

## MŰSZAKI SZEMLE

58. szám, 2012.

### Szerkesztőbizottság elnöke / President of Editing Committee

Dr. Köllő Gábor

### Szerkesztőbizottság tagjai / Editing Committee

Dr. Balázs L. György – HU,  
Dr. Biró Károly Ágoston – RO,  
Dr. Csibi Vencel-József – RO,  
Dr. Fedák László – UA,  
Dr. Kása Zoltán – RO,  
Dr. Kászonyi Gábor – HU,  
Dr. Majdik Kornélia – RO,  
Dr. Nagy László – RO,  
Dr. Péics Hajnalka – RS  
Dr. Puskás Ferenc – RO,  
Dr. Szalay György – SK,  
Dr. Turchany Guy – CH  
Dr. Sebestyén-Pál György – RO

### Kiadja / Editor

Erdélyi Magyar Műszaki  
Tudományos Társaság – EMT  
Societatea Maghiară Tehnico-Științifică  
din Transilvania  
Ungarische Technisch-Wissenschaftliche  
Gesellschaft in Siebenbürgen  
Hungarian Technical Scientific Society  
of Transylvania

### Felelős kiadó / Managing Editor

Dr. Köllő Gábor

### A szerkesztőség címe / Address

Romania  
400604 Cluj, Kolozsvár  
B-dul 21. Decembrie 1989., nr. 116.  
Tel/fax: 40-264-590825, 594042  
Levélcím: RO – 400750 Cluj, C.P. 1-140.

### Nyomda / Printing

Incitato Kft.

ISSN 1454-0746

[www.emt.ro](http://www.emt.ro)

[emt@emt.ro](mailto:emt@emt.ro)

## Content – Tartalomjegyzék – Cuprins

Betonok roncsolásmentes vizsgálata Non-destructive Testing of Concrete Analiza indestructibilă a betoanelor	
<b>Dr. KÁSZONYI Gábor, LECZOVICS Péter</b>	<b>3</b>
Egy folytonos, felső részén kivágott acéllemezből kialakított kapcsolóelem végeelem analízise. Finite Element Analyses for a Particular Perfobound Sheet-type Share Connector Using Single Push-out Tests Analiza numerică a conectorilor continui de tip placă perforată	
<b>FILIP-VĂCĂRESCU Florin, KÖLLŐ Gábor</b>	<b>11</b>
IPTV műsorszórás és annak mérés technikája vezeték-nélküli és HFC hozzáférési hálózatokban IPTV Broadcasting and its Measurement Techniques in Wireless and HFC Access Networks Radiodifuzare IPTV și tehnici de măsurare în rețele cu acces fără fir și HFC	
<b>KILIK Roland, FARKAS András László</b>	<b>21</b>
Kopás numerikus vizsgálata Numerical investigation of the wear Analiza numerică a uzurii	
<b>DR. PÁCZELT István</b>	<b>32</b>
Kétszintes információs rendszerek számítógépek nyilvántartásában Two-leveled information systems in the registration of computer systems Sisteme informationale pe două niveluri în gestionarea calculatoarelor	
<b>VEKOV Géza</b>	<b>43</b>

# Betonok roncsolásmentes vizsgálata

## Non-destructive Testing of Concrete

### Analiza indestructibilă a betoanelor

Dr. KÁSZONYI Gábor, PhD<sup>1</sup>, LECZOVICS Péter<sup>2</sup>

SZIE-Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Műszaki Alaptárgyi Tanszék  
<sup>1</sup>főiskolai tanár, <sup>2</sup>tanszéki mérnök

#### ABSTRACT

*In one of our previous articles the results of investigation on strength of gypsum concrete was reported [1]. During the test both destructive and non-destructive methods were applied. In the case of non-destructive evaluation difficulties were raised to determine the early strength (in the age of 2 days and 7 days) of the concrete. Also this case confirmed that Schmidt rebound hammer and ultrasonic concrete tester are not suitable to evaluate relatively small strength values [2].*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

Egy korábbi cikkben [1] beszámoltunk a dermesztett homokbeton roncsolásmentes és roncsolásos szilárdsági vizsgálatairól, amelynél roncsolásmentes és roncsolásos eljárásokat alkalmaztunk. A roncsolásmentes, szilárdságbecslő vizsgálatok során nehézségek merültek fel a beton korai – 2 és 7 napos – szilárdsági értékeinek meghatározásakor [2].

A társadalomtudományokat „hívtuk” segítségül, és így találtunk rá a duroszkópos vizsgálatra, amelyet hazánkban viszonylag szűkkörűen, elsősorban közettani vizsgálatoknál alkalmaznak [3].

Jelen cikkünkben a kidolgozott többlépcsős vizsgálati program első lépéseiről számolunk be, amely az első mérések (több, mint száz mérési sorozat) alapján reményekre jogosít fel, hogy nemcsak homokbeton esetében, hanem vékony héjszerkezetek, valamint fiatal beton – 2 és 7 napos – szilárdsági értékeinek meghatározására is alkalmas.

#### 1. RÖVID TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

A roncsolásmentes szilárdságbecslő vizsgálatok a felületi keménység mérésén alapulnak. A vizsgálati eljárások összessége több száz éves múltra tekint vissza. A francia fizikus, Reaumur már 1722-ben megalkotta a szilárdságbecslési módszert, amely a karcolási keménységen, illetve a szúrószilárdság vizsgálatán alapult. Az ásványtanban a mai napig is használatos a Mohs-féle alapskála (1812.) [4].

Az építőiparban az anyagvizsgálatoknál a felületi keménység mérésén alapuló eljárások két nagy csoportja különböztethető meg:

- a rugalmas visszapattnás elvén működő vizsgálatok,
- a szúrókeménység (képlékeny benyomódás mértéke) mérése.

Terjedelmi okok miatt jelen cikkben a vizsgálati eljárások ismertetésétől eltekintünk, és a rugalmas visszapattnás elvén alapuló, legelterjedtebb szilárdságbecslő vizsgálatot foglalkozunk. A Schmidt-kalapácsos vizsgálatot Ernst Schmidt, svájci mérnök-feltaláló dolgozta ki és szabadalmaztatta (1948-1950) az elődök (Frank, J. F. Williams, Einbeck) munkássága alapján.

Az építőipari anyagok szilárdságbecslő vizsgálatára a tudomány és technika fejlődésével számos, további módszert dolgoztak ki (az ultrahang terjedési sebességének mérése – transzmissziós, illetve reflexiós eljárások –, röntgensugárzásos vizsgálatok, stb.)

A kutatások során az alábbi befolyásoló tényezőket (betontechnológiai paramétereket) vizsgálták [5] beton, illetve betonszerkezet esetében: víz/cement tényező, az adalékanyag fajtája és szemmegoszlása, a cementtartalom, a cement fajtája, a beton sűrűsége, a beton nedvességtartalma, a beton karbonátosodása, a beton kora, a beton porozitása, a felület érdessége, a vasalás hatása, az ütés iránya (Schmidt-kalapács).

## 2. SZILÁRDSÁGBECSLÉS A RUGALMAS VISSZAPATTANÁS ELVÉN (SCHMIDT-KALAPÁCS)

A rugalmas visszapattanás elvét alkalmazó vizsgálatokra az eltelt időszakban a gyártó cég több típust (P, N és M) is kifejlesztett: kisebb, normál és nagy szilárdságú betonok vizsgálatára.

A **P-típusú Schmidt-kalapács** kisebb szilárdságú építőanyagok anyagvizsgálatára alkalmas. Az ütési energiája 0,883 Nm, betonkocka esetében 5-25 N/mm<sup>2</sup> nyomószilárdsági intervallumban alkalmazható. Az ütőfej nagy felületű, így jobban kiküszöböli a felszín közelében lévő különböző keménységű anyag (kavics, cementkő) hatását a visszapattanás nagyságára.

Az **M-típusú Schmidt-kalapács** méretében és ütési energiájában (29,43 Nm) jóval meghaladja a kisebb méretű Schmidt-kalapácsokat, de belső felépítése megegyezik azokéval.

Az **N-típusú Schmidt-kalapácsot** a gyártó 100 mm-nél vastagabb,  $d_{max}=32$  mm szemnagyságú, 14-56 napos, 10-70 N/mm<sup>2</sup> nyomószilárdságú betonokhoz ajánlja, +10°C-50°C hőmérsékleten, ekkor ugyanis a rugóállandó változása még nem számottevő. Az ütési energia 2,207 Nm.

A Schmidt-kalapácsos vizsgálatok értelmezésére, kiértékelésére, a függvénykapcsolat kidolgozására 1960-tól jelentek meg javaslatok, és ezután került sor a nemzetközi és hazai szabványok kidolgozására, amelyek pontosítása szinte a mai napig tart [4, 5]. Néhány függvénykapcsolatot az 1. táblázat mutat be, melyek a 150 mm-es kockaszilárdságokra vonatkoznak.

Nehme/1 (2004)	$F_{cm,150,cube}=0,0005 R^3$
Nehme/2 (2004)	$F_{cm,150,cube}=2,68 e^{(0,06R)}$
Fabbrocino et al (2005)	$F_{cm,150,cube}=0,0725 R^{2,359}$
Nash't et al (2005)	$F_{cm,150,cube}=0,788 R^{1,03}$
Hobbs, Kebir (2006)	$F_{cm,150,cube}=2,1683 R-27,747$
Soshiroda et al (2006)	$F_{cm,150,cube}=1,623 R-27,747$
Proceq (saját)	$F_{cm,150,cube}=0,0131 R^2+0,7522 R-14,884$

1. táblázat: Szilárdságbecslő függvények 2004-től

A visszapattanási értékek és a nyomószilárdság összefüggésére számos függvényt dolgoztak ki. A kizárólag roncsolásmentes mérési eredmények kiértékelésére vonatkozó függvény:

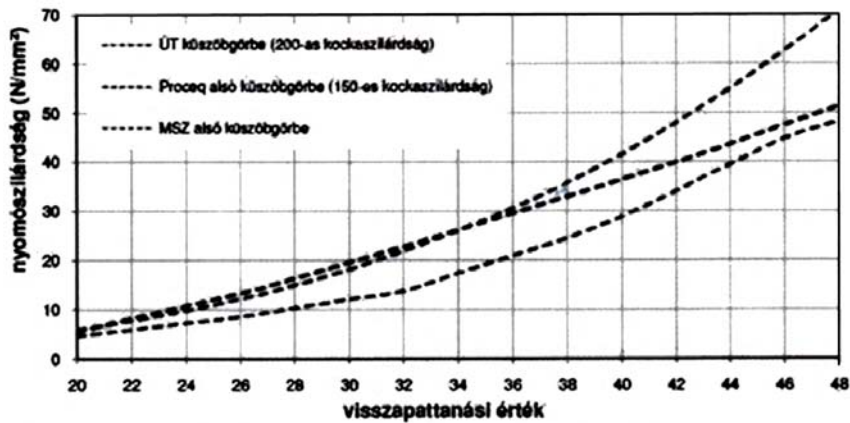
$$\lg K = -2,159 + 1,805 \lg R + 0,345 (\lg R)^2$$

ahol K – a kocka becsült nyomószilárdsága (MPa),  
R – a vízszintes irányban mért visszapattanási értékek átlaga.

Magyarországon is hasonló a helyzet, a hazánkban alkalmazott függvénykapcsolatok (6) küszöbgörbéit az 1. ábra mutatja.

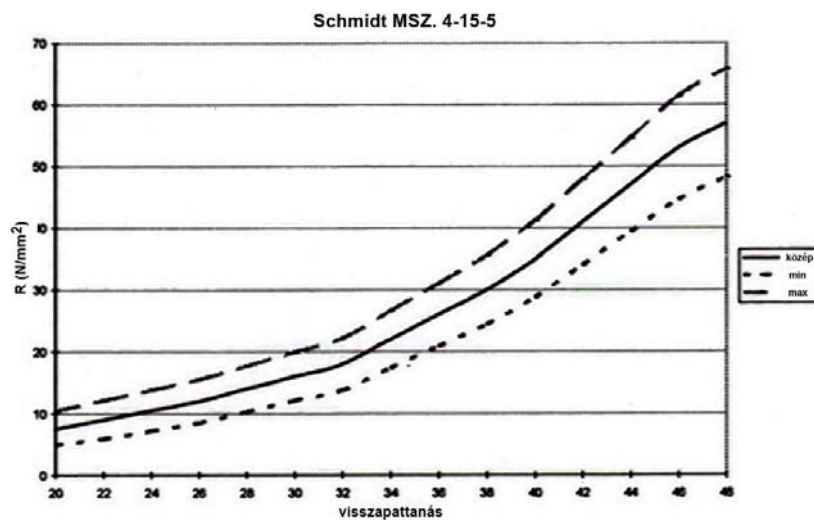
A magyarországi szabványok, előírások a következők:

- MSZ 4715/5-1972      Megszilárdult beton vizsgálati – Roncsolásmentes vizsgálatok (ma már érvénytelen, nem kötelező jellegű)
- MSZ EN 12504-2-2001      A beton vizsgálata szerkezetekben, 2. rész: Roncsolásmentes vizsgálat. A visszapattanási érték meghatározása
- ÚT 2-2.204:1999      Közúti betonburkolatok és mőtárgyak roncsolásmentes vizsgálata Schmidt-kalapáccsal és ultrahanggal



1. ábra  
A hazai küszöbgörbék összehasonlítása

Az egyszerűség kedvéért, kiemelve a magyar szabványban található táblázatos értékeket – a konfidencia intervallumokkal – a 2. ábrán ismertetjük, mivel a vizsgálatok során is ezt az előírást vettük figyelembe. (Megjegyzés: Az MSZ 4715-5 számú szabvány nem kötelezően érvényes!)



2. ábra  
A visszapattanási érték és a nyomószilárdság összefüggése az MSZ 4715/5-1972 alapján

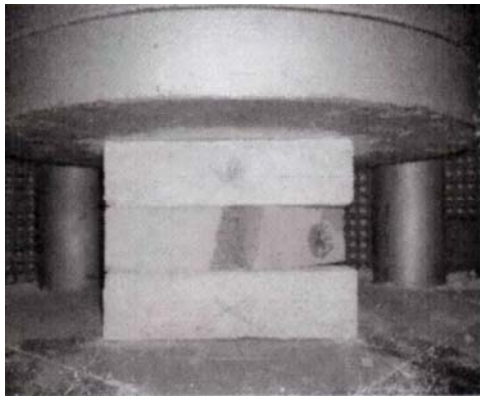
### 3. KÍSÉRLETI RÉSZ

#### 3.1. Problémafelvetés

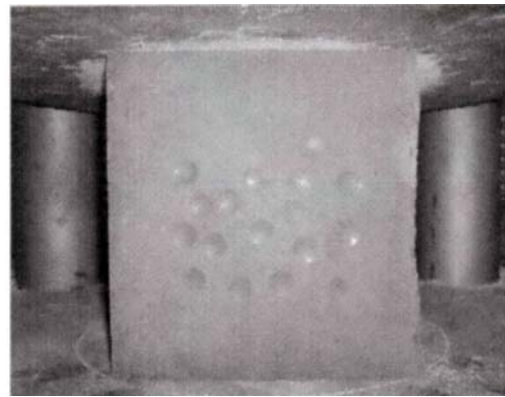
A „gipszbeton” panelelemek összvastagsága  $50 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ , ebből a homokbeton vastagsága cca. 25-30 mm. Ez a tény már önmagában is megnehezíti a roncsolásmentes vizsgálatok alkalmazhatóságát. Az ultrahangos vizsgálatnál elsősorban a dermesztés hatására kialakuló finomszemcsés felülettel vannak gondok, míg a Schmidt-kalapácsos vizsgálatnál az ütőerővel akadtak nehézségek.

A probléma az időfüggvényes vizsgálatoknál igazából a 2 és 7 napos vizsgálatoknál jelentkezett, mivel a Schmidt-kalapácsos szilárdságbecslő vizsgálat során a próbatest tönkrement (1., 2. fotó), azaz nem mérhető a kívánt paraméter. A már kész szerkezeteknél pedig a probléma a héjszerkezetből adódik, azaz a mérés során – bár károsodás nem mindig következik be, de kellő megtámasztás (merevség) hiányában – a mérési eredmény nem a valós visszapattanási – szilárdsági – értéket tükrözi.

A fenti nehézségek kiküszöbölése érdekében a társtudományokhoz fordultunk, és így akadtunk rá a geológusok által használt, és a visszapattanás, azaz a felületi keménység mérésére szolgáló eszközökre.



1. fotó  
Hasábvizsgálat eredménye



2. fotó  
Ütésnyomok a betonkockán

### 3.2. A vizsgálatok kiterjesztése

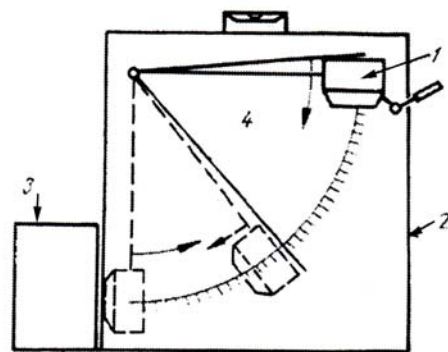
A dinamikus keménységmérési eljárások (a gyors, lökészerű erőhatással végzett méréseket nevezzük dinamikus eljárásnak) egyik csoportja a rugalmas visszapattanás elvén alapul, ilyen mérőeszközök a szkleroszkóp, szklerográf, valamint a duroszkóp is.

Az egyik alkalmazott mérőeszköz a *szkleroszkóp*, amelynek alkalmazása során egy lekerekített gyémántcsúcsos, adott tömegű (2,5g; 20g) ejtőkalapácsot meghatározott  $h$  magasságból (10'' = 256 mm-ről; 4,5'' = 112 mm-re) pontosan függőlegesen a mérendő tárgyra ejtenek egy függőleges csőben. A cső falán látható skálán mérhető, leolvasható a darabról visszapattant ejtőkalapács pozíciója.

*Megjegyzés:* A mérendő tárgy tömege jelentősen befolyásolja a mérési eredményt, minél kisebb a vizsgálandó darab tömege, annál nagyobb esély van arra, hogy a leeső szerszám rezgést keltsen a munkadarabban, csökkentve a visszapattanás energiáját. Ezért alapvetően nagytömegű tárgyak vizsgálatára alkalmazzák.

A *duroszkóp* (3. ábra) esetében a golyó alakú gyémántbetét egy ingakalapács fejére van erősítve.

A vizsgálat kezdetén a felső pozícióban helyezkedik el a mérőkalapács, adott helyzeti energiával rendelkezve. Az ejtőkalapács meghatározott magasságból a mérendő darab felületére ejtve visszapattan. Az anyag keménységét a visszapattanás szöge, illetve mértéke jelzi. A pótdarab tömege és a vizsgált felület érdessége befolyásolja a mérési eredményt.



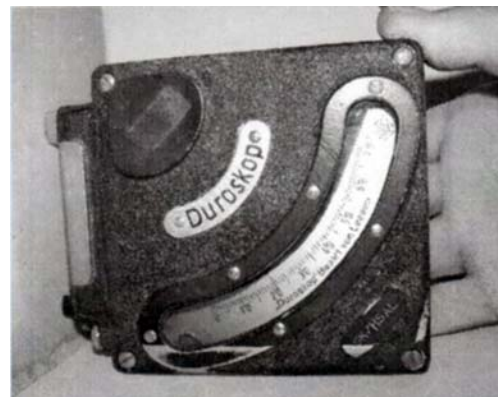
1. mérőkalapács, 2. doboz,  
3 tárgy, 4. mutató

3. ábra

*A duroszkóp felépítése*

### 3.3 Vizsgálatok

Tekintettel arra, hogy a beton duroszkópos vizsgálatára (3. fotó) vonatkozóan nem találtunk szakirodalmi utalást – kőzetekre vonatkozóan nem találtunk szakirodalmi utalást –, lényegében a vizsgálati metodikát nekünk kellett összeállítani. Érdekességként megemlítjük, hogy az irodalomkutatás során találtunk két német cikket, amelyekben a fémeket vizsgálták duroszkóppal [7, 8]. A bevezetőben már említettük, a vizsgálati tervben három lépcsőt jelöltünk ki.



3. fotó

*Mérés duroszkóppal*

Az első fázisban elvégzett vizsgálatoknál az elsődleges szempont, hogy van-e – és ha van, milyen – összefüggés a 150 mm élhosszúságú betonkockán a Schmidt-kalapáccsal, illetve a duroszkóppal mért visszapattanási értékek között.

A 150 mm élhosszúságú betonkockákat először duroszkópos vizsgálatnak vetettük alá, mivel az ütési energiája jóval kisebb, azaz a felületi keménység mérése során nem következik be felületi tömörödés, ezáltal a további felületi keménység vizsgálatot nem befolyásolja. Egy oldalon 15 mérési pontot vizsgáltunk.

Második lépésként az N típusú Schmidt-kalapáccsos visszapattanási értékeket mértük 10 ponton, végül a vizsgált betonkockát roncsolásos vizsgálatnak vetettük alá, mintegy ellenőrizve a becsült értékek megfelelőségét, illetve a duroszkópos vizsgálatnál a tapasztalati görbe felállítása érdekében.

A több, mint 100 darab, 150 mm élhosszúságú betonkockákat három csoportba osztottuk. Az első csoportba az ismeretlen eredetű és korú, de rendelkezésre álló betonkockákat helyeztük, a második csoportba az egy éve készített betonkockák, míg a harmadik csoportba az ismert összetételű és korú (6 hónap) betonkockák kerültek. Ez utóbbinál a jellemzők:

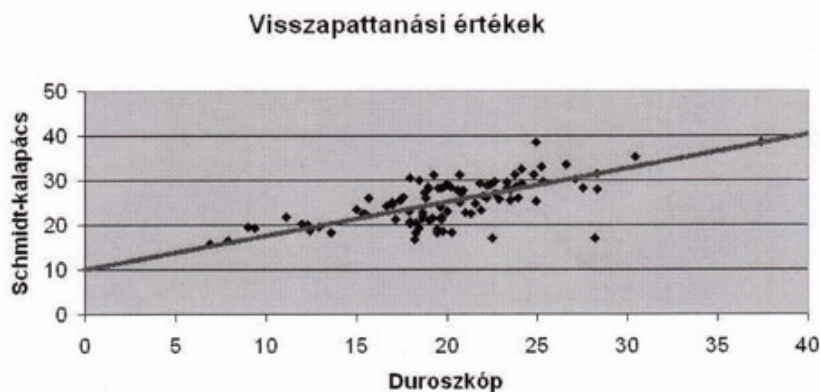
- adalékanyag,  $d_{\max} = 24$  mm;  $m = 6,25$
- felhasznált cement, CEM II/B-M(V-L) 32,5N
- $v/c$  0,58

Ez utóbbi receptúrát alkalmazva, és a kedvező összehasonlító vizsgálati eredmények alapján, duroszkóppal vizsgáltuk a fiatal beton visszapattanási értékeit, valamint a nyomószilárdságát az idő függvényében. A visszapattanási értékek mellett a frissbeton nyomószilárdságát roncsolásos vizsgálattal ellenőriztük.

## 4. EREDMÉNYEK

### 4.1. Visszapattanási értékek összevetése

Az azonos felületen a duroszkóppal, illetve a Schmidt-kalapáccsal mért visszapattanási értékeket összehasonlítottuk, és a mért értékek ábrázolása alapján egy közelítő egyenest húztunk, az általános tapasztalatok, gyakorlat szerint (4. ábra).



4. ábra

*A mérési eredmények alapján készített közelítő egyenes*

Az illesztett egyenes általános egyenlete:

$$y = ax + b$$

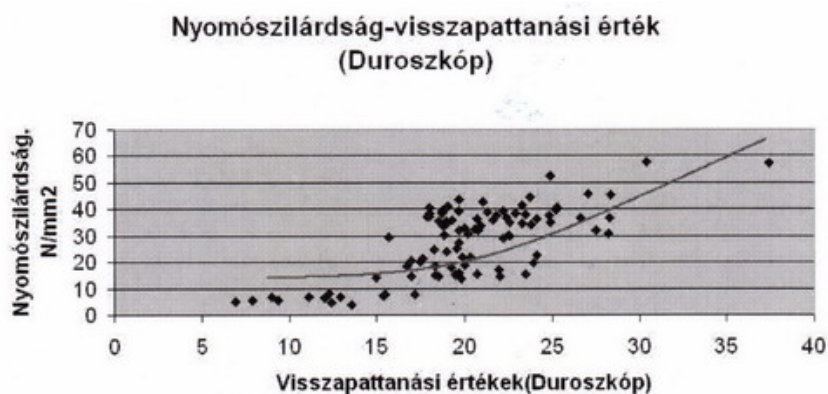
ahol  $x$  – a duroszkóppal mért visszapattanási érték,  
 $y$  – a Schmidt-kalapáccsal mért visszapattanási érték,  
 $a$  – az egyenest jellemző iránytangens értéke (jelen esetben 0,77).

Az összevetés alapján megállapítható, hogy lineáris összefüggés van a duroszkóp, illetve a Schmidt-kalapáccsos visszapattanási értékek között. Egyben az is jól kivehető, hogy a visszapattanási értékre vonatkozó információ alacsonyabb nyomószilárdsági értékeknél lehet értékes ahol, a gyártói ajánlás szerint a Schmidt-

kalapács által mért értékek nem vehetők figyelembe, illetve a visszapattanás mértéke Schmidt-kalapáccsal nem mérhető – a duroszkóp visszapattanási értékekre vonatkozó információk működnek.

#### 4.2. Duroszkóppal végzett vizsgálatok értékelése

A betonkockákon elvégzett elsődleges duroszkópos vizsgálat visszapattanási értékei, valamint a hozzá tartozó nyomószilárdsági értékek, és a mérési pontok alapján az 5. ábra szerinti közelítő görbét húztuk be. A vizsgálati értékekből jól látható, hogy a kis nyomószilárdsági értékek is jól mérhetők a duroszkóppal.



