

# A MISKOLCI EGYETEM MECHANIKAI TECHNOLÓGIAI TANSZÉKE ANYAGVIZSGÁLÓ SZAKCSOPORTJÁNAK KUTATÁSI TEVÉKENYSÉGE A 2001–2010 KÖZÖTTI IDŐSZAKBAN

*Dr. Lukács János<sup>1</sup>, Cserjésné Sutyák Ágnes<sup>2</sup>, Dr. Gál István<sup>3</sup>,  
Koncsik Zsuzsanna<sup>4</sup>, Koritárné Fótos Réka<sup>5</sup>, Dr. Marosné dr. Berkes Mária<sup>6</sup>, Dr. Nagy Gyula<sup>7</sup>,  
Szávai Szabolcs<sup>8</sup>, Dr. Tóth László<sup>9</sup>*

## 1. BEVEZETÉS

A Szakcsoport kutatási és oktatási munkájának középpontjába – az előző 10 esztendőben is – a szerkezetek integritását, élettartam gazdálkodását állította. E témakörben kialakult a Tanszék egyik, hazai téren elismert és a nemzetközi szakmai életben is elfogadott „arculata”. Ugyanakkor, és ezen belül, jól megfigyelhető néhány hangsúly eltolódás, illetve témakör megjelenés, amelyek a korábbi időszakra nem, vagy csak kisebb súllyal voltak jellemzőek. Ilyen az anyagminőség paletta szélesedése (kerámiák, kompozitok súlyának növekedése), a próbatételes vizsgálatok mellett a szerkezeti elemeken, szerkezeteken folyó vizsgálatok arányának növekedése, vagy a valós igénybevételek mind teljesebb megközelítése, természetesen egymással szoros összefüggésben.

A Szakcsoportban folyó kutató munka három fő tárgykör köré csoportosítható:

- szerkezetintegritás, élettartam gazdálkodás;
- károsodási folyamatok vizsgálata, terhelhetőséggel összefüggő elemzések;
- anyagtulajdonságok meghatározása, különös tekintettel a törésmechanikai mennyiségekre.

A közlemény célja a 2001-2010 közötti időszakban végzett kutatómunka és eredményeinek rövid bemutatása, a terjedelmi korlátok miatt a teljességre való törekvés igénye nélkül.

## 2. SZERKEZETINTEGRITÁS, ÉLETTARTAM GAZDÁLKODÁS

A szerkezetintegritással, élettartam gazdálkodással foglalkozó kutatások több dimenzióban folytak, átfogták

<sup>1</sup> egyetemi tanár, szakcsoportvezető, e-mail: janos.lukacs@uni-miskolc.hu

<sup>2</sup> tanszéki mérnök, e-mail: mechsagi@gold.uni-miskolc.hu

<sup>3</sup> egyetemi adjunktus, e-mail: metgal@uni-miskolc.hu

<sup>4</sup> tanársegéd, e-mail: metkzs@uni-miskolc.hu

<sup>5</sup> tanársegéd, e-mail: metkfr@uni-miskolc.hu

<sup>6</sup> egyetemi docens, e-mail: metmar@gold.uni-miskolc.hu

<sup>7</sup> egyetemi docens, e-mail: metnagy@gold.uni-miskolc.hu

<sup>8</sup> egyetemi adjunktus, e-mail: szavai.szabolcs@bay-logi.hu

<sup>9</sup> egyetemi tanár, e-mail: tlaszlo@bzlogi.hu

<sup>1-9</sup> Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, www.met.uni-miskolc.hu

a konkrét szerkezeti elemtől a teljes rendszerig terjedő skálát. A legösszetettebb feladatokat – ebben a tárgykörben is – a csővezetékek területén oldottuk meg.

A fém-polimer hibrid csövek élettartam gazdálkodása tárgyú kutató munka célja a fém-polimer hibrid csövek ciklikus, a különböző terhelésekből adódó fárasztó igénybevétellel szembeni ellenállásának meghatározása, továbbá a csövek élettartamának becslése volt. Irodalomkutatást végeztünk külső és belső megerősítésű hibrid csövek témakörben, kitérve az anyagminőségek, a megerősítési technológiák, a károsodási mechanizmusok, a károsodás detektálási lehetőségek és a méretezési (élettartam becslési) módszerek kérdéseire. Anyagjellemzőket és anyagi mérőszámokat gyűjtöttünk a kísérleti és a numerikus számítási feladatok megoldásához, kiegészítő anyagvizsgálatokat végeztünk hiányzó mennyiségek meghatározására [1, 2]. Fárasztó- és repesztő vizsgálatokat végeztünk polimer mátrixú kompozittal megerősített kísérleti csőszakaszokon (1. ábra), elemeztük a tönkremeneteli folyamatokat [3]. Összhangban a kísérleti munkával, végelemes modelleket alkottunk megerősítés nélküli és megerősített csőszakaszokra, folyamatosan pontosítottuk azokat [4, 5], a kísérleti eredményeket összevetettük a számítások eredményeivel [6, 7]. A számításokkal egyúttal kialakultak a méretezési (élettartam becslési) módszerek is. Kidolgoztuk a hibrid csövek károsodása követésének technológiáját. A kutató munkában a Tanszék mellett, a BME Polimertechnika Tanszéke, továbbá a Széchenyi István Egyetem (Győr) Alkalmazott Mechanika Tanszéke és Informatika Tanszéke vett részt (OTKA T 049126).



1. ábra. Polimer mátrixú kompozittal megerősített hibrid csőszakasz fárasztó- és repesztő vizsgálat után.

