

MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS • ÁLLAPOTELLENŐRZÉS



13. évfolyam
4. szám
2003.

Flexible and compact servohydraulic testing solutions



Gépeivel szakszerűen elvégezheti az általános és speciális követelményeket is kielégítő mechanikai vizsgálatokat



törésmechanikai vizsgálatok

- a tengelyirányú erő – 8871 és 8872 modell –

- a tengelyirányú erő és a csavaró nyomaték – 8874 modell – működtetésével

különböző hőmérsékleten, normál és korróziós környezetben.

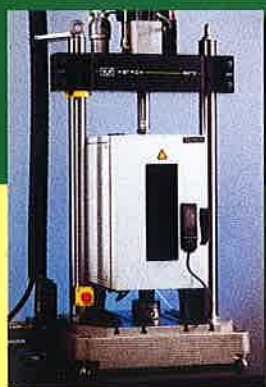
Ezt szolgálják

- a Dynacell, dinamikusan kiegyensúlyozott erőmérőcellák

- a befogók széles választéka

- a speciális tartozékok

- a FastTrack 8800 vezérlő elektronika és értékelő szoftverei



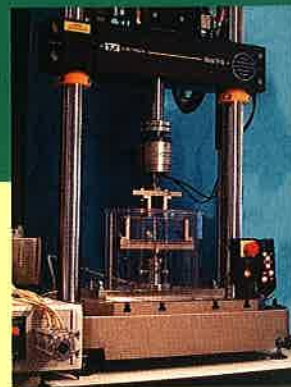
vizsgálat
hőkamrában



csomagolások
vizsgálata



szerkezetvizsgálat
biaxiális terheléssel



négyponthajlítás
sóoldatban

Forgalmazza: **TESTOR**

www.testor.hu

06 (1) 319 1 319
06 (30)

ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

Szerkesztőség:

a kiadó **TESTOR Kft.** címén
Budapest XII., Meredek u. 33.

1538 Budapest, Pf. 528.

Telefon: 319-1-319

Telefax: 319-2284

E-mail: info@anyagvizsgaloklapja.hu

info@testor.hu

Internet: www.testor.hu

Lapunk az interneten is olvasható:

www.anyagvizsgaloklapja.hu

Felelős szerkesztő:

dr. Lehofer Kornél

A szerkesztőbizottság tagjai:

dr. Borbás Lajos

Eur. Ing. Fücsök Ferenc

dr. Havas István

dr. Koczor Zoltán

dr. Pólos László

dr. Tóth László

Kiadja:

TESTOR Kft.

Felelős kiadó:

Szapannos György

ügyvezető igazgató

Előfizetési díj a 2004. évre

(1–4. szám): 2.240,- Ft

Előfizethető közvetlenül a kiadónál
a mellékelt, vagy az internetről letölthető
űrlap felhasználásával.

Hirdetések felvétele és kéziratok
leadása a TESTOR Kft. címén.

Nyomda:

KÁNAI NYOMDA KFT.

1225 Budapest,

Kolozsvári utca 67.

Felelős vezető: Kánai József

Előkészítés:

PC-Print Bt.

Tel.: 205-6399, 204-3688

E-mail: pcprint@chello.hu

FIGYELEM!

Le ne maradjon!

Idejében fizessen elő!

ISSN 1215–8410

Kísérleti mechanika – mechanikai anyagvizsgálat

A két szakterület egymásra utaltsága, erős kölcsönhatása nyilvánvaló. Hisz', egyrészt ahhoz, hogy a megterhelt szerkezeti elem alakváltozási és feszültségállapotát az alakváltozás-mérés módszereinek valamelyikével (például nyúlásmérő-bélyeges módon) meghatározhassuk, ismernünk kell az erő-alakváltozást leíró anyagtörvényt – mint amilyen például a Hooke-törvény –, amelyet egyszerű igénybevétellel, például egytengelyű húzással, elvégzett mechanikai anyagvizsgálattal határozhattunk meg.

Másrészt, napjainkban a szerkezeteinkhez számos fémes és nemfémes, illetve ezekből felépített, ún. kompozit anyag közül választhatunk, amelyek különböző anyagszerkezetük révén az azonos igénybevételre is eltérő viselkedéssel válaszolnak. Ahhoz, hogy a különböző igénybevételek elviselésére szánt anyag mechanikai tulajdonságait fizikailag helyes, és a belőle készült szerkezet méretezéshez felhasználható mérőszámokkal jellemezni tudjuk, olyan, a mechanika módszereivel ellenőrzött próbatesteken kell a mechanikai vizsgálatokat elvégeznünk, amelyeknek az ún. mérőszakaszában egyértelmű a külső terhelés hatására ébredő alakváltozási és feszültségállapot.

Ugyanakkor, a különböző anyagok azonos igénybevételre adott eltérő viselkedés-válaszainak értelmezéséhez az anyagszerkezet vizsgálatát is el kell végeznünk.

Ezen összetett szemléletmód általános vizsgálati gyakorlattá fejlődése jól nyomon követhető a Duna-Adria szimpózium (DAS) szakmai fejlődéstörténetében. Míg az 1984-ben megtartott első szimpóziumon gyakorlatilag az optikai feszültségvizsgálat módszereivel elért eredményekről számoltak be az előadók, addig az ez évi, 20. rendezvényen bemutatott eredmények ezt az összetett szemléletmódot tükrözték.

Lapunk jelen és a következő számában ennek szellemében közlünk válogatást a jubileumi, 20. DAS szimpóziumon elhangzott előadásokból, nevezetesen a mérésmechanika, a törésmechanika, a teherviselő szerkezetek vizsgálata és a biomechanika témakörökből. Ezúton is megköszönjük az előadóknak, hogy lapunk számára cikké formálták a jelenleg csak rövid összefoglalásokban, a rendezvény kiadványában olvasható eredményeiket.

*Lehofer Kornél
felelős szerkesztő*



Tisztelt Olvasóink!

Lapunk kézhezvételekor már küszöbön áll a karácsony és az új esztendő, melynek örömteli, békés és tartalmas megéléséhez – lapunk kiadója nevében is – jó egészséget, eredményes munkát és sok sikert kívánunk!

A szerkesztőbizottság

Tisztelt Előfizetőnk!

Előfizetése 2004. évi – változatlan árú – megújításához közvetlenül számlát küldünk.

Köszönjük érdeklődését!

KÍSÉRLETI MECHANIKA – EXPERIMENTAL MECHANICS – EXPERIMENTALMECHANIK

Előszó – Foreword – Vorwort

HUSZÁR István:

Kísérleti mechanika – Duna-Adria szimpózium

Experimental mechanics – Danubia-Adria Symposium

Experimentalmechanik – Donau-Adria Symposium 111

Vizsgálattechnika – Test technics – Prüfungstechnik

Martin STOCKMANN, Jochen NAUMANN:

The transverse sensitivity of strain gages – determination and compensation

Nyúlásmérő bélyegek keresztirányú érzékenységének meghatározása és kiegyenlítése

Bestimmung und Ausgleichung der Kreuzrichtungsempfindlichkeit von Dehnungsmeßstreifen 113

Klaus HOFFMANN, Klaus DECKER:

Influence of the measuring grid of a foil sensor on the accuracy of pressure measurements

A fóliaszensor mérőrácsának hatása az érintkezési nyomás mérési pontosságára

Wirkung der Meßgitter von Folienfühler für Meßgenauigkeit der Kontaktdruck 115

Törésmechanika – Fracture mechanics – Bruchmechanik

Zoltán MAJOR, Christian FEICHTER, Reinhold W. LANG:

Elastomerek fárasztóvizsgálata

Fatigue test methods development for elastomers

Ermüdungsprüfung der Elastomeren 118

Dan Mihai CONSTANTINESCU, Mircea GĂVAN, Nicolae CONSTANTIN, Hans Christian GOETTING:

Interlaminar mode I and mode II fracture toughness and intralaminar damage of textile composites

Textil kompozitok rétegközi törési szívósságának kísérleti meghatározása I. és II. terhelési módban

Versuchsbestimmung der Bruchzähigkeit im Binde von Textilverbunden mit Belastungsart I. und II. 122

Szerkezetvizsgálat – Investigation of structure – Strukturprüfung

BORBÁS Lajos, THAMM Frigyes, GYÖKÖS Ferenc:

Autóbusz segédvázkeret (légrugó tartó) statikus terhelése, fárasztó vizsgálata rétegbevonatos optikai feszültségvizsgálat alkalmazásával

Photoelastic coating investigation in the fatigue test carried out on bus frame structure

Anwendung der spannung-optischen Oberflächenschichtverfahren bei Ermüdungsprüfung der Gerippelement von Autobus 127

VINCZE-PAP Sándor:

Autóbuszok méretezése frontális ütközésre

Frontal impact tests on bus and bus bumpers

Stoßprüfung der Autobuse und ihre Puffer 129

Biomechanika – Biomechanics – Biomechanik

D. KUBEIN-MEESBURG, Ch. ABICHT, M. THOMSEN, H. DATHE, P. ADAM, J. FANGHÄNEL, H. NÄGERL:

A functional knee-endoprosthesis with rolling articular surfaces during the stance phase

Működő térd-belsőprotézis a kiegyenesedési fázisban gördülő izületfelületekkel

Funktional Knieprothese mit rollend Gelenkenoberflächen im Aufrichtungsphase 134

INTERNETFIGYELŐ – INTERNET MONITOR – INTERNET RUNDSCHAU 136

KÉSZÜLÉKEK, BERENDEZÉSEK – INSTRUMENTS, EQUIPMENTS – GERÄTE, ANLAGEN

LEHOFER Kornél:

Az Instron alkalmazást bővítő fejlesztései

Development news from Instron

Entwicklungsneugkeiten von Instron 137

SZABVÁNYOSÍTÁS – STANDARDISATION – NORMEN

Új, nemzeti szabványok – New national standards – Neue Nationalnormen 138

MÉRFÖLDKÖVEK – MILESTONE – MEILENSTEIN

† KAJDI Gyula (1912 – 2003) 139

ESEMÉNYNAPTÁR – CALENDAR OF EVENTS – AKTUALITÄTKALENDER 140

Kísérleti mechanika – Duna–Adria Szimpózium

Mérnöki szerkezetek tervezése és kivitelezése, meglévő berendezések üzemeltetése és esetleg átalakítása a műszaki gyakorlat alapfeladata. Ennek kapcsán minduntalan mechanikai (statikai és dinamikai) kérdések merülnek fel, amelyeknek a megoldása révén lehet szerkezeink geometriai alakját, anyagát, a megmunkálás körülményeit és üzembe állítását a lehető legkedvezőbb módon megválaszolni.

A kísérleti mechanika rövid fejlődéstörténete

Az egyik alapvetően fontos eszközt a mechanikai elméletek és ezek műszaki alkalmazásai jelentik. A XVII. században indult el és a következő két évszázadban fejlődött jelentősen a mechanika tudománya. Kiváló tudósok – a közben igen nagymértékben fejlődő matematikai ismeretek felhasználásával – emelték megfelelő szintre a mechanikát. A XX. században, a mai értelemben vett mechanika tudománya szerteágazóan tovább bővült, kiterjedt a relativisztikus- és a kvantummechanika irányába. A konkrét számításokat illetően viszont szinte forradalmi jelentősége van a számítógépeknek, továbbá különösen a véges elemes számítási eljárásnak.

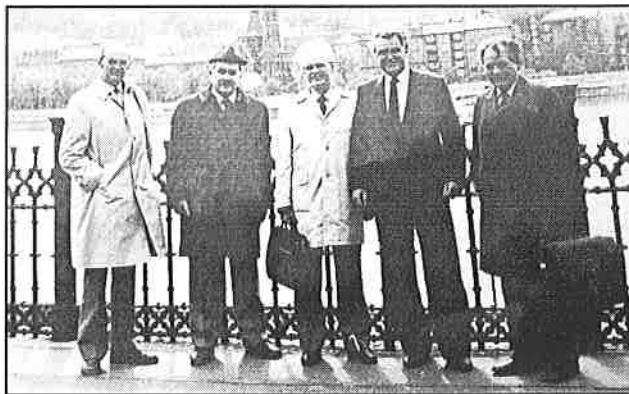
A másik fontos eszköz a műszaki gyakorlat számára, az elméleti ismeretek mellett, a mérés technika. Ennek feladata többirányú. Egyrészt a számított értékek illetve elméleti eredmények ellenőrzésére, azok hibáinak meghatározására szolgál, másrészt pedig megmérhetővé teszi a számításokkal nem követhető adatokat. Mechanikai mérésekről van ugyan néhány adat a XVII. és XVIII. századból, de a céltudatos vizsgálatok csak a XIX. században váltak szükségessé éppen a jelentősebb mérnöki alkotások igénye miatt. Elsősorban az anyagvizsgálattal kapcsolatos mérések terjedtek el. A deformáció mérésén alapuló feszültségmérésekre rendre kifejlesztettek mechanikai, optikai, pneumatikus, elektromos elveken felépülő műszereket és eljárásokat. E területen forradalmi újítás volt a ma is kiterjedten használt ellenállás-huzalos jelző (Simons-Ruge, 1939), amely méreténél és kialakításánál fogva szinte korlátlanul alkalmazható minden statikus és dinamikus feladatnál. A hozzá kapcsolt elektromos illetve elektronikus berendezések pedig lehetővé teszik az adatok tetszőleges távolságra való átvitelét, rögzítését és értékelését. Megemlítenék itt még egy másik igen elterjedt eljárást, az optikai feszültségvizsgálatot (Brewster 1816), amely modellvizsgálat. Itt a kérdéses szerkezeti elem optikailag érzékeny – plexiüveg, epoxigyanta stb. – anyagból készült kicsinyített másán optikai rendszerben a fénysugár közvetítésével nyerjük a feszültségértékeket. (Coler-Filo, 1931; Mesner, Frocht, 1941). Az említett eljárások alkalmazására, speciális mérőeszközök kifejlesztésére igen sok területen találhatunk példát a gyakorlatban, illetve beszámolókat a szakirodalomban. Összegezve azt mondhatjuk, hogy ma már a műszaki praxis egész területén rendszeresen felhasználják a mérés technikát.