5. ábra

*A mérési eredményeket értelmező görbe*

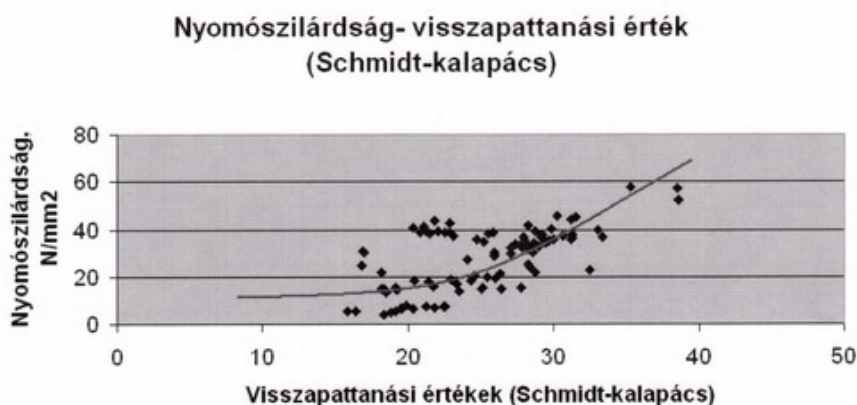
A mérési eredmények, a görbe kiértékelése, valamint a függvénykapcsolat meghatározása jelenleg is tart, de az eddigi eredmények alapján kijelenthető, hogy biztató eredményeket kaptunk a duroszkópos felületi keménység vizsgálat során. A görbe lefutása hasonló, mint a korábban ismertetett, ide vonatkozó Schmidt-kalapácsos diagramok (2. ábra).

A duroszkópos visszapattanási értékeknek elsősorban a beton nyomószilárdság alakulásának kezdeti időszakában (fiatal beton) van jelentősége a roncsolásmentes vizsgálatok vonatkozásában.

#### 4.3. Schmidt-kalapáccsal végzett vizsgálatok értékelése

A Schmidt-kalapáccsal mért visszapattanási értékek és a roncsolásmentes vizsgálattal megállapított nyomószilárdsági értékek összefüggését is ábrázoltuk egy diagramban, és a mérési eredményekhez egy közelítő görbét illesztettünk, amelynek jellege hasonlít a már korábban említett – bár nem kötelezően érvényes – szabvány görbéjéhez (2. ábra), illetve a szilárdságbecslő függvények alapján szerkesztett görbék egy részéhez (Nehme, 2004.; Nehme 2, 2004.).

A mérési eredmények kiértékelése jelenleg is tart, a függvénykapcsolat megállapításához a matematikai statisztika értékelő módszereit vesszük figyelembe, illetve alkalmazzuk.

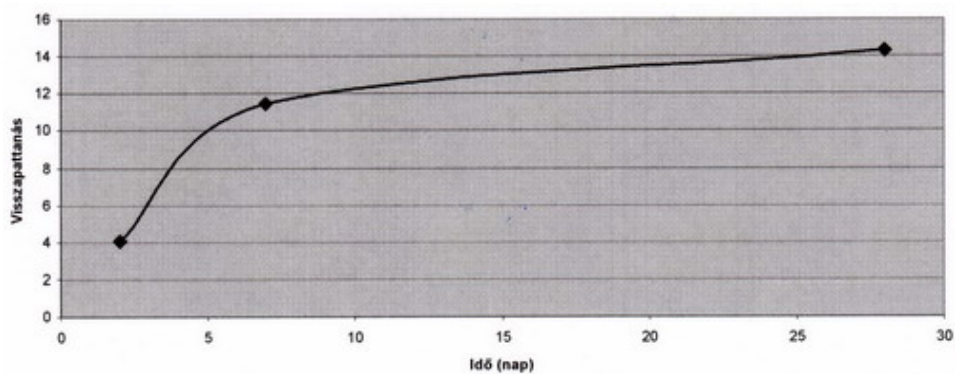


6. ábra

*A mérési eredményeket értelmező görbe*

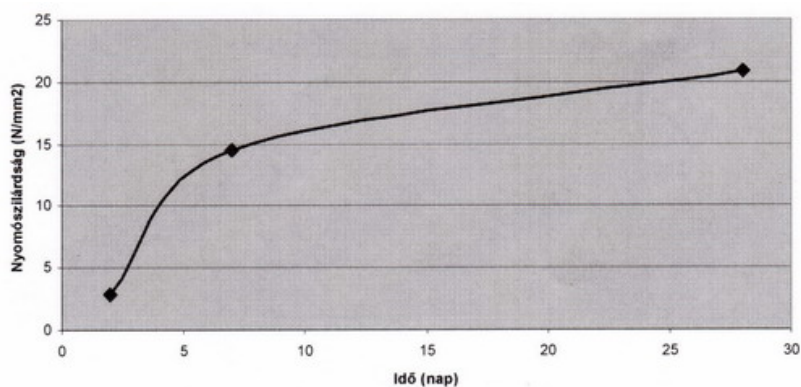
#### 4.4. Fiatal beton vizsgálat duroszkóppal

Az előzőekben ismertetett receptúra alapján elkészített friss betonból 150 mm élhosszúságú betonkockákat (etalon) készítettünk, és vizsgáltuk a fiatal beton szilárdsági tulajdonságainak változását roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálattal. A roncsolásmentes (duroszkópos), valamint a roncsolásos vizsgálatok eredményeit az idő függvényében a 7. és 8. ábra mutatja be. Ugyanakkor a vizsgálati eredményeket a már „szokásos” nyomószilárdság-visszapattanási érték összefüggésében is ábrázoltuk (9. ábra), majd visszatérve a korábbi vizsgálatok diagramjához – a korábbi eredményeket immár rendezett mintaként kezelve – beillesztetük a fiatal beton hasonló értékeit (10. ábra).



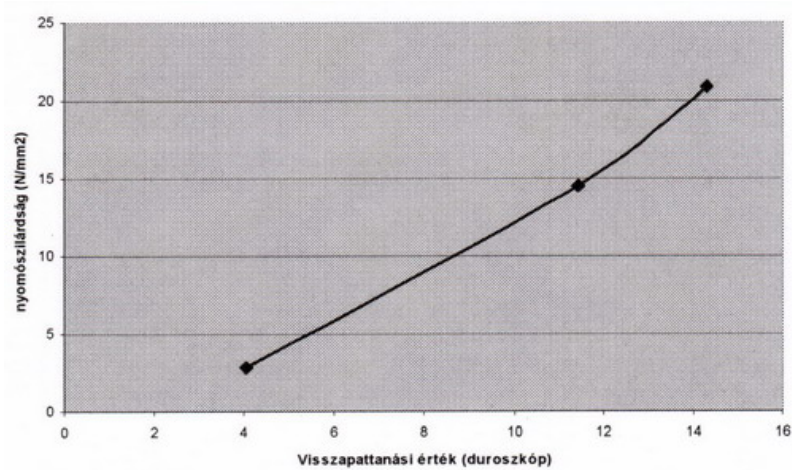
7. ábra

*Visszapattanási értékek (duroszkóp) az idő függvényében*



8. ábra

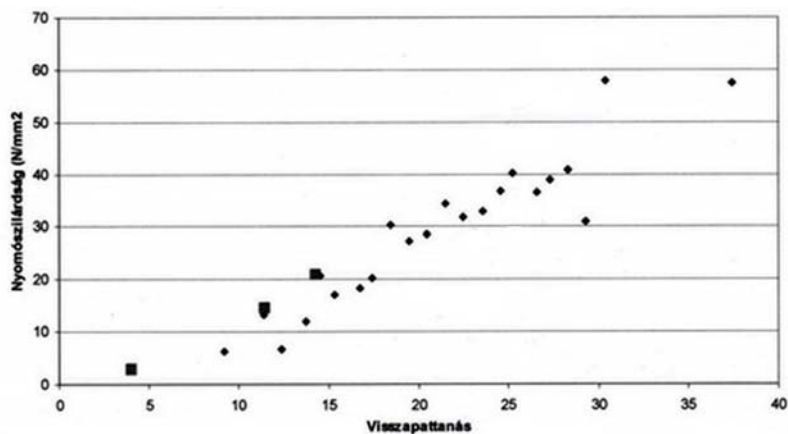
*Nyomószilárdsági értékek az idő függvényében*



9. ábra

*A nyomószilárdság és visszapattanási érték összefüggése*





10. ábra

*Fiatal beton értékeinek [■] beillesztése a korábbi duroszkópos visszapattanási (rendezett) értékekhez*

Megállapítható, hogy

- a duroszkópos vizsgálati módszerrel jól követhető a fiatal beton szilárdulási folyamata,
- a fiatal beton visszapattanási értékei mind nyomószilárdsági, mind pedig visszapattanási értékek vonatkozásában jól illeszkednek a korábban vizsgált beton próbatestek megfelelő értékeihez.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A bevezetőben ismertetett nehézségek kiküszöbölése érdekében – a beton szilárdsági tulajdonságainak 2 és 7 napos korban történő, valamint vékony, héjszerkezetek roncsolásmentes vizsgálata – végzett irodalomkutatás eredményeképpen találtunk rá a duroszkópos vizsgálati eljárásra. A módszer elsősorban a kőzetek vizsgálatánál alkalmazott, szintén a felületi keménység mérésén – azaz a visszapattanási érték megállapításán – alapul.

A többlépcsős kutatási feladat első fázisában több mint 100 darab, 150 mm-es élhosszúságú betonkockán elvégzett (Schmidt-kalapácsos vizsgálat esetében több, mint 1000, duroszkópos vizsgálat esetében több, mint 1500 mérési pontot jelent) vizsgálat alapján kijelenthető, hogy a két roncsolásmentes vizsgálati módszer értékei között lineáris összefüggés van.

Az eredmények alapján megkezdtük a fiatal beton roncsolásmentes vizsgálatát – duroszkóppal –, és a mért értékek alapján jól követhető a fiatal beton szilárdulási folyamata, valamint a duroszkópos – roncsolásmentes vizsgálat – kiterjeszhető nemcsak a fiatal beton szilárdulási folyamatának vizsgálatára, de a vékony, lényegében héjszerkezetek szilárdsági vizsgálatára.

Célunk egy olyan roncsolásmentes vizsgálati módszer kidolgozása, amely a gyakorlatban elterjedt Schmidt-kalapácsos vizsgálati eljárást kiegészíti, egyrészt vékony szerkezetek esetében, másrészt a fiatal beton szilárdsági vizsgálatainál megbízható eredményeket ad.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Leczovics Péter: A gipszbeton szilárdsági tulajdonságainak vizsgálata, Magyar Építőipar, 2010.5. p. 187-189
- [2] Polyák Ágnes: Dermesztett teherhordó homokbeton szerkezetek vizsgálata roncsolásos és roncsolásmentes eljárásokkal, OTDK, Miskolc, 2008. (Konz.: Dr. Kászonyi Gábor, Leczovics Péter)
- [3] Mucsi Zsuzsanna: A riolituffa anyagtani tulajdonságainak vizsgálata..., SZIE-YMÉK TDK 2009. (Konz.: Dr. Kászonyi Gábor, Leczovics Péter SZIE-YMÉK, Dr. Gálos Miklós BME)
- [4] Szilágyi Katalin – Borosnyói Adorján: A Schmidt-kalapács 50 éve: múlt, jelen, jövő, I. rész, Vasbetonépítés, 2008/1 p. 10-17
- [5] Borján József: Roncsolásmentes betonvizsgálatok, Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1981.
- [6] Pozsonyi Norbert: A beton Schmidt-kalapáccsal végzett szilárdságvizsgálatának megbízhatósága, XXIX. OTDK Konferencia, Miskolc, 2009.
- [7] Werkstoffprüfung im Betrieb „Duroskop”
- [8] „Stahl und Eisen” 80 (1960.) Heft 19, Seite 1289/92 (Emil von Lassen)
- [9] Dr. Kászonyi Gábor: Dermesztett teherhordó homokbeton szerkezetek roncsolásmentes szilárdságbecslő vizsgálatai, Nemzetközi Építéstudományi Konferencia kiadványa, p. 219-224
- [10] Polyák Ágnes – Leczovics Péter: Gipszbeton szerkezetek szilárdságbecslő vizsgálatai, Technika, 2011.3. p. 20-21
- [11] Leczovics Péter: Betonok roncsolásmentes vizsgálata duroszkóppal, Magyar Építőipar, 2011.1. p. 22-26

# Egy folytonos, felső részén kivágott acéllemezről kialakított kapcsolóelem végeelem analízise

## Finite Element Analyses for a Particular Perfobound Sheet-type Shear Connector Using Single Push-out Tests

### Analiza numerică a conectorilor continui de tip placă perforată

FILIP-VĂCĂRESCU Florin, KÖLLŐ Gábor

Kolozsvári Műszaki Egyetem

#### ABSTRACT

*In order to improve composite steel and concrete structures (beams or slabs) performance, new shapes of shear connectors are proposed. The use of continually welded sheet-type as an alternative of headed-studs with circular cross section, represent a way to minimize the overall manufacturing costs. In order to verify the efficiency of a particular welded sheet-type shear connector both numerical analyses and physical experiments must be carried out. The test method used was SINGLE PUSH-OUT TESTS (SgPOT) as a more time-efficient and economic alternative of STANDARD PUSH-OUT TESTS (SPOT). For the numerical analysis of a composite structure consisting of steel beam with a sheet-type shear connector welded on it and surrounded with a concrete reinforced slab the well-established FE-program ABAQUS is used. A static analysis procedure was conducted for original models of sheet-type shear connectors also used in physical experiments. The influence of the friction coefficient between connector and concrete and the boundary conditions describing the support of the specimen have been studied as well.*

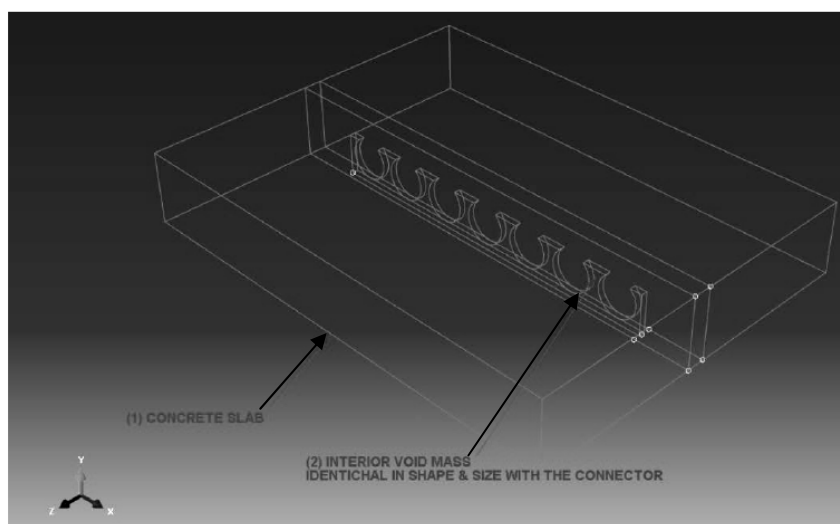
#### 1. BEVEZETŐ

A folytonos kapcsolóelemek alkalmazása az öszvértartók tervezésénél egyre nagyobb teret nyer. Ezeknek a kapcsolóelemeknek a teherbírása nagyobb, mint a klasszikus fejcsap kapcsolóelemeknek. A folytonos kapcsolóelem alkalmazása főleg a fáradásra igénybe vett szerkezeteknél alkalmazható sikeresen (pl. hidak, darupályák stb.). A kapcsolatot az acéltartó és a vasbeton lemez közt folytonosnak tételezzük fel.

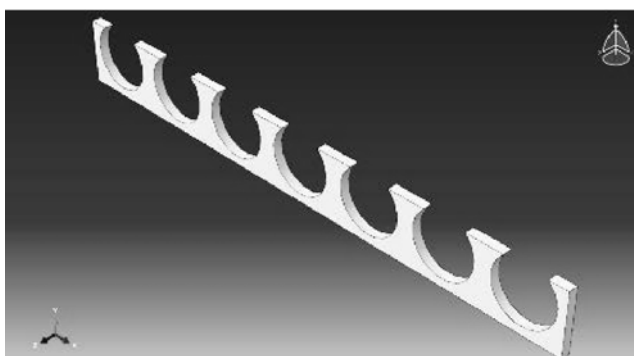
A végeelem analízis eredményei, összehasonlítjuk a laboratóriumi kísérletek eredményeivel.

#### 2. VÉGESELEM ANALÍZIS

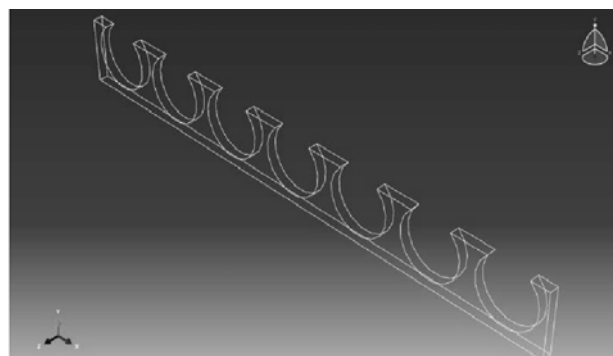
A következőkben bemutatjuk az elemzett szerkezet: egy, az 1. ábrán látható kivágott I tartó övlemezére felhegesztett acéllemez.



1a. ábra  
Betonlemez és kapcsolóelem

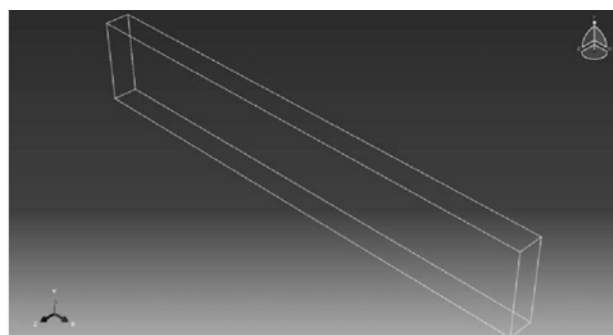
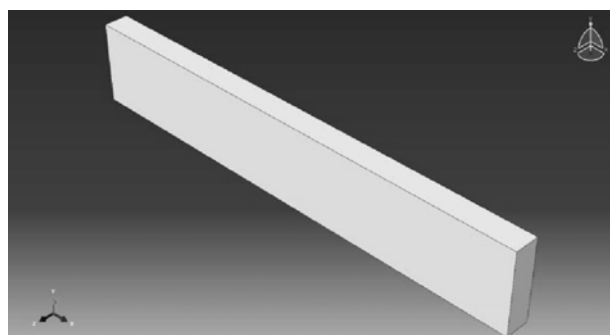