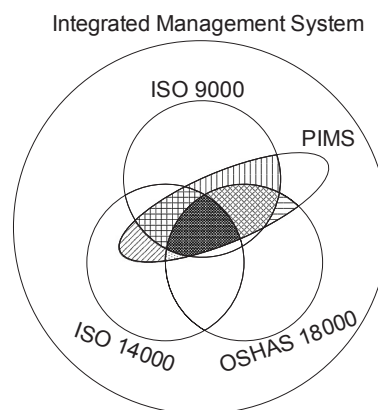
A polimer mátrixú kompozittal erősített hibrid csövek integritása tárgyú – az OTKA kutatáshoz szorosan kapcsolódó – munka keretében több szakaszban végeztük el a kitzűtött feladatokat. Ezek a következők voltak: adatbázis fejlesztések, az alapanyagok vizsgálati feladatainak megfogalmazása, vizsgálatok alapanyagokon; hibrid csövek vizsgálati feladatainak megfogalmazása, hibákat nem tartalmazó hibrid csövek vizsgálata, károsodott és megerősített hibrid csövek készítése; károsodott és megerősített hibrid csövek vizsgálata; méretezési, élettartam becslési és optimalizálási algoritmusok leírása, a károsodás követésére alkalmas technológia kidolgozása; ellenőrző számítások és vizsgálatok, a hibrid csövek időszakos felülvizsgálati technológiájának kidolgozása; disszeminációs konferencia [8], tananyagfejlesztés. A kutató munkában a Tanszék, a ME Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszéke, a BME Polimertechnika Tanszéke, Gép- és Terméktervezés Tanszéke, a SZE Alkalmazott Mechanika Tanszéke, Informatika Tanszéke, a Budaplast Műanyagipari és Kereskedelmi Zrt., valamint a POLINVENT Fejlesztő, Kivitelező és Értékesítő Kft. vett részt (GVOP-3.1.1.-2004-05-0215/3.0).

Döntéselőkészítő tanulmányt készítettünk a Csövezeték Integritás Irányítási Rendszer (Pipeline Integrity Management System = PIMS) hazai bevezetésére. Ennek keretében bemutattuk a téma fontosságát és időszerepességét; áttekintettük és összehasonlítottuk a napjainkra jellemző nemzetközi és hazai szabályozási hátteret és gyakorlatot; javaslatot tettünk a MOL Rt. Földgázszállításnál bevezetendő PIMS tartalmára (2. ábra) úgy, hogy bemutattuk a PIMS feladatát, helyét és szerepét a szervezetben és annak működésében, elemeztük a nemzetközi szakirodalomban található PIMS modelleket, összegeztük a MOL Rt. Földgázszállítás üzemeltetési gyakorlatában meglévő és az onnan hiányzó PIMS elemeket, továbbá kitértünk a PIMS bevezetésének várható következményeire, végeztül pedig vázoltuk a PIMS bevezetéséhez szükséges további feladatokat és javaslatot tettünk a bevezetés menetrendjére [9].

A témát – évekkel később – folytattuk, akkor három kérdéskörre fókuszálva: a PIMS korábban javasolt koncepciójának áttekintése a vonatkozó nemzetközi és egyes hazai dokumentumoknak való megfelelés vonatkozásában; a súlyos balesetek megelőzési irányelvei, illetve a súlyos balesetek megelőzési dokumentuma meglétének, szükségességének vizsgálata, tartalmuk kidolgozása; a belső szabályzatok műszaki tartalmának elemzése, koherenciájának vizsgálata az újabb EU-s kívánalmakkal, illetve a PIMS korábbiakban javasolt tartalmával [10]. Az összehasonlításokat, elemzéseket referencia mátrixok segítségével végeztük el. A referencia mátrixokkal azt vizsgáltuk, hogy a különböző szempontok hogyan jelennek meg a mértékadónak tekintett dokumentumokban, vagyis milyen a gondolkodás, illetve a megvalósítás kapcsolata a különböző rendszerekben.

A munka során a következő referencia mátrixokat készítettük el és alkalmaztuk: irányítási rendszer, hiba,

adatgyűjtés, adatelemzés és adatrendezés, valószínűség, illetve műszaki állapot, következmény és irányítási rendszer referencia mátrix.



2. ábra. A PIMS elhelyezkedése az integrált irányítási rendszerben és kapcsolatai más irányítási rendszerekkel

Már a PIMS hazai bevezetésével foglalkozó kutatások is hordoztak kockázatelemzéssel, illetve kockázatbecsléssel kapcsolatos részeket. Ez a tevékenység – különböző együttműködések formájában – megjelent az atomerőmű szerkezeti elemek kockázat alapú elemzése tárgy-körében is [11, 12].

A csőtávvezetékek egyik fontos elemével, a körvarratokkal, külön kutató munka keretében is foglalkoztunk. Ennek során javaslatot tettünk a körvarratok, illetve a körvarratokban lévő eltérések elemzésére és megvizsgáltuk az EPRG (European Pipeline Research Group) irányelveinek hazai bevezethetőségét. A kutató munkát hat kérdéskör köré csoportosítva végeztük: az EPRG irányelvek szakmai hátterének és indoklásának bemutatása; a hazai rendszer körvarratairól rendelkezésre álló adatok összegyűjtése és feldolgozása, matematikai-statisztikai módszerekkel való elemzése; a külföldi üzemeltetőknél előfordult varrathibák adatainak, továbbá az irodalomban található repesztéses/robbantásos vizsgálatok eredményeinek összegyűjtése és elemzése; a hazai vezetékek körvarrataiban előforduló hibák értékelése az EPRG irányelvek alapján; az EPRG irányelvek alkalmazásához szükséges alapvető vizsgálatok elvégzése; az EPRG irányelvek bevezethető szintjének kijelölése, illetve annak vizsgálata, hogy milyen teendők elvégzése után vezethető be mindhárom szint (MOL Rt. Földgázszállítás) [13, 14].

