terjesztik az üzenetet, hiszen ekkor a sok útvonal között nagy valószínűséggel megtalálható az optimális (például legközelebb, legkisebb késleltetésű stb.) is. Kis tároló esetén a sok üzenet nem kifizetődő, mivel a limitált hely miatt gyakran kell felülírni olyan üzeneteket, melyek még nem értek célba, csökkentve ezzel a módszer hatékonyságát. A tárolóban a felülírandó üzenetek kiválasztásához alkalmazhatjuk például a megtett ugrásszámot, a hátralévő időt, vagy más valószínűségi alapú metrikát [18]. A tárolóban alkalmazott stratégia hatékonyságának javítása érdekében a már célba érkezett üzenetek törlésére nyugták is terjeszthetők a hálózatban.

2.2. Útvonalválasztási döntés meghozatalának időpontja

A hagyományos útvonalválasztó módszereknél alkalmazott két megközelítés, a forrás által vezérelt, illetve az ugrásonkénti útvonalválasztás (source routing, illetve hop-by-hop routing) DTN-környezetben is felmerül, mint lehetőség. A végponttól végpontig terjedő útvonal ismerete nélkül csak akkor tudunk hatékonyan *forrás által vezérelt útvonalválasztást* alkalmazni, ha a hálózatról kellően pontos információink vannak. Ez előfordulhat, ha van valamilyen orákulumunk, aki megmondja a pontos időzítéseket, a sorbaállási időket, jövőben érkező igényeket [10].

A gyakorlatban DTN-hálózatokban a lehető legkésőbbre kell halasztanunk az útvonalválasztási döntést. Az *ugrásonkénti útvonalválasztás* már közelebb visz ehhez a célhoz, de még mindig nem elég hatékony, mert már az üzenet beérkezésekor eldönti a következő csomópontot. Azaz még jobb, ha akkor döntünk az üzenet sorsáról, hogy átadjuk-e, vagy sem, amikor egy új összeköttetés létrejön, azaz *összeköttetésenkénti útvonalválasztást* alkalmazunk.

2.3. Algoritmusok hatékonyságának összehasonlítása

Mivel DTN-környezetben egy adott üzenet célbaérkezése nem garantált, az útvonalválasztó algoritmusok értékeléséhez meg kell határoznunk, hogy egy adott időpontig a keletkezett üzenetek hány százaléka érkezett célba. Ezt a hányadost *célbaérkezési aránynak* nevezjük, és a DTN útvonalválasztó algoritmusok teljesítményének legfontosabb mérőszáma. Alkalmazástól függően akár már a küldött üzenetek felének célbaérkezése is jó teljesítménynek tekinthető, míg egy tömegközlekedési eszközökön megvalósított videotéka-szolgáltatás esetén akár egyetlen üzenet elvesztése is problémát jelent. Valamennyi üzenet célbaérkezését megkövetelő alkalmazások esetén az algoritmusok teljesítményéről a teljes megérkezésig eltelt *késleltetés* ad információt. Egy városi környezetben működő tartalomszolgáltatásnál kiemelt szerepet játszhat, ha a szolgáltató garantálja, hogy a terméke adott idő alatt megérkezik a felhasználóhoz. Ekkor olyan útvonalválasztási módszert célszerű alkalmazni, mely a megrendelés és a határidő közötti időtartamnál kisebb késleltetéssel képes a filmet célba juttatni.

Az útvonalválasztó algoritmusok teljesítményének vizsgálatakor nem mellékes információ a hálózatban keletkezett *üzenetmásolatok száma*, amely azt adja meg, hogy egyetlen üzenet hány különböző csomópontnál található egy adott pillanatban (végtelen tároló méretet feltételezve). A csomópontok véges erőforrásokkal rendelkeznek és az üzenetek tárolására is véges kapacitás áll rendelkezésre, így a sok üzenetmásolatot használó algoritmusok rosszabbul teljesíthetnek például kis tároló kapacitás esetén. Az üzenetmásolatok csökkentésének céljából alkalmazható az üzenetekben a *maximális ugrásszám* (vagy *élettartam*) paraméter. Ha az üzenet áthalad a paraméterben megadott csomópontszámon (vagy lejár az élettartama), akkor nem továbbítódik a következő átadáskor, és a tárolóban alkalmazott stratégiától függően vagy azonnal töröljük, vagy csak szükség esetén, szabad erőforrás hiányában írjuk majd felül.

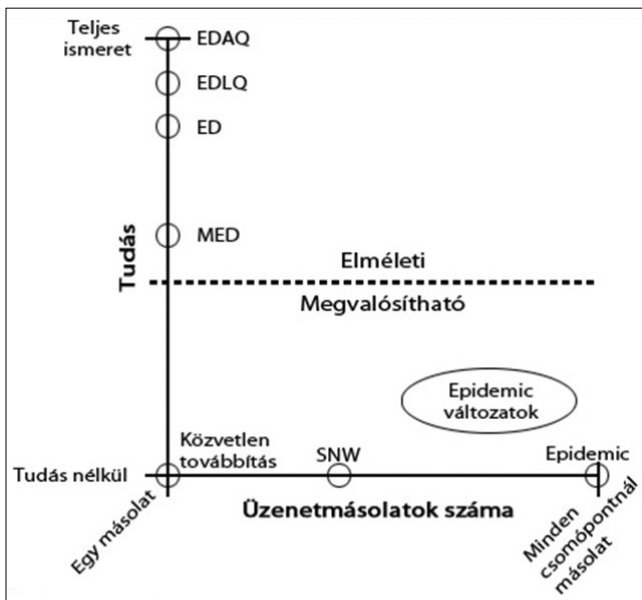
Általánosan elmondható, hogy az adott alkalmazási környezethez a célunk olyan útvonalválasztó stratégiát választani, amely maximalizálja a célbaérkezési arányt, tolerálható késleltetést biztosít és mindezek mellett a lehető legkevesebb üzenetmásolatot használja.

3. Útvonalválasztás

Az előző szakaszban láthattuk, hogy a DTN hálózatokban alkalmazott útvonalválasztó módszerekkel szemben támasztott legfontosabb követelmény, hogy maximalizálják a célbaérkezési arányt, figyelembe véve a csomópontoknál rendelkezésre álló erőforrásokat és az útvonalválasztási döntés meghozatalához rendelkezésre álló információ mennyiségét. Ebben a szakaszban rátérünk konkrét DTN útvonalválasztó módszerek ismertetésére.

A jelenleg alkalmazott útvonalválasztó algoritmusokat alapvetően két paraméterrel jellemezhetjük: a döntés meghozatalához felhasznált tudás, illetve az üzenet-

másolatok száma. A szakirodalom által feltérképezett megoldások ezek közül többnyire tisztán csak egyik vagy másik paramétert használják (2. ábra), egyedül a [6]-ban ismertetett néhány módszer és az epidemic változatok azok, amelyek törekvést mutatnak arra, hogy mind a több üzenetmásolat, mind a tudás előnyeit ötvözzék a magasabb hatékonyság elérése érdekében. A következő szakaszokban ismertetjük a tudás és másolatszám által kifejlesztett sík egymástól távoli pontjain található módszerek lényegesen eltérő megközelítéseit.



2. ábra DTN útvonalválasztó algoritmusok az üzenetmásolatok száma és a döntés meghozatalához felhasznált tudás függvényében [20]

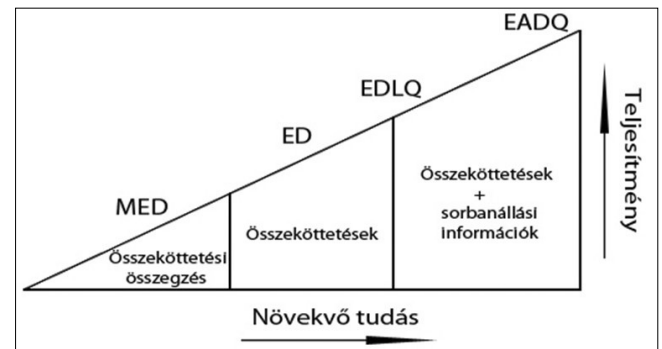
3.1. Egyetlen másolatot használó módszerek

A legegyszerűbb módszer a *közvetlen továbbítás*, azaz ha a forrás, vagy egy közbeiktatott „adathordozó öszvér” (Mobile Ubiquitous LAN Extensions, MULE) elviszi az üzenetet a célcsofóponthoz. Egy öszvér képes rövid távú vezeték nélküli összeköttetés létesítésére és adatok cseréjére más csomópontokkal (szenzorokkal, hozzáférési ponttal stb.), ha a közelükbe ér. Az alkalmazási területtől függően az adathordozó öszvér szerepét autók, buszok, de természetes élőhelyek monitorozás esetén ténylegesen állatok is betölthetik. Ilyen alkalmazás lehet például olyan szenzorhálózat, ahol a hálózatban mozgó öszvérek a szenzoroktól begyűjtik az adatot és elszállítják a gyűjtőpontba, ahol az adat feldolgozásra kerül [13]. A közvetlen továbbítás módszere az üzenet-továbbítások számában optimális, hiszen egyetlen (közbeiktatott öszvérrel két) átadás történik üzenetenként, a késleltetés viszont magas lehet a forrás vagy az öszvér mozgásától függően.

A megfelelő útvonalválasztási stratégia kiválasztása szempontjából érdemes lehet megvizsgálni, hogy milyen teljesítményre lenne képes a módszer, ha ismernénk a DTN hálózat bizonyos paramétereit, úgymint a létrejövő összeköttetések idejét és hosszát, a sorok állapotát, illetve a jövőben érkező igények paramétereit. Ezen in-

formációk nem nyerhetők ki a hálózatból, így csak elméleti szinten állnak rendelkezésre, úgynevezett orákulumok által. A feltételezett tudás függvényében több különböző orákulumot definiáltak [10], melyek a 3. ábrán láthatóak.

Az orákulumoktól szerzett részleges ismeret alapján az útvonalválasztási algoritmusok a rendelkezésre álló tudás függvényében megfelelően súlyozzák a gráfban az éleket és az így nyert segédgráfban egy *legrövidebb utat* (shortest path) számolnak.



3. ábra Részleges ismeretet felhasználó orákulum alapú technikák

A 3. ábrán látható, hogyan változik az algoritmusok teljesítménye a több tudás felhasználásán alapuló döntések esetén. A *legkisebb várható késleltetés* (Minimum Expected Delay, MED) algoritmus egy él súlyát az átlagos várakozási idő, jelterjedési késleltetés és az átviteli késleltetés összegeként értelmezi. A *legkorábbi célbaérkezés* (Earliest Delivery, ED) módszer jellemzője, hogy nem használ sorbanállási információkat, csak az összeköttetési orákulumtól kapott tudást veszi figyelembe a gráf súlyozásakor. Ebben az esetben forrás által vezérelt útvonalválasztásról beszélünk, ahol nem befolyásolja az útvonalak kiválasztását az eddigi üzenetek léte a rendszerben, ezáltal nem tudja elkerülni a torlódást.

A nevéből adódóan a *legkorábbi célbaérkezés helyi sorállási információk felhasználásával* (Earliest Delivery with Local Queuing, EDLQ) módszer az előző algoritmus-hoz képest figyelembe veszi a sorállási információkat is, de csak az adott csomópont esetén, ahol éppen az üzenet tartózkodik. Ennek a megközelítésnek komoly hátránya, hogy hurok alakulhat ki, és ezáltal az üzenetek örökké oszcillálhatnak két csomópont között. A *legkorábbi célbaérkezés globális sorállási információk felhasználásával* (Earliest Delivery with All Queues, EDAQ) a teljes topológia sorállási információit felhasználja az útvonalak kiszámításához. Ezen felül, ha a jövőben érkező igények pontos paramétereit is ismerjük, egy lineáris programozási (LP) feladat segítségével meghatározhatjuk az optimális útvonalat az egyetlen másolat számára.

3.2. Több üzenetmásolatot alkalmazó módszerek

3.2.1. Epidemic – elárasztás

Az előbbieken olyan megoldásokat ismertettünk, ahol az útválasztási döntések meghozatalához segítségünkre volt egy orákulum, ami rendelkezésünkre bocsá-

tott részleges vagy teljes információt a hálózatról. Az *epidemic routing* („járványszerű” elárasztás) [8] – ahogy a neve is sugallja – lényegesen eltérő megközelítést alkalmaz és hálózatról felhasznált tudás helyett az üzenetmásolatok számának növelésével próbál magasabb célbaérkezési arányt elérni a közvetlen továbbításnál (lásd a 2. ábrát).

Annak érdekében, hogy ne tisztán elárasztásról beszéljünk, hanem egy csomópont egy üzenetből legfeljebb egy másolatot tároljon, az eredeti epidemic algoritmusra [8] a következő megvalósítást javasolták. Minden csomópont tárol egy bitvektort (summary vector), ami mutatja, hogy milyen üzenetek találhatóak a csomópontnál. Ha két csomópont találkozik, kicserélik a *summary vectorokat*, hogy megállapítsák, melyik üzenetből nem rendelkeznek másolattal, majd a második lépésként elkérnek egy másolatot az általuk nem birtokolt üzenetekből.

A cél a többi módszerhez hasonlóan maximalizálni a célbaérkezési arányt és minimalizálni a késleltetést azáltal, hogy a harmadik teljesítménymérőt, az üzenetek számát feláldozzuk (lásd 2.3. szakasz). Az epidemic útvonalválasztás több alkalmazási környezetben optimális megoldást biztosít. Végtelen sávszélességű összeköttetések és végtelen tároló alkalmazása esetén az epidemic minden üzenetet célba juttat, ami egyáltalán célba juttatható bármely útvonalválasztási módszer alkalmazásával. Ezen felül minimális késleltetéssel is rendelkezik, hiszen az összes útvonalon terjeszt egy üzenetmásolatot, közöttük a legkisebb késleltetésű útvonalon is. Azonban valós környezetben nem áll rendelkezésre végtelen sávszélesség és tárolókapacitás. Véges tároló esetén az üzenetek felülírásával, véges sávszélesség esetén pedig egy legrövidebb úton haladó üzenet átadásának meghiúsulásával az epidemic algoritmus teljesítménye jelentősen romolhat. Ugyanakkor még szűkös erőforrások esetén is érdemes alkalmazni olyan hálózatokban, amelyekben kicsi a csomópontok mobilitása, és a közvetlen továbbítás módszerét alkalmazva a forrás ritkán (vagy soha) nem találkozik a célcsomóponttal.

Az egyetlen üzenetmásolatot alkalmazó módszerekhez képest megnövekedett erőforrás-használat miatt korlátozni kell a keletkező üzenetmásolatok számát, például az ugrásszám maximalizálásával, vagy valószínűségi alapú metrikák bevezetésével, ahogy ezt a következő szakaszban bemutatott epidemic változatok teszik.

3.2.2. Másolatok számának statisztika-alapú korlátozása

A *találkozási valószínűségekkel kontrollált elárasztás* [3] (Probabilistic ROuting Protocol using History of Encounters and Transitivity, PROPHET) algoritmus a hálózatról kinyert információ alapján csökkenti az üzenetmásolatok számát az epidemic módszerhez képest, és egy csomópont csak azoknak a csomópontoknak ad üzenetmásolatot, akiket az üzenet „jó” hordozójának ítél. Az órákumulatív alapú módszerekkel ellentétben a módszer a hálózatról kinyerhető információval dolgozik, és a múltbeli találkozásokról próbál következtetést levonni a hálózat jövőbeli állapotáról. Érezhetően a PROPHET

olyan környezetben fog hatékonyan teljesíteni, ahol szabályszerűség figyelhető meg a csomópontok mozgásában, míg teljesen véletlenszerű mozgás esetén a jóslás hasznavethetetlen.

A módszer eredeti változata [3] a következőképpen működik: A múltbeli találkozások alapján minden a csomópont kiszámol minden más b csomópontra egy úgynevezett *kézbiztonsági előreláthatóságot* (delivery predictability). A protokollt tekintve hasonlít az epidemic routingra olyan értelemben, hogy ha két csomópont találkozik, akkor kicserélik egymás közt a summary vectorukat, ami ebben az esetben az előbb említett valószínűségi értékeket is tartalmazza, ezáltal ezen információk is frissülnek a rendszerben. A kézbiztonsági előreláthatóság számítása során a The ONE szimulátorban ajánlott implementáció szerint [2] nulla kezdő értékek állnak rendelkezésre az egyes csomópontokhoz. Egy adott csomópont-ra vonatkozóan az első találkozásakor lesz nullától különböző kézbiztonsági előreláthatóság, majd a továbbiakban az (1)-(3) egyenletekben megadott szabály alapján változik ez az érték. Amikor két csomópont találkozik, akkor frissítik kézbiztonsági előreláthatóság értéküket az alábbiaknak megfelelően:

$$P_{(a,b)} = P_{(a,b)\text{régi}} + (1 - P_{(a,b)\text{régi}}) \cdot P_{\text{init}}. \quad (1)$$

A múltat figyelembe véve, ha két csomópont már rég nem volt egymás hatósugarában, akkor a kézbiztonsági előreláthatóság öregszik egy úgynevezett öregedési konstanssal:

$$P_{(a,b)} = P_{(a,b)\text{régi}} \cdot \gamma^k, \quad (2)$$

ahol k az eltelt időegységek száma. A kézbiztonsági előreláthatóságnak van még egy tranzitív tulajdonsága is, ami azon a megállapításon alapul, hogy ha a pont gyakran találkozik b -vel és b gyakran találkozik c -vel, akkor c a metrika alapján jó továbbító pont azon üzeneteknek, amiknek a a célcsomópontja, azaz

$$P_{(a,c)} = P_{(a,c)\text{régi}} + (1 - P_{(a,c)\text{régi}}) \cdot P_{(a,b)} \cdot P_{(b,c)} \cdot \beta. \quad (3)$$

Az (1)-(3) egyenletekben a P_{init} , γ , β , az alkalmazási környezetnek megfelelően választott konstans.

A frissített kézbiztonsági előreláthatóság értékek alapján akkor történik meg egy üzenetmásolat átadása, ha az üzenetmásolatot kérő csomópontnak magasabb a kézbiztonsági előreláthatóság értéke a célcsomópontra vonatkozóan, mint az üzenet jelenlegi hordozójának.

A SARP [1] (*Self-Adaptive Routing Protocol*) fő célja a PROPHET-hez hasonlóan, hogy adaptálódjon a hálózatban a csomópontok viselkedéséhez, csökkentve ezzel a szükséges átvitelek számát és a késleltetést. Az eddigi technikák [3,14] a kézbiztonsági előreláthatóságot alapvetően a találkozások száma alapján számították. Ennek két problémája is jelentkezett. Az egyik a *hibásan detektált találkozások*, mely esetén, ha egy d csomópont egy c csomópont hatósugarában van, akkor d -t többször hibásan detektálhatja, ha d időközben ki- és bekapcsolt. Hasonló eset fordul elő akkor is, amikor d a c csomópont hatósugarának a határán mozog. A másik probléma az úgynevezett *hosszú távú szomszédság*, amikor két szomszédos

csomópont ugyanakkora sebességgel ugyanabba az irányba mozog. A problémák kiküszöbölésére a SARP bevezeti a *találkozás-közi időt*, mint további paramétert. A találkozás-közi idő két csomópont egymás hatósugarában való tartózkodásának időtartamára és találkozásai között eltelt idejére alapszik. Ez a megközelítés nagyon hatékony lehet egy városi környezetben, ahol a csomópontok mozgása nagymértékben szabályozott az emberek mindennapi teendőjük végzésének, valamint a földrajzi és utazási korlátoknak köszönhetően.

3.2.3. Spray and wait/focus –

kétfázisú módszer az üzenetek szétterítésére

A Spray and Focus (SNF) és Spray and Wait (SNW) [6,7] algoritmusok célja, hogy jelentősen csökkentsék az elárasztás alapú megközelítésekhez képest az üzenetmásolatok számát (legfeljebb L darab másolat létezhet a hálózatban) és alacsonyan tartsák a késleltetést. Az üzenetmásolatok számának korlátozása nyitva hagyja azt a kérdést, hogy az L darab másolatot mely csomópontok birtokolják. Két megoldást javasolnak az SNW és SNF módszerek közös első fázisának (*spray fázis*) megvalósításra [6]: Az egyszerűbb megoldás, hogy a forrás az első $L-1$ darab csomópontnak ad egy-egy másolatot, amelyekkel találkozik. Ezt a megoldást *forrás-alapú szét-szórásnak* (source spray) nevezik, azonban a legtöbb alkalmazási környezet esetén hatékonyabbnak bizonyul az úgynevezett *bináris szétszórás* (binary spray), mely minimalizálja az üzenetmásolatok szétszórásáig eltelt várható időt [6]. A bináris szétszórás lényege, hogy az üzenet forrása L darab másolat készítését engedélyezi. Viszont a forrás szétszórással ellentétben találkozás-kor minden olyan a csomópont, aminek több mint egy üzenetmásolat készítési joga van (először csak a forrás, később akár hordozók is), találkozik egy b csomóponttal, aminek nincs egy másolata sem az adott üzenetből, átad b -nek $\lfloor n/2 \rfloor$ darabot és megtartja a maradék jogot magának. Ökölszabályként elmondható, hogy az iniciális üzenetmásolatok számát (L) a hálózatban lévő csomópontok 5-10%-ára érdemes választani.

Az SNW-módszer esetén a spray fázis után a *wait fázis* következik. Ha a spray fázisban nem sikerült kézbesíteni az üzenetet (nem volt a címzett az $L-1$ darab másik csomópont között), akkor mind az $L-1$ pont és a forrás is várakozik egészen addig, amíg nem találkozik a célcso-móponttal, azaz közvetlen továbbításra váltanak. Az SNW-algoritmus erősen épít a csomópontok mozgására, és így próbálja meg elérni a célját. Egy olyan alkalmazási területen viszont, ahol az egyes csomópontok az idő nagy részében egy helyben vannak (pl. egyetemi kampusz), nem túl hatékony. Ennek a kiküszöbölésére ajánlották az SNF-algoritmust, amely megtartja a spray fázist, azonban az SNW-algoritmus utolsó, várakozási (közvetlen továbbítás) fázisa helyett az üzenetet egy egyetlen üzenet-másolat továbbítására ajánlott DTN-útvonalválasztási módszerrel [7] továbbítja a célcso-mópont felé egy előre (például eddigi találkozások száma és ideje, tranzitivitás alapján) definiált – a PROPHET kézbesítési előrelát-hatóságához hasonló – hasznosság függvény alapján.

4. Szimulációs eredmények

Szimulációinkban összehasonlítjuk az előző szakaszban bemutatott PROPHET, Epidemic és Spray and Wait algoritmusokat a The ONE [2] szimulátor segítségével, mely egy tömegközlekedési, jármű és gyalogos hálóza-tot modellezve végez térkép alapú szimulációt. A jelenlegi eredményeket Helsink-i térképe alapján készítettük.

4.1. Szimulációs beállítások

Az algoritmusok teljesítményének összehasonlítására két különböző szimulációs összeállítást használtunk. Az első összeállítással egy videotéka-szolgáltatás működését modelleztük. A város térképén két fix pont (szol-gáltató és felhasználó) között zajlik a kommunikáció. A szolgáltatótól a városban közlekedő járművek tárolj és továbbíts elven juttatják el a hasznos információt a fel-használóig. A 802.11p szabványt [19] alapul véve átviteli sebességnek 24 Mbit/s-ot választottunk. A véges tároló-kapacitás és sáv szélesség nem teszi lehetővé egy nagy-méretű (720 MB) videó egy darabban történő továbbítá-sát, ezért az adatot kisebb üzenetekre (18 MB) kell dara-bolni a forrásnál.

A második összeállítás egy státusz üzeneteket küldő (szenzor-) hálózatot modellez (úthibák detektálása, dug-gók észlelése, szabad parkolóhelyek keresése stb.), ami lehetőséget ad az algoritmusok nagyobb adatforgalom esetén történő összehasonlítására. Ebben az összeál-lításban az adatátviteli sebesség nem korlátozza az al-goritmusok teljesítményét, tehát a sáv szélességet akko-rára választottuk meg, hogy egy találkozás alkalmával minden továbbításra szánt üzenetet át tudjon küldeni egy-másnak a két csomópont.

1. táblázat A szimulációkban alkalmazott beállítások

Alkalmazási példa	Videotéka	Státusz
Csomópont szám	98 mozgó, 2 fix	100 mozgó
Sebesség	3 - 13,9 m/s	0,5 - 13,9 m/s
Átviteli sebesség	24 Mbit/s	„végtelen”
Hatósugár	50 - 150 m	50 m
Üzenet méret	18 MB	1 kB
Üzenet szám	40 db	200 db
Élettartam	5400 s (1,5 óra)	5400 s (1,5 óra)

Mindkét esetben valamennyi üzenet egyszerre gene-rálódik 1000 másodperc felfutási fázis után, hogy a PRO-PHET kézbesítési előrelát-hatóság értékek kialakuljanak. Minden üzenet 1,5 óra (5400 másodperc) élettartammal rendelkezik, mely tekinthető a felhasználó által mega-dott határidőnek is, melyhez igazodnia kell a szolgálta-tónak. Az élettartam lejárta után az üzenet törlődik a há-lózatból.

4.2. Eredmények

Az ismerttetet módszereken felül két további, az elő-zőek kombinálásával illetve javításával nyert algoritmust ismertetünk. Az elsőt Spray and Prophet-nek [21] neve-ztük (SNP), ahol az SNW és SNF algoritmusok spray fá-

zisa után nem közvetlen továbbítást, illetve egyetlen üzenetmásolat továbbítást végzünk, hanem a PROPHET algoritmusnál megismert üzenetovábbítást és másolatkészítést alkalmazuk. A spray fázisban a várhatóértékben optimális bináris szétszórást alkalmaztuk.

A másikat adaptív PROPHET (AP) [21] névre kereszteltük, ahol az útvonalválasztási döntés meghozatalakor figyelembe vesszük, hogy mennyi idő telt el az üzenet keletkezése óta. Az eredeti PROPHET nem volt figyelemmel arra, hogy az üzenetnek mennyi ideje van célbaérkezni és ettől független stratégiát alkalmazott. Az AP algoritmus esetén eleinte alacsony *hasznossági küszöböt* állítunk be az üzenetre, majd az idő előrehaladtával ezt növeljük. Ezzel egy agresszív üzenetterjesztés tapasztalható az üzenet keletkezése után, majd a végén szinte közvetlen átadásra váltunk. Az AP abban tér el a PROPHET-től, hogy két csomópont találkozása esetén nem a két, célcsomópontra vonatkozó kézbesítési előreláthatóságot hasonlítja össze, hanem az üzenet hordozójában a csomag hátralévő élettartama alapján számolt hasznossági küszöböt veszi alapul, míg a másolatot kérő csomópont esetén megtartja a célcsomópontra vonatkozó kézbesítési előreláthatóságot. A továbbiakban az átadásra vonatkozó döntés a PROPHET esetén megismertek szerint folytatódik.

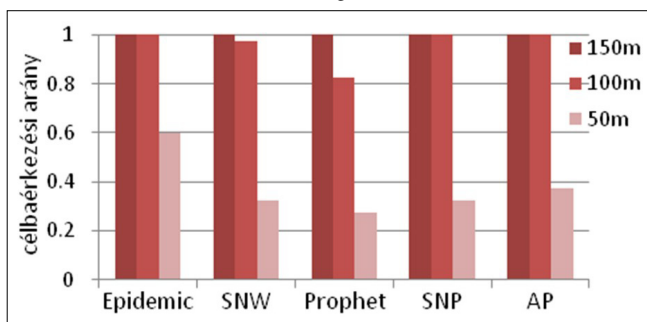
Az első szimulációs összeállításban először az összes üzenet tárolására alkalmas tároló mellett megvizsgáltuk, hogyan hat az adatátviteli eszköz hatósugara az egyes algoritmusok teljesítményére. A 4. ábrán jól látható, hogy a kisebb hatósugár kisebb célbaérkezési

arányt eredményez minden algoritmus esetén. Ez nem meglepő, hiszen kisebb hatósugár esetén a csomópontok kisebb valószínűséggel létesítenek összeköttetést a többi csomóponttal (kisebb a kommunikációs gráf összefüggősége), így az útvonalválasztás hatékonysága romlik. Megfigyelhető, hogy az SNP és az AP algoritmus a legnagyobb hatósugár esetén ugyanúgy (maximálisan), kisebb hatósugarak esetén pedig jobban teljesített, mint a Spray And Wait és a PROPHET algoritmusok.

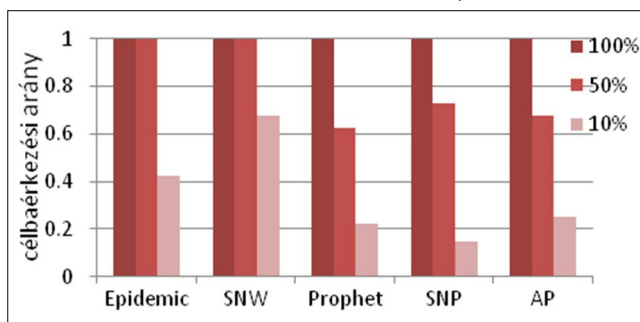
Szintén az első összeállításban az átviteli távolság változatlansága mellett (150 m) megvizsgáltuk a tárolókapacitás méretének hatását az algoritmusok teljesítményére. A kisebb kapacitás általánosan rosszabb célbaérkezési arányt eredményez, mert ha nincs elegendő hely az új üzenetek számára, akkor az alacsonyabb prioritású üzenetek törölődnek, így nagy másolatszám esetén kisebb valószínűséggel jut célba egy üzenet, mint végtelen kapacitás (100%) esetén. A leghatékonyabbnak az Epidemic és a Spray And Wait algoritmus bizonyult, azonban látható, hogy az Adaptív PROPHET algoritmus korlátos kapacitás esetén jobb teljesítményt tud elérni, mint a PROPHET algoritmus (5. ábra).

A több üzenetet használó második összeállításban az algoritmusok hatékonyságát két különböző tárolókapacitás esetén (100% és 50%) elemeztük. A 6. ábra a célbaérkezési arányt mutatja egy adott szimulációs időpontig, maximális (korlátlan) tárolókapacitás mellett. 100%-os kapacitáson a legeredményesebben az Epidemic-algoritmusnak kell működnie, hiszen ebben az esetben minden útvonalon, azaz az optimálisan is terjed az

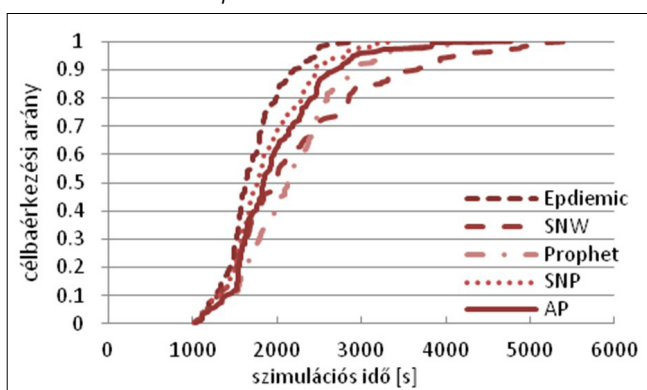
4. ábra
Célbaérkezési arány videotéka alkalmazás esetén különböző adatátviteli hatósugarak mellett



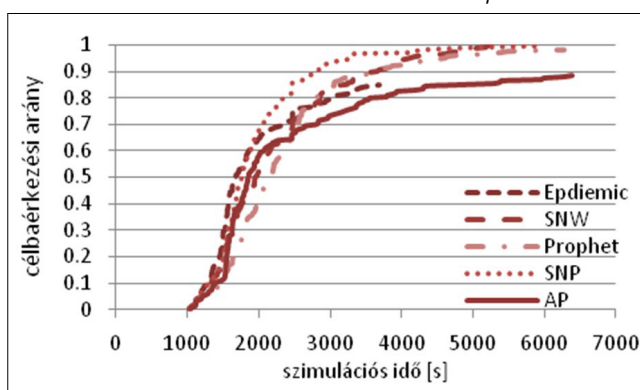
5. ábra
Célbaérkezési arány videotéka alkalmazás esetén különböző tárolókapacitások mellett



6. ábra
Célbaérkezési arány státusz üzenetek küldése esetén maximális tárolókapacitás mellett



7. ábra
Célbaérkezési arány státusz üzenetek küldése esetén 50%-os tárolókapacitás mellett



üzenet. Ezért az Epidemic-algoritmust *alsó korlátnak* tekinthetjük a késleltetésre, hiszen ennél gyorsabban ebben a szimulációs összeállításban egyik algoritmus sem képes az üzeneteket célba juttatni. Látható, hogy az összeállításban szereplő algoritmusok közül mindegyik kézbesítette az összes üzenetet, azonban az Epidemic után a leghatékonyabb a Spray And Prophet algoritmus volt. Az ábráról kitűnik a Spray And Wait és a Spray And Prophet algoritmusokat összehasonlítva, hogy mekkora teljesítményjavulást eredményez a spray fázis utáni másolatkészítés.

50%-os kapacitás esetén már nem jelent referenciát az Epidemic-algoritmus, mert a nagy másolatszám nagymértékben csökkenti a hatékonyságot. Az üzenetek élettartamának lejártáig nem is sikerült minden algoritmusnak az összes üzenetet kézbesíteni. Az ábrán kiemelkedik a Spray And Prophet kézbesítési sebessége. Míg a Spray And Wait és a PROPHET algoritmusok közel azonos sebességgel kézbesítik az üzeneteket, addig az Adaptív Prophet elmarad ettől a teljesítménytől a nagyobb számú üzenetmásolat használata miatt.

5. Összefoglalás

Cikkünkben különböző elven alapuló DTN útvonalválasztási módszereket tekintettünk át, kiemelt hangsúlyt adva az alkalmazási környezet legfőbb kihívásainak és a teljesítmény mutatóinak. A tárolj és továbbíts elv miatt a környezetből adódó egyik legfőbb korlát a csomópontokban rendelkezésre álló tároló, mely nagyban befolyásolja az adott alkalmazáshoz leginkább illeszkedő módszer kiválasztását.