1b. ábra. Kivágott acéllemez

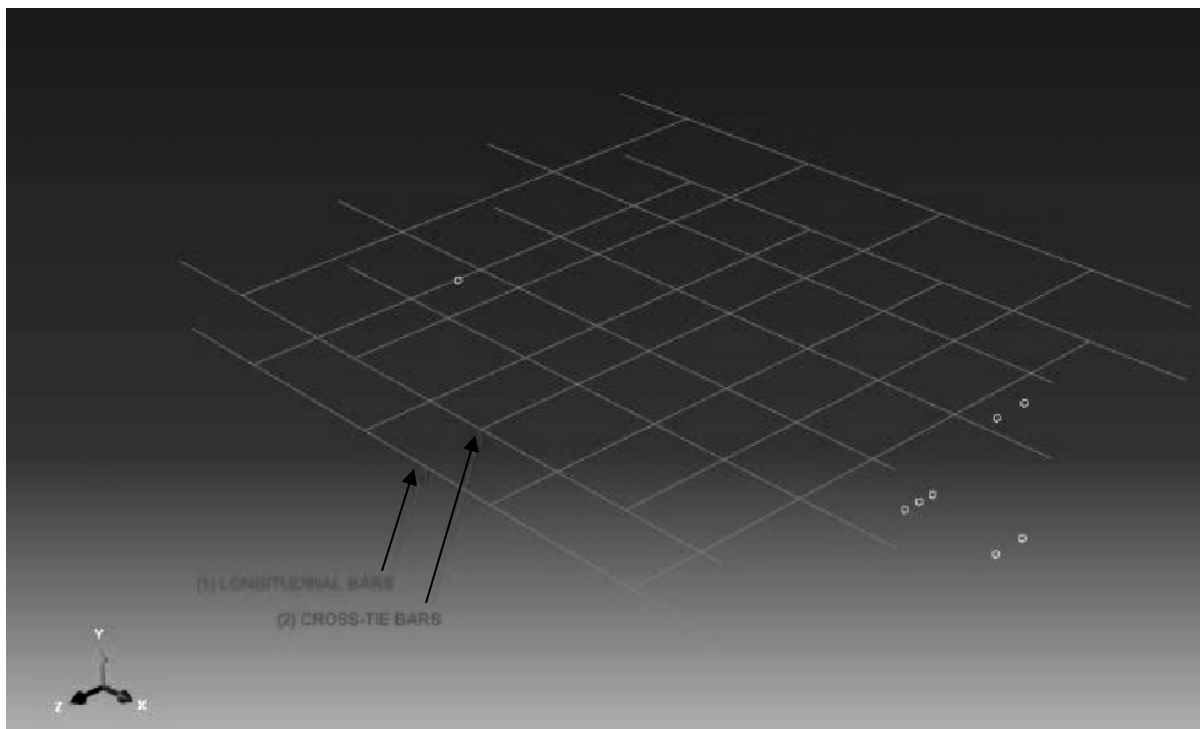


1c. ábra. Kivágott acéllemez modell

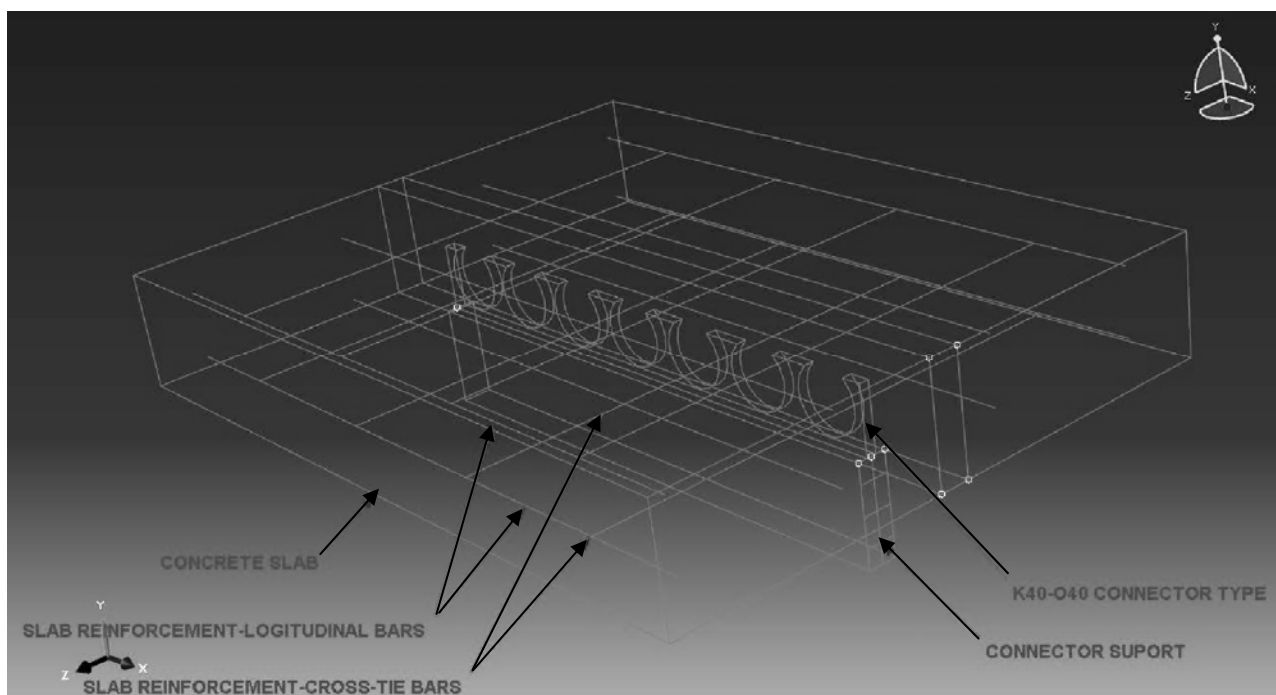
1. ábra:  
K40-O40 kapcsolóelem



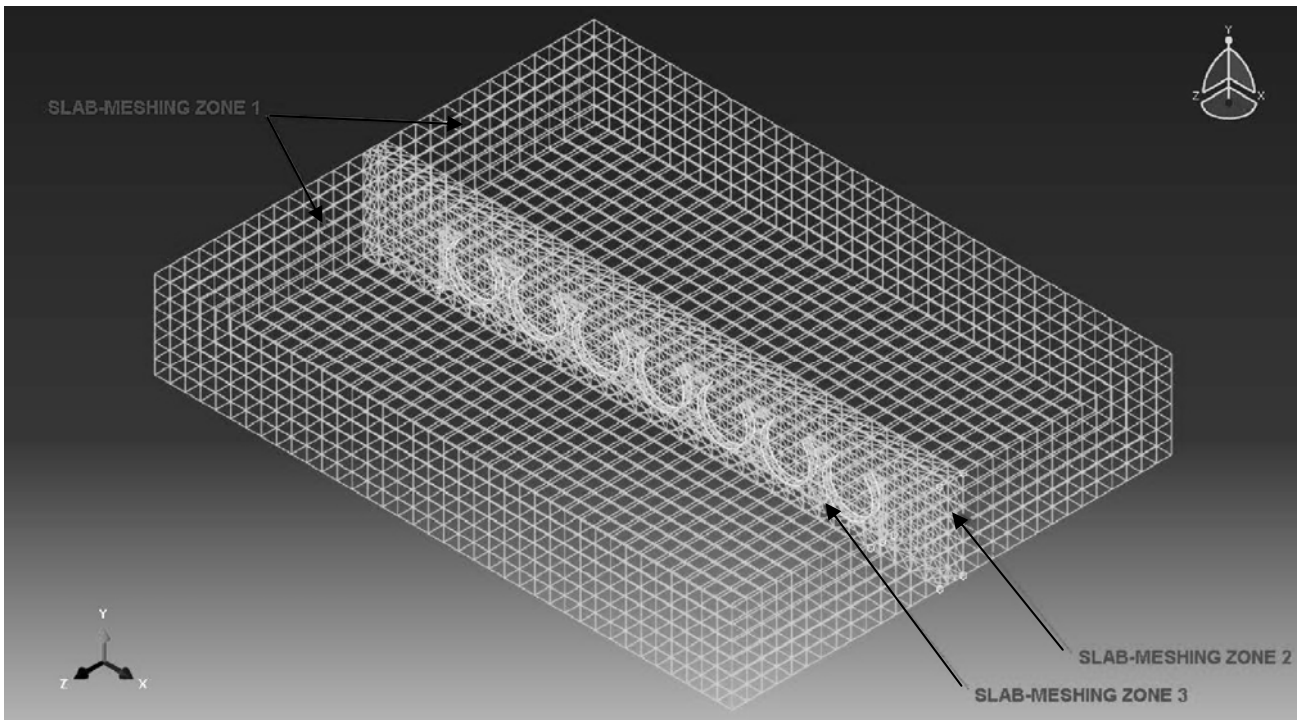
2. ábra.  
Acéllemez és a modell



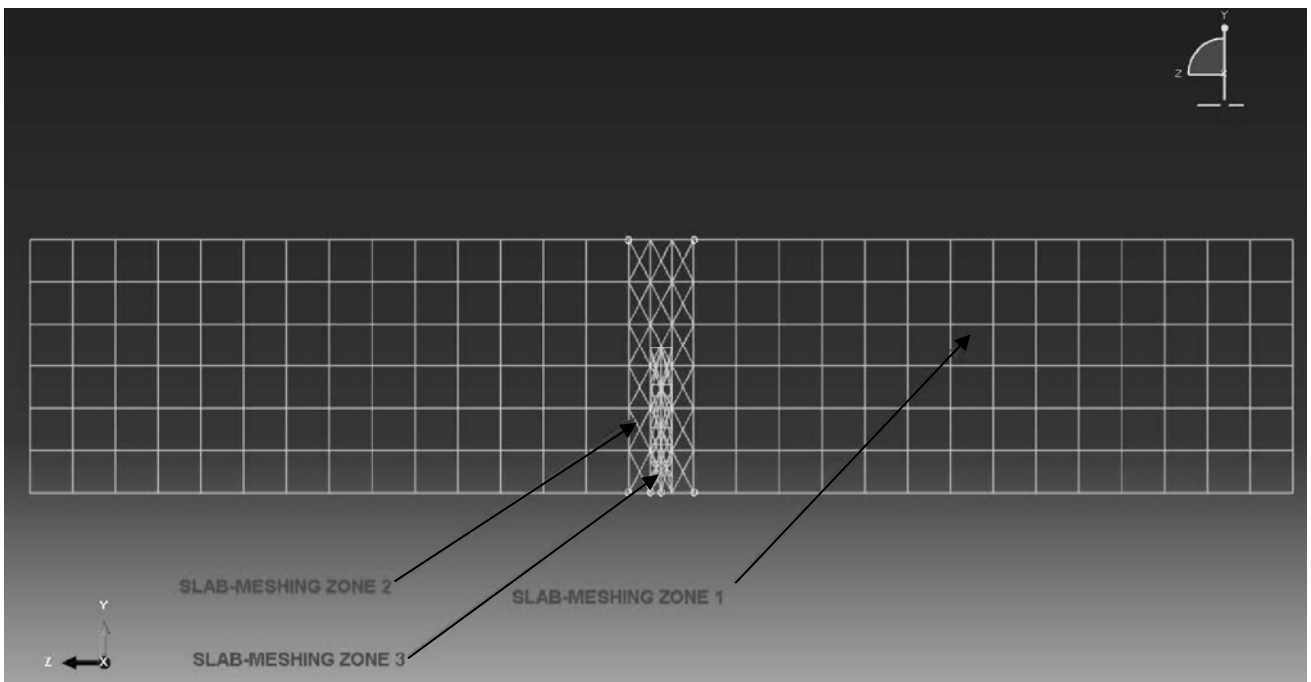
3a. ábra  
A betonvasak geometriája



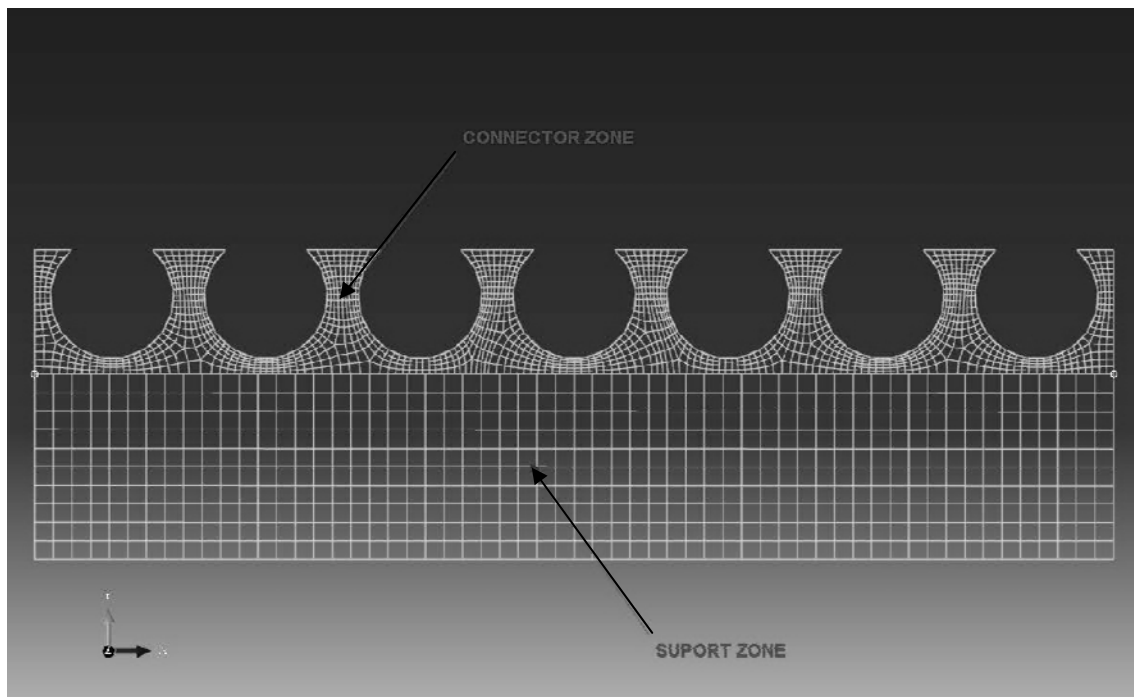
3b. ábra  
Az elemzett betonlemez és vasalása



4. ábra  
Végeselem modell 3D-ben



5a. ábra  
Kapcsolási zóna

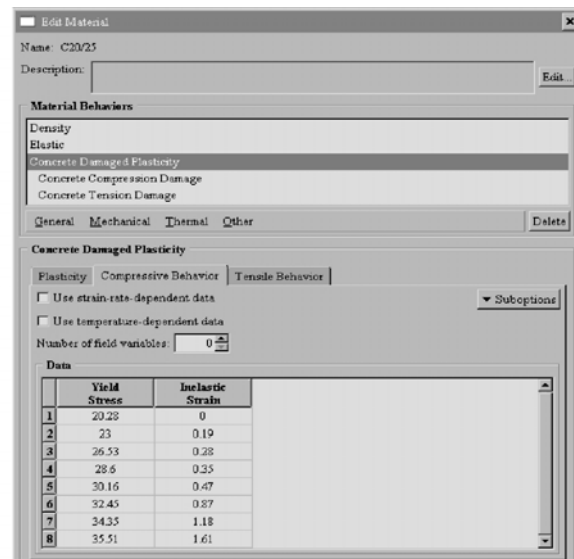
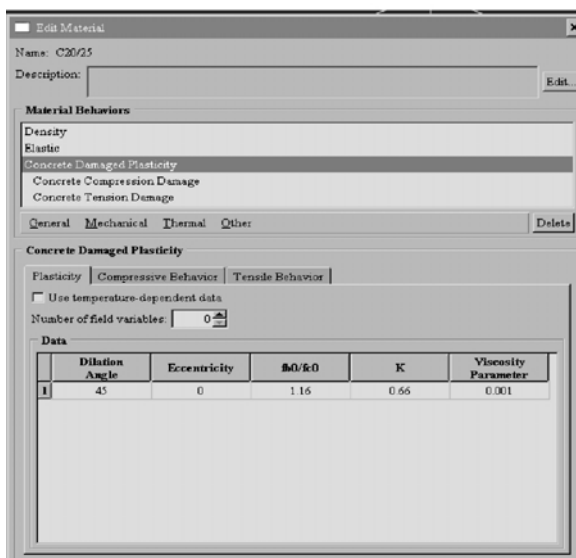


5b. ábra  
Kapcsolóelem és az acéllemez felső öve

## FELHASZNÁLT ANYAGOK

### Beton (vasbeton)

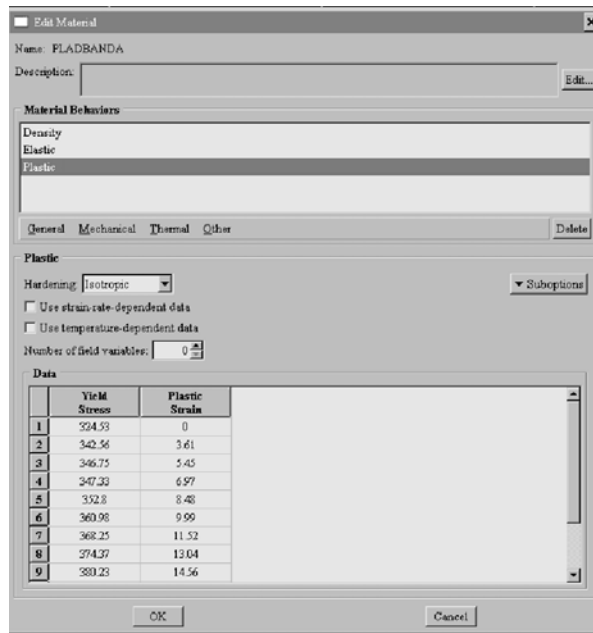
Beton osztálya C25/30, a beton szilárdsága  $f_{cm} = (60-70\%) f_{ck}$ , a Young modulus  $E = 30000 \text{ N/mm}^2$ , Poisson együttható: 0.02.



6. ábra  
A beton anyagjellemzői

### Kapcsolóelemek

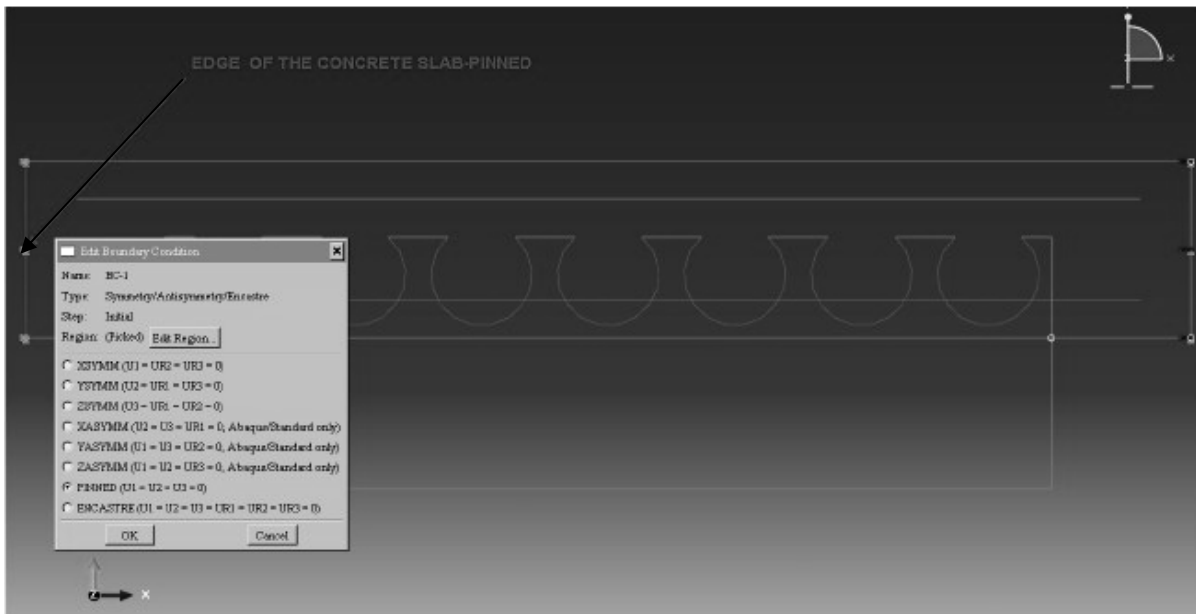
A felhasznált acéllemez osztálya S 275, vastagsága  $t = 6 \text{ mm}$ ,  $\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$ , rugalmassága (Young modulus)  $E = 210000 \text{ N/mm}^2$ , Poisson együttható: 0.02.



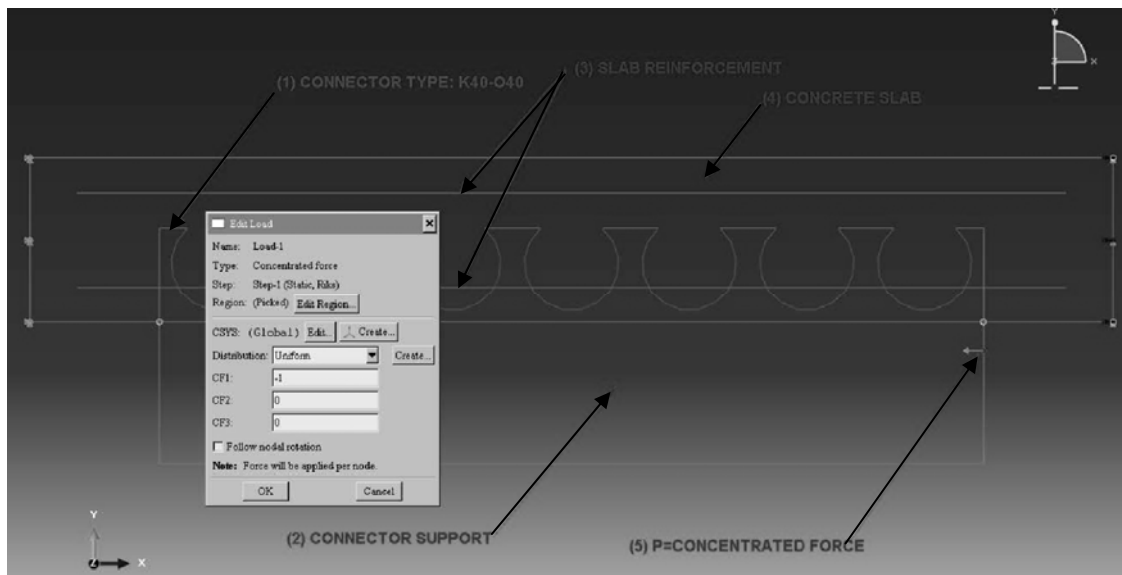
7. ábra  
Kapcsolóelem kiválasztása, bevezető adatok

## BETON VASALÁSA

### Peremfeltételek bemutatása



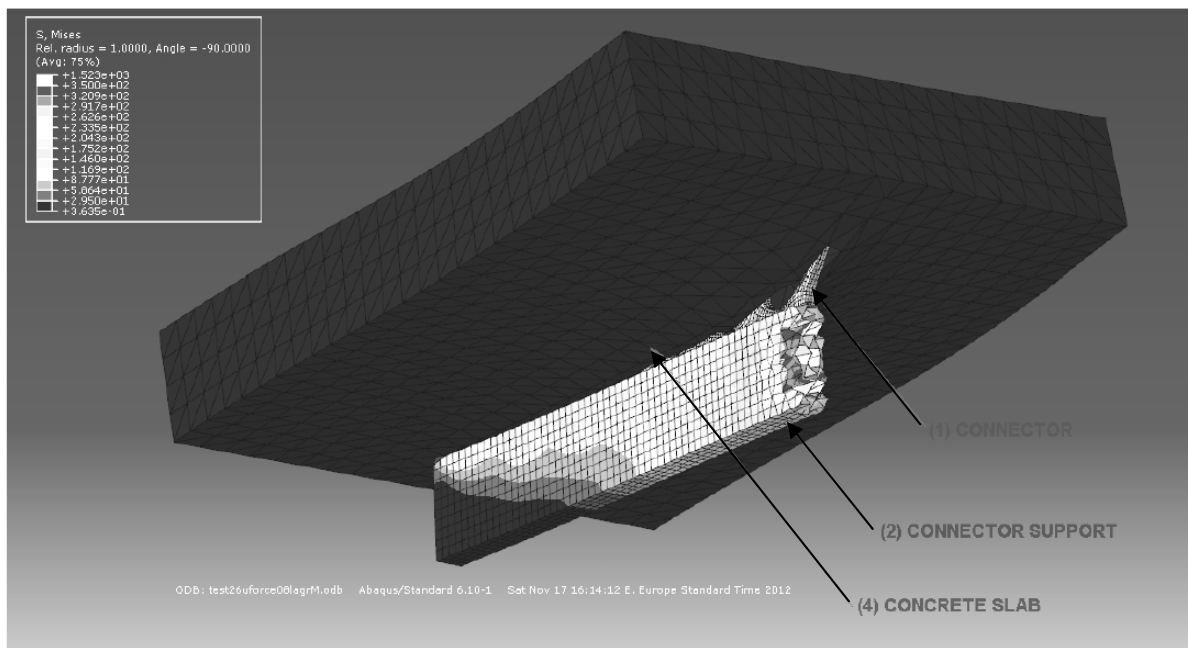
8a. ábra  
Peremfeltétel bemutatása



8b. ábra  
Peremfeltétel bemutatása

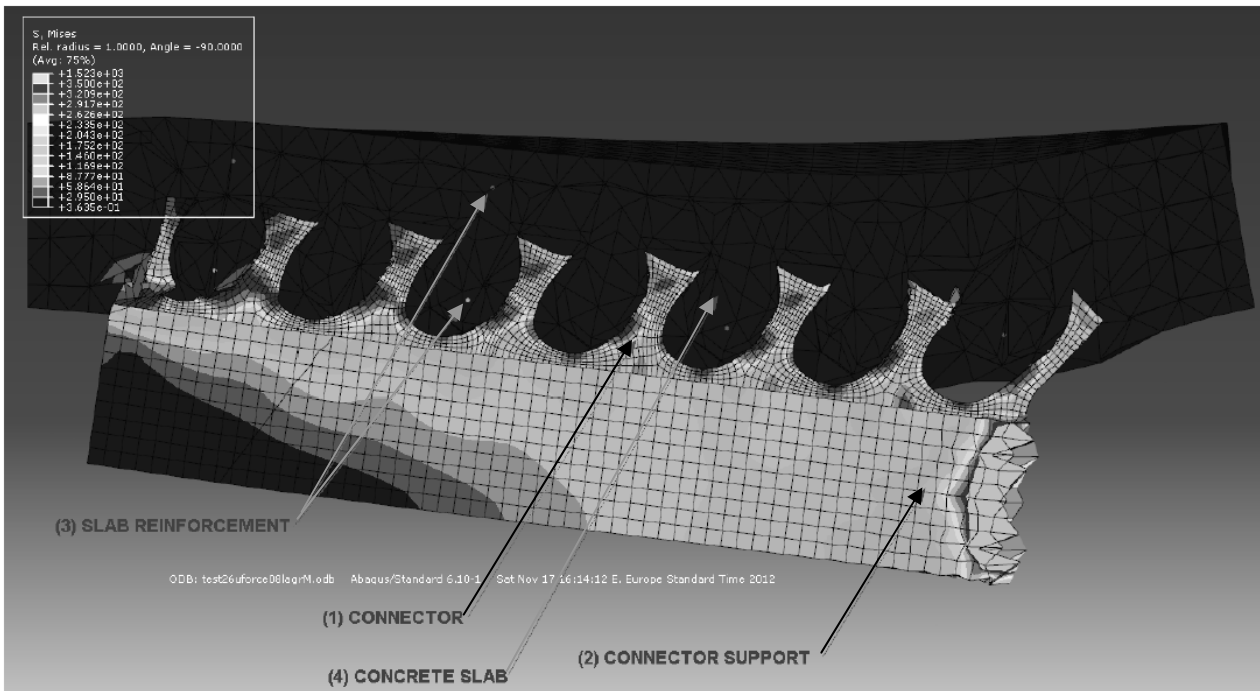
### A szimuláció eredményei

Az elemzés során a szerkezet tönkremenetelig tanulmányoztuk annak a viselkedését. A tönkremenetelt a 9. ábrán szemléltetjük.

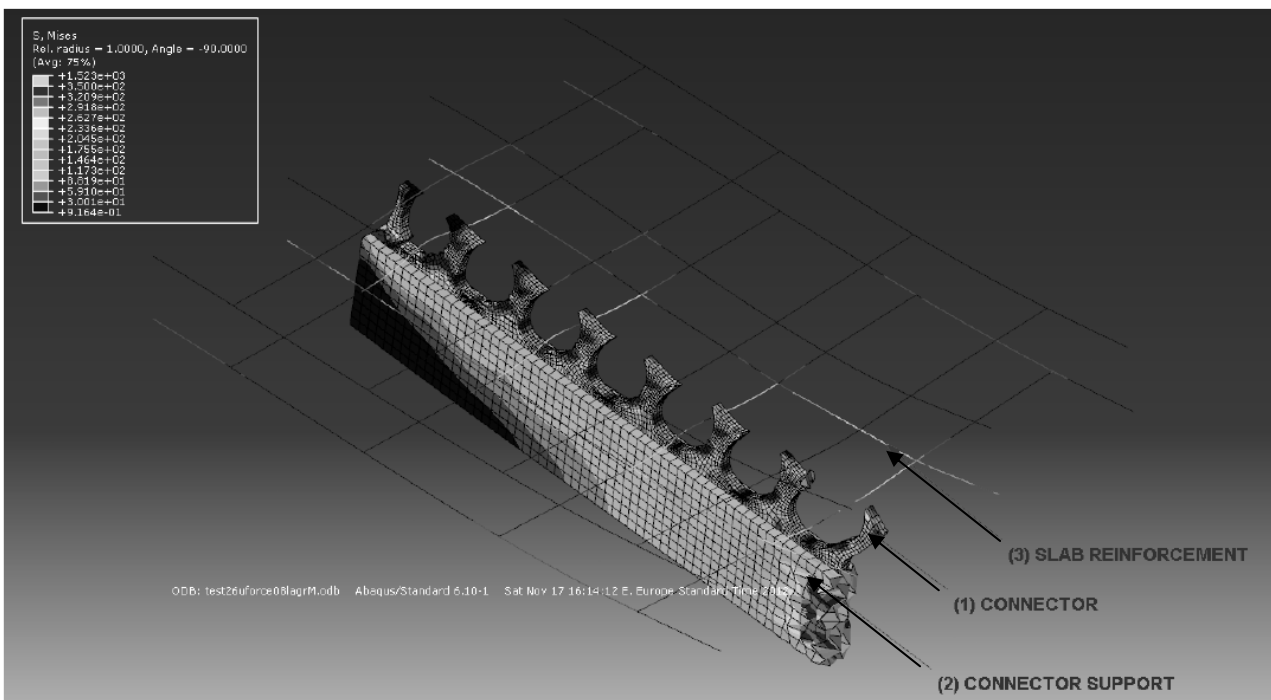


9a. ábra  
A tönkremenetel szemléltetése

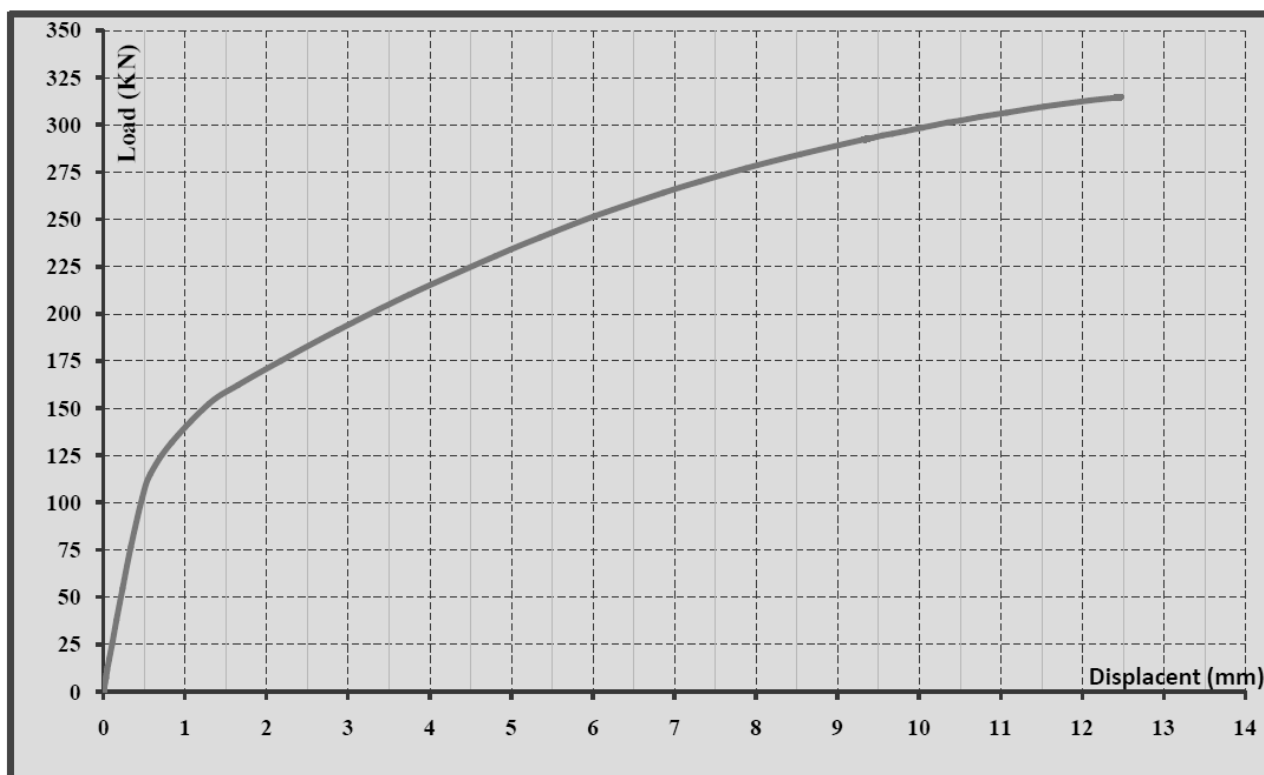




9b. ábra  
A tönkremenetel szemléltetése



9c. ábra  
A tönkremenetel szemléltetése



10. ábra  
Erő - elmozdulás függvény

A 10. ábrán látható az erő-elmozdulás függvény. Ennek meghatározása kísérleti úton történt. A kapott eredményt összehasonlítottuk a végelem módszer segítségével végzett szimulációk eredményével.