Alkalmazott kutatási feladat volt a Tiszaújváros-Százhalmabatta között készülő termékvezeték építési problémáinak és további üzemeltethetőségének az elemzése. Ennek során sokoldalúan vizsgáltuk az építéshez felhasznált csöveket, a vezeték kivitelezés szempontjából egyedi és sajátos jellemzőit, a vonali körvarratok hegesztésénél alkalmazott hegesztés-technológiákat; a varratok értékelésére vonatkozó és alkalmazott előírásokat, egyszerűsített ellenőrzést végeztünk fáradásra, továbbá fárasztó- majd repesztő-vizsgálatokat végeztünk

„megfelelt” és „nem megfelelt” körvartokat tartalmazó kísérleti csőszakaszokon (MOL Rt.) [15].

### 3. KÁRESETEK, KÁROSODÁSI FOLYAMATOK VIZSGÁLATA, TERHELHETŐSÉGGEL ÖSSZEFÜGGŐ ELEMZÉSEK

Folytatva a Tanszék és szakcsoportjai alapításuk óta végzett tevékenységét, a Szakcsoport az elmúlt 10 évben is számos káreset elemzésében, okainak felderítésében és későbbi, hasonló káresek megelőzésére vonatkozó javaslatok megfogalmazásában vett részt. Ilyenek voltak a különböző méretű (DN 200 – DN 800) csőtávvezetési csöveken és hegesztett kötéseikben, műtárgy kereszteseknél, különféle tároló tartályokban, lubrikátorcsövön, kompresszorok pulzációs edényében, vezérmű tengelyén és görgőin (MOL csoport), gázkutak főtölőzárjában (Zsana Földalatti Gáztároló Üzem), szállító csiga tengelyén (3. ábra, Ventifilt Kft.) [16], csőtávvezetékek hegesztésénél, Németországban (KVV Kőolajvezetéképítő Zrt.), egyengető hengereknél (Thyssen Krupp Silco-Inox Ltd.), továbbá réz szűkítőben (Észak-Zalai Víz- és Csatornamű Zrt.) bekövetkezett káresemények.



3. ábra. Szállító csiga károsodott tengelye.

A károsodási folyamatok elemzése tárgykörben a csőtisztító szerszámok fejlesztése témakört emeljük ki. Ennek keretében áttekintettük és jellemeztük a földgázszállító távvezetési rendszer releváns műszaki sajátosságait; bemutattuk a nemzetközi és a hazai gyakorlatban használatos vezeték tisztító eszközöket, azok – fém és polimer anyagú – kopó tömítő-tisztító tárcsáit, valamint összefoglaltuk a vonatkozó üzemeltetői tapasztalatokat; meghatároztuk a tisztító görények tárcsái igénybevételeinek jellegét; összegeztük a kopó tömítő-tisztító tárcsákkal szemben támasztott követelményeket, végezetül pedig definiáltuk a kopó tömítő-tisztító tárcsák elvárt, illetve kívánatos paramétereit, paraméter-tartományait (Földgázszállító Zrt.) [17].

A terhelhetőséggel összefüggő elemzéseink egyike a

terepi csőhajlítások szilárdsági méretezése volt. Ennek során – különböző források adatai alapján – feldolgoztuk a minimális hajlítási sugár-csőátmérő kapcsolatokat, a szénhidrogénszállító csőtávvezetékeknél járatos átmé-  
rőkre; megállapítottuk a különböző elvekre épülő adatok jó egyezését és határértékeket jelöltünk ki. Szilárdsági és alakhibára (ovalításra) vonatkozó ellenőrzéseket végeztünk, amelyekből megállapítottuk, hogy azok a kijelölt határértékek alkalmazhatóságát nem korlátozzák. Az alkalmazhatóság érdekében számításokat végeztünk rugalmas alakváltozású, vagyis önhajló esetekre, becsatlakozásokra, figyelembe véve a megrendelői gyakorlatban előforduló esetek tartományait, az eredményeket tervezési segédletbe illeszthető módon foglaltuk össze (MOL Rt. Földgázszállítás) [18].

Egy másik, terhelhetőségi elemzés polimer mátrixú kompozit anyagú tetőtartó elemekre vonatkozott. A tetőtartó elemeket több hőmérsékleten, nyomó- és szakítóvizsgálatnak (4. ábra) vetettük alá, a szerkezetben beépített terhelési feltételeket követő (modellező) módon. A vizsgálatok célja nem a hagyományos (szabványos) anyagvizsgálati mérőszámok meghatározása volt, a kivitelezésből következően nem is lehetett az, hanem arról szerettünk volna információt kapni, hogy a kétféle módon terhelt szerkezeti elem tönkremenetele milyen folyamat szerint zajlik le, továbbá karakterisztikus mérőszámokat kerestünk a tönkremenetel jellemzésére. Utóbbiak – természetesen – lehetővé teszik a más anyagminőségű és/vagy részben eltérő konstrukciójú szerkezeti elemekkel való összehasonlítást is, tehát egyfajta bázis adatul is szolgálnak, illetve szolgálhatnak (ME MAK Polimermérnöki Tanszék, Lindab Kft.).