Szimulációk segítségével nagyvárosi járműhálózaton keresztül összehasonlítottuk a módszereket, valamint bemutattunk két további új algoritmust (SNP, AP). Az eredmények alapján megfigyelhető a véges méretű tárolókapacitás összetett hatása a sok üzenetmásolatot használó algoritmusokra.

A szerzőkről



BABARCI PÉTER 2008-ban szerzett műszaki informatikus oklevelet a Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen, amely diplomamunka III. díjat nyert a Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület diplomatervezési pályázatán. 2008-ban három hónapot töltött a kanadai Waterloo Egyetemen, mint vendégkutató. Jelenleg PhD hallgató a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszékén, ahol a HSN laboratórium tagja. Kutatási területei optikai hálózatok optimalizálása (hozzárendelt védelem, többszörös meghibásodások egyértelmű lokalizációja) és útvonalválasztás késleltetés toleráns hálózatokban. Több publikációját fogadták már el rangos nemzetközi szakmai konferenciákon, illetve folyóiratokban.



CSIKOR LEVENTE 2010-ben szerzett műszaki informatikus oklevelet a Budapest Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Jelenleg PhD hallgató a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszékén, azon belül is a HSN laboratórium csapatában. Kutatási területei a gyors hibajavítás IP hálózatokban (lokális hibadetektálás és -javítás hurokmentes kerülőútvonalak és hálózati topológiai analízis segítségével) valamint útvonalválasztás és alkalmazhatóság késleltetés-toleráns hálózatokban.



HESZBERGER ZALÁN a BME-n kapott villamosmérnöki diplomát 1997-ben. Doktori fokozatát 2007-ben villamosmérnöki tudományok területén szerezte. 2000 óta a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszékének oktatója, ahol jelenleg egyetemi adjunktus. 2008 óta a Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület Távközlési szakosztályának elnöke. Kutatási és oktatási területe a nagysebességű hálózatok menedzsmentje, illetve a neurális és önszerveződő hálózatok. Rendszeresen publikál nemzetközi szakmai konferenciákon illetve folyóiratokban. Számos nagy hazai és nemzetközi projekt résztvevője és vezetője.



TANAI FERENC 2010-ben készítette szakdolgozatát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Távközlési és Média Informatikai Tanszékén. Késleltetés toleráns hálózatok útvonalválasztó algoritmusai témakörében írt TDK dolgozata III. díjat nyert a 2010. évi kari TDK konferencián.



TAPOLCAI JÁNOS a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen szerzett villamosmérnöki diplomát 2000-ben. Doktori fokozatát 2005-ben informatikai tudományok területén szerezte. 2000 óta a BME Távközlési és Médiainformatikai Tanszékének oktatója, ahol jelenleg egyetemi adjunktus. Kutatási és oktatási területe a nagysebességű hálózatok címezéséhez és útvonalválasztásához, és a kombinatorikus optimalizáláshoz kapcsolódik. Rendszeresen publikál a legerősebb nemzetközi szakmai konferenciákon, illetve folyóiratokban. Több mint 60 cikk szerzője, összesített impact faktora 22 és elnyerte a legjobb cikk díját 2006-ban az IEEE ICC konferencián.

Irodalom

- [1] A. Elwhishi, P.-H. Ho, SARP A Novel Multi-Copy Routing Protocol for Intermittently Connected Mobile Networks. In GLOBECOM, 2009.
- [2] A. Keranen, J. Ott, T. Karkkainen, The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation. In SIMUTools '09: Proc. of the 2nd Int. Conference on Simulation Tools and Techniques, ICST. New York, NY, USA, 2009.
- [3] A. Lindgren, A. Doria, O. Schelen, Probabilistic routing in intermittently connected networks. Lecture notes in Computer Science, pp.239–254, 2004.
- [4] E. Royer, C. Toh, A review of current routing protocols for ad-hoc mobile wireless networks. IEEE personal communications, 1999.
- [5] T. Spyropoulos, K. Psounis, C. Raghavendra, Performance analysis of mobility-assisted routing. In Proc. of the 7th ACM Int. Symposium on Mobile ad hoc networking and computing. ACM, p.60, 2006.
- [6] T. Spyropoulos, K. Psounis, C. Raghavendra, Efficient routing in intermittently connected mobile networks: The multiple-copy case. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 16(1):77–90, 2008.
- [7] T. Spyropoulos, K. Psounis, C. Raghavendra, Efficient routing in intermittently connected mobile networks: The single-copy case.

- IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 16(1):63–76, 2008.
- [8] A. Vahdat, D. Becker, Epidemic routing for partially connected ad hoc networks. Duke University, 2000.
- [9] Delay Tolerant Networking Research Group, 2010 [Online], <http://www.dtnrg.org/wiki>
- [10] S. Jain, K. Fall, R. Patra, Routing in a delay tolerant network, SIGCOMM Comput. Com. Rev., 34(4):145–158, 2004.
- [11] Y. Wang, S. Jain, M. Martonosi, K. Fall, Erasure-coding based routing for opportunistic networks. In Proc. of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking, ACM, p.236, 2005.
- [12] O. Akan, J. Fang, I. Akyildiz, TP-Planet: a reliable transport protocol for InterPlaNetary Internet. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 22(2):348–361, 2004.
- [13] R. Shah, S. Roy, S. Jain, Brunette, Data mules: Modeling and analysis of a three-tier architecture for sparse sensor networks. In Elsevier Ad Hoc Networking Journal, Vol. 1, pp.215–233, 2003.
- [14] M. Musolesi, S. Hailes, C. Mascolo, „Adaptive routing for intermittently connected mobil ad hoc networks”, In Proc. of IEEE WoWMoM, pp.183–189, 2005.
- [15] K. Fall, A delay-tolerant network architecture for challenged internets. Proc. of the 2003 Conference on Applications, Technologies, Architectures, and Protocols for Computer Communications, pp.27–34, 2003.
- [16] S. Farrell, V. Cahill, Delay- and Disruption-Tolerant Networking, Artech House. Inc., Norwood, MA, 2006.
- [17] R. Ahlswede, N. Cai, S. Li, R. Yeung, Network information flow. IEEE Transactions on Information Theory, 46(4):1204–1216, 2000.
- [18] J. Burgess, B. Gallagher, D. Jensen, B. Levine, Maxprop: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks. In Proc. IEEE Infocom, Vol. 6. Citeseer, 2006.
- [19] W. Fisher, „Development of DSRC/WAVE Standards,” Szabvány: IEEE 802.11-07/2045r0, June 2007.
- [20] E. Jones, P. Ward, „Routing strategies for delay-tolerant networks,” Submitted to Computer Communication Review, <http://ccng.uwaterloo.ca/paswardPublications/>
- [21] Tanai F., „Útvonalválasztó algoritmusok tervezése és kiértékelése időszakosan összefüggő mobil hálózatokban,” TDK dolgozat, BME-VIK TMIT, 2010.

Felhívás

Ezúton is felhívjuk Olvasóink figyelmét a Híradástechnika magyar folyamában való publikálási lehetőségekre. Elsősorban közérthető, széles olvasóközönségnek szóló, színvonalas áttekintő cikkeket várunk, amelyek egy-egy szűkebb szakterület érdekességeit mutatják be azok számára is, akik nem ezen a területen dolgoznak. Célunk, hogy a szakma egyetlen magyar nyelvű, színvonalas ismeretterjesztő folyóirataként közvetítsük az egyes részterületek helyzetét, fejlődésének irányait és legújabb eredményeit a minél szélesebb olvasótábor számára és formáljuk, befolyásoljuk a magyar szaknyelvet.

Várjuk Olvasóink jelentkezését a fentiek szerint elkészített kéziratokkal, az infokommunikáció különböző részterületeiről és határterületeiről, többek között az alábbi témákban:

- Adat- és hálózatbiztonság
- Digitális műsorszórás
- Infokommunikációs szolgáltatások
- Internet-technológiák és alkalmazások
- Médiainformatica
- Multimédia-hálózatok és rendszerek
- Optikai kommunikáció
- Társadalmi vonatkozások
- Távközlés-gazdaság és -szabályozás
- Távközlési szoftverek
- Teszthálózatok és kutatási infrastruktúrák
- Úrhírközlés
- Vezetéknélküli és mobil távközlés

Rendszeresen jelentkező rovatainkhoz is várjuk beküldött anyagaikat, melyek közül a következőket szeretnénk kiemelni:

- hazai és nemzetközi projektek ismertetése,
- konferenciákról, fontos szakmai eseményekről szóló beszámolók,
- a HTE szakosztályainak tevékenységét bemutató cikkek,
- egyetemi és kutatóintézeti egységek bemutatkozása,
- könyvismertetések.

A kéziratosokat kérjük a főszerkesztőnek elektronikusan megküldeni a szabo@hit.bme.hu címre, akihez a témával és a cikkek elkészítésével kapcsolatos bármilyen kérdéssel is fordulhatnak a fenti e-mail-címen. A szerzőinknek szóló tájékoztató elektronikus változatát lapunk internetes portálján találhatják meg, a www.hiradastechnika.hu cím alatt.

A Szerkesztőség

A Debreceni Egyetem labdarúgást szimuláló szemináriuma

BÁTFAI NORBERT, ISPÁNY MÁRTON, JESZENSZKY PÉTER

*Debreceni Egyetem, Informatikai Kar, Információ Technológia Tanszék
{batfai.norbert, ispany.marton, jeszenszky.peter}@inf.unideb.hu*

SZÉLL SÁNDOR, VASKÓ GÁBOR

*Debreceni Egyetem, Informatikai Kar
szell.sandor@unideb.hu, vaskogabor89@gmail.com*

Kulcsszavak: FerSML, Aranycsapat, Győri ETO FC, Debreceni VSC, futball szimuláció, 2D szimulációs robot foci

A 2010-es év végén a Debreceni Egyetem Informatikai Kara elindította „World Football-Modeling and Visualizing” szemináriumát. Rövid közleményünkben a szeminárium keretében végzett munkáról adunk egy pillanatfelvételt.

1. Bevezetés

A professzionális labdarúgás számára kifejlesztendő, szimuláció alapú döntéstámogatás ötletét az [1] cikkben, illetve a [2] előadásban vetettük fel. Speciálisan a magyar fejlesztők elé a [3] közleményben tártuk. Időközben az ipar is bekapcsolódott: a Szilícium Mező Regionális Informatikai Klaszterrel és az IFSZ Informatikai Fejlesztő és Szolgáltató Kft.-vel közös projektet tervezünk, miközben bírjuk a DVSC labdarúgás-szakmai támogatását is. Továbbá a napokban kezdte meg működését a Debreceni Egyetemen a „World Football – Modeling and Visualizing” című szeminárium, aminek bemutatása jelen cikkünk fő témája.

1.1. Légy részese!

A szemináriumok írásos anyagát az „Ars Poetica Informaticae Tankönyv- és SzoftverTÉR” című portlet „Információ technológia / World Football – Modeling and Visualizing” könyvtárában találhatja meg az olvasó a [4] webcímen. Az előadások anyaga mellett, lehetőség szerint megfigyelési adatokat is elérhetővé teszünk. Jelen pillanatban az egyik nyári ösztöndíj-programunk részeként készített, a 2010-2011 bajnoki idény Győri ETO – Debreceni VSC mérkőzés megfigyelési eredményei érhetőek el. Ezt az [5] anyagot a GNU általános nyilvános engedélye alatt terjesztjük, így az érdeklődők (az engedély diktálta feltételek betartása mellett) felhasználhatják saját számításaikban vagy megismételhetik, ellenőrizhetik a mieinket.

2. Piramis-számítások és a foci nyelve

A kilenc támadós (és egy védős, egy kapusos) felállást még az individuum, az egyéni játékosok akarata motíválta. Ami a csapat sikerének zálogaként idővel visszább húzódva a piramison (2-3-5) át elvezetett annak felfordításához, amikor már több játékost találunk a védelemben,

mint a támadó sorban [6]. A modernnek tekinthető 4-2-4 szisztéma brazil rendszerként vonult be a szakirodalomba, pedig már az Aranycsapat bevezette.

Az 1. ábrán bemutatott, a Wembleyben is játszott, akkor elterjedt WM formáció után többször is ez volt a magyar hadrend [7,31].

Alcímünk piramisa is a játékrendre utal. Jelen pillanatban a szeminárium egyik célja a megfelelő szimulációs modellek kialakítása. Az egyik aspiráns modell a FerSML (Footballer and Football Simulation Markup Language) platform jelenlegi, az [1,8,11] munkákban és a [9] konferencián bemutatott, a [10] könyvben részletesen is feldolgozott, mobiltelefonos játékba épített Eurosmobil szimulátor. Ennek dinamikáját a beépített felállások adják, házi használatra ezért piramis-processzornak is nevezzük. Részletesebb bemutatása a szeminárium [4] II. és III. alkalommal tartott előadásán történt meg.

Ugyancsak a harmadik alkalommal vezettük be a foci nyelvét a szimulációs algoritmusunk jellemzésére. Ennek érdekes története van. Egy fociprojektes megbeszélésünkön egyik partnerünk megjegyezte, hogy érdekes ötlet generatív grammatikát használni a szimulációban. Akkor ezt nem igazán értettük, hiszen a formális nyelv alatt mi az avatórok XML nyelvét [3] értettük. Nem sokkal ezután vettük észre a kapcsolódó Wikipédia [19] szócikkben, hogy az egyik lektor a csak általánosságban, köznapi értelemben használt formális nyelv kifejezést tovább linkelte a matematikai értelemben vett formális (generatív grammatika által generált) nyelvről szóló szócikre, ez lehetett a félreértés forrása. Viszont ezen felbuzdulva a foci-szimulátorba épített logolást, mint kommentátort a szimuláció egyszerűsített nyelvének tekintve, azaz a „kommentátor” összes megszólalását egy szónak tekintve elkészítettük e nyelv generatív grammatikáját. Ezt sikerült egy hármastípusú, jobb reguláris nyelvtan alakjában megadnunk, így tehát a jelenlegi szimulációnk kissé elnagyolt változata jóval egyszerűbb, mint az algoritmus általános fogalma, azaz a Turing-gép.

3. Robotfoci

Kézenfekvő gondolatnak tarthatjuk a robotfoci [12] szimulációs ligájának (RoboCupSoccer2D Simulation League) eredményeit felhasználni a megfelelő szimulációs modell keresésénél. Ettől nem is zárkozunk el, de hangsúlyoznunk kell, hogy a mi célunk sporttudományi eredmények elérése. A robotfoci pedig a mesterséges intelligencia kutatások része, rövid sporttudományi irodalomkutatást végezve ezen a területen nem találtunk robotfocis publikációt. A robotfoci lényege, hogy csapatonként 11 játékos és 1 edzői ágens csatlakozik a szimulációs szerverhez, a játékosok zajos csatornán 10 perc 6000 lépésben. Minden lépésben valós időben kapják meg érzeteiket a szervertől és küldik meg erre a megfelelő választ a szervernek. Az „érzetek” feldolgozását a pálya lényeges pontjaiban kitzűzött zászlók segítik, ezeket kis körök jelzik a lenti ábra pályáján, melyen az Aranycsapat 6:3-as felállítását is bejelöltük (maga a pillanatfelvétel a [13] szimulációs platform monitorprogramjáról készült).

Aki nem ismeri ezt a platformot, annak sokat elmond, hogy a játékosok „menj a pálya (x, y) pontjára” szerver felé menő válasza csak a középkezdés előtt adható ki.

A csapat feladata a szerver megteremtette fociszimulációs környezetben intelligens viselkedés kialakítása. Ez a FerSML platform szempontjából nem lényeges feladat, hiszen itt a játékosokat, a taktikát nem kell a semmiből kialakítanunk, egy jóval magasabb absztrakciós szinten feltehetjük, hogy azok már rendelkezésre állnak. De természetesen a szerveroldal használatát, vagy mivel nyílt forráskódú fejlesztésről van szó [13], annak saját céljainkra való továbbfejlesztését nem vethetjük el.

3.1. Tanácsok az érdeklődőknek

Az érdeklődő olvasó a legutóbbi világbajnokság első két helyezettjét akár maga is kipróbálhatja, mert a japán [14] és a kínai [15] csapat ágenseinek (nyílt forráskódú C++) forrása is elérhető. Ha az olvasóban időközben felmerül, hogy mégis ágenseket is fejlesszen a robotfoci-platform alá, akkor inkább a Krislet [16] vagy Stripslet [17] projekteket ajánljuk. Magunk a Magasszintű programozási nyelvek I tárgyából egy C++, a Magasszintű programozási nyelvek II tárgyából pedig egy Java nyelvű csapat fejlesztését ajánljuk hallgatóinknak a jegymegajánlásban való részvételre. Utóbbi esetén az Atan [18] projekt használatát javasoljuk.

1. ábra A WM formáció onnan kapta a nevét, hogy benne a támadók elhelyezkedése W-t, a fedezet M betűt formál. A Lantos–Lóránt–Buzánszky, Zakariás–Bozsik és a Czibor–Puskás–Hidegkuti–Kocsis–Budai csoportosításban ez a klasszikus 3-2-5.

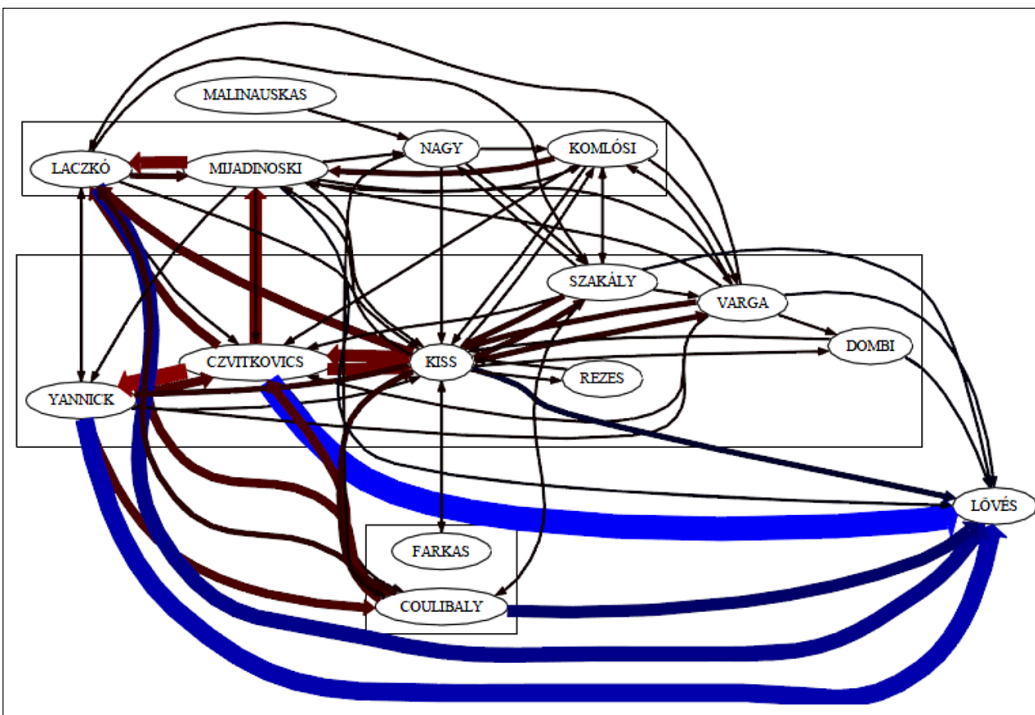


4. A szeminárium célja

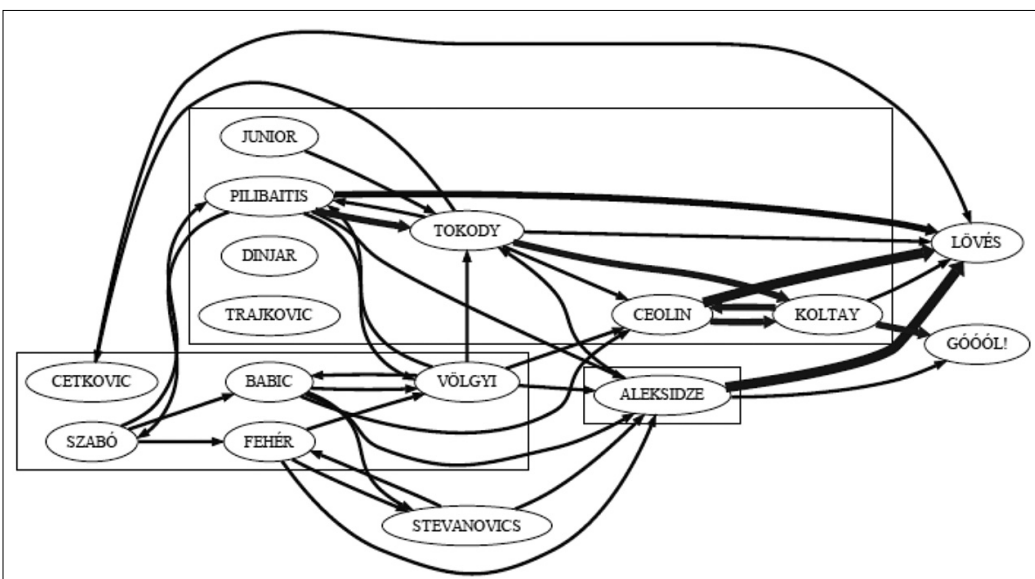
Távolabbi célunk egy szimuláció-alapú szakértői rendszer megalkotása a labdarúgásban, melyet sikerrel tudnak majd alkalmazni a labdarúgó klubok szakmai stábjai. Közlebbi célunk egy olyan foci-szimulációs modell kialakítása, melyben a megfigyelt jellemzők (például gólok száma [19], gólkülönbség, sérülések stb.) ugyanolyan valószínűségi tulajdonságokat mutatnak, mint a valóságban.

Céljaink eléréséhez szükségünk van adatokra is. Léteznek olyan rendszerek, melyek adott feltételek mellett (például mérkőzésekről vagy edzésekről) szolgáltatnak különböző mennyiségű és minőségű adatokat [23]. Ezen túl mi megpróbálunk elterjeszteni egy közösségi erőforrás-megosztás jellegű megfigyelési rendszert is, ez az elosztott szurkolói avatár adatbázis [21,22]. Ennek kere-

tében készült egy nyári ösztöndíj keretében a 2010-2011-es Magyar Labdarúgó-bajnokság 6. fordulóbeli ETO-DVSC mérkőzés megfigyelése [5]. A szemináriumon most éppen a matematika és a sporttudomány határterületének alapcikkjeit [24,25] dolgozzuk fel. E munka kapcsán születtek például a 2., 3. és a 4. ábra gráfjai, melyek a [25] bevezette flow networks gráfon elvégzett, a [26]-ban bemutatott AspectJ szövegszámításait demonstrálják. Az ábrákon a nyilak vastagsága a játékosok közötti sikeres passzok számával arányos. A 2-3. ábra a passzokat ábrázolja, annyiban eltérve a [25] flow networks grájától, hogy a gól csomópont esetünkben csakis a gólokat jelöli, a lövés pedig a kapura lövéseket – ellentétben a cikkkel, ahol az elsőbe a kapura irányuló lövések mutatnak, utóbbiba a mellélövés. A [4] portálon a gráfok további variánsait és a felettük kiszámolt Page Rank értékeket, sőt az azokat számító Java forrásokat is megtalálja az olvasó.

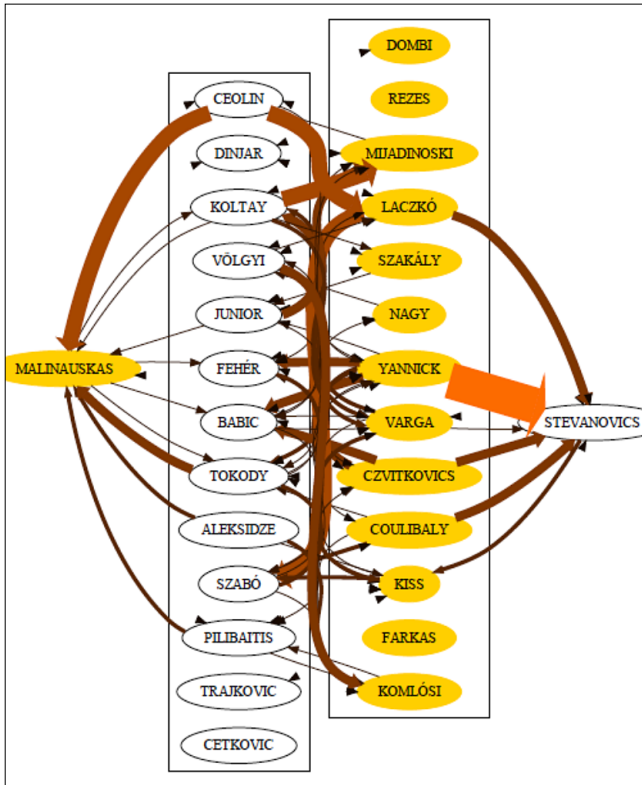


2. ábra
A 2010-2011-es Magyar Labdarúgó-bajnokság 6. fordulóbeli ETO-DVSC mérkőzés elemzésének része: a Debrecen (lövessel végződő) passzsorozatainak vizsgálata



3. ábra
A 2010-2011-es Magyar Labdarúgó-bajnokság 6. fordulóbeli ETO-DVSC mérkőzés elemzésének része: a Győr passzainak vizsgálata.

A 4. ábra gráfja a labdaszerzésekre épül. Abba a játékosot reprezentáló csomópontba mutat él, aki megszerezte a labdát, abból, akitől történt a labdaszerzés. A felvillantott gráfok objektíven mutatják a játékosok passzokban és labdaszerzésben betöltött szerepét. A közösségépítést szolgálja, hogy némely gráfot egy-egy poszt keretében blogokon is bemutatunk [29,30].



4. ábra
A 2010-2011-es Magyar Labdarúgó-bajnokság 6. fordulóbeli ETO-DVSC mérkőzés elemzésének része: a labdaszerzések vizsgálata (adott határnál kevesebb labdaszerzés esetén a megfelelő élnek csak a fejtét jelöltük)

4.1. További munkák

A FerSML kapcsán kézenfekvő módon adja magát az avatár adatok közreadása RDF-ben [22] kapcsolt adatokként (Linked Data) [27], amely szemantikusweb-alkalmazások számára is lehetővé teszi az adatok felhasználását. A labdarúgás témakörében jelenleg nem áll rendelkezésre olyan széles körben használt webontológia, mint például a FOAF [28]. Az avatárak ábrázolásához biztosítandó RDF szókészlet természetes módon képezheti részét egy olyan általános célú foci ontológiának, melynek a kifejlesztése további célkitűzéseink között szerepel.

Terveink között szerepel még, hogy a FerSML szimulációs platformnak egy 3D-s megjelenítést is biztosítsunk. A cél, hogy a szimuláció „leanimálása” nagyobb magyarázó erővel bírjon, ezzel egyben látványosabb legyen, a 3D-s modellekkel a játékosokat felismerhetőbbé tesszük. A modellek elkészítésére előreláthatólag a nyílt forráskódú Blender modellező programot használjuk, a modellek programozása pedig a Java 3D API segítségével történik majd.

5. Összefoglalás

Rövid, áttekintő munkánkban pillanatfelvételt készítettünk azokról az erőfeszítéseinkről, amelyek remélhetőleg a foci, mint játék dinamikájának jobb megértéséhez vezethetnek majd el a közeli jövőben. Reményeink szerint a 2011-es évben is minél több érdeklődőt láthatunk majd vendégül a heti rendszerességgel megtartott foci szemináriumunkon a Debreceni Egyetem Informatikai Karán.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését részben a TÁMOP 4.2.1./B-09/1/KONV-2010-0007 számú projekt támogatta. A projekt részben az Új Magyarország Fejlesztési Terven keresztül az Európai Unió támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

A szerzőkről



BÁTFAI NORBERT kitüntetéses okleveles programtervező matematikus, diplomáját 1998-ban a Kossuth Lajos Tudományegyetemen, Debrecenben szerezte. Jelenleg tanársegédként dolgozik az egyetem Informatikai Karán, az Információ Technológia Tanszéken. 1999-ben ő nyerte a Java Szövetség Java Programozási Versenyét. 2004-ben cége, az Eurosmobil első helyet ért el a Nokia és a Sun Magyarország rendezte Java ME – Java EE Fejlesztői Versenyen. 2008-ban a Vezető Informatikusok Szövetsége az Év Informatikai Oktatója cím egyik birtokosának választotta.



ISPÁNY MÁRTON okleveles matematikus, diplomáját 1989-ben a Kossuth Lajos Tudományegyetemen, Debrecenben szerezte. Jelenleg egyetemi docensként dolgozik az egyetem Informatikai Karának Információ Technológia Tanszékén, annak tanszékvezető-helyettese. Doktori fokozatát 1995-ben szerezte summa cum laude minősítéssel, habilitációját pedig 2006-ban védte meg. Fő kutatási területe az adatbányászat és statisztikai, gépi tanulási és alakfelismerési módszerek alkalmazása az informatikában. Több mint 30 referált szakcikk szerzője nemzetközi folyóiratokban.



JESZENSZKY PÉTER 1999-ben szerzett programtervező matematikus diplomát a Kossuth Lajos Tudományegyetemen. Jelenleg a Debreceni Egyetem Informatikai Karán, az Információ Technológia Tanszéken adjunktus. Elsődleges szakterülete az XML és a szemantikus web, ezekhez kapcsolódó tantárgyakat oktat.



SZÉLL SÁNDOR a Debreceni Egyetem végzős mérnök informatikus hallgatója. 2010-ben előbb a Debreceni Egyetem Informatika Karának nyári ösztöndíjas hallgatója címet, majd a 2010/2011-es tanévre a Debreceni Egyetem Informatika Karának kiemelt szakmai ösztöndíjas hallgatója címet nyerte el. Jelenleg demonstrátorként Magasszintű programozási nyelvek II-t oktat mérnök informatikus hallgatóknak, illetve szoftverfejlesztőként dolgozik a debreceni Belsoft Kft.-nél.



VASKÓ GÁBOR a Debreceni Egyetem mérnök informatikus karának végzős hallgatója az infokommunikációs hálózatok szakirányon. 2010-ben a Debreceni Egyetem Informatika Karának nyári ösztöndíjas hallgatója, melyen elsődleges munkája egy 3D-s modell elkészítése volt.

Irodalom

- [1] N. Bátfai,
„Footballer and Football Simulation Markup Language and related Simulation Software Development”,
Journal of Computer Science and Control Systems,
Vol. 3., No. 1., pp.13–18, 2010.
- [2] Bátfai N., Ispány M., Terdik Gy.,
Döntés előkészítő, információs és szimulációs rendszer a labdarúgásban – „A Szilícium Mező Regionális Informatikai Klaszter eddigi fejlesztése és további tervei” című konferencia, 2010. február 19.,
Debreceni Egyetem, Kassai úti Campus, Inkubátorház.
- [3] Bátfai N.,
Bevezető számítások a labdarúgás szimulációs jelölőnyelv kialakításához,
Híradástechnika, LXV: 5-6, pp.16–20, 2010.
- [4] Ars Poetica Informaticae alportál,
„Ars Poetica Informaticae Tankönyv- és SzoftverTÉR” című portlet „Információ technológia / World Football – Modeling and Visualizing” könyvtára,
<http://dev.inf.unideb.hu:8080/web/api> (2010.12.19.)
- [5] Széll Sándor, Szimeonov György, Vaskó Gábor,
A 2010-2011-es magyar labdarúgó-bajnokság 6. fordulóbéli ETO–DVSC mérkőzésének megfigyelési eredményei,
http://dev.inf.unideb.hu:8080/c/document_library/get_file?p_l_id=10904&folderId=72400&name=DLFE-2503.xls (2010.12.19.)
- [6] Csanádi Árpád,
Hungarian coaching manual – Soccer,
Corvina, Budapest 1965.
- [7] Jonathan Wilson,
Inverting the Pyramid: a History of Football Tactics,
Orion Books, 2008.
- [8] N. Bátfai, E. Bátfai, I. Pšenáková.
JávácskaOne: Open Source Mobile Games to Revolutionize Education of Programming,
Journal of Computer Science and Control Systems,
Vol. 3., No. 2., pp.5–10, 2010.
- [9] N. Bátfai,
„Open source mobile games for education”,
8th International Conference on Applied Informatics (conference lecture), Eger, 2010.
http://www.inf.unideb.hu/~nbatfai/opensource/ICAI_OpenSourceMobileGamesForEdu.pdf
- [10] Bátfai Norbert,
Mobil programozás –
Nehogy már megint a mobilod nyomkodjon Téged!,
Kempelen Farkas Felsőoktatási Digitális Tankönyvtár (egyelőre kéziratban), 2010.
- [11] Bátfai N.,
„Mobiltelefonos játékok tervezése és fejlesztése”.
PhD doktori disszertáció, 2010.
<http://www.inf.unideb.hu/~nbatfai/phd> (2010.11.20.)
- [12] Hiroaki Kitano, Minoru Asada, Yasuo Kuniyoshi, Itsuki Noda, Eiichi Osawa,
RoboCup: The Robot World Cup Initiative.
In Proc. of the 1st International Conference on Autonomous Agents (AGENTS '97), ACM,
New York, NY, USA, pp.340–347, 1997.
- [13] The RoboCup Soccer Simulator,
<https://sourceforge.net/projects/sserver/> (2010.11.20.)
- [14] Hidehisa Akiyam, Hiroki Shimora,
HELIOS2010 Team Description,
http://julia.ist.tugraz.at/robocup2010/tdps/2D_TDP_HELIOS.pdf (2010.11.20.)
- [15] Aijun Bai, Jing Wang, Guanghui Lu, Yuhang Wang, Haochong Zhang, Yuancong Zhu, Ke Shi, Xiaoping Chen,
WrightEagle 2D Soccer Simulation Team Description,
http://julia.ist.tugraz.at/robocup2010/tdps/2D_TDP_HELIOS.pdf (2010.11.20.)
- [16] Krislet (Java),
<http://www.ida.liu.se/~frehe/RoboCup/Libs/libsv4xx.html>
- [17] Stripslet,
<http://www.ida.liu.se/~frehe/RoboCup/Libs/libsv4xx.html>
(2010.11.20.)
- [18] Atan,
<http://atan1.sourceforge.net/> (2010.11.20.)
- [19] Labdarúgás-szimuláló jelölőnyelv – Wikipédia szócikk,
<http://hu.wikipedia.org/wiki/> (2010.11.19.)
- [20] N. Bátfai,
„The Soccer Force”, ArXiv e-prints, 2010.
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2010arXiv1004.2003B>
- [21] N. Bátfai, E. Bátfai, (2010),
Public resource computing in European football (subm.)
- [22] Bátfai N., Bátfai E., (2010),
FerSML szurkolói avatárok a könyvtárban (beküldve)
- [23] Bátfai N., Jeszenszky P., Dr. Bartha Cs., Dr. Gilányi A., Széll S., Szimeonov Gy., Vaskó G., Dr. Terdik Gy.,
Műholdas helymeghatározás alkalmazása a labdajátékokban, Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában, Szerk.: Dr. Lóki J.–Demeter G.
ISBN: 978-963-06-9341-7, RexpoKft., pp.223–231, 2010.
- [24] Brillinger, D.R.,
A potential function approach to the flow of play in soccer,
J. Quantitative Analysis in Sports 3, Issue 1, 2007.
<http://www.bepress.com/jqas/vol3/iss1/3/>
- [25] Duch J., Waitzman J.S.,
Amaral LAN, 2010 Quantifying the Performance of Individual Players in a Team Activity.
PLoS ONE 5(6): e10937.
<http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0010937>
- [26] Bátfai N.,
Van-e az objektum orientált programoknak anyanyelve: avagy egy analitikai szöveg bevezetése, 2010. (beküldve)
- [27] Tim Berners-Lee,
Linked Data – Design Issues, 2006.
<http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>
(2010.12.23.)
- [28] Dan Brickley, Libby Miller,
FOAF Vocabulary Specification 0.98, 2010.
<http://xmlns.com/foaf/spec/> (2010.12.23.)
- [29] Nemzeti Szurkolói Avatár Adatbázis blog,
<http://nsza.blog.hu/> (2010.12.25.)
- [30] Labdarúgás szimulációk a gyakorlatban blog,
<http://fersml.blog.hu/> (2010.12.25.)
- [31] Christoph Bausenwein,
Futballkönyv,
Budapest, Tessloff és Babilon, 2006.