## KÖVETKEZTETÉS

Az elvégzett analízis megbízható és pontos. Ez a típusú numerikus szimulációs módszer jól alkalmazható más típusú kapcsolóelemek esetében optimalizálva a kapcsolóelem alakját is viselkedését, és csökkentve a kísérletek számát.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] SR EN 1994-1/2006 Eurocod 4: Proiectatrea Structurilor Compozite de otel si Beton Partea a 1 si 2 Reguli Generale ; (Anexa B),
- [2] Köllő, G., Moga, P., Gutiu, St., KISS, Z.: Calculul Structurilor dupa Eurocod Cluj Napoca, 2008
- [3] Ciutina, A. : Comportarea Structurilor in Cadre Compose din Otel-Beton si a Imbinarilor Acestora Editura Orizonturi Universitare Timisoara 2007,
- [4] Oliver Hechler, Wojciech L., Gunter S., Eva Viefhues: Continuous Shear Connectors in Bridge Constructions,
- [5] Dischinger, F., Elastic and plastic deformations of reinforced concrete load-carrying structures and especially that of arch bridges
- [6] Hoischen, A., Composite girder with discrete elastic connectors
- [7] Hawranek, A. & Steinhard, O., Theory and analysis of steel bridges
- [8] Oliver, H., Wojciech L., Gunter S., Eva V., Continuous shear connectors in bridge constructions
- [9] Michel T., Jean-paul L., A mechanical model for connections by adherence for steel-concrete composite beams
- [10] Bertalan S., Influence of shear connectors on the elastic behavior of composite girders-Doctoral dissertation
- [11] Rusinowski P.: Two-way Concrete Slabs with Openings: Experiments, Finite Element Analyses and Design, Master's Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Luleå University of Technology, Sweden, 2005
- [12] Ellobody E., Young B.: Performance of shear connection in composite beams with profiled steel sheeting, Journal of Constructional Steel Research 62 (2006) 682-694

- [13] Marecek J., Chromiak P., Studnicka J.: Numerical model of perforated shear connector, in Structures, Taylor & Francis Group, London, 2006, ISBN 0-415-40120-8
  - [14] Zimmermann S.: Finite Elemente und ihre Anwendung auf physikalisch und geometrisch nichtlineare Probleme (Finite element and its application to physically and geometrically nonlinear problems), Report TUE-BCO 01.05, Technische Universität Eindhoven, Niederlande Gizejowski, Kozłowski, Slecza, Ziolkó (eds.): Progress in Steel, Composite and Aluminium, März 2001
  - [15] Sattler K.: Theorie der Verbundkonstruktionen (Theory of composite structures) Verlag Wilhelm Ernst & Sohn, 1959
  - [16] Roik K., Bürkner K.-E.: Reibwert zwischen Stahlgurten und aufgespannten Betonfertigteilen (Friction between the clamped steel belts and Precast concrete) Bauingenieur 53 (1978), 37-41
  - [17] Hegger J., Goralski C., Kerkeni N.: Finite Elemente Berechnungen kammerbetonierter Verbundträger (Element Analysis of the Composite beam), Bauingenieur Band 80, Juni 2005
- Push-Out [18] Test Parametric Simulation Study of a New Sheet-Type Shear Connector

# IPTV műsorszórás és annak méréstechnikája vezeték-nélküli és HFC hozzáférési hálózatokban

## IPTV Broadcasting and its Measurement Techniques in Wireless and HFC Access Networks

### Radiodifuzare IPTV și tehnici de măsurare în rețele cu acces fără fir și HFC

<sup>1</sup>KILIK Roland, <sup>2</sup>FARKAS András László

<sup>1</sup>egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem Automatizálási  
és Kommunikáció-technológiai Tanszék, Miskolc, Magyarország  
kilik@mazsola.iit.uni-miskolc.hu

<sup>2</sup>HLR tesztmérnök, Nokia Siemens Networks, Magyarország  
farkas.andras.laszlo@gmail.com

#### ABSTRACT

*In the paper the authors introduce the reader to a test system – that is made by the authors in different access networks – and a real IPTV broadcasting system, and then the analyzation of those systems is shown, along with the measurement of the QoS parameters. The authors try to put emphasis on the IPTV QoS, as the parameters of the environment how much affect it both at the provider and the subscriber side.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Cikkünkben két általunk – különböző hozzáférési hálózaton – kialakított tesztrendszert, valamint egy éles IP televíziós rendszert mutatunk be, majd foglalkozunk e rendszerek működésének vizsgálatával és a szolgáltatás-minőségi paraméterek mérésével. Munkánk során megpróbáltunk rávilágítani arra, hogy az eltérő közegeken mérhető hálózati jellemzők milyen hatással vannak az IPTV szolgáltatás minőségére mind szolgáltatói, mind előfizetői oldalról.*

**Kulcsszavak** IPTV, hozzáférési hálózat, vezeték-nélküli hálózat, HFC (Hibrid Fiber Coax), DOCSIS, QoS, MDI

#### 1. BEVEZETÉS

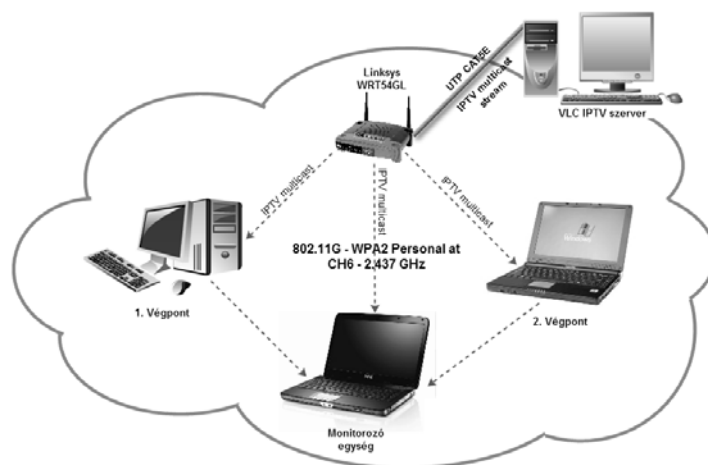
Az IPTV-szolgáltatás műszaki szempontból alapvetően két nagy kihívással néz szembe. Az egyik a képminőség, a másik a rendelkezésre állás vagy megbízhatóság. Ezek garantálásához elengedhetetlen a stabil és QoS biztosított hozzáférési hálózat, amely – célszerűen – a szolgáltató hálózatának az előfizetőkhez közvetlenül kapcsolódó része.

A hozzáférési hálózattal szembeni legfontosabb elvárások: nagy felhasználó-sűrűségű és kiterjedésű szolgáltatási terület lefedésére legyen alkalmas, a szükséges sávszélesség allokálása megoldott legyen az adott adatfolyam számára, lehetőség legyen a megfelelő QoS paraméterek biztosítására, valamint IPTV szempontból fontos az is, hogy a multicast adatforgalom kezelése optimálisan megoldott legyen. Szükséges továbbá olyan hálózatmonitorozó és mérőrendszerek alkalmazása, melyek a szolgáltatáshibákat valós időben jelzik az üzemeltetőknek. Bizonyos paraméterek mérése mind a média-átviteli alkalmazások számára, mind pedig a hálózat tervezése és üzemeltetése szempontjából fontos.

A megvalósítás és a mérések három hozzáférési-hálózaton történtek, DOCSIS 3.0-ás HFC hálózaton, illetve 802.11n és 802.11g szabványú vezeték-nélküli hálózatokon.

## 2. VEZETÉK NÉLKÜLI IPTV MÉRÉSEK LABORKÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT, ÁTLAGOS FELHASZNÁLÓI ESZKÖZÖKKEL

Első méréseink során azt vizsgáltuk, hogy egy alacsony árkategóriájú, „kommersz” felhasználói eszközökből álló végponti vezeték nélküli szegmensnek (1. ábra) milyen jellemzői vannak az IPTV átvitel tekintetében, illetve hogy ezen eszközök mennyire jelentenek szűk keresztmetszetet a minőség szempontjából.



1. ábra  
Tesztrendszer

Az IPTV szerver feladatát egy asztali számítógép látta el, melyen az adatfolyam szórását a nyílt forráskódú VLC playerrel oldottuk meg. Egy előre rögzített 10 perces, ~2000 kbit/s bitsebességű adást szórtunk a szerver gépről routeren keresztül, multicast-os címre. A vezeték nélküli adó funkcióját egy Linksys WRT54GL típusú wireless router töltötte be, melyen elsőként néhány, a vezeték nélküli kapcsolatot gyorsító és javító, illetve multicast beállítást kellett eszközölni. Ezek a következők:

- Az internet forgalmat megszüntettük a hálózatban, így a megfigyelés során az esetleges internetről bejövő csomagok, valamint a kéretlen internetes kommunikáció nem lehet zavaró tényező.
- A tűzfalon engedélyeztük a multicast áteresztést, így a kliensek csatlakozni tudtak a multicast adatfolyamhoz. (Allow Multicast)
- A szervergépnél és a klienseknél statikus IP címet adtunk, hogy a különböző DHCP folyamatok ne zavarjanak a megfigyelésben.
- A Ch6-os csatornát választottuk a vezeték nélküli kommunikációra – elkerülendő az interferencia miatti jelgyengülést – mivel ez volt a környéken elérhető hálózatok tekintetében a legkevésbé használt.
- Afterburner (enable): Ez egy, a 802.11g szabvány Broadcom általi kiterjesztése, amely kompatibilis a minősített 802.11b/g eszközökkel is, azonban az ugyanezen kiterjesztést használó eszközökkel 125 Mbps átviteli sebességre képes.
- Frame Burst – keretösszefogás (enable)
- Multicast Rate (54 Mbit/s, „only G” módban)
- Preamble (short): a preamble-t rövidre állítottuk, tovább gyorsítva ezzel az átvitelt.
- Transmit Power (84 mW): Az átviteli teljesítményt az alapértelmezett 42 mW-hoz képest megdupláztuk, mellyel jelentősen javult a kapcsolat minősége.
- WMM (kliens és szerver oldalon is engedélyezve)

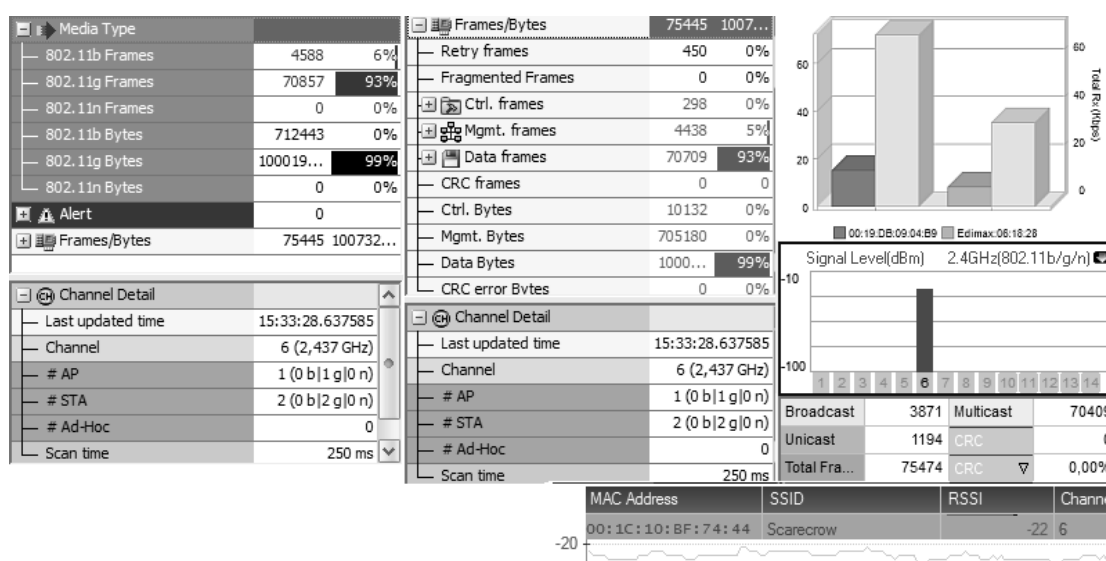
Ezen opciókról további információk és részletek a routeren használt Tomato Firmware hivatalos honlapján olvashatóak. [1]

### 2.1. Validálás a monitorozó egységen

Az adatfolyamot és a hálózati paramétereket több programmal monitoroztuk párhuzamosan: Wireshark programmal vizsgáltuk a stream csomagok struktúráját, valamint folyamatos „capture” módban rögzítettük a beérkező csomagokat. A monitorozó gépen és a tesztvégpontokon ClearSight Analyzer, Airmagnet valamint InSSIDer programokkal figyeltük a stream minőséget, valamint a permanensen változó hálózati paramétereket.

Mivel a vezeték nélküli jel erősségét mérő programok mind a laborkörülmények közötti, mind a későbbi távolsági-terepi vezeték nélküli méréseink fontos alapját adják, így ezek működését korábban a monitorozó egységen validálnunk kellett. Itt mindenképpen megjegyzendő, hogy a monitorozó egység az adótól mindössze 1 méter távolságban volt.

Elsőként az Airmagnet programot üzemeltük be, melynek az a különlegessége, hogy nem csatlakozik fel a monitorozandó hálózatra, mint külső „szemlélő” analizálja azt. Így külső mérési pontként sikerült monitoroznunk a komplett kapcsolatot, és annak jellemzőit. A program indításakor kiválasztható, hogy melyik frekvencián, és melyik csatornát szeretnénk monitorozni, mely esetünkben a 2.4 GHz 6-os csatornája volt „only G” módban. A csatorna megfelelő megválasztására azért is célszerű odafigyelni, mivel a mérési helyszín környezetében hasonló csatornán üzemelő vezeték-nélküli hozzáférési pontok interferenciát okozhatnak, ami jelentősen befolyásolhatja a mérés pontosságát. A 2. ábrán láthatóak a validálás során mért csatorna kihasználtsági adatok, kereteloszlások, valamint a vezeték nélküli vételi jelerősség (RSSI) dBm-ben kifejezve [2]. Az Airmagnet skálája körülbelül -20 dBm-et mutat, – mely a vezeték nélküli hálózatoknál jellemzően a „kiváló” tartományban van – azonban az InSSIDer nevű program (2. ábra) a gyakorlati tapasztalatok alapján, a jelerősség mérése tekintetében érzékenyebbnek bizonyult, így annak dokumentálására a továbbiakban azt alkalmaztuk. A 2. ábrán a vett keretek száma és típusa is látható, továbbá megfigyelhető, hogy e keretek 99%-a multicast. A broadcast és unicast keretek az adóra rácsatlakozni próbáló külső eszközöktől és a menedzsment keretektől adódnak.



2. ábra  
Csatorna-kihasználtsági adatok

## 2.2. Media Delivery Index

Az MDI (Media Delivery Index) a QoE-re (Quality of Experience) próbál mérőszámot adni, a hálózat paramétereire alapozva. Az index általában két, kettősponttal elválasztott értékből, a késleltetési faktorból (DF – Delay Factor), illetve a médiavesztési rátából (MLR - Media Loss Rate) áll (DF:MLR).

A késleltetési faktorthoz elengedhetetlen a jitter fogalmának tisztázása, mely a késleltetés időbeli ingadozását jelenti. A jitter optimális szinten tartásának bevált módja a pufferek alkalmazása, melyek mérete azonban pontos megválasztást igényel. A túlzottan kisméretű puffer túlcserélhető, a túl nagy pedig többek között túl nagy késleltetést okoz, azáltal, hogy lassan telik meg az ebből dolgozó dekódoló vagy továbbító egység számára. Belátható, hogy mindkét jelenség a QoE csökkenéséhez vezet. A DF értéke [3] azt mondja meg, hogy hány másodpercenyi adatot kell, hogy tartalmazzon a puffer a jitter kiküszöbölésére. Fontos mérőszám a megérkezett-elvesztett csomagok száma ( $\delta$ ), valamint a késleltetési faktor.

$$DF = \frac{(\max(\delta) - \min(\delta))}{\text{médiá\_ráta}} \quad (1. \text{ egyenlet})$$

Ennek elfogadható értéke függ az adott eszköztől, például attól, hogy az adott set-top-box mennyire tolerálja a jittert. Kijelenthető azonban, hogy 50 ms alatt kell, hogy legyen, és sok esetben a 9 ms-ot sem haladja meg.

A médiavesztési ráta ezzel szemben az elvesztett vagy sorrendhibásan érkezett csomagok másodpercenkénti számát jelöli (ez utóbbi, azaz a sorrendhibás érkezés is fontos érték, mivel az esetünkben alkalmazott

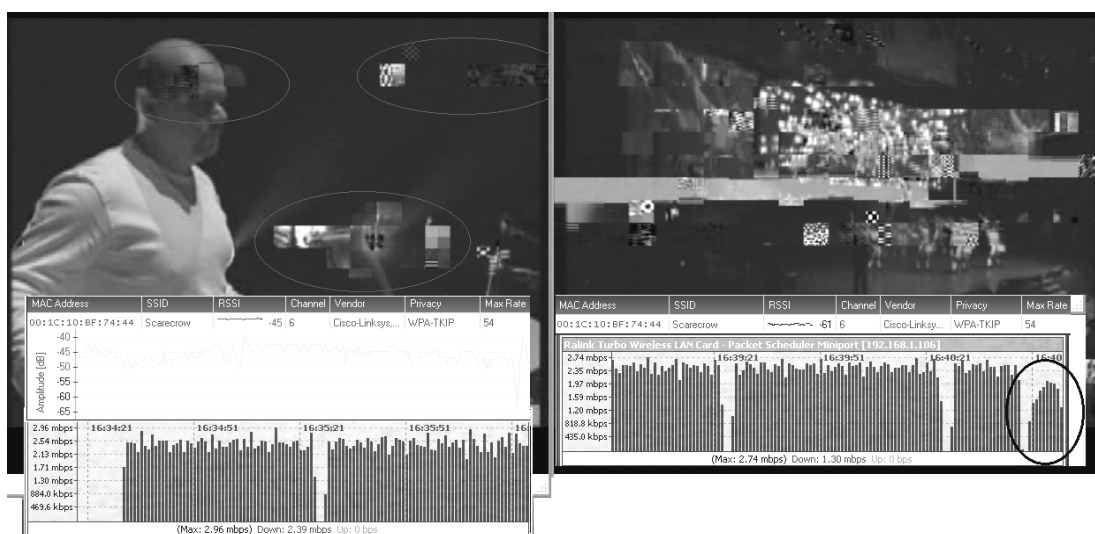
UDP protokoll nem alkalmaz sorrend helyreállítást). Ennek egy még elfogadható értéke SD adás esetén körülbelül 0.004 lehet.

A fentiek alapján egy tipikus MDI érték lehet például 4:0.004, mely 4-es DF értéket, és 0.004 MLR értéket jelent.

Korábbi kísérletek azt mutatták (és a mi méréseink is ezt igazolták), hogy már kisszámú csomag elvesztése is okozhat észlelhető hibát, illetve, hogy a felhasználók inkább tolerálják az időszakos, de nagyobb hibákat (és az ennek megfelelő MDI értéket), mint a gyakori kisebbeket.

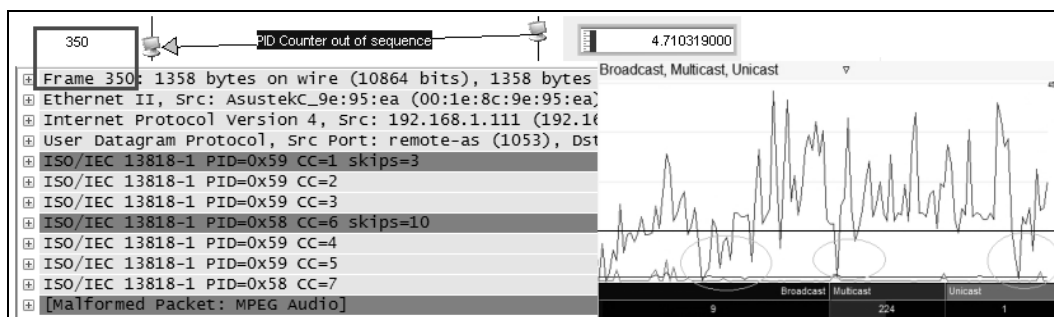
### 2.3. Egyes számú tesztpont

Az egyes számú tesztpont az adótól 12 méter távolságban helyezkedett el egy másik helyiségben, nem tiszta rálátással, viszont egy külső antennával volt ellátva. Megjegyzendő, hogy 1 fa- és 2 üvegajtó is elválasztotta az adótól ezt a végpontot. Ezek elsőként nyitva voltak, majd csukva, ezzel is jelentős pluszcsepplést okozva. A 3. ábra bal oldalán látható, hogy az RSSI (Received Signal Strength Indication - Vételi térférség indikátor) értéke nyitott ajtóknál -40 dB és -50 dB tartományon mozog. Ekkor az adás relatíve stabilnak mondható, elszörtan észlelhető némi blokkosodás, illetve minimális hangakadás.



3. ábra  
1. Tesztpont RSSI

Műsorszórás közben egy hálózatsebesség mérőt is futtattunk, mely valós időben mutatta az adatsebesség ingadozását. Így látható az összefüggés az adatkapcsolat romlása és a képminőség romlása között. Ezt követően tesztelésképpen az eddig nyitott ajtókat becsuktuk, ekkor a jelszint leromlott -60 és -70 dB közötti tartományra, és az adás nézhetetlenné vált (3. ábra jobb oldala). A következő, 4. ábrán grafikonos formában is megfigyelhető az adatkapcsolat minőségének ingadozása becsukott ajtók esetében. A fentiekből kifolyólag sikerült bemérni a 350. keretnél egy megnövekedett „delta time” követési időt a ClearSight Analyzerrel. Párhuzamosan Wireshark-kal mérve az is látható, hogy ez a megnövekedett követési idő milyen *continuity counter* [4] hibákat okoz ugyanezen keretben. Ezt az adatfolyamot minőségi paraméterek alapján a Clear Sight Analyzer az első táblázatban látható eredménnyel értékelte.



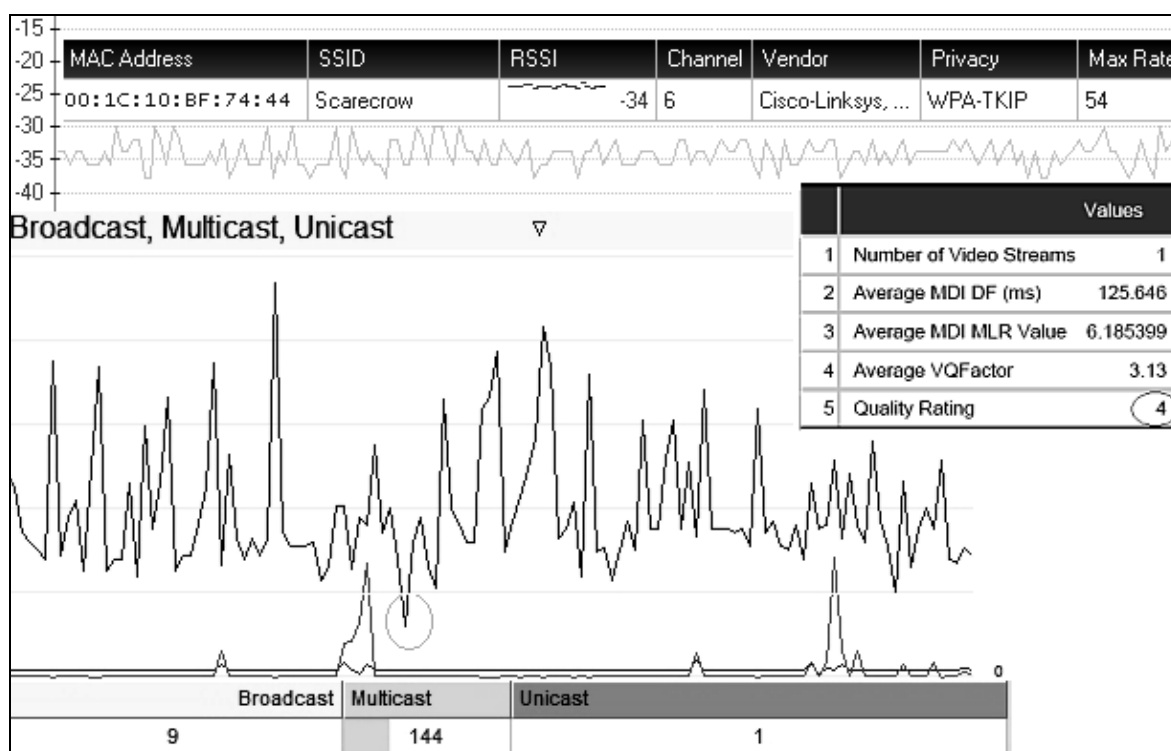
4. ábra  
Continuity Counter (CC) hiba

### 33 (MP2T) Video Quality Overview

		Values
1	Number of Video Streams	1
2	Average MDI DF (ms)	96.991
3	Average MDI MLR Value	9.917308
4	Average VQFactor	2.92
5	Quality Rating	3

#### 2.4. Kettes számú tesztpont

A kettes számú végpont az adótól 2 méter távolságban helyezkedett el tiszta rálátással, és az alábbi jel-szintet mértük rajta (5. ábra):



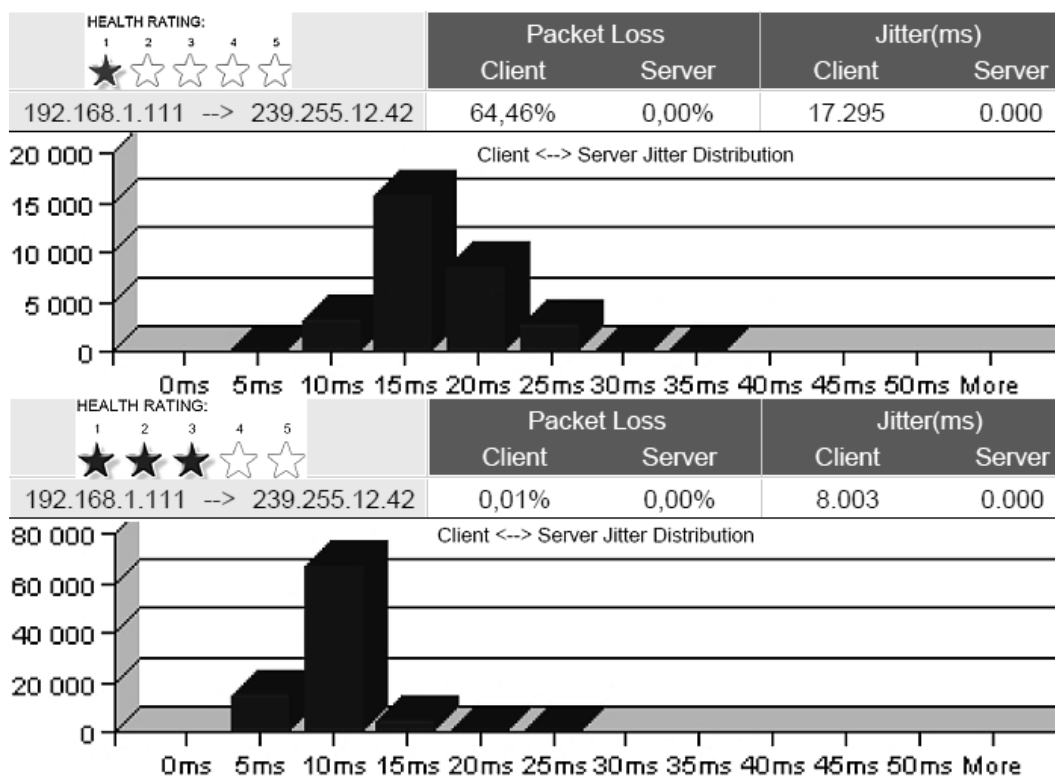
5. ábra  
2. Tesztpont RSSI

Az ábrán látható, hogy a multicast csomagok – tehát az adatfolyam – vonatkozásában csak egyszer estünk a kritikus érték alá, amelyet a grafikon alsó harmadában lévő fehér vonal jelöl. Ez a kritikus érték egy szubjektív megállapítás, és saját megfigyelésen alapszik. Méréseink során azt tapasztaltuk, hogy amikor a multicast csomagok száma ezt a szubjektív alsó határt eléri vagy átlépi, akkor történik blokkosodás az adásban. Természetesen az adótávolság csökkenésével párhuzamosan az RSSI értéke jelentősen javult, és csak egyetlen esetben történt blokkosodás. Megállapítható, hogy mind a paraméterek tekintetében, mind pedig a *quality rating* tekintetében javulás figyelhető meg az előző méréshez képest.