4. ábra. Polimer mátrixú kompozitból készült tetőtartó elem nyomóvizsgálat után.

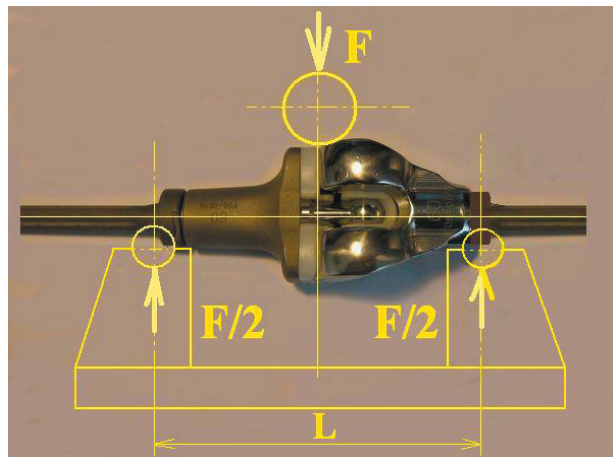
Egy harmadik terhelhetőségi elemzés – amely már lényegében átvezet az élettartam gazdálkodás tárgykörébe – a vezeték lyukadások javításának témaköre volt. Az üzemelő földgázszállító csővezetékek életkorának növekedésével mind nagyobb szerepe van az acélcsővek, valamint azok hegesztési varratai üzem közbeni javításának. Az üzembiztonságot csökkentő meghibásodások

megelőzése a fenntartási „filozófia” alapja, azonban a diagnosztikai módszerek mind szélesebb körű alkalmazása mellett is előfordulhatnak vezeték lyukadások. A lyukadások elhárítására üzem közben – elsősorban ideiglenes jelleggel – kerül sor, gyakran ennek eszköze az adott helyre-méretre az elhárítás keretében gyártott ideiglenes csőbilincs. A feladat ideiglenes javításra alkalmazható egyedi, „saját” gyártású (oldható kötésekkel felhelyezhető) csőbilincsek kialakítására, a szerkezetre és a tömítő rendszerre vonatkozó, szilárdsági méretezésre alapozott műszaki javaslattétel, majd – ennek elfogadása után – a megoldás megfelelőségének kísérletekkel való igazolása volt (5. ábra). A kísérletek tapasztalatait is felhasználva el kellett továbbá készíteni és engedélyeztetni kellett a gyártási típusterveket (MOL Rt. Földgázzszállítás) [19].



5. ábra. Csővezeték lyukadás időszakos javítására szolgáló csőbilincs (In memoriam Balogh Gábor)

Más jellegű – és anyagfejlesztést is magukba foglaló – terhelhetőségi elemzések köthetők az orvosi implantátumokhoz. Az emberi szervezetben leggyakrabban a csípő-, a térd- és a váll-ízületek kopnak, ezekre az ízületekre nagy mozgástartományban, nagy erőkarokkal, jelentős terhelések hatnak. Ha az ízületi porc kopását nem sikerül megállítani, a porc a csontos alapig is elkophat és szükségessé válik a műtétes terápia (leginkább protézis beültetés). Az eljárás lényege, hogy eltávolítják a degenerálódott, egyenetlen íz-felzíneket, és a helyükre fém, illetve műanyag komponensekből készült protézist ültetnek. A műtéti beavatkozások folyamatos fejlődése új minőségi elvárásokat támasztanak a protézisek anyagminőségeivel szemben, amelyek közül legfontosabbként a „szövetbarát” tulajdonságot, a biokompatibilitást kell kiemelni. Az új anyagminőségek kiválasztásánál további fontos követelmény az ízületi terhelések pontos ismerete. Az elmúlt évek során biomechanikai elemzésekre (6. ábra) és terhelhetőségi vizsgálatok eredményeire építve javaslatokat dolgoztunk ki az új, korszerű anyagminőségek alkalmazására, támogatva ezzel az orvostechnikai implantátumok hazai gyártásának fejlesztését is (Protetim Orvosi Műszergyártó Kft.).



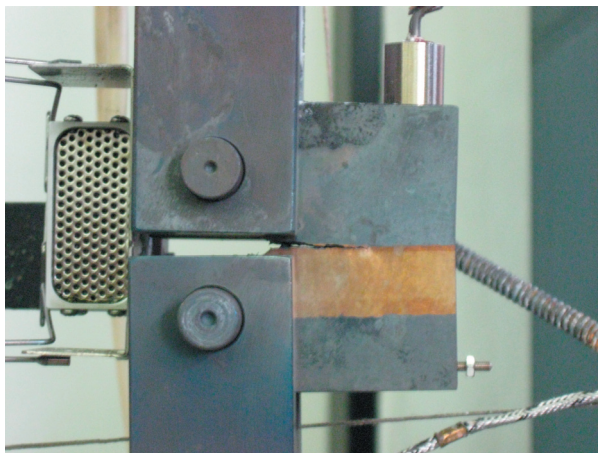
6. ábra. A térdprotézis oldalhajlítása – a térd oldalhajlásának modellezése.

