

KUTATÁSI EREDMÉNYEK A SZÉNHYDROGÉNSZÁLLÍTÓ CSŐTÁVVEZETÉKEK INTEGRITÁSA TERÜLETÉN

RESEARCH RESULTS IN THE FIELD OF HYDRO-CARBON TRANSPORTING PIPELINE INTEGRITY

Lukács János^{*}, Nagy Gyula^{**}, Török Imre^{**}, Koncsik Zsuzsanna^{***}

ABSTRACT

The main elements of the activities of the Department of Mechanical Technology and its successor institution the Institute of Materials Science and Technology at the University of Miskolc were summarized in the field of pipes and pipelines. Structural integrity of hydro-carbon transporting pipelines was emphasized and the characteristic components of the integrity were demonstrated.

1. BEVEZETÉS

A műszaki alkotások elhasználódása, leromlása, értékcsökkenése jellemzően megállíthatatlan és visszafordíthatatlan folyamat. Általánosan megközelítve, a különböző létesítmények, szerkezetek, szerkezeti elemek, gépek, berendezések egyre nagyobb hányada közelítette meg, illetve érte el vagy éri el egykor tervezett élettartamát, miközben azok kisebb-nagyobb mértékben károsodtak, illetve károsodnak. Az ilyen műszaki alkotások üzemeltetésének beszüntetése, az esetek számottevő hányadában sem műszakilag, sem gazdaságilag nem indokolt, fel kell készülni az azokkal való együttélésre [1], integritásuk biztosítására.

Egy szerkezet integritásán – általánosan – annak üzemeltetésre való alkalmasságát értjük, élettartama bármely pillanatában. Az integritás biztosítása tehát összetett feladat, magában foglalja az állapotellenőrzést, az állapotfelügyeletet, a karbantartását, a rehabilitációt stb., végeredményben tehát élettartam meghosszabbítását. Az üzemelő, egyben károsodott szerkezetek gyakran a tervezésükkor feltételezett, illetve az üzembe állításukkor fennálló állapotokhoz képest nagymértékben megváltozott körülmények között működnek. Ezt ellensúlyozza az a tény, hogy a szerkezetek integritásáért felelő szakemberek rendelkezésére álló ismeretek folyamatosan és jelentős mértékben gyarapodnak, a tapasztalatokon alapuló technikákat egyre szélesebb körben váltják fel az elméleten alapuló eljárások. Arról van szó

tehát, hogy két ellentétes folyamat, a szerkezetek előregedése, leromlása, károsodása és a mérnöki tudás fejlődése küzd egymással, a szerkezet integritásának fenntartása, illetve élettartamának biztonságos meghosszabbítása érdekében [2].

A szerkezetek integritása témakörének jelentőségét számos nemzetközi és hazai példa indokolja. Kiragadva ezek közül hármat: a *European Group on Fracture* 1990-es évek közepe óta *European Structural Integrity Society* (ESIS) néven működik [3], az Európai Unió támogatta a *Teaching and Education in Structural Integrity in Hungary* című TEMPUS programot (1997-1999) [4], a negyedik rendezvénye következik az *International Conference on Structural Integrity and Durability* konferencia és nyári iskola sorozatnak (ICSID 2020, Dubrovnik, 2020. szeptember 14-18.) [5].

A csövek, csővezetékek és csővezeték rendszerek – általánosanban belső nyomással terhelt, hengersizmetrikus szerkezeti elemek – területén folyó kutató munka hosszú múltra tekint vissza a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetében (korábban Nehézipari Műszaki Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechanikai Technológiai Tanszék). Ez kiterjedt például a hegesztéstechnológiák kidolgozására, illetve ellenőrzésére [6], a csövek szilárdságának, illetve hegesztett kötéseinek vizsgálatára [7], a hegesztett csőkötések korróziójának elemzésére [8], továbbá a melegszilárd és a korrózióálló acélok alkalmazására [9-11].

Kiemelést és részletezést érdemel az a szerteágazó tevékenység, amelyik a szénhidrogénszállító csőtávvezetékek területén zajlott és zajlik, s amely kiterjed a vezetékek teljes életciklusára. Említést érdemlő sajátossága ezeknek a tárgyköröknek a ciklikusság, az egyes feladatok ismételt megjelenése, természetesen más-más okokból, más – még hozzá jellemzően fejlettebb – műszaki környezetben és részlegesen más célokkal. A teljes vezetékrendszer átlagos életkora folyamatosan nő, amely már önmagában is megköveteli az egyes témakörök figyelemmel kísérését. Nem véletlen tehát,

^{*} egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

^{**} címzetes egyetemi tanár, Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

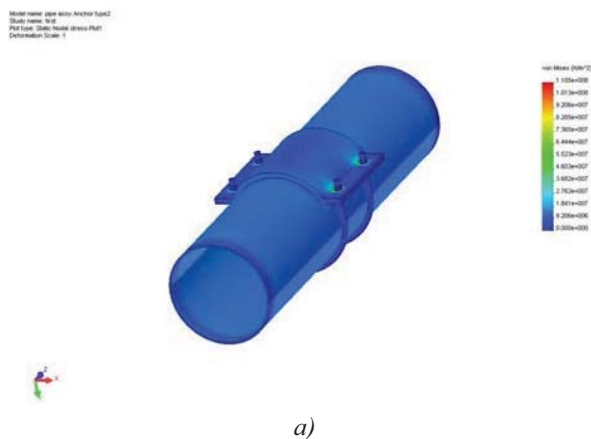
^{***} egyetemi docens, Miskolci Egyetem Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet

hogy az elmúlt, több mint négy évtizedben visszatérően jelentkeztek feladataink ezen a komplex területen.