#### 2.5. QoS teszt

A Quality of Service opciók [5] ki- illetve bekapcsolásával is végeztünk különböző méréseket, így egyértelműen látható, hogy ezen beállítások mennyire fontosak a médiaátvitel számára. Ugyanazon jelerősség mellett a következőképpen alakulnak a minőségi paraméterek a QoS beállítások meglétének függvényében (6. ábra):



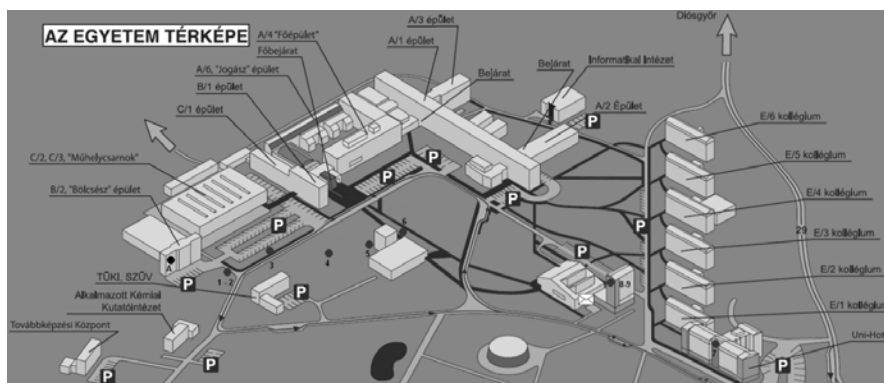


6. ábra  
Médiaátvitel QoS nélkül és QoS-sel

### 3. VEZETÉK NÉLKÜLI IPTV MÉRÉSEK TEREPEN, FÉLPROFESSZIONÁLIS ESZKÖZKEL

A Miskolci Egyetem Automatizálási és Kommunikáció-technológiai tanszékének tulajdonában lévő CableWorld digitális műsorszóró fejállomás és Ubiquiti félprofesszionális vezeték nélküli eszközök lehetőséget adtak egy, az előző méréshez hasonló, ám komolyabb terepi-távolsági mérésorozat lefolytatására.

A mérőprogramok validálása laborkörülmények között megtörtént, így a terepi méréseket már ezen információk birtokában kezdtük meg. Adóeszközeink használatakor azonban egy nem várt problémába ütköztünk, mivel a szóráshoz használt adóeszköz bizonyos firmware verziók esetében nem megfelelően támogatta a multicast-os adatfolyamot, ami a Wireshark programmal való folyamatos monitorozásunk során (illetve az adatsebességek nem várt változása kapcsán) vált egyértelművé. A csomagok a multicast-os 1.0.5e.x.x.x. MAC cím helyett, hibásan a céleszköz MAC címét tartalmazták. Ezen problémát azonban megfelelő firmware alkalmazásával, és mélyebb szintű egyedi eszközbeállításokkal sikerült orvosolnunk. Ezt követően körülbelül 10 ponton történt mérés. A mérési pontok helye a következő (7.) ábrán, az eredménye pedig az azt követő táblázatokban látható.



7. ábra  
Egyetemi mérési pontok

A térképen az „A”-val jelölt pont a szerver és az adó helyét mutatja. Számozott pontokkal jelöltük továbbá a mérési helyeket. A mérési helyszínek egy részéről Wireshark-kal elfogott csomagok álltak rendelkezésre az analízishez. Az alábbi (2.) táblázat tartalmazza a csomagokból visszafejtett adatokat, illetve a valós idejű mérési adatokat:

*A vett csomagokból visszafejtett adatok. 2. táblázat*

	Laboron belüli (A)	(5)	(6)	(8)	(9)
Távolság az adótól (m)	15	250	320	700	750
Jelszint (dB)	-27	-60	-61	-63	-65
IP multicast frames	157914	157073	333821	28510	121636
Transaction Throughput (kbps)	14305.342	27495.434	27963.721	14453.061	15484.450
Avg Packet Size	1362	1362	1362	1362	1362
Codec	33 (MP2T)	33 (MP2T)	33 (MP2T)	33 (MP2T)	33 (MP2T)
Mpeg-2 I Frames	501	502	1052	89	354
Percentage	8.35	8.34	8.3	8.26	8.27
Mean size	62468	28012	31101	63134	60970
Mpeg-2 P Frames	1500	1506	3175	270	1070
Percentage	25.0	25.0	25.06	25.06	25.0
Mean size	29865	31963	31260	31075	33504
Mpeg-2 B Frames	3999	4008	8440	718	2855
Percentage	66.65	66.62	66.62	66.66	66.72
Mean size	24208	29150	29519	23911	27260
Continuity count error	228	238	75	143	139
Max interval (ms)	127.712	355.868	235.750	13.736	3532.730
Mean interval (ms)	0.610	7.489	0.443	0.790	0.702
Min interval (ms)	0.001	0.001	0.002	0.003	0.001
Max latency (ms)	126.942	355.463	12.792	12.993	12.900
Max VQFactor	4.63	4.63	4.63	4.63	4.63
Mean VQFactor	4.55	4.1002	3.60	4.1008	4.00
Max jitter (ms)	9.333	23.808	0.920	1.037	9.423
Mean jitter (ms)	0.560	0.867	0.097	0.197	0.497
Max MDI DF(ms)	710.483	435.645	244.160	102.904	6724.464
Mean MDI DF(ms)	43.894	33.835	9.681	21.033	589.463
Min MDI DF(ms)	0.724	0.776	7.052	2.071	55.196
MDI MLR	13.768087	113.181568	201.895568	14.330504	24.768335

A további helyszíneken tesztelés céljára rögzített transport stream-ből dolgoztunk. Így kevesebb egzakt adat nyerhető vissza mint a csomagokból, ezért a 3. táblázatba a kinyert adatok mellett az általunk definiált szubjektív értékelést is felvittük.

*Szubjektív értékelés. 3. táblázat*

	Távolság az adótól (m)	Speciális körülmény	Jelszint (dB)	Szubjektív képminőség	Avg audio/video MOS	Avg video bandwidth (mbit/s)	Avg GOP lenth	Max PCR jitter
1.	50	~	-49	ritkán kockásodik	4,31	6,58	12	19,56
2.	50	fa mögül	-61	kockásodik, szaggat	3,08	4,95	10	170,44
3.	100	parkoló, autók között	-65	nézhető, hang akadozik	4,29	6,25	13	22,88
4.	180	fém emlékmű előtt	-53	nézhető	4,31	6,48	14	22,19
5.	250	kövek takarnak	-59	néha szaggat, nézhető	4,12	6,64	17	18,31
6.	320	fák takarnak	-67	kockásodik	3,89	6,28	14	92,31
7.	900	5 emelet magasan	-67	néha szaggat, nézhető	4,04	4,69	15	36,68

Konklúzióként megállapítható, hogy kisebb teljesítményű és átlag-felhasználói hálózati elemekből is kialakítható viszonylag stabilan működő multicast-alapú vezeték nélküli IPTV hálózat. Ez a hálózat azonban nagyon érzékeny a különböző árnyékoló akadályokra, távolságra és a hálózati eszközök minőségére, beállításaira. Különböző QoS beállítások viszont sokat javítanak a kapcsolat minőségén. Jellemzően, tiszta rálátással 1-2 MPEG-2 kódolású SD minőségű csatorna vihető át hibamentesen e körülmények között, amely szám félprofesszionális eszközök használatával (egy adóval) 5-6-ra nő (természetesen MPEG-4 kódolás esetén a csatornaszám mindkét maximális értéke sokkal nagyobb, akár kétszeres is lehet).

#### 4. MÉRÉSEK A HFC RÁDIÓFREKVENCIÁS ÉS IP RÉTEGÉBEN

Munkánk során lehetőségünk nyílt egy meg nem nevezett magyarországi szolgáltató DOCSIS 3-as HFC hálózaton működtetett IP televíziós rendszerének megtekintésére. Ekkor felmerült, hogy a vezeték nélküli IPTV-s átvitel mellett célszerű lenne egy más jellegű, hibrid átviteli technológiát alkalmazó hálózaton is méréseket végezni fejállomás és végpont tekintetében is. Ennek kapcsán engedélyt kértünk egy regionális fejállomás megtekintésére, és ott néhány mérési feladat elvégzésére a rádiófrekvenciás és az IP rétegben egyaránt. E mérések eredményeit, és folyamatát ismertetjük cikkünk ezen részben. Kitérünk a HFC feletti IPTV továbbítás szempontjából kritikus spektrális és konstellációs jellemzők vizsgálatára, valamint szimuláljuk és teszteljük, hogy egyes RF és DOCSIS átviteli paraméterek romlása milyen hatással van az IPTV minőségére. Bemutatjuk a rendszer alapvető mérési módszereit, mérőeszközeit valamint a legfontosabb mérhető paramétereket.

##### 4.1. A fejállomás rendszertechnikája

A mérések megértéséhez elengedhetetlen egy rövid bevezető a fejállomás és a HFC rendszertechnikájáról illetően. A bejövő jel trónkhálózaton érkezik az optikai fogadókártyákkal ellátott Cisco 7604 receiver routerbe (OSR), majd szintén optikán megy tovább a Cisco uBR 10012 CMTS-ek (Cable Modem Termination System) felé, melyek a teljes EuroDocusis 3.0-as előre- és vissz irányú működését irányítják. Az RF átalakítást a Cisco RFGW-1 végzi, a Time Creator pedig az időrések szinkronban tartásáért felel. A *kipatchelt* koax kábelek a fejállomási rendezőkbe érkeznek, ahol szegmentálás és moduláció után ismét optikai jelként táplálják a 2-10 km távolságban lévő optikai vevőket (ONU). [6]

##### 4.2. Mérések a bejövő (IP) vonalon

Elsőként az optikán bejövő adás minőségét vizsgáltuk. Ezt a mérést a 7604-es OSR-re helyezett iTVSense MiniProbe M-170 speciális IPTV monitorozó eszközzel végeztük. Az adás szinte tökéletes minőségűnek bizonyult. A vesztett és duplikált RTP csomagok száma végig konstans 0 volt, illetve egy CC hiba sem keletkezett, valamint a PCR (Program Clock Reference) jitter is tökéletes értéket mutatott (<40ms). A méréseket a délelőtti órában végeztük, de főműsoridőben nagyobb terheltség alatt sem észlelhető hiba, azonban a CMTS-en a megnövekvő terhelés hatására vesztett RTP csomagok és CC hibák jelentkeztek. Ezt a CMTS firmware-ének hibája okozza, mely nem optimálisan kezeli a terheléselosztást (Load Balancing), és ezáltal túlterhelik a processzort. Jelenleg is folynak a hiba kiküszöbölésére irányuló szegmentációs munkálatok.

##### 4.3. Mérések az előreirányú (DS) és vissz irányú (US) RF síkon

Miután a bejövő adatfolyam minőségét ellenőriztük, a kimenő rádiófrekvenciás mérések következtek. Ezeket a méréseket a Sunrise Telecom AT1601M típusú monitoring egységeivel végeztük. Ezek már előre beszerelve és konfigurálva rendelkezésre álltak.

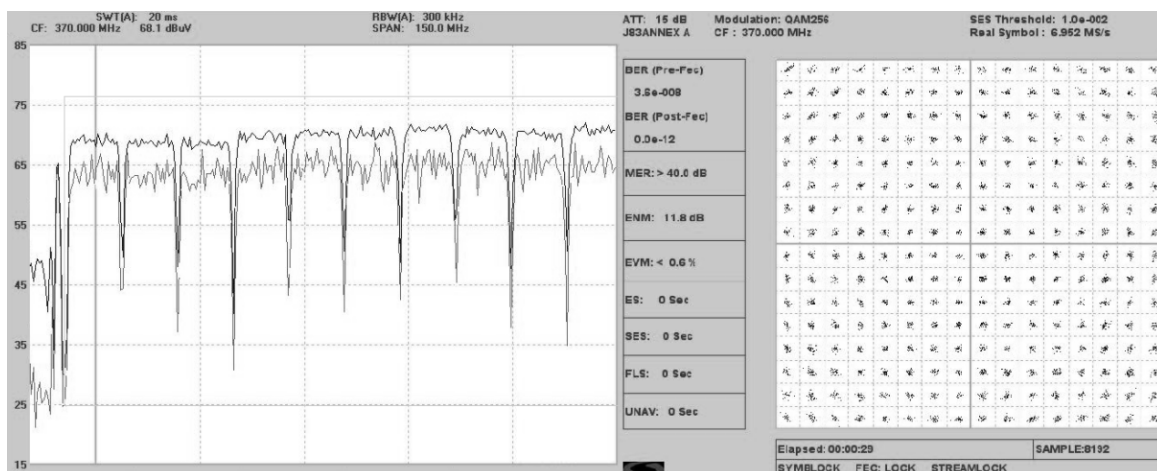
Az eszköz monitorozó felülete a WinRemote II licencelt programmal és web-böngészőből is elérhető. Ezekkel különböző előreirányú (DS) és vissz irányú (US) spektrális méréseket illetve konstellációs vizsgálatokat végeztünk több ONU-n (Optical Node Unit) is.

A 8. ábrán az ONU modemekkel való előreirányú kommunikációja látható 370MHz-en. Internetes kommunikációra a rendszer a 370, 378, 386, 394 MHz-es frekvenciákat használja, melyből a 370 MHz a vevőfrekvencia.

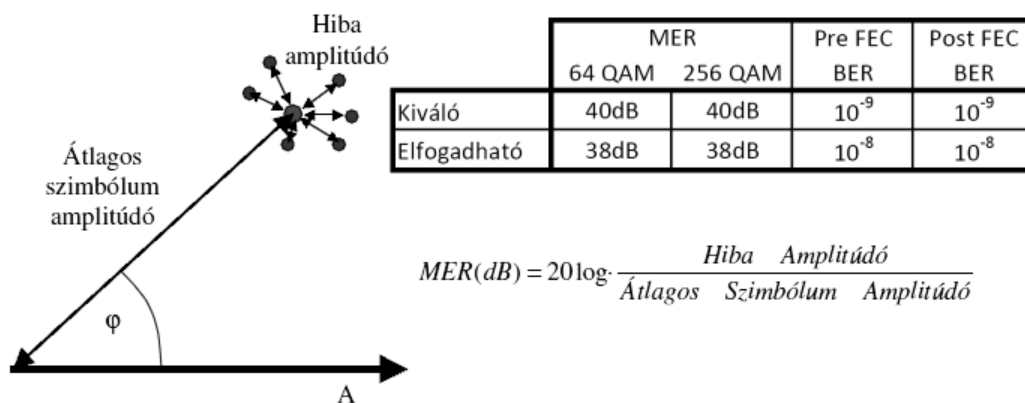
A frekvenciatartomány nem képes fázisinformációk visszaadására, ezért egy egyszerű spektrumképpel nem kapunk értékelhető információt a vivő amplitúdójáról és fázishelyzetéről. Ezt az információt az ún. „konstellációs” méréssel vizsgáltuk meg. Látható, hogy a vivőfrekvencia QAM256-tal van modulálva.

A digitális előreirány mélyrehatóbb vizsgálatára a MER (modulációs hibaarány) és BER (bit hibaarány) mutatókat használtuk [7]. A modulációs hibaarány az egyes szimbólumok (amplitúdó- és fázishelyzet) eltéréseit mutatja az ideális helyzettől (9. ábra). Minél nagyobb az eltérés, annál biztosabb, hogy hibásan detektálja a

vevő a digitális szimbólumot. A MER, vagy másként a „digitális jel-zaj viszony” sokkal informatívabb mutató a bithiba arányánál.



8. ábra  
DS 370MHz

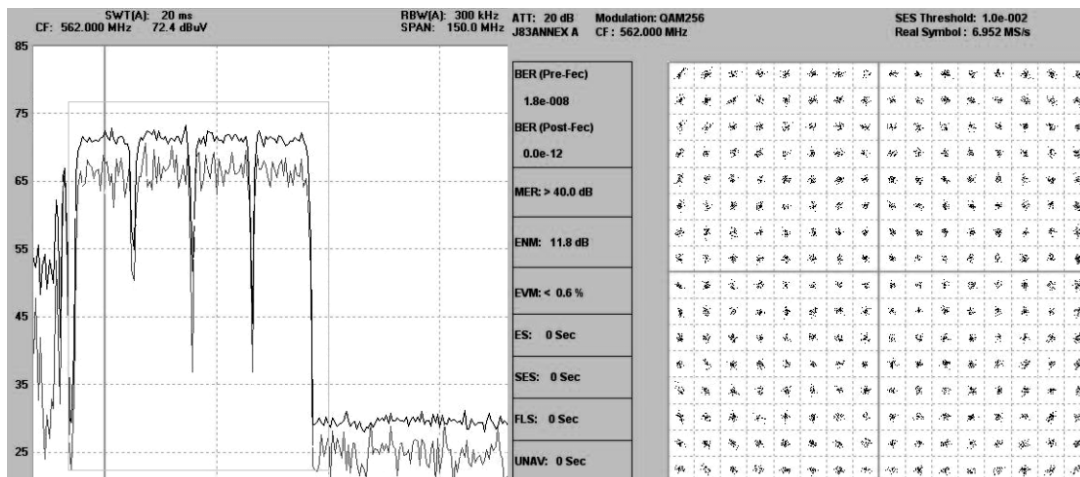


9. ábra  
MER értelmezése

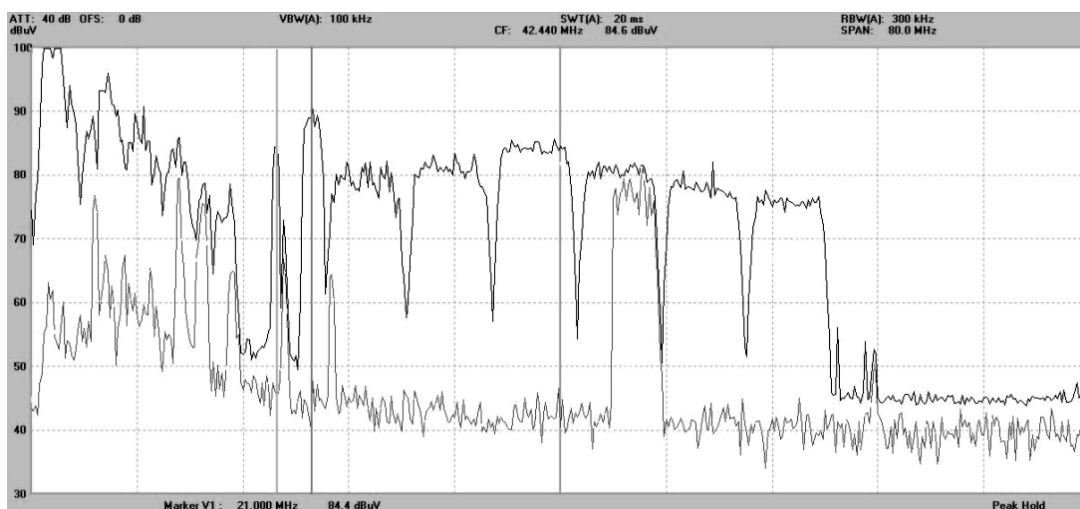
A BER a QAM szimbólumokból visszaállított és hibajavított bitsorozatban előforduló hibákat számolja. Értéke egyre romló jel-zaj viszonyok mellett is viszonylag stabilan jó, egészen addig, amíg a detektált szimbólumokból a megnövekvő zaj miatt már nem lehet helyreállítani a bitsorozatot és összeomlászerűen bekövetkezik az átvitel megszakadása. A modulációs hibaarányon ezzel szemben folyamatosan tükröződnek a QAM jelben végbemenő torzulások. A digitális adatátvitel esetében (ONU-nál) az elfogadható határértékeket a 9. ábra táblázata mutatja. A mért adatok közül a MER értéke tökéletes, a BER értéke is a még elfogadható tartományba esik. A konstellációs diagramon sem láthatóak súlyos hibák.

A következő mérés az IPTV vezérfrekvenciájára irányult, amely DS 562MHz-en van. Az IPTV-s adatfolyam átvitelére a rendszer az 562, 570, 578, 586MHz-es frekvenciákat használja. Az alábbi (10. ábrán) a mért spektrumkép, a konstellációs diagram, és a hibaarányos jellemzők láthatóak.

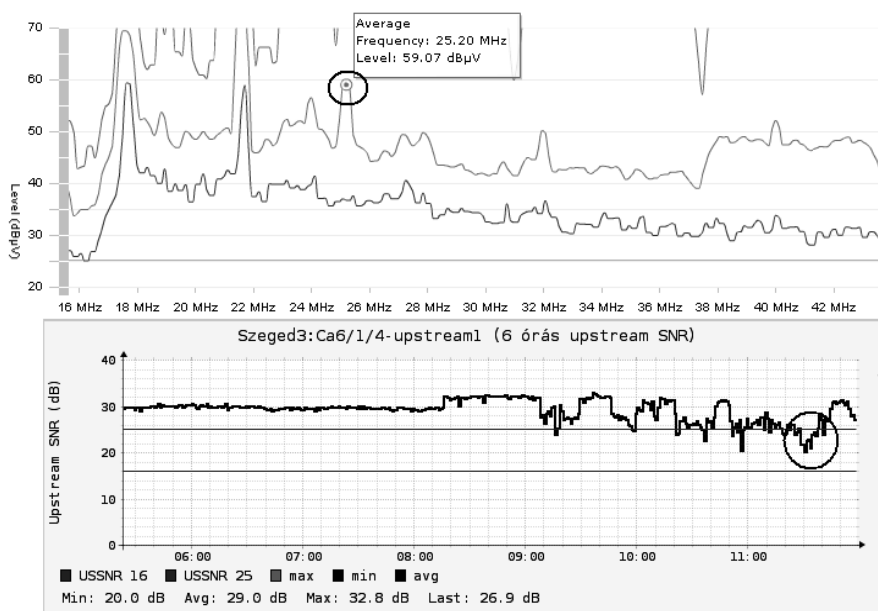
A hálózaton visszirányú méréseket is végeztünk. A spektrumanalizátor maximum tartás üzemmódjában megkereshetjük a zajbeszivárgásokat és meghatározhatjuk a visszirányú csatorna sáv szélességét is. A kábelmodemek adásának jelszintjét és jel-zaj viszonyát ún. zero-span üzemmódban lehet megmérni. Itt gyakorlatilag csak egy frekvencián, az idő függvényében mértünk. A 11. ábrán a modemek visszirányú kommunikációjának spektrális képe látható. A sáv alján egyrészt egy minimális ingress (bejövő) zaj látható, amely még normál tartományúnak mondható. Ilyen mértékű ingress zajt egy sérült árnyékolású kábel vagy egy korrodálódott csatlakozó is okozhat. A 21 és 25 MHz körüli „tűskék” azonban jelentős SNR romlást okoznak a visszirányú csomagokban, ezt a jelenséget sikerült méréssel is bizonyítani. Ezt a 12. ábra szemlélteti.



10. ábra  
DS 562MHz



11. ábra  
US 42.440MHz tükével



12. ábra  
US-SNR romlás

## KONKLÚZIÓ

A vezeték nélküli IPTV műsorszórás általunk összeállított lehetséges rendszerével kapcsolatban konklúzióként megállapítható, hogy kisebb teljesítményű és átlag-felhasználói hálózati elemekből is kialakítható viszonylag stabilan működő multicast-alapú vezeték nélküli IPTV hálózat. Ez a hálózat azonban vezeték nélküli voltából adódóan nagyon érzékeny a különböző árnyékoló akadályokra, távolságra és a hálózati eszközök minőségére, beállításaira. Különböző QoS beállítások viszont sokat javítanak a kapcsolat minőségén. Továbbfejlesztési lehetőséget képvisel például a vezeték nélküli közegre optimalizált digitális televíziós adatfolyamok alkalmazása, mely a sávzélességigényt csökkenti, ezt pedig fel lehet használni a kapcsolat megbízhatóságának további javítására is. Rendszerünkben jelenleg tiszta rálátással 1-2 MPEG-2 kódolású SD minőségű csatorna vihető át hibamentesen egy 20 megahertzes frekvenciatartományon, amely csatornaszám félprofesszionális eszközök használatával 5-6-ra nő, illetve szélesebb frekvenciatartomány (akár több adóeszköz általi) használata esetén ennek megfelelően nő a továbbítható csatornák száma. Ezen adatok MPEG-2 kódolás esetén értendők, MPEG-4 kódolás alkalmazása esetén a továbbítható csatornaszám emiatt is másfélszeresére nő.