A szakmatörténet hazai vonatkozásait is tekintsük át röviden. 1901-ben Budapesten a Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete által rendezett nemzetközi konferencián a francia professzor, Mesnager hívta fel előadásában a figyelmet az optikai feszültségvizsgálatra, mint a feszültségmérés egyik hatásos módszerére. 1934-ben jelent meg a Párizsban tudományos munkát végző magyar Vásárhelyi tollából az első tanulmány, amelyben az optikai feszültségvizsgálatot használta fel. Majd 1944-ben doktori disszertációt nyújtott be a Budapesti Műszaki Egyetemen, hasonló témával. 1950-ben jelent meg az USA-ban élő magyar Hetényi összefoglaló könyve *Handbook of Experimental Stress Analysis* címmel. 1953-ban írta meg Huszár az első egyetemi jegyzetet, amely a kísérleti feszültségvizsgálat módszereit ismerteti, majd 1954-ben kandidátusi disszertációt nyújtott be a Magyar Tudományos Akadémián. Rövidesen az egyetemi oktatásba is bekerült a téma ismertetése, beleértve a laboratóriumi gyakorlatokat is. Az 50-es évektől kezdve magyar szerzők rendszeresen publikáltak a kísérleti módszerek különböző területeiről, és részt vettek hazai valamint külföldi konferenciákon elő-

adásokat tartva e témakörből. Így megérett az idő arra, hogy a Gépipari Tudományos Egyesület Anyagvizsgáló Szakosztályán belül 1964-ben megalakuljon az Optikai feszültségvizsgáló Munkabizottság, illetve ezt kibővítve 1970-ben a Feszültségvizsgáló Szakbizottság, amely mind a mai napig eredményesen működik, előbb dr. Huszár István, majd dr. Thamm Frigyes elnöke alatt, dr. Borbás Lajos titkár közreműködésével. A Szakbizottság összefogja az iparban, az egyetemeken és a különféle intézményekben az e témakörben tevékenykedő szakembereket. Évente rendszeresen tartott klubülések mellett önálló nemzetközi konferenciákat is rendezett 1966 és 1968 években. Igen jelentős eredménynek mondható dr. Thamm Frigyes szerkesztésében a Műszaki Könyvkiadó által 1968-ban megjelentetett *A szilárdságtan kísérleti módszerei* című könyv (szerzői: Huszár, Ludvig, Szántó, Thamm), amelyet az Akadémia Kiadó és a német Wilhelm Ernst-Sohn kiadó *Dehnungsmessverfahren* címmel jelentetett meg 1971-ben.

A Duna–Adria szimpóziumokról

Dr. Huszár István és dr. Rudolf Beer ausztriai megbeszélésén, 1983-ban vetődött fel a kérdés, – mely megbeszélést a Német Szövetségi Köztársaságban, a Gesellschaft für Spannungsanalyse rendezvénye alkalmával folytatták –, hogy nemzetközi szervezetet lehetne létrehozni az osztrák, a horvát és a magyar mérnökegyletek közötti együttműködésre alapozva a kísérleti feszültséganalízis témaköre. Budapesten került sor 1984 áprilisában a megállapodásra. A Gépipari Tudományos Egyesületet dr. Lehofer Kornél képviselte, az osztrák szervezetet dr. Beer Rudolf, a horvátokét dr. Jecic Stjepan és dr. Alfirevic Ivo, míg a magyar Feszültségvizsgáló Szakbizottságot dr. Huszár István és dr. Thamm Frigyes. (A fotót, az ülést követően, a Duna-parton, Thamm kolléga készítette; jobbról: Beer, Alfirevic, Lehofer, Huszár, Jecic.)



Az egyesületek képviselői elhatározták, hogy a résztvevő országokra utalással az új szervezet a Duna–Adria elnevezéssel fog működni, alkotmányát rövidesen kidolgozzák. Megegyezték abban, hogy évente, ősszel rendeznek szimpóziumot, mégpedig ciklikus sorrendben. Az elsőt 1984 őszén a horvátországi Stubieke Toplice-ben. Fő témák: kísérleti szilárdságtan, mérési módszerek és eszközök, adatfeldolgozás, kapcsolatot a numerikus és a mérési eredmények között, hibrid módszerek és alkalmazások széles körben. A szerzők által beküldött anyagokat megfelelő bírálat után iktatják részben szóbeli, részben táblázatos (poszter) formában való közlésre. A szimpóziumok nyelvére az angolban állapodtak meg. Minden elfogadott előadást két oldalon rövidített formában, mint proceedings-t jelentetik meg. A szimpózium másfél, esetleg két és fél napos legyen. A szóbeli előadásokra 15-20 perc álljon rendelkezésre, a poszterekre pedig, rövid ismertetés után, több órás időtartam úgy, hogy a szerzők a kiállított táblák mellett konzultációra várják az érdeklődőket. A nívósabb előadásokat a Szervezőbizottság folyóiratokban való közlésre javasolja. Célul tűzték ki a mérsékelt költségeket, és a fiatalok számára a kedvezményes részvételt.

A szimpóziumok előkészítésére a Szervezőbizottság mindig tavasszal, külön ülésen határoz a tennivalókról és kiadja az előzetes információkat tartalmazó körlevelet, amelyet mint meghívókat elegendő példányszámban az egyes országok képviselői szétosztanak. A Szervezőbizottságban az egyes országok két-két taggal vesznek részt. Hazánkat kezdetben dr. Huszár István és dr. Thamm Frigyes, majd 1994 óta dr. Borbás Lajos (dr. Huszár István helyén) képviseli. Időközben szervezetünk kibővült előbb az olasz, majd csehszlovák, illetve később a lengyel és román egyesületek (Csehszlovákia szétválása után cseh és szlovák) részvételével. Így jutottunk el, a rendező országok körforgásával, de évente változó helyszíneken 2003-ra Győrbe, a jubileumi XX. Duna-Adria szimpóziumig. A DAS rendezvények számokban kifejezett fejlődéstörténetét a diagram szemlélteti. Valamennyi szimpóziumról elmondható, hogy alapítási célkitűzéseinknek megfelelően, igen sikeres volt.

A XX. Duna-Adria szimpóziumot Győrben tartottuk szeptember 24. és 27. között. A Széchenyi Egyetem előadótermében az ünnepélyes megnyitót dr. Borbás Lajos egyetemi docens, a GTE alelnöke vezette be. A társrendező egyetem nevében dr. Scharle Péter rektorhelyettes, míg Győr város nevében dr. Kun András polgármester helyettes köszöntötte a szimpózium közönségét. A külföldi Duna-Adria szervezetek nevében dr. Beer Rudolf professzor, mint az alapító tagok egyike szövegezt a résztvevőkhöz. A megnyitót előadások követték, majd a posztereket ismertették, illetve a táblákon bemutatott anyagokról konzultálhattak az érdeklődők. A további szekcióüléseket és poszter-bemutatókat az elhelyezést biztosító Révész Hotelben tartottuk. Élénk vita, sok hozzászólás és főként igen intenzív konzultáció követte a 22 előadást és a 94 poszter-bemutatót. A közlemények a szimpózium már említett témakörébe illő kérdésekkel foglalkoztak, amelyek a következő bontásban szerepeltek a programban: általános kérdések, dinamikai feladatok, rezgésvizsgálatok, nemfémek és kompozit anyagok problémái, anyagvizsgálati kérdések, kifáradás, biomechanikai problémák, sajátfeszültségek. Számos mechanikai illetve mérés-technikai elméleti kérdés mellett az előadók főként alkalmazási feladatokat mutattak be. A nyúlásmérő technikát kiterjedten alkalmazták a szerzők, szép számmal szerepeltek optikai feszültségvizsgálati kérdések, de egyéb speciális műszerek és eljárások is.

A résztvevők () és az elhangzott előadások [] országokénti megoszlása a következő volt: Ausztria (19), [17]; Cseh Köztársaság (36), [29]; Észtország (2), [2]; Horvátország (8), [4]; Japán (1), [1]; Lengyelország (14), [16]; Magyarország (28), [21]; Németország (5), [6]; Olaszország (7), [7]; Románia (4), [8]; Szlovákia (8), [5]; Svájc (1), [0]; Összesen: (133), [115].

A rendezvényhez kapcsolódó kiállításon – felkérésünkre – az anyagvizsgálatban ismert és elismert hazai és külföldi vállalkozások bemutaták termékeiket az alábbi témakörökben:

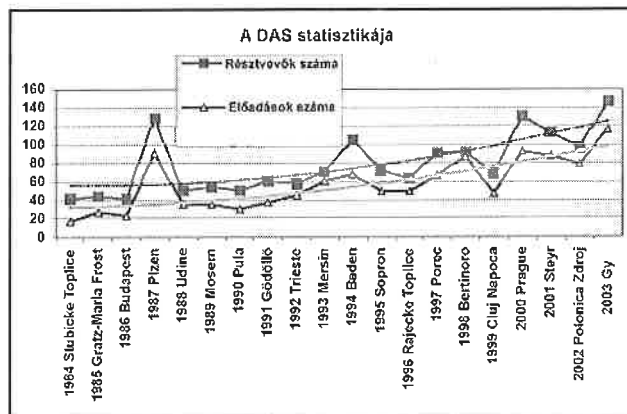
- a Kaliber Kft. (magyar): általános metrológia, nyúlásmérés;
- Metalelektro Kft. (magyar): Barkhausen-zaj- és feszültségmérés;
- Tensi Kft. (magyar): nyúlásmérés, hossz-mérés-technika, távmérések;
- Bruel & Kjer magyar képviselete: rezgésmérés;
- Messphysik (Ausztria): szilárdsági vizsgálatok, univerzális vizsgálógépek.

Igen értékes látogatás tarkította a szimpózium munkáját, tudniillik megtekintettük a Rába Múzeumot, amely az évszázadot megért gyár szakmatörténetét mutatja be. Gyártmányok hosszú sorát láttuk, elsősorban különféle járműveket: autókat, autóbuszokat, terepjáró és katonai járműveket, repülőgépeket, és egyéb szerkezeteket.

A Révész Szálloda minden kényelmet megadott, biztosította az előadások zökkenőmentes lebonyolítását, a konzultációk lehetőségét. Az ellátás is kifogástalan volt. Külön kiemelhető az állófogadás, amely egyúttal a személyes kapcsolatok elmélyítésére is alkalmas volt. Hasonlóképpen igen jó, baráti légkörben zajlott le a bankett, amelyen felköszöntötték a konferencia doyenjét, a 80-ik évében lévő dr. Huszár István egyetemi tanárt, az alapító tagok egyikét.

Az egyik estét megszínesítette az igen jó akusztikájú Öreg templomban rendezett koncert. Liszt: Le's Preludes, és Berlioz: Rákóczi indulóját adta elő a Széchenyi Egyetem Zenei Fakultásának hallgatóiból álló zenekar lenyűgöző élményt nyújtva mindannyiunk számára.

Az igen nívós hölgyprogram résztvevői egyik nap a Pannonhalmi Apátságot látogatták meg, másik nap a Herendi Porcelángyárat, illetve megismerték Győr belvárosának műemlékeit.



Mind a magyar, mind a külföldi résztvevők egyöntetű véleménye szerint a szimpózium kitűnően sikerült. Ez nem csak a szakmai részre érvényes, hanem a konferencia légkörére, a lebonyolítás gördülékenysége és a baráti kapcsolatok felelevenítésére is. Mindezekért messzemenő elismerés illeti elsősorban dr. Borbás Lajost, aki az egész konferencia motorja volt, akinek figyelme mindenre kiterjedt, akinek munkájáért a Feszültségvizsgáló Szakbizottság nevében is köszönetünket fejezzük ki. Hasonlóképpen meg kell köszönni dr. Csizmazia Ágnes odaadó munkáját, valamint dr. Borbás Lajosné Galló Judit közreműködését, amellyel a vendéglátás gördülékenységét segítette.

A szimpóziumon a horvát fél bejelentette, hogy a következő évi rendezvény Brijuniban lesz, szeptember 29. és október 2. között. Reméljük mind ez, mind a további rendezvények is eredményesek lesznek és a kitűzött célt, a kísérleti feszültséganalízis szakterületét továbbfejlesztik, nemkülönben tovább mélyítik a szakemberek baráti kapcsolatait.

Dr. Huszár István,
az MTA doktora, egyetemi tanár

Dr. Huszár István köszöntése

Az anyagvizsgálók, a kísérleti mechanikát művelők, GTE-ben tömörült szakmai közössége október 21-i ülésükön köszöntötték társadalmi szakcsoportjuk alapító elnökét: **dr. Huszár István** professzor urat 80. születésnapja alkalmából. A köszöntökhöz lapunk szerkesztőbizottsága is csatlakozott, kívánva jó egészségből, kiegyensúlyozottan eltölthető boldog éveket. Isten adja, hogy így legyen! És szakmai közösségünk továbbra is mérthessen gazdag élettapasztalataiból, tudományos eredményeiből.

A köszöntőt követő baráti beszélgetés során felvillantak a tervező, oktató, kutató tudós mérnök töretlen ívű életútjának fontosabb állomásai, (amelyet nyugdíjba vonulását követően lapunknak adott és 1994/1. számában közölt interjújában olvashatunk) és persze a friss benyomások a jubileumi, a 20. Duna-Adria szimpóziumról, mely rendezvényt sorozat egyik elindítója is Huszár tanár úr volt.

Úgy véljük, hogy egy, a közösség javát szolgáló munkát végző ember számára a legszebb születésnapi ajándék az, ha megérheti szakmai magvetésének szárbá szökkenését is.

Isten éltesse még sokáig a Professzor urat!

The transverse sensitivity of strain gages – determination and compensation

Martin Stockmann* – Jochen Naumann**

Összefoglalás

Nyúlásmérő bélyegek keresztirányú érzékenységeinek meghatározása és kiegyenlítése

Valamennyi ellenállás-fólia vagy -huzalos nyúlásmérő bélyeg kis százalékban érzékeny a nyúlás keresztirányú összetevőjére is, mivel ez is kismértékben megváltoztatja a huzal (fólia) villamos ellenállását (1. ábra). A keresztirányú érzékenység függ a geometriai tényezőktől, az anyagjellemzőktől és magának a bélyegnek a mechanikai jellemzőitől.

Az ε_l hossz- és ε_t keresztirányú összetevőkkel jellemzett rugalmas nyúlásmezőben a villamos ellenállás és a nyúlás között az (2 – 4) összefüggések [1] érvényesek a nyúlásmérő bélyegekre, ahol

- β_l és β_t az ellenállás-fólia vezetési tényezője a hossz- és a keresztirányban;
- G_R és L_R a rács és a hurokvégek ellenállásának részaránya (3) szerint;
- G_T és L_T a rácsvonalaknak és a hurokvégeknek a nyúlás keresztirányú összetevőjére vonatkozó átviteli tényezői.

Ez az elméleti leírás nyitott a nyúlásmérő bélyegek új, mechanikai jellemzőiben is megváltoztatott, a keresztirányú érzékenységüket csökkentő változataira is. Erre mutat példát a 2. ábra, amelynek jobb oldalán a szerzők által tervezett és a HBM cég által legyártott, a keresztirányú érzékenységre kiegyenlített nyúlásmérő bélyeg [2] vázlata látható.