2. CSŐTÁVVEZETÉKEK MÉRETEZÉSE, HEGESZTÉSE, A HEGESZTETT KÖTÉSEK ELLENŐRZÉSE

A csőtávvezetékek méretezésének elve évszázados múltra tekint vissza, annak gyakorlati megoldásai sokszínűek, igyekeznek figyelembe venni az anyagminőségekben meglévő különbségeket (például rugalmasséplékeny viselkedés, szívósság), a fizikai elhelyezkedés sajátosságait (például műtárgy keresztezés), az üzemeltetés körülményeit (például hőmérséklet, külső közeg) és a – részben az előzőekből is eredő – komplex terhelési viszonyokat. Ezek bemutatására elemeztük a szilárdsági méretezés lehetőségeit, összehasonlítva a különböző előírás rendszereket [12] és bemutatva egy vonatkozó szoftver kifejlesztésének a lehetőségét [13]. Részben méretezési, részben terhelhetőségi feladat volt a csővezetéki mozgatók és mozgások vizsgálata [14]. Egy másik, terhelhetőséggel összefüggő elemzés volt a terepi csőhajlítások szilárdsági méretezése. Ennek során feldolgoztuk a minimális hajlítási sugár-csőátmérő kapcsolatok, a szénhidrogénszállító csőtávvezetékeknel járatos átmérőkre; megállapítottuk a különböző elvekre épülő adatok jó egyezését és határértékeket jelöltünk ki. Ezek után szilárdsági és alakhibára (ovalításra) vonatkozó ellenőrzéseket végeztünk, majd megállapítottuk, hogy azok a kijelölt határértékek alkalmazhatóságát nem korlátozzák. Az alkalmazhatóság érdekében számításokat végeztünk rugalmas alakváltozású, vagyis önhajló esetekre, becsatlakozásokra, figyelembe véve a gyakorlatban előforduló esetek tartományait, az eredményeket pedig tervezési segédletbe illeszthető módon foglaltuk össze [15]. Szintén terhelhetőségi – de akár szerkezetintegritásának is mondható – téma volt a vezeték lyukadások javításának témaköre. A leg gondosabb üzemeltetés mellett is előforduló 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 (1. a) ábra) műszaki javaslattétel, majd – ennek elfogadása után – a megoldás megfelelőségének kísérletekkel való igazolása volt (1. b) ábra). A kísérletek tapasztalatait is felhasználva elkészítettük és engedélyeztettük a gyártási tívusterveket [16].

A hegesztés területén az egyik jellemző feladat hegesztés-technológiák kidolgozása, közte típus-technológiák készítése [17], valamint a nyomás alatti hegesztés technológiájának kutatása [18] volt.



a)



b)

1. ábra Ideiglenes csőbilincs lyukadások javítására:
a) szilárdsági méretezés;
b) a kifejlesztett bilincs ellenőrzése

A technológiák fejlődése és az újabb kihívásoknak való megfelelés megkívánta a földgázszállításnál jellemzően felmerülő hegesztési területek és tevékenységek felmérését, kategorizálását; a területeken értelmezhető kockázatok meghatározását; az üzemeltetés és a rekonstrukció során alkalmazott hazai és külföldi (EU és USA) hegesztési gyakorlat áttekintését, beleértve az alkalmazott hegesztéstechnológiák tervezésére és kiválasztására vonatkozó hazai és külföldi előírások elemzését is. Mindezek ismeretében – konkrét elemeket és tájékoztató gazdasági (pénzügyi) becslést tartalmazó – javaslatokat tettünk az FGSZ távlati hegesztési koncepciójára [19]. Újabb technológiai ugrásként értelmezhető a fizikai szimuláció lehetőségének, konkrétan a Gleeble 3500 termo-mechanikus fizikai szimulátornak az alkalmazása [20-23], amelyet alkotó módon alkalmaztunk a csővezetékek hegesztéstechnológiáinak fejlesztésére [24-26].

Minden hegesztéssel összefüggő témakör része a hegesztett kötések vizsgálata, különös tekintettel a varrathibák kimutathatóságát befolyásoló tényezőkre

[27], a radiográfiai felvételek értékelésére [28],[29], az ultrahangvizsgálat (UT) és a röntgenvizsgálat (RT) összehasonlítására [30], valamint a roncsolásmentes vizsgálati eljárások megbízhatóságára [31]. Ennek kapcsán fontos idézni azt a cikket, amely a roncsolásmentes vizsgálatok jelentőségére irányítja a figyelmet a szerkezetintegritás(i kutatások) területén [32].