Statikus TIM teszter tervezése

SZÉKELY VLADIMÍR, KOLLÁR ERNŐ, SOMLAY GERGELY, SZABÓ PÉTER GÁBOR,
JUHÁSZ LÁSZLÓ, RENCZ MÁRTA, VASS-VÁRNAI ANDRÁS

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Elektronikus Eszközök Tanszéke
szekely@eet.bme.hu

Lektorált

Kulcsszavak: termikus mérés, termikus vezetőképesség, hőáram, termikus interfész anyagok, hővezető paszta

A termikus interfész anyagok (Thermal Interface Materials – TIMs) termikus paramétereinek meghatározása már több évtizede komoly kihívást jelent. Napjainkban továbbra is bonyolult feladatot jelent ezen tulajdonságok pontos meghatározása, mivel a mérendő hőellenállás értékek egyre kisebbek. Cikkünkben egy újfajta TIM-mérési elvet és az azon alapuló műszer fejlesztését mutatjuk be, Ennek segítségével a mérések során felmerülő számos problémát képesek vagyunk kiiktatni. Elgondolásunk egyik fontos újdonsága, hogy kihasználjuk a mikroelektronika által nyújtott lehetőségeket a hőáram és a hőmérséklet mérésére alkalmas szenzorok létrehozására. Az érzékelők kis méretének köszönhetően képesek vagyunk a mintához a lehető legközelebb helyezni ezeket a szenzorokat, ezáltal minimalizálhatjuk a hibákat. Cikkünkben bemutatjuk az újonnan alkalmazott megoldások fontosabb részleteit, melyek segítségével képesek vagyunk a termikus ellenállás (R_{th}) felületegységre eső értékét $0,01 \text{ Kcm}^2/\text{W}$ nagyságrendben jó pontossággal meghatározni. Cikkünkben külön figyelmet fordítunk a lehetséges mérési pontatlanságok kiküszöbölésére, valamint számos mérési példával igazoljuk az új mérőrendszer használhatóságát.

1. Bevezetés

Napjainkban az integrált áramkörök növekvő disszipációjának következtében egyre kifinomultabb módszereket kell kidolgozni az IC felületén keletkezett hő elvezetésére. Ha szemügyre veszünk egy szabvány hűtőrendszert, láthatjuk, hogy a hőútban a termikus interfész anyag (Thermal Interface Material, TIM) vagy hétköznapi nevén a hőpaszta a „gyenge láncszem”. A konvencionális TIM-anyagok fajlagos hőellenállása hozzávetőleg 1-2 nagyságrenddel nagyobb, mint a hűtőrendszer többi elemének hőellenállása. Ezért is kézenfekvő számos TIM-gyártó és kutatóhely számára, hogy újabb, jobb hővezetésű pasztákat kell létrehozni. Újabb megközelítésekben a TIM-anyagok belsejét igyekeznek különféle nanorészecskékkel feltölteni, hogy megnöveljék azok termikus vezetőképességét. Ezeknek az új anyagoknak a vizsgálatához olyan újfajta mérőberendezések tervezése válik szükségessé, melyek képesek a $0,01\text{-}0,05 \text{ Kcm}^2/\text{W}$ hőellenállás mérésére.

A TIM-ek tulajdonságainak mérésére és jellemzésére számos mérési módszert fejlesztettek ki, melyek jelentős része az ASTM D-5470 szabványon alapul [1]. Ezzel a szabványos tesztmódszerrel meg lehet határozni TIM-ek (paszták, lemezek, fázisváltó anyagok stb.) hőellenállását és tömbi vezetését. A vizsgált TIM mintát egy meleg és egy hideg mérőtömb közé fogják és állandó hőáramot kapcsolnak a rendszerre. Az ASTM szabvány úgy definiálja a felületegységre eső hőellenállást (Θ_{total}), hogy az tartalmazza az anyag hőellenállását és a mérőtömbök felületének átmeneti ellenállását. A minta hőellenállása az ismert hőáramból és a mért hőmérsékletesésből számítható. Az ASTM szabvány azt is előírja, hogy a mérést 3 MPa nyomás mellett kell végezni, a befogók és a minta közötti hőellenállás csökkentése végett.

Az ASTM szabvány legsúlyosabb problémája, hogy az előírt nyomás magasabb, mint amit valós alkalmazások esetén használnak [2]. A magas nyomás lecsökkenti a minta és a mérőtömbök közötti átmeneti ellenállást. Zsírok és fázisátalakulós anyagok esetében a magas nyomás miatt kisebb a rés, emiatt a teljes hőellenállás kisebb, mint a valós alkalmazások esetében. A szabványt többször felülvizsgálták, hogy alkalmazható legyen minden TIM-re, a folyékony vegyületektől a szilárd anyagokig. A [3]-as cikk megállapítja, hogy a napjainkban alkalmazott TIM-eknél a nyomás 700 kPa vagy még kevesebb szokott lenni. Ez a munka három csoportba sorolja a TIM-eket és ez alapján tárgyalja a méréssel kapcsolatos feltételeket. A három csoport: (1) viszkózus folyadékok (paszták), (2) képlékeny szilárd és (3) merev szilárd anyagok.

A mérési módszer több továbbfejlesztéséről számoltak már be, melyekből megemlítenek néhányat.

– Egy a D-5470-es szabványon alapuló tesztet alkalmaztak mikroelektronikai tokozások és nagy fényességű fénykibocsátó diódák hőgazdálkodásánál alkalmazott, szén nanoszál (CNT) töltőanyagú TIM-ek mérésére [4].

– Az interfész felületén kialakuló hőmérséklet eloszlás meghatározásához fejlesztették ki az [5]-ben publikált teszteszközt. A mérésekből kapott információk alapján ismereteket kapunk a termikus ellenállás egyenletességéről és a TIM élekciklusa alatti teljesítményéről.

– A Sun Microsystems, Inc.-nél mind az ASTM szabványban alkalmazott hardvert, mind a mérési módszert módosították, hogy olyan körülmények között mérjenek nagy teljesítményű TIM-eket, melyek közelebb esnek a valós alkalmazásokban előfordulókhöz [6].

– A szabvány nagy (10-20%) reprodukciós hibája miatt más mérési módszert mutattak be [7]-ben. Az interfész termikus ellenállás teszter (ITRT) két ezüst hengerből áll, melyek közé van befogva a minta. Az alsó tömb hőmér-

séklete nagyon gyorsan módosítható egy kettős (meleg-hideg) vizes fürdőt alkalmazó „jet impingement” technikával. A felső tömb hőmérsékletválasza az interfész hőellenállásának a függvénye.

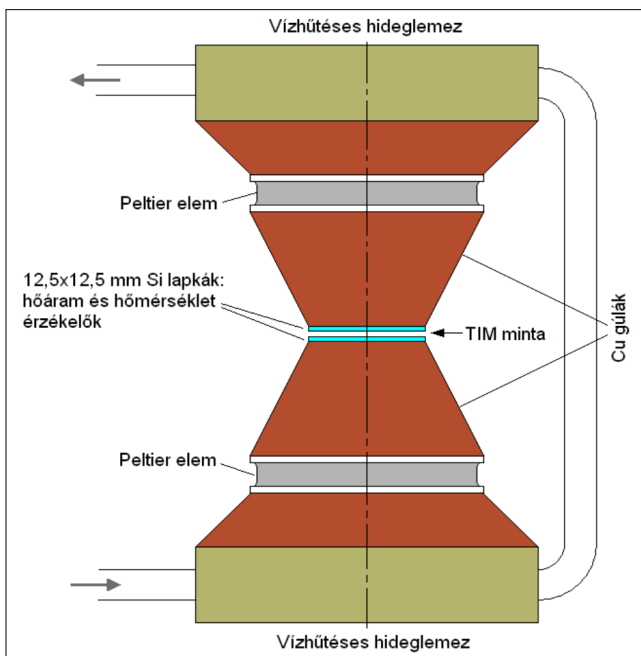
A fent említett hagyományos módszerek közös tulajdonsága, hogy a felbontásuk és a reprodukálhatóságuk nem elég magas olyan anyagok hőellenállásának mérésére, melyek értéke 0,01-0,05 Kcm²/W nagyságrendű. Ezért döntöttünk úgy, hogy több új elképzelésen alapuló statikus TIM tesztet fejlesztünk ki.

2. Konceptió

Az elgondolásunk alapötlete szerint kihasználjuk a mikroelektronika által nyújtott lehetőségeket, hogy létrehozzunk a hőáram és hőmérséklet mérésére alkalmas kisméretű szenzorokat. A kis méret lehetővé teszi, hogy a szenzorokat a mérendő minta közvetlen közelében helyezzük el. További új ötletünk egy olyan szimmetrikus struktúra használata, amelynél lehetőség van a hőáram irányának megfordítására. Így bizonyos mérési pontatlanságok és ofszethibák kiejthetők, ha a mérést mindkét hőáram-irány mellett elvégezzük.

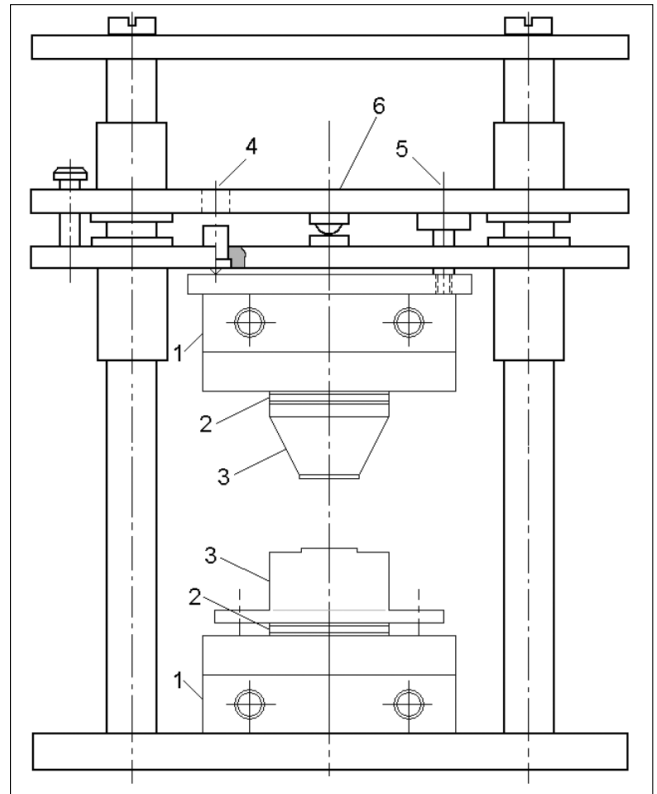
A mérési elrendezés főbb részei az 1. ábrán láthatóak. A hőáramot két szimmetrikusan elhelyezett Peltier-elem kelti. A szilíciumszensorok, melyek a TIM-en létrejövő hőmérsékletesést és a rajta átfolyó hőáramot mérik, a befogó rézgulákra vannak ragasztva.

1. ábra A mérési összeállítás alapelemei



3. Mechanikai tervezés

Az általunk készített mechanikai szerkezet első változata a 2. ábrán látható. Ez a változat a nyomás pontos beállítására alkalmas, így a szilárd, de képlékeny TIM anyagok mérésére használható. 1-essel jelöltük a víz-

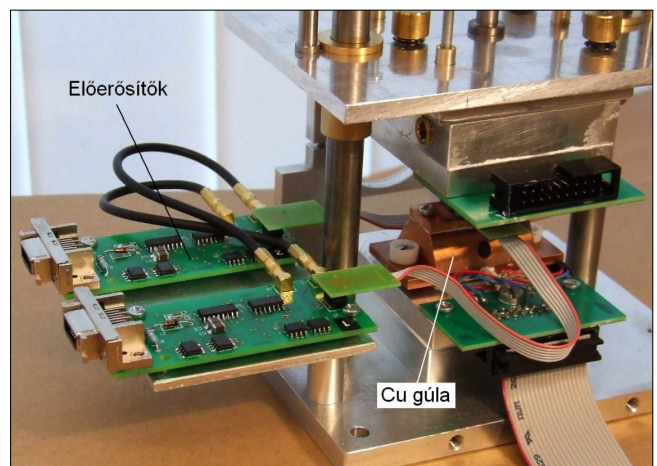


2. ábra Mechanikai összeállítás (első változat)

hűtő lapokat, 2-essel a Peltier-cellákat. 3-as szám jelöli a Cu-gulákat. Utóbbiak egymáshoz képest 90 fokkal el vannak forgatva, hogy könnyebben lehessen a kivezetéseket elhelyezni. A szerkezet alsó fele egy stabil alapra van rögzítve, míg a felső rész egy függőleges mozgásra képes szerelvényhez csatlakozik. A párhuzamosság három csavarral állítható (4, 5). A jelenlegi változatban a nyomást a 6-os lemezre elhelyezett, ismert súlyokkal lehet beállítani. A szerkezet magassága hozzávetőleg 150 mm.

A mechanika második változatánál a befogó pófák távolságát finommenetes csavarral állíthatjuk és a minta vastagságát indikátoróra méri, 1 µm felbontással. Ez a változat viszkózus folyadék (paszta) jellegű TIM-anyagok mérésére szolgál. Ennek a változatnak egy részletét látjuk a 3. ábrán.

3. ábra A mechanikai kivitel fényképe (második változat)



4. Az elektronika tervezése

Az elektronika blokkvázlata a 4. ábrán látható. Két azonos Peltier-vezérlőegység (PCU) szabályozza a két Peltier-cellát. A cellák termikus állapotát két-két hőmérsékletmérő szenzorral mérjük vissza (TU1, TU2 és TL1, TL2). A Peltier-cellák IPU, IPL áramának megfelelő vezérléssel elérhető, hogy különböző nagyságú hőáramot folyassunk át a rendszeren és ezáltal különböző hőmérséklet-eseéseket hozunk létre a mérendő mintán.

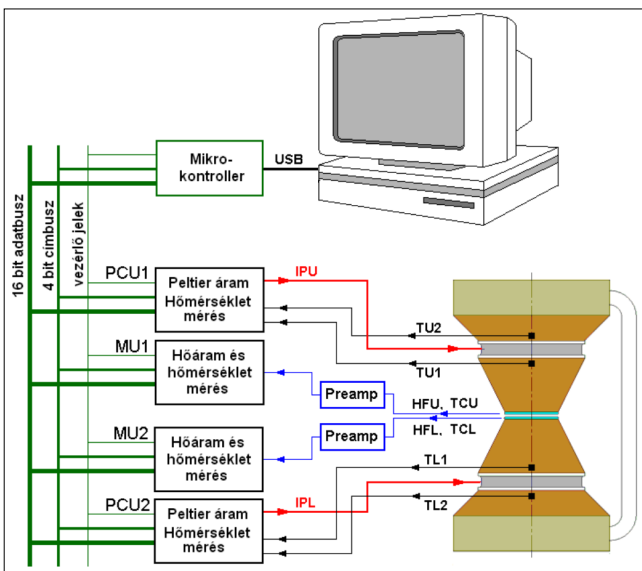
A két szilíciumszenzor, amelyek közé a mintát helyezük, a hőárammal (HFU, HFL) és hőmérséklettel (TCU, TCL) arányos feszültséget állít elő. Ezeket a feszültségszinteket két mérőegység (MU1 és MU2) erősíti fel és digitalizálja.

Az effektív HF hőáram a HFU és a HFL középértéke alapján számítható ki:

$$HF = \frac{HFU + HFL}{2} \quad (1)$$

A minta hőellenállása pedig az alábbi képlettel adódik:

$$R_{th} = \frac{TCU - TCL}{HF} \quad (2)$$



4. ábra
Az elektronika blokkdiagramja
(PCU – Peltier Control Unit, MU – Measurement Unit)

A zavaró hatások minimalizálása céljából a mérőegység előerősítőjét a szenzorokhoz a lehető legközelebb helyeztük el (lásd 3. ábra).

5. Chip-konstrukció

Az érzékelő IC két Al-Si-Al gradiens típusú hőáram-mérő szenzort tartalmaz [9]. A szilíciumszelet mindkét oldala fémezett, így sorosan kapcsolt, de ellentétes irányítottágú Al-Si termoelemek jönnek létre. Ez azt jelenti, hogy a kimeneti feszültség arányos a chip-ek két oldala közötti hőmérsékletkülönbséggel. Másfelől pedig, a hőmérsékletkülönbség arányos a hőárammal, ezzel tehát:

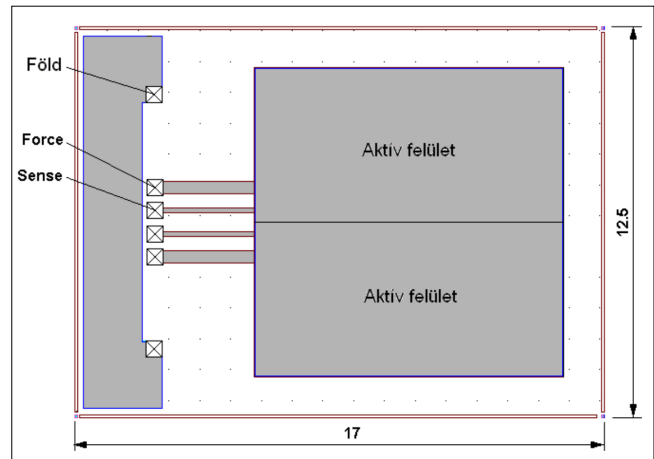
$$V_{out} = S(T_A - T_B) = SR_{thc}P \quad (3)$$

Ahol S az Al/Si kontaktusra jellemző Seebeck-állandó, T_A és T_B két oldal hőmérséklete, R_{thc} a chip hőellenállása és P az átfolyó hőáram.

Ugyanez a felépítésű szenzorstruktúra hőmérséklet-mérésre is használható, az ellenállás-hőmérő elv segítségével. A szenzorok R_{el} elektromos ellenállása ugyanis hőmérsékletfüggő. Ez a függés az alábbi lineáris kifejezéssel közelíthető:

$$R_{el} = R_{el0}(1 + \alpha_{el}(T - T_0)) \quad (4)$$

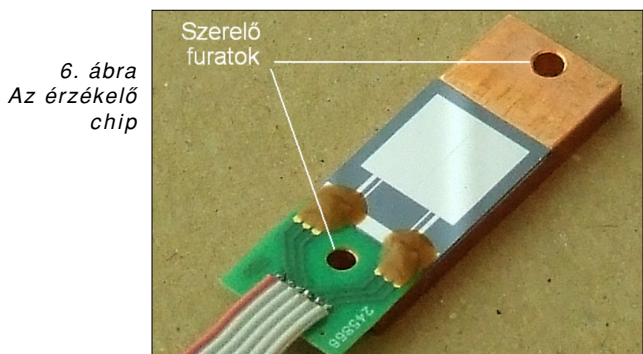
Az α_{el} hőmérsékleti együttható közepesen adalékolt, p típusú Si esetén 0,5-0,7%/°C körül van.



5. ábra Az érzékelő layoutja

A jelenleg használt szenzor kialakítását az 5. ábra mutatja. A két érzékelő felület 0,5-0,5 cm². A terület kétféle történő osztására szükség volt, mind a kiértékelő elektronika, mind a párhuzamosság beállítás igényei miatt. Az elektromos ellenállás mérésére négyvezetékű méri-elrendezést alkalmaztunk. A chip szélessége 12,5 mm, az aktív felület pedig, ahol a hőáramot mérjük, 10x10 mm². Az elrendezés egyik előnye, hogy a chip peremén kialakuló, nyilvánvalóan egyenlőtlen hőáram-sűrűség nem szól bele a mérésbe. A szenzor érzékenysége körülbelül 40 μ Vcm²/W hőáram-mérési üzemmódban.

Az érzékelőről készült fényképet a 6. ábra mutatja. A chip egy rézlapkára van ragasztva, a lapka pedig két csavarral rögzíthető a rézgúla tetejére. Elektromos kivezetései egy kicsiny nyomtatott áramköri laphoz vannak kikötve, mely az előerősítőhöz kapcsolódik.



6. ábra
Az érzékelő chip

Terveink között szerepel olyan chipkonstrukciók használata is, ahol a szenzorok több részre vannak osztva és olyan változatok is, ahol külön beépített érzékelő lesz a TIM vastagságának mérésére.

6. Felbontás, pontosság, kalibráció

A hőárammérés elméleti felbontása az LSB érték, melyet az erősítők és az A/D konverterek határoznak meg. Ez az LSB érték 4 mW. Ezt a számunkra elég jó értéket a zaj nyilvánvalóan rontani fogja. A mérések szerint a zaj 2 LSB, azaz 8 mW alatt van. A hőmérsékletmérés felbontása $LSB \approx 0,05^\circ C$. Egy további áramkör közvetlenül méri a két chip közötti hőmérséklet-különbséget (lényegében a szenzorfeszültség-különbséget). Mivel a hőmérséklet-különbség eléggé kicsi, ezen a csatornán nagyobb erősítést lehet alkalmazni. Így módon az $LSB \approx 0,005^\circ C$ felbontás is elérhető. Mivel a maximális hőáram 25 W körül van, ezért a hőellenállás-mérés várt felbontása $\sim 0,4\%$ egy olyan minta esetében, ahol $R_{th} = 0,05 K/W$ és $\sim 2\%$ $R_{th} = 0,01 K/W$ esetén.

A megfelelő pontosság elérése végett az elrendezés alábbi részeit kell kalibrálni:

- az érzékelő IC-t, mint ellenálláshőmérőt,
- a hőáram-mérő érzékenységét,
- a minta vastagságának mérését.

Ezek mellett a Peltier-cellák paramétereit is meg kell határozni/mérni. Utóbbi adatok csak a hőáramot szabályozó algoritmushoz kellene és csak kis szerepük van a TIM-mérés pontosságában.

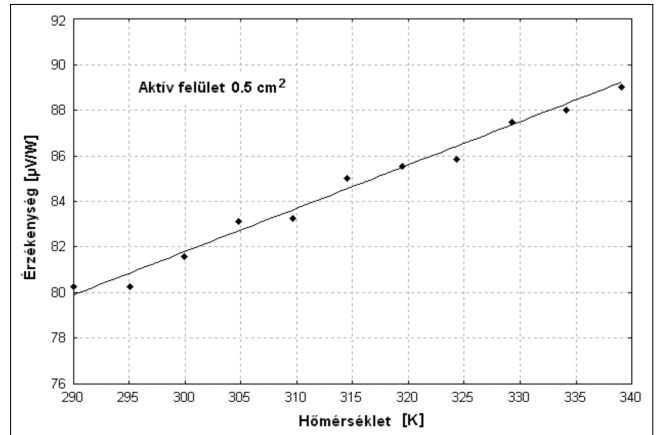
A chip-ek ellenállás-hőmérő módban történő kalibrálását a szokásos módon, termosztát segítségével végezhetjük. A chipeket egyenként kalibráltuk: ellenállásuk 8Ω körül van, míg az α_{el} értékeik $0,0068$ és $0,0072 K^{-1}$ közé esnek.

A hőáram-szenzorok kalibrálásához in-situ eljárást használtunk. Egy disszipáló elemet (tranzisztort) helyeztünk a két befogó közé. Az injektált hőáram kiszámítható a meghajtó feszültség- és áramadatok alapján. A pontatlanság nyilvánvaló forrása, hogy a hő egy csekély része a levegőn keresztül távozik a környezet felé, ahelyett, hogy az érzékelőn folynék át. Azért, hogy csökkentjük ezt a hibát, jó termikus szigetelés szükséges a kalibráció során. A hőáram-mérő szenzor érzékenységét 290-340 K közti tartományon határoztuk meg. Az eredményeket a 7. ábra mutatja.

A lineáris közelítés az alábbi eredményt adja az érzékenységre:

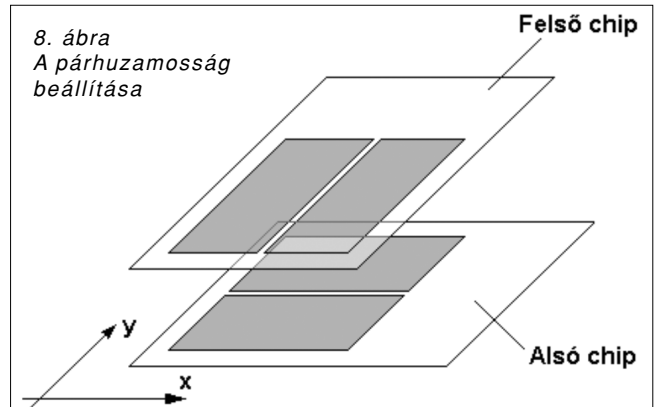
$$\gamma = 81.8 + 0.19(T - 300) \quad \mu V/W. \quad (5)$$

Az osztott hőáram-mérő szenzor arra is biztosít lehetőséget, hogy megfigyeljük és korrigáljuk a párhuzamosságot. A két chip 90° -kal el van forgatva egymáshoz képest, amint azt a 8. ábra is mutatja. Ha a két chip tökéletesen párhuzamos egymással (feltételezve, hogy a TIM is homogén), akkor mind a felső, mind az alsó szenzorpár egyenlő kimeneti jelet produkál. Ha a felső IC-ken nem egyenlő a kimeneti jelet, akkor nem tökéletes a



7. ábra
A hőáram-szenzor érzékenységének hőmérsékletfüggése.
A szenzor területe $0,5 \text{ cm}^2$.
(pontok: mért értékek, egyenes vonal: közelítés)

párhuzamosság az x tengely mentén. Hasonlóan ehhez, az alsó chip-pel az y irányú párhuzamosságot tudjuk megállapítani.



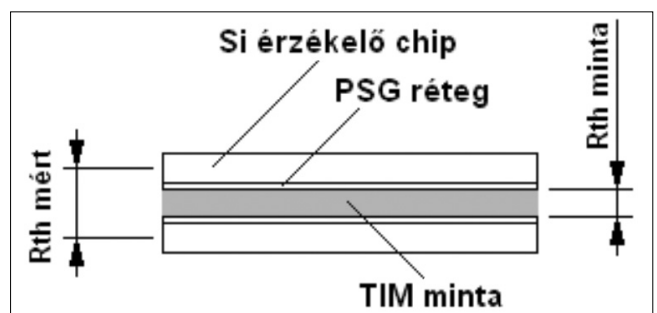
8. ábra
A párhuzamosság beállítása

7. Hibaforrások és kiküszöbölésük

7.1. Termikusellenállás-többlet

A TIM minta közvetlen környezetét mutatja a 9. ábra. Ebben a szendvics struktúrában két szilíciumszenzor-chip fogja közre a mintát. A szenzorok felületére PSG (foszforszilikát üveg) réteget választottak le, mely elektromos szigetelést és mechanikai ellenállást biztosít. Azért, hogy a szükséges korrekciókat elvégezhessek, ezeknek a rétegeknek a termikus ellenállását is számításba kell vennünk.

9. ábra A termikus ellenállás-többlet számításához



A hőmérsékletet a chip-ek tömbi elektromos ellenállása közvetítésével mérjük. Ezt az ellenállást a chip átlaghőmérséklete határozza meg, ami a chip vastagságának közepén uralkodik. A mért R_{th} érték tehát mind fent, mind lent egy PSG hőellenállás és fél chip hőellenállás értékkel nagyobb a minta hőellenállásánál. Egyenlettel kifejezve:

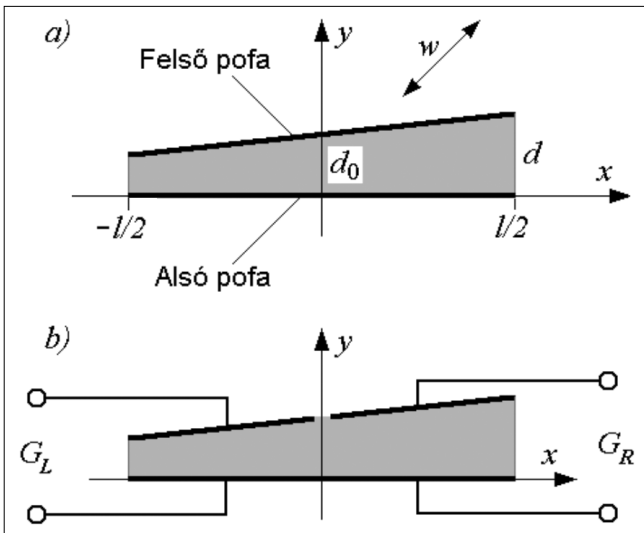
$$R_{th\ meas} = R_{th\ sample} + 2 \frac{R_{th\ chip}}{2} + 2R_{th\ PSG} = R_{th\ sample} + R_{th\ add} \quad (6)$$

A Si chip-ek vastagsága 0,39 mm, a hővezetésük ~150 W/mK szobahőmérsékleten, az aktív terület 1 cm². Ezen adatokkal 0,026 K/W-ot kapunk az $R_{th\ chip}$ -re. A PSG vastagsága 1 μm, hővezetése $\lambda \approx 1,4$ W/mK, ezekkel a hőellenállása $R_{th\ PSG} = 0,007$ K/W értékűre adódott. Mindösszesen $R_{th\ add} = 0,04$ K/W. Ez az ellenállás rendszeres additív hibát eredményez, tehát $R_{th\ add}$ levonandó a mérési eredményekből.

7.2. Nem párhuzamos befogók

A mechanikai tervezés során fontos szempont volt, hogy a mintatartók szigorúan párhuzamos pozícióban legyenek. Ennek dacára egy bizonyos mértékű hiba elkerülhetetlen. Ebben a szakaszban megvizsgáljuk, hogy a befogó pófák párhuzamosságtól való eltérése milyen mértékben hat a mérés pontosságára.

A modellt, ami alapján a számításokat végeztük, a 10. ábra mutatja. A szürke, árnyékolt rész a minta. A minta névleges vastagsága d_0 , a jobb oldali szélén mérhető valós vastagsága pedig d . A párhuzamosságtól való eltérést a d/d_0 aránnyal adjuk meg.



10. ábra
Nem párhuzamos befogók
a.) Számítási modell b.) Felosztott hőáram-mérő szenzor

A párhuzamostól való kicsiny eltérés esetében a hőáram-vonalakat az y tengellyel párhuzamosnak tekinthetjük. Ezzel a becsléssel a két befogó közötti G hővezetést az alábbi módon írhatjuk:

$$G = \int_{-l/2}^{l/2} \lambda \frac{w dx}{d(x)} \quad (7)$$

ahol
$$d(x) = d_0 + (d - d_0) \cdot 2x / l \quad (8)$$

Az integrál kiértékelésével az alábbi egyenletre jutunk:

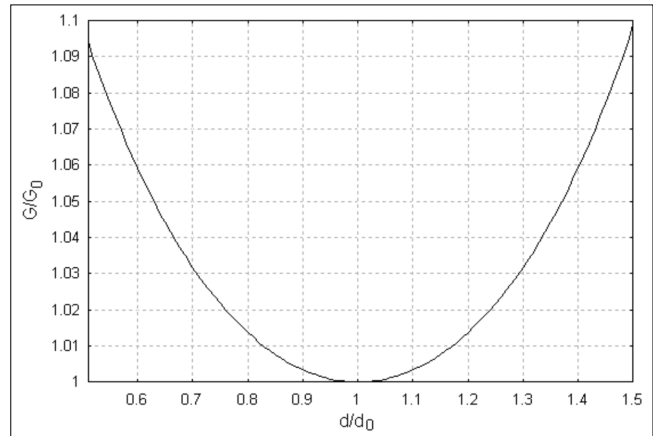
$$G = G_0 \frac{1}{2d/d_0 - 2} \ln \left(\frac{d/d_0}{2 - d/d_0} \right) \quad (9)$$

ahol

$$G_0 = \lambda \frac{wl}{d_0} \quad (10)$$

a hővezetés az ideális párhuzamos esetben. A hiba, amit a befogók párhuzamostól való eltéréséből származtatunk kifejezhető, mint G/G_0 a d/d_0 arány függvényében. Ezt a függvényt a (9)-ből számolt 11. ábra mutatja. Megállapíthatjuk, hogy a mérés nem túlzottan érzékeny a párhuzamosságtól való eltérésre. A hiba 0,825 d/d_0 esetén csak 1%.