A HFC hálózat feletti méréseink konklúziójaként kimondható, hogy hasonlóan a vezeték nélküli IPTV szórásnál tapasztaltakhoz, ez esetben is a hozzáférési közeg rádiófrekvenciás része a hálózat szempontjából leginkább kritikus szegmens. A rádiófrekvencia nagy „ellensége” a zaj és az interferencia. Méréseink során az adás egészen a felhasználó modeméig rádiófrekvencián továbbítódik codeword-ok formájában, így nagy hangsúlyt kell fektetni mind a szerver oldali, mind a kliens oldali zajosodás elkerülésére, és az elvesztett kódszavak pótlására vagy esetleges javítására. A szolgáltató által IPTV továbbítására használt magas előreirányú frekvenciatartomány valamint a QAM 256 moduláció nagy hibaturéssal bírnak. Előremutató hibajavítással pedig 3bit hiba javítható egy 32bit-es kódszóban. Az IP réteg belüli hibák az RTP protokollnak köszönhetően viszonylag jól detektálhatók, továbbá a SetTopBox beépített logikájának és a hálózatban lévő cache szervereknek (Dserver) köszönhetően pótolhatóak. A mérés során feltárt terheléelosztási hiba egy kritikus pontja volt a rendszernek, ám ezt kijavították, és a méréseink bizonyították, hogy a hiba teljes mértékben elhárult.

A HFC megoldás így messzemenően stabilabb adást és akár 100 SD minőségű valamint 50 HD minőségű csatorna továbbítását is lehetővé teszi, viszont egy nagy lefedettségű és stabil hálózat kiépítésének költsége milliárdos nagyságrendet is elérhet. Ezzel szemben a vezeték nélküli mód költségghatékonyabb lehet olyan helyeken, ahol nincs kiépített hálózat (akár gerinchálózat kiépítése is elképzelhető vezeték nélküli átlövessel) illetve ahol a mobilitás az elsődleges szempont.

## IRODALOM

- [1] Tomato firmware magyarul  
[http://hu.wikibooks.org/wiki/Tomato\\_firmware\\_magyarul#Wireless\\_3](http://hu.wikibooks.org/wiki/Tomato_firmware_magyarul#Wireless_3)
- [2] WildPackets - Converting Signal Strength Percentage to dBm Values  
[http://www.wildpackets.com/elements/whitepapers/Converting\\_Signal\\_Strength.pdf](http://www.wildpackets.com/elements/whitepapers/Converting_Signal_Strength.pdf)
- [3] Agilent Technologies - "IPTV QoE: Understanding and interpreting MDI values", Whitepaper  
<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-5088EN.pdf>
- [4] Walter Fischer, Digital Video and Audio Broadcasting Technology - A Practical Guide for Engineers, 2d ed. Berlin: Springer, 2010, pp. 80.
- [5] Dongyu Qiu, "On the QoS of IPTV and Its Effects on Home Networks"  
International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, vol. 2010, Article ID 253495, May. 2010.
- [6] Magyar Telekom belső műszaki dokumentációk
- [7] Sunrise Telecom DOCSIS seminars  
<http://docsis.beckitru.com/seminars/>
- [8] Roland Kilik, Kane Amadou: Wireless IPTV in practice  
ICCC Carpathian Control Conference (IEEE), Velke Karlovice, May 25-28.,2011.

# Kopás numerikus vizsgálata

## Numerical investigation of the wear

### Analiza numerică a uzurii

DR. PÁCZELT István prof. emeritus

Miskolci Egyetem  
H-3515 Miskolc-Egyetemváros,  
+36-30-269-5189, paczelt@freemail.hu

#### ABSTRACT

*For working regime it is important to know the wear process. The wear process in the time may be reached by time integration of the wear rule. Another way to get directly the contact pressure is using the adequate variational method. The paper demonstrates one example for reciprocal punch sliding with or without heat generation. The temperature field gives an important influence on the wear shape.*

#### ÖSSZEFOGLALÓ

*Gépek üzemeltetésénél fontos a kopás időbeli lefutásának ismerete. A kopás időbeli lefutását a kopási törvény időbeli integrálásával kaphatjuk meg. Egy másik lehetséges út, megfelelő variációs elv segítségével közvetlenül megkapni az érintkezési nyomás függvényt, majd annak ismeretében a kopott alakot. Egyszerű periodikus mozgású bélyeg példáján keresztül mutatjuk be a javasolt módszer hatékonyságát abban az esetben, amikor a súrlódási hőveszteségből keletkező hőmérséklet mező hatása számottevő a kopott alakra.*

**Kulcsszavak:** kopás, érintkezési feladat, kopási törvény numerikus integrálása, hőhatás

#### 1. BEVEZETÉS

A gépek működésénél számos elem egymáshoz képest elcsúszik, elmozdul, érintkezési felületeik mentén a súrlódás hatása miatt hő fejlődik, továbbá anyagrészek válnak le, azaz kopás lép fel. A levált, lekopott anyag következtében a kezdetileg kialakított felületek formája megváltozik, amely sok esetben a testek feszültségi állapotának lényeges változásához vezethet a kopás mértékétől függően. A várható alak gyors meghatározása fontos a gép üzemeltető számára, a tervezőnek pedig lehetőséget ad a várható élettartam becslésére.

A kopás folyamatának numerikus szimulálása hagyományos úton, a kopási törvény időintegrálásával nagy számítógépi időt követelő folyamat. Jelen munka arra kíván válaszolni, lehet-e más módon, valamilyen variáció elv felhasználásával, közvetlenül meghatározni az ún. állandósult kopási állapothoz tartozó érintkezési nyomást és az alkatrészek közötti csúszás miatt a Coulomb-féle törvény értelmében az érintőleges feszültséget. Látni fogjuk, hogy erre valóban van lehetőség. A feladatkör az érintkezési problémákon belül az optimalizáláshoz, a kopási folyamatok vizsgálatához tartozik. Érintkezési optimalizációs feladatokat foglalja össze Haslinger és Neittanmaki matematikai igényességgel tárgyalt könyve [1], Hilding és társainak [2] áttekintő cikke, Páczelt [3], Páczelt és Baksa [4] különféle optimalizációs feladatok megoldását elemző munkái. A kopási folyamatok elemzését a peremérték feladatok pontos megoldásaival Goryacheva és Dobuchin [5] foglalja össze korábbi könyvében ill. Soldatenkov [6] könyve jelent fontos forrást a téma iránt érdeklődőknek. Érintkezési feladatokkal foglalkozó nagyszámú munka közül a numerikus technikát is alkalmazó Johnson [7], Kalker [8], Laursen [9] és Wriggers [10] által írt könyvek emelendők ki.

Jelen tanulmány 2. fejezete az érintkezési feltételekkel, a relatív sebesség definíciójával, az alkalmazott módosított Archard törvénnyel [11] foglalkozik, ill. az állandósult kopáshoz tartozó nyomás levezetésre is sor kerül, a forgástestek vonatkozásában is megadva az összefüggést. Ezek után kerül sor a 3. fejezetben a periodikus mozgásnál fellépő kopások vizsgálatára síkbeli feladatnál. A 4. fejezet a hőfejlődés problémakörét érinti röviden, majd az 5. fejezetben egy kopási példát mutatok be, hőfejlődés nélküli és hőfejlődési esetben.

## 2. KOPÁSI TÖRVÉNY, ÉRINTKEZÉSI NYOMÁS ÁLLANDÓSULT KOPÁS ESETÉN

Vizsgálatainkban az érintkezési felület normálisának irányába eső, lekopott réteg változásának sebességét modifikált Archard féle törvénnyel írjuk le.

$$\dot{w}_{i,n} = \beta_i (\tau_n)^{b_i} \|\dot{\mathbf{u}}_\tau\|^{a_i} = \beta_i (\mu p_n)^{b_i} \|\dot{\mathbf{u}}_\tau\|^{a_i} = \beta_i (\mu p_n)^{b_i} v_r^{a_i} = \tilde{\beta}_i p_n^{b_i} v_r^{a_i}, \quad i=1,2 \quad (1)$$

ahol kísérletekből nyert kopási anyagállandók  $\beta_i, a_i, b_i$  a kopási sebességet jellemzik,  $\tilde{\beta}_i = \beta_i \mu^{b_i}$ ,  $p_n, \tau_n$  - az érintkezési nyomást és az érintőleges feszültséget (Coulomb-féle törvény által meghatározott) jelöli,  $\mu$  - a súrlódási tényező az elcsúszási irányban,  $v_r = \|\dot{\mathbf{u}}_\tau\|$  - a két test közötti relatív sebesség [12]. Általános esetben a kopást kopási vektorral jellemezhetjük. A kopási vektort az érintkező testek közötti relatív merevtestszerű mozgás határozza meg [14-15].

Az 1a. ábra egy ék alakú bélyeg és az alatta  $v_r$  sebességgel mozgó végtelen sáv esetén mutatja be a kopási vektort. Mivel a bélyeg a kopás folyamán merevtestszerűen csak függőlegesen tud elmozdulni, a kopási vektor függőleges lesz.

A rugalmas kicsiny alakváltozás és kopás mértéke miatt a  $v_r$  relatív sebességet a testek közötti merevtestszerű mozgásból adódó, az érintősíkba eső sebesség fogja szolgáltatni, ami azt jelenti, hogy ez a sebesség előzetesen, a peremérték feladat megoldása nélkül már ismert.

A [12-16] munkában igazolt, hogy állandó terhelés, sebesség esetén bizonyos kezdeti idő eltelte után egy állandósult kopási állapot lép fel, abban az esetben, ha az érintkezési tartomány terjedelme közben nem változik. Változó tartománynál ún. kvázi állandósult állapot érhető el.

A kopási vektort az érintkező testek közötti relatív merevtestszerű mozgás határozza meg. A kopási vektor  $\dot{\mathbf{w}}_R$  a felület transzformálását és lekopott anyag tangenciális irányú mozgását jellemzi.

A  $B_1$  és a  $B_2$  test közötti érintkezési feszültséget a következő összefüggés írja le

$$\mathbf{t}^c = \mathbf{t}_1^c = -\mathbf{t}_2^c = -p_n \boldsymbol{\rho}_c^\pm, \quad \boldsymbol{\rho}_c^\pm = \mathbf{n}_c \pm \mu \mathbf{e}_{\tau 1} - \mu_d \mathbf{e}_{\tau 2} \quad (2)$$

ahol  $\boldsymbol{\rho}_c^\pm$  a  $\mathbf{t}^c$  érintkezési feszültséget jellemzi a  $p_n$  érintkezési nyomáson és a csúszási főirányhoz tartozó  $\mu$  súrlódási és  $\mu_d$  keresztirányú súrlódási tényezőn keresztül. A + előjel az (2)-ben ahhoz az esethez tartozik, amikor a relatív sebesség  $\dot{\mathbf{u}}_\tau = \dot{\mathbf{u}}_\tau^{(2)} - \dot{\mathbf{u}}_\tau^{(1)} = -\|\dot{\mathbf{u}}_\tau\| \mathbf{e}_{\tau 1} = -v_r \mathbf{e}_{\tau 1}$ , és a  $B_1$  testre a csúsztatófeszültség a  $-\mathbf{e}_{\tau 1}$  irányba fog hatni. Itt  $\dot{\mathbf{u}}_\tau^{(i)}$ ,  $i=1,2$  az  $i$ -dik test érintkezési felületén fellépő érintősíkba eső sebességet jelöli.

Azonos irányítottság alapvető szabálya alapján [14,15] a kopási vektor sebessége  $\dot{\mathbf{w}}_R$  párhuzamos a merevtestszerű kopási sebességgel

$$\dot{\mathbf{w}}_R = \dot{w}_R \mathbf{e}_R, \quad \mathbf{e}_R = \frac{\dot{\boldsymbol{\lambda}}_R}{\|\dot{\boldsymbol{\lambda}}_R\|} = \frac{\dot{\boldsymbol{\lambda}}_F + \dot{\boldsymbol{\lambda}}_M \times \Delta \mathbf{r}}{\|\dot{\boldsymbol{\lambda}}_F + \dot{\boldsymbol{\lambda}}_M \times \Delta \mathbf{r}\|}, \quad (3)$$

ahol  $\dot{\boldsymbol{\lambda}}_F$  és  $\dot{\boldsymbol{\lambda}}_M$  - kopás által keletkezett merevtestszerű eltolódás és forgás sebessége,  $\Delta \mathbf{r} - C_0$  ponthoz viszonyított helyvektor. Az 1b. ábra alapján

$$\dot{w}_n = \dot{w}_R \cos \chi, \quad \dot{w}_\tau = \dot{w}_R \tan \chi. \quad (4)$$

Vezessük be az alábbi általánosított kopási disszipációt

$$D_w^{(q)} = \sum_{i=1}^2 \left( \int_{S_c} (\mathbf{p}_i \cdot \dot{\mathbf{w}}_i)^q dS \right)^{1/q} = \sum_{i=1}^2 C_i^{1/q} \quad (5)$$

ahol  $q$  paraméter, általában  $q \geq 0$ . A  $p_n(\mathbf{x})$  érintkezési nyomással és a  $\tau_n = \mu p_n(\mathbf{x})$  csúsztató feszültséggel a  $B_1$  testre vonatkozó egyensúlyi egyenletek az alábbiak



$$\mathbf{f} = - \int_{S_c} \rho_c^\pm p_n dS + \mathbf{f}_0 = \mathbf{0}, \mathbf{m} = - \int_{S_c} \Delta \mathbf{r} \times \rho_c^\pm p_n dS + \mathbf{m}_0 = \mathbf{0}. \quad (6)$$

A  $b = b_1 = b_2$  mellett a Lagrange-funkciónál

$$L_{D_w}^{(q)} = L_{D_w}^{(q)}(p_n, \dot{\lambda}_F, \dot{\lambda}_M) = D_w^{(q)}(p_n) + (b+1)(\dot{\lambda}_F \cdot \mathbf{f} + \dot{\lambda}_M \cdot \mathbf{m}), \quad (7)$$

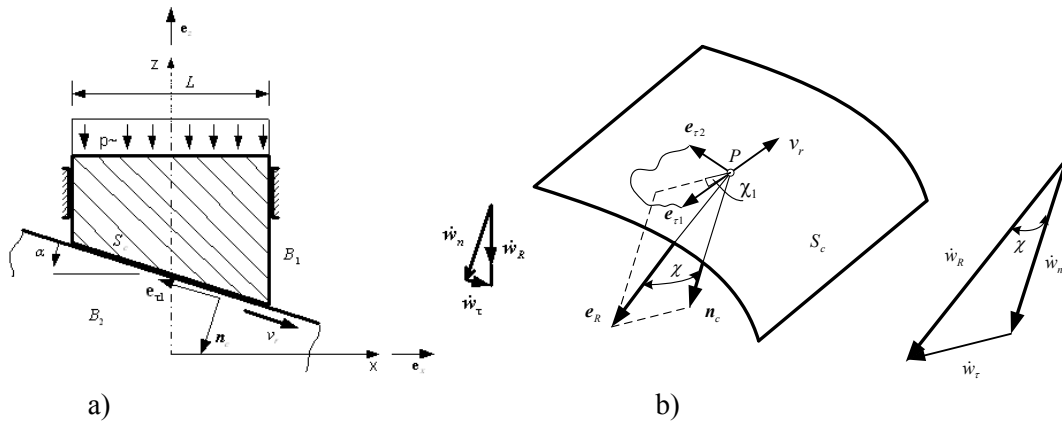
aminek stacionér helyzete az alábbi nyomást adja

$$p_n = \left( \frac{\dot{\lambda}_F \cdot \rho_c^\pm + (\dot{\lambda}_M \times \Delta \mathbf{r}) \cdot \rho_c^\pm}{\left[ (\tilde{\beta}_1 v_r^{a_1})^q C_1^{\frac{1-q}{q}} + (\tilde{\beta}_2 v_r^{a_2})^q C_2^{\frac{1-q}{q}} \right]} \cdot (1 \mp \mu \tan \chi \cos \chi_1 - \mu_d \tan \chi \sin \chi_1)^{-q} \right)^{\frac{1}{(b+1)q-1}}. \quad (8)$$

Itt  $\chi$  az  $\mathbf{n}_c$  és  $\mathbf{e}_R$  vektorok, továbbá  $\chi_1$  az  $\mathbf{n}_c$   $\mathbf{e}_R$  sík és a  $\mathbf{e}_{r1}$  közötti szögnek felel meg. A kapott nemlineáris egyenletrendszer Newton-Raphson módszerrel oldhatjuk meg. A minimalizálás  $q=1$  mellett az állandósult kopásnál jelentkező nyomást szolgáltatja teljesen tetszőleges geometriájú érintkezési felületek esetén. Könnyen belátható, hogy

$$\tilde{\lambda}_{F,M} = \frac{\dot{\lambda}_{F,M}}{\sum_{i=1}^2 \tilde{\beta}_i v_r^{a_i}}$$

bevezetésével a (6) és (8)-at együttesen szemlélve, nyilvánvalóvá válik, hogy a nyomás nem függ a  $K = \sum_{i=1}^2 \tilde{\beta}_i v_r^{a_i}$  értékétől.



1. ábra

- a) A kopási sebesség vektor  $\dot{\mathbf{w}}_R = \dot{\mathbf{w}}_n + \dot{\mathbf{w}}_\tau$  ék alakú bélyeg és egy sáv érintkezési-kopási feladatánál,  
 b) Az  $S_c$  felületen értelmezett koordináta-rendszer, kopási sebességek, azonos irányítottság elve a  $\dot{\mathbf{w}}_R$  és az  $\mathbf{e}_R$  vektorokkal.

A (8)-ből könnyen levezethető a forgástestekre vonatkozó optimális nyomás [16]  $p_n = \frac{F_0}{I_{D_w}^{(q=1)}} (\cos \chi)^{\frac{1}{b}} r^{\frac{a}{b}}$ ,

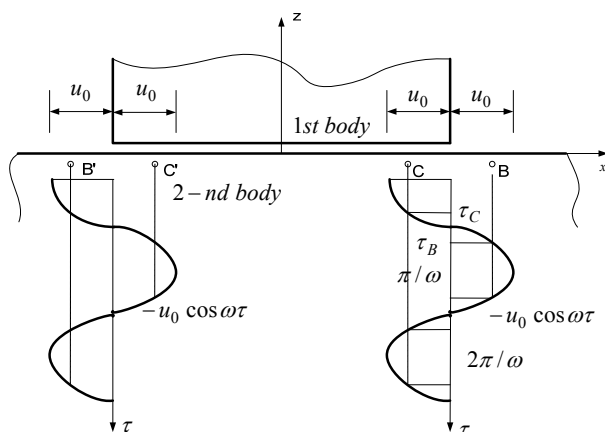
ahol  $F_0$  a külső terhelés függőleges eredője,  $I_{D_w}^{(q=1)}$  az érintkezési tartomány geometriájától függő integrál. A meridián geometriája erőteljesen befolyásolja a nyomás megoszlását, mivel az  $I_{D_w}^{(q=1)}$  is függ az  $\chi$  szögtől. Ebben az esetben a relatív sebesség az érintkezési tartományon  $v_r = r\omega$ , ahol  $r, \omega$  a sugár és a szögsebesség.

### 3. ÁLLANDÓSULT ÁLLAPOT PERIODIKUS MOZGÁSNA

Vizsgáljuk most az érintkezési problémát periodikus mozgás esetén, amikor a relatív elmozdulás, a feszültség, alakváltozás kielégíti az alábbiakat

$$u_\tau(t) = u_\tau(t + T_*) , \quad \sigma(t) = \sigma(t + T_*) , \quad \varepsilon(t) = \varepsilon(t + T_*) , \quad (9)$$

ahol  $T_*$  a mozgás periódusa. A bélyeg  $s = 2u_0$  mértékű kitérést végez jobb és bal irányban,



2. ábra

*Kopás alakul ki az érintkezési tartományon,  
ha a bélyeg és az alsó test közötti relatív sebesség  $v_r = u_0 \omega \sin \omega \tau$  törvény szerint változik.*

Az érintkezési csúsztató feszültség iránya a mozgás irányától függően alakul. Az anyagi paraméterektől függően vagy csak a felső bélyeg, vagy mindkettő kophat a felsőtest merevtestszerű kopási sebességének jelenlétében,  $\dot{\lambda}_F, \dot{\lambda}_M$  a peremfeltételektől függően zérustól különböznek. Az ide-oda mozgás a feszültségek periodikus megjelenésével jár.

Vizsgáljuk a  $B_1$  test periodikus mozgását a  $B_2$ -höz képest. Legyen a kitérés

$$\mathbf{u}_\tau = -u_0 \cos \omega \tau \mathbf{e}_{\tau_1} \quad (10)$$

ahol  $u_0$  és  $\omega$  a mozgás amplitúdója és szögsebessége. A két test között teljes az érintkezési tartomány, minden pontjában teljes csúszást tételezünk fel. Ekkor a relatív sebesség, a mozgás periodikus ideje

$$v_r = |\dot{\mathbf{u}}_\tau| = |\omega u_0 \sin \omega \tau| = |v_0 \sin \omega \tau| , \quad T_* = \frac{2\pi}{\omega} , \quad v_0 = \omega u_0 \quad (11)$$

Síkbeli szerkezetet nézve, a felső  $B_1$  test  $\mathbf{F}_0 = -F_0 \mathbf{e}_z$  erővel van terhelve, aminek nyomatéka az  $y$  tengelyre  $M_0^y$ . A Lagrange-multiplikátorok  $\dot{\lambda}_F, \dot{\lambda}_M$  a merevtestszerű kopási sebesség összetevőjének (eltolódás és szögelfordulás sebességének) felelnek meg.

Definiálva a kopási disszipációt a mozgás egy periódusára

$$E_w = \sum_{i=1}^2 \int_0^{T_*} \left( \int_{S_c^{(i)}} (\mathbf{t}_i^c \cdot \dot{\mathbf{w}}_i) dS \right) d\tau = \sum_{i=1}^2 \int_0^{T_*} \tilde{C}_i d\tau \quad (12)$$

majd azt felbontva a mozgás félperiódusaira, a szokásos módon kielégítve az egyensúlyi egyenleteket, a (7) alatti Lagrange-funkcionálhoz hasonló funkcionált előállítva, annak stacionaritási feltételéből azzal a feltételezéssel, hogy csak a  $B_1$  test kopik, a nyomásra az alábbi összefüggés vezethető le.

$$p_n^\pm = \left( \frac{\dot{\lambda}_F^\pm \cdot \rho_c^\pm + (\dot{\lambda}_M^\pm \times \Delta r) \cdot \rho_c^\pm}{[\tilde{\beta}_1 v_r^{a_1}]^b} (1 \mp \mu \tan \chi)^{-1} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (13)$$

Itt a felső index + vagy – a  $\pm$  vagy  $\mp$  jelekben az első ill. a második félperiódusnál jelentkező mozgáshoz tartozik. Itt is megállapítható, hogy a nyomás nem függ a  $\tilde{\beta}_1 v_r^{a_1}$  értékétől.

A relatív sebesség periódusra vonatkozó átlag értéke és a kopási vektor tagjainak átlagértéke

$$\bar{v}_r = \frac{1}{T_*} \int_0^{T_*} v_0 |\sin \omega \tau| d\tau, \quad \bar{\lambda}_{F,M} = \frac{1}{T_*} \int_0^{T_*} \dot{\lambda}_{F,M} d\tau \quad (14)$$

Szintén egyszerű kiszámolni a kopási sebesség átlagát és az átlagos nyomást

$$\bar{w}_{1,n}^\pm = \tilde{\beta}_1 (p_n^\pm)^b \bar{v}_r^{a_1} = \bar{\lambda}_F^\pm, \quad \bar{p}_n^+ = \frac{2}{T_*} \int_0^{T_*/2} p_n^+ d\tau = p_n^+, \quad \bar{p}_n^- = \frac{2}{T_*} \int_{T_*/2}^{T_*} p_n^- d\tau = p_n^- \quad (15)$$

#### 4. HŐFEJLŐDÉS

A hővezetési differenciálegyenletet és a Fourier-féle hővezetési feltételt tekintjük a hővezetési probléma alapegyenleteinek,

$$\nabla \cdot \mathbf{q} = -\rho c \dot{\theta}, \quad \mathbf{q} = -\mathbf{K} \cdot \nabla \theta, \quad (16)$$

ahol  $\nabla$  a nábla operátor,  $\mathbf{q}$  a hőfluxus vektora,  $\theta$  a hőmérsékletmező,  $\rho$  a sűrűség,  $c$  a fajhő, és  $\mathbf{K}$  a hővezetési együtthatókat tartalmazó tenzor.

A külső közegeg a hőátadási feltételt az alábbi összefüggés írja le

$$\bar{q}^{(i)} = h_c^{(i)} (\theta_a - \theta^{(i)}) \quad i = 1, 2 \quad \mathbf{x} \in S_q^{(i)}. \quad (17)$$

Itt  $h_c^{(i)}$  a hőátadási tényező és  $\theta_a$  a környezet hőmérséklete.