3. KÁRESETEK, KÁROSODÁSI FOLYAMATOK

A Barátság II. kőolajvezeték (1980-as évektől bekövetkező) törései három kérdéskörre is ráirányították a figyelmet. Egyrészt a hosszvarratos csövek gyártási problémáira, másrészt a kvázistatikus (állandó nyomással történő) üzemeltetés fontosságára, harmadrészt pedig arra a tényre, hogy egy, lényegében állandó terhelésre tervezett szerkezet esetében milyen problémákat jelenthet az ismétlődő igénybevétel [33-35]. A tanulságok a nagyszilárdságú acélcövek egyre szélesebb körű alkalmazása vonatkozásában is fontosak (például Y/T arány). Az ismétlődő igénybevétel jelentőségére egy másik sajnálatos káreset, az öcsödi gömbcsap törése [35] is felhívta a figyelmet. Az ismétlődő igénybevétellel terhelt szerkezetekben lévő repedésszerű hibák értékelésével más megközelítésekben is foglalkoztunk. Ezek során elemeztük a Barátság II. kőolajvezeték kiváltott szakaszának gázszolgáltatásban való hasznosíthatóságát [37], a feszültségkorrózió és a korróziós fáradás előfordulásának valószínűségét [38], értékeltük a Testvériség és a Közép-magyar gázvezetékek repedt varratait [39],[40], továbbá vizsgáltuk a repedésterjedés körülményeit a Falc-gyártmányú hosszvarratos csövekben [41]. Ezekhez az elemzésekhez használtuk a fáradásos repedésterjedésre érvényes tervezési görbéket [42].

A nagy jelentőségű szerkezeteken bekövetkező és/vagy nagy anyagi kárral járó káresetek minden esetben arra is rákényszerítik az üzemeltetőket, hogy globálisan, az adott esettől részben elvonatkoztatva, szinte külső szemmel vizsgálják meg a káreset tágabb, a teljes rendszerre kiterjeszhető vonatkozásait. Ilyen gondolkodást alapoztak meg egy DN 800-as szigetelő karima meghibásodásáról, egy károsodott üzemi nyersgáz belépő vezeték tönkremeneteléről, továbbá az Endrőd DN 800-as földgázszállító vezeték káreseteinek kivizsgálásáról készített jelentéseink [43-46]. Utóbbi káreset kivizsgálásának egyik pillanatát örökíti meg a 2. ábra, amely az FGSZ Földgázszállító Zrt. Miskolci Üzemében készült (2020. január 2.).

A károsodási folyamatok elemzése kapcsán a csőtisztító szerszámok fejlesztése témakört emeljük ki. Ennek keretében áttekintettük és jellemeztük a földgázszállító távvezeteki rendszer vonatkozó műszaki sajátosságait és bemutattuk gyakorlatban használatos vezeték tisztító eszközöket, külön kitérve azok (fém és polimer anyagú) kopó tömítő-tisztító tárcsáira. Ezek mellett összefog-

laltuk a releváns üzemeltetői tapasztalatokat; meghatároztuk a tisztító görények tárcsái igénybevételeinek jellegét; megfogalmazzuk a kopó tömítő-tisztító tárcsákkal szemben támasztott követelményeket; végeztük pedig definiáltuk a tárcsák elvárt, illetve kívánatos paramétereit, paraméter-tartományait [47].



2. ábra Károsodott csődarab az FGSZ Földgázszállító Zrt. Miskolci Üzemében (In memoriam Dr. Nagy Gyula)

4. CSŐVEZETÉKI HIBÁK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK, A HIBÁK JAVÍTÁSA

Az üzemelő csőtávvezetékek, illetve csőtávvezeték rendszerek on-line vizsgálati módszerei megállíthatatlanul fejlődnek. Köszönhetően ennek [48], valamint az eredmények felhasználhatóságának és felhasználásának [49], kidolgoztuk a folyamatosan öregedő vezetékek lehetséges hibáinak csoportosítását [50]. A hibák megjelenési formái alapján elvégzett rendszerezés eredménye műszaki utasításban is megjelent [51]. A hibák rendszerezésével párhuzamosan, összefoglaltuk a hagyományos és a törésmechanikai elveken alapuló értékelési módszereket [52]. Ezek ismeretében, kísérleti csőszakaszokon elvégzett vizsgálatok eredményeit [53] felhasználva, meghatároztuk a hibák megengedhető (határ)értékeit [54], amelyek szintén megjelentek műszaki utasításban [51] is. A hibaértékelő módszerek között, egy későbbi fázistól, megtalálhatjuk a numerikus mechanika egyik módszerét, a véges elemes módszert is [55],[56]. A [57] eljárás ismert konzervatívizmusa okán elemeztük az intelligens csőgörényes és a feltárásos vizsgálatok megbízhatóságát, a kapott eredmények korrelációját, valamint összehasonlítottuk az egyes hibaértékelési módszereket [58]. Ezt a komplex kutató munkát szűk két évtizeddel később, új alapokon (Pipeline Defect Assessment Manual (PDAM)) folytattuk, felülvizsgálva és napra készségevé a korábbi eredményeket [59].

Egy hiba észlelése, majd értékelése után általában azonnal nyilatkozni kell a hogyan tovább kérdéséről, vagyis meg kell ítélni, hogy szükséges-e beavatkozás,

vagy sem, s ha igen, akkor milyen. E témakörben véleményeztünk a Barátság I. kőolajvezeték rehabilitációs tervét [60], javaslatot tettünk a különböző vizsgálatok ismétlődési idejének meghatározására [61], összefoglaltuk a hegesztéses és a hegesztés nélküli javítások lehetőségeit [62],[63], két hegesztés nélküli módszert (CLOCK SPRING, PIPE GUARD) külön is elemezve [64],[65]. Javaslatainkat az alkalmazott gyakorlat visszaigazolta [66],[67].