11. ábra
Termikus vezetőképesség a párhuzamostól való eltérés függvényében



Még ez a kis hiba is eltüntethető a szerelvény felső részén található csavarok állításával. A beállításhoz természetesen érzékelnünk kell, hogy mekkora a párhuzamosság hibája. A 8. ábrán bemutatott osztott szenzorstruktúra felhasználásával ez a probléma megoldható. Külön-külön meg kell mérnünk a hővezetést a jobb- és a baloldali érzékelő egységen (G_L és G_R , lásd 10/b. ábra). A tökéletesen párhuzamos helyzetben a mért vezetési értékek egyenlők. Ebből kifolyólag a beállításhoz addig kell a csavarokat állítanunk, amíg $G_L = G_R$ nem lesz. A G_L és G_R arány erősen függ a d/d_0 hányadosától:

$$\frac{G_L}{G_R} = - \frac{\ln(2 - d/d_0)}{\ln(d/d_0)} \approx \frac{1 + d/d_0}{3 - d/d_0} \quad (11)$$

Ha a párhuzamosságtól való eltérés okozta hibánkat 1%-ban korlátozzuk, akkor a $d/d_0 \geq 0,825$ arányt kell tartanunk. Behelyettesítve ezt az értéket a (11) egyenletbe, megkapjuk, hogy a hozzátartozó $G_R/G_L = 0,838$. Ami annyit jelent, hogy ha a G_R/G_L arányt $\pm 16\%$ pontosságon tartjuk akkor a hiba 1% alatt lesz.

Vizsgálatunkat elvégeztük 2D-s esetre is. Ebben az esetben a távolság a két befogó között (d_1 és d_2 a 12. ábra szerint definiálva):

$$d(x_1, x_2) = d_0 \cdot \left(1 + (d_1/d_0 - 1) 2x_1/l_1 \right) \cdot \left(1 + (d_2/d_0 - 1) 2x_2/l_2 \right) \quad (12)$$

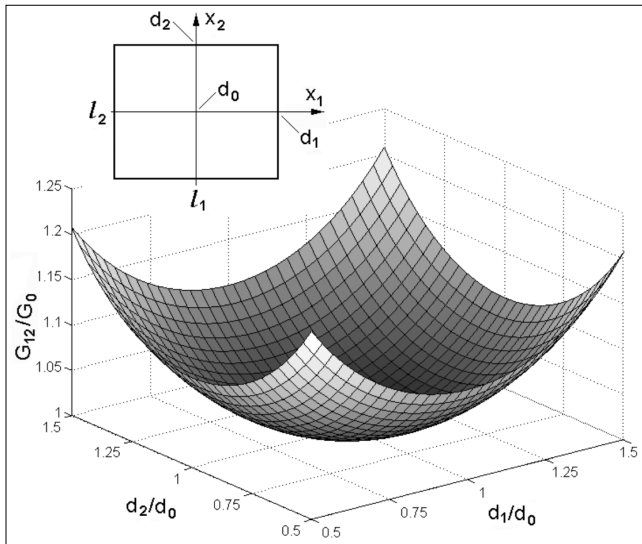
Ami alapján a hővezetés a két befogó között az alábbi módon számítható:

$$G_{1,2} = \int_{-l_2/2}^{l_2/2} \int_{-l_1/2}^{l_1/2} \lambda \frac{dx_1 dx_2}{d(x_1, x_2)},$$

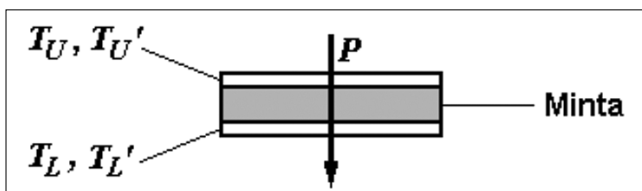
$$G_{1,2} = G_0 \frac{1}{2d_1/d_0 - 2} \ln\left(\frac{d_1/d_0}{2 - d_1/d_0}\right) \cdot \frac{1}{2 \cdot d_2/d_0 - 2} \ln\left(\frac{d_2/d_0}{2 - d_2/d_0}\right), \quad (13)$$

ahol $G_0 = \lambda \frac{l_1 l_2}{d_0}$ (14)

Ennek a kétdimenziós függvénynek az alakját a 12. ábra mutatja. $d_1 = d_2 = 0,878 d_0$ esetén a párhuzamostól való eltérés által okozott hiba 1%. Ez valamivel rosszabb hibaturést jelent, mint 1D esetben, de ez az adat is arra enged következtetni, hogy a mérés nem túlzottan érzékeny a párhuzamosságtól való eltérésre.



12. ábra Termikus vezetőképesség a párhuzamostól való eltérés függvényében (2D eset)



13. ábra A minta és környezetének vázlata

7.3. A hőmérsékletmérés hibájának hatása

A 13. ábra mutatja a szenzorok és a minta keresztmetszeti képét. A hőmérő szenzorok aktuális hőmérséklete T_U és T_L . Tételezzük fel, hogy az érzékelőknek van E_U , illetve E_L additív (ofszet) hibája és valamekkora a_U , a_L multiplikatív hibája. Ezek a hibák az alábbi módon jelennek meg a hőmérséklet mérés során:

$$T'_U - T_{ref} = a_U (T_U - T_{ref}) + E_U \quad (15a)$$

$$T'_L - T_{ref} = a_L (T_L - T_{ref}) + E_L \quad (15b)$$

ahol $a_U, a_L \cong 1$, T_{ref} egy tetszőleges referencia-hőmérséklet és E_U, E_L az ofszet hőmérsékletek.

A fenti, mért adatok alapján meghatározhatjuk a hőmérsékletesést és a hőellenállást:

$$T'_U - T'_L = \frac{a_U + a_L}{2} (T_U - T_L) + \frac{a_U - a_L}{2} (T_U - T_{ref} + T_L - T_{ref}) + E_U - E_L \quad (16)$$

és

$$R'_{th} = \frac{T'_U - T'_L}{P} = \frac{a_U + a_L}{2} R_{th} + \frac{(a_U - a_L)(T_U - T_{ref} + T_L - T_{ref})}{2} \frac{1}{P} + \frac{E_U - E_L}{P} \quad (17)$$

(17) szerint R'_{th} szorzódik az a_U és a_L középértékével. Ezek mellett két másik hibtag is megjelenik az egyenlet jobb oldalán. Habár a P növelésével ezek csökkenthetőek, ennek a módszernek is megvannak a természetes határai. Azonban a szimmetrikus elrendezésnek köszönhetően jobb megoldást találhatunk. Ha a hőáram irányát megfordítjuk, akkor ezek a hibtagok fordított előjellel jelennek meg:

$$R''_{th} = \frac{a_U + a_L}{2} R_{th} + \frac{(a_U - a_L)(T_U - T_{ref} + T_L - T_{ref})}{2} \frac{1}{-P} + \frac{E_U - E_L}{-P} \quad (18)$$

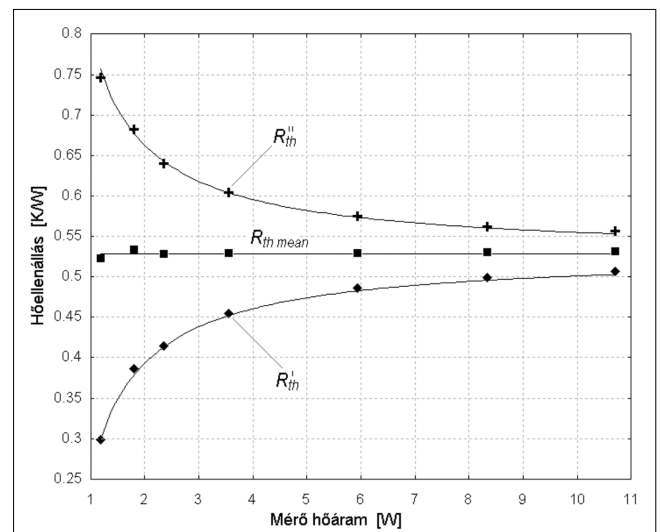
A két ellenállás átlagát véve a két hibtagot teljesen kiküszöböljük:

$$R_{th\,meas} = \frac{R'_{th} + R''_{th}}{2} = \frac{a_U + a_L}{2} R_{th} \quad (19)$$

Tehát a TIM teszterünk speciális tulajdonsága, a megfordítható hőáramirány segítségével az R_{th} mérés során az ofszet hiba teljesen kiküszöbölhető.

Elméletünket az alábbi mérési példával illusztráljuk. Több hőáram érték mellett megmértük egy 0,65 mm vastag A_2O_3 kerámia lemez hőellenállását. A mérési eredményeket 14. ábra mutatja.

14. ábra A hőmérsékletofszet hibájának kiejtése (pontok: mért értékek, vonalak: közelítő függvények)



Az első mérés (a hőáram iránya pozitív) eredményei az alsó görbén láthatóak. A teljesítményfüggés pontosan hiperbolikus ($R_{th} = 0,528 - 0,27/P$), ebből láthatóan egy bi-

zonyos mértékű ofszethiba jelentkezett. A második mérési sorozatnál ellentétes irányú hőáramot hajtottunk át a struktúrán, ennek eredménye az ábra felső görbében látható. A két görbéből meghatároztuk a középértéküket, ezt fekete négyzetekkel jelöltünk. Amint várható volt, ezek az adatok gyakorlatilag egyenlők, függetlenül a P értékétől és a középértékhez tartozó görbén minimális hiba jelentkezett.

7.4. A hőárammérés hibájának hatása

A hőáram-mérő szenzornak működési elvénél fogva nincs ofszethibája. A kimenetére kapcsolt feszültségerősítő azonban nyilvánvalóan rendelkezik ofszettel. Jelöljük a teljes ofszetet E_P -vel:

$$P' = P + E_P \tag{20}$$

ahol P a valós és P' a mért hőáram.

Ezek segítségével:

$$R'_{th} = \frac{T_U - T_L}{P'} = \frac{T_U - T_L}{P} \frac{P}{P + E_P} = R_{th} \frac{1}{1 + E_P / P} \tag{21}$$

A szenzorok jellemző érzékenysége $40 \mu\text{V/W}$ körül van, míg az erősítő bemenetre redukált ofszet hibája $25\text{-}50 \mu\text{V}$. Az ofszet állandó részét szoftveresen kompenzáljuk, de még így is a megmaradó változó tag elég nagy ahhoz, hogy hibát okozzon. Például, ha $P=4 \text{ W}$ és $E_P=0,2 \text{ W}$, akkor a hiba 5% .

A megoldás ismét a hőáram irányának megfordítása. A fordított irányban mért R_{th} ugyanis az alábbi módon alakul:

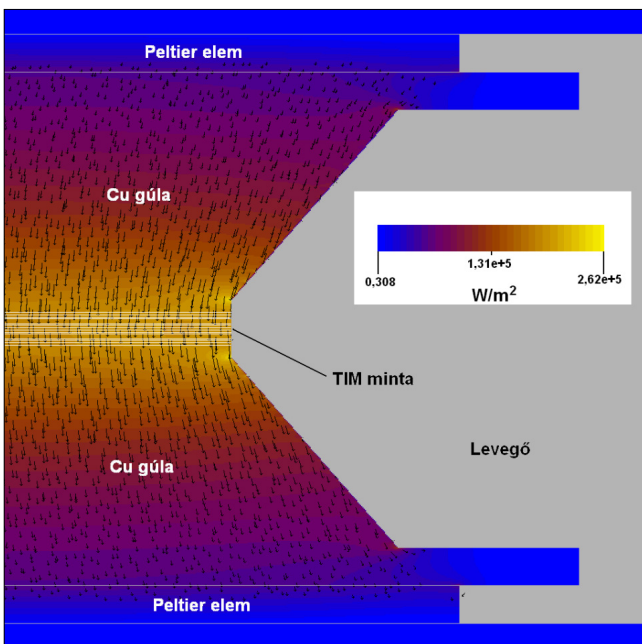
$$R''_{th} = R_{th} \frac{1}{1 - E_P / P} \tag{22}$$

A két R_{th} mérés átlaga pedig:

$$R_{th\,meas} = R_{th} \frac{1}{1 - (E_P / P)^2} \tag{23}$$

Ily módon a hiba $0,25\%$ -ra csökkent.

15. ábra A mintatartó termikus szimulációja



7.5. Az erősítők ofszetfeszültsége

A befogófejek hőmérsékletét úgy mérjük, hogy az Si szeleteket ellenállás-hőmérőként használjuk. Az ellenállásokat I_{meas} mérőárammal hajtjuk meg és az ellenállások feszültségesését négyvezetékes módszerrel mérjük. Az erősítők ofszetfeszültsége nyilvánvalóan mérési hibát okoz. A hiba kiküszöbölésének érdekében megismételjük a mérést ellentétes irányú árammal: $-I_{meas}$. Ezáltal az összes olyan ofszet, melyet az erősítő lánc okozott, kiesik.

Mivel a mérés ideje alatt a chip-en keresztül hő is áramlik, a létrejövő Seebeck-feszültség további hibát okoz. Azonban a kétirányú áramot használó ellenállásmérés ezt a hibát is kiejti.

8. Szimulációs eredmények

Annak tisztázására, hogy a mérési elrendezésre milyen hatással van a másodlagos hűtő, szimulációs vizsgálatokat végeztünk. Egyik ilyen vizsgálat eredménye látható a 15. ábrán, mely a TIM teszter mintabefogójának hőáram szimulációját mutatja. (Időkímélési okokból a szimuláció során a csonkakúla-struktúrát hengershimmetrikus struktúrával helyettesítettük.)

A Peltier-cellákon $\pm 30 \text{ W}$ hőpumpálást állítottunk be. A szimulált adatok alapján a chip aktív felületén átfolyó maximális hőáram 200 kW/m^2 volt és $0,3 \text{ W/m}^2$ hőáram távozását lehetett megfigyelni a levegőn keresztül. Az eredmények szerint 262 kW/m^2 hőáram jelentkezik a réz csonkakúpok széleinél. Ezen gerjesztések következtében $46,6 \text{ K}$ hőmérsékletkülönbség állt elő a teljes struktúrán, ami nagyjából $3,5 \text{ K}$ -nek felel meg a két chip között.

További szimulációkat végeztünk annak megállapítására, hogy a hőeloszlás mennyire egyenletes a mintán. Megállapítottuk, hogy az inhomogenitás $\pm 1,8\%$ a $10 \times 10 \text{ mm}$ -es aktív tartományban.

Kérdés, hogy milyen mértékű inhomogenitásnak van mérési pontosságot befolyásoló hatása. Ennek a meghatározásához gondoljunk végig, hogy pontosan milyen λ értéket mérünk, ha a mintán nem egyenletes a hőmérsékletesés. Jelöljük a TIM mintán átfolyó hőáramsűrűséget $p(x, y)$ -nal és a hőmérsékletesést $\vartheta(x, y)$ -nal. Egy elemi dx, dy területre

$$p(x, y) dx dy = \vartheta(x, y) \lambda(x, y) \frac{1}{z} dx dy \tag{24}$$

ahol z a minta vastagsága és λ a fajlagos hővezetőképesség. A minta A keresztmetszetére történő integrálással kapjuk a teljes teljesítményt:

$$P = \iint_A p(x, y) dx dy = \frac{1}{z} \iint_A \vartheta(x, y) \lambda(x, y) dx dy \tag{25}$$

Az érzékelő chip méri a teljes hőáramot. A vele egy időben mért hőmérséklet pedig a chip mentén mérhető átlagos hőmérséklet, $\langle \vartheta \rangle$. Ezt követően a mért minta hővezetése az alábbi módon számítható:

$$G_{th\,meas} = \frac{P}{\langle \vartheta \rangle} = \lambda_{meas} \frac{A}{z} \tag{26}$$

ahol λ_{meas} mérés által szolgáltatott hővezetőképesség.

Végezetül behelyettesítve az (25) egyenletbe megkapjuk, hogy

$$\lambda_{meas} = \frac{\frac{1}{A} \iint_A g(x, y) \lambda(x, y) dx dy}{\langle g \rangle} = \frac{\langle \lambda g \rangle}{\langle g \rangle} \quad (27)$$

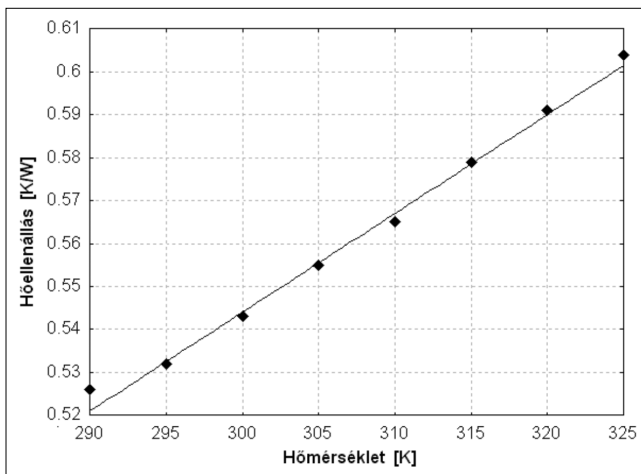
Azaz a mérési eredményünk λ súlyozott középértéke, ahol a súlyozó függvény a mintán mérhető hőmérséklet-esés.

Ezen eredmények alapján elmondható, hogy ez a pontatlanság mérsékelt inhomogenitás esetén elhanyagolható.

9. Mérési példák*

Egyik első kísérletünk során egy Al_2O_3 kerámialemezt vizsgáltunk. A minta vastagsága 0,65 mm, az alkalmazott nyomás 84,7 kPa volt. A minta mindkét oldalán hőpasztát használtunk. A hőellenállást a hőmérséklet függvényében mértük. Az eredmények a 16. ábrán láthatóak. A szobahőmérséklethez tartozó $R_{th}=0,532$ K/W.

16. ábra
 Al_2O_3 lemez hőellenállása a hőmérséklet függvényében (nyers adat, még tartalmazza az $R_{th\,add}$ -ot)



A kerámialemezek számolt hőellenállása $R_{th\,cer}=0,2$ K/W ($\lambda_{Al_2O_3}=32$ W/mK felhasználásával). Ily módon a (28)-as egyenlet felhasználásával a paszta hőellenállása is meghatározható.

$$R_{th\,meas} = R_{th\,cer} + 2R_{th\,paszta} + R_{th\,add} \quad (28)$$

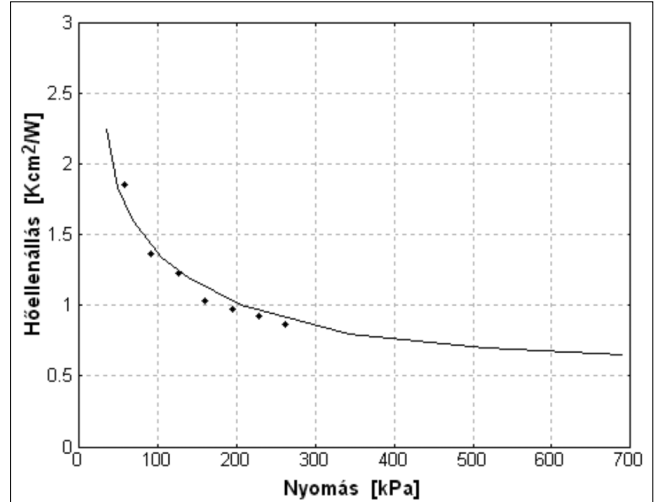
A számítások alapján $R_{th\,paszta} = 0,146$ K/W.

A fenti ábra adatait felhasználva kiszámítható a hőmérsékletfüggés együtthatója, mely 0,41%/K-re adódik. Ez az érték megfelelő mértékben egyezik az Al_2O_3 irodalmi adataival. Azonban nem szabad elfelejteni, hogy a kerámia csak a teljes R_{th} 40%-át adja és a hőmérsékletfüggést befolyásolják a teljes $R_{th\,meas}$ -ben jelenlévő egyéb komponensek is.

A következő kísérletben egy kereskedelmi forgalomban kapható TIM anyagot vizsgáltunk. Az anyag egy rugalmas, tömör grafit kompozit, melyet 0,25 mm vastag

lapokban forgalmazznak. Megvizsgáltuk a minta nyomástól való függését és összehasonlítottuk a gyártó adataival. Az eredményeket a 17. ábra mutatja. Az egyezés láthatóan nagyon jó.

17. ábra
Egy kereskedelmi forgalomban kapható TIM hőellenállás-nyomás függvénye (vonal: gyári adatok, pontok: mért adatok)



Megvizsgáltuk a mérések megismételhetőségét is. Két TIM-et mértünk: „a”-val jelöltük a kereskedelmi forgalomban kapható TIM-et (hígított epoxi, szén nanocső töltőanyaggal) és „b”-vel a NanoPack [10] projekt keretein belül az egyik partnerünk által fejlesztett TIM-et. Elvégeztünk egy sor mérést anélkül, hogy kinyitottuk volna a mintatartót.

Az eredményeket egy táblázatban foglaltuk össze.

Anyag	„a”	„b”
	p = 84,8 kPa, T = 300 K	p = 84,8 kPa, T = 300 K
Mért értékek, K/W	0,1493	0,0945
	0,1496	0,0936
	0,1500	0,0931
	0,1475	0,0937
	0,1490	0,0924
	0,1487	0,0909
	0,1488	0,0921
	0,1493	
Szórás, K/W	0,0007	0,0011

Az eredmények szórása nagyjából 1 mK/W. Ezek alapján megállapíthatjuk, hogy néhány 10 mK/W-os hőellenállás-tartományban a megismételhetőség hibája 3-5%.

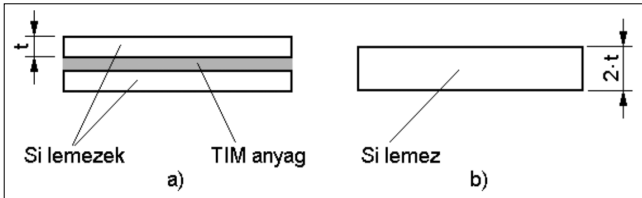
Nagyobb bizonytalanságot hordoz a mintának a befogóba helyezése és eltávolítása. A pontatlanság egy másik forrása lehet a minta vastagságának mérése.

Következő példánkban egy kísérleti TIM mérését mutatjuk be, melyet az egyik partnerünk gyártott a NanoPack projekt [10] során. Ennél a pasztánál újabb probléma jelentkezett, mivel ez adhéziós (ragasztó) TIM, továbbá az anyagot a felhordás után ki kell égetni. Megoldásként az alábbi módszerhez folyamodtunk. Elkészítettük a 18. ábrán bemutatott szendvics-struktúrát, ahol a vizsgálandó TIM ragasztó két, nagyon alacsony termikus ellenállással rendelkező lemez között van. Si-lemezek különö-

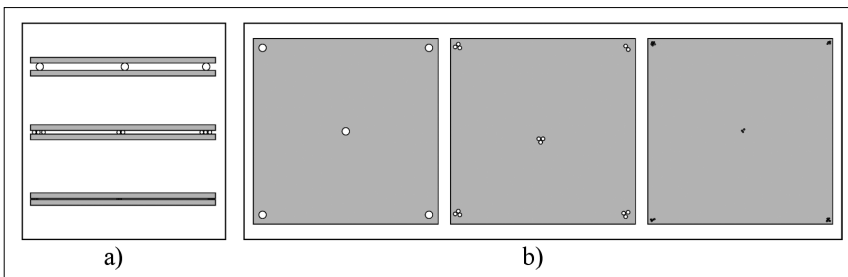
* Az R_{th} értékek mindegyik példában a mintatartó 1 cm²-es aktív területére vonatkoznak

sen jók erre a célra, mivel a szilícium nagyon jó hővezető és rendelkezésre áll tökéletesen sima párhuzamos formában. A szendvics-struktúra használatával a kiégetés is könnyen megvalósítható. Mechanikai vastagságmérővel a minta vastagsága is egyszerűen meghatározható.

18. ábra Ragasztó TIM mérése



19. ábra
A távtartó golyók tipikus elhelyezkedése a szilícium lapkákon: oldalnézet (a) és felülnézet (b)



A minták előkészítése során biztosítani kellett, hogy amikor a lemezeket összenyomjuk, akkor a köztük szétfolyó TIM-ragasztó hozzávetőleg állandó vastagságú legyen, továbbá elkerüljük, hogy a lapkák összenyomása folytán kiszoruljon a minta a lemezek közül. Ezért üvegből készült távtartó golyókat [11] helyeztünk a Si lemezek közé. Annak érdekében, hogy minimalizáljuk a golyók hatását az elkészült minta hővezetési tulajdonságaira, a lehető legkevesebb golyót próbáltuk meg a szilícium lapkák közé helyezni. A golyókat nem kevertük bele a vizsgálni kívánt ragasztóanyagba, hanem néhányat egy szilíciumlapkára rögzítettünk a középpontja, illetve a négy sarka közelében (lásd 19/a. ábra) azelőtt, hogy a kétkomponensű ragasztó TIM-et felvittük volna a felületre.

Apró (kb. 0,5x0,5 mm méretű) cseppeket helyeztünk el egy nagy tisztaságú, jól kezelhető, viszkózus fotoreziszt lakkból (Clariant AZ 1518) a kívánt helyekre és az üvegből készült golyókat ezekbe nyomtuk bele. A felrögzítés utolsó lépéseként a fotoreziszt lakkot beégettük a gyártó előírásai szerint (115°C, 50 s), melynek hatására az kikeményedett és az adott célra megfelelő minőségű kötést hozott létre. Az így előkészített szilíciumlapkára (nevezzük ezt alsó lapkának) óvatosan felkentük a vizsgálni kívánt ragasztó TIM-et, majd erre ráhelyeztük a másik (felső) szilícium lapkát. A megmaradt és kifolyt ragasztóanyagot gondosan eltávolítottuk izopropil-alkohol segítségével, majd a mintát a TIM-et előállító cég előírásai szerint hőkezeltük.

A fenti módszerrel jól meghatározott méretű és megfelelő párhuzamosságú mintákat tudunk előállítani, melyek alkalmasak a vizsgálni kívánt TIM-ek hővezető-képességének meghatározására. A vizsgálatok során a

vastagságmérést mechanikus vastagságmérő órával végeztük. A különálló lapkák esetében a középpontban végeztük a mérést, a kész minták esetében középen és a sarkoknál.

A minták előkészítését követően megmértük a szendvicsszerkezet és a tiszta, kétszeres vastagságú Si lemezek R_{th} -ját. Ezután a két érték különbsége alapján meghatározhatjuk a TIM-ragasztó és a TIM/Si lemez interfészek termikus ellenállásait.

Egy gyakorlati probléma azonban rontja ennek a mérési eljárásnak a hatékonyságát. Mindkét struktúra mérése során van két további elválasztó felületünk a mintabefogóknál. Elméletileg ezeknek az átmeneti hőellenállása kiesik a számítások során – de csak akkor, ha az R_{th} -juk mindig ugyanakkora. Ezen R_{th} értékek bizonytalansága azonban megjelenik a ragasztó TIM mérésekor a kiértékelés végén.

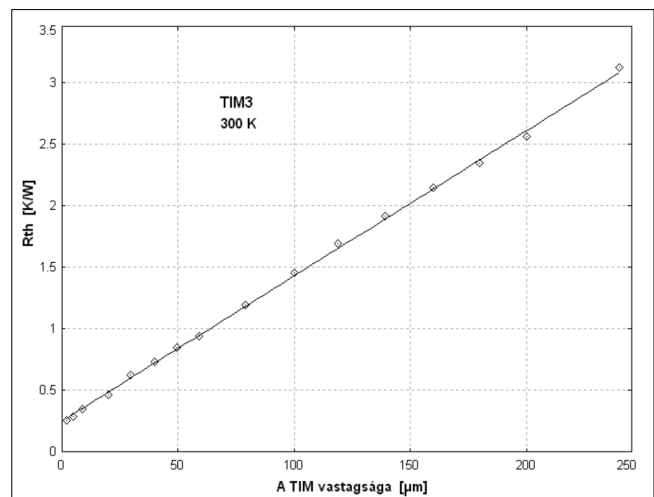
Azért, hogy csökkentsük ezt a bizonytalanságot, megfogalmaztunk néhány hasznos tanácsot:

- (i) Használjuk az elérhető legjobb hőpasztát a mintatartó befogókon.
- (ii) Használjuk a lehető legnagyobb nyomást.
- (iii) Ismételjük meg többször a méréseket és számoljuk ki a középértéket.

Jelen esetben 0,39 mm vastag Si-lemezeket használtunk. Ezen lemezek hőellenállása 0,026 K/W (az 1 cm²-es aktív zónára számolva). A fenti eljárást használva $R_{th,TIM}=0,6$ K/W hőellenállást mértünk. A TIM-réteg vastagsága 0,16 mm volt. A két utolsó adat felhasználásával a termikus vezetőképesség kiszámítható, mely $\lambda = 2,67$ W/mK-re adódott.

A mérőrendszer mechanika második változata paszta jellegű TIM-anyagok vizsgálatára alkalmas. Egy kísérleti TIM-anyag mérésének eredményeit látjuk a 20. ábrán. A mérést számos mintavastagság mellett elvégeztük és a kapott hőellenállás értékeket a d vastagság függvényében ábrázoltuk.

20. ábra
TIM anyag hőellenállása a vastagság függvényében (keresztmetszet: $A=1$ cm²)



A függvény elvileg lineáris, hiszen

$$R_{th} = \frac{1}{\lambda} \frac{d}{A} \quad (29)$$

a mért értékek ennek jól megfelelnek. Az egyenes meredekségéből közvetlenül számolható a fajlagos hővezetési együttható:

$$\frac{\partial R_{th}}{\partial d} = \frac{1}{\lambda A}, \quad \lambda = \frac{1}{A \partial R_{th} / \partial d} \quad (30)$$

Az egyenes egyenlete $0,25 + 0,0118 \times d$. Ebből a fajlagos hővezetés $\lambda = 0,847$ W/mK. Figyeljük meg, hogy λ ilyen módon történő mérésénél a TIM-anyag és a befogó fopák közötti hőellenállás kiesik.

10. Összefoglalás, fejlesztési tervek

Új mérési koncepciót dolgoztunk ki és valósítottunk meg TIM-ek termikus ellenállásának statikus mérésére. Az új kialakítás főbb jellemvonásai az alábbiak:

- (i) Peltier-cellák használata a hőáram keltésére. Ennek segítségével megvalósítható a hőáram irányának megfordítása és a minta hőmérsékletének beállítása.
- (ii) Szimmetrikus mechanikai összeállítás. Így a mérés megismételhető fordított irányú hőterjedés mellett és a mérési hibák jelentős része kiesik.
- (iii) Integrált szilícium szenzor chip-ek használata, mind a hőáram, mind a hőmérséklet mérésére. Így az érzékelőket a lehető legközelebb lehet vinni a mérendő mintához.

Ezeknek az új koncepcióknak a használatával lehetővé válik 10 mK/W nagyságrendbe eső termikus ellenállások mérése 3-5%-os pontatlansággal. A kísérleti eredmények alátámasztják ezeket a megállapításainkat.

Gondolunk a berendezés továbbfejlesztésére is. A termikus mérésekre jellemző, hogy meglehetősen hosszadalmasak. Egyetlen λ érték meghatározása 5-10 mérést, 15-20 percet igényel. A λ hőmérséklet függésének megállapítása órákba kerülhet. Ezért nyilván felmerül az igény a mérés automatizálására. Ez a további fejlesztés valószínű iránya. A szükséges lépések:

- a mintavastagság-állító finommenetes csavart léptető motorral kell meghajtani,
- a mintavastagságot elektronikus, digitális kimenetű mérőórával kell mérni az emberi leolvasás helyett,
- elkészítendő a vezérlőprogram az automatikus vastagság, illetőleg hőmérséklet léptetésére és az eredmények kiértékelésére.

Ily módon a felhasználó egyetlen feladata a minta gondos behelyezése és a mérés indítása lesz.

Köszönetnyilvánítás

Szerzők köszönettel tartoznak a segítségért és együttműködésért Ádám M. és Nagy A. kollégáinknak.

A munka megvalósulását az EU támogatta a 216176/2007 NanoPack projekten keresztül.

A szerzőkről



RENCZ MÁRTA jelenleg a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Elektronikus Eszközök Tanszékének vezetője. Villamosmérnöki diplomáját 1973-ban vette át a BME-n, ahol 1980-ban PhD. fokozatot is szerzett. Első kutatási területe a félvezető eszközök szimulációja volt. Aktuális szakmai érdeklődési köre magában foglalja az IC-k és MEMS-ek termikus vizsgálatát, a termikus szenzorokat, a termikus tesztelést, a termikus- és az elektro-termikus szimulációkat. Társalapítója és igazgatója a MicRed Kft.-nek, mely jelenleg a Mentor Graphics MicRed divíziójaként ismert, ahol a mai napig betölti az igazgatói posztot. Elméleti és gyakorlati eredményeit több mint 300 műszaki folyóiratban publikálta. A termikus modellezés területén elért tudományos eredményeiért az elektronikai termikus problémák kezelésében szakavatott közösség a Harvey Rosten Award of Excellence díjban részesítette. Az IEEE és a HTE tagja.



SZÉKELY VLADIMÍR 1964-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki Egyetemen. Ettől az évtől munkatársa az Elektronikus Eszközök Tanszékének, 1990 és 2005 között pedig a tanszéket is vezette. Jelenlegi beosztásában egyetemi tanár. Első kutatási területe a Gunn-dióda működési fizikája volt. Későbbi érdeklődési területe főként az integrált áramkörök számítógépes tervezése lett, különös tekintettel az áramkör-szimulációra, a termikus szimulációra és a félvezető eszközök modellezésére. Több, az integrált áramkörök tervezését és szimulációját szolgáló CAD program kidolgozását vezette. További érdeklődési területe a számítógépes grafika és a képfeldolgozás. A félvezető eszközök és integrált áramkörök termikus tulajdonságainak vizsgálatával 25 éve foglalkozik. Ennek eredménye egyes új, termikus működési elvű IC elemek valamint termikus szimulációs programok kidolgozása. Kutatásainak elméleti és gyakorlati eredményeit több mint 330 folyóirat- és konferencia-cikkben, valamint 12 könyvben, könyvfejezetben publikálta.