#### 4. ANYAGTULAJDONSÁGOK MEGHATÁROZÁSA

A kisciklusú fáradás, a nagyciklusú fáradás és a fáradásos repedésterjedés – amely területen az első hazai vizsgálatot a Tanszék végezte – közötti kapcsolat feltérképezése érdekében fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatokat végeztünk SiC részecske, illetve C szál erősítésű fém mátrixú kompozitokon, E-üveg szál erősítésű polimer mátrixú kompoziton és ultra nagy szilárdságú (UHSLA) acélon [20]. A vizsgálatok alapján alapadatokat határoztunk meg fáradásos repedésterjedésre érvényes tervezési görbékhez. Kapcsolatot találtunk a kisciklusú fáradás, a nagyciklusú fáradás és a fáradásos repedésterjedés között, anyagszerkezettani alapokon. Meghatároztuk a Manson-Coffin összefüggés kitevője, a Basquin összefüggés kitevője és a Paris-Erdogan összefüggés kitevője közötti kapcsolatot, a vizsgált anyagcsoportokra [21]. A közös anyagszerkezettani alap és az anyagi mérőszámok segítségével „tönkremeneteli felület”-et értelmeztünk ismétlődő igénybevételek esetére. Megállapítottuk, hogy a „tönkremeneteli felület”-ek segítségével a különböző anyagi mérőszámok átszámíthatók egymásba (OTKA T 034503).

Erőműi szerkezeti elemek élettartam gazdálkodásának támogatása céljából alap- és alkalmazott kutatási feladatokat egyaránt megoldottunk. Az alapkutatási feladatok körében elemeztük a hőmérséklet folyási határra, szakítószilárdságra és rugalmassági moduluszra gyakorolt hatását (08X18H10T, 15Mo3, mikroötvözött acél kazánobozóhoz, 22K alapanyagok, SzV-10H16N25AM6 hegesztő hozaganyag), a hőmérséklet és a közeg befolyását ugyanezen anyagok fáradásos repedésterjedéssel szembeni ellenállására és K<sub>1c</sub> törési szívósságára, valamint vizsgálati és értékelési technikákat tanulmányoztunk a körben bemetszett hengeres (CRB) próbatest K<sub>1c</sub> törési szívósság vizsgálatokhoz való alkalmazása céljából. Az alkalmazott kutatási feladatok körében fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatokat végeztünk korróziós

közegben, különböző névleges hőmérsékleteken (anyagminőségtől függően 100 °C, 296 °C, 300 °C, illetve 325 °C) [22], KIc törési szívósság vizsgálatokat végeztünk korróziós közegben, különböző névleges hőmérsékleteken (szintén anyagminőségtől függően 100 °C, illetve 300 °C, továbbá korróziós közeg nélkül 260 °C, illetve 410 °C) [23]. További fáradásos repedésterjedési sebesség vizsgálatokat végeztünk korróziós közegben, két különböző hőmérsékleten (100 °C, illetve 300 °C), 3 órás statikus terhelés közbeiktatásával, valamint két különböző hőmérséklet (296 °C, illetve 325 °C) között négyszög függvény szerint változó hőmérsékleteken, ugyancsak anyagminőségtől függően 7. ábra). Az értelmezhető törésmechanikai mennyiségek meghatározása mellett kritikus repedésméretet számítottunk egy-egy ismert, főgőzvezetékre, illetve kazánodra alkalmazható szerkezeti elem modell alapján (CORWELD Kft.).

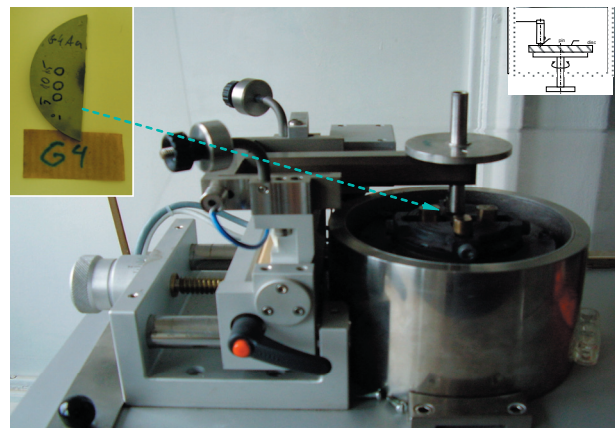


7. ábra. Hegersztett kötés összeolvadási vonalán terjedő fáradásos repedés terjedési sebességének vizsgálata növelt hőmérsékleten, injektált korróziós közegben

A Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> alapú kerámiák törésmechanikai és tribológiai jellemzőinek javítása, vizsgálata és modellezése témakörben különféle szilíciumnitrid alapú kerámiák dinamikus igénybevétellel szembeni és tribológiai viselkedésének elméleti és kísérleti tanulmányozására, a károsodási folyamatok anyagszerkezeti hátterének vizsgálatára, valamint a mechanikai, törésmechanikai és mikroszerkezeti jellemzők, illetve a kopási tulajdonságok és az anyagszerkezeti paraméterek kapcsolatának vizsgálatára került sor. Műszerezett ütővizsgálatokat végeztünk, elektro-emissziós méréssel kiegészítve, monolitikus és C-nanocsővel erősített Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kerámiákon a KI<sub>Ic</sub> törési szívósság meghatározása sebességfüggésének elemzése és a dinamikus törési folyamat jellemzése céljából. Pin-on-disc kopásvizsgálatokat végeztünk (8. ábra), különféle mechanikai, mikroszerkezeti és fraktográfiai (SEM) vizsgálatokkal kiegészítve, C+ és N+ ionnal-implantált, illetve utóhőkezelt Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kerámiákon, monolitikus Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-en és Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiC/grafit nanokompozitokon [24]. Sor került továbbá üvegek felületi rétegében kialakult gyártási maradó feszültségek elemzésére is (OTKA T

046467). A monolitikus és karbon nanocsővel erősített Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> kerámia kompozitok mechanikai (statikus és dinamikus) és tribológiai viselkedésének vizsgálata kétoldalú (KFKI MFAKI) [25, 26], az üvegek maradó feszültségének elemzése, a karcvizsgálat és a digitális képelemzés kapcsolatának kutatása pedig háromoldalú (DE Informatikai Intézet, ME MAK Anyagtudományi Intézet) együttműködés keretében folytatódott, illetve folytatódik [27, 28].