A hegesztés nélküli javítások fém-polimer hibrid csöveket eredményeznek. „A fém-polimer hibrid csövek élettartam gazdálkodása” tárgyú és „A polimer mátrixú kompozittal erősített hibrid csövek integritása” tárgyú kutató munkák (OTKA T 049126 és GVOP-3.1.1.-2004-05-0215/3.0) célja a fém-polimer hibrid csövek ciklikus, a különböző terhelésekből adódó fárasztó igénybevétellel szembeni ellenállásának meghatározása, továbbá a csövek élettartamának becslése volt. Irodalomkutatást végeztünk a külső és a belső megerősítések témaköreiben, kitérve az anyagminőségek, a megerősítési technológiák, a károsodási mechanizmusok, a károsodás detektálási lehetőségek és a mértezési (élettartam becslési) módszerek kérdéseire. Anyagjellemzőket és anyagi mérőszámokat gyűjtöttünk a kísérleti és a numerikus számítási feladatok megoldásához, kiegészítő anyagvizsgálatokat végeztünk hiányzó mennyiségek meghatározására [68],[69]. Fárasztó- és repesztő vizsgálatokat végeztünk polimer mátrixú kompozittal megerősített kísérleti csőszakaszokon (3. ábra), elemeztük a tönkremeneteli folyamatokat [70], kidolgoztuk a hibrid csövek károsodása követésének technológiáját.



3. ábra Polimer mátrixú kompozittal, belülről megerősített, mesterséges hibát tartalmazó csőszakasz, repesztővizsgálat után

Összhangban a kísérleti munkával, végeselemes modelleket alkottunk megerősítés nélküli és megerősített csőszakaszokra, folyamatosan pontosítottuk azokat [71],[72], a kísérleti eredményeket összevetettük a számítások eredményeivel [73],[74]. A számításokkal

együtt kialakultak a méretezési (élettartam becslési) módszerek is. A két kutatási projektben, a Mechanikai Technológiai Tanszék irányításával, a Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszéke, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimer-technika Tanszéke, Gép- és Terméktervezés Tanszéke, a Széchenyi István Egyetem Alkalmazott Mechanika Tanszéke, Informatika Tanszéke, a Budapest Műanyagipari és Kereskedelmi Zrt., valamint a POLINVENT Fejlesztő, Kivitelező és Értékesítő Kft. vett részt [75].

Az anyag- és technológia fejlesztések ezen a területen is újabb lehetőségeket kínáltak, mind a csőszakaszok, mind a szigetelő karimapárok javítása területén, amelyek elméleti és kísérleti vonatkozásait egyaránt elemeztük, illetve vizsgáltuk [76-78].

5. A KOCKÁZATELEMZÉSTŐL AZ INTEGRITÁS-IRÁNYÍTÁSIG

Összhangban a nemzetközi tendenciákkal, foglalkoztunk és foglalkozunk a csővezetékek kockázat alapú üzemeltetésének kérdéseivel. Ennek keretében megvizsgáltuk a *Pipeline Risk Controller* (PRC) nevű módszert [79] hazai adaptációjának lehetőségét [80], módszert dolgoztunk ki a vezetékek veszélyességi kategóriákba sorolására [81], és egy diplomamunka [82] keretében elkészült a kategóriákba sorolást megvalósító szoftver is. A vezetékek kategóriák meghatározásához szükség volt a cső anyagminőség kategóriájára, amelynek rendszerét szintén kidolgoztunk [83]. Ez a módszer szolgált alapul a vonatkozó műszaki utasításhoz [84].

Az üzemeltetési feladatok sokrétűsége és összetettsége, az élettartam gazdálkodás feladatai, valamint a nagy mennyiségű adattal bíró nagy rendszer egyaránt a komplex gondolkodás, a szakértői rendszer lehetőségét vetette fel. Ehhez összeállítottuk az adatbázis tartalmát [85] és kidolgoztuk a rendszer koncepcióját [86-88]. E munkát egy nemzetközi INCO COPERNICUS project (LIMATOG) keretében folytattuk, illetve fejlesztettük tovább [89], [90].

Több lépésben folytatva ezt a munkát, döntéselőkészítő tanulmányt készítettünk a Csővezeték Integritás Irányítási Rendszer (Pipeline Integrity Management System (PIMS)) hazai bevezetésére. Ennek keretében bemutattuk a téma fontosságát és időszerűségét; áttekintettük és összehasonlítottuk a jellemző nemzetközi és hazai szabályozási hátteret és gyakorlatot; javaslatot tettünk az akkori MOL Rt. Földgázszállításnál bevezendő PIMS tartalmára. Ehhez összegeztük a MOL Rt. Földgázszállítás üzemeltetési gyakorlatában meglévő és az onnan hiányzó PIMS elemeket, kitértünk a PIMS bevezetésének várható következményeire; végeztül pedig vázoltuk a PIMS bevezetéséhez szükséges feladatokat és javaslatot tettünk a bevezetés menetrendjére [91]. 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 [92]. 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 csőtávvezetékek egyik fontos – mondhatjuk integritási, vagyis PIMS – elemével, a körvarratokkal, a káresetek elemzésén túl [45], külön kutató munkák keretében is foglalkoztunk. Ezek 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 háttérének és indoklásának bemutatása; a hazai rendszer körvarratairól rendelkezésre álló adatok összegyűjtése, feldolgozása és 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 [93],[94]. Az egykori munkák folytatásának szükségességét az elmúlt évben bekövetkezett sajnálatos káreset [46] ismét megerősítette.