KOLLÁR ERNŐ 1995-ben szerzett villamosmérnöki és villamosmérnök-tanár diplomát a Kandó Kálmán Műszaki Főiskolán a Híradástechnikai Intézet Mikrohullámú technika szakán. Kezdetben vagyonvédelmi rendszertervezőként dolgozott, miközben a beépített tűzvédelmi berendezések tervezésére specializálódott. A versenyszférából visszatérve tanulmányaihoz, elvégezte BME-VIK Mikrorendszerek és moduláramkörök szakát. Egy évig tudományos segédmunkatárként dolgozott, miután elvégezte a PhD. képzést. 2004-től tanársegéd, 2007-ben adjunktussá nevezték ki.



SOMLAY GERGELY 2007-ben szerzett villamosmérnöki oklevelet a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Még ebben az évben felvételt nyert a Villamosmérnöki és Informatikai kar doktoranduszi képzésére. 2006 nyarán a Duolog Kft.-nél szerzett szakmai gyakorlatot. A tanulmányokkal párhuzamosan 2007 nyaratól a Gamax Kft.-nél dolgozik alkalmazási mérnökként. 2010-től kezdve emellett az Euromental Zrt.-nél is tevékenykedik rendszergazdaként és szoftver tesztelőként.



SZABÓ PÉTER GÁBOR 2007 júniusában szerzett okleveles villamosmérnöki diplomát a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán. A választott főszakiránya a Mikrorendszerek és moduláramkörök volt, mely mellett a Fizikai módszerek a távközlésben mellékszakiirányt véggezte el. 2007-től a BME Elektronikus Eszközök Tanszékének doktorandusza, Dr. Székely Vladimír témavezetése alatt. 2010-ben egyetemi tanársegéddé nevezték ki. Fő kutatási területei a félvezető alapú mikro-elektromechanikus és elektrotermikus rendszerek modellezése, tervezése és karakterizációja. További érdeklődési területei a termikus mérés technikai hibák vizsgálata és a nagyfrekvenciás nyomtatott huzalozású lemezek tervezése. A kar MSc. és BSc. hallgatóinak oktatása mellett több Európai Unió projektben is részt vesz és operatív munkájával segítkezett új projektek elnyerésében.



JUHÁSZ LÁSZLÓ a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karán végzett 2007-ben okleveles villamosmérnök-ként. Diplomamunkáját az Elektronikus Eszközök Tanszékén írta, ahol doktoranduszként folytatta tanulmányait, majd egyetemi tanársegéddé nevezték ki. A Tanszék félvezető technológiai laboratóriumában végez oktatói és kutatói munkát, valamint két Európai Unió projekt felelőse. Fő érdeklődési területe a mikro- és nanoelektronikai technológiák és az ezekkel megvalósított eszközök. Jelenleg nanopórusos anyagok felhasználásával megvalósítható páraérzékelők kutatásával és fejlesztésével foglalkozik.



VASS-VÁRNAI ANDRÁS 2007-ben végzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán okleveles villamosmérnök-ként. Az egyetem elvégzése óta a Mentor Graphics Magyarország Kft.-nél dolgozik applikációs mérnökként, ahol feladatai közé tartozik a termikus tranziensteszteségi eljárás új alkalmazási területeinek kutatása. A munka mellett a BME Villamosmérnöki kara által jegyzett Doktori Iskolában is folytatja tanulmányait. Kutatási területei közé tartozik a termikus interfész anyagok mérés-technológiája, valamint a nagyfelületű félvezető tokok hőmérsékleti viselkedésének vizsgálata.

Sensors and Actuators, A. Physical, Vol. 116/2, pp.284–292, 2004.

[10] NanoPack project of the European Union, No. 216176/2007.

[11] MO-SCI Specialty Products L.C.C.:
Spacer Grade Glass Spheres – Class VI
http://www.mo-sci.com/Mo-Sci_Specialty_Products/Products/bond-line-spacers/

Irodalom

- [1] „Standard Test Method for Thermal Transmission Properties of Thin Thermally conductive Solid Electrical Insulation Materials,”
ASTM D 5470-01, 2001.
- [2] C.J.M. Lasance, C.T. Murray,
D.L. Saums, M. Rencz,
„Challenges in Thermal Interface Material Testing”,
Proc. of 22th IEEE SEMI-THERM Symposium,
pp.42–49, 2006.
- [3] K. Hanson,
„ASTM D 5470 TIM Material Testing”,
Proc. of 22th IEEE SEMI-THERM Symposium,
pp.50–53, 2006.
- [4] K. Zhang, Matthew M.F. Yuen, N. Wang, J.Y. Miao,
David G.W. Xiao, H.B. Fan,
„Thermal Interface Material with Aligned CNT and
Its Application in HB-LED Packaging”,
IEEE Electronic Components and Technology Conf.,
pp.177–182, 2006.
- [5] R.N. Jarrett, C.K. Merritt, J. P. Ross, J. Hisert,
„Comparison of Test Methods for High Performance
Thermal Interface Materials”,
Proc. of 23th IEEE SEMI-THERM Symposium,
pp.83–86, 2007.
- [6] D. Keams,
„Improving Accuracy and Flexibility of
ASTM D 5470 for High Performance Thermal Interface
Materials”,
Proc. of 19th IEEE SEMI-THERM Symposium, 2003.
- [7] Bosch E. and Lasance C.,
„High Accuracy Thermal Interface Measurement of
Interface Thermal Resistance”,
Electronics Cooling, Vol. 1.6, 110.3,
pp.26–32, 2000.
- [8] NanoPack interim report, Wp 4.
- [9] M.Rencz, E.Kollár, V.Székely,
„Heat flux sensor to support transient thermal
characterisation of IC packages”,

Szélessávú kompleximpedancia-illesztő hálózatok tervezése és alkalmazása

FÜZY CSABA

BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék
csaba.fuzy@mht.bme.hu

Kulcsszavak: szélessávú illesztés, impedanciaillesztés, mikrohullámú áramkörök, microstrip-tápvonalas struktúrák, mikrohullámú erősítők

Jelen cikk alapvetően a szélessávú komplex impedancia illesztésének kérdésével foglalkozik.

A cikkben vázlatos, rövid összefoglalásra kerülnek a lehetséges technikák, majd részletes bemutatásra kerül az úgynevezett analitikus illesztési módszer, valamint egy lehetséges, főként optimalizáción alapuló módszer, amely a nem-uniform tápvonalak, mint impedanciaillesztő-hálózatok tervezését teszi lehetővé.

1. Bevezetés

Korunk telekommunikációs igényei komoly kihívások elé állítják a hardvertervező szakembereket. Általánosan elmondható, hogy alapvető cél a sáv szélesség növelése az előforduló veszteségek minimalizálása mellett. A mikrohullámú technikában, az elosztott paraméterű hálózatok esetén különös figyelmet kell szentelni az egymást követő elemek szélessávú illesztettségének. Alapesetben az illesztetlenség két, egymást követő fokozat bemeneti- és kimeneti impedanciájának viszonya miatt alakul ki. Legegyszerűbb esetben, amikor egy forrásról és egy fogyasztóról beszélünk, a mindenkori cél az, hogy az a fogyasztó és a forrás közé iktatott illesztő hálózat segítségével a fogyasztó impedanciáját a forrás impedanciájának komplex-konjugáltjává transzformáljuk. Jelen cikkben részletes bemutatásra kerül az analitikus impedanciaillesztési módszer, reálizált és bemért példaáramkörök bemutatásával.

A második szakaszban vázlatos összefoglalásra kerülnek a lehetséges szélessávú impedanciaillesztő módszerek. A harmadik szakaszban az alkalmazott analitikus megoldás kerül részletes ismertetésre. A negyedik szakasz új, főként optimalizáción alapuló tervezési módszert ad lépcsős és nem-uniform tápvonalstruktúrákra, mint szélessávú impedanciaillesztő hálózatokra. A negyedik szakaszban egy lehetséges módszer kerül bemutatásra mikrohullámú tranzisztorok szimultán illesztésére, melyet végezetül a tanulságokat összegző összefoglalás zár.

2. Szélessávú impedanciaillesztési módszerek

Ismeretes, hogy a nagyfrekvenciás tartományban az illesztetlenségek okozta reflexiók teljesítményvesztést jelentenek. Általános értelemben az impedanciaillesztés azt jelenti, hogy az egymást követő két kétkapu bemeneti és kimeneti impedanciáját egy köztes impe-

danciaillesztő hálózattal úgy kell alakítani, hogy azok egymás komplex-konjugáltjai legyenek.

Egy adott frekvencián, illetve annak relatíve kis tartományában ez a reaktanciák kihangolásával megtehető. Gazdagon tárgyalt téma az ilyen keskenysávú illesztés mind koncentrált, mind elosztott paraméterű elemekkel [1]. Ilyenek például koncentrált paraméterű hálózatok esetén az L-tag, Pi-tag, T-tag, tápvonalas struktúrákban pedig a nyitott- illetve rövidrezárt végű tápvonalcsonkos hálózatok. A bonyolult feladatot az illesztés szélessávban történő megvalósítása jelenti.

A szélessávú komplex impedanciaillesztés alappillére az 1939-ben kidolgozott Darlington-szintézis, mely szerint rezisztív és reaktív elemek tetszőleges összekapcsolásából álló hálózat helyettesíthető egy egységnyi ellenállással lezárt LC-létrával [2].

Youla 1965-ben egy közvetlen impedanciaszintézisen alapuló módszert adott. Lényege abban rejlik, hogy a forrással lezárt reaktív impedancia illesztő hálózat a lezárás felé annak komplex konjugáltját mutatja [2]. E módszer alkalmazása rendkívül mély matematikai komplex analízist igényel. A mérnöki tervezés szempontjából igen nehézkesen használható.

A Bode és Fano nevéhez kötődő analitikus megoldás szintén az 1960-as években alakult ki. E módszer a harmadik szakaszban kerül részletes bemutatásra.

Carlin a 1970-es években egy teljesen új módszert dolgozott ki, a Real Frequency Technique-t [3-5]. Az impedanciaillesztő hálózatot egy minimál reaktáns hálózat alkotja. A minimál-tulajdonságok a hálózatelmélet minimálfázisú fogalmából származtatható. Ebben az értelemben azt jelenti, hogy az impedanciafüggvénynek nincsenek pólusai a képzetes tengelyen. Ekkor az impedanciafüggvény képzetes és valós része egymást kölcsönösen meghatározzák a Hilbert-transzformáció segítségével. A módszer bonyolult optimalizációra és hálózatszintézisre épül. E technika kimagasló előnye, hogy az illesztendő impedancia függvényét nem kell ismerni, sem modellezni, szemben az analitikus és a Youla-féle megoldással. Meghatározott számú frekvenciatartomány-

ban vett impedanciaértéken alapszik, melyek vektoriális hálózatanalizátor segítségével könnyen megmérhetőek.

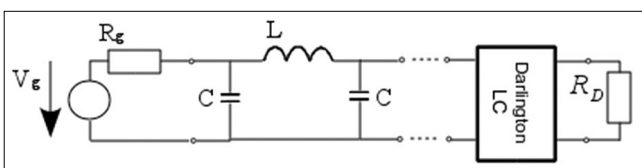
Modern és kidolgozatlan ágát képezik a tetszőleges frekvenciafüggő komplex impedanciák illesztésére szolgáló nem szabályosan változó paraméterű tápvonalak (non-uniform transmission lines) [6,7]. Tisztán ohmos lezárások között azonban a szakirodalom gazdagon tárgyalt részét képezik [1, 8, 9]. Az ilyen típusú tápvonalstruktúrákra az jellemző, hogy a távolságuk függvényében változik a hullámimpedanciájuk. Microstrip-tápvonal esetén ez úgy képzelhető el, hogy a vonalszélesség a vonalhossz függvényében változik. Tetszőleges komplex impedanciák esetére nem létezik olyan eljárás, mely zárt alakban megadja az említett vonalszélesség profil függvényét. Ezért a nem szabályosan változó paraméterű vonalak tervezése is alapvetően optimalizációs eljárásnak alapszik.

3. Analitikus szélessávú impedanciaillesztés

Az analitikus megoldás kezdetét Bode 1945-ben közzétett elméleti határa jelenti. Az elméleti határ egy aluláteresztő jellegű végtelen elemű reaktív illesztőhálózatra vonatkozik, melynek lezárása egy párhuzamos RC-tag [3,4]. 1950-ben Fano kiterjesztette Bode elméletét, felhasználva a jól kidolgozott Darlington-szintézis módszerét, illetve a kettős lezárású szűrők elméletét.

Ez utóbbi az alap szűrőstruktúrák közül az, amelyek mindkét oldalukon rezisztív lezárással rendelkeznek. Módszere abból áll, hogy helyettesíti az impedanciafüggvényével egzaktul meghatározott lezárást Darlington-ekvivalenciával, melyről tudjuk, hogy egy ellenállással van lezárva. Így az illesztési probléma vissza van vezetve a kettős lezárású szűrők tervezésére. Ezt illusztrálja a 1. ábra.

1. ábra Kettős lezárású szűrő, mint illesztőhálózat



Az új probléma tervezni és optimalizálni egy kettős lezárású szűrőt. Jelentős nehezítő körülmény, hogy a szűrő pólus-zérus elrendezésében a Darlington-féle LC-létrához tartozó pólusok és zérusok adottak a lezáró impedancia által és ezenkívül az eljárás során figyelembe kell venni a fizikai realizálhatóság feltételeinek kielégítését (pozitív reális függvény). Ehhez olyan Cauchy-integrál korlátok halmazára van szükség, melyeknek integrálási felső határai az LC-elemeket tartalmazzák, illetve a bemeneti reflexió függvény jobb félsíkú zérusait is. A probléma jelentős matematikai bonyolultsága miatt, „csak” pár tipikus RL-, RC-, RLC-hálózatra végzett átfogó analízist Fano [6,7]. A hálózatszintézis Chebyshev-

típusú aluláteresztő jellegű átviteli függvényen alapszik, mellyel kifejezhető a reflexiós tényező. Fano ezek alapján határozta meg a reflexiós tényező komplex frekvenciatartományon értelmezett függvényének gyökeit. Mivel a gyökök egymást meghatározzák, egyikük tetszőleges megválasztása egy további szabadságfokot jelent. Célszerű az adódó optimumfeladatot úgy megválasztani, hogy az a reflexiós tényező maximumát (3.35) minimalizálja. Ekkor a Chebyshev-polinomra jellemző hullámosságot csökkentjük.

Levy 1964-ben a problémát a matematikai szakirodalomban jól kidolgozott feltételes szélsőértékszámítás módszerével, a Lagrange-multiplikátorral oldotta meg [4]. Az így adódó transzcendens nemlineáris egyenletrendszer a jól ismert Newton-Raphson módszerrel lehet megoldani, azonban igen fontos megemlíteni, hogy Cuthbert talált olyan közelítő megoldást, melyek mindig kielégítik a nemlineáris egyenletrendszer és elég jó kezdeti értéként szolgálnak [4]. A bonyolult szintézisfeladat elkerülése Green által származtatott iteratív formulákkal lehetséges, melyek az aluláteresztő prototípus-hálózat normalizált elemértékeit szolgáltatják.

A módszer részletes iteratív tervezési egyenletei:

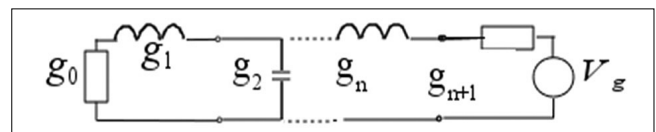
$$a = \operatorname{asin}h[\delta(1.7\delta^{-0.6} + 1)] \sin\left(\frac{\pi}{2n}\right)$$

$$b = \operatorname{asin}h[\delta(1.7\delta^{-0.6} - 1)] \sin\left(\frac{\pi}{2n}\right)$$

$$g_{i+1} = \frac{\sin\left[(2i-1)\left(\frac{\pi}{2n}\right)\right] \sin\left[(2i+1)\left(\frac{\pi}{2n}\right)\right] \frac{4}{g_i}}{\sinh^2(a) + \sinh^2(b) + \sin^2\left(i\frac{\pi}{n}\right) - 2 \sinh(a) \sinh(b) \cos\left(i\frac{\pi}{n}\right)}$$

ahol $i = 1 \dots n-1$, m egész, a pedig az ellipszis egyik fő-tengelye, melyen a Chebyshev-polinom gyökei helyezkednek el és δ az új impedanciajellemző-mennyiség, a dekrementum, mely az illesztendő impedancia jósági tényezője a sávközépi frekvencián osztva a relatív sáv-szélességgel. A hálózatot páratlan fokszám esetén a 2. ábra szemlélteti.

2. ábra Aluláteresztő prototípus



Az ábrán megfigyelhető, hogy az illesztőhálózat $g_2 - g_n$ elemekből, a lezárás g_0 és g_1 elemekből, a generátor pedig g_{n+1} elemekből áll. A prototípus-elemértékeket meghatározva a szűrőtervezés elméletéből ismeretes impedancia- és frekvenciaskálázás következik, illetve a megfelelő elemtranszformációk, amennyiben sáváteresztő típusú illesztő tervezése a feladat. Tekintve az aluláteresztő prototípus utolsó elemét, látható, hogy a generátor ellenállása a tervezés során adódik és nem tetszőlegesen választható. Ez azért jelent problémát, mert a telekommunikációs rendszerekben általában 50 ohmos lezárások fordulnak elő.

A probléma egyik lehetséges megoldása a hálózat-elméletből ismert olyan transzformációk alkalmazása, melyek a frekvenciamenetet változtatása nélkül a háló-

zat topológiáját változtatják csak meg. Ilyenek például a Kuroda-Levy-azonosságok, a teljes vagy a parciális Norton-transzformáció [1,4,11]. Ennek segítségével egy kiemelt két azonos induktív vagy kapacitív elemből álló L-tagot helyettesíthetünk Norton-transzformáltjaikkal. Teljes transzformáció esetén az eredeti L-tag tükröképébe, míg parciális esetben az L-tag egy PI- vagy T-tagga alakul át. A transzformáció után a fennmaradó induktivitások, kapacitások és ellenállások értékei a transzformációs faktoral átskálázódnak. Elérhető értéknövelés és csökkentés is egyaránt, a maximális skálázási faktor az L-tag értékei alapján számítható [11].

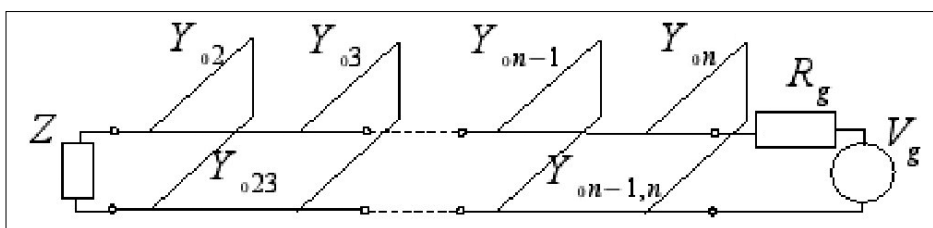
Egy másik lehetséges megoldás az, hogy a mikrohullámú szűrőtervezésben ismeretes rezonátor-inverter struktúrát alkalmazzuk. G.L. Matthei adott egy tervezési eljárást módosított impedancia inverteres illesztőhálózatra, amely a Bode-Fano-féle aluláteresztő prototípus hálózatot alakítja át sáváteresztő jellegű hálózatra. Ehhez az illesztendő impedanciát soros rezonanciára kell kihangolni, ami további alkalmazási lehetőségeket ad.

Például az aluláteresztő prototípus miatt a Bode-Fano-módszerrel nem lehetne soros R-C tagot illeszteni, mert nem egy lehetséges folytatása az aluláteresztő struktúrának. Azonban a Tomson-képlet alapján könnyen kiszámolható, hogy mely soros R-L taggal alkot sávközépen rezonáns kört. Az eredetileg illesztendő R-C tagot kibővítve egy soros induktivitással visszavezethető a probléma egy soros R-L impedancia illesztésére, ami már egy lehetséges folytatása az aluláteresztő struktúrának.

A módszer nagy előnye, hogy a generátor ellenállása tetszőlegesen megválasztható [10]. Ez utóbbi az inverterekre jellemző inverterszámok megfelelően megválasztott értékeivel oldható meg. A módszer hátránya az, hogy az impedancia inverterek koncentrált paraméterekkel igen nehézkesen valósíthatók meg. A koncentrált paraméterű ekvivalens hálózat negatív elemértéket tartalmaz, mely csak akkor valósítható meg, ha a vele szomszédos elem nagyobb értékű. Ekkor a negatív értéknek megfelelően csökkentve a szomszédos elem értékét úgy tekinthető lenne, mint ha magában foglalná. Az esetek igen kis százalékában fordul ez csak elő.

Tápvonalas hálózatok esetén a negyed hullámhosszúságnyi tápvonal – mely önmagában egy impedancia-inverter – bizonyul a legjobb megoldásnak, hiszen a gigahertzes tartományban már célszerű elosztott paraméterű hálózatokat alkalmazni. Soros rezonáns impedanciára ilyen tápvonalas illesztőhálózatot szemléltet a 3. ábra.

A szükséges hullámmittancia-értékek [10] 10. fejezete alapján számolhatóak. A tervezést gyorsabbá téve, minden egyenletrendszer a MathCad matematikai programcsomagban összefoglalásra került.

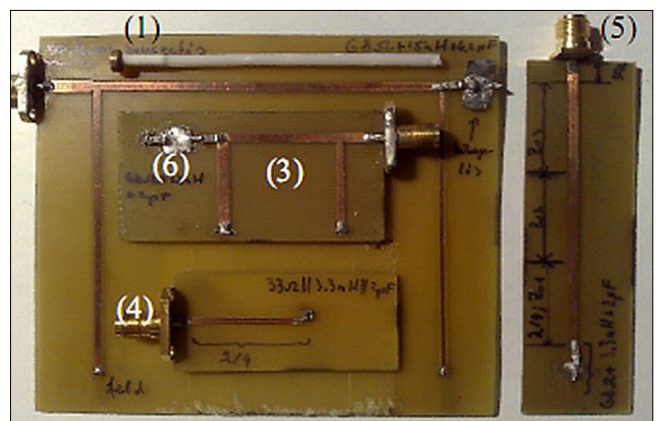


3. ábra Tápvonalcsontos illesztőhálózat

Párhuzamos jellegű illesztendő impedancia esetén természetesen párhuzamos rezonanciára kell kihangolni azt. Ekkor szintén érvényes az imént említett lehetőség, miszerint párhuzamos R-L tag illesztésére is van módszer. Elviekben ez azért nem lenne lehetséges, mert a párhuzamos R-L tag értelemszerűen nem lehetne lehetséges folytatása egy aluláteresztő struktúrának. Azonban megkeresve azt a párhuzamos R-C tagot, melyet az adott L induktivitással kéne kihangolni a sávközépi frekvenciára, visszavezettük a problémát egy már tervezhető hálózatra. Párhuzamos rezonáns lezárás esetén az illesztőhálózat a 4. ábrán látható hálózat duális lesz. Azaz a párhuzamos rövidrezárt tápvonalcsontok soros szakadással lezárt tápvonalcsontokká transzformálódnak.

A soros szakadással lezárt tápvonalak jelentős hátránya, hogy igen nehézkesen valósíthatók meg TEM, vagy kvázi TEM típusú tápvonalakkal. Utóbbira példa a gyakorlatban sűrűn előforduló microstrip-tápvonal, melyen szinte kizárt a soros szakadással lezárt tápvonalcsont kialakítása.

A probléma egy lehetséges megoldását jelentheti a mikrohullámú szűrőtechnikában jól ismert helyettesítő kapcsolások. A negyedhullámhossznyi tápvonallal összekapcsolt két soros szakadással lezárt hálózat, azaz a 3. ábrán látható hálózat duáltja, helyettesíthető aszimmetrikus élcsatolt tápvonallal [10,12]. Ilyen áramkörre mutat példát a 4. ábra (4)-es áramköre. Az aszimmetrikus élcsatolt tápvonalaknak három fizikai jellemzőjük van, a két különböző vonalszélesség és a vonalak közti konstans értékű rés. Általánosságban a csatolt vonalakat a páros-páratlan módusú analízissel lehet vizsgálni [12]. Aszimmetrikus élcsatolt vonalak esetén nem ismert olyan explicit kifejezés, mely a páros és páratlan módusú hullámmittanciák ismeretében a fizikai paramétereket szolgáltatná. A módszer gyakorlati vizsgálata érdekében koncentrált paraméterű komplex lezárásokhoz példa illesztőhálózatok készültek, melyek az ábrán láthatók.



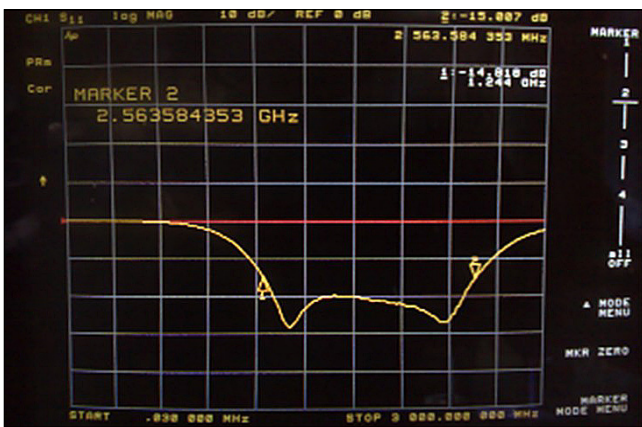
4. ábra Elkészített teszttáramkörök

Az (1)-es részen egy gyakorlati eszköz figyelhető meg, mellyel az áramkör viselkedése tanulmányozható. A kapacitív jellegű fémes végződésel pásztázva a mikrohullámú áramkört és közben folyamatosan figyelve annak reakcióit, fontos következtetések vonhatók le.

Minden példaáramkör a Microwave Office mikrohullámú CAD program segítségével készült. A tervezési egyenletek megoldását a CAD programban történő szimuláció, majd az optimalizálás követi. Célszerű az ideális veszteségmentes elemekkel kezdeni, majd fokozatosan áttérni a bonyolultabb, másodlagos hatásokat is figyelembe vevő elemeket használni, így az elméleti és a gyakorlati hibák egymástól elhatárolhatók. A CAD programban található beépített optimalizátor modul is. Ennek használata során ki kell jelölni az optimalizálandó függvényt és egy optimalizációs célt, ezzel definiálva a hibafüggvényt, melyet a kiválasztott algoritmus minimalizál.

A teljesség igénye nélkül a 4. ábra (3)-as részén látható áramkör bemeneti reflexiójának mérési eredménye látható az 5. ábrán. A mérés vektoriális hálózatanalizátorral készült $f_1=30$ Hz ... $f_2=3$ GHz frekvenciasávban, így a vízszintes tengelyen a frekvencia olvasható le, míg a függőlegesen a reflexió értéke decibelben. Jól látható, hogy a tervezett frekvenciasávban ($f_1=1.5$ GHz ... $f_2=2.5$ GHz) a bemeneti reflexió -20 dB alatt van, ami nagyon jó értéknek számít.

5. ábra Bemeneti reflexió mérési eredménye



Egy kivétellel minden áramkör esetén $f_1=1.5$ GHz ... $f_2=2.5$ GHz frekvenciasávban -20 dB-es bemeneti reflexiót sikerült kimérni a szimulációs eredményekkel összhangban, ami igen kiváló értéknek bizonyul, hiszen ez azt jelenti, hogy a reflektált teljesítmény csupán 1%-a a betáplált teljesítménynek. A fennmaradó áramkör az $f_1=400$ MHz ... $f_2=900$ MHz frekvenciasávra lett tervezve.

A részletes tervezések, szimulációk, mérések és áramköri hibákra való korrekciós ajánlások (pl. a 4. ábra (6)-os részén látható hangolólemez) [13]-ban megtalálható.

4. Alternatív szélessávú impedancia-illesztés

A változó paraméterű tápvonalak széleskörűen használt elemeknek számítanak a mikrohullámú technikában. Nevükből következően olyan tápvonalstruktúrák tartoznak

ide, melyeknek valamilyen jellemzője nem állandó, tipikus példa erre a hullámimpedancia. Microstrip-tápvonal esetén ekkor a tápvonal hosszának függvényében változik a vonalszélesség. Ilyen áramkörök például a lépcsősen, vagy a folytonosan változó vonalszélességű impedancia illesztők [1]. Hátrányuk az, hogy a tervezési egyenleteket csak tisztán ohmos lezárásokra származtatták. Előnyük abban rejlik, hogy elvileg tetszőleges hosszal tetszőleges sáv szélességű illesztés érthető el.

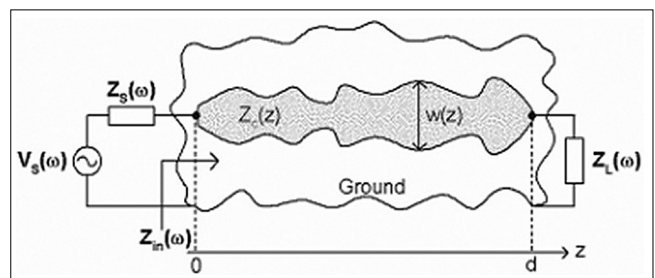
A lépcsős illesztő azonos hosszúságú (negyed hullámhossznyi) tápvonalakból épül fel, melyek szélessége szakaszonként állandó, de ugrásszerűen változik az egyes átmeneteknél.

A folytonosan változó szélességű vonalak a lépcsős vonalakból származtathatók úgy, hogy az egyes szakaszok hosszúságával tartunk zérushoz. Ekkor a vonalszélesség-profilfüggvényre és a reflexiós tényező kapcsolata leíró függvényre egy integrálegenlet adódik. Mivel végtelen sokféle profilfüggvényt választhatunk, felmerül a kérdés, hogy létezik-e legjobb, azaz amely profilfüggvényhez tartozó tápvonal bemeneti reflexiója a leggyorsabban konvergál az előírt reflexiós küszöbértékhez. A kérdésre igenlő választ Klopfeinstein adott [1]. A profilfüggvényt megadó egyenlet módosított Bessel-függvényeket tartalmaz, így megoldása numerikus módszerek használatát igényli. A Microwave Office programhoz 2005-ben Novak S. Petrovic and Frank J. Strachan Visual Basic nyelven publikáltak egy scriptet, mely Klopfeinstein-típusú illesztőt generál előre megadott tetszőleges számú és szélességű tápvonal-elemekből [14].

A nem szabályosan folytonosan változó (non-uniform transmission line), azaz függvényekkel csak közelíthető tetszőleges görbe szerint változó vonalszélességű tápvonalak komoly érdeklődését képezik a mikrohullámú kutatómérnököknek. Ilyen látható a 6. ábrán. Az alapvető probléma az, hogy nem létezik egy olyan általános megoldás, mely frekvenciafüggő komplex impedanciák esetén egy előírt tetszőleges bemeneti reflexióhoz tartozó vonalszélesség profilfüggvényt szolgáltat.

Egy lehetőség megközelítési módszer található [6]-ban. Az említett módszer abból áll, hogy a teljes tápvonal láncmátrixát, a tápvonal sűrű felosztásából adódó rövid tápvonal-elemek láncmátrixainak produktumaként származtatja. A láncmátrixból a bemeneti impedancia könnyen átszámítható. A bemeneti impedanciából pedig a reflexiós tényező szintén egyszerűen számítható. Minimalizálandó ekkor az adott frekvenciasávban a reflexiós tényező abszolútértéke (impedancia illesztésnél ez álta-

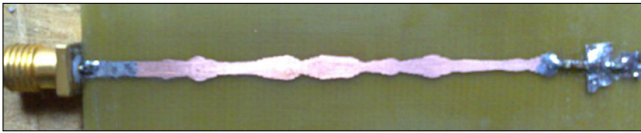
6. ábra Nem szabályosan változó microstrip tápvonal



lánosan a cél). A vonalszélesség profilfüggvényt csontkított Fourier-sorba fejt és az együtthatókat egy optimalizációs algoritmus segítségével úgy alakítja, hogy azzal minimalizálja a bemeneti reflexiót. Itt hangsúlyozandó, hogy a módszer nem szisztematikus tervezési egyenleteket használ, hanem a teljes folyamat az optimalizáción alapszik, hiszen az általános megoldás nem ismert. Továbbá [6]-ban nem mutatnak be szimulációs eredményeket, sem elkészített és bemért áramkört.

Egy saját megközelítése a non-uniform tápvonalaknak a következő. Az illesztendő impedanciát, ha az eredendően nem rezonáns, akkor az illesztendő sáv sávközepén ki kell hangolni, hogy tisztán ohmos legyen. Ekkor a generátor – ami rendszerint 50 ohmos – és a lezárás közé tervezhető egy Klopfeinstein-illesztőhálózat. Ez tökéletes illesztést csak sávközépen ad és az illesztő addig használható, amíg ezen impedancia frekvenciafüggő képzetes része olyan értéket nem vesz fel, amely okozta romlás már az előírt reflexiók korlátát átlépi.

Ekkor meg kell adni az MWO programba beépített optimalizátornak az optimalizációs célt, mely az előírt reflexiók tényező küszöbértéke, majd ki kell jelölni a Klopfeinstein-illesztőt alkotó elemi tápvonalak szélességeit, mint optimalizálandó paramétereket. Az algoritmus ezek után a non-uniform tápvonal vonalszélességének profilfüggvényét direkt módon származtatja. Célszerű az optimalizáció során két algoritmust választani, először genetikus algoritmust, majd ezt követően egy simplex-method algoritmust.



7. ábra Elkészített non-uniform tápvonal

A tervezés részletezése nélkül a 7. ábrán látható a szerző által tervezett és realizált non-uniform tápvonal. A mérési eredmény a 8. ábrán látható.

A vízszintes tengelyen a frekvencia (1-2GHz), míg a függőleges tengelyen a bemeneti reflexió abszolútérté-

8. ábra Non-uniform illesztő bemeneti reflexiója



ke decibelben. Jól látható, hogy a tervezett sávban (1.5-2.5 GHz) a bemeneti reflexió értéke közel -20 dB alatt van, ami nagyon jó értéknek számít.