A Chemnitz-i Műszaki Egyetem munkatársai a nyúlásmérő bélyegek és más nyúlásérzékelők keresztirányú érzékenységének meghatározásához új módszert és kalibráló készüléket fejlesztettek ki. Ez utóbbi lehetővé teszi a terhelés irányának a megváltoztatását, illetve a statikus és a dinamikus terhelés alkalmazását is. A kalibráló készülék (3. ábra) fő eleme a hajlító gerenda, amelynek nyúlásállapotát (a vizsgálandó bélyeg koordinátáiban kifejezve) $|\varepsilon_x| = 1000 \mu\text{m/m}$ és $|\varepsilon_y| \leq 2 \mu\text{m/m}$ jellemzi. Méreteit végelesemes módszerrel határozták meg (4. ábra), és a számítás eredményét az 5. ábra szemlélteti. Látható, hogy valóban fennáll az $\varepsilon_y/\varepsilon_x = 0$ a központban ($x = 0, y = 0$). Járulékos normál terhelés alkalmazásával a hosszirányú nyúlásösszetevő $-5 \mu\text{m/m} \leq \varepsilon_l \leq +5 \mu\text{m/m}$ tartományra kiterjeszthető. A 6. ábrán a kalibráló készülék adat-kijelző és -értékelő rendszerének vázlata látható dinamikus terhelés esetére.

A 7. ábra a hagyományos (standard), 6/120XY11 típusjelű (HBM) és a 2. ábra szerinti új, a keresztirányú érzékenységre kiegyenlített (de a standardtípustól csak a járulékos fémfólia-rács bevezetésében eltérő) nyúlásmérő bélyeggel, keresztirányú nyúlásmezőben ($\varepsilon_l = 250 \mu\text{m/m}$, $\varepsilon_t \sim 0 \mu\text{m/m}$) mért nyúlásokat mutatja. Látható, hogy az új bélyeggel mért keresztirányú nyúlás a hagyományossal mértnek mintegy a fele.

Introduction

The resistance change of bonded foil and wire strain gages is mainly caused by strain in longitudinal direction but unfortunately to a small part also by strain in transverse direction (Fig. 1). This second influence is called transverse sensitivity. It depends on geometric parameters, material parameters and in terms of the transmission behaviour of the transverse strain from the specimen to the grid line also on mechanical parameters of the strain gage. The gage factor in longitudinal direction

k_l is nearly 2 and the transverse sensitivity k_t is in the range of -0.04 to $+0.1$ (eq. (1)).

$$\frac{\Delta R}{R_0} = k_l \varepsilon_l + k_t \varepsilon_t \quad (1)$$

High precision strain measurements require strain gages with an extremely small value of the transverse sensitivity.

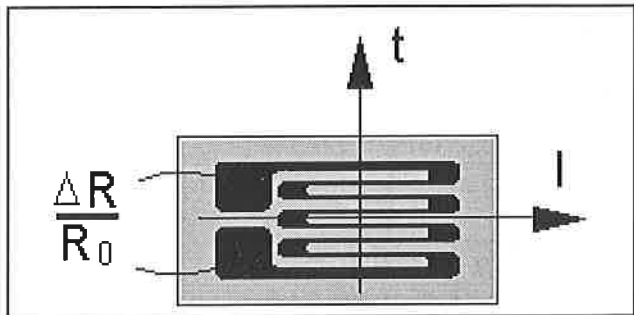


Fig. 1: Strain gage and sensitivity equation (1)

1. ábra. A nyúlásmérő bélyeg és az (1) érzékenységi egyenlet

Resistance-strain-relation

The equation-set (2) - (4), derived in [1], describe the resistance-strain-relation of a strain gage in sensitivity formulation. The basic equation (2) consists of two parts, the grid- and the end loop-part. The longitudinal strain ε_l and the transverse strain ε_t take an influence. Parameters are the conductivity factors of the material β_l, β_t , the portions of the resistance G_R, L_R and the mechanical behaviour in form of the transmission factors G_T, L_T .

$$\frac{\Delta R}{R_0} = \left\{ \varepsilon_l \left[2\nu(1-\beta_l) + \beta_l + 1 \right] + \varepsilon_t \left[\frac{\nu}{1-\nu}(1-\beta_t) + \beta_t - 1 \right] \right\} G_T \quad (2)$$

$$G_R = \frac{nR_G}{R_0} \quad L_R = \frac{mR_L}{R_0} \quad (3)$$

$$\varepsilon_t^{Loop} = L_T \varepsilon_t^{Spec} \quad \varepsilon_t^{Grid} = -\nu \varepsilon_l + G_T \varepsilon_t^{Spec} \quad (4)$$

β_l, β_t ...conductivity factors of the resistance foil in longitudinal and transverse direction

G_R, L_R ...portions of resistance of grid and end loops respectively

G_T, L_T ...transmission factors of the transverse strain component to the grid lines and the end loops

Compensation of the transverse sensitivity

This theoretical description allows the calculation of the transverse sensitivity and opens new ways of there compensation. One way is the variation of the mechanical strain transmission factor G_T , namely, by introducing small additional gridlines of metallic foil material, for instance advance (see Fig. 2 and [2]).

Prototypes of strain gages with transverse sensitivity compensation were designed by the authors and manufactured by HBM. They were

* PD Dr.-Ing. habil. – ** Prof. Dr.-Ing. habil. – Chemnitz University of Technology, Germany

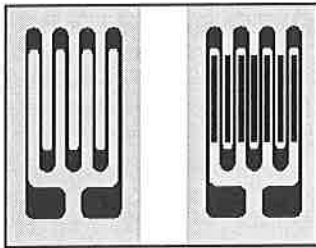


Fig. 2: Schematic layout of standard strain gage (left) and special strain gage with transverse sensitivity compensation (right)

2. ábra. A hagyományos (balra) és a keresztirányú érzékenységre kiegyenlített (jobbra) nyúlásmérő bélégy szerkezeti vázlata

tested using a new calibration device, developed and produced by the Chemnitz University of Technology.

Determination of the transverse sensitivity

The calibration device consists of a special designed double T-girder, supported at the bottom and mounted on the top with a rigid bar for the application of the bending moment. The mechanical system is shown in Fig. 3.

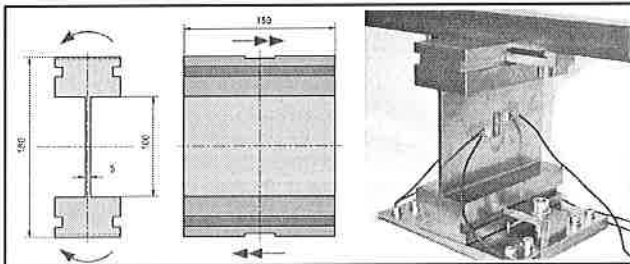


Fig. 3: Calibration device, geometry and loading
3. ábra. Kalibráló készülék kialakítása és terhelése

This device allows load reverse and can be used for static and dynamic loading. The bending moment generate in the centre of the specimen (testing area) the calibration strain state $|\epsilon_y| = 1000 \mu\text{m/m}$ and $|\epsilon_x| \leq 2 \mu\text{m/m}$ (in the co-ordinates of the test strain gages). The dimensions are exactly calculated using the method of finite elements and certified by experiments.

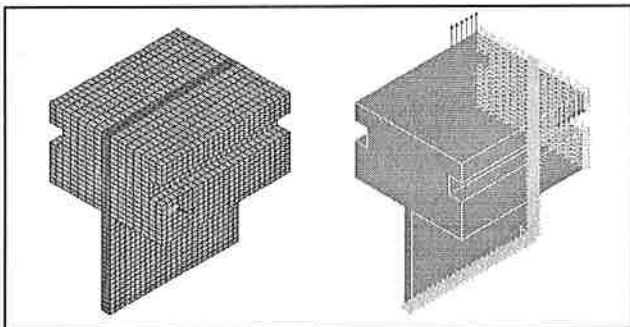


Fig. 4: Numerical simulation (ANSYS Inc.), FE-mesh and boundary conditions
4. ábra. Numerikus szimuláció (Ansys Inc.), végelem-háló és a peremfeltételek

Fig. 4 shows the finite element mesh and boundary conditions. Results are presented in Fig. 5. It is shown, that the strain relation ϵ_y/ϵ_x in the centre ($y = 0$, $x = 0$) is really zero.

Furthermore it is possible to tune the longitudinal strain component in the range $-5 \mu\text{m/m} \leq \epsilon_l \leq 5 \mu\text{m/m}$ using an additional normal load.

The principle of the data recording and evaluation in the case of dynamic loading is shown in Fig. 6. The complete device consists in this case of the specimen, the rigid bar on the top and two weights of 10 kg at the ends of the bar. The free vibration is stimulated manually. One of the advantages of the dynamic loading is the very high sensitivity and resolution of the signal. That results, because the natural mode and the

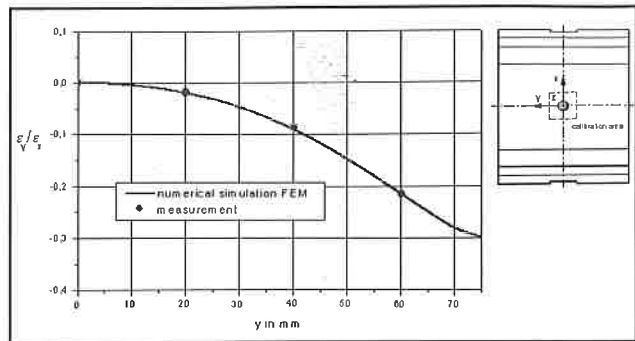


Fig. 5: Strain relation ϵ_y/ϵ_x along the y-axis

5. ábra. Az ϵ_y/ϵ_x nyúlásviszony változása az y tengely mentén

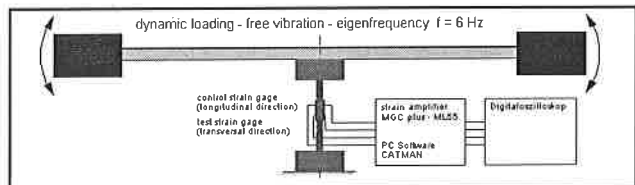


Fig. 6: Schematic layout of the data recording and evaluation in the case of dynamic loading

6. ábra. A kalibráló készülék adat-kijelző és -értékelő rendszerének vázlata dinamikus terhelés esetére

self-frequency of the system is known, and it's possible to reduce the noise of the signal by band pass filtering.

Test results are shown in Fig. 7. One inspected strain gage is the type 6/120XY11 (HBM) in standard style (standard gage). The other is modified in accordance with Fig. 2 (gage with reduced transverse sensitivity), whereby the basic layout correlates exactly with the standard gage 6/120XY11. The only change is the introduction of small additional gridlines of metallic foil material (advance).

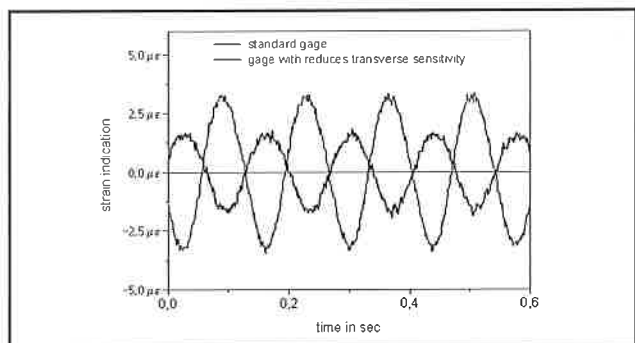


Fig. 7: Strain indication of two strain gages in a transverse strain field, $\epsilon_l = 250 \mu\text{m/m}$, $\epsilon_x \approx 0 \mu\text{m/m}$.

7. ábra. A hagyományos és az új nyúlásmérő bélyeggel, keresztirányú nyúlásmezőben ($\epsilon_l = 250 \mu\text{m/m}$, $\epsilon_x \approx 0 \mu\text{m/m}$) mért nyúlások

The measured strain values (Fig. 7) shows that the transverse sensitivity of the modified strain gage is reduced and amounts $q \sim 0,5 \%$, in comparison with $q \sim 1 \%$ for the standard gage.

Bibliography

- [1] Stockmann, M.: Mikromechanische Analyse der Wirkungsmechanismen elektrischer Dehnungsmessstreifen, Habilitationsschrift, in: Technische Universität Chemnitz, Institut für Mechanik Bericht 3/2000. <http://archiv.tu-chemnitz.de/pub/2000/004>
- [2] Stockmann, M.; Naumann, J.: Dehnungsmessstreifen Deutsches Patent- und Markenamt, Patentschrift, DE 198 26 411 C2, 03.05.2001

Influence of the measuring grid of a foil sensor on the accuracy of pressure measurements

Klaus Hoffmann* – Klaus Decker*

Összefoglalás

A fóliaszensor mérőrácsának hatása az érintkezési nyomás mérési pontosságára

A Tekscan rendszert (1. ábra) kiterjedten használják az érintkezési nyomás méréséhez. A dolgozat e rendszer használatakor fellépő mérési hiba okainak vizsgálati eredményeit tárgyalja. Az összehasonlításához Fuji előskálázott filmmel is elvégzett mérések eredményeit használták, illetve végelelem-módszerrel számításokat végeztek. Megállapították, hogy a Tekscan rendszer mérési hibája függ az érintkező testek rugalmas tulajdonságaitól és a kalibrálási módszertől. A lényeges eltéréseket az aktív érzékelő cellák és az inaktív területek (6. és 7. ábra) eltérő merevsége okozza. Minél nagyobbak az inaktív területek miatti mérési veszteségek, annál nagyobbak a számított és mért értékek összehasonlításakor tapasztalt eltérések. Ezt igazolja a kötéllel érintkező poliamiddal bevont csigakerék elempáron a Fuji filmszenzorral illetve a Tekscan rendszerrel mért érintkezési nyomások közötti jelentős különbség (15. ábra).

Introduction

The measurement of contact stresses between elastic bodies is of great importance in a wide range of fields. Many methods are based on a sensor sheet which is placed between the bodies in contact. Depending on the application, the accuracy of measuring results can be considerably affected by the finite thickness and structure of the inserted sensor.

This study deals with the imprecision of the Tekscan system and attempts to explain the cause of deviations. For this purpose an imprint method and the FE method was used to compare the results with the results of the Tekscan system.

Characteristics of measuring methods

The Tekscan system [1], [2] is assigned to the electrical methods and is suitable for time-dependent measurement. The technology of the Tekscan system is based on a conductive grid network of rows and columns deposited onto thin, flexible film (see fig. 1).

Each conductive trace generates a change in electrical resistance when pressure is applied to its surface. The array is scanned electronically to determine the pressure at each sensing cell. A certain calibration method must be used to receive the right correlation between change of electrical resistance and pressure value.

Pressure ranges from 0 up to 170 N/mm² can be specified. Using TEKSCAN software the changing of contact stresses can be displayed in various formats in real time up to about 100 Hz.

The other measuring system is an imprint method using Fuji prescale film [3], [4]. It can only be used for static loads. Fuji prescale film is usually composed of two sheets, A-film and C-film, placed simultaneously between the bodies in contact. Only for a high pressure range from 10 N/mm² to 130 N/mm² a single sheet type is used (see fig. 2, 3).