6. ZÁRÓ GONDOLATOK

Szerzők szándéka – hasonlóan a [95] munkához – a csövek, csővezetékek, csővezeték rendszerek területén, a Miskolci Egyetem (ME) Mechanikai Technológiai Tanszékén (MTT), majd annak jogutódjában, az Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézetben (ATI) folyt és folyó kutató-fejlesztő munkákba való bepillantás nyújtása volt. A teljesség igénye – nem a szerzői szándék, hanem kizárólag a terjedelmi korlátok miatt – biztosan csorbát szenvedett, az irodalomjegyzék azonban talán segíti e hiányosság feloldását.

A cikk megírását a négy szerző közösen határozta el, a munkát azonban már csak hárman végezheték el. A sors közbeszólt, Dr. Nagy Gyula nyugalmazott egyetemi docens, címzetes egyetemi tanár már nem élhette meg a cikk elkészítését és megjelenését. Szerzőtársai és munkatársai emlékét szeretettel és kegyelettel megőrzik; legyen ez a közlemény is egyik bizonyítéka széleskörű tudásának és a szakma iránti elkötelezettségének.

7. IRODALOM

- [1] EDEL, K.-O.: *Mit Rissen leben? Zur Betriebssicherheit rissgeschädigter Bauteile.* Fachhochschule Brandenburg – Hochschulreihe 1/93. Fachhochschule Brandenburg, 1993.
- [2] Lukács, J.; Nagy, Gy.; Harmati, I.; Koritárné, F. R.; Kuzsella, Lné. K. Zs.: *Szemelvények a mérnöki szerkezetek integritása témaköréből.* Szerk.: Lukács, J. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2012. p. 334. (ISBN 978-963-358-000-4)
- [3] <https://www.structuralintegrity.eu/site/>
- [4] TEMPUS JEP-11271-96: *Teaching and education in structural integrity in Hungary.* CD, 1999.
- [5] <http://www.icsid2020.fsb.hr/index.html>
- [6] *Zárójelentés hegesztett kötések MSZ 13833/2 szerint elvégzett technológiavizsgálatainak eredményeiről* (4930282), ME MTT, 1993.
- [7] Dénes, M.: *Statistische Bewertung der festigkeitsmindernden Wirkung von radiographisch nachgewiesenen Schweißnahtfehlern.* Materialprüfung, Vol. 13, 1971 (3), pp. 89-91.
- [8] Romvári, P.; Béres, L.: *Hegesztett csökötések korróziójának vizsgálata.* Kőolaj és Földgáz 9. (109.) évfolyam, 7. szám, 1976. július, pp. 213-216.
- [9] Béres, L.: *Proposed Modification to Schaeffler Diagram for Chrome Equivalents and Carbon for More Accurate Prediction of Martensite Content.* Welding Journal, July 1988, pp. 273-s-276-s.
- [10] Béres, L.; Irmer, W.: *Festlegung einer optimierten Zwischenlagentemperatur beim martensitischen Schweißen.* Schweißen und Schneiden, Vol. 51, 1999 (1), pp. 28-31.
- [11] Béres, L.; Irmer, W.: *Bestimmung der zulässigen Betriebstemperatur von Schwarz-weiß-Verbindungen.* Schweißen und Schneiden, Vol. 47, 1995 (10), pp. 807-812.
- [12] *Zárójelentés a Szilárdsági méretezési eljárások vizsgálata című kutatási témában végzett munkáról* (5960019), ME MTT, 1996.
- [13] *Zárójelentés Csővezetékek komplex szilárdsági méretezésére szolgáló szoftver kifejlesztése című kutatási témában végzett munkáról* (5980012), ME MTT, 1998.