A Szakcsoport tagjai a modellezés és szimuláció az anyagtudományban és az anyagszerkezetekben tárgykörhöz kapcsolódóan inhomogén anyagszerkezetek repedéskeletkezési és repedésterjedési sajátosságait elemezték [29], továbbá fém és nemfém anyagok adatainak gyűjtését, elemzését és feldolgozását végezték el, végesselemez modellező szoftverek igényei szerint (OTKA T 037437, OTKA NI 61724) [30, 31].



8. ábra. Pin-on-disc kopásvizsgálat elve és elrendezése

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A közlemény bemutatta a Miskolci Egyetem 60 éves Mechanikai Technológiai Tanszéke Anyagvizsgáló Szakcsoportjában, az elmúlt 10 esztendőben folytatott kutatómunka legfontosabb elemeit és eredményeit. A terjedelmi korlátok még az érintett tárgykörök esetében sem tették lehetővé a teljes körű ismertetést, az egyes részletek az irodalomjegyzékben felsorolt forrásmunkákban megtalálhatók.

Szilárd meggyőződésünk, hogy korszerű egyetemi oktatás színvonalas és sokrétű kutatás nélkül nem képzelhető el. A Szakcsoport tagjai alkotó módon járultak hozzá a Bologna-rendszerű képzésre való átállás folyamatához, részesei voltak a teljes képzési struktúra, különösen pedig a tanszéki BSc és MSc irányok képzési szerkezetének kialakításának. Az elmúlt 10 esztendőben, lényegében folyamatosan, részt vettünk olyan oktatásfejlesztési projekteknél, amelyek célja a – bemutatott kutatási eredményeket is magukba foglaló – tartalomfejlesztés, ismeretmegújítás és módszertani fejlesztés volt, jellemzően párhuzamosan. A kapcsolódó oktatásfejlesztési projektek a következők voltak:

- Moduláris rendszerű virtuális gépészmérnök-képzés (Apertus Közalapítvány K1124/2001): Törésmechanikai virtuális laboratórium témakör;
- Advanced Engineering – Korszerű műszaki ismeretek angolul (Phare HU0008-02-01-0071): Engineering Lifetime Management – Műszaki Életciklus Menedzsment modul;
- Többnyelvű e-learning tananyagok és kurzusok fejlesztése és tesztelése a korszerű mérnöki tudományok területén, újrafelhasználható elemek, második generációs e-learning környezet és módszertan felhasználásával – e2ngineering (Leonardo da Vinci HU/04/B/F/PP-170029): IT in Materials Sciences modul;
- Miskolci Térségi Integrált Szakképző Központ (MISZK) létrehozása (HEFOP 3.2.2-P.-2004-10-0011): Élettartam gazdálkodás és Laboratóriumok akkreditálása című tananyagok;
- Moduláris rendszerű CAD/CAM/FEM kompetencia kurzusok felsőfokú végzettséggel rendelkezők át-, illetve továbbképzésére (HEFOP-3.3.1-P.-2004-06-012).  
A felsoroltak mellett a Szakcsoport tagjai részt vettek a Life-time management of engineering structures (Siemens Erőműtechnika Kft.), a Hegesztő szakmérnök (EWE/IWE), valamint a Nemzetközi hegesztett szerkezet tervező (IWS) képzésekben.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A Szakcsoport tagjai – ez úton is – köszönetüket fejezik ki a közleményben felsorolt projektek nyújtotta támogatásokért, amelyek segítségével a bemutatott kutatási feladatokat elvégezheték, illetve az eredményeket elérheték. Kiemelt köszönetet mondunk azért, hogy egyes témakörök a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával folytatódhattak, illetve folytatódhatnak.

## 7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1.] CZÉL, G.; CZIGÁNY, T.: Tekercselt polimer kompozit csövek nedvességfelvételének merevségének és szerkezetének komplex vizsgálati lehetőségei. *Anyagvizsgálók Lapja*, (17) 2007. p. 13-19. ISSN 1215-8410.
- [2.] CZÉL, G.; CZIGÁNY, T.: Study of moisture absorption and mechanical properties of glass fiber / polyester composites – effects of specimen geometry and preparation. *Journal of Composite Materials*, 42 (2008), p. 2815-2827.
- [3.] LUKÁCS, J.; NAGY, GY.; TÖRÖK, I.: The Role of the External and Internal Reinforcing on the Structural Integrity of Damaged Steel Pipelines. *Procedia Engineering*, 10 (2011) p. 2521 – 2526. ISSN1877-7058.