Mivel súrlódás lép fel az érintkezési tartományon, a keletkező hőfluxus

$$q_F = \tau_n v_r = \mu p_n v_r, \quad (18)$$

ami a két test között, ill. a kopadék (levált anyag részek) között oszlik meg. Nem részletezve a felületi érdeség hatását, gyakorta azzal a feltételezéssel élnek (lásd Komanduri and Hou [17], Zagrodzki [18]), hogy a felületek hőmérséklete azonos, és a két testre átadódó hőfluxus összege megegyezik az eredeti hőfluxus mínusz a kopadékra átadódó értékkel:

$$\hat{q}_F^{(1)} + \hat{q}_F^{(2)} = \hat{q}_F, \quad \theta^{(1)} = \theta^{(2)} \quad \mathbf{x} \in S_c. \quad (19)$$

Itt  $\theta^{(1)}, \theta^{(2)}$  az  $S_c$  érintkezési tartományon az 1-es és a 2-es test hőmérséklete. A mechanikai- hővezetési-kopási probléma részletes leírását az olvasó [12,15,16] cikkekben találja meg. Az átlagos hőfluxus az egyes félperiódusnál

$$\bar{q}_F^+ = \frac{2}{T_*} \int_0^{T_*/2} q_F^+ d\tau, \quad \bar{q}_F^- = \frac{2}{T_*} \int_{T_*/2}^{T_*} q_F^- d\tau. \quad (20)$$

Lényeges megjegyezni, hogy az állandósult kopási állapotban a felső  $B_1$  test hőmérséklete időben nem változik, de az alatta lévő testen a hőforrás  $v_r$  relatív sebességgel mozog. Ez azt jelenti, hogy az időbeli deriváltak egyike  $\dot{\theta}^{(1)} = 0$  zérus, a másik  $\dot{\theta}^{(2)} = (\theta^{(2)} \nabla) \cdot v_r$  nem zérus. Nagy relatív sebességnél a hagyományos Bubnov-Galjorkin variációs módszer azonban nem ad jó eredményt. Helyes megoldást csak speciális módszerrel lehet elérni. Ehhez a hővezetési differenciálegyenletet és a hőátadási peremfeltételt speciális súlyfüggvénnyel kell megszorozni, majd integrálni. A hőmérséklet-gradiensnek a sebesség irányába eső egységvektor-

ral történő skaláris szorzata szolgáltatja ezt a súlyfüggvényt [16]. A hagyományos Bubnov-Galjorkin féle funkcionálhoz a kapott integrálokat hozzáadva jutunk el ahhoz a modifikált funkcionálhoz, ami az oszcillációmentes megoldást képes szolgáltatni.

## 5. EGY PÉLDA

Ebben a fejezetben egy bélyegnek a végtelen sávon történő periodikus mozgásánál fellépő kopási feladat megoldására kerül sor. A fő feladat az állandósult kopási állapotnál fellépő nyomás és kopási alak meghatározása lesz. Azzal a feltételezéssel élünk, hogy csak a bélyeg kopik. A kopási paraméterek:  $\tilde{\beta}_1 = 1.25\pi \cdot 10^{-8}$ ,  $\tilde{\beta}_2 = 0$ ,  $a_1 = 1, b = 1$ , a súrlódási tényező  $\mu = 0.25$ . A vizsgált  $B_1$  bélyeg az  $O$  pontjában ( $l_z = 20\text{ mm}$ ) függőlegesen mozoghat, illetve ezen csap körül a test el tud fordulni. A  $B_2$  sáv vízszintesen periodikusan mozog jobbra és balra. A végtelen távoli pont a  $x^- = -\infty$  irányban található. A szerkezet középső részének végelelemes felosztása a 3. ábrán látható. A számításokat  $p$ -verziójú végelelemekkel [19] végeztük el. A testek vastagsága  $t = 10\text{ mm}$ , a bélyeg szélessége  $L_c = 60\text{ mm}$ , magassága  $h = 100\text{ mm}$ . A bélyeg a felső peremen  $x = 200\text{ mm}$  állandó intenzitású  $p^-$  nyomással terhelt, aminek eredője  $F = 10.0\text{ kN}$ . A bélyeg a kopás következtében függőlegesen mozoghat és elfordulhat. A bélyeg felső részének és a sávnak az anyaga azonos, (lásd 1. táblázat: Anyag 1), a bélyeg alsó  $20\text{ mm}$  magasságú részének anyaga a 2. típusú, (lásd 1. táblázat). Feltételezzük, hogy a környezet hőmérséklete  $\theta_a = 0$  zérus. A végtelen távoli  $x^- = -\infty$  peremen, ill.  $x^- = 1670\text{ mm}$  peremen, továbbá a  $x^-$  tengelyre eső peremen a hőmérséklet zérus értékkel előírt. A megmaradó szabad peremeken és a testek határoló síkján (síkfeszültségi állapot a feltételezett) hőátadás zajlik le. A testek közötti relatív mozgást az  $u = -u_0 \cos \omega \tau$  összefüggés jellemzi, ahol  $u_0 = 1.5\text{ mm}$ ,  $\omega = 10\text{ rad/s}$ ,  $\tau$  az időt jelöli. A félperiódus alatti kopást az alábbi képlet adja meg:

$$\Delta w_{1,n} = \tilde{\beta}_1 p_n(t_p) \int_0^{T_*/2} u_0 \omega |\sin \omega \tau| d\tau \quad (21)$$

ahol  $t_p$  a félperiódus kezdetének ideje. A számítás egyszerűsítése céljából a  $p_n = p_n(t_p)$  nyomást, amit a félperiódus elején a már kopott alaknál határozunk meg, állandónak tekintjük a félperiódus alatt. Természetesen a nyomás lefutása különböző a jobbra és balra történő mozgásnál a súrlódás hatása miatt. Az összegzett kopás a félperiódus végén

$$w_{1,n} = w_{1,n}(t_p + T_*/2) = w_{1,n}(t_p) + \Delta w_{1,n} = w_{1,n}(t_p) + \tilde{\beta}_1 p_n(t_p) 2 u_0 \quad (22)$$

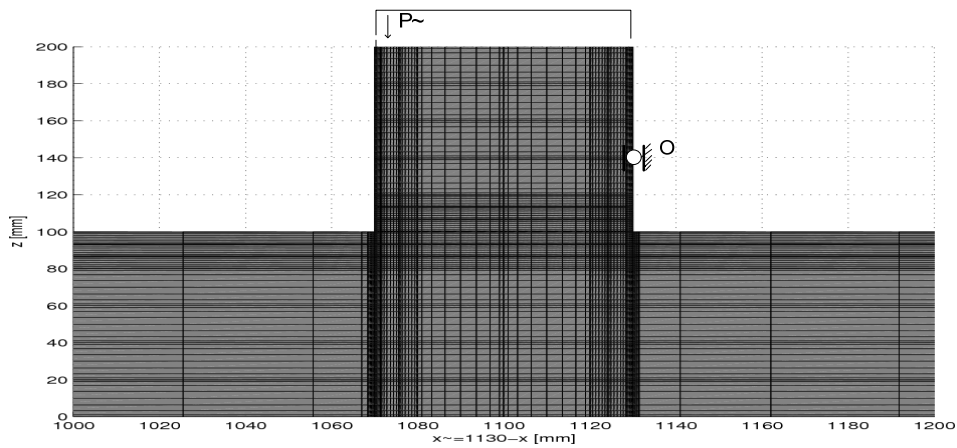
Felhasználva (19), (16), (11)-et az érintkezési tartományon kialakuló átlagos hőfluxus

$$\bar{q}_F^+ = \frac{2}{T_*} \int_0^{T_*/2} q_F^+ d\tau = \mu p_n^+(t_p) \frac{2u_0}{\pi} \omega, \quad \bar{q}_F^- = \frac{2}{T_*} \int_0^{T_*/2} q_F^- d\tau = \mu p_n^-(t_p) \frac{2u_0}{\pi} \omega, \quad (23)$$

vagyis a állandósult kopást biztosító egyirányú mozgáshoz tartozó relatív sebesség  $v_r = 2u_0\omega/\pi$ . Ekkor az érintkezési nyomás a kopási teljesítmény minimalizálásából nyerhető, lásd, (6)-(8).

### 5.1. Kopás hőfejlődés nélkül

Egyirányú mozgást feltételezve  $v_r = 200\text{ mm/s}$  sebességgel, balra történő sávmozgásnál a merevtest-szerű kopási sebességek  $\dot{\lambda}_F = 0.05\text{ mm/s}$ ,  $\dot{\lambda}_M = -5.55 \times 10^{-4}\text{ rad/s}$ , míg a jobbra történő mozgásánál  $\dot{\lambda}_F = 0.0166\text{ mm/s}$ ,  $\dot{\lambda}_M = 5.55 \times 10^{-4}\text{ rad/s}$ .

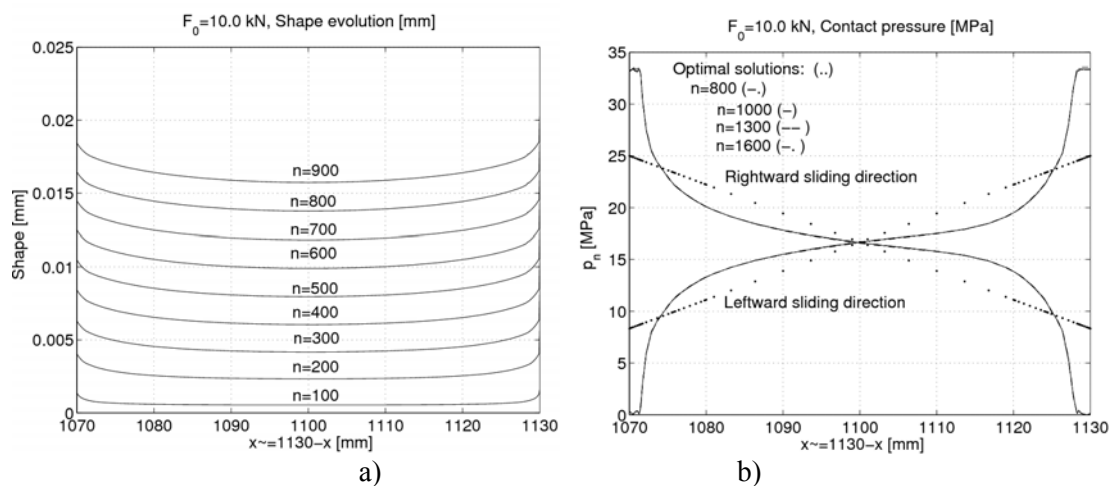


3. ábra

Vizsgált szerkezet középső részének végeselemes felosztása.  
 A vízszintes és a függőleges vonalak a Lobatto-féle integrálási pontokon haladnak keresztül.  
 Az érintkezési tartományon vízszintesen 8 elem, és függőlegesen mindkét testen 7 elem van.

1. táblázat. Mechanikai és hőtani anyagjellemzők

	Hővezetési tényező $K^{(i)}$ [W/(m K)]	Hőátadási tényezők $h_c, h_c^{(i)}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	Fajhő $c^{(i)}$ [J/(kgK)]	Fajlagos hővezetési tényező $\alpha_\theta^{(i)} \cdot 10^5$ [1/K]	Young-modulus $E^{(i)} \cdot 10^{-5}$ [MPa]	Poisson-tényező $\nu^{(i)}$	Sűrűség $\rho^{(i)}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Anyag 1 (acél)	55	80	460	1	2	0.3	7800
Anyag 2 (kompozit)	5	80	1200	3	1.3	0.23	846



4. ábra

a) Az 1-es test kopott alakjának változása periodikus mozgásnál,  
 b) Nyomás változása a csúszási iránytól függően különböző időben szemlélve.

Periodikus mozgásnál, a [20]-ban található eredményt átvéve a 4. ábrán láthatjuk a kopott alak és a nyomás változását. A pontozott egyenes a variációs elvből levezetett eredmény, míg a többi a kopási törvény időintegrálásával kapottakból származik. A nyomás vonatkozásában a kapott eredmény igen érdekes, nevezetesen a széleken a nyomás maximuma a  $p_{\text{átlag}} = (p_n^+ + p_n^-) / 2 = p^-$  átlagnyomás kétszerese. Ez a tény nem függ az  $O$  csapot kijelölő  $l_z$  értékétől, sőt szimmetrikus bélyeg megtámasztásnál is hasonló az eredmény.

## 5.2 Kopás hőfejlődéssel

A feszültségek és a hőmérséklet meghatározása az ismert – az egyensúlyi egyenlet és a hővezetési differenciálegyenlet gyengealakjához tartozó – variációs egyenleteken keresztül nyer meghatározást a csatolt mechanikai-hőtani probléma egymást követő megoldásán keresztül. A kopás számítása a kopási örvény időintegrálásával történik a (22)-es képlet felhasználásával.

Az iterációs megoldás az alábbiak szerint megy végbe:

A félperiódus kezdetén a kopott alakkal és a korábban meghatározott hőmérséklet felhasználásával a nyomást az érintkezési feladat megoldása szolgáltatja. A rögzített nyomással kiszámoljuk az újabb kopást és megoldjuk a tranziens hővezetési feladatot, amivel egy újabb nyomás áll elő. Ezt ismételtén felhasználva módosított kopás és hőmérséklet mező fog előállni. Az iteráció addig folytatódik, míg a hézagváltozásra felírt alábbi kritérium ki nem elégül:

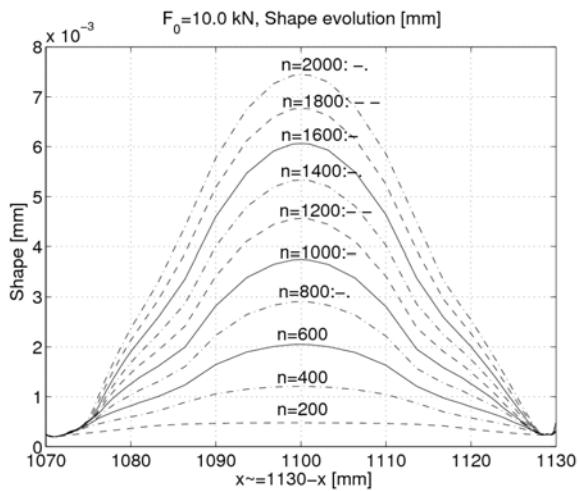
$$e_w = 100 \left| \int_{S_c} (g_s + w_{s+1}^{(j)}) dS - \int_{S_c} (g_s + w_{s+1}^{(j-1)}) dS \right| / \int_{S_c} (g_s + w_{s+1}^{(j-1)}) dS \leq 0.01 = \tau_w \quad (24)$$

Itt  $g_s$  a kezdeti alak az  $s+1$  ciklus kezdetén. A konvergencia teljesülése után az ellentétes irányú mozgásra vonatkozóan hajtjuk végre az előzőekben leírt számítást. Mindegyik irányú mozgás esetén a hővezetési feladatot igen kis időlépéssel kell megoldani, esetünkben a félperiódus ideje 5 részre van felosztva. Az 5 - 7. ábrákon  $n = s$  paraméter duplája a mozgási ciklusnak.

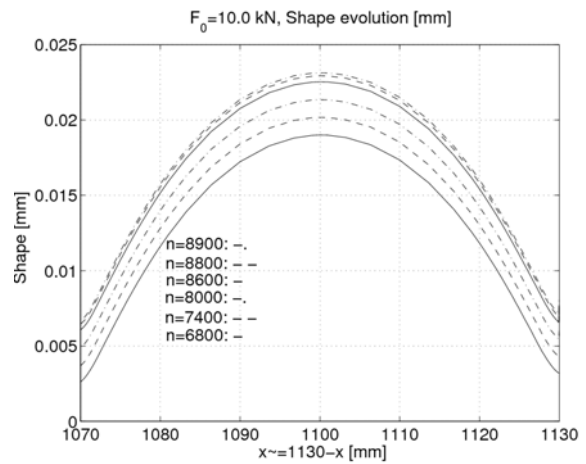
A számításokból a helyhiány miatt csak néhány diagramot adunk közre. A hőfejlődés miatt a bélyeg közepén a hőmérséklet nagyobb, mint a széleken, ezért a kopás is itt a nagyobb. Ezt jól érzékelteti az 5. ábra. A nyomás a kezdeti széleken lévő magas értékről lecsökken, és végezetül a hőhatás nélküli esethez konvergál (lásd 6a, 6d. ábra), ezzel is igazolva azt a tényt, hogy a nyomás megoszlása független a hőmérséklettől, de a kopott alakot már erőteljesen befolyásolja a hőmérséklet (lásd 4a, 5b. ábra). A 6d. ábrán a hőhatás nélküli nyomásokat a folyamatos görbék, a hőhatásnál kapottakat szaggatott görbék jelzik. A nyomás erősen függ a testek közötti csúszás irányától. Az is látható, hogy a periodikus mozgás miatt az érintkezés nem terjed ki a teljes szóhajóhető tartományra, az alsó sáv mozgásának irányába eső bélyeg szélén a nyomás eltűnését tapasztaljuk. Szintén érdekes eredmény, hogy a kétirányú mozgásnál kapott nyomás-függvények számtani közepe a terhelésből származó átlagos nyomást ( $p_{\text{átlag}} = (p_n^+ + p_n^-) / 2 = p^-$ ) szolgáltatja állandósult kopás esetén.

Még egy érdekes tény állapítható meg. Ha vesszük a monoton mozgásos esetet, és a kialakuló hőmérsékleteket összegezzük (7d. ábra), továbbá nézzük a periodikus mozgásnál, az állandósult állapotnál kialakuló hőmérsékletmezőt (7c. ábra), akkor azt láthatjuk, hogy a monoton mozgásbeli hőmérsékletmező az érintkezési tartomány mentén igen jól megközelíti a periodikus mozgás hőmérsékletmezőit, az eltérés kisebb, mint 6%. A kopás folyamatában az instacionér hővezetési probléma miatt a periodikus mozgás hőmérséklete nyilván nem azonos a monoton mozgásnál meghatározott függvényvel. Láthatóan, a kezdeti időben a periodikus mozgás hőmérséklete alacsonyabb szintet ér el (7a. ábra), majd meghaladja a monoton csúszó mozgásnál kapottakat (7b. ábra), majd maximuma ismét kissé lecsökken (7c. ábra).

A kapcsolt mechanikai-hővezetési-kopási feladat iterációval tarkított megoldása tetemes számítási időt követel meg.



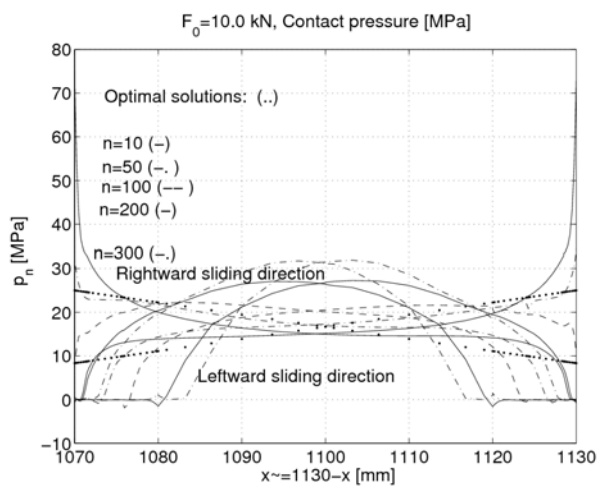
a)



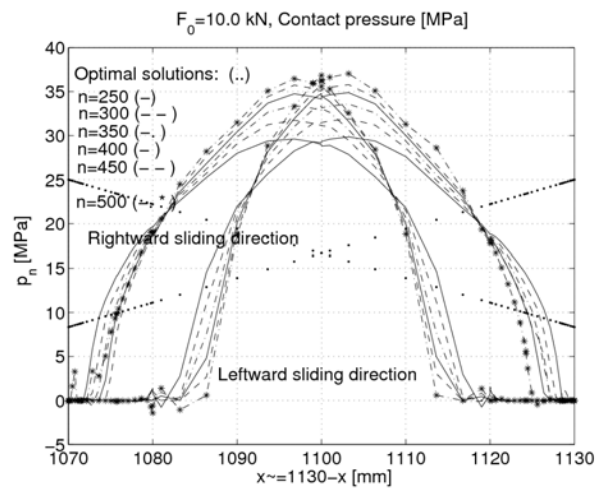
b)

5. ábra

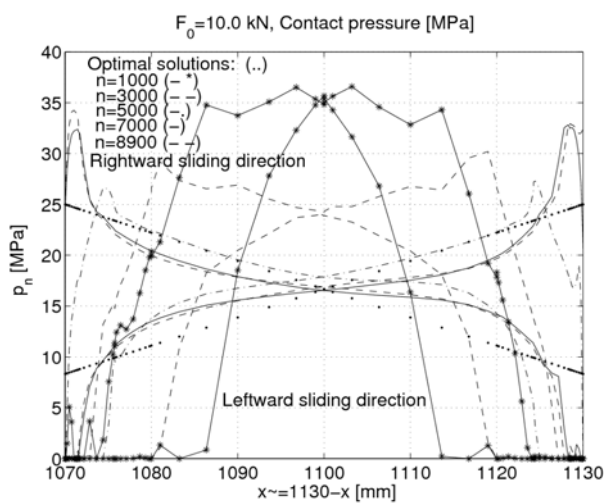
*Az 1-es test alakjának változása periodikus mozgásnál hőhatás esetén.*



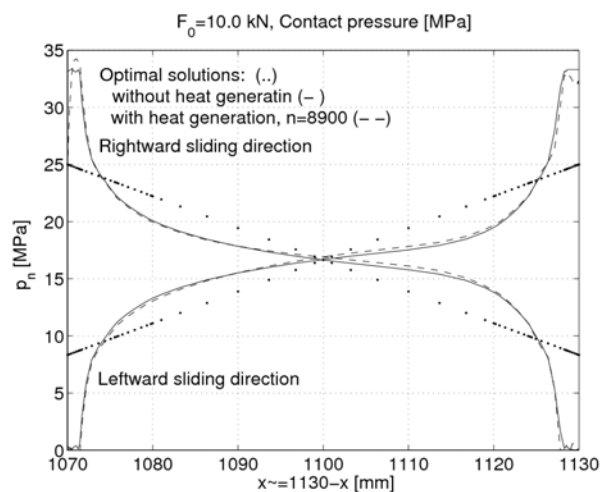
a)



b)



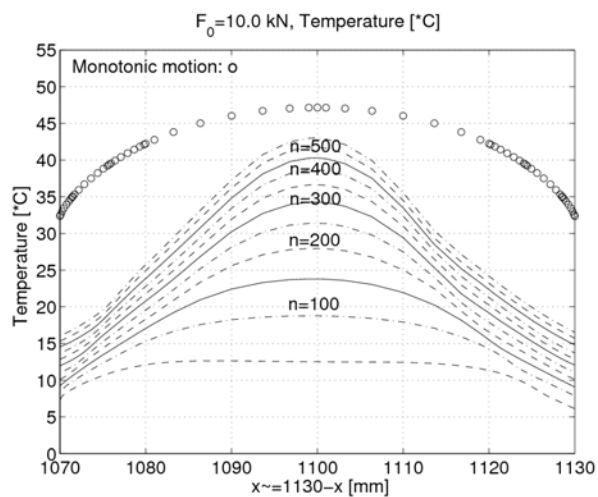
c)



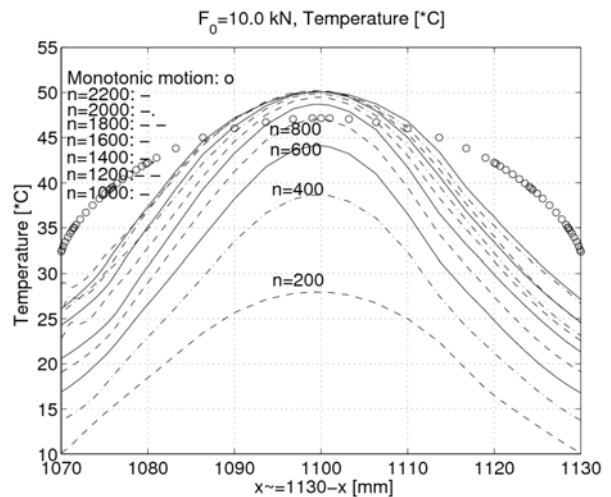
d)

6. ábra

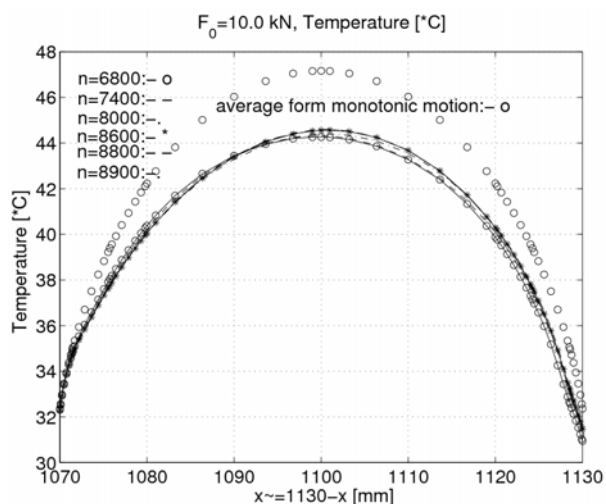
*Az érintkezési nyomás változása a kopás folyamán periodikus mozgásnál, hőfejlődés esetén*



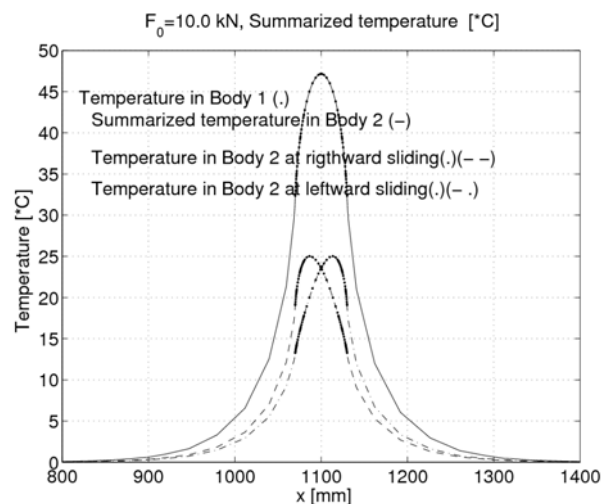
a)



b)



c)



d)

7. ábra

*A hőmérséklet megoszlása az érintkezési tartomány mentén,  
a)-c) különböző időben balra történő mozgásnál,  
d) monoton mozgásnál kialakuló hőmérséklet az érintkezési tartományon*

## ÖSSZEGZÉS

A cikkbeli javasolt eljárás a kapcsolt hőtani-rugalmasági-kopási feladatra a mérnöki gyakorlat számára elfogadható pontosságú megoldást ajánl. A mechanikai és hőtani mezők a  $p$ -verziójú végelemekkel közelítettek az egymást követő megoldások sorozatán keresztül.