- [14] Zárójelentés „Csővezeteki mozgásokból eredő károk megelőzése” című kutatási témában végzett munkáról (5960020), ME MTT, 1996.
- [15] Kutatási zárójelentés a *Terepi csőhajlítások szilárdsági méretezése* című téma keretében végzett munkáról (kiegészített változat), ME MTT, 2004.
- [16] *Vezeték lyukadások javítása*. Szakmai jelentés. ME MTT, 2004.
- [17] Jelentés a „Gáz- és Olajszállító Vállalatnál alkalmazott hegesztéstechnológiák fejlesztése” című kutatási-fejlesztési témában (Szm.72/89), ME MTT, 1990.
- [18] Zárójelentés a nyomás alatti csővezetéseken történő hegesztés kidolgozása témában (Szm. 188/84), ME MTT, 1985.
- [19] Zárójelentés „Hegesztés technológia fejlesztése” című témában végzett munkáról (4110831), ME MTT, 2011-2012.
- [20] Koncsik, Zs.; Fótos, R.; Lukács, J.: *A fizikai szimuláció és alkalmazása az anyagtechnológiákban*. In: Pokorádi, L. (szerk.) *Műszaki Tudomány az Északkelet Magyarországi Régióban 2012 konferencia előadásai*: Szolnok, 2012. május 10. MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, Debrecen, 2012, pp. 211-217.
- [21] Lukács, J.; Kuzsella, L.; Koncsik, Zs.; Gáspár, M.; Meilinger, Á.: *Role of the Physical Simulation for the Estimation of the Weldability of High Strength Steels and Aluminum Alloys*. Materials Science Forum, Vol. 812, 2015, pp. 149-154. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.812.149>
- [22] Sisodia, R. P. S.; Gáspár, M. Gy.: *Physical Simulation-Based Characterization of HAZ Properties in Steels. Part 1. High-Strength Steels and Their Hardness Profiling*. Strength of Materials, Vol. 51, 2019 (3), pp. 490-499. <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00094-5>
- [23] Gáspár, M.; Sisodia, R.; Dobosy, Á.: *Physical Simulation-Based Characterization of HAZ Properties in Steels. Part 2. Dual-Phase Steels*. Strength of Materials, Vol. 51, 2019 (5), pp. 805-815. <https://doi.org/10.1007/s11223-019-00128-y>
- [24] Kutatási jelentés a *Hegesztéstechnológia fejlesztése* című K+F témában végzett munkáról (GEKU02019T, 4180824), MA ATI, 2018-2019.
- [25] Kutatási jelentés a *Hegesztéstechnológia fejlesztése (Varratok vizsgálata)* című K+F témában végzett munkáról (GEKU02021T), MA ATI, 2019.
- [26] Gáspár, M.; Sisodia, R.; Dobosy, Á.; Németh, A.: *Csőtávvezetékben alkalmazott acélminőségek hegesztésekor kialakuló hőhatásövezet tulajdonságainak elemzése fizikai szimulációval*. Hegesztéstechnika, Vol. 31, 2020 (1), pp. 83-91.
- [27] Romvári, P.; Spies, P.; Tóth, L.: *Varrathibák kimutathatóságát befolyásoló tényezők*. 5. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Szeminárium kiadványa, Gyula, 1985.
- [28] Romvári, P.; Lizák, J.; Tóth, L.: *A radiológiai felvételek értékelésének reprodukálhatósága*. 7. Roncsolásmentes Anyagvizsgáló Szeminárium kiadványa, Gyula, 1989.
- [29] Tóth, L.: *Radiográfiai felvételek értékelése, minősítése és adatainak számítógépes feldolgozási lehetőségei*. A GTE Radiológiai Szakcsoportjának ülése, 1988. december 15.
- [30] Romvári, P.; Pirkó, J.; Tóth, L.: *Hegesztett csőkötések kombinált ultrahangos és radiológiai ellenőrzésének lehetőségei, megbízhatósága és gazdasági előnyei*. 17. OMBKE Vándorgyűlés, Pécs, 1979.
- [31] Tóth, L.: *Szerkezetek integritása. Roncsolásmentes vizsgálatok megbízhatósága*. Anyagvizsgálók Lapja Fórum, 1995. február 16.
- [32] Trampus, P., Krstelj, V., Nardoni, G.: *NDT integrity engineering – A new discipline*. Procedia Structural Integrity, Vol. 17, 2019, pp. 262-267. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.035>
- [33] Romvári, P.; Tóth, L.; Török, I.: *A geometriai hiba hatása változó belső nyomással terhelt hosszvarratos acélcsövek élettartamára*. Proceedings of the 8th Congress on Materials Testing, Budapest, 1982.
- [34] Török, I.; Tóth, L.: *A Barátság II. olajvezeték törése*. Nyomástartó Edények és Csővezetékek Hibái Anket, Csopak, 1989. szeptember 27-28.
- [35] Zárójelentés a *Barátság II. csővezeték kiváltott szakaszának vizsgálatáról* (Gs-606/90.), ME MTT, 1990.
- [36] Szakvélemény az *Összefogas gázvezeték Öcsöd-i szakaszoló gömbcsapjának meghibásodásáról* (ES 02910104), ME MTT, 1991.
- [37] Szakértői jelentés a *Barátság II. kőolajvezeték felhagyott szakaszának gázszolgáltatásban való hasznosításáról* (4950230), ME MTT, 1995.
- [38] Zárójelentés *Csővezetékek feszültségkorróziós károsodási hajlamának elemzéséről* (4960109), ME MTT, 1996.
- [39] Zárójelentés a *Testvériség gázvezeték repedt varratának értékeléséről* (4970443), ME MTT, 1997.
- [40] Zárójelentés a „*Közép-magyar gázvezeték*” varratának szakértői vizsgálata című témában végzett munkáról (4990405), ME MTT, 1999.
- [41] Zárójelentés a *Falc-gyártmányú csövek repedés-terjedésének vizsgálata* című kutatási témában végzett munkáról (597006), ME MTT, 1997.
- [42] Lukács, J.: *Repedést tartalmazó hegesztett kötések és szerkezetek megbízhatósága ismétlődő igénybevétel esetén*. Tudományos munkásság áttekintő összefoglalása, Miskolc, 1998. p. 50.
- [43] Zárójelentés *A DN 800-as szigetelő karima meghibásodás okainak, körülményeinek feltárása*