A bemutatott optimalizációs módszer a lépcsős illesztőhálózatok esetén is használható, ennek igazolására is készült illesztő áramkör. Részletes bemutatásra nem kerül, mert a non-uniform tápvonalas illesztő sokkal több szabadságfokkal rendelkezik a lépcsős illesztőhöz képest, így nagyobb eséllyel származtatható a szükséges vonalszélesség profilfüggvénye.

5. Alkalmazási lehetőségek

Minden impedanciaillesztési feladat az impedancia-klasszifikációval kezdődik. A klasszifikáció során meghatározzuk az illesztendő komponens koncentrált paraméterű helyettesítőképét, amelynek a frekvenciafüggő impedanciája a lehető legjobban közelíti az illesztendő elem impedanciát az adott frekvenciasávban. Ez igen nehéz feladat, általánosságban a vektoriális hálózatanalizátorral felvett bemeneti reflexió Smith-diagrammon való ábrázolásából célszerű kiindulni. Különösképp megnehezíti az illesztési feladatot az, hogy az analitikus megoldás csak single-reactance impedanciákat tud illeszteni, azaz az impedancia-klasszifikáció után meg kell keresni a legjobb single-reactance modellt (R-C, R-L).

Fontos alkalmazási példa lézerdiodák illesztése. Napjaink modern telekommunikációs rendszereiben egy új fejlődő irányvonal az úgynevezett Radio over Fibre. Az RoF esetén a fő cél, hogy egyesítsük a vezetett optikai szálak összeköttetések és a vezeték nélküli hálózatok előnyeit. Villamosmérnöki szempontból ez azt jelenti, hogy a mikrohullámú jeleket át kell ültetni az optikai tartományban használatos szálakra, melyek triviális megoldása a lézerdioda. Az illesztési feladat az, hogy a meghajtó áramkör a lézerdiodát a működési sávban illesztve, azaz 50 Ohmos terhelésként lássa. Ellenkező esetben a diódáról reflektált teljesítmény komoly veszteséget jelent. A diódák mikrohullámú szempontból tipikusan kis ellenállással rendelkező eszközök, melyek illesztése rendkívül nehéz széles sávban. A cél Wi-Fi-jelek, illetve UWB (Ultra-Wide-Band) tartományú jelek esetén egy lézerdioda megfelelő illesztése.

A mikrohullámú technikában igen gyakran előforduló elem a tranzisztor. Széleskörűen használatos elem, illesztésének vizsgálata kimondottan indokolt. A mikrohullámú tranzisztoros erősítők gazdagon tárgyalt részét képezik a szakirodalomnak [1]. Az erősítők szélessávbába tétele fontos vizsgálandó témakör, hiszen az egyre nagyobb adatsebességet csak szélessávban működő elemekkel lehet biztosítani. A mikrohullámú tranzisztoros erősítők általánosságban elmondható, hogy a helyes működésükhöz (kicsi be- és kimeneti reflexió, konstans erősítés, szélessávúság és kis zaj) olyan illesztőhálózatokra van szükség, melyek biztosítják a megfelelő reflexiók környezetét. Egy lehetséges megközelítés az, ha a megfelelő reflexiók környezetét szélessávú illesztőhálózatokkal próbáljuk kialakítani, így biztosítva a szélessávú működést [15].

Az említett eljárások azonban a tranzisztoros erősítőknél csupán a bemeneti illesztését veszik figyelembe. Különösen bonyolult a probléma, ha az erősítő be- és kimenetét is egyszerre kell illeszteni szélessávban, ezt nevezük szélessávú komplex-konjugált szimultán illesztésnek. A szerző diplomatervében bemutatásra került egy eljárás, mely során meghatározza a szükséges impedanciákat, melyek esetén a tranzisztor komplex-konjugált szimultán módon illesztett egy adott frekvencián. Majd az adott impedancia pontokra a klasszifikáció során egy single-reactance modellt kell alkotni, ami már illeszthető az analitikus megoldással. Így végeredményben a szélessávú komplex-konjugált szimultán illesztés visszavezethető a keskenysávú tranzisztoros erősítők jól tárgyalt tervezési módszereire.

6. Összefoglalás

A jelen cikkben összefoglalásra kerültek az impedanciaillesztési módszerek, melyek közül az analitikus megoldás részletes bemutatásra került. A szélessávú impedancia illesztés kutatása és alkalmazása elengedhetetlen témakörét képezik a mikrohullámú technikának, alapvetően két okból. Az egyik a nagy adatsebesség igényéből adódó szélessávú működés biztosítása, a másik jelentős ok a költséghatékonyság, azaz a veszteségek minimalizálása.

A módszer használhatóságára illesztőhálózat-példák kerültek bemutatásra megtervezett, elkészített korrigált és bemért áramkörökön keresztül. Mindegyik áramkör a szimulációs eredményeknek megfelelő mérési eredményt mutat.

Megemlítésre került egy újfajta, alternatív illesztési módszer a direkt-szintetizált vonalszélesség profilfüggvényű non-uniform tápvonalakra vonatkozólag. A javasolt megközelítési módszert elkészített áramkörrel illusztráltuk, helyes mérési eredményekkel feltüntetve.

Az analitikus módszer hátránya jól láthatóan az impedancia klasszifikációban mutatkozik. Így a továbbiakban a Carlin-féle Real Frequency módszer megismerése és alkalmazásának elsajátítása a cél.

Köszönetnyilvánítás

A szerző szeretné köszönetét kifejezni Prof. Berceli Tibor és Dr. Zólogy Attila folyamatos segítségével és támogatásáért.

A szerzőről



FÜZY CSABA 2010-ben szerezte meg villamosmérnöki diplomáját a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen. Szélessávú hírközlésre szakosodott, diplomatervét a szélessávú komplex impedancia illesztési módszerek vizsgálata és mikrohullámú erősítőkben való alkalmazhatóságának kutatásából írta. 2010-től a BME Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszéken kezdett el dolgozni, mint doktorandusz. Kutatási területe az optikai-mikrohullámú áramkörök, mikrohullámú E-osztályú oszcillátorok, Real Frequency Technique alapú illesztések alkalmazása.

Irodalom

- [1] David M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons, ISBN:0-471-17096-8.
- [2] Dr. Géher Károly, Lineáris hálózatok, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1972.
- [3] Thomas R. Cuthberg, http://www.ieeeeghn.org/wiki/index.php/History_of_Broadband_Impedance_Matching (2010.02.04.)
- [4] Thomas R. Cuthberg, Circuit Design Using Personal Computers, John Wiley & Sons, ISBN:0-471-87700-X.
- [5] B.S. Yarman, Design of Ultra Wideband Antenna Matching Networks Via Simplified Real Frequency Technique, Springer, 2010, ISBN:978-1-4020-8417-1.
- [6] M. Khalaj-Amirhosseini, Wideband or Multiband Complex Impedance Matching Using Microstrip Nonuniform Transmission Lines, PIER 66, pp.15–25, 2006. www.jpier.org/PIER/pier66/02.06081503.Khalaj.pdf
- [7] Te-Wen Pan, Ching-Wen Hsue, Modified Transmission and Reflection Coefficients of Nonuniform Transmission Lines and Their Applications, IEEE, Vol. 46, No 12, December 1998.
- [8] R.E. Collin, Foundation of Microwave Engineering, 2nd Edition, McGraw Hill, N.Y., 1992.
- [9] M.A. Grossberg, „Extremely Rapid Computation of the Klopfenstein Impedance Taper”, Proc. IEEE, Vol. 56., pp.1629–1630, September 1968.
- [10] G.L. Matthei, Microwave Filters, Impedance-Matching Networks and Coupling Structures, Artech House, ISBN:0-89006-099-1.
- [11] Les Besser, Rowan Gilmore, Practical RF Circuit Design for Modern Wireless Systems, Artech House, 2003, ISBN: 1-58053-521-6.
- [12] E.H. Fooks, R.A. Zakarevicius, Microwave Engineering Using Microstrip Circuits, Prentice Hall, Australia, ISBN:0136916503.
- [13] Csaba, F., Zólogy, A., „Design of broadband complex impedance-matching networks and their applications for broadbanding microwave amplifiers”, Microwave Radar and Wireless Communications, MIKON2010, Lithuania, Vilnius, 2010.
- [14] Novak S. Petrovic, Frank J. Strachan, Microwave Office script to produce Klopfenstein-tapered multisection impedance transformers, (npetrovic@gmail.com, frank.strachan@triasx.com)
- [16] Christian Gentili, Microwave Amplifiers and Oscillators, McGraw-Hill, N.Y., 1987, ISBN: 0-07-022995-3.

Biztonságos elektronikus kézbesítés

RÉTI KORNÉL

Microsec Kft.

reti.kornel@upcmail.hu

Kulcsszavak: e-kézbesítés, e-tértivevény, ajánlott elektronikus levél, letagadhatatlanság, igazságos csere, elektronikus aláírás, kriptográfia

Az internet terjedésével és felhasználói körének kiszélesedésével az elektronikus levelezés (e-mail) a hagyományos levél olcsóbb, gyorsabb és kényelmesebb alternatívájaként vált közkedvelté. Egyes alkalmazási területeken – úgymint a közigazgatás, cégeljárás, üzleti levelezés stb. – azonban a köznapi használatnál nagyobb biztonságra van szükség a kézbesítés terén, például arra, hogy a feladó igazolást kaphasson a levél célbaérkezéséről. A cikk kifejti, hogy milyen követelményeket kell teljesíteniünk, ha a postai térítivevényes levélhez hasonló, de annál biztonságosabb és hatékonyabb szolgáltatást szeretnénk elektronikusan megvalósítani, majd a problémára létező megoldásokat részletezi.

1. Bevezetés

Képzeljük el a következő szituációkat:

– Egy vállalkozó elektronikusan nyújtja be adóbevallását. Igazolást szeretne kapni arról, hogy ezt a kötelezettségét a határidő előtt teljesítette.

– Egy cég fizetési felszólítást küld ki egy ügyfelének a ki nem egyenlített számla összegéről. Bizonyítékra van szüksége arról, hogy partnere a felszólítást megkapta.

– A cégbíróság elektronikus formában küld meg egy végzést egy cég jogi képviselőjének. A jogszabályok előírják, hogy a végzés átvételét elektronikus térítivevény-nyel kell igazolni. Ennek hiányában a végzést papír alapon, postai térítivevényes levélként kell kézbesíteni.

Az ilyen és ehhez hasonló helyzetek megoldását célozza a *biztonságos elektronikus kézbesítés* szolgáltatás. Ennek megvalósításához a hagyományos elektronikus levelezést ki kell egészíteni azzal a képességgel, hogy a kommunikáló felek bizonyítékokhoz juthassanak a levél feladásáról, illetve kézbesítéséről. Mivel előfordulhat, hogy a címzettnek nem áll érdekében átvenni a levelet, vagy a feladónak nem érdeke a levél valódi kézbesítése, csupán a térítivevény megszerzése, így föl kell készülni arra is, ha a szereplők nem bíznak egymásban, nem működnek együtt, esetleg valamelyikük csalni próbál.

A fenti három példa mindegyikében elektronikusan kommunikálnak egymással a szereplők, így olyan elektronikus igazolásokra van szükségük, amelyeknek jogi értelemben is bizonyító erejük van. Ezt lehetővé teszi az elektronikus aláírásról szóló (2001. évi XXXV.) törvény [1], amely kimondja, hogy az elektronikus formában létező dokumentumok is bírhatnak ugyanolyan bizonyító erővel, mint a hagyományos okiratok, például ha minősített elektronikus aláírással vannak ellátva.

A következő szakasz pontosabban ismerteti a biztonságos elektronikus kézbesítés problémakörét és részletezi, hogy általánosságban milyen követelményeket támaszthatunk egy biztonságos elektronikus kézbesítési

szolgáltatással szemben. A cikk 3. szakasza bemutatja a szakirodalomban fellelhető megközelítéseket, megemlítve néhány jellegzetes példát a különböző megoldásokra, valamint összehasonlításra kerülnek az egyes megoldások jellemzői. A 4. szakasz röviden ismerteti a szerző saját eredményeit. A cikket a levonható következtetések összefoglalása zárja.

2. A feladat

A biztonságos elektronikus kézbesítés feladata a következő: meg kell oldani, hogy a feladó el tudjon küldeni egy levelet a címzettnek úgy, hogy bizonyítékot kaphasson küldeményének kézbesítéséről, a címzett egyértelműen azonosíthassa az üzenet küldőjét, továbbá egyikük se tudja letagadni az üzenetváltás megtörténtét, amennyiben az sikeresen végbement.

A *letagadhatatlanság* elektronikus aláírások segítségével biztosítható. Ha a feladó aláírja az elküldött dokumentumot, akkor a digitális aláírás jellegéből adódóan a címzett is és harmadik személy is egyértelműen meg tud győződni róla, hogy az valóban a feladótól származik. A kézbesítés úgy bizonyítható, ha a címzett készíti egy átvételi elismervényt, és azt elektronikusan aláírja. Az így keletkező térítivevényt el kell juttatni a feladóhoz.

A levél és a térítivevény továbbítását *igazságosan* kell megoldani, azaz garantálni kell, hogy a feladó csak akkor kapja meg a térítivevényt, ha a címzett megkapja a levelet, és megfordítva, ha a feladó megszerzi a térítivevényt, akkor a címzetthez mindképp jusson el az aláírt dokumentum. Ezt egy megfelelő *protokoll* alkalmazásával lehet elérni. (A protokoll egy szabályrendszer, amely meghatározza a felek által elküldendő üzenetek tartalmát, sorrendjét és feldolgozásának módját.)

A lehető legegyszerűbb protokoll az *1. táblázatban* látható. A feladó (A) elküldi az üzenetet (m) a címzettnek (B), digitálisan aláírva (sig_A) az üzenet lenyomatát (hash, h),

ezzel bizonyítva, hogy az üzenet tőle származik. A címzett saját aláírásával látja el a lenyomatot és ezzel visszaigazolja, hogy az üzenetet átvette. Azonban ez a protokoll nem igazságos: ha a címzett nem küldi el a 2. üzenetet, akkor a feladónak nem lesz tértivevénye, pedig a címzett a levelet megkapta. Tehát ez a protokoll biztonságos kézbesítésre nem felel meg.

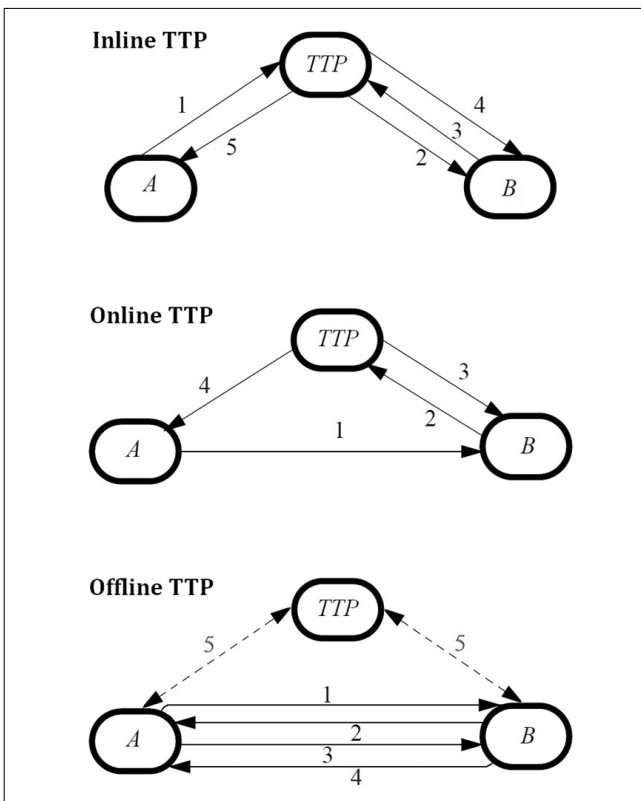
1. táblázat P0 – egy nem igazságos protokoll

1.	$A \rightarrow B :$	$A, B, m, \text{sig}_A(A, B, h(m))$
2.	$B \rightarrow A :$	$\text{sig}_B(A, B, h(m))$

Az imént leírt problémára adott megoldásokat a szakirodalomban háromféle névvel illetik. Az „igazságos cseré” (fair exchange) protokollok két tetszőleges elektronikus adat igazságos kicserélését oldják meg az egymással üzenetekkel kommunikáló távoli felek között. Ennek speciális esete az „ajánlott elektronikus levél” (certified electronic mail), amely egy levél és az arra vonatkozó tértivevény igazságos cseréjét valósítja meg. A biztonságos kézbesítés fogalmának leginkább a „letagadhatatlanság” (non-repudiation) protokollok felelnek meg. Itt mind a levél, mind a tértivevény elektronikus aláírást tartalmaz, így utólag sem a feladó, sem a címzett nem tudja letagadni a kézbesítés megtörténtét.

Az igazságos „letagadhatatlanság” protokollok általában egy megbízható harmadik fél (Trusted Third Party, TTP) segítségét is igénybe veszik. Ezeket csoportosíthatjuk a TTP közreműködésének mértéke szerint. Az egyes típusokra egy-egy üzenetváltási példát mutat az 1. ábra.

1. ábra
Példa üzenetváltáskor a TTP különböző típusai esetén



- **Inline TTP**
Minden egyes üzenet továbbításában részt vesz.
- **Online TTP**
A protokoll minden lefutásában részt vesz, de nem minden üzenet megy rajta keresztül.
- **Offline TTP**
Csak akkor vesz részt a protokollban, ha valamelyik fél helytelenül (nem a protokoll szerint) viselkedik, vagy valamilyen kommunikációs hiba történik.

Ahhoz, hogy a biztonságos elektronikus kézbesítés a gyakorlatban jól használható szolgáltatás legyen, a fentebb leírtakon kívül egyéb szempontokat is figyelembe kell venni.

Általánosságban egy ilyen protokollal szemben az alábbi követelményeket támaszthatjuk:

- **A kézbesítés letagadhatatlansága (Non-repudiation of receipt, NRR):** A feladó olyan bizonyítékot kapjon, amely alapján egy döntőbíró egyértelműen megállapíthatja, hogy a címzett megkapta-e a megadott üzenetet.
- **Az eredet letagadhatatlansága (Non-repudiation of origin, NRO):** A címzett olyan bizonyítékot kapjon, amely alapján egy döntőbíró egyértelműen megállapíthatja, hogy a megadott üzenet a feladótól származik-e.
- **Igazságosság (fairness):** A protokoll végrehajtásának végén a feladó rendelkezik az NRR bizonyítékkal, a címzett pedig a tárgyi üzenettel és a rá vonatkozó NRO bizonyítékkal, vagy egyiküknél sincs semmilyen értékelhető információ.
- **Időszerűség (timeliness):** Mindkét fél bármilyen helyzetből a másik közreműködése nélkül, véges idő alatt befejezhesse a protokoll végrehajtását az igazságosság megőrzése mellett.
- **Hitelesség (authenticity):** Mindkét fél meggyőződhesen a másik személyazonosságáról.
- **Sértetlenség (integrity):** Az üzenet és a bizonyítékok ne legyenek észrevétlenül módosíthatók a kommunikáció során, sem annak befejeződése után.
- **Feladóvédelem (sending receipt):** Amennyiben a címzett nem működik együtt, a feladó kaphasson bizonyítékot arról, hogy az üzenetet elküldte.
- **Időbeli hitelesség (temporal authentication):** A feladó kaphasson bizonyítékot az üzenet elküldésének időpontjáról.
- **Üzenetrejtés:** Amennyiben a feladó és a címzett együttműködik egymással, a TTP ne ismerhesse meg az üzenet tartalmát.
- **Titkosság (confidentiality):** A feladón és a címzeten kívül semmilyen külső szereplő ne ismerhesse meg az üzenet tartalmát, még a TTP sem.
- **Vakon nyugtázás:** A címzett ne ismerhesse meg az üzenet tartalmát, ha a feladó nem kap bizonyítékot a kézbesítésről.
- **Passzív TTP (optimism):** Amennyiben a két fél együttműködik egymással, az üzenetváltás végbemehessen a TTP beavatkozása nélkül is.

- **Átlátszó TTP (transparent TTP):** A bizonyítékokból ne legyen megállapítható, hogy az üzenetváltás a TTP segítségével fejeződött be, vagy anélkül.
- **Aszinkron működés:** A feladónak és a címzettnek ne kelljen egyszerre jelen lennie a rendszerben.

A különböző protokollokat eme szempontok szerint értékelhetjük. Ezen tulajdonságok mindegyikének kielégítése egyszerre nem lehetséges. Letagadhatatlanság és igazságosság nélkül nem beszélhetünk biztonságos kézbesítésről, de ezeken felül az adott alkalmazástól függ, hogy mely további követelmények teljesítése szükséges illetve célszerű.

3. Lehetséges megoldások

3.1. Inline TTP

A biztonságos kézbesítés könnyen megoldható, ha a felek csak a TTP-n keresztül kommunikálnak egymással. Egy ilyen protokollt szemléltet a 2. táblázat. A feladó a levelet és az eredet bizonyítékát (NRO) elküldi a TTP-nek. TTP értesíti a címzettet, hogy küldeménye érkezett, ő pedig erre elküldi a tértivevényt (NRR). Ezután a TTP továbbítja a levelet, és szétküldi a megfelelő bizonyítékokat a szereplőknek. Az igazságosságot az biztosítja, hogy TTP mindkét félnek elküldi az általa várt információkat (és feltételeztük, hogy ő megbízható).

2. táblázat P1 – egyszerű inline TTP-s protokoll

1. $A \rightarrow TTP : A, B, m, sig_A(A, B, h(m))$
2. $TTP \rightarrow B : A, B, h(m), sig_{TTP}(A, B, h(m))$
3. $B \rightarrow TTP : sig_B(A, B, h(m))$
4. $TTP \rightarrow B : m, sig_A(A, B, h(m))$
5. $TTP \rightarrow A : sig_B(A, B, h(m))$

$NRO = A, B, h(m), sig_A(A, B, h(m))$

$NRR = A, B, h(m), sig_B(A, B, h(m))$

Ennek a megoldásnak az előnye, hogy ha a címzett nem akarja átvenni a levelet (a 2. üzenetre nem válaszol), akkor TTP még mindig igazolhatja, hogy a feladó megkísérelte eljuttatni a levelet a címzettnek, azaz adhat feladóvévényt (ehhez a protokoll kiegészítése szükséges). Összetettebb esetekben a TTP egyéb tényeket is igazolhat.

Erre az elvre alapozva konkrét műszaki megoldások is léteznek. A European Telecommunications Standards Institute (ETSI) által 2008-ban kiadott Registered Electronic Mail (REM) című specifikáció [13] egy olyan rendszert ír le, amelyben minden felhasználó egy szolgáltatóhoz (ún. REM Management Domain, REM-MD) csatlakozik, amely mind a levelek továbbításáért, mind a bizonyítékok előállításáért felelős. Itt a szolgáltató aláírása szerepel a tértivevényben és egyéb bizonyítékokban is. Több REM-MD is létezhet, és a feladó nem feltétle-

nül ugyanahhoz kapcsolódik, mint a címzett, lényegében tehát a megbízható harmadik fél szerepét a szolgáltatók hálózata látja el.

3.2. Online TTP

J. Zhou és D. Gollmann az 1996-ban megjelent, „A fair non-repudiation protocol” című cikkükben [10] egy olyan protokollt mutatnak be, amelyben a megbízható harmadik fél nem üzenetközvetítőként, hanem csupán „közjegyzőként” vesz részt a kommunikációban. Az alapötlet az, hogy a feladó titkosítja a levél tartalmát egy véletlenszerűen választott szimmetrikus kulccsal, a kapott rejtett üzenetet pedig aláírva elküldi a címzettnek, aki annak kézhezvételét aláírásával visszaigazolja. Második lépésben a feladó egy ugyancsak aláírt üzenet formájában letétbe helyezi a TTP-nél a levél megfejtéséhez szükséges kulcsot. Ezt azután mind a feladó, mind a címzett lekérdezheti tőle és TTP aláírása igazolja, hogy kulcs valóban mindkét fél számára hozzáférhető.

Szintén 1996-ban jelent meg R.H. Deng, L. Gong, A. A. Lazar és W. Wang „Practical protocols for certified electronic mail” című cikke [3], amelyben bemutatnak két „ajánlott elektronikus levél” protokollt. A cikk kifejti, hogy egy megbízható harmadik félre támaszkodó üzenetváltásban legalább négy üzenetre mindenképp szükség van. A szerzők által javasolt protokollok éppen négy üzenetből állnak, ilyen értelemben optimálisnak mondhatók. Az első protokoll leírása látható a 3. táblázatban. A leírásban M illetve H jelöli rendre a levelet, illetve annak lenyomatát, a szereplők azonosítóival összekapcsolva (konkatenálva). A protokoll föltételezi, hogy a szereplők rendelkeznek mind digitális aláíráshoz, mind titkosításhoz szükséges kulcspárokkal.

3. táblázat A CMP1 protokoll a [3] cikkből

$M = A, B, TTP, m$

$H = A, B, TTP, h(m)$

1. $A \rightarrow B : H, E_{TTP}(k), E_k(M, sig_A(M))$
2. $B \rightarrow TTP : H, sig_B(H), E_{TTP}(k), E_k(M, sig_A(M))$
3. $TTP \rightarrow B : M, sig_A(M), sig_{TTP}(M, sig_A(M))$
4. $TTP \rightarrow A : H, sig_B(H), B, m, sig_{TTP}(H, sig_B(H), B, m)$

$NRO = M, sig_A(M), sig_{TTP}(M, sig_A(M))$

$NRR = H, sig_B(H), B, m, sig_{TTP}(H, sig_B(H), B, m)$

A protokoll annyiban hasonlóan működik, mint Zhou és Gollmann megoldása, hogy a feladó először titkosítja a levelet a címzettnek, viszont ehhez mellékeli a titkosítás feloldásához szükséges szimmetrikus kulcsot is a TTP nyilvános kulcsával kódolva. A címzett aláírja a levél lenyomatát és elküldi mindezt a TTP-nek. Végül a TTP elküldi a címzettnek a feladó által aláírt levelet, a feladónak pedig a tértivevényt.

3.3. Offline TTP

Zhou és Gollmann 1997-es cikkükben [11] javasoltak egy másik protokollt, amely az előző pontban említett online TTP-t használó megoldásukat [10] fejlesztette tovább úgy, hogy ne legyen feltétlenül szükség a TTP részvételére a protokollfutásban. A működés alap gondolata az, hogy az első két üzenet (a rejtjelezett levél és annak visszaigazolása) megérkezése után a feladó elküldi a levél kinyitásához szükséges kulcsot a címzettnek, aki aláírásával ezt is visszaigazolja. Amennyiben a felek mind a négy üzenetet sikeresen elküldik egymásnak, a TTP közreműködésére nincs szükség. Ha az utolsó két üzenet közül valamelyik nem érkezik meg, a várakozó fél a TTP-hez fordulhat az üzenetváltás igazságos befejezése érdekében. Mivel a kulcsot a TTP csak a feladótól kaphatja meg, így a címzett csak azután juthat hozzá ehhez, miután a feladó azt elküldte (vagy neki, vagy a TTP-nek). Következésképp a feladó kezében van a döntés, hogy a protokollfutás befejeződhessen-e, a címzett pedig nem tudhatja, meddig érdemes erre várnia. Tehát a protokoll nem biztosítja az *időszerűséget*.

A cikkben [11] leírt ötletre építve több olyan megoldást is kifejlesztettek a későbbiekben, amely ezt a gyengeséget kiküszöböli. A Zhou, Deng és Bao által 1999-ben [9] valamint a Kremer és Markowitch által 2000-ben [5] közzétett protokollok is elérik ezt. A két protokoll nagyon hasonló, mindkettő három részből áll: főprotokoll, „abort” rész, „resolve” rész. A főprotokoll lényegében megegyezik a Zhou és Gollmann által javasolt változattal, azzal a különbséggel, hogy az első üzenetben szerepel a levél elolvasásához szükséges kulcs a TTP számára titkosítva. Ez az ötlet már a Deng és társai által publikált megoldásban is megjelent.

Zhou, Deng és Bao és a Kremer-Markowitch szerzőpáros is úgy tervezték meg a protokolljaikat, hogy biztosítsák a letagadhatatlanságot, az igazságosságot és az időszerűséget. Azonban S. Gürgens, C. Rudolph és H. Vogt 2003-ban [4] gyenge pontokat fedeztek föl bennük. Cikkükben fölhívják a figyelmet néhány tervezési hibára, amelyek támadási lehetőségeket eredményeznek a protokollokkal szemben.

A cikk a támadások leírása után olyan tervezési megfontolásokat javasol, melyekkel az ilyen gyengeségek kiküszöbölhetők. Ezek egyrészt a kriptográfiai protokollok tervezésekor általánosan elfogadott legjobb gyakorlatokból [2] következnek, másrészt fölhívják a figyelmet néhány, kifejezetten a „letagadhatatlanság” protokollokra jellemző nehézségre. Az egyik ilyen példa a mindegyik üzenetben megtalálható címke (label) konstrukciója. Ennek szerepe, hogy a protokoll adott lefutását azonosítsa, így arról minden szükséges információt tartalmaznia kell. Mindkét elemzett protokoll esetében támadási lehetőséget okozott a címke hibás definíciója.

A szerzők javasolnak egy javított protokollt (GRV protokoll), amely a leírt alapelvek alkalmazásával lett kidolgozva, és kiküszöböli a másik két protokoll hibáit. A cikk megjelenése óta ebben a protokollban további sebezhetőségeket – legjobb tudomásunk szerint – nem találtak, így biztonságosnak tekinthető.

főprotokoll:

1. $A \rightarrow B : E_K(M), E_{TTP}(K), \dots, sig_A(E_K(M), E_{TTP}(K), \dots)$
2. $B \rightarrow A : sig_B(E_K(M), E_{TTP}(K), \dots)$
3. $A \rightarrow B : K, sig_A(K, \dots)$
4. $B \rightarrow A : sig_B(K, \dots)$

abort protokoll (A számára):

1. $A \rightarrow TTP : „Abort”, sig_A(„Abort”, \dots)$
2. $TTP \rightarrow A : sig_{TTP}(„Aborted”, \dots)$ vagy
ha már volt resolve: $K, sig_{TTP}(K, \dots)$

resolve protokoll ($X \in \{A, B\}$ számára):

1. $X \rightarrow TTP : E_{TTP}(K), \dots, sig_A(E_K(M), E_{TTP}(K), \dots), sig_B(E_K(M), E_{TTP}(K), \dots)$
2. $TTP \rightarrow X : K, sig_{TTP}(K, \dots)$ vagy
ha már volt abort: $sig_{TTP}(„Aborted”, \dots)$

NRO = $A, B, TTP, E_K(M), K, sig_A(K, \dots)$ vagy $sig_{TTP}(K, \dots)$

NRR = $A, B, TTP, E_K(M), K, sig_B(K, \dots)$ vagy $sig_{TTP}(K, \dots)$

4. táblázat A GRV protokoll egyszerűsített leírása

A GRV protokoll egyszerűsített leírását mutatja a 4. táblázat. A főprotokoll indításával kezdődik az üzenetváltás, és ha semmilyen hiba nem történik, akkor ez a négy üzenet elegendő arra, hogy mindkét fél megszeresse a kívánt bizonyítékait. Ha a 2. vagy a 3. üzenetre nem érkezik válasz adott időn belül, akkor a várakozó fél a „resolve” részprotokoll segítségével TTP-től megkaphatja az üzenet elolvasásához szükséges kulcsot illetve a bizonyítékhoz hiányzó aláírást. Ha már a feladó 1. üzenetére sem válaszol a címzett, akkor a feladó az „abort” részprotokoll segítségével megszakíthatja a levél elküldésének folyamatát. Ez a lehetőség arra való, hogy megakadályozza a „resolve” részprotokoll későbbi futtatását. Így a feladó is bármikor le tudja zárni az üzenetváltást, teljesül az *időszerűség*. Erre azért van szükség, mivel a „resolve” segítségével a címzett még megszerezhetné a kulcsot és az eredetet igazoló bizonyítékot, miután a feladó már kilépett a rendszerből és nem fogad több üzenetet, ami az igazságosság sérülésével járna a feladó számára.

A protokoll leírásában „...”-ok jelzik, hogy az üzeneteknek további elemeik is vannak. A táblázatban látható, hogy mindegyik üzenet tartalmaz digitális aláírást. Az aláírt adatok között mindig szerepel a főtebb említett címke (label), amely az összes üzenetben azonos, és az üzenetváltás azonosítására szolgál, valamint egy-egy egyedi karakterlánc, amely az aláírások egymással való fölcserélhetőségét kiküszöböli ki. Ezek az elemek, valamint a TTP működésének jól definiált leírása biztosítják, hogy a protokoll a más protokollokkal szemben működő ismert támadásoknak ellenáll.

3.4. A protokollok értékelése

Az eddig bemutatott protokollok szemléltették a TTP különböző fokú közreműködésére építő megközelítéseket. Azonban nemcsak ebben térnek el egymástól.

Az 5. táblázat foglalja össze, hogy az egyes protokollok a 2. szakaszban definiált követelmények közül melyeknek felelnek meg. Egy cellában „+” szerepel, ha a követelményt az adott protokoll teljesíti, „-”, ha nem. Ha egy protokoll esetében valamely követelmény nem értelmezhető, azt szürkített cella jelzi.

Az *igazságosság* sorában a „*“-ok azt jelzik, hogy az adott protokollban sebezhetőségeket fedeztek föl, amelyek az igazságosság sérülését okozhatják. A „?” azt jelenti, hogy a *vakon nyugtázás* kérdésére nem tér ki a REM specifikáció.

A táblázat is igen jól szemlélteti az „ajánlott elektronikus levél” illetve „letagadhatatlanság” protokollok sokszínűségét. Hogy egy adott probléma megoldására melyik protokoll alkalmas, azt a konkrét feladat jellege határozza meg. Különböző alkalmazásokban különböző tulajdonságok lehetnek szükségesek. Például az adóbevallás elektronikus benyújtására olyan protokollt célszerű választani, amelyik *feladóvévényt* és *időbeli hitelességet* szolgáltat a feladónak. Magánszemélyek vagy cégek egymás közötti levelezésében egy elosztott, *passzív TTP*-re épülő protokoll lehet a legcélszerűbb, mivel az a TTP viszonylag kis terhelésének köszönhetően alacsony költségekkel üzemeltethető, így a szolgáltatási díja is alacsonyabb lehet a központi szervert erőteljesen igénybe vevő megoldásoknál. A *hitelesség*, *sértetlenség* és a *vakon nyugtázás* is sok esetben kívánatos követelmények.