- [4.] ÉGERT, J.: Acélcövek külső és belső körhibáinak kompozit szalagos javítása – végeelem analízis, *Gép*, 2008, 10-11. p. 30-35.
- [5.] PERE, B.; ÉGERT, J.; SZABÓ, T.: Reinforcement of inner and outer circular failures of pipes by textile composite layers, *Journal of Computational and Applied Mechanics*, Vol. 10., No. 1., (2009) p. 1-15.
- [6.] LUKÁCS, J.; NAGY, GY.; TÖRÖK, I.; ÉGERT, J.; PERE, B.: Experimental and Numerical Investigations of External Reinforced Damaged Pipelines. *Procedia Engineering*, 2 (2010) p. 1191–1200.
- [7.] LUKÁCS, J.; NAGY, GY.; TÖRÖK, I.; ÉGERT, J.; PERE, B.: Experimental and Numerical Investigations of Internally Reinforced Damaged Pipelines. 18th European Conference on Fracture (ECF18) – Fracture of Materials and Structures from Micro to Macro Scale, August 30-September 03, 2010, Dresden, Germany., *Proceedings on CD-ROM*. DVM, Berlin, 2010. p. 126-133.
- [8.] Polimer mátrixú kompozittal erősített hibrid csövek integritása. Szerk.: LUKÁCS, J. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2008. p. 1-197. ISBN 978-963-661-831-5.
- [9.] Döntéselőkészítő tanulmány a Pipeline Integrity Management System (PIMS) hazai bevezetésére. Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 2002. p. 1-119. Témavezető: LUKÁCS, J.
- [10.] A Pipeline Integrity Management System kidolgozásának (PIMS) folytatása. Szakmai jelentés. Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 2004. p. 1-64. Témavezető: LUKÁCS, J.
- [11.] FÓTOS, R.; TÓTH, L.; TRAMPUS, P.: Assessment of failure occurrence probability as an input for RISI at Paks NPP. 8th International Conference on NDE in Relation to Structural Integrity for Nuclear and Pressurised Components, September 29 – October 1, 2010, Berlin, Germany.
- [12.] FÓTOS, R.; TÓTH, L.: Risk-based applications in industry. ASME 2009 Pressure Vessels and Piping Division Conference (PVP2009), July 26-30, 2009, Prague, Czech Republic.
- [13.] Javaslat a körvarratok, illetve a körvarratokban lévő eltérések elemzésére és annak vizsgálata, hogy az EPRG irányelveinek melyik szintje alkalmazható a hazai rendszerre. Szakmai jelentés. Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 2004. p. 1-56. Témavezető: LUKÁCS, J.
- [14.] NAGY, GY.; LUKÁCS, J.; TÖRÖK, I.: Assessment of Methods in Girth Welds of Steel Pipelines. *Materials Science Forum*, Vols. 473-474, (2005) pp. 243-248. Ed.: GYULAI, J. Trans Tech Publications, Switzerland, 2005. ISSN 0255-5476.
- [15.] Zárójelentés a MOL Rt. Tiszaujváros-Száhalombatta között készülő termékvezeték építési problémáinak és további üzemeltethetőségének elemzése című témában. Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 2006. p. 1-91. Témavezető: NAGY, GY.

- [16.] NAGY, GY.; TÖRÖK, I.; LUKÁCS, J.: Szállító csiga tengelyének törése. Első Országos KÁRELEMZÉS Konferencia, Miskolctapolca, 2007. április 24-25. CD-ROM, BAY-LOGI, Miskolc, 2007.
- [17.] Kutatás-fejlesztési (K+F) zárójelentés a Csőtisztító szerszámok fejlesztése című munka keretében végzett tevékenységekről. Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 2009. p. 1-98. Témavezető: LUKÁCS, J.
- [18.] Kutatási zárójelentés a Terepi csőhajlítások szilárdsági méretezése című téma keretében végzett munkáról (kiegészített változat). Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 2004. p. 1-42. Témavezető: LUKÁCS, J.
- [19.] Vezeték lyukadások javítása. Szakmai jelentés. Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 2004. p. 1-37. Témavezető: TÖRÖK, I.
- [20.] LUKÁCS, J.; CSOMÓS, Z.; GÁCSI, Z.; KARCAGI, R.; MAGYAR, A.; TOMOLYA, K.: Fáradásos repedésterjedés különböző típusú kompozitokban. Anyagvizsgálók Lapja, (14) 2004/4. p. 122-126. ISSN 1215-8410.
- [21.] NAGY, GY.; LUKÁCS, J.: Connection among the Characteristics of the Low Cycle Fatigue, High Cycle Fatigue and Fatigue Crack Growth. The Mechanical Behavior of Materials X. Key Engineering Materials, Vols. 345-346, Eds.: NAM, S. W. et al. Trans Tech Publications Ltd, 2007. p. 533-536. ISSN 1013-9826.
- [22.] LUKÁCS, J.: Fatigue Crack Growth Tests on Type 321 Austenitic Stainless Steel in Corrosive Environment and at Elevated Temperature Procedia Engineering 2 (2010) 1201–1210.
- [23.] LUKÁCS, J.: Determination of Plane-Strain Fracture Toughness Using Cracked Round Bar Specimens and their Applicability for Reliability Assessment Calculations. Procedia Engineering, 10 (2011) p. 2527 – 2532. ISSN1877-7058.
- [24.] MAROS, B. M.; KONCSIK, ZS.; BALÁZSI, CS.; ARATÓ, P.: Mechanical characterization of Si3N4/CNT nanocomposites, VII. Országos Anyagtudományi Konferencia, Poster session, short oral session, Balatonkenese, 2009. 10. 11-13.
- [25.] MAROS, B. M.: Si3N4 kerámiák mechanikai viselkedése I. Kvázistatikus és dinamikus terhelési jellemzők. Műszaki Tudomány az Észak Alföldi Régióban 2010. Ed.: POKORÁDI, L. Debrecen, p. 233-239. ISBN 978-963-7064-23-4.
- [26.] KONCSIK, ZS.: Si3N4 kerámiák mechanikai viselkedése II. Tribológiai jellemzés. Műszaki Tudomány az Észak Alföldi Régióban 2010. Ed.: POKORÁDI, L. Debrecen, p. 241-246. ISBN 978-963-7064-23-4.
- [27.] SZEGHALMY, SZ.; KONCSIK, ZS.; MAROS, B. M.; FAZEKAS, A.; BARKÓCZY, P.: Üvegfelületek elemzése képelemző módszerrel kiegészített karcvizsgálattal, CD Proceedings of KEPAF 2009. pp. 9.
- [28.] MAROS, B. M.; FAZEKAS, A.; BARKÓCZY, P.; SZEGHALMY, SZ.; KONCSIK, ZS.: Qualifying glass surfaces by scratch test with integrated image processing, Key Engineering Materials Vol. 413. Online at <http://www.scientific.net>, Trans Tech Publications, Switzerland, 2009. p. 267-274.
- [29.] KONCSIK, ZS.: Inhomogén anyagszerkezetek repedéskeletkezési és repedésterjedési sajátosságainak elemzése különös tekintettel a korszerű kerámia és kompozit anyagokra. Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 2008. p. 1-15. Témavezető: TISZA, M.
- [30.] KAULICS, N.; KONCSIK, ZS.; KOVÁCS, P.; LUKÁCS, ZS.; MAROS, B. M.; TISZA, M.: Anyagjellemzők adatbázisának kidolgozása anyagtechnológiai folyamatok végeselemes modellezéséhez. Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 2007. p. 1-64. Témavezető: TISZA, M.
- [31.] KONCSIK, ZS.: Fémes és nemfémes anyagok adatainak gyűjtése, elemzése és feldolgozása a végeselemes modellező szoftverek igényeinek figyelembevételével. Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék, 2008. p. 1-15. Témavezető: TISZA, M.