- című témában végzett munkáról (4110844), ME MTT, 2011.
- [44] Zárójelentés *Károsodott LTEX üzemi nyersgáz belépő vezeték tönkremeneteli okainak és a tönkremenetel következményeinek elemzése* című K+F témában végzett munkáról, ME ATI, 2014-2015.
- [45] Zárójelentés *Körvarrat károsodási okainak elemzése* című témában végzett munkáról (4100443), ME MTT, 2010.
- [46] *Kutatási jelentés a Püspökladány havária – Sérült csőszakasz vizsgálata tárgyú keretszerződésben végzett munkáról I. ütem (kiegészített változat) (IEKU02005T)*, ME FIEK, 2020.
- [47] Kutatás-fejlesztési (K+F) zárójelentés a *Csőtisztító szerszámok fejlesztése* című munka keretében végzett tevékenységekről, ME MTT, 2009.
- [48] Jelentés a *Magasnyomású szénhidrogén szállító rendszert és tartozékait újraminősítő eljárás kidolgozása* című kutatási-fejlesztési témában (Szm. 141/89), ME MTT, 1990.
- [49] Nagy, Gy.; Török, I.; Lukács, J.: *Roncsolásmentes vizsgálatok szerepe a föld alatti csővezetékek állapotmegítélésében*. *Anyagvizsgálók Lapja*, Vol. 5, 1995 (2), pp. 80-81.
- [50] Lukács, J.; Török, I.; Nagy, Gy.: *Szénhidrogén-szállító csővezetéseken előforduló hibák csoportosítása, jellemzői*. *Gépgyártástechnológia*, Vol. 37, 1997 (5), pp. 27-29.
- [51] MOL Rt. KFÜ M-3/98 számú műszaki utasítás
- [52] *Jelentés Csővezetékek minősítésének általános rendszere témájú K+F munkáról – III. Melléklet Csővezetéseken előforduló hibák műszaki-kritikai elemzése* (EK 5930055), ME MTT, 1994.
- [53] Török, I.; Lukács, J.; Nagy, Gy.: *Szénhidrogén-szállító csőtávvezetéseken előforduló hibák megengedett határértékeinek kísérleti vizsgálata*. *Gépgyártástechnológia*, Vol. 38, 1998 (6), pp. 45-48.
- [54] Török, I.; Lukács, J.; Nagy, Gy.; Harmati, I.: *Szénhidrogén-szállító csővezetéseken előforduló hibák megengedett határértékei*. *Gépgyártástechnológia*, Vol. 37, 1997 (5), pp. 33-36.
- [55] Zárójelentés *Korróziós károsodás hatása a nyomástartó rendszerek szilárdságára* (EK 0000532), ME MTT, 1993.
- [56] Zárójelentés a *Csövek terhelésvizsgálata (F 50471)* című kutatási témában végzett munkáról (5970005), ME MTT, 1997.
- [57] ASME B31G-1991 (Revision of ANSI/ASME B31G-1984): *Manual for Determining the Remaining Strength of Corroded Pipelines – A Supplement to ASME 831 Code for Pressure Piping*.
- [58] Zárójelentés a *Módszer kidolgozása acél csővezetékek hibáinak értékelésére és a szükséges intézkedések meghatározására* című téma keretében végzett munkáról (5980042), ME MTT, 1999.
- [59] Kutatási zárójelentés a *Földgázszállító vezetékek hiba vizsgálati- és javítási módszereinek felülvizsgálata* című K+F témában végzett munkáról (4170816), ME ATI, 2017.
- [60] *Szakvélemény a Barátság I. kőolajvezeték rehabilitációja című tervezetről* (4930257), ME MTT, 1993.
- [61] *Szakértői rendszer elemeinek kifejlesztése csővezetékek biztonságos üzemeltetésének megítélésére – E. melléklet Kísérleti csőszakaszok vizsgálata* (EK5930055), ME MTT, 1994.
- [62] *Jelentés Csővezetékek minősítésének általános rendszere témájú K+F munkáról – IV. melléklet A vezetéseken végzett vizsgálatok információtartalmának elemzése* (EK 5930055), ME MTT, 1994.
- [63] Török, I.; Lukács, J.; Nagy, Gy.; Demeter, A.: *Szénhidrogén-szállító csővezetékeken előforduló hibák hegesztés nélküli javítása*. *Gépgyártástechnológia*, Vol. 37, 1997 (4), pp. 38-40.
- [64] Zárójelentés a *Meghibásodott csővezetékek hegesztés nélküli javítására szolgáló eljárás fejlesztése (I. ütem) K+F munkáról* (5950033), ME MTT, 1996.
- [65] Zárójelentés *„Csőtávvezetékek rehabilitációja”* című kutatás-fejlesztési témában (5980019), ME MTT, 1998.
- [66] Vehofsits, I.; Makra, S.: *A Barátság II. kőolajvezeték rehabilitációja*. XXIV. Nemzetközi Olajipari Konferencia kiadványa, Tihany, 1999.
- [67] Vehofsits, I.; Czékman, Z.: *Közép-magyar gázvezeték rehabilitációja*. XXIV. Nemzetközi Olajipari Konferencia kiadványa, Tihany, 1999.
- [68] Czél, G.; Czigány, T.: *Tekercselt polimer kompozit csövek nedvességfelvételének merevségének és szerkezetének komplex vizsgálati lehetőségei*. *Anyagvizsgálók Lapja*, Vol. 17, 2007 (1), pp. 13-19.
- [69] 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*, Vol. 42, 2008, pp. 2815-2827. <https://doi.org/10.1177/0021998308096668>
- [70] Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.: *The Role of the External and Internal Reinforcing on the Structural Integrity of Damaged Steel Pipelines*. *Procedia Engineering*, Vol. 10, 2011, pp. 2514-2519. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.04.414>
- [71] Égert, J.: *Acélcsövek külső és belső körhibáinak kompozit szalagos javítása – végeelem analízis*. *Gép*, Vol. 58, 2008 (10-11), pp. 30-35.
- [72] 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, 2009 (1) pp. 1-15. <https://doi.org/10.32973/jcam.2014.002>