After applying a load, a red colour is obtained with a density depending on the maximum amount of local pressure for the duration of the test. A computer-aided evaluation of colour density enables a quick and accurate interpretation of pressure distribution. The GODAV system [5] used for these investigations was developed at the Institute for Engineering Design and Transport, Handling and Conveying Systems at Vienna Uni-

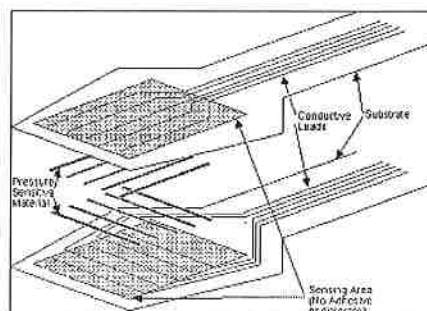


Figure 1:
Configuration of a
Tekscan sensor [2]
1. ábra. A Tekscan
szensor felépítése [2]

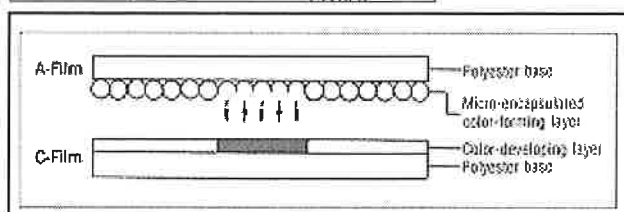


Figure 2: Two-sheet type for low pressure [4], (0,2 – 10 N/mm²)
2. ábra. Kétrétegű film kis nyomások (0,2 – 10 N/mm²) méréséhez [4]

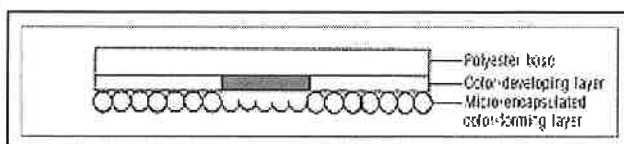


Figure 3: Mono-sheet type for high pressure [4], (10 – 130 N/mm²)
3. ábra. Egyrétegű film nagy nyomások (10 – 130 N/mm²) méréséhez [4]

versity of Technology. This system satisfies certain requirements, e.g. low costs, application of a commercially-available PC and scanner, multicolour presentation of results, resulting forces, statistical data and others.

The characteristics of both the Tekscan system and the Fuji/GODAV method are listed in table 1.

	TEKSCAN	FUJI/GODAV
Pressure range N/mm ²	0 – 170	0 – 130
Sensor thickness mm	0,2	0,2
Young's modulus N/mm ²	~3000	~3000
Time resolution	127 Hz	static
Resolving power mm	~1,2	~0,2

Table 1: Characteristics of the measuring methods
1. táblázat. A mérési módszerek jellemzői

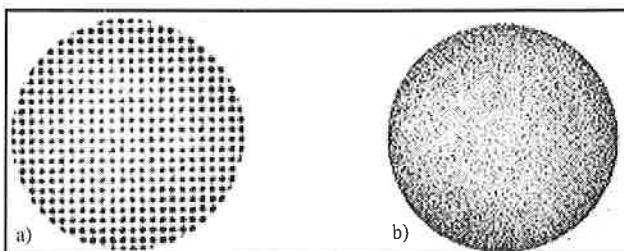


Figure 4: Pressure distribution between steel die,
sensor and polyamide solid

a) Tekscan sensor b) Fuji sensor
4. ábra. Nyomáseloszlás az acélszerszám, a szenzor és a szilárd poliamid között

* Institute for Engineering Design and Transport, Handling and Conveying Systems, Vienna University of Technology, Getreidemarkt 9, A-1060 Vienna, Austria, <http://www.ft.tuwien.ac.at>

An idea of the local resolving power of both systems is given by figure 4. On the left side the imprint of the pressure distribution of a Tekscan sensor using a Fuji film is shown. Figure 4b) shows the imprint of a Fuji sensor. For both images the same measurement device was used (see fig. 5).

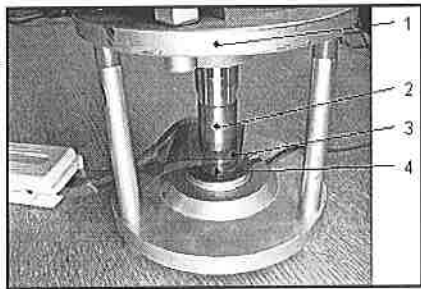


Figure 5: Measuring device
5. ábra. A mérőkészülék: 1 Pneumatic cylinder – pneumatikus henger; 2 Steel die – acélszerszám; 3 Tekscan sensor; 4 Polyamide die – poliamidszerszám

Measuring errors

We can establish that the accuracy of measuring results can be considerably affected by the following characteristics [6]:

- a) Measurement errors due to certain method characteristics, which are inherent in the system and therefore unchangeable, but they are to take in account:
 - a1) Local resolving power of the system
 - a2) Elastic properties and inhomogeneity of the sensor structure
- b) Measurement errors due to certain contact characteristics like:
 - b1) Steep pressure gradient
 - b2) Load sensitive contact area
 - b3) Steep pressure gradient combined with load sensitive contact area

Inaccuracies caused by the measuring grid

The main disadvantage of the Tekscan sensor is the high rigidity in the vicinity of the sensor crossing-points compared to the areas between (see fig. 6). The big differences in the young's modulus are shown in figure 7: areas with different elastic properties.

This fact causes very inhomogeneous pressure distributions and makes calibration of the sensor more difficult. Because the sensing array is a combination of "sensing areas" and "inactive areas", the sensor must be calibrated with a material whose stiffness is similar to that of the material to be tested.

The Tekscan sensor cannot detect the portion of the force that occurs in the "inactive areas". This can lead to high inaccuracies, depending on the elastic properties and the pressure distribution of the bodies in contact.

To explain this problem the measuring device shown in figure 5 was used. A steel die was pressed against a polyamide die, both of the same diameter. The Tekscan sensor and simultaneously a Fuji foil were inserted between both dies. You can see the results as a Fuji-imprint in figure 8.

Due to the stiffness inhomogeneities of the Tekscan sensor the pressure distribution is very uneven (fig. 9). The peaks of the pressure are detected by the Tekscan sensor, but the sensor cannot detect the portion of the pressure that occurs in the inactive areas.

The FE-Simulation shown in figure 10 gives an idea about the influence of the stiffness of the bodies in contact.

Steel to steel gives very good results, because the losses are low and constant (dotted line in fig. 11). In the case of steel die pressed against a polyamide die on the one hand high losses can be observed and on the other hand the boundary effects with high pressure values are recognizable (see fig. 11).

Example

An example where high inaccuracies can be caused by the measuring grid of the Tekscan sensor is with the contact area of rope and polyamide inlay of a pulley wheel. This investigations were carried out in cooperation with a cable car company. Figure 12 shows the experimental set-up.

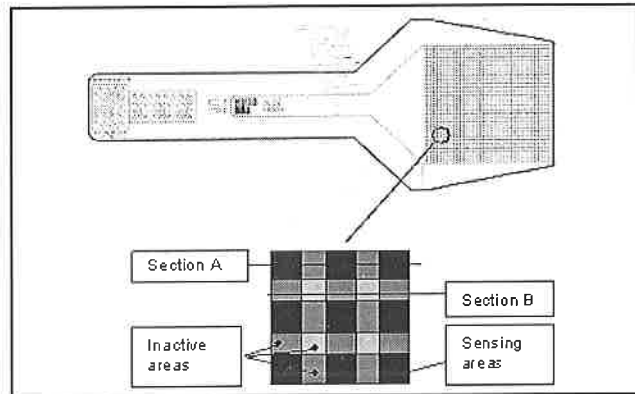


Figure 6: Structure of the Tekscan sensor
6. ábra. A Tekscan szenzor szerkezete

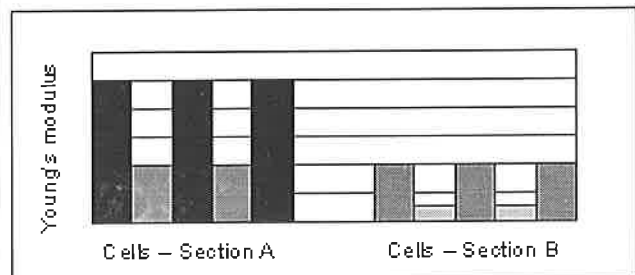


Figure 7: Young's modulus
7. ábra. A Young-modulus változása a 6. ábrán bejelölt A és B metszetek mentén

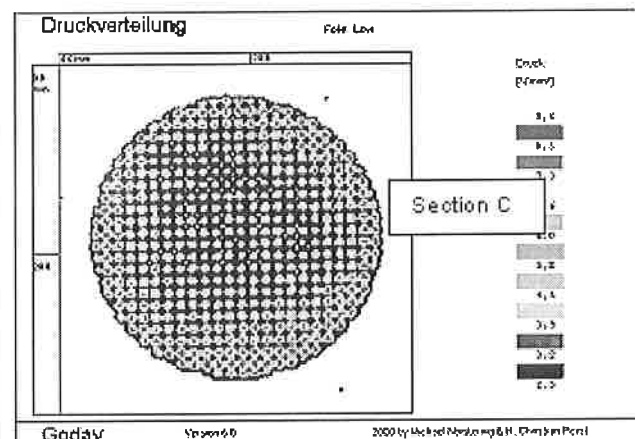


Figure 8: Pressure distribution between steel die and polyamide die
8. ábra. Nyomáseloszlás az acél- és a poliamid-szerszám között

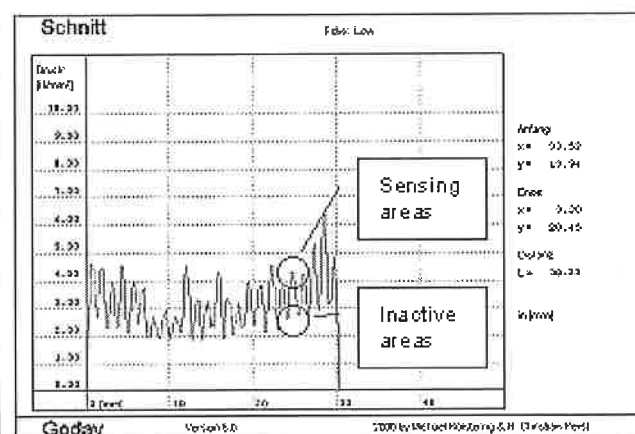


Figure 9: Pressure distribution along section C
9. ábra. Nyomáseloszlás a C metszetben

The measurement results of pressure distribution are shown in the figures 13 and 14. A comparison of results obtained by Tekscan and Fuji systems is given in figure 15.

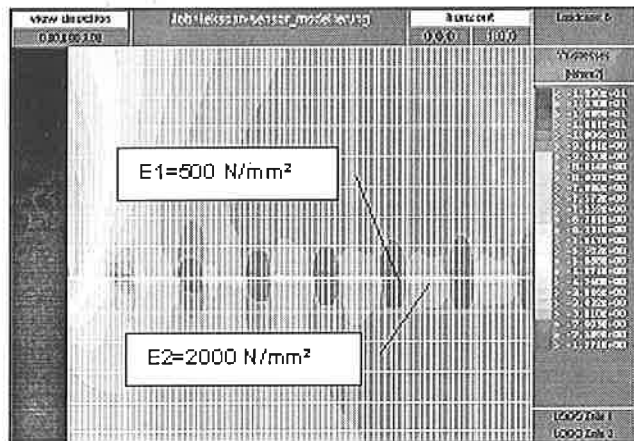


Figure 10: FE-Simulation steel die / polyamide die
10. ábra. Az acél- és a poliamid-szerszám érintkezésének végelem-szimulációja

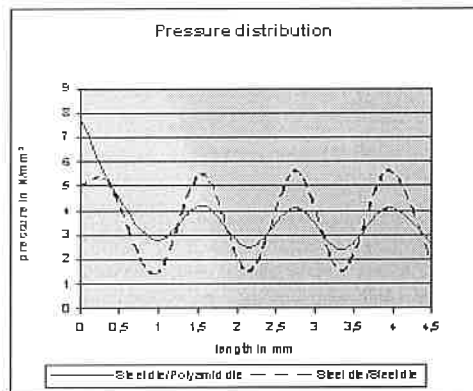


Figure 11:
Results FE-Simulation
11. ábra.
A végelem-szimuláció eredménye;
---- acél acéllal,
— acél poliamiddal érintkezik

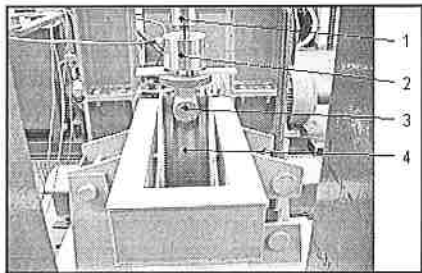


Figure 12: Experimental set-up [7]
12. ábra. Kísérleti elrendezés; 1 Hydraulic cylinder – hidraulikus henger; 2 Force sensor – erőérzékelő; 3 Rope dummy – próbakötél; 4 Pulley with polyamide inlay – csiga poliamid bevonattal

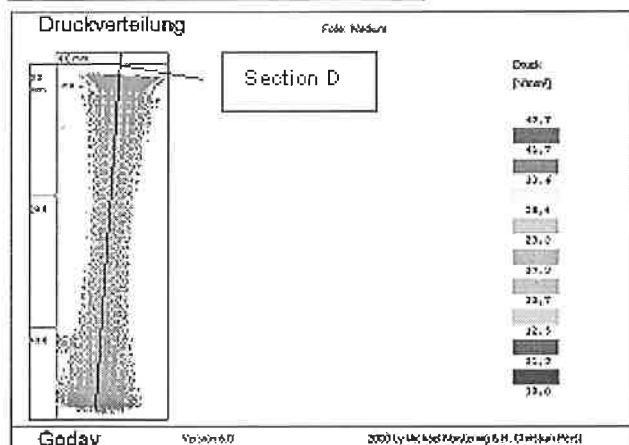


Figure 13: Pressure distribution between rope dummy and polyamide inlay
13. ábra. Nyomáseloszlás a próbakötél és a poliamid bevonat között

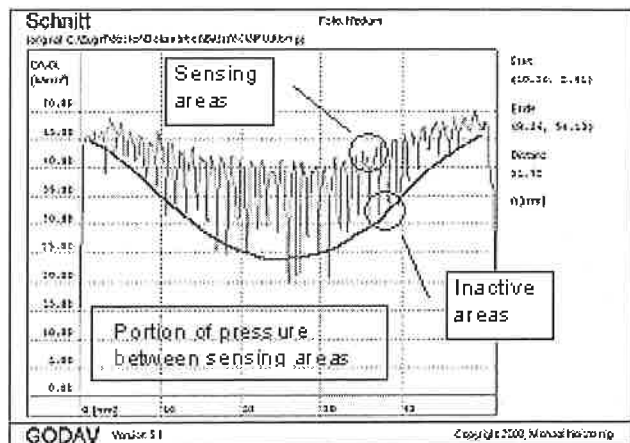


Figure 14: Pressure distribution along section D
14. ábra. Nyomáseloszlás a 13. ábrán bejelölt D metszeten

The reason for the large deviations between the results of Fuji film and Tekscan system is that a large portion of the pressure occurs between the sensing areas. This portion is not included in the measurement results. That is the reason why the Tekscan sensor provides an lower output than the Fuji film. The higher these measurement losses the higher the deviations of results.