3.5. További kutatási irányok

G. Wang, F. Bao, K. Imamoto és K. Sakurai 2005-ben megjelent cikkükben [8] két olyan protokollt ismertetnek, amelyek sok korábbi protokoll előnyeit ötvözik.

Ezek is offline TTP-re építenek, azaz a feladó és a címzett (együttműködés esetén) csak egymás között kommunikálva végre tudják hajtani a protokollt. Viszont itt a TTP közreműködése esetén is ugyanolyan bizonyíté-

kok jönnek létre, mint anélkül, tehát teljesül az *átlátszó TTP* tulajdonság. További előnyök, hogy a protokoll biztosítja a *titkosságot*, a főprotokoll mindössze három üzenetből áll, valamint a TTP-nek nem kell a befejeződött üzenetváltásokról nagyméretű adatbázist fenntartania. A protokoll hátránya, hogy az „abort” és „resolve” részprotokollokban szükség van egy megbízható csatornára a TTP és a feladó illetve a címzett között. Ez azt jelenti, hogy a TTP által küldött üzenet elvesztése esetén sérülhet az *igazságosság*. A gyakorlatban sajnos a TTP üzeneteinek megbízható továbbítását nehéz megvalósítani.

A szakirodalomban egyre több cikk jelenik meg, melyekben az „igazságos csere”, az „ajánlott elektronikus levél” vagy a „letagadhatatlanság” fogalmát a korábbi intuitív megfogalmazások mellett formálisan is definiálják. A cél az, hogy a követelményeket és a protokollokat valamilyen keretrendszerben egy formális nyelven leírják, és automatikus eszközökkel bizonyítsák, hogy az így megalkotott modellben a protokoll teljesíti a követelményeket.

J. Cederquist, R. Corin és M. Torabi Dashti 2005-ben megjelent cikkükben [15] egy olyan „letagadhatatlanság” protokollt mutatnak be, amely nem alkalmaz a protokollfutás azonosítására szolgáló címkét. Ezáltal kiküszöbölik a címke helytelen használatából eredő, Gürgens, Rudolph és Vogt cikkében [4] is leírt veszélyeket. A protokollt az imént elmondottaknak megfelelően formális módszerekkel is ellenőrzik. Az ellenőrzés igazolja, hogy az üzenetek egyes részeit elhagyva támadási lehetőségek keletkeznek a protokollal szemben, így azok valóban szükségesek.

J. Santiago és L. Vigneron egy 2007-es cikkükben [7] ugyanezt a protokollt egy másik automata eszközzel is formális ellenőrzésnek vetik alá, amely egy súlyos hibára hívja fel a figyelmet. A szerzők egy javított protokollt is javasolnak, amely már a másik ellenőrző eszköz szerint is helyes.

Mindebből az látható, hogy a „letagadhatatlanság”-protokollok formális leírása és ellenőrzése nehéz feladat, a modelleknek és az őket kezelő automata eszkö-

5. táblázat
Néhány említett
protokoll
összehasonlítása

	P0	P1	REM-1	ZG96	DGLW96	ZG97	KM00	GRV03
NRR bizonyíték	+	+	+	+	+	+	+	+
NRO bizonyíték	+	+	+	+	+	+	+	+
Igazságosság	-	+	+	+	+	+	+	+
Időszerűség	-	-	+	-	-	-	+	+
Hitelesség	+	+	+	+	+	+	+	+
Sértetlenség	+	+	+	+	+	+	+	+
Feladóvévény	-	-	+	-	-	-	-	-
Időbeli hitelesség	-	-	+	-	-	-	-	-
Üzenetrejtés		-	-	+	-	+	+	+
Titkosság	-	-	-	-	-	-	-	-
Vakon nyugtázás	-	+	?	+	+	+	+	+
Aszinkron működés	+	+	+	+	+	+	+	+
Passzív TTP		-	-	-	-	+	+	+
Átlátszó TTP						-	-	-

zőknek korlátai vannak. Az automatikus ellenőrzésnek köszönhetően bizonyos típusú hibák felismerhetőek, így nagyobb magabiztossággal használhatunk egy formálisan vizsgált protokollt. Azonban ez nem jelenti a protokoll helyességének bizonyítását, nem garantálja, hogy nem léteznek támadások vele szemben. A formális modellek és ellenőrző eszközök továbbra is aktív kutatás tárgyát képezik.

4. Saját eredmények ismertetése

A szerzőnek a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Híradástechnika Tanszékén a 2009-es őszi félévében elkészített diplomaterve [12] keretében a feladat egy passzív TTP-t alkalmazó biztonságos kézbesítési rendszer megvalósítása volt a nyilvános kulcsú kriptográfia elemeire (tanúsítványok, digitális aláírás, titkosítás) támaszkodva. A megoldás alapjául a követelmények értelmezése után a GRV protokoll került kiválasztásra. Erre építve, a kliens-szerver architektúrának megfelelően lett a rendszer megtervezve és implementálva.

A szerver látta el a TTP szerepét, a kliensalkalmazás pedig a felhasználók egymás közötti kommunikációját és a szerverhez való kapcsolódást tette lehetővé. A protokoll üzeneteinek konkrét szerkezete az elektronikus akta [14] fájlformátumra alapozva lett definiálva, amely dokumentumok és rájuk vonatkozó elektronikus aláírások tárolására használható. A felhasználók e-mailben küldték el egymásnak üzeneteiket, a TTP-vel pedig egy HTTPS csatornán tudták fölvenni a kapcsolatot. Az elektronikus aláírások létrehozásához és ellenőrzéséhez az e-Szignó program került felhasználásra, az egyéb kriptográfiai műveletekhez (pl. titkosítás, lenyomatképzés) pedig az OpenSSL és a Java Cryptography Architecture eszköztára.

A munka eredményeképpen elkészült szoftverek segítségével biztonságos kézbesítési szolgáltatást lehet nyújtani gazdaságos és skálázható módon. Az offline TTP-re építő megoldásból kifolyólag a rendszer felhasználói a TTP közreműködése nélkül is tudnak egymásnak leveleket küldeni, így a rendszer a szerver magas terhelése nélkül üzemeltethető.

5. Összegzés

A cikk kifejtette, hogy a tértivevényes levelezés elektronikusan is megoldható. Erre szolgál a biztonságos elektronikus kézbesítés, amely azonban ennél többet is nyújt: olyan bizonyítékokat, amelyek igazolják a feladó és a címzett személyazonosságát, a kézbesítés tényét és a levél tartalmát is.

Bemutatásra és összehasonlításra került több, különböző tulajdonságokkal rendelkező „ajánlott elektronikus levél” és „letagadhatatlanság” protokoll, amelyek ezt megoldják. Ezek között vannak olyanok is, amelyeknél a TTP csak valamilyen hiba vagy konfliktus esetén vesz részt a kommunikációban. Ebből látható, hogy a biztonságos

kézbesítés egy központi üzenetváltó rendszer nélkül is megoldható.

A szakirodalomban fellelhető protokollok közül egyesek tesznek olyan előfeltételezéseket, amelyek a valóságban nem teljesülnek, így jelentőségük pusztán elméleti. Azonban vannak olyanok is, amelyek a gyakorlatban is alkalmazhatók. A megvalósításhoz szükséges eszközök (kriptográfiai függvénykönyvtárak, digitális aláírás, nyilvános kulcsú infrastruktúra) már ma is rendelkezésre állnak és mindenki számára elérhetőek. Ezt a diplomaterv keretében elkészült szoftver is bizonyítja.

A legtöbb protokoll a letagadhatatlanságot elektronikus aláírások használatával biztosítja. Ez egyben azt is maga után vonja, hogy az üzenetváltás sikeres befejeződésekor a feladónál és a címzettnél a kézbesítésről olyan elektronikus bizonyítékok lesznek, amelyek az elektronikus aláírás törvény [1] szerint is hiteles, bizonyító erejű magánokiratoknak számítanak. Egy ilyen igazolásokat szolgáltató rendszer a legtöbb alkalmazásban helyettesítheti a papíralapú tértivevényes küldeményeket, jelentős nyomtatási- és postaköltség-megtakarítást téve lehetővé. A biztonságos elektronikus kézbesítés tehát valódi, működő szolgáltatás lehet, amely az e-mail elterjedése után egy újabb lépést jelenthet az ügyintézés és kommunikáció elektronikus útra terelésében.

A szerzőről




RÉTI KORNÉL 1985-ben született Budapesten, középiskolai tanulmányait az ELTE Radnóti Miklós Gyakorlóiskolában végezte. 2010-ben okleveles mérnök-informatikus diplomát szerzett a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Híradástechnikai Tanszékén. Szakmai érdeklődési körébe tartoznak a kriptográfiai protokollok, a nyilvános kulcsú infrastruktúra és alkalmazásai.

Irodalom

- [1] 2001./ XXXV. törvény az elektronikus aláírásról.
- [2] M. Abadi, R. Needham, „Prudent engineering practice for cryptographic protocols”. IEEE Transactions on Software Engineering, 22(1): pp.6–15, 1996.
- [3] R.H. Deng, L. Gong, A.A. Lazar, W. Wang, „Practical protocols for certified electronic mail”. Journal of Network and Systems Management, 4(3): pp.279–297, 1996.
- [4] S. Gürgens, C. Rudolph, H. Vogt, „On the security of fair non-repudiation protocols”. Information Security Conference (ISC'03), LNCS 2851, Springer-Verlag, pp.193–207, 2003.
- [5] S. Kremer, O. Markowitch, „Optimistic non-repudiable information exchange”. 21st Symposium on Information Theory in the Benelux, Wassenaar, The Netherlands, pp.139–146, May 2000.
- [6] S. Kremer, O. Markowitch, J. Zhou, „An intensive survey of fair non-repudiation protocols”. Computer Communications, 25(17): pp.1606–1621, November 2002.

- [7] J. Santiago, L. Vigneron, „Optimistic Non-repudiation Protocol Analysis”. Proc. of 2007 IFIP International Workshop on Information Security Theory and Practices, LNCS 4462, Heraklion, Greece, pp.90–101, May 2007.
- [8] G. Wang, F. Bao, K. Imamoto, K. Sakurai, „Generic, Optimistic, and Efficient Schemes for Fair Certified Email Delivery”. Proc. of 2005 International Conference on Information and Communications Security (ICICS'05), LNCS 3783, Beijing, China, pp.40–52, December 2005.
- [9] J. Zhou, R. Deng, F. Bao, „Evolution of fair non-repudiation with TTP”. Australasian Conference on Information Security and Privacy (ACISP '99), LNCS 1587, Springer-Verlag, pp.258–269, April 1999.
- [10] J. Zhou, D. Gollmann, „A fair non-repudiation protocol”. Proc. of the 1996 IEEE Symposium on Security and Privacy, IEEE Computer Society Press, pp.55–61, 1996.
- [11] J. Zhou, D. Gollmann, „An efficient non-repudiation protocol”. Proc. of 10th IEEE Computer Security Foundations Workshop, Rockport, Massachusetts, pp.126–132, June 1997.
- [12] Réti Kornél, „Biztonságos elektronikus kézbesítés PKI alapon”. Diplomaterv, BME, Híradástechnika Tanszék, 2009.
- [13] ETSI TS 102 640-1 Registered Electronic Mail (REM): Architecture, Formats, and Policies; Part 1: Architecture. V1.1.1 (2008-10).
- [14] Az e-akta formátum specifikációja, 1.1 verzió, Microsec Kft. (2009.07.22.), <http://srv.e-szigno.hu/menu/?lap=eakta30>
- [15] J. Cederquist, R. Corin, M. Torabi Dashti, On the quest for impartiality: Design and analysis of a fair non-repudiation protocol. In: S. Qing, W. Mao, J. Lopez and G. Wang (editors), 7th International Conference on Information and Communications Security (ICICS'05), LNCS 3783, Springer-Verlag, pp.27–39, 2005.

2015-re 26-szorosára nőhet a mobil adatforgalom

 A Cisco Visual Networking Index (VNI) 2010-2015 időszakra vonatkozó Globális Mobil Adatforgalmi Előrejelzése szerint a mobil adatforgalom 2010 és 2015 között várhatóan a 26-szorosára fog nőni és az időszak végére eléri a havi 6,3 exabájtot. Ennek az intenzív növekedésnek a háttérben elsősorban a mobil internetezésre és videók megnézésére alkalmas mobil eszközök gyors ütemű terjedése áll.

A forgalomnövekedés 92%-os összesített éves növekedési rátának (CAGR) felel meg, azaz a várakozások szerint a vizsgált időszakban az adatforgalom minden évben átlagosan ennyivel nő az előző évhez képest.

A tanulmány szerint 2015-ben több mint 5,6 milliárd személyes használatú eszköz csatlakozik majd a mobilhálózatokhoz, emellett 1,5 milliárd gép-gép kapcsolat jön majd létre, ami azt jelenti, hogy bolygónk szinte minden lakójára jut egy mobil kapcsolat. A mobil videó 2015-re a teljes mobil adatforgalom 66%-át teheti ki, ami 2010–2015 között 35-szörös növekedést jelent. Ugyanezen időszak alatt a táblagépek adatforgalma várhatóan a 205-szörösére ugrik majd és ez az összes eszközkategóriát tekintve a legmagasabb értéknek felel meg.

A legfrissebb kutatási adatok szerint az éves globális mobil adatforgalom 2015-re eléri az évi 75 exabájtot. Ez az adatmennyiség 19 milliárd DVD-lemeznek felel meg, vagy másképpen fogalmazva 75-szöröse a 2000. évben generált teljes (vezetékes és mobil) internetes adatforgalomnak. A globális mobil adatforgalom a 2009-es évhez viszonyítva 2010-re 159 százalékkal, havi 237 petabájtra nőtt, ami 60 millió DVD-nyi adatot jelent és 4,2-szer gyorsabban növekedett, mint a globális vezetékes szélessávú adatforgalom.

A legfrissebb előrejelzések szerint a legnagyobb regionális mobil adatforgalmi növekedés a Közel-Keleten és Afrikában várható, ahol a jelzett időszakra 129%-os

összetett éves növekedési rátára számítanak, amely öt év alatt 63-szoros emelkedést jelent. Ez az érték Latin-Amerikára nézve 111% (42-szeres növekedés), Közép-Kelet-Európában 102% (34-szeres fejlődés), az ázsiai és csendes-óceáni térségre vonatkozóan pedig 101% (33-szoros növekedés). A Nyugat-Európára vonatkozó előrejelzés 91% (25-szörös emelkedés), Észak-Amerikára 83% (20-szoros növekedés), Japánra pedig 70% (14-szeres emelkedés).

A Cisco tanulmánya szerint 2015-re a világ teljes népességére vetítve szinte minden lakosra jut majd egy mobil hálózati eszköz és több mint 7,1 milliárd mobil kapcsolat működik majd a mobiltelefonok, egyéb eszközök és gép-gép kapcsolatok között (a VNI módszertana szerint ebbe nem tartoznak bele a wifi-kapcsolatok). Ma egy átlagos mobil kapcsolat havonta 65 megabájt forgalmat generál. 2015-re ez az érték várhatóan több mint 17-szer magasabb, 1118 megabájt lesz.

2015-re az okostelefonok, noteszgépek és a hordozható eszközök új generációi adják majd a világ összes mobil adatforgalmának több mint 87 százalékát. A mobilhálózatokhoz kapcsolódó táblagépek 2015-re havi szinten több forgalmat (248 petabájt) generálnak majd, mint 2010-ben a világ teljes mobilhálózata (237 petabájt). Ugyanez lesz a helyzet a gép-gép (M2M) adatforgalom esetében is, amely 2015-re eléri a 295 petabájt szintet.

2009 és 2010 között az átlagos mobilhálózati kapcsolati sebesség megduplázódott és 2015-re várhatóan mintegy tízszeresére emelkedik majd, amely kulcsszerepet játszik a mobil adatforgalom növekedésében.

Forrás: A fenti adatok a Cisco Global Internet Speed Test nevű, a Cisco VNI Pulse program részeként lefolytatott teszten, valamint egyéb független sebességteszteken alapulnak.

<http://www.cisco.com>
<http://newsroom.cisco.com>

A projektmenedzsment gyökereiről

SZALAY IMRE

Vodafone Magyarország Zrt.
imre.szalay1@vodafone.com

Kulcsszavak: projektmenedzsment-történelem, menedzsmenttudományok, PMI

Az emberiség történetében mindig voltak feladatok, amelyeket korlátos erőforrásokat ésszerűen szervezve kellett megoldani. A projektmenedzsment, mint önálló diszciplína és projektmenedzser, mint önálló foglalkozás, mint vezetői szerep az 1950-es évekre alakult ki, amikor az iparosodás, a kutatás-fejlesztés miatt az egyedi feladatok sűrűsége már igényelte ezt a szerepet, s amikor a mérnöki hagyományok mentén a tervezés tudományának eszközei, a modern vezetéstudomány elméletei projektvezetési módszertanba szintetizálódva önálló eredményeket is felmutattak. Meggyőződésem, hogy ilyen történeti megközelítésű narratíva, ha túllép a bevezető jellegén, s a kérdéseket a napi gyakorlaton túl is, s számos nézőpontból vizsgál, az segíti a hazai projektmenedzsment továbblépését, szakma, elméleti kiteljesedését.

1. Az örök projektmenedzser

Már a régi egyiptomiak is...

Kezdhethetnénk a cikket a szokásos és banális felütés („már a régi rómaiak is”) helyett így, hiszen a projektvezetés ősi és hatalmas teljesítményeként a piramisok megvalósítását, építésének megszervezését emlegetik legtöbbször, ha ennek a módszertannak vagy szakmának szükségességét, fontosságát kívánják igazolni.

S valóban a nagy építkezések, mint a Stonehenge (Kr.e. 3100), a Gizai piramisok (Kr.e. 2550), a Kínai Nagy Fal (Kr.e. 210) megvalósításához tervezésre, az erőforrások (rabszolgák, fizetett vagy önkéntes szolgák, munkások, megfelelő anyagok és eszközök) biztosítására, a különböző tevékenységek térben és időben való koordinálására volt szükség, s ezek a mai fogalmaink szerinti projektmenedzsment-tevékenység részei (1. ábra). De ez még nem projektmenedzsment, ami mint önállósult diszciplína akkor jelenik meg, amikor megtörténik az általánosítás: az egyedi esetekből, a sok tapasztalattól, a tehetségből, a zsenik megérezéséből, karizmájából mindenki számára megragadható fogalomkészletű, leírható eszközrendszer lesz.

Projekt: időben behatárolt erőfeszítés egy egyedi termék, szolgáltatás vagy eredmény létrehozása céljából.
Projektmenedzsment: tudás, képességek, eszközök és módszerek alkalmazása a projekttevékenységek végrehajtása során a projektkövetelmények teljesítése céljából. (PMBOK [14])

1. ábra A projekt és a projektmenedzsment fogalma

A mai projektmenedzsment fogalmi kört felhasználva érdekes történeti feldolgozások jelentek meg: a Titanic katasztrófájának (1912) tanulságai, vagy Napóleon (1762–1821) írásából és tetteiből vett leckék a vezetés,

tervezés témakörében, s persze nem kerülték el sorsukat a régi rómaiak e téren sem (Kozak [9], Manas [10]). Ezek a szövegek nem a projektmenedzsment történetét írják le, (ahogy Manas nyomtatásban csak most megjelent [11], de cikkekben évek óta elérhető anyagának címe is mondja: ókori sorvezető a mai projektmenedzsmenthez), hanem a történelmet, mint analógiát felhasználva a mai projektmenedzsment fogalmait tárgyalják érdekes formában. Ugyanakkor rámutatnak arra is, hogy a projekt és projektmenedzsment fogalma egy általános és fontos dolgot ragad meg, ami egyediségében végigkíséri az emberi közösségek fejlődését. A kérdésünk tehát az; hogyan, mikor volt a fordulópont, az *általánosítás*, amikor a projektek vezetésén túl már projektmenedzsmentről is beszélhetünk.

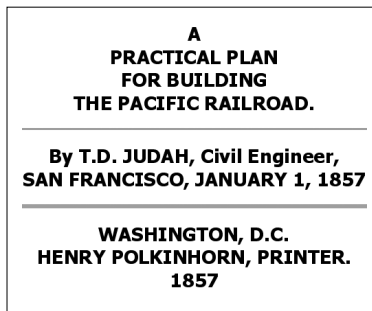
2. A modern projektmenedzsment mérnöki gyökerei

Már az ősi példák is nagy építkezésekről szóltak, de az időben előrehaladva a középkori katedrálisoktól az ipari forradalom létesítményeiig, a szállítmányozástól a gyárakig, de beleértve a hadmérnöki szervezés eredményeit is, a projektvezetés múltja mérnöki teljesítményekkel, a mérnöktudományban formálódó módszerekkel kapcsolódik össze.

Sébastien Le Prestre de Vauban (1633–1707), a Napkirály, XIV. Lajos mérnöke, az erődítmények generálisa, aki 33 új erődítményt tervezett, 160 helyszínre 400 tervet készített, számtalan régi erődöt modernizált. Ő hozta létre az erődítmények láncolatát, az úgynevezett vasövet Franciaországban. Aki emellett a civil mérnökség egyik első képviselőjeként foglalkozott vízépítéssel (csatornák, zsilipek, aquaduktok építésével) is. Hátrahagyott írásai szerint minden erődítményét egyedi projektként kezelte, hogy a helyi körülményeknek megfe-

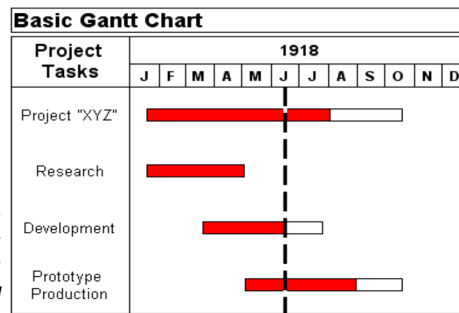
lelően a természeti védelmi elemeket is beilleszthesse. Erdődtményei közül sok ma is áll, immár az UNESCO Világörökség részeiként.

Másik mérnöki példánk 1862-ből az amerikai kontinenst átszelő vasút építése. **Theodore Dehone Judah** (1826–1863) vasútmérnök volt az, aki terveivel meggyőzte a befektetőket a Central Pacific finanszírozásáról, tető alá hozta az erről szóló törvényt, s a vasút első főmérnökeként kijelölte a legjobb útvonalát a Sierra Nevadaán át. A 2. ábrán látható tervének címlapja, amelyben részletes projektköltség-számításokat is megad.



2. ábra Theodore D. Judah projekttervének címlapja [8]

3. ábra Egy alap Gantt-diagram és akinek nevéhez fűződik [4]



Henry L. Gantt 1861–1919

Míg a régmúltban névtelenül maradt vezetők munkájának eredményéből következtethetünk szervezési, tervezési képességeikre, addig időben közelebb már elismert, ma is tisztelt mérnökök írásából ismerhetjük meg gondolataikat az egyes feladatok környezetéről, előkészítéséről, tervezéséről, a feltételek biztosításáról. Majd a mérnöki feladatok tömegesedésével, az ipari forradalommal elérkezett azok ideje is, akik a szervezési, tervezési módszereket tették mindennapivá.

Nagyot ugorva az időben a modern projekttervezés „tudománya” – számos cikk és megemlékezés szerint – 2007-ben ünnepelte születésének 50. évfordulóját. Ugyanis 1957-ben került sor az első matematikailag is megalapozott projekttervezési eljárás, a ma kritikus út módszer (CPM, Critical Path Method) néven ismert technika gyakorlati kipróbálására. Az E.I. du Pont de Numours (Du Pont) menedzsmenete megbízta a cég mérnökét, Morgan R. Walkert a tervezés, a költségek optimalizálásának számítógépes megvalósításával. A hivatalosan 1957. május 7-én indult projekthez csatlakozott matematikusként James E. Kelley, a Remington Rand intézettől, s mivel a Du Pont-nak UNIVAC számítógépe volt, a UNIVAC cégtől John Mauchly, hogy aztán július 24-ére az első modell sikeresen lefusson, eredményt produkáljon.

Ez egy „tevékenység-a-nyílón” (Activity-on-Arrow, PMBOK [14] fordítás) vagy ADM-ábrázolású modellezés volt, s az első eredményt egy 61 tevékenységet, 16 látszattevékenységet és 8 időkorlátozást tartalmazó háló kiértékelése hozta, a gyakorlatban pedig a nem produktív időt 125 órától 93-ra csökkentette.

Az 50. évforduló kapcsán számos visszatekintő, összefoglaló közlemény látott napvilágot [15] a projekttervezés, projektütemezés történetéről, s magyarul is olvasható

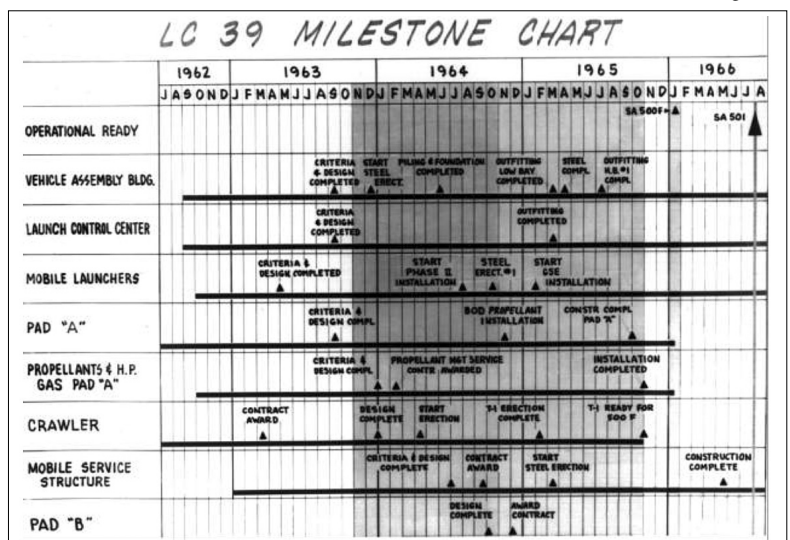
Hajdú Miklós áttekintése a témáról [5], ezért ebből a folyamatból csak pár kiemelkedő pontra utalunk.

Henry Laurence Gantt (1861–1919), a ma is mindennapos, a projektek tervezéséhez és kontroljához könnyen használható grafikus eszköz elterjesztőjeként a projektmenedzsment egyik atyjaként tiszteljük. Pedig ennek a sávos ütemtervet megjelenítő diagramnak az eredete 1765-re nyúlik vissza, s Joseph Priestley (1733–1804) írta le először, hogy aztán 150 év múlva terjedjen el a munka világára alkalmazva. A 3. ábrán egy alap Gantt-diagram látható és magának Henry Ganttnak a ké-

pe látható, a megadott webhelyen az amerikai mérnök könyve eredeti formában tanulmányozható.

Az 1930-as években a Flow-Line Scheduling módszer is kialakult, ezt használták az Empire State Building építésénél, ami rekordidő alatt készült el. Ma is használatos ez a módszer építőipari szoftverekben, környezetben. Fókuszterülete az állásidő minimalizálása. A Line of Balance módszert az 1940-es években a Goodyear gumipari cégnél fejlesztették ki. Előnye, hogy az ismétlődő tevékenységeket is kezelni tudja. Külön eredményként emlékeznek meg a Mérföldkö diagramról szintén az 40-es évekből, amikor megjelennek a kis háromszögek a Gantt ábra teljes időszávján belül, a mérföldkövekre felhívva a figyelmet (4. ábra). Így értünk el az 1957-es, a szinte minden projektmenedzsment történeti leírásban részletezett fenti eredményhez, a kritikus út módszerének egy viszonylag nagy modellen való végigszámolása után annak a gyakorlatban való végrehajtásához.

4. ábra Mérföldkö-diagram



Ezzel szinte majdnem egy időben az amerikai hadseregben is folytak hasonló kutatások. A PERT (Program Evaluation and Review Technique) módszer lényegét tekintve hasonló a CPM-hez, s ennek kialakítása, alkalmazása Bill Pockock (a Booz-Allen&Hamilton konzultáns cégtől) és Gordon Perhson (USA Haditengerészet) nevéhez fűződik, akik IBM-számítógépen érték el a gyakorlati megvalósítást. A pontos dátumok itt kevésbé ismertek, mert a projekt az amerikai Polaris atomtengeralattjáró fejlesztési projektje volt, de a PERT-módszerrel való eredményeket inkább az 1958-as évhez kötik.

1958-ben indult John Fondahl kutatása a Stanford Egyetemen, s 1961-ben publikálta nagy hatású tanulmányát, amiben a logikai függőség-alapú hálózattervezési módszert (PDM, Precedence Diagramming Method) módszert írta le, amivel a kritikus út számítógép alkalmazása nélküli kiszámítását, kezelését alapozta meg.

Még egy továbblépés: sokáig PERT/COST módszernek vagy költség/ütemezés kontrolnak nevezték a módszert, aminek fejlődése az USA védelmi minisztériumához (DoD) köthető, hiszen fontos kérdés volt itt a beruházások haladásának, a költségvetés felhasználásnak értékelése. Végül 1997-re kialakult ki a mai fogalmaink szerinti megtermelt érték-menedzsment (Earn Value Management, EVM). A változás, fejlődés, átalakulás hosszú történetének lépéseit illusztrálja az 5. ábra.

Látható, hogy a projektvezetés mérnöki alapjai a projektábrázolás, tervezés, ütemezés mind pontosabb, mind kezelhetőbb módszereit hozták, a PERT módszer egyenesen a matematika operációkutatás fejezetébe is beletartozik.

1959	PERT and PERT/Cost — Milestone Charts And Rate of Expenditure Curves — Dollars Spent Vs Estimates of Percent Complete (DD 1097)	1985	NASA Johnson Space Flight Center—PMS
1963	Earned Value Concept (MINUTEMAN)	1987	DOD—Revised DOD C/SCSC JIG
1964	Cost Accomplishment Concept (TITAN III)	1988	NASA Marshall SFC—Revised PMS (MMI 8020.7C, 44 Criteria)
1966	AF—Cost/schedule Planning And Control Specification (C/SPCS)	1989	Australian DOD—DODI 7000.2
1967	DOD—Cost/Schedule Control Systems Criteria (C/SCSC) (DODI 7000.2)	1990	Canadian DOD—PMS
1972	DOD—Revised DODI 7000.2 and Issued the Joint Implementation Guide (JIG)	1991	DODI 5000.2 replaces DODI 7000.2
1972	NASA Marshall Space Flight Center—C/SPC	1992	National Oceanic And Atmospheric Administration (NOAA)—PMS
1975	DOE—Performance Measurement System (PMS)	1993	Swedish FMV—C/SCSC
1976	DOD—Revised the C/SCSC JIG	1994	Internal Revenue Service (IRS)—C/SCSC
1980	DOD—Revised the C/SCSC JIG	1994	Federal Bureau Of Investigation (FBI)—C/SCSC
1982	National Security Agency—Earned Value	1996	DODR 5000.2-R replaces DODI 5000.2 C/SCSC revised from 35 to 32 criteria
1983	NASA—Goddard Space Flight Center—PMS	1996	Revised JIG—Renamed Earned Value Management Implementation Guide (EVMIG)
1984	FAA & NASA Lewis Research Center—PMS	1997	EVMIG Revised
		1998	MIL-STD 881B replaced by MIL HDBK 881
		2002	APM UK Guideline published
		2004	Reciprocity with ANSI

5. ábra Az EVM története [12]

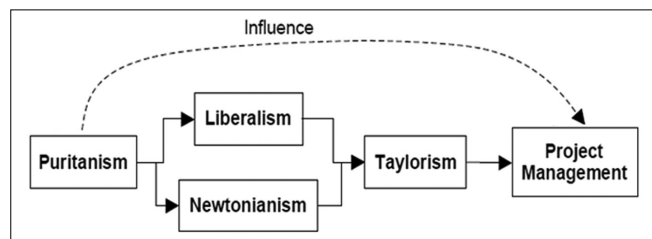
3. A menedzsmenttudományok hatása a projektmenedzsmentre

Fáraók, császárok, grófok, néptribunok, hadvezérek, közösségek vezetői a történelem során mindig irányító szerepet játszottak, s tehetségük, szervezőképességük, meggyőző erejük mértékében voltak sikeresek a vezetésben, ugyanakkor a modern menedzsmenttudományról csak a XIX. századtól beszélünk, hasonlóan, ahogy

megkülönböztettük a projektek vezetését és a projektmenedzsmentet. Mivel az emberekkel való bánás képessége fontos része a vezetésnek, e terület fejlődéstörténete is fontos szerepet játszik a projektmenedzsment történetében.

Whitty-Schulz [16] a projektmenedzsment mémjeink eredetét a 15. századi reformációban, s a belőle leágazó puritanizmusban véli megtalálni. Náluk jelenik meg az egy igaz út létezésének és a neki való megfelelésnek az elve, az individualizmus, hogy a személyes siker, eredményesség elérhető, s innen eredeztethető az úgynevezett protestáns munkaetika is, hogy a munka nemcsak külső kötelesség, továbbá a szükségtelen körítéstől, a ceremóniáktól való elfordulás (innen származik a puritanizmus elnevezés), és a munkavégzés egyszerűen végrehajtható lépésekre való bontása. Innen vezet tovább a mémek (6. ábra) útja a liberalizmus eszméihez, melynek egyik jelentős gondolkodója Adam Smith (1723–1790) a kapitalizmus, az érdekvezérelt világ leírásával, de itt jelenik meg a szakosodás, az iparosodás, mint a fejlődés fontos eleme is.

6. ábra
A puritán ideológia hatása a projektmenedzsmentre (Whitty-Schulz [16] nyomán)



A newtonizmus, mint eszme egy harmonikus mechanisztikus világméret sugall, ahol a világ egy óraműszerűen működik, a nagy egész részfeladatokra bontható, s a részekből összeáll az egész.