- [73] Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.; Égert, J.; Pere, B.: *Experimental and Numerical Investigations of External Reinforced Damaged Pipelines*. Procedia Engineering, Vol. 2, 2010 (1) pp. 1191–1200. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.03.129>
- [74] 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 3, 2010, Dresden, Germany. Proceedings on CD-ROM, DVM, Berlin, 2010. pp. 126-133.
- [75] *Polimer mátrixú kompozittal erősített hibrid csövek integritása*. Szerk.: Lukács, J. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2008. p. 197. (ISBN 978-963-661-831-5)
- [76] Zárójelentés *Mesterséges hibákat tartalmazó, kívülről megerősített csőszakaszok vizsgálata* című K+F témában végzett munkáról (4120414), ME MTT, 2012.
- [77] Zárójelentés a *Szigetelő karimapár javítása* című K+F témában végzett munkáról (GEKU02017T, 4180819), ME ATI, 2018-2019.
- [78] Zárójelentés a *Kompozit javítóbilincsek vizsgálata* című K+F témában végzett munkáról (4180811), ME ATI, 2018.
- [79] Muhlbauer, W. K. *Pipeline risk management manual*. Gulf Publishing Company, Book Division, Houston, 1992. p. 438.
- [80] Zárójelentés a *Pipeline Risk Controller alkalmazhatóságának vizsgálata* című kutatási téma keretében végzett munkáról (5970007), ME MTT, 1997.
- [81] *Jelentés Csővezetékek minősítésének általános rendszere témájú K+F munkáról – II. melléklet* (EK 5930055), ME MTT, 1994.
- [82] Harmati, I.: *Diplomaterv*, 1995.
- [83] *Szakértői rendszer elemeinek kifejlesztése csővezetékek biztonságos üzemeltetésének megítélésére – B. melléklet Csővezetékek anyagainak kategóriába sorolása* (EK5930055), ME MTT, 1994.
- [84] MOL Rt. KFÜ 6/98. számú műszaki utasítás: *Szénhidrogén-szállító vezetékek kategóriába sorolása*.
- [85] Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.: *Földalatti csővezetékek adatbázisa*. microCAD'94 Nemzetközi Informatikai Konferencia kiadványa, Miskolc, 1994.
- [86] Lukács, J.; Török, I.; Nagy, Gy.: *Szakértői rendszer koncepciója szénhidrogénszállító csőtávvezetékek biztonságos üzemeltetéséhez*. Gépgyártástechnológia, Vol. 36, 1996 (3), pp. 23-27.
- [87] Török, I.; Lukács, J.; Nagy, Gy.: *Concept of expert system for safety operation of hydro-carbon transporting pipelines*. Publications of the University of Miskolc, Series C – Mechanical Engineering, Vol. 46, 1996 (1), pp. 229-243.
- [88] Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.: *Expert system for the reliability assessment of hydro-carbon transporting pipelines*. Proceedings of the International Symposium on FATIGUE DESIGN 1998, Technical Research Centre of Finland, Espoo, 1998. pp. 613-624. (ISBN 951-38-4575-3)
- [89] Tisza, M.; Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.: *A possibility for lifetime management of hydro-carbon transporting pipelines*. Gép, Vol. 50, 1998 (4-5), pp. 22-24.
- [90] Tisza, M.; Lukács, J.; Nagy, Gy.; Török, I.; Bartos, A.: *Szénhidrogénszállító csőtávvezetékek élettartam menedzselés*. Gépgyártástechnológia, Vol. 38, 1998 (5), pp. 53-59.
- [91] *Döntéselőkészítő tanulmány a Pipeline Integrity Management System (PIMS) hazai bevezetésére*. ME MTT, 2002.
- [92] *A Pipeline Integrity Management System kidolgozásának (PIMS) folytatása*. Szakmai jelentés. ME MTT, 2004.
- [93] *Javaslat a körvarratok, illetve a körvarratokban lévő eltérések elemzésére és annak vizsgálata, hogy az EPRG irányelveinek melyik szintje alkalmazható a hazai rendszerre*. Szakmai jelentés. ME MTT, 2004.
- [94] 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. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.473-474.243>
- [95] Lukács, J.: *Szénhidrogénszállító csőtávvezetékek integritása*. Gépgyártástechnológia, Vol. 40, 2000 (8), pp. 35-40.