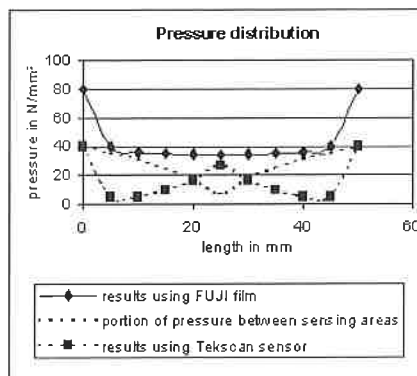


Figure 15:
Explanation of deviation
15. ábra. Az eltérések értelmezése

Summary

The Tekscan system is widely used for pressure measurements. In this paper some problems of accuracy of measurement results using this system were investigated. For comparison FE-calculations and measurement results by means of Fuji prescale film were used. The measurement errors using Tekscan system depends on the elastic properties and inhomogeneity of the sensor structure, of geometric and elastic properties of the bodies in contact and of the calibration method. The main deviations are effected by the differences of stiffness of the active sensing cells to the inactive areas. The higher these measurement losses of the inactive areas the higher the deviations of results.

References

- [1] Tekscan, Inc., South Boston, USA: *I-Scan for Windows – Pressure Measurement System, User's Manual*, July, 1998
- [2] Tekscan, Inc., South Boston, USA: online: <http://www.tekscan.com>, April 2003
- [3] Fuji Photo Film Co., Ltd., Japan: *Fuji prescale Film Instruction Manual*
- [4] Fuji Photo Film Co., Ltd., Japan: online: <http://www.prescale.com>, April 2003
- [5] A. Jusner: *Systementwicklung und Untersuchung der Auswertegenauigkeit des Graphik-Orientierten-Druckmessfolien-Auswerte-Verfahrens (GODAV)*, dissertation, Vienna University of Technology, 1992
- [6] K. Hoffmann, M. Egger: *The imprecision of pressure measurements*, Int. NAISO Congress on Information, Science, Innovation, Dubai, 2001
- [7] K. Decker: *Vergleichende Untersuchungen mit FUJI-Druckmessfolien und dem Tekscan-System zur Messung von Flächenpressungen an Seilrollen*, diploma thesis, Vienna University of Technology, 2002

Elastomerek fárasztóvizsgálata

Zoltán Major¹ – Christian Feichter² – Reinhold W. Lang³

Bevezetés

A gumiból és hőre lágyuló elastomerekből készült alkatrészek döntő többségben dinamikus, időben változó, ciklikus terhelésre vannak igénybe véve. Gyakorlati alkalmazásuk a megbízhatóan üzemelő, hosszú élettartamú szerkezetekben szükségessé teszi a ciklikus terhelés alatti tulajdonságaik ismeretét. Ez egyrészt a dinamikus merevség, valamint a feszültség és a nyúlás közötti fáziskülönbség frekvencia, hőmérséklet és terheléssámlitűdő függésének az ismeretét, másrészt a kifáradási tulajdonságok, illetve az ezt leíró anyagjellemzők meghatározását is ismeretét igényli.

Jelen vizsgálat sorozat célja egy, az elastomerek specifikus tulajdonságait figyelembe vevő vizsgálati módszer kifejlesztése, majd a kidolgozott módszerrel különféle elastomer anyagok fáradási tulajdonságainak a meghatározása volt.

Az elastomerek fárasztóvizsgálata többféle módszerrel is lehetséges. A bemetszetlen vagy bemetszett próbatestekkel meghatározható a Wöhler-görbe, ám e módszer elastomer anyagokhoz való alkalmazásának korlátai is ismertek az irodalomból (Gent (ed.), 1992; Mars és Fatemi, 2002 [1 és 2]).

Az élesen bemetszett (pl. borotvapengével) és alkalmasan választott próbatest geometriával törésmechanikai elveken alapuló fáradásos repedésterjedési vizsgálati módszer (FCP) is alkalmazható. A cikkben elastomerek törésmechanikai elven alapuló fárasztóvizsgálata kifejlesztésének és alkalmazásának az eredményeit és problémáit mutatjuk be.

Az elastomerek vizsgálatához már az ötvenes évek eleje/közepe óta használják a törésmechanikát (Rivlin és Thomas, 1953). Ez év szeptemberében rendezték meg Hartfordban (UK) Money és Rivlin emlékére az 50 éves jubileumi konferenciát, ahol az elmúlt 50 év eredményei mellett az előadók bemutatták a jelenleg alkalmazott koncepciók és módszerek hiányosságait és a lehetséges új megoldásokat is.

Az irodalomban nagy számban található az elastomerek fáradásával, a fáradásos repedésterjedéssel, az ezt befolyásoló tényezők elemzésével foglalkozó munkákat. A módszer alapjait a 60-as években – egy adott vizsgálattechnikai háttér mellett – dolgozták ki és a későbbiekben finomították (Rivlin és Thomas, 1955; Gent, Lindley és Thomas 1964; Gent (ed.), 1992; Eisele, Kelboch és Engels, 1992; Hocine, Abdelaziz és Mesmacque, 1998; Legorju-jago és Bathias, 2002). A módszer lényege az alábbiakban foglalható össze.

Az ún. tearing energy, T (törési energia) definíciója szerint

$$T = - \left(\frac{\partial U_{ext} - U}{\partial A} \right) \geq T_c \quad (1)$$

Igy tehát ismerni kell a fajlagos energia vagy alakváltozási energiasűrűség változását a próbatest maradó keresztmetszete (A) függvényében. Az alakváltozási energiasűrűség a vizsgált próbatest feszültség-nyúlás görbéjének integrálásával meghatározható. A bemetszett próbatest repedéshosszát a vizsgálat során folyamatosan regisztrálni kell. A két mérés kombinációjával a T energia értéke – különböző próbatestek esetén – az alábbi általános összefüggéssel számítható:

$$T = 2kW_c \quad (2)$$

ahol $k(a)$ egy, a repedéshossztól függő geometriai tényező, W az alakváltozási energiasűrűség és c a repedéshossz értéke.

Az elastomerek sok tekintetben speciális, a többi szerkezeti anyagtól eltérő viselkedést mutató anyagok. A mechanikai tulajdonságok közül a legjelentősebbek: a nagy nyúlások (200-tól 600%-ig), a nemlineáris viskoelasztikus viselkedés a teljes nyúlástartományban és a nagy hiszterézis. A feszültség alapú mérőszámok így nem használhatók gumik esetén.

Gumik fárasztóvizsgálatát rendszerint nyúlásvezérléssel végezzük el, egyrészt, mert a lágy, nemlineáris próbatestekkel a vizsgálóberendezések döntő többségénél nem lehet a stabil erővezérlést megvalósítani, másrészt ekkor a külső erők munkája zérus (U_{ext}) és az (1) egyenlet a következő alakra egyszerűsödik:

$$-\left(\frac{\partial U}{\partial A} \right) = T \quad (3)$$

További komplikációt jelent a terhelés alatti lágyulás (Mullins-hatás), és az, hogy ciklikus terhelés során megváltozik a csillapítás mértéke (Payne-hatás). Ugyanakkor megállapítható, hogy az elastomerek bár igen nagy alakváltozások után, de végső soron ridegen törnek, azaz a kohéziós zóna mérete igen kicsi.

Kísérletek

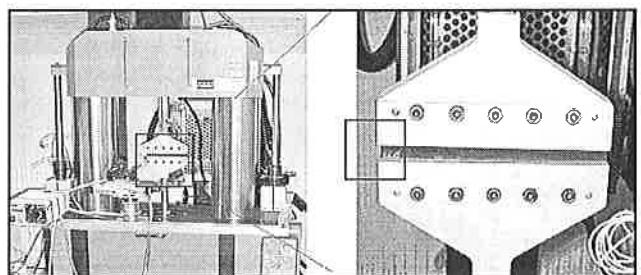
A vizsgált anyagok

A vizsgálatokhoz öt különböző gumianyagot használtunk, mégpedig: természetes gumit (NR), sztirol-butadién alapú gumit (SBR), etilén-propilén-dién alapú elastomert (EPDM), illetve ezek keverékét és fluor alapú gumit (FR), továbbá két termoplasztikus elastomert (hőre lágyuló poliuretánt (TPU)), amelyeket a projektben résztvevő cégek bocsátottak rendelkezésünkre.

Próbatestek és a vizsgálati elrendezés

A vizsgálatokat egy olyan MTS 831.59 típusú szervohidraulikus anyagvizsgáló gépen végeztük el, ami a gumivizsgálatoknál felmerülő szinte valamennyi követelményt kielégíti. Ilyen követelmények, pl. a vizsgálórendszer nagy merevsége, a vizsgálati frekvencia és a hőmérséklet változtathatósága széles tartományban, a szabályozórendszer elegendő rugalmassága a nagy dugattyú elmozdulások esetén is a kívánt terhelés pontos megvalósításához és a nagy pontosságú erőmérés viszonylag kis erők esetén is. A vizsgálóberendezés a TestStar II Classic elektronika és szoftver bázisán rendelkezik egy elastomer test package nevű programcsomaggal, aminek egyik eleme a fárasztóvizsgálatok elvégzését támogató Tearing EnergyR 790.38 szoftver. Az 1. ábrán a vizsgálóberendezés és a befogó látható.

Az ún. pure shear elnevezésű (PS) próbatestet választottuk ki a vizsgálatokhoz. A repedés egyenes vonalú terjedésének biztosítása érdekében egy enyhe kikönyvitést helyeztünk el a próbatest közepén (faint waste, a továbbiakban így a rövidítés FWPS). A bemetszést a



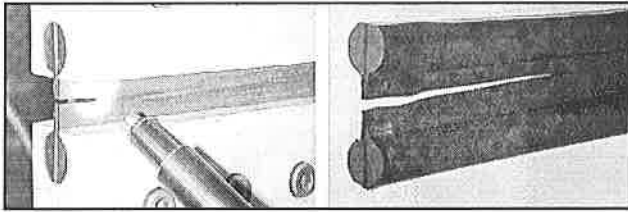
1. ábra. A vizsgálórendszer felépítése a befogóval

¹ Major Zoltán, egyetemi asszisztens a Leobeni Egyetem Institut für Werkstoffkunde und -prüfung der Kunststoffe tanszékén és projektvezető a PCCL-nél.

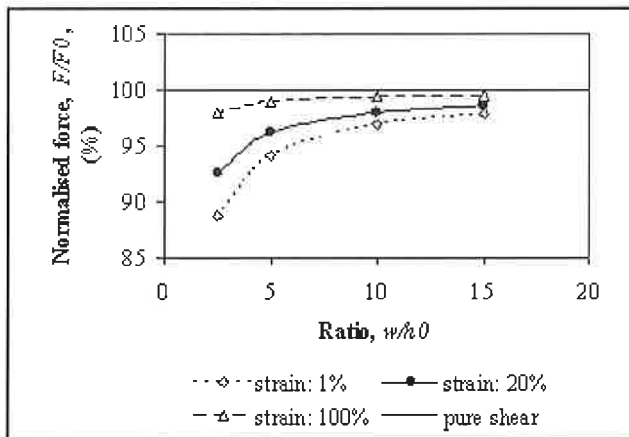
² Christian Feichter, tudományos munkatárs a PCCL-nél és a témában készíti a doktori értekezését.

³ Reinhold W. Lang, a Leobeni Egyetem Institut für Werkstoffkunde und -prüfung der Kunststoffe tanszék vezetője és a PCCL igazgatója.

befogóra rögzített készülékben elhelyezett bortvapengével készítettük. A bemetszett és a fáradt repedést tartalmazó próbatest képe látható a 2. ábrán. A 3. ábrán a tiszta nyírás (pure shear) feszültségállapot függése látható a próbatest w hosszának és h_0 magasságának az arányától különböző nyúlások esetén (Yeoh, 2001).

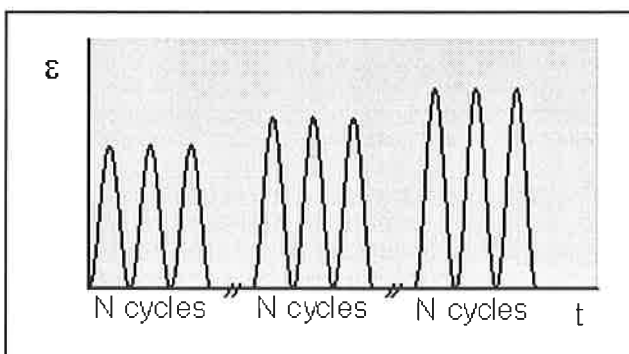


2. ábra. A bemetszett és a fárasztással berepesztett FWPS próbatest



3. ábra. A tiszta nyírás (pure shear) feszültségállapot mértékének függése a próbatest w hosszának és h_0 magasságának az arányától különböző nyúlások esetén (Yeoh, 2001)

A vizsgálatokat minden esetben nyúlásvezérléssel és $R = \epsilon_{\min}/\epsilon_{\max} = 0$ mellett végeztük. A vizsgálatok során egy adott nyúlásamplitúdóról indulva a terhelést fokozatosan növeltük egy olyan nyúlásamplitúdóig, ahol vagy az anyag (stabilból instabil repedésterjedésbe való átmenet) vagy pedig a vizsgálórendszer (a szabályozás már nem működött) mutatott instabilitást. Egy terhelési szinten 104 ciklus volt a vizsgálat időtartama. Ezt mutatja be a 4. ábra. A szinuszosan változó terhelés vizsgálati frekvenciája 10 Hz volt, valamennyi vizsgálat szobahőmérsékleten (23°C) és 50%-os relatív páratartalom mellett végeztük. A repedés hosszát a repedés követésére alkalmas mérőmikroszkóppal mértük meg. A vizsgálószoftver automatikusan rögzítette az erő-elmozdulás görbéket és számolta a nyúlásokat, feszültségeket, valamint a nyúlási energiasűrűséget. A repedéshossz értékének manuális megadása után a program újra automatikusan számolja a T energiát, a repedésterjedési sebesség, da/dN értékeit és megrajzolja a $da/dN-T$ repedésterjedési diagramot.