### Komplex mechanikai anyagvizsgáló laboratórium



**Rövid név:** ME MTT Avi\_Lab  
**Szervezet:** Miskolci Egyetem  
**Kapcsolattartó:** D. Lukács János  
**A KI honlapja:** <http://www.met.uni-miskolc.hu/hu/kutatas/tudkut/avikut.html>  
**Tudományterületek:** műszaki tudományok : szilárd testek ...

A komplex mechanikai anyagvizsgáló laboratórium több, különböző kapacitású, komplex mechanikai anyagvizsgálatok végzésére alkalmas berendezésből áll. Fő elemei: MTS elektrohidraulikus számítógép-vezérelésű univerzális anyagvizsgáló berendezés; névleges kapacitás: 250 kN; biaxiális vizsgálatokra alkalmas MTS gyártmányú berendezés statikus, dinamikus és ismétlődő igénybevételekre; névleges kapacitás: 250 kN; ZD típusú hidraulikus anyagvizsgáló berendezések 100-1000 kN névleges kapacitással; műszerezett ütővizsgálatokra alkalmas dinamikus ütőművek. A vizsgálórendszer további fontos elemei: 1.) Nyomástartó rendszerek és csővezetékek vizsgálatára alkalmas szerkezetvizsgáló berendezés, 2.) Komplex alakíthatósági vizsgálóberendezés különféle anyagok standard és speciális alakíthatósági vizsgálatának végzésére, amely egy számítógép-vezérelésű hidraulikus vizsgáló berendezésből és a vizsgálat közbeni kiértékelést is lehetővé tevő 4 CCD kamerás optikai alakváltozás mérő berendezésből áll. ...

## BAYZOLTÁN

Alkalmazott Kutatási Közalapítvány

Tervezés és üzembiztonság analízis  
 Mechanikai anyagvizsgálat



**BAY ZOLTÁN**  
 Alkalmazott  
 Kutatási Közalapítvány

Akkreditált laboratóriumunkban elvégezhető vizsgálatok:

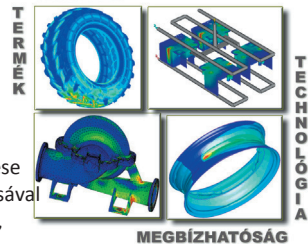
- Szakító-, nyomó- és hajlító vizsgálatok (alacsony-, szoba- és emelt hőmérsékleten)
- Fárasztó vizsgálatok (LCF, HCF)
- Törésmechanikai vizsgálatok
- Szerkezet-fárasztó vizsgálatok
- Biaxiális vizsgálatok (axiális/torziós) – statikus és váltakozó terheléssel
- Technológiai vizsgálatok (heg. varratok, kötőelemek, stb.)
- Ütővizsgálat (300 J), ejtővizsgálat (2700 J)
- Műszerezett keménységvizsgálat (HV, HRC) – helyszíni is hordozható eszközzel!
- Helyszíni keménységvizsgálatok (HV, HB, HRC, SHORE)
- Felületi érdességmérés
- Fajsúlymérés

Vizsgálati hőmérsékletek: -150...1400 °C

A tervezés és üzembiztonság analízis szolgáltatás a következő területekre terjed ki:

- Szerkezetek és berendezések konstrukciós és technológiai tervezése és optimalizálása, üzemelési állapotának modellezése numerikus módszerek alkalmazásával (mechanikai, áramlási, hőtani, technológiai szimulációk)
- A szerkezeti anyagokban a végbemenő károsodási folyamatok vizsgálata és elemzése
- Szerkezetek, berendezések biztonságos üzemeltethetőségi feltételeinek vizsgálata (hibák veszélyességének értékelése, élettartambecslés, terhelési állapotok numerikus modellezése véges elemes módszerrel)

#### TERVEZÉS



#### MEGBÍZHATÓSÁG