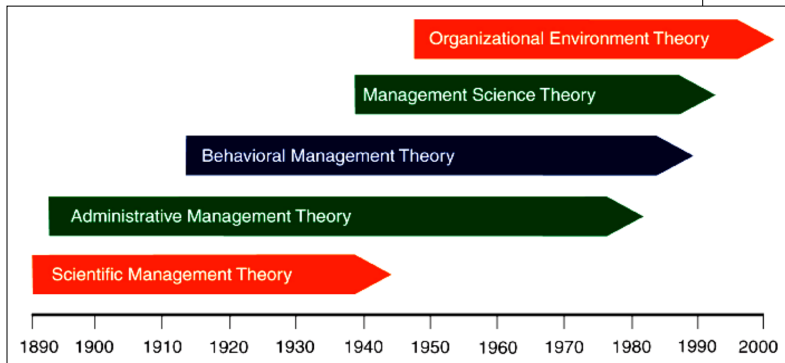
A korai menedzsmentgondolkodók közé tartozik Robert Owen (1771–1858), aki nem csak a munkafolyamat egy szükséges elemének tekintette a munkásokat, s a munkakörülményeik javításával igyekezett ösztönözni őket, és Charles Babbage (1791–1871) is, aki specializálódás és

motiválás kapcsán ért el eredményeket. Mindezek az előzmények ötvöződtek a taylorizmusban, ami már a modern menedzsmenttudomány része.

A 7. ábrán Jones-George [2008] alapján a modern menedzsmenttudomány fejlődését, gazdagodását mutatjuk meg, s néhány mondatban nevekhez is kötjük az egyes elméleteket, ahogyan egymásra épülve, egymást kiegészítve igyekeznek megragadni a vezetés összetettségét.

A tudományos vezetéselmélet Frederic Winslow Taylor (1856–1915), illetve Frank B. Gilbreth (1868–1925) és Lillian Gilbreth (1878–1972) nevével jellemezhető. Taylor

megfigyelése, hogy a tudományos ismereteket jól hasznosították a gépesítés területén, de nem alkalmazták a munkaszervezésben és az irányításban. Így munkássága nyomán a hagyományos („eddig is így csináltuk”) módszereket fel lehetett váltani a tudományos kísérleteken, elveken alapuló munkavégzéssel.



7. ábra A menedzsmenttudományok fejlődése

Az adminisztratív vezetés klasszikusai közül Henry Fayol (1841–1925) volt az első, aki a vezetői feladatokat komplex folyamatként értelmezte és megalkotta a tervezés-szervezés-vezetés-ellenőrzés egységét. Max Weber (1864–1920) a bürokratikus szervezeti modellt vizsgálja. Szerinte a bürokrácia a legjobb szervezési forma, ez a forma nyújtja a legjobb keretét a racionális emberi tevékenységnek. Henry Ford (1863–1947) pedig a klasszikus elméletek gyakorlati megvalósítója: egységes termékör: T-modell, futószalag, statisztikák, optimális készletgazdálkodás.

Az emberi viszonyok, a viselkedés szerepe a szervezetben a következő réteg. Elton Mayo (1880–1949) felismerése, hogy a teljesítményt befolyásolja az ellenőrzés módszere, a vállalatban belül kialakult informális csoportok szerkezete, a munkahelyi morál. Douglas McGregor (1906–1964) nevéhez fűződik a híres X-Y elmélet, hogy a munkások attitűdjei és feltételezett hozzáállása hogyan befolyásolja a vezetőket. S ide tartozik Abraham H. Maslow (1908–1970), aki az emberi szükségletek hierarchiájának modelljét (Maslow-piramis) 1954-es könyvében publikálta. A piramis öt rétege: alapvető létszükségletek, biztonság, valahová tartozás, elismerés, önmegvalósítás.

Ezzel a kis felsorolással csupán azt kívántuk jelezni, hogy a menedzsmentelmélet, a tudatos vezetővé válás megtanulható elemei az 1960-as évekre elérhetővé váltak, épp amikor a projektmenedzszeri tevékenység is elindult az önálló szakmaiság felé.

4. A projektmenedzsment elméletének első eredményei

A projektmenedzszer megnevezés első megjelenését Paul O. Gaddis-hoz köthetjük [3]. Bár a legtöbb hivatkozás 1959-et adja meg a Harvard Business Review közlemény dátumának, maga a professzor is saját honlapján (<http://www.utdallas.edu/~pgaddis/>) 1960-ra datálja cik-

If we are to grow as advanced technology grows,
we must realize the new importance of . . .

THE PROJECT MANAGER

By Paul O. Gaddis

and expanding fields like electronics, astronautics, avionics, and cryo-
type of manager is being bred.
e goes by many titles, the one most
ed is project manager. His role in
ustry deserves more scrutiny than it

is always substantial, since the essential
function of the new industry is the adaptation
of recent research findings to the solution of
specific problems in creating a new product. But
operating groups in advanced-technology com-
panies do not themselves perform fundamental
research. While advanced-technology practition-
ers recognize the essential need for a vital out-
come of fundamental research, they do not

8. ábra

Az első cikk a projektmenedzserről

két.) A cikk eredeti képe – dátum nélkül – meglehetősen az interneten, a 8. ábrán látható a fejléce a címmel: The Project Manager.

A cikk tartalmát áttekintve mai szemmel is izgalmas és teljes képet ad a projektmenedzserről és a projektmenedzsmentről.

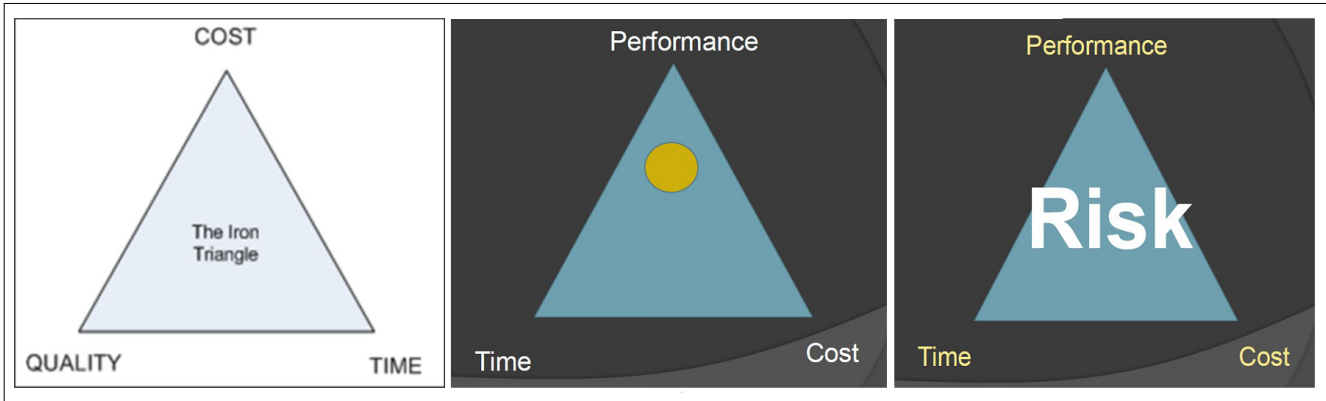
Olyan témákat dolgoz fel, mint a szervezeti vezető és a projektvezető megkülönböztetése, taktika és stratégia, felelősség és hatalom, a gondolkodó és csináló megközelítés összefüggése, a siker mértékének meghatározása, s olyan fogalmakkal írja le a projektmenedzszer szerepét, mint a vakrepülés, a köztes ember, a mozgásban tartó, rizikóvállaló.

A cikk zárógondolata, hogy a projektmenedzsment, a projektmenedzszer és projekt koncepciója létfontosságú az USA elkövetkezendő jövőjét formáló és túlélését, vagy kihalását meghatározó technológiai vezető szerep visszaszerzésében.

Összességében tehát nemcsak az első megjelenés okán, hanem átfogó, s máig aktuális tartalma miatt emlékezetes ez a tanulmány, s talán ha a projektmenedzsment születésnapját (s nemcsak a tervezés születésnapját) szeretnénk meghatározni, a cikk megjelenése lehetne egy méltó alkalom.

Egy másik tényleg a projektmenedzsmentet, mint egységet, mint önállósult diszciplínát mutató eredmény Martin Barnes 1969-ben a „Time and Money in Contract Control” című kurzusán kialakított háromszöge, amit vas- vagy projektháromszögnek vagy a hármaskörnek is neveznek. Az volt a felismerése, hogy a három eddig külön kezelt tényezőt, a projektre szánt időt (mikorra), költségeket (mennyiért) és a minőséget (mit) összekötötte. Az volt a tétele, hogy a projektmenedzszer döntésénél mind három tényezőnek az alakulását figyelembe kell vennie, valamennyi következmény ismeretében kell az optimális döntést meghoznia.

Az egyszerű modellel kapcsolatban az első perctől kezdve folynak az értelmezési viták, mutatva a kérdéskör összetettségét. Sokan az eredeti vasháromszög harmadik elemének az eredményt (output) vagy a terjedelmet (scope) tekintik. Mint Barnes doktor egy interjúban kifejtette (Barnes [2009]) a minőséget valóban nem a kiválóság, hanem a teljesítés értelmében használta eredetileg. Később módosította is modelljét, mint a 9. ábrán egy előadásából származó rajzon be is mutatjuk, s



9. ábra Az eredeti Barnes-vasháromszög, s a szerző későbbi módosítási javaslatai

minőség helyett a teljesítés (performance) kifejezést igyekezett elterjeszteni, mint maga is bevallja kevés sikerrel. A teljesítést itt tág értelemben használta, nemcsak a funkcionalitást, a terjedelmet, hanem a hatást, a megtérülést, az üzleti modell (business case) teljesülését, a kialakult képet, az elfogadottságot is értette alatta. Ez a tág értelmezés aztán előrevetítette azt, hogy magának a háromszögnek is számos változata van, s kialakultak négyszögek, gyémántalakzatok, egymásra fektetett háromszögek is a projektmenedzsment modelljét megragadandó.

Az ábra harmadik rajza is Martin Barnes egy előadásából származik [2], ahol a projektmenedzsment-diszciplína még nem említett fontos kérdéskörét, a kockázatot emeli ki. Azért van szükség a három korlátozó tényezőt figyelembe véve újra és újra döntéseket hozni, mert minden projekt a bizonytalanság menedzseléséről szól. Hiszen minden projekt más, ezért minden körülmény nem látható előre a tervezés során, így a projektvezetés talán legfontosabb területe a kockázatkezelés.

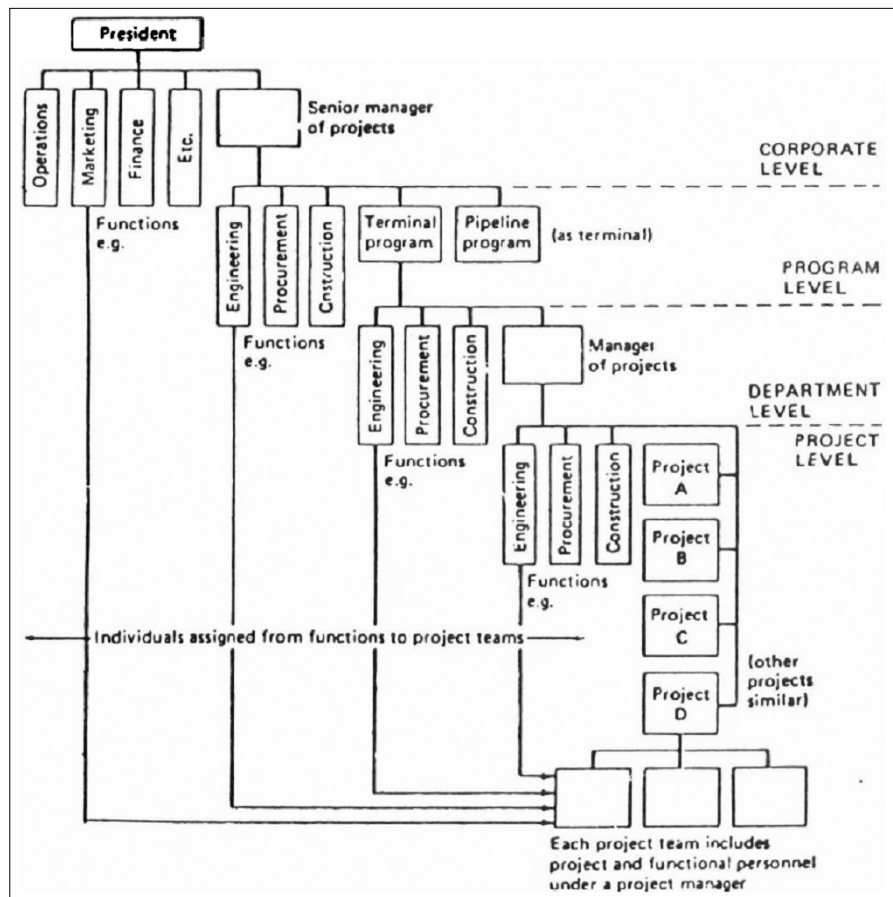
A gyakorlat hatott is az elméletre. Erre egy példa az 1974-1977 között megvalósított Transz-alaszkai Csővezeték (Trans Alaskan Pipeline System, TAPS) projekt, az Alaszkát észak-déli irányban átszelő, 1286 km hosszú kőolajvezeték megépítése. Ebben a projektben jól kirajzolódott a projektmátrix-szervezet, a vállalati hierarchia és a projektszervezet egymásra épülése (Morris [13], 10. ábra). Még egy érdekes általánosítható tanulság fogalmazódott itt meg, a projekt környezetének hatásai (gazdasági, politikai, kommunális, ökológiai) magára a projektre, s talán nem kell ecsetelni, hogy a TAPS projektben ezek a körülmények tényleg szélsőségesek voltak, s ezért hatásuk a megvalósulásra jól tapható volt.

5. A modern projektmenedzsment kiteljesedése

Az 1970-es évekre a fenti elméleti alapok mellett a projektmenedzsment gyakorlata is általánossá vált. Ennek az évtizednek a jellemzője, s ebben különbözik is az előző időszakról, hogy már nem csak a különleges, kritikus és mega-projektek esetén alkalmazták, hanem megszo-kottá vált.

Mindezek a gyakorlati eredmények, a széleskörű alkalmazás, a projektmenedzser, mint elkülönült feladatkör megjelenése megalapozta az igényt a szakma saját tudástárának meghatározására. Az előzőekben vázolt

10. ábra A TAPS projekt mátrixszervezete





11. ábra A PMI öt alapítója és a 96-as PMBOK címlapja

elméleti háttér és szakmai szerveződések létrejötte, mind katalizátora volt az első projektmenedzsment-tudásbázisok (Body of Knowledge) létrejöttének.

Néhány információ a szakmai szervezetek indulásáról, mint a projektmenedzsment szakmaiság és tudásbázisok fontos alakítóiról:

International Project Management Association (IPMA)

1965-ben indult az európai projektmenedzsment non-profit szervezeteként. A Svájcban regisztrált, előbb INTERNET néven az országok szervezeteit összefogó hálózat 1994-től viseli mai megnevezését.

Project Management Institute (PMI)

1969-ben alakult. Az alapítókról, akik később sokáig különböző tisztségeket is elláttak, a 11. ábrán emlékezünk meg. Egyéni tagsággal rendelkező, előbb az Egyesült Államokban szerveződő, ma már az egész világra kiterjedő non-profit szakmai szervezet.

Érdeemes még két szervezetet megemlíteni, mert bár az IPMA társult szervezetei, de a projektmenedzsment-tudásbázisok fejlesztése területén önálló eredményeik figyelemre méltóak. A brit Association for Project Management (APM) 1972-ben, Australian Institute of Project Management (AIPM) 1976-ban alakult meg.

A tudásbázisokra, módszertanokra térve időben első az 1975-ös PROMPT (Project, Resource, Organization, Management, Planning Technique), amit a Simfact Systems Ltd alakított ki, s a brit kormányzat 1979-től az információs rendszer kialakítási projektjeinek szabványává vált. A PROMPT II-n alapul a PRINCE (PProjects IN Controlled Environments) 1986-ból, az új verzió, a PRINCE2 pedig 1996-ban jelent meg. A PRINCE2 a brit kormányzati szerv, az OGC (Office of Government Commerce) bejegyzett védjegye és egy szabadon felhasználható, a legjobb gyakorlaton alapuló projektmenedzsment-ajánlás, ami termékfejlesztési megközelítésű és üzletiterv-fókuszú.

A PMI tudástárának, szabványának előkészítése 1981-ben kezdődött, hat tudásterületet ölelt fel a vasháromszög elemein (idő, költség, terjedelem) túl már a menedzsment-tudásterületek is megjelentek: emberi erő-

forrás, kommunikáció és minőség. Az első szabvány, a Project Management Body of Knowledge (PMBOK®) megjelenése 1983-ban történt. Evvel párhuzamosan elkészült a szakmai etikai kódex is, s az 1984-es első PMI minősítés alapja már ez a két dokumentum volt.

A PMBOK Guide megnevezés az 1996-as változattal jelent meg (11. ábra), ez az útmutató már 9 tudásterületet ölelt fel. A PMBOK 1998-ban ANSI (American National Standard Institute) szabvány lett. A PMBOK Guide 4. kiadásánál tartunk, ez 2008 decemberében került kibocsátásra.

Az APM 1992-ben publikálta saját tudásbázisát, az APM BoK-t, aminek 5. kiadása 2006-ban látott napvilágot.

Az IPMA szabványa és minősítési rendszerének alapja egy kompetenciamodell, melynek első verzióját 1999-re fejlesztették ki, IPMA Competence Baseline (ICB) most a 3. kiadásnál tart.

S ha ma ezen szabványok által képviselt tudások birtokában visszatekintünk, azt látjuk, akár a PMBOK [14], akár az ICB3 összefoglaló ábráját (12. ábra) tekintve, hogy megtaláljuk mindazokat a nagy témacsoportokat, amelyek egyes elemeinek eredetét próbáltuk megragadni: a projekttervezés eszköztára, az általános menedzsment-képességek, s a projekt mint egész kezelésének tudása. S az elemhalmaz bősége, ha lejjebb ásunk például az ICB3 modellben [6], mutatja a projektmenedzsment fejlődését, gazdagodását, tudatosodását, ahogyan a gyökerek nagy fává terebélyesedtek.

6. Konklúzió: s mit ad itt és most a történeti áttekintés?

Az emberiség történetében mindig voltak feladatok, amelyeket korlátos erőforrásokat ésszerűen szervezve kellett megoldani. Azonban a célokat a megvalósítók a maguk konkrétumában kezelték, egy munka elvégzése, egy építmény megépítése, egy csata megnyerése stb., s mérnökként, építészként, hadvezérként lettek sikere-

sek, ha a cél teljesült. A projektmenedzsment, mint önálló diszciplína és projektmenedzser, mint önálló foglalkozás, mint vezetői szerep az 1950-es években alakult ki, amikor egyrészt az iparosodás, a kutatás-fejlesztés miatt az egyedi feladatok sűrűsége már igényelte ezt a szerepet, másrészt a módszertani, elméleti eredmények ezt lehetővé is tették.

Ebben a cikkben vázlatosan, a fejlődésnek szinte csak a csontvázát megadva tekintettük át a gyökereket, a legismertebb projektvezetési mémek eredetét. Rengeteg téma, érdekesség tartozna ehhez a történeti áttekintéshez, amire a terjedelem nem adott lehetőséget, nem hiába szentelt Peter Morris teljes könyvet csak az 50-s, 60-as, 70-es évek projektmenedzsment eseményeinek, fordulópontjainak, híres projektjeinek, az irodalom, a kutatás eredményeinek [13].

De nem ejthetünk szót a különböző projektmenedzsment modellekről, ezek egymáshoz való viszonyáról, a projektéletről, a változatokról, a különböző kompetenciamodellekről, a szakmává válás feltételeiről, s az ezeknek való megfelelés kérdéseiről, a stratégiák és a projektek kapcsolatáról, a projektportfólió-menedzsmentről. Egy hasonló áttekintésnek érintenie kellene az új megközelítéseket a projektmenedzsmentben, mint például a kritikuslánc-módszert, vagy az agilis, extrém módszerek újdonságait.

Mindezek a tematikák, s még megannyi érdekes megközelítés a projektmenedzsment külföldi, leginkább angol nyelvű irodalmában nyomon követhetők ugyan, de kevésbé kerültek a hazai projektmenedzsment beszélgetések, előadások, konferenciák napirendjére. Ennek a cikknek célja, azon túl, hogy szakmánk előzményeit nagy vonalakban összefoglalja, hogy néhány érdekességre felhívja a figyelmet, az is, hogy elindítson egy kiterjedtebb narratívát a projektmenedzsmentről Magyarországon, hogy a történelem, vagy akár az előzőekben vázolt témák megbeszélése kapcsán még inkább kialakuljon a közös képünk a szakmáról, s ezen belül a többféle és újszerű megközelítések gazdagítsák fórumainkat, s mindezek alapján később új ötletekkel, kezdeményezésekkel mind jobban részévé válhassunk a nemzetközi projektmenedzsment-életnek.

7. A projektmenedzsment Magyarországon

Nem foglalkoztunk cikkünkben a hazai történettel sem, ez is egy feldolgozandó téma.

A HTE (Hírközlési és Informatikai Tudományos Egyesület) kiadványában azonban mindenképpen meg kell emlékeznünk a szervezetnek a hazai projektmenedzsment kultúra fejlesztésében játszott fontos szerepéről. A HTE égisze alatt az 1996-tól napjainkig megtartott havi szakmai klubdélutánok, a Távközlési és Informatikai Projekt Irányítók Klubja rendezvényei, s az 1998-tól minden év áprilisában megrendezett konferenciák, a PM a Gazdaságban Fórumok, Prónay Gábor fáradhatatlan szervező munkájának eredményeként a hazai szakmai élet történetének meghatározó részei, ahol mindenki megfordult, s minden elhangzott, ami szakmánkban említésre érdemes.

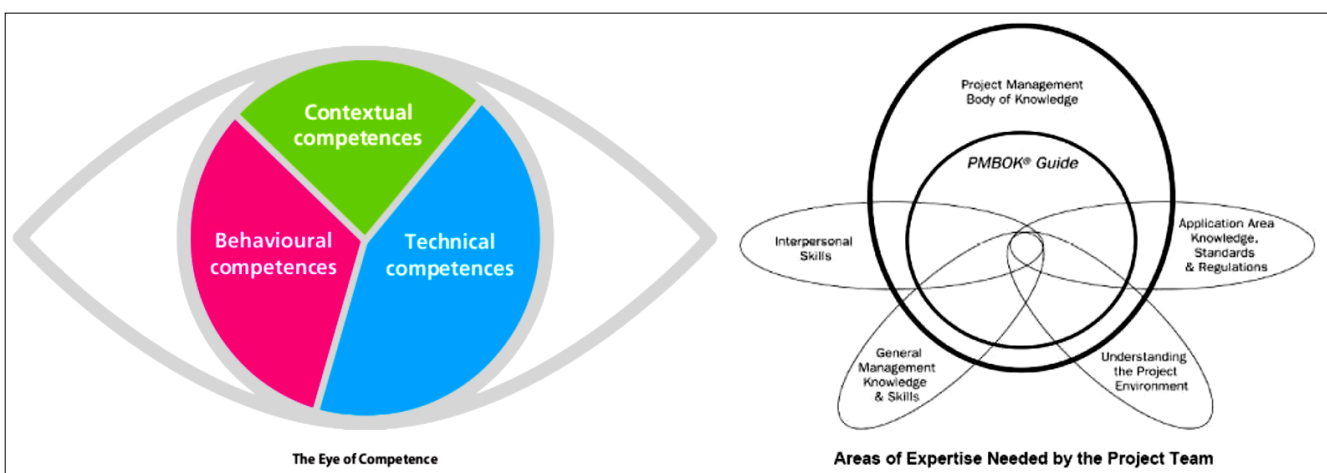
A projektmenedzsment elfogadása a magyar gazdasági életben, az itthoni egyetemi kutatások a témában, s a HTE-n túl a hazai szerveződések, FÁVOSZ (az IPMA tagszervezet), PMI Budapest, a PMI magyar tagozata, vagy a Magyar Projektmenedzsment Szövetség teljes története még feldolgozásra vár.

A szerzőről



SZALAY IMRE, PMP, a Vodafone Magyarország operációs igazgatója, a PMI Budapest elnöke. A József Attila Tudományegyetem matematikus szakán végzett. Nagy hazai (SZÁMKI, SZÁMALK) és nemzetközi cégekben (Digital, Compaq, HP) előbb szoftverfejlesztőként, projektmenedzserként, később komplex szolgáltatási üzletágak vezetőjeként dolgozott, számos nagy projektben játszott vezető szerepet. Jelenleg a Vodafone Magyarország operációs igazgatója, fő feladata itt is, PMO-vezetőként is, nagy projektek összefogása, a projektmenedzsment-kultúra fejlesztése. 2003-ban a nagy nemzetközi szervezet, a Project Management Institute-hoz kapcsolódva a PMI Budapest magyar tagozatának alapító elnökeként komoly szerepe van a hazai projektmenedzsment szakmai élet kialakításában, magas szinten való működtetésében, a projektmenedzseri szakma elismerésének fejlődésében. Rendszeres előadója a HTE 'Projektmenedzsment a Gazdaságban' elnevezésű fórumának.

12. ábra Az IPMA kompetencia modellje, s a PMI projekt tudásterületek áttekintése



Irodalom

- [1] Barnes, Martin:
Interview with Martin Barnes –
Project Management Pioneer & APM Honorary Fellow,
Part I – To Projects & Project Management.
PM World Today, Vol. XI, Issue VI, June 2009.
- [2] Barnes, Martin:
[http://www.pipmg.org/documents/
Time%20Cost%20Quality%20Triangle%20-%20Martin
%20Barnes%20Presentation.pdf](http://www.pipmg.org/documents/Time%20Cost%20Quality%20Triangle%20-%20Martin%20Barnes%20Presentation.pdf)
(letöltés: 2010. december)
- [3] Gaddis, Paul o.:
The Project Manager.
Harvard Business Review, May-June 1960.
- [4] Gantt [2010]:
<http://www.ganttchart.com/Evolution.html>
(letöltés: 2010. december)
- [5] Hajdú Miklós előadása
a „Gondolatok a projektmenedzsment eredményeiről,
a jövő várható fejlődési irányairól”
című kerekasztal-beszélgetésen.
Projektmenedzsment a gazdaságban konferencia,
HTE 2007.
- [6] IPMA [2006]:
http://www.ipma.ch/Documents/ICB_V._3.0.pdf
(letöltés: 2010. december)
- [7] Jones, Gareth–George, Jennifer:
Contemporary Management.
McGraw-Hill/Irwin, 2008.
- [8] Judah, Theodore:
<http://www.sfmuseum.org/hist4/practical.html>
(letöltés: 2010. december)
- [9] Kozak-Holland, Mark:
Titanic Lessons for IT Projects.
Multi-Media Publications, 2005.
- [10] Manas, Jerry:
Napoleon on Project Management: Timeless Lessons
in Planning, Execution and Leadership.
Thomas Nelson Business, 2006.
- [11] Manas, Jerry:
Project Lessons from the Roman Empire:
An Ancient Guide to Modern Project Management.
Multi-Media Publications, 2010.
- [12] McKinlay, Mary:
[http://www.icoste.org/Slovenia2006Papers/
icecFinal00109.pdf](http://www.icoste.org/Slovenia2006Papers/icecFinal00109.pdf)
(letöltés: 2010. december).
- [13] Morris, Peter W.G.:
The management of projects.
Thomas Telford, London, 1994.
- [14] PMBOK: Projektmenedzsment útmutató.
Akadémiai Kiadó, 2006.
- [15] Weaver, Patrick:
A Brief History of Scheduling: Back to the Future.
2nd Edition PM World Today,
Vol. X, Issue II, February 2008.
- [16] Whitty, S.J., Schulz, M.F.:
The impact of Puritan ideology on aspects of
project management.
Int. J. of Project Management 25 (2007), pp.10–20.

Szerkesztőség

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

Hirdetési árak

Belív 1/1 (205x290 mm) FF, 120.000 Ft + áfa
Borító II-III (205x290mm) 4C, 180.000 Ft + áfa
Borító IV (205x290mm) 4C, 240.000 Ft + áfa

Cikkek eljuttathatók az alábbi címre is

Szabó A. Csaba, BME Híradástechnikai Tanszék
Tel.: 463-3261, Fax: 463-3263
e-mail: szabo@hit.bme.hu

Előfizetés

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

2011-es előfizetési díjak

Közületi előfizetők részére: bruttó 32.130 Ft/év
Hazai egyéni előfizetők részére: bruttó 7.140 Ft/év
HTE egyéni tagok részére: bruttó 3.570 Ft/év

Subscription rates for foreign subscribers:

4 issues (on english) 50 USD, single copies 15 USD
+ postage

www.hte.hu

Felelős kiadó: NAGY PÉTER
Lapmenedzser: DANKÓ ANDRÁS

HU ISSN 0018-2028

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

The value of broadband infrastructure

Keywords: critical infrastructure, positive externality, loss of social benefit, internalizing externalities, state aid

The widely recognized economic and social importance of broadband networks is both a consequence of its infrastructural and networked nature. Through their role as infrastructure broadband networks provide the conditions for the smooth flow of economic and societal processes, while as network they impact the pace of development through the positive externalities. The fact that some broadband developments may turn out to be profitable for the society even if they may not offer an acceptable return for the financial investor, leads to the reinforcement of the role of the State – this is why the European Union has defined the conditions of using State Aid for broadband developments. In order to maximize the catalytic impact of broadband the rules quoted in the article are to be observed.

Green IT: use of consumer electronics and IT from the point of environmental view

Keywords: use, consumer electronics, IT equipment, LCA, „Green IT“, environmental awareness

Use of consumer electronics and IT equipment became part of our everyday life in our households and offices. In the framework of the GREEN_IT project the Bay Zoltán Foundation for Applied Research, Institute of Logistics and Production Systems aims at analysing the use and purchase habits and at raising awareness on the energy consumption and environmental load of the use of the aforementioned equipment. The main target is to include the operation costs and the energy consumption into the purchase process of the customers. The results are public and available on the webpage of the project. The project is supported by the National Office for Research and Technology.

Scafida: an energy efficient data center structure

Keywords: data center network, scale-free network, power consumption, energy efficiency, degree limitation

As the power consumption has a significant and continuously increasing part of the operational expenses of data centers, energy efficient data center networking has received special attention from the academic and industrial research community. We address the issue of power consumption of data centers from a high point of view by analyzing the energy efficiency of data center architectures. First, we propose a scale-free network inspired data center structure called Scafida, which is highly scalable and flexible. Second, we quantitatively analyze the energy efficiency of state-of-the-art data center architectures like BCube, DCell, and fat-tree and that of Scafida, which has an energy efficient structure.

Routing strategies in delay tolerant networks

Keywords: delay tolerant networks, routing, vehicular ad hoc networks, intermittent connectivity

Delay tolerant networks (DTNs) are wireless networks in which usually there is no direct communication path from the source to the destination. There are many application examples for DTN, such as vehicular ad hoc networks, military networks, wildlife tracking sensor networks and networks for interplanetary communication. Routing is the main challenge in DTN environment, as conventional routing schemes are not applicable in DTN environment, as most of them rely on finding an end-to-end path in the network before any useful data is sent. In the first part of the paper the main challenges of the environment are discussed. Next, the two basic categories of routing schemes proposed for DTN networks, namely flooding-based and forwarding-based methods are introduced. Finally, simulations are conducted to compare the discussed methods in a metropolitan vehicular ad hoc network environment.

On the 'World Football-Modeling and Visualizing' seminar at the University of Debrecen

Keywords: FerSML, Golden Squad, football simulation, RoboCup 2D Soccer Simulation

At the end of 2010, the Faculty of Informatics of the University of Debrecen launched the seminar entitled „World Football-Modeling and Visualizing“. In this short communication we give a snapshot of the work we are doing within the framework of the seminar.

Design of a static TIM tester

Keywords: thermal measurement, thermal conductivity, heat flux, thermal, interface materials, thermal greases

Testing the thermal properties of thermal interface materials (TIM) has been a big challenge for decades. Recent development trends made this challenge even bigger, as now the values that have to be measured are extremely small. In this paper, we present a newly developed TIM tester equipment that is targeting to overcome all the problems that present industrial TIM testing methods face. The main idea behind our design is to use the capabilities of microelectronics in order to make small sized sensors both for temperature and heat-flux sensings. This way it is possible to place these sensors in the closest proximity of the measured sample. This paper presents details of all the technical solutions of the newly developed static TIM tester that is capable to measure Rth of unit area values in the order of 0.01 K cm² /W with good accuracy. Special attention is made to analyze and eliminate the possible sources of measurement inaccuracy. A number of measurement examples prove the usability of the developed measuring instrument.

Design and application of broadband complex impedance matching networks

Keywords: broadband matching and microwave networks, microstrip transmission line structures, microwave amplifiers

In this paper the fundamental techniques of designing broadband complex impedance matching networks are briefly discussed, then the analytical gain-bandwidth theory is summarized in detail. The presented method is a combination of the classical analytic network theory approach for lumped element matching networks and of the numerical optimization techniques. In addition a novel method is presented for approximating and synthesizing the non-uniform transmission lines as impedance matching networks. The aim is to create distributed element matching networks for RF elements, for example transistors, laser diodes etc.

Secure electronic mail delivery

Keywords: certified e-mail, non-repudiation, fair exchange, evidence of origin and receipt, electronic signature, protocol

With the spreading of the Internet and the notable extension of its user base, e-mail has become popular as a cheaper, quicker and more convenient alternative to ordinary mail. However, in some cases the sender needs certification about the delivery of the message; this is a service that standard e-mail systems currently cannot provide. This paper first details the requirements that should be fulfilled to create a certified electronic mail service which is more secure and efficient than ordinary certified mail. Then it introduces the existing solutions for the problem, showing some examples and comparing them to each other.

The history of project management

Starting with short historical notes that date back to the era of the ancient Egyptians, the article discusses the process of the establishment of project management science and the definition of the project manager's role around the middle of the last century.