4. ábra. A fárasztóvizsgálat elvi vázlata

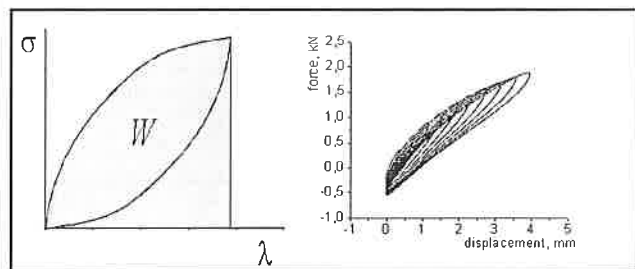
Vizsgálati paraméterek

Időben változó ciklikus terhelés során, különösen a töltőanyaggal erősített elasztomerrendszerek (műszaki alkalmazásokhoz döntően ilyeneket használnak) megváltoztatják feszültség-nyúlás jelleggörbéjüket, kilágyulnak és megváltozik mind a hiszterézis görbe alakja, mind pedig a görbe alatti terület nagysága. Megvizsgáltuk, hogy a becsült maximális nyúlásamplitúdóval való előterhelés alkalmazása hogyan befolyásolja a fáradásos repedésterjedést („non-conditioned” és „preconditioned”).

Miután a gyakorlatban a ciklikus terhelés nemcsak szinuszos (sine), hanem nagyon gyakran pulzáló (pulse) jellegű, ezért a kísérlet-sorozat másik részében egyrészt azt vizsgáltuk, hogy az adott vizsgálógépen vannak-e pulzáló terhelés megvalósíthatóságának korlátai, másrészt meghatároztuk a pulzáló terhelés kífáradási anyagjellemzőkre gyakorolt hatását három különböző elasztomer anyagon. Az alapel frekvenciák ekkor is 10 Hz volt 0,2 „pulse ratio” érték mellett.

Az anyagjellemző mérőszámok meghatározása

Az 5. ábrán az elvi és egy terhelési ciklus összes mért hiszterézis görbéje látható.



5. ábra. Egy elvi és egy adott terhelési ciklus összes hiszterézis görbéje

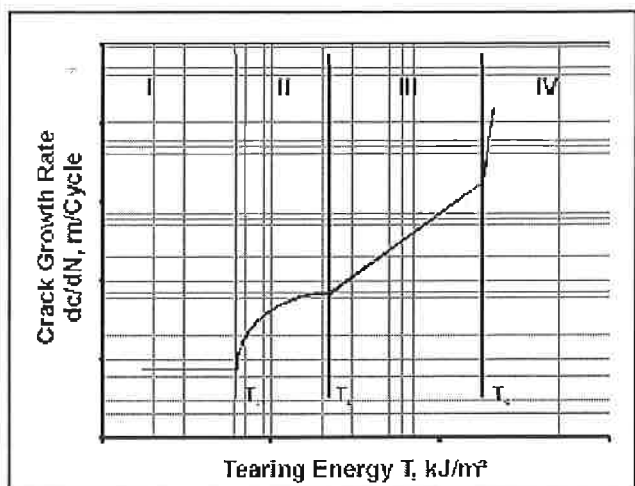
Az alakváltozási energiasűrűség (W), a feszültség (σ) és nyúlás-görbe ($\lambda = 1 + \epsilon$) alatti terület integrálásával határozható meg:

$$W = \int_0^{\lambda_{\max}} \sigma(\lambda) d\lambda \quad (4)$$

Általános esetben, mint azt korábban láttuk, a T energia a (2) képlettel számítható. A gumiknál a repedés gyakran cikk-cakkban, tehát nem mindig a repedés síkjában terjed, ezért megkülönböztetünk egy a -val jelölt, a repedés síkjában mért repedéshosszat, és egy c -vel jelölt, az összes repedésszegmens hosszát jellemző méretet. A „pure shear” geometria nagy előnye, hogy a T értéke független a repedéshossztól és az alábbi egyszerűsített összefüggéssel számítható:

$$T = Wh \quad (5)$$

ahol h a próbatest magassága.



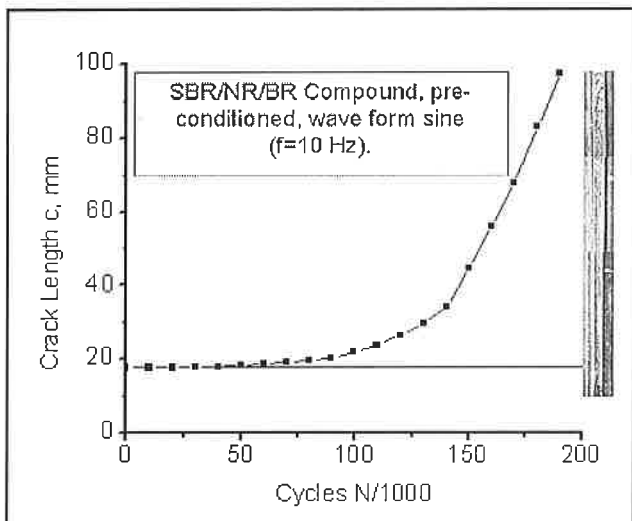
6. ábra. A gumikra jellemző $da/dN-T$ fáradásos repedésterjedési diagram elvi vázlata

A 6. ábrán gumikra jellemző fáradásos repedésterjedési görbe elvi vázlata látható, amelyen négy szakaszt különböztethetünk meg. Az első szakaszban a repedés nem vagy csak környezeti hatások (pl. ózon) miatt terjed, a másodikban megindul a repedésterjedés (T_{th}) és kvázi

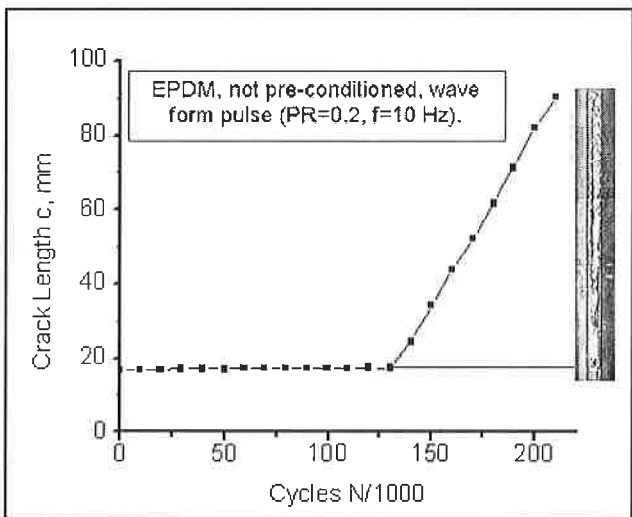
instabilan terjed, majd ezt követi a stabil repedésterjedés szakasza (T_s) ami instabil repedésterjedéssé alakulhat át (T_c).

A vizsgálatsorozat eredményei

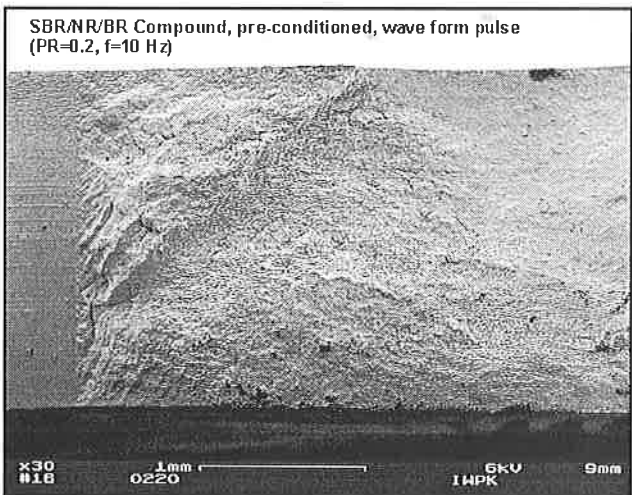
A 7. és 8. ábrán a repedéshossz változása a ciklusszám függvényében követhető nyomon egy SBR/NR/BR keverék és egy EPDM anyag esetén. A repedésterjedés folyamatának részletesebb elemzéséhez a töretfelületet digitális kamerával lefotóztuk (ez látható az ábrák jobb oldalán), majd a repedéscsúcs környezetét scanning elektron-



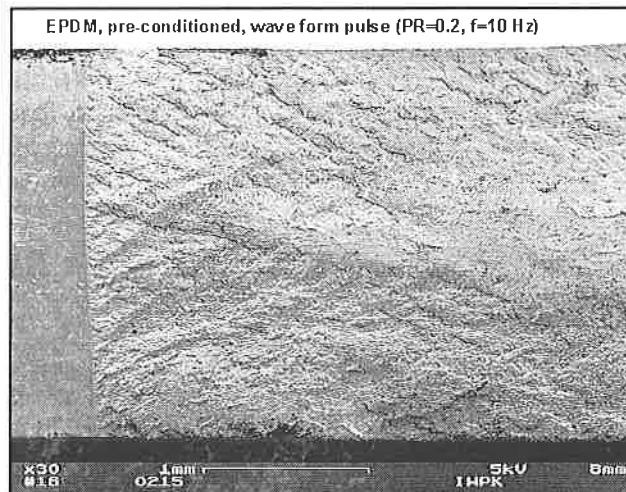
7. ábra. A repedéshossz növekedése a ciklusszám függvényében a szinuszos terhelésű SBR/NR/BR gumikeverékben



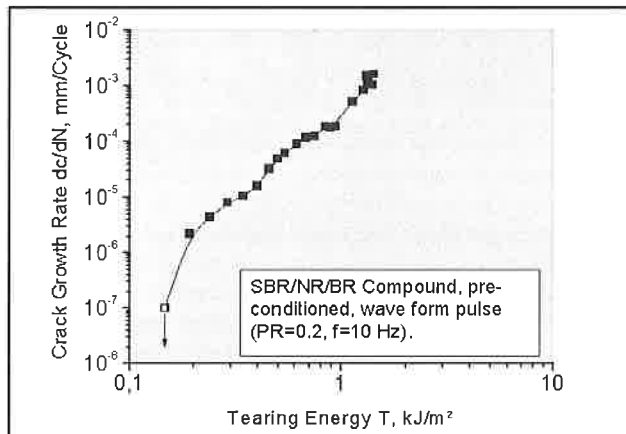
8. ábra. A repedéshossz növekedése a ciklusszám függvényében a pulzáló terhelésű EPDM gumiban



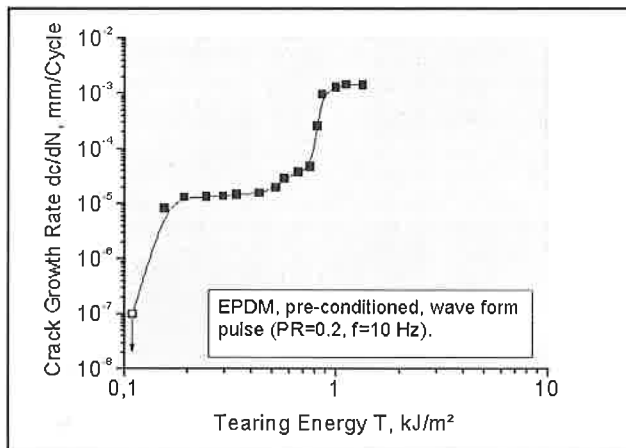
9. ábra. SBR/NR/BR gumikeverékből készült, szinuszos terheléssel fárasztott FWPS próbatest töretfelülete a repedéscsúcs környezetében.



10. ábra. EPDM-ből készült, pulzáló terheléssel fárasztott FWPS próbatest töretfelülete a repedéscsúcs környezetében.



11. ábra. A szinuszos terhelésű SBR/NR/BR gumikeverék fáradásos repedésterjedési görbéje



12. ábra. A pulzáló terhelésű EPDM gumi fáradásos repedésterjedési görbéje

mikroszkóppal (9. és 10. ábra), a távolabbi részeket pedig egy 3D kép elkészítésére alkalmas mikroszkóp kamerával vizsgáltuk. Ennek az elemzésnek az eredményeit egy következő munkában fogjuk ismertetni. A $c-N$ függvényekből a program meghatározta a repedésterjedési sebesség dc/dN értékeit. A következő ábrákon (11. és 12. ábra) a különböző terhelési módokkal (szinuszos és pulzáló) előterheléssel és e nélkül felvett fáradásos repedésterjedési diagramok láthatók a két vizsgált anyag esetén.

A terhelési jelalak hatása a fáradásos repedésterjedésre

Minden anyagnál, függetlenül az előterheléstől, a pulzáló terhelés balra tolta el a diagramot. Tehát a repedés-megindulás kritikus értéke (a T_{th} threshold tearing energy, a T energia küszöbértéke) kisebb pulzáló terhelés esetén. Ugyanakkor elmondható, hogy ez a hatás anyagokként különböző és az előterhelés mértéke ugyancsak befolyásolta a csökkenés mértékét. További elemzést igényel, hogy a pulzáló terhelésnél fellépő nagyobb nyúlássebességek, valamint az emiatt keletkező hiszterézis felmelegedés hogyan befolyásolja a folyamatot. Ugyancsak további elemzést igényel, a mikroszerkezet (homogenitás, többféle alkotórész jelenléte, a töltőanyag fajtája, mennyisége és eloszlása, valamint töltőanyag-mátrix kölcsönhatás) szerepe az egyes terhelési ciklusban bekövetkező és a terhelés alatt halmozódó károsodásban.

Az előterhelés hatása

A ciklikusan előterhelt próbatetek ugyancsak kisebb T_{th} értéket és valamivel meredekebb görbékét mutattak, azaz a repedés gyorsabban terjedt.

A vizsgált anyagok összehasonlítása

A vizsgált anyagok között jelentős különbségek tapasztalhatók. Ez már a vizsgálatok során is a szabályozás beállíthatósága, a repedés-csúcs felismerhetősége illetve kvázi egyenes vonalú repedésterjedés megjelenése közötti különbségekben jelentkezett. A vizsgált anyagok alapos összehasonlítása érdekében bemetszetlen FPWS próbatetekkel meghatároztuk a dinamikus mechanikai anyagjellemzőket (dinamikus merevség, K^* , K' és K'') valamint a fáziskülönbség értékeit, illetve ezek frekvencia-, átlagterhelés- és terhelésamplitúdó-függését is. Megjegyzendő, hogy ezek a mennyiségek a bemetszett próbatest fárasztása során is rendelkezésre állnak (a szoftver automatikusan számolja őket) és így a vizsgálatok értékelésébe bevonhatók.

Míg a vizsgálat során az SBR/NR/BR gumikeverékben a repedés viszonylag kis terheléseknél megindult és növekvő sebességgel terjedt, addig az EPDM-ben a repedés később indult meg és egyenletesen terjedt a tönkremenetelig (7. és 8. ábra). A fáradásos repedésterjedési görbe az első anyagnál jó közelítéssel lineáris (a log-log koordinátarendszerben) és a fémekhez hasonlóan hatványfüggvénnyel jól leírható, a másik anyag görbéje 3-4 különböző repedésterjedési folyamatot sejtet (11. és 12. ábra).