A kopási hatást lépésként számítottam ki. Archard-féle kopási törvény felhasználásával. A félperiódus végére kapott kopást rögzítem a nyomással egyetemben, majd a tranziens hőtani feladattal a félperiódus végére kiszámítom az újabb hőmérsékletet, amivel a nyomás pontosítása megtörténik, ezt követően a félperiódus eleji kopásból és hőmérsékletből elindulva, újabb tranziens hőtani feladat megoldására kerül sor a félperiódus idejére. A félperiódusra vonatkozó iterációs folyamat a hézagváltozásra előírt korlát teljesítésével ér véget. Ezt követően kerül sor az ellentétes irányú félperiodikus mozgás iterációs számítására.

A bemutatott példa jól illusztrálja a kidolgozott módszer hatékonyságát. A monoton mozgásnál kapott eredmények felhasználhatók a periodikus mozgások globális jellemzésére.



## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, az OTKA K67825 pályázat támogatásával valósult meg.*

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] J. Haslinger, P. Neittaanmaki. Finite element approximation for optimal shape design, John Wiley & Sons Ltd., London, 1988.
- [2] D. Hilding, A. Klarbring, J. Petterson. Optimization of structures in unilateral contact, Appl. Mech. Rev., 1999, 52, 139-160.
- [3] I. Páczelt. Interactive methods for solution of contact optimization problems, Arch. Mech., 2000, 52, 685-711.
- [4] I. Páczelt, A. Baksa. Examination of contact optimization and wearing problems, Journal of Computational and Applied Mechanics, 2002, 3, 61-84.
- [5] I. G. Goryacheva, M.H. Dobuchin. Contact problems in tribology, (orosz nyelven), Mashinostroenie, Moscow, 1988.
- [6] I. A. Soldatenkov. Iznosokontaktynaya zadacha, Fizmatkniga, Moskva, 2010.
- [7] K. L. Johnson. Contact Mechanics, Cambridge Univ. Press, Cambridge, U.K., 1985.
- [8] J. J. Kalker. A course of contact mechanics, a79C, Delft University of Technology, 1985.
- [9] T. A. Laursen. Computational contact and impact mechanics, Springer-Verlag, Berlin, 2002.
- [10] P. Wriggers. Computational contact mechanics, John Wiley and Sons, New York, 2002.
- [11] J. F. Archard. Contact and rubbing of flat surfaces, Journal of Applied Physics, 1953, 24, 981-988.
- [12] I. Páczelt, Z. Mróz. On optimal contact shapes generated by wear, Int. J. Num. Meth. Eng. 2005, 63, 1310-1347.
- [13] I. Páczelt I, Z. Mróz. Optimal shapes of contact interfaces due to sliding wear in the steady relative motion, Int. J. Solids Struct., 2007, 44, 895-925.
- [14] I. Páczelt, Z. Mróz. On the analysis of steady-state sliding wear process, Tribology International, 2009, 42, 275-283.
- [15] I. Páczelt, Z. Mróz. Variational approach to the analysis of steady state thermo-elastic wear regimes, Int. J. Num. Meth.Eng., 2010, 81, 728-760.
- [16] I. Páczelt, Z. Mróz. Numerical investigation of steady thermo-elastic wear regimes induced by translating and rotating punches, Comp. Struct, 2011, 89, 2495-2521.
- [17] R. Komanduri, Z. B. Hou. Analysis of heat partition and temperature distribution in sliding systems, Wear, 2001, 251, 925-938.
- [18] Zagrodzki P. Analysis of thermomechanical phenomena in multidisc clutches and brakes. Wear ,1990, 140, 291–308.
- [19] B. Szabó, I. Babuska, Finite element analysis, Wiley-Interscience, New York, 1991.
- [20] I. Páczelt, Z. Mróz, Solution of wear problems for monotonic and periodic sliding with p-version of the finite element method, CMAME, 2012, nyomtatásban.

**Kétszintes információs rendszerek  
számítógépek nyilvántartásában**

**Two-leveled information systems  
in the registration of computer systems**

**Sisteme informationale pe două niveluri  
în gestionarea calculatoarelor**

VEKOV Géza

Marosvásárhely, geza.vekov@gmail.com

**ABSTRACT**

*Complying with today's needs means collecting and maintaining the maximum amount of data about owned equipment. Huge databases are designed for keeping the information available in order to sustain decision support or asset management systems. Accurate data extraction from the database often implies the usage of data mining techniques and complex error checking algorithms, which are considerably slowing down the information flow towards the querying process.*

*The aim of this article is to present a two-leveled information system for the registration of computer systems which provides quick access to both bulk and refined data from the hardware component identification of computer systems. The base system is a raw data storage database which contains the automatically collected information about the inspected system. This warehouse allows low-level auditing of hardware components. The superior level is built through an interactive user interface which allows the refinement of the raw information. It also provides the possibility of defining and using certain categories for representative system parameters.*

**Kulcsszavak:** információs rendszer, automatizálás, hardver, adatgyűjtés

**1. BEVEZETÉS**

A számítógépek mindennapi alkalmazásán túl fontos kérdéskör a tízes, százas vagy ennél is számosabb számítógépparkot használó, vagy a számítógépes infrastruktúra felmérését végző vállalatok számára a birtokolt vagy azonosított eszközök nyilvántartása. Szerkezetét tekintve egy adatbázisról beszélünk, melyben minden egyes számítógépnek megfelel egy vagy több bejegyzés, leírva az eszközt alkotó komponenseket, és az eszköz állapotát. A nyilvántartás későbbi funkciója az eszközök nyomon követése, a begyűjtött adatok alapján az informatikai infrastruktúra hatékonyságának fejlesztése, a rendszer vagy egyes összetevőinek értékelése lehet.

Működés szerint az adatbegyűjtő módszerek három csoportba sorolhatóak: az automatizált, úgynevezett *network inventory* szoftverek, a manuális adatbevezetés valamint az előző két rendszer kombinációja. Minden esetben az optimális megoldást egy adatbázis felépítése képezi, amelyből lekérdezhetőek a felmérő számára szükséges információk.

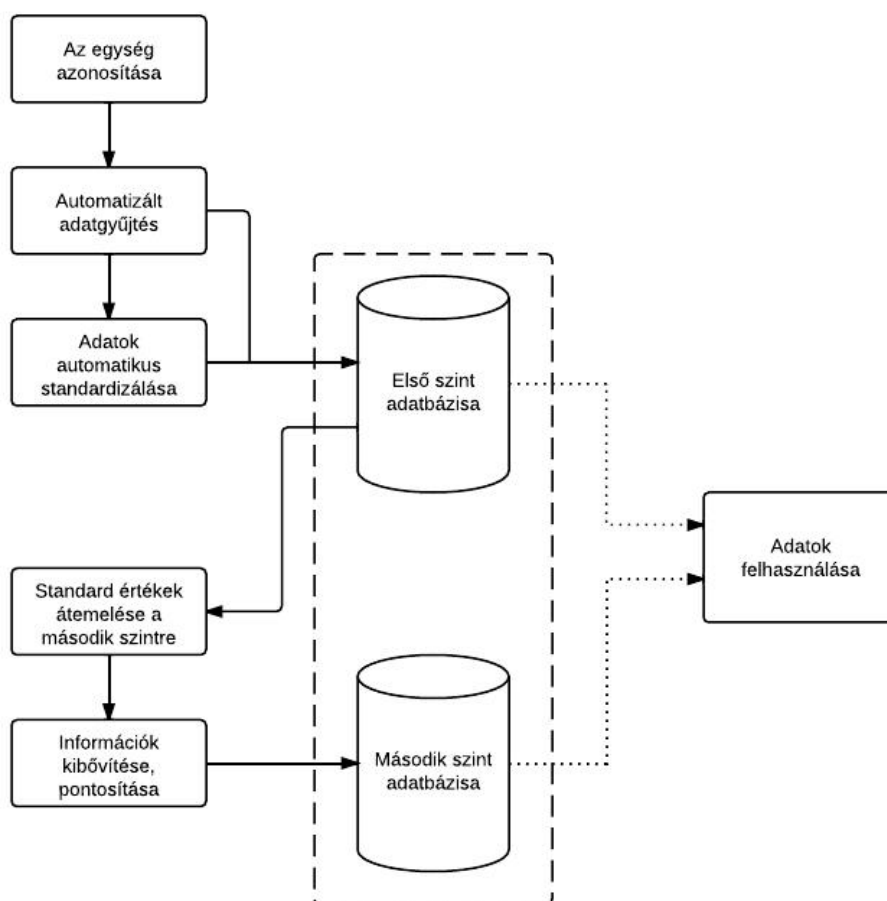
Más osztályozási módszerként meghatározható a valós idejű és a nem valós idejű nyilvántartások fogalma. A valós idejű rendszerek pontos információkat tudnak szolgáltatni az egységek aktuális működési állapotáról. Leggyakoribb alkalmazási területüként a rendszergazdai feladatok ellátásának megkönnyítését lehet megemlíteni. A nem valós idejű rendszerek a menedzsmenti funkcióknak szolgáltatnak adatokat a számítógépes infrastruktúra szerkezeti felépítéséről, a számítógépek fizikai tulajdonságairól. Ez utóbbiak feladata a hardverkomponensek és karakterisztikák bevezetésekor megfigyelt állapotának tárolása.

Jelen dolgozat célja egy félig automatizált nem valós idejű számítógép-nyilvántartási rendszer felvázolása, melyben az adatgyűjtő szoftverek funkcionális hiányosságai manuálisan korrigálhatóak. A modell egy kétszintes nyilvántartáshoz és annak felépítéséhez ad módszertani leírást, amelynek az első szintjén az automatizált módszerekkel megszerzett adatok, a második szinten pedig a megszürt, standardizált és az eszközök

formai elemekkel kibővített végső leírása található. A rendszer által biztosított költséghatékonyság nem képezi jelen dolgozat témáját.

## 2. A NYILVÁNTARTÁS STRUKTÚRÁJA

A kétszintes nyilvántartást az adatgyűjtési módszer szerint kvantitatív és kvalitatív szempontok alapján tagoljuk. Ennek megfelelően megkülönböztetjük az automatizált szoftverek segítségével megszerzett információkat tároló részt (automatizált rész) és az első szint alapján az adatok pontosítását, kiegészítését végző személyek által használt második, interaktív részt (1. ábra).



1. ábra

*Kétszintes számítógép-nyilvántartás felépítésének folyamata*

Az automatizált rész legfontosabb jellemzője a második szint optimális kiszolgálásához biztosított adatmennyiség. A begyűjtött adatok adatbázisban való rögzítésük előtt előfeldolgozáson mennek keresztül. A folyamat során szövegfeldolgozással, esetenként tanuló algoritmusokkal kiválasztjuk az adathalmazból a pontosan meghatározható információkat, mint például a processzor típusát, órajelét, a memória méretét, videokártya típusát, háttértárolók méretét, azonosítóját.

A nyilvántartás második szintje felhasználja az előzőekben leírt standard adatokat, majd az interaktív felületen az operátorok ellenőrzik ezeket, kijavítják a felfedezett eltéréseket, és kibővítik a szükséges formai információkkal (számítógép formája, esztétikai állapota). Ugyanitt lehet osztályozni a felmért egységeket működési állapotuk szerint. Ez a nyilvántartási szint a szükségleteknek megfelelően erősen tipizált karakterisztikákat tárol. Implementálása elősegíti a számítógép-állomány állapotára vonatkozó információk gyors kiválasztását, csoportosítását.

Fontosnak tartjuk hangsúlyozni a két szint egymástól való függetlenségét. Az első szinten megtalálható adatok közvetlenül felhasználhatóak, ám ezek leginkább az adott számítógépről alkotott kép pontosítására szolgálnak. További felhasználásukra, adott paraméterek szerinti keresésre csak szövegfeldolgozó algoritmu-

sok implementálásával kerülhet sor. Az interaktív rész adatai közvetlen megfigyelés útján is megszerelhetők a két rendszer különválasztása esetén. Az így kapott nyilvántartás funkcionálisan megfelel a kombinált módszer esetén kapott kétszintes rendszer második szintjének.

### 3. A NYILVÁNTARTÁS FELÉPÍTÉSE

#### 3.1. Az egyedi azonosító

A kétszintes nyilvántartás működésének alapjaként a számítógép egyedi megjelölését tekintjük. Ez a jelölés megegyezhet a leltári számmal, lehet automatikusan generált azonosító, leggyakrabban, a hálózati infrastruktúra alapján határozzák meg. Nem javasolt az operációs rendszerből kinyert információk alapján meghatározni ezen értéket, mivel egy esetleges újratelepítés vagy műszaki hiba, az alkatrészek cseréje esetében megszűnik a logikai kapcsolat az adatbázis és a nyilvántartott egység között. Az azonosítót látható helyen kell feltüntetni az eszközön, mivel minden egység működésképtelen állapotban is pontosan felismerhető kell hogy legyen.

Az azonosító regisztrálása a nyilvántartásban manuálisan történik.

#### 3.2. Automatizált rész

A szoftverek segítségével végzett hardver-felismerés használatakor a legnagyobb figyelmet a felhasznált programok minél szélesebb körű alkalmazhatóságára kell fektetni. Fontos szempont az integrálhatóság, mivel a nyilvántartási adatbázis legtöbb esetben specifikus követelményeknek megfelelően van felépítve. A segédprogramok által szolgáltatott adatok az előre meghatározott struktúráknak megfelelően átalakíthatóak kell hogy legyenek a tárolhatóság érdekében.

A rendszerinformációk begyűjtésében fel lehet használni a gyári standardoknak megfelelő információs tárházakat. A következőkben ezek közül sorolunk fel néhányat.

- A számítógép- és alaplapgyártókra nézve a szabványok szerint kötelező az SMBIOS [2] implementálása, ennek feladata az alaplap illetve a rendszer információinak standard formában való összesítése. Az SMBIOS által felmért és tárolt értékek magukba foglalják a rendszerazonosítókat, a gyártó által szolgáltatott hivatalos megnevezést, a processzor specifikációit, az adatsínek és a bővítőhelyek számát és az ezekbe illesztett modulok és bővítőkártyák leírását, a periférikus csatlakozók felsorolását, ACPI szabványoknak való megfelelést, stb. A tárházhoz való hozzáférés operációs rendszerenként különböző, ezek közül legfontosabbként megemlíthetjük a *WMI* és a *dmitools* eszközöket.
- A PCI síneken elhelyezkedő eszközök azonosítására a PCI ID Repository tárház lehet felhasználni [3]. Ez az adatbank bizonyos operációs rendszerek szerves részét képezi (a legtöbb Linux disztribúció), más esetekben a felhasznált szoftverek implementálják a hardverkomponensek és a tárház összekapcsolását.

A háttértárolók, optikai egységek, videokártyák és más bővítőkártyák gyártói által betartott interfész-szabványoknak köszönhetően lehetőség nyílik ezek specifikációinak meghatározására is.

Az operációs rendszer pillanatnyi állapota következtetni enged a rendszer más jellemzőire is, ezért az általunk vizsgált, nem valós idejű nyilvántartási rendszer esetében ezen információkat is rögzítik kerülnek, kiegészítve a komponensekről kapott gyári leírásokat.

Az előzőekben említett információforrások minden esetben strukturált szöveghalmazokat eredményeznek, melyek tartalmazzák a szükséges komponens-adatokat. Az első szintű nyilvántartás funkcionalitásának megfelelően a teljes adatmennyiséget tárolni kell az adatbázisban. A nyilvántartás struktúrája által megkövetelt adatok pontos meghatározásában leggyakrabban empirikusan kifejlesztett szövegfeldolgozó eljárások segítenek. Ezek segítségével elkülöníthetőek a szöveges formában szükséges információk: a sorozatszámok, a komponens-megnevezések, az egyes komponensek számossága. A számszerű adatok megszerzéséhez, amennyiben a felhasznált segédprogramok implementálják ezt a funkciót, intelligens tanuló-algoritmusokat lehet felhasználni. Ezek a megoldások szükség esetén az automatizált részt felügyelő személy beavatkozásával kategorizálják a szöveges adatokból kinyert méreteket, sebességeket. Ugyanilyen beavatkozási műveletekkel érhető el az adatok pontosításának a megfelelő szintje. Fontosnak tartjuk hangsúlyozni a tervezett beavatkozások számának minimalizálását, mivel ezek csökkentik az automatizált rész működési hatásfokát.

Az első nyilvántartási szinten rögzített adatok kvalitatív vizsgálata feltárja ezek erős függését a hardverkomponenseket gyártó vállalatok által megadott szabványinformációk teljességétől. A leírt módszert implementálva 85731 számítógép teszteléséből nyert információhalmazt elemezve becsülhetőek az automatizált módszer rejtette hibák kvalitatív és kvantitatív tulajdonságai. A komponensek automatikus azonosítása a Linux operációs rendszer *grml* live-disztribúciójának *lspci*, *dmidecode*, *meminfo*, *hwinfo* eszközeit felhasználva

írt bash-szkriptekkel történt. A második szintű nyilvántartáshoz szükséges adatbevezetési felületet egy *Borland Delphi* programozási környezetben megírt, személyre szabott szoftver biztosította.

Az 1-3. táblázatokban felsorolt eredmények összesítésekor kiszűrtem a második szinten elért, ebből ki-folyólag pontosan nem meghatározható értékeket.

1. táblázat: *Memóriatípusok meghatározásának pontossága*

Begyűjtött Valódi	Nem meghatá- rozható	SDRAM	RIMM	DDR	DDR2	Hiba (%)	Súlyozott hiba (%)
SDRAM	12476	1504	0	6	0	89.28	95.00
SDRAM ECC	33	0	0	0	0	100.00	
RIMM	144	0	161	0	0	47.21	
DDR	46321	137	1	1439	2	97.00	
DDR ECC	143	0	0	0	0	100.00	
DDR2	12630	10	0	1	697	94.77	
DDR2 ECC	119	0	0	0	0	100.00	
DDR2 Fully Buffered	34	0	0	0	0	100.00	
DDR3	188	0	0	0	0	100.00	

2. táblázat: *Merevlemez-felismerési hibák*

Azonosított számítógépek száma	84418
RAID-konfiguráció miatt érzékelt merevlemezek	363

3. táblázat: *Nem felismert videokártya-típusok*

Nem felismert osztott memóriás videokártya	514
Nem felismert dedikált memóriás videokártya	6540

Az 1. táblázatban a számítógépekben található memóriaegységek gyári specifikációiból kiolvasott típus és a modulok órajele szerinti számítás szolgáltatja a begyűjtött információt. E két jellemző pontatlansága illetve hiánya okozza a nagyon magas hibaarányt.

A 2. táblázatban megjelenő hibás azonosítás a főként professzionális munkaállomásokban és szerverekben megtalálható RAID-vezérlők jelenlétéből fakad. A merevlemezek közvetlenül a vezérlőhöz vannak csatlakoztatva, és kevés kivételtől eltekintve nem használhatók a rendszer számára csak az úgynevezett logikai tárolók létrehozása után. A logikai tárolók elfedik az operációs rendszer elől a fizikai komponenseket, így megakadályozva ezek felismerését.

A videokártyák memóriájának típusát (dedikált vagy osztott) az operációs rendszer által elfoglalt memóriaterületek elemzésével és a videokártya PCI sávon való elhelyezkedésével lehet a 3. táblázatnak megfelelő felismerési hibaarányal azonosítani. A hibák megjelenésének legfőbb oka, hogy a felhasználható memória mérete dinamikusan változik, vagy állandó méretű, de ezt az értéket csak a grafikus processzor ismeri. A HyperMemory technológiát alkalmazó megosztott és dedikált memóriával is rendelkező videokártyák memóriája ugyancsak nem egyértelműen felismerhető.

4. táblázat: *Alaplapok sorozatszámának ismétlődése (SMBIOS)*

	Darabszám	Összes előfordulás
Ismétlődő értékek	747	41704
Különböző értékek	44027	44027

A 4. táblázat az SMBIOS-ból kiolvasható alaplap-sorozatszámok minőségi elemzését tartalmazza. Megfigyelhető, hogy az esetek 48,65%-ában nem egyedi a kapott érték, ezért nem használható azonosítási célokra.

Az első szint adatgyűjtésében alkalmazott módszerek öt év alatti folyamatos fejlesztésével sem sikerült a hibaszázalékokat a felvázolt értékek alá szorítani.

Az automatizált rész legfőbb előnye az egyes rendszerekről rendelkezésre álló információmennyiség részletessége. Gyakorlatilag bármilyen adat megszerzhető a felhasznált szoftvertől függően. Kitűnő segéd-eszköz a rendszerhibák felmérésére, a hardverkomponensek elemzésére és a rendszer felújítását vagy korszerűsítését célzó eljárásokhoz. Mindazonáltal a felsorolt hibák előfordulása miatt nem lehet egy megfelelő adat-minőségű nyilvántartást alapozni az első szinten megalkotott adatbázisra.

### 3.3. Interaktív rész

A számítógépek nyilvántartásba vételét felügyelő operátorok biztosítják az adatok bevezetését a második szintű nyilvántartásba. Ennek elsődleges feladata a pontos karakterisztikák előre meghatározott részletességgel való tárolása. A nyilvántartás háttérét képező adatbázis felépítését a végfelhasználó statisztikai szoftverek adatszükséglete vezérli. A tervezés során figyelembe kell venni a megfelelő osztályozási kritériumokat.

A felhasználók munkafelülete egy tetszőleges platformra épülő interfész, melyen keresztül be tudják vezetni az adatokat. Biztosítani kell a hozzáférést az első szinten begyűjtött adatokhoz, valamint az ezekből már kiszűrt standard információkhoz. Leggyakrabban egy importálásként implementált funkció biztosítja a kapcsolatot az interfész és az adatbázis között. A felhasználónak ellenőriznie kell az importált adatok pontosságát, szükség esetén felülbírálni az automatizált rész által szolgáltatott értékeket. Ezen a ponton szűrhetőek ki az első szinten felbukkanó gyártói felületességből vagy programozási pontatlanságokból megjelenő hibák. Például a videokártya azonosításakor értelmezett kizárólag megosztott memóriával rendelkező komponensek fizikailag nem azonosíthatóak a rendszerben. Ebben az esetben a video-chip hiányában nem elfogadható az automatizált rendszer szolgáltatása, például 128MB-os méret. A felhasználó feladata az interfész megfelelő mezőjében az adatkorrekció végrehajtása.

Külön ki kell emelni azt az esetet, amikor a rendszer nem működőképes. Ilyenkor a felhasználó feladata a hardver-komponensek karakterisztikáinak azonosítása is.

A szoftveres segédlettel nem megszerzhető rendszerjellemzők bevezetése előre meghatározott kritériumok szerint történik. Ilyenek például a formai jellemzők: a központi egység álló, fekvő vagy speciális alakú, beilleszthetőek-e a teljes magasságú bővítőkárták, az eszköz színe, fizikai állapota. A számítógépeket legtöbb esetben működési állapotuk (aktív, használaton kívüli, működésképtelen, javítható, javíthatatlan), a helyszín, az érték felelősséggel tartozó személy szerint is osztályozni kell.

A második szinten különös figyelmet kell fordítani az emberi hibákra, melyek a megelőzhetőség szerint osztályozhatóak [4]. Ennek érdekében az interfész szintjén ki lehet szűrni bizonyos kategóriájú téves adatok bevezetését. Felhasználhatóak a zárt opciólisták, továbblépési feltételek és egyéb megszorító módszerek. Mindezek ellenére a konkrét, előre nem meghatározható adatok esetén bevezetéskor és módosításkor előfordulhatnak az elírások (5. táblázat). Ilyen esetekben hibakereső statisztikai algoritmusokat lehet implementálni, melyek felhívják a nyilvántartásra felügyelő személy figyelmét a kiugró értékekre.

5. táblázat: Felhasználói elírások az interaktív felületen

Karakterisztika	Összes bejegyzés	Elírt bejegyzések
Optikai egység típusa	160868	383
Processzor típusa	168656	301
Merevlemez(ek) típusa	79215	13
Hálózati kártya jelenléte	155047	33
Memória mérete	168228	24
Memória típusa	80993	19
Videokártya mérete	163801	152

Fontosnak tartjuk hangsúlyozni az emberi tényező beszámítását az interaktív rész által előírt folyamatok megtervezésénél.

Az adatok bevezetését az interfészre azok rögzítése követi a második szintű nyilvántartás adatbázisában. A bejegyzésben az osztályozott karakterisztikák mellett szerepelnie kell a számítógép első lépésben meghatározott azonosítójának és az interaktív rész feladatait elvégző felhasználó azonosító adataira is. Mivel a felvázolt nyilvántartás nem valós idejű, rögzíteni kell a folyamat befejezésének időpontját is, mint referencia-pontot.

#### 4. ÉRTÉKELÉS, KÖVETKEZTETÉSEK

A felvázolt nyilvántartási módszer kétszintes struktúrája lehetővé teszi az információk kvalitatív és kvantitatív szempontok szerinti szétválasztását. Az első szint adathozama megkönnyíti a számítógépek azonosítását a döntéshozatali folyamatok számára fontosabb második szintet létrehozó felhasználók számára. Lehetőséget biztosít az empirikusan megszerzett információk tárolására, ugyanakkor megengedi a karakterisztikák osztályozását is. Habár nem szűri ki teljes mértékben az előforduló hibákat, csökkenti az objektív hibaszázalékot a gyakrabban felhasználható adatokat tároló nyilvántartásban.

A modell alkalmazható számítástechnikai eszközök, szoftveres műszaki berendezések, kísérleti szenzoradatok hatékony nyilvántartására és utólagos osztályozására.

Az automatizált rész adatgyűjtő módszereinek továbbfejlesztésével, fejlett adatbányász algoritmusok implementálásával, valamint az interaktív felület és az ezt szabályozó megszorítások pontosításával a kísérleti úton kapott hibaszázalékok tovább csökkenthetők.

#### KÖNYVÉSZET

- [1] Heteyi, J., *Vállalirányítási információs rendszerek Magyarországon*, Budapest, 2000
- [2] Distributed Management Task Force, Inc. (DMTF), *System Management BIOS (SMBIOS) Reference Specification v.2.7.1*, [http://dmtf.org/sites/default/files/standards/documents/DSP0134\\_2.7.1.pdf](http://dmtf.org/sites/default/files/standards/documents/DSP0134_2.7.1.pdf), 2011
- [3] The PCI ID Repository, <http://pciids.sourceforge.net/>
- [4] Reason, J., *Human error: models and management*, British Medical Journal, 2000;320:768–7