Összefoglalás

Mint sok más vizsgálatosorozat esetén, most is szembetaláltuk magunkat azzal a helyzettel, hogy minden egyes megválaszolt kérdés további megválaszolatlan kérdések sokaságát veti fel.

Kiindulási helyzet

Elasztomerekből készült alkatrészekben az üzemelés során gyakran észleljük repedések megjelenését, kifáradást, illetve az ebből eredő tönkremenetelt. A következő kérdéseket kell a kutatási program során megválaszolni: a hagyományos vagy a törésmechanikai elven felépített vizsgálatok és elemzések, esetleg ezek valamilyen kombinációja alkalmas-e a fáradási folyamatok jellemzésére az ezeket leíró anyagjellemzők meghatározására? Az anyagok megbízható, precíz és az üzemelés körülményeit is figyelembevevő rangsorolása mellett, milyen módszerekkel és milyen paraméterekkel lehetséges elasztomerek fáradásának a modellezése, szimulációja?

Eredmények

Az FWPS próbatest alapvetően alkalmas elasztomerek fáradásos repedésterjedési vizsgálatára. A vizsgálatrendszer kielégítően működik

még nagy elmozdulások (15 mm), viszonylag nagy frekvencia esetén (10 Hz) még pulzáló terhelésnél is, és megbízhatóan elvégezhető hosszú idejű sorozatmérések is. Az anyagok közötti jelentős különbségek összhangban vannak a gyakorlatban észlelt viselkedéssel, az élettartamban megjelenő különbségekkel.

Problémák

Nagy kérdés a fáradásos repedésterjedési görbe függése a próbatest geometriától, azaz a mért mérőszámok mennyiben tekinthetők anyagjellemzőnek? Melyek a vizsgálati rendszer korlátai erővezérlésnél és növelt vagy alacsonyabb hőmérsékleten? A tearing energy koncepció valóban alkalmas-e finomabb különbségek megjelenítésére is és legalább közelítőleg alkalmas-e a gyakorlatban észlelt károsodási folyamatok jellemzésére?

Javaslat további vizsgálatokra

A töretfelületek részletes elemzése segítheti a repedéskeletkezés és -terjedés mikromechanikai folyamatainak pontos meghatározását. Lehetővé teszi annak meghatározását, hogy a különböző alpmátrixok, ezek keverékei (blendjei) töltőanyagokkal erősített változatai melyik típusú mikromechanikai károsodási folyamat megjelenését és lefolyását támogatják (pl. mikrorepedések vagy üregképződés és összenövés). További elemzést igényel a repedés-csúcs alakváltozási állapotának (nyúláseloszlás) és hőmérsékletének (hiszterézis felmelegedés) változása a fárasztóvizsgálatok során. Ehhez egyrészt a meglévő mérés-technikai további fejlesztése (videoextenzométer, termokamera) másrészt a repedésletompulás és az aktív kohéziós zóna egymásra hatásának mechanikai elemzése szükséges.

Abstract

Fatigue test methods development for elastomers. Included in the investigations were 5 various elastomer types used in engineering applications typically. All fatigue tests reported here were run on a high rate servohydraulic test system (MTS 831.59). To validate the proper fracture mechanics characteristic concepts various specimen configuration and geometry (including pure tensile, pure shear loading) were included in the investigations. The methods to be developed and implemented is based on the concept of the tearing energy, T [Young, 2001].

Pure shear specimen configuration revealed more stable, plane crack growth, than tensile specimens. In the former case, the crack length and thus the kinetics of crack growth could be measured more reliably. The waveform shape (sine and pulse loading) has been found to strongly influence the fatigue behaviour. A material dependent decrease of the critical tearing energy with increasing crack growth rate was observed with pulse shape loading. The latter effect is associated with the higher loading rate in the pulse than in the sinusoidal waveform. On the contrary, comparing preconditioned specimens and specimens without cyclic preconditioning, only small to negligible effects were observed. Furthermore, significant differences were obtained both in fatigue crack initiation and crack propagation behaviour between the materials investigated.

Irodalom

- Rivlin, R. S. és Thomas, A.G.: (1953) Rupture of Rubber. I. Characteristic Energy for Tearing. J. of Polym. Sci. 10: 291-318.
- Rivlin, R. S. és Thomas, A.G.: (1955) Journal of Polymer Science, Vol. X. No. 3, 291-318.
- Gent, A. N., Lindley, P. B. és Thomas, A.G.: (1964) J. of Applied Pol. Sci. Vol. 8, 455-466.
- Gent, A.N. (ed.): (1992) Engineering with Rubber, Chapters 6 and 7, Hanser Verlag, Munich
- Eisele, U., Kelbch, S. és Engels, H.-W.: (1992) Kautschuk + Gummi, Kunststoffe 45, Nr.12.
- Hocine, A.A., Abdelaziz, M.N. és Mesmacque, G.: (1998) Int. J of Fracture 94: 321-338.
- Yeoh, O.H.: (2001) Plast. Rub. And Comp. Vol. 30, No. 8, 389-397.
- Young, D.G.: (2001) Fatigue Crack Growth V1, July, Axel Products Inc.

- Mars, W.V. és Fatemi, A.: (2002) Int. J. of Fatigue 24 949-961
 – Mars, W.V. és Fatemi, A.: (2003) Rubber Chem. and Techn. (in press)
 – Legorju-jago, K. és Bathias, C.: (2002) Int. J. of Fatigue, 24, 85-92

Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott vizsgálatokat a Polymer Competence Center Leoben GmbH (PCCL)-nál végeztük, amely az osztrák Közlekedési, Innovációs és Technológiai Minisztérium Kplus programja keretében alakult meg 2002-ben. Külön köszönet ezért mind az osztrák szövetségi kormánynak, mind a stájerországi és felső-ausztriai tartományi kormányzatoknak.

Acknowledgments

Parts of this project were performed at the Polymer Competence Center Leoben GmbH within the Kplus-programme of the Austrian Ministry of Traffic, Innovation and Technology. The funding within this programme by the Governments of Austria, Styria and Upper Austria is gratefully acknowledged.

A szerző megjegyzése

A PCCL vezetésével a projektben résztvevő osztrák cégek és kutatóintézetek ez évben elnyerték az osztrák Gazdasági és Munkaügyi Minisztérium egyik STRAPAMO (stratégiai projekt az unióhoz csatlakozó kelet- és közép-európai államokkal) projektjét, ami Matelcomp néven fut és a következő résztvevőkkel indul várhatóan még ebben az évben: Polymer Competence Center Leoben GmbH. (mint fő pályázó) Institut für Werkstoffkunde und -prüfung der Kunststoffe, Institut für Allgemeinen Maschinenbau, mindkettő Leobeni Egyetem, Leoben, A,

Semperit GmbH, Wimpasing, A (gumiipar),
 Economos GmbH, Judenburg, A (műanyag- és gumifeldolgozás, tömítéstechnika),
 Erwin Mach GmbH, Hirm; A (gumifeldolgozás),
 ISOVOLTA AG, Werdorf, A (kompozit- és alapanyaggyártás),
 FACC AG, Ried im Innkreis, A (kompozitgyártás és szerkezeti elemek előállítása a repülőgépgyártáshoz),
 Bay Zoltán Logisztikai Intézet, Miskolc, H (magyar társipályázó),
 Mechanikai Tanszék, Miskolci Egyetem, Miskolc, H
 Polimertechnika és Textiltechnológia Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, H
 Phoenix Rubber Co. (EMERGE Taurus), Budapest, H (gumiipar),
 Fux Rt., Miskolc, H (huzalgártás),
 Budaplast Rt, Budapest, H (műanyag-feldolgozás, kompozit anyagok gyártása),
 SEM Center; Ljubljana, Slo (szlovén társipályázó),
 Institut for Mechanics of Polymers and Composites, University of Ljubljana, Ljubljana, Slo.
 Goodyear Engineered Products Europe d.d., Kranj, Slo, (gumiipar),
 Plama Pur d.d., Podgrad, Slo (műanyag-feldolgozás, tömítéstechnika),
 Alpina d.d., Ziri, Slo (sportszergyártás, kompozit anyagok előállítása),
 Gorenje d.d., Velenje, Slo (háztartási gép-gyártás, műanyag-feldolgozás).

A projekt célja a társországok cégei és kutatóhelyei közötti együttműködés kialakítása, kétoldali projekt létrehozása egy adott termék, technológia vagy mérési, vizsgálati eljárás kidolgozására, valamint közös európai projekt(ek) előkészítése.

Interlaminar mode I and mode II fracture toughness and intralaminar damage of textile composites

Dan Mihai Constantinescu** – Mircea Găvan** – Nicolae Constantin* – Hans Christian Goetting#

Összefoglalás

Textil kompozitok rétegek közötti törési szívósságának kísérleti meghatározása I. és II. terhelési módban

Az egy irányban rétegzett kompozitok rétegek közötti törési szívósságát a G_c kritikus energiafelszabadulás-sebességgel fejezik ki [(1) egyenlet].

A törésmechanikai vizsgálatokat – az ASTM és ESIS ajánlásainak megfelelően – az I. terhelési módban az ún. DCB kettős konzolos próbatestekkel, míg a II. terhelési módban az ún. ENF végein bemetszett három ponton hajlított próbatestekkel végezték (2. és 3. ábra). A próbatesteket rendezetlen és szőtt üvegszálakkal erősített poliészter illetve epoxigyanta kompozitból, valamint poliészter bőrből és rendezetlen üvegszál-szövetből rétegelt, poliuretánhab magú szendvics anyagból készítették, míg a mesterséges kezdő repedést (bemetszést) 10 μ m vastag műanyag fólia beágyazásával létesítették. A vizsgálatokat univerzális gépen, kezdetben, 10 mm repedésnövekmény eléréséig, 0,5 mm/min, majd 1 mm/min terhelési sebességgel végezték. Az erő-elmozdulás diagramot in situ adatgyűjtő rendszerrel rögzítették. A réteges elválás kezdetét a diagramon az iránytangens megváltozása jelzi. A G_c értékét az összetartozó erő és elmozdulás adatokból határozták meg.

Az I. terhelési módban végzett vizsgálatok a különböző anyagmintákra várt eltérő viselkedést igazolták. Jellemző erő-elmozdulás diagramokat a 4. és az 5. ábra szemléltet. A stabil repedésterjedést és az R-görbét még részletesen elemezni kell. A II. terhelési módban végzett vizsgálatoknál némelykor mutatkozott a repedés keletkezése és némi terjedése, más esetekben viszont csak nagy lehajlást követően, de a repedés terjedése nélkül (6. és 7. ábra). Vagyis, az ENF próbatestben gyakran nehéz a repedést megindítani. Úgy tűnik, hogy a négyponos hajlítási vizsgálat ígéretesebb.

A szendvics próbatestekben tapasztalt rétegen belüli károsodás (9. és 10. ábra) összetett jelenség, amely több kísérleti megfigyelést, gondos elemzést és numerikus modellezést igényel. A DCB próbatest érdekes szívóssági viselkedése (8. ábra) a helyi nemlineáris törési és károsodási mechanizmusnak tulajdonítható.

Introduction

The fracture behaviour of high performance composite laminates is a complex issue, involving both intralaminar damage mechanisms (e.g. matrix cracking, fibre cracking) and interlaminar damage (delamination). Some progress has been made lately in the development of analytical tools for the prediction of intralaminar damage growth, but similar tools for delamination characterisation are still not available. Without a better understanding of progressive failure, the fracture criteria and predictive capabilities will be limited. Delamination is one of the predominant forms of failure in laminated composites due to the lack of reinforcement in the thickness direction. The analysis of delamination is commonly divided into the study of initiation and the monitoring of the propagation of an already initiated defect. Delamination initiation is usually based on analysis of stresses in conjunction with a characteristic distance. This distance

*Professor, ** Senior Lecturer – Department of Strength of Materials, University Politehnica of Bucharest, Splaiul Independenței 313, 060032 Bucharest, Romania

Dipl. Phys. – DLR Institute of Structural Mechanics, Lilienthalplatz 7, D-38108 Braunschweig, Germany

+ Corresponding author: Dan Mihai Constantinescu,
 e-mail: dancon1@form.resist.pub.ro

is a function of specimen geometries and material properties, and its determination always requires extensive testing. Crack propagation is usually predicted using the Fracture Mechanics approach, which eliminates the difficulties associated with the stress singularity at the crack front, but requires the presence of a pre-existing delamination whose exact location may be difficult to determine in real applications. It is also essential to develop computational methods for the simulation of the delamination growth and the intralaminar damage mechanisms. In order to do this it is important to carefully observe and understand the fracture processes to be simulated.

Interlaminar fracture toughness of unidirectional laminated composites is usually expressed in terms of the critical energy release rate, G_c [1]. For Mode I the commonest test uses the double cantilever beam (DCB) specimen, according to ASTM D 5528 – 94a standard [2] for unidirectional fibre reinforced polymer matrix composites. It looks like major problems associated with this kind of test are the occurrence of fibre bridging across the crack as the crack moves above and below bundles of fibres and the fact that the R -curves associated with this phenomena are not intrinsic material properties, but they frequently depend on specimen stiffness. However, O'Brien [3] noted that fibre bridging, and consequently the R -curve effect are artefacts of the DCB specimen and do not occur in structural composite laminates. There are many other aspects to be discussed about the tests of unidirectional and multidirectional laminates, but it is not the case to do it here. For Mode II there are four test specimens considered for the measurement of interlaminar fracture toughness which have received most attention: three-point loaded end-notched flexure (ENF) test, the stabilized end notched flexure specimen (SENF – used in the Japanese standard), the end-loaded split (ELS), and, more recently, the four-point end-notched flexure (4ENF) test. Although the ENF test specimen has received the most attention, it has problems associated with the unstable crack propagation for short crack lengths. The Japanese JIS K7086, [4], standard can be used to establish both Mode I and Mode II interlaminar fracture toughness of carbon fibre reinforced plastics. Alternatively, one can use the European Structural Integrity Society (ESIS) protocol for interlaminar fracture testing of composites as for: Mode I on DCB [5], and Mode II, on ELS, [6]. The main problems [7, 8] associated with Mode II testing are the definition of the type of starter defect, the definition of crack initiation, the stability of the test, frictional effects on the crack faces and the data analysis. Mode II fracture toughness is typically much higher [9] and has more scatter than the Mode I fracture toughness: for epoxy matrix composites the G_{IIc}/G_{Ic} ratios typically exceed a value of 2. There are some differences in the recommended conditions of testing in between various documents, and there is a need to try to unify all these procedures, as it was already done in Mode I by the International Organisation of Standardisation, [10]. A clear picture of the current state of the art in the Delamination Fracture Mechanics of unidirectional composites is presented in [11].

However, one should mention that the used standards and protocols have been established and evaluated in 'round-robin' trials by standards organizations only for unidirectional fibre reinforced layered composites. Preliminary tests for multidirectional laminates have resulted in significantly higher values of G_{Ic} compared with unidirectional laminates.

The purpose of this research is to establish the fracture toughness of glass epoxy and polyester textile composites with roving and satin fibre fabrics, very much used in engineering applications. The main goal is to test multilayered laminates and sandwich specimens with a rigid core foam, to observe the interlaminar and intralaminar failures, and to try to understand most of the local processes. More developments are expected after being able to perform correctly the numerical simulation of delamination growth.

Theoretical approach

The DCB specimen is shown in Fig. 1, where $2h$ is the thickness of the specimen, a is the initial delamination length, d is the length of the propagated crack, and u is the crack opening under the applied wedge forces P towards the edge of the specimen by which both sides of the

specimen are loaded. The energy release rate in a DCB is defined in a usual way:

$$G = -\frac{\partial \Pi}{b \partial a}, \quad (1)$$

where b is the width of the specimen, Π is the potential energy accumulated in the system. The potential energy of a linear elastic system is equal to

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_V \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} dV - \int_0^u P(u) du, \quad (2)$$

where σ_{ij} and ε_{ij} are the stress and strain, V is the volume, and $P(u)$ is the force applied, which is a function of displacement. The first term is an energy stored in the linearly elastic body and the second one is the work produced by the applied external force. The displacement u is the full opening of the DCB specimen where the force P is applied. The first term is also expressed through the force acting on the system,

$$\Pi = \frac{1}{2} Pu - \int_0^u P(u) du. \quad (3)$$

From Eqs. (1) and (3) it follows that

$$G = -\frac{1}{2b} \frac{\partial P}{\partial a} u - \frac{1}{2b} P \frac{\partial u}{\partial a} + \frac{1}{b} P \frac{\partial u}{\partial a} = \frac{1}{2b} \left(P \frac{\partial u}{\partial a} - u \frac{\partial P}{\partial a} \right) \text{ or} \\ G = \frac{P^2}{2b} \frac{\partial c}{\partial a}, \quad (4)$$

where $c = u/P$ is the compliance of the system. The formula (4) is general, well-known, and widely used. No assumption about the crack type structure was made, and should be valid for any bridging law and specimen shape. But the G values obtained can be functions of the specimen shape, and not only of the characteristics of the material. G depends on the compliance $c = u/P$ which is measured experimentally or calculated theoretically.

Neglecting the possible bridging effect in unidirectional composites, the deflection of an ideal cantilever beam (as having a fixed end at the crack front), with length a and bending stiffness EI , under load P is equal to $Pa^3/3EI$. The full opening of the DCB equals the doubled deflection [9],

$$d = \frac{2Pa^3}{3EI} \quad (5)$$

and the compliance is

$$c = \frac{2a^3}{3EI} \quad (6)$$

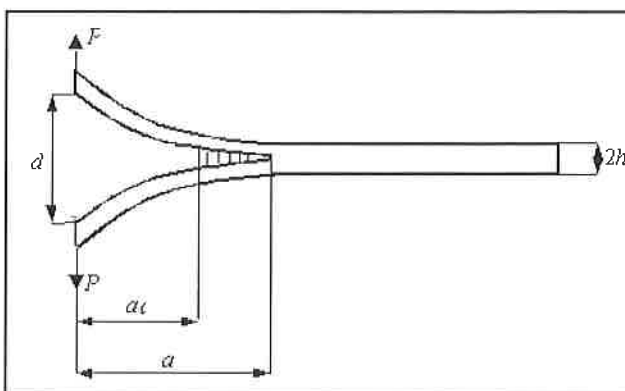


Fig. 1 The specimen geometry of the DCB.

1. ábra. A kettős konzolos, DCB próbatétel alakja és méretei

Using Eqs. (4) and (6), the mostly known formula for the DCB is obtained

$$G(P, a) = \frac{P^2 a^2}{EIb}. \quad (7)$$

Combining Eqs. (7) and (5), we get three another modified formulae for G :

$$G(P, a, d) = \frac{3Pd}{2ba}, \quad (8)$$

$$G(P, d) = \frac{P^2}{EIb} \left(\frac{3EI d}{2P} \right)^{2/3}, \quad (9)$$

$$G(a, d) = \frac{9EI d^2}{4ba^4}. \quad (10)$$

Applying Eqs. (7) – (10) to an ideal isotropic cantilever beam, equal results will be obtained. But, strictly speaking, they are all invalid for DCB specimens since boundary conditions at the end of the cracked part of specimen are not the same as for the clamped end of the cantilever beam. As a result, the deflection of a real specimen for a given load and crack extension will always be greater when established experimentally, than it is predicted by beam theory (Eq. (5)). The deflection is even higher for unidirectional composites since in this equation we neglect the interlaminar shear. The error is big for a short crack and diminishes when the crack propagates. From previous experience it looks like formula (9) performs better even for short cracks [7]. This is probably because formula (9) is written in term of compliance, as it was before derivation in (4).

If large displacements occur, the deflection d will be less than that predicted by small displacement theory owing to the shortening of the lever arm. An approximate correction factor is suggested in [2]. The same correction factor can be used to yield the corrected compliance. However, both ASTM standard and ESIS protocol recommend that the correction factor should be considered to be 1 if the load P is applied through hinges; another possible fixture to the end of the DCB is the end block; this is rigid and stiffens the specimen, and can rotate thus shortening the lever arm – in this case the correction factor should be used.

Experimental procedure

Experiments were done on glass epoxy and polyester woven fabrics, DCB specimens for Mode I (Fig. 2), and ENF specimens for Mode II (Fig. 3). The polyester skin/core/skin sandwich specimens were tested both in Mode I and Mode II. The large variety of tested samples consists of:

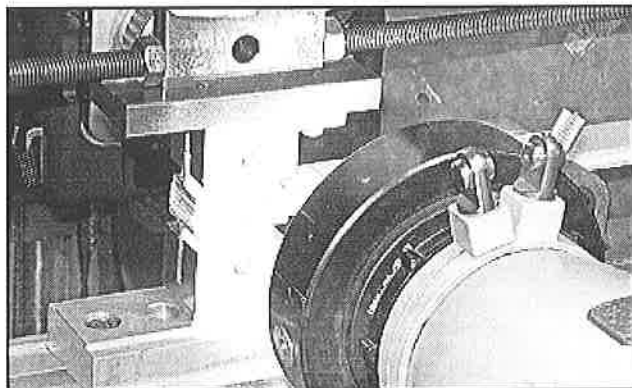


Fig. 2 Mode I testing on DCB specimen
2. ábra. A DCB próbatest vizsgálata I. terhelési módban

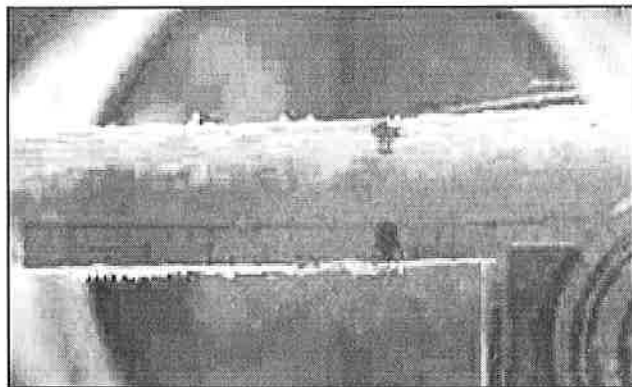


Fig. 3 Mode II testing on ENF specimen
3. ábra. Az ENF próbatest vizsgálata II. terhelési módban

– laminates made from polyester and epoxy resins, reinforced with roving and satin glass fibre fabrics;

– sandwich specimens with roving glass fibre fabric and polyester laminated skins, and rigid polyurethane (Coremat) foam core.

All specimens (manufactured in Romania) have an artificially introduced delamination (insert) by a plastic film of thickness about 10 mm, an initial length of 200 mm and a width of 20 mm. Thickness varies on the type of specimen used for testing, between 3.5 and 9 mm. Tests were done in displacement control, the delamination length and growth were monitored on an optical microscope and the whole test was recorded by a video-camera, in order to make possible a better surveillance of the damage and crack initiation, propagation and failure processes.

The tests to establish the interlaminar fracture toughness and intralaminar damage and fracture processes were done on different specimens and abbreviated as follows:

– Mode I testing: 12FER5 and 12RT350 (polyester layered roving fabrics), E020 (satin texture and epoxy matrix), 6FER5/Coremat/6FER5 and 6RT350/Coremat/6RT350 (sandwich type – in sequence skin/core/skin);

– Mode II testing: FER3 (roving texture and epoxy matrix), E020 (satin texture and epoxy matrix), and sandwich 6RT350/Coremat/ 6RT350.

By 12 or 6 are denoted the total number of layers of the multilayered specimens or the number of layers in the skin of the sandwich specimen. The initial delamination is inserted in the middle of the layered composites, or as two initial delaminations for the sandwich specimens in between both skins and the core.

The side of each specimen is coated with white tape and pencil marks are done every 2 mm from the tip of the initial delamination in order to measure better and follow damage and crack propagation. For the sandwich specimens engineering paper is glued on the lower skin as not to cover the core and obstruct the observation of the fracture processes in that area.

Additionally, tensile tests up to the ultimate failure were conducted on roving glass fibre fabric/polyester laminates 6FER5 and 6RT350.

Force-crosshead displacement diagrams are plotted in-situ by the acquisition system. Values of force, displacement, and time from the beginning of the test are measured at every 0,2 seconds (in Figs. 4 and 5), and a force-time or displacement-time plot is also possible. Initial crack length (delamination) is $a_0 = 50$ mm. At the beginning of the test the specimen is loaded at a constant crosshead speed of 0,5 mm/min [2] for $\Delta a = 10$ mm crack propagation, then 1 mm/min up to $\Delta a = 40$ mm. The crack propagation path is observed during the test and recorded on short VCR films for 2 seconds at an interval of 30 seconds. Unloading is done at 4 mm/min [3]. Subsequently, many other tests were done with a constant crosshead speed of 1 mm/min up to $\Delta a = 25$ mm followed by a rapid unloading.

In order to identify the delamination "initiation" one may consider: initiation by visual observation (delamination is seen to grow from the insert on either edge of the specimen), initiation determined by deviation from linearity (the point of non-linearity of the load-displacement curve), or initiation from 5% offset/maximum load (intersection of the load deflection curve with a line drawn from the origin and offset by a 5% increase in compliance from the original linear portion of the load-displacement curve; if the maximum load occurs before the point of intersection, then the maximum load and the corresponding displacement should be used to calculate G_c). Visual inspection of crack propagation onset can be correctly noticed with an optical microscope, but is highly operator dependent. Deviation from linearity looks to be a clear enough indication in our force-displacement curves but gives conservative values of the toughness, as in all our tests is reached at the lowest value of the force. Especially for sandwich specimens we believe that this point is not at all conclusive, as the later shape of the force-displacement diagram show some other interesting features. We have finally chosen the visual onset of delamination (VIS) as representative for the calculation of fracture toughness.

Results on mode I and mode II interlaminar fracture toughness

Mode I and mode II interlaminar fracture behaviour is quite different with respect to the material. Only as some examples, one test of each kind are presented hereby. Figures show the behaviour at crack initiation and stable propagation. Figs. 4 and 5 are for interlaminar Mode I testing.

As there are so many values measured during the test (every 0,2 seconds) a moving average trend line is chosen to smooth the fluctuations in data, thus showing the trend of the variation more clearly. Crack initiation appears where the first change of the slope in the diagrams is visible. All jumps in the diagram are indicating sudden crack propagation. As specimens for both materials are the same, in comparing the previous figures it is evident that 12RT350 behaves in a more brittle manner, and when delamination initiation is produced this also means sudden crack propagation with $\Delta a = 12$ mm at a crosshead displacement $d = 5,56$ mm (Fig. 5), but at a force about being the same as for 12FER5 when deviation from linearity appears (Fig. 4). Such a stick-slip behaviour may in fact not be valid to establish the fracture toughness as the force-displacement curve needs to be continuous [2, 5].

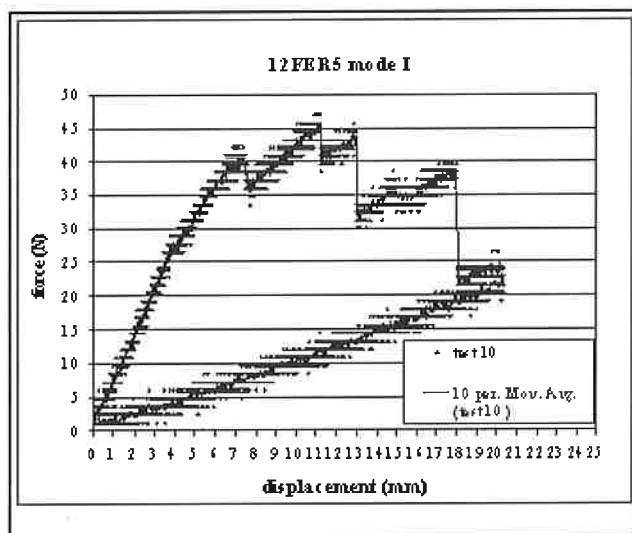


Fig. 4 Force-displacement diagram for Mode I testing on 12FER5 specimen

4. ábra. Az I. terhelési módban vizsgált 12FER5 próbatest erő-elmozdulás diagramja

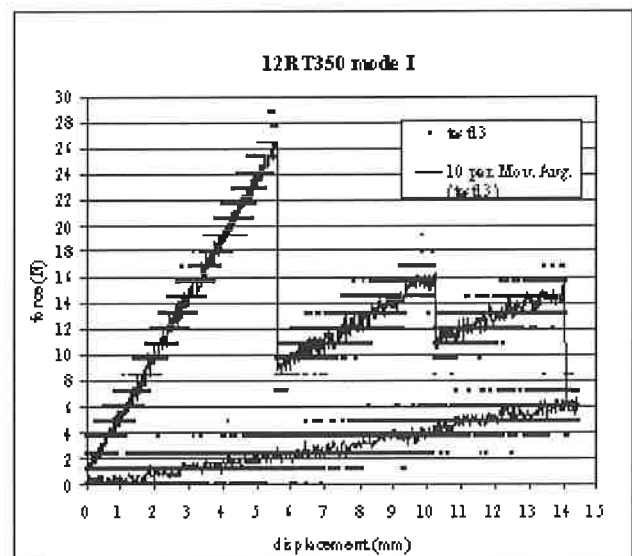


Fig. 5 Force-displacement diagram for Mode I testing on 12RT350 specimen.

5. ábra. Az I. terhelési módban vizsgált 12RT350 próbatest erő-elmozdulás diagramja

Mode II tests are sometimes capable of showing crack initiation, but in other cases only large deflection of the specimen in three-point bending (3PB) is to be obtained without any crack extension. As an example, in Fig. 6, delamination initiation starts at a crosshead displacement of about $d = 7$ mm, and this corresponds to a force of about 110 N, which will give a bigger value of the interlaminar fracture toughness than in Mode I – in fact this point is not far away from a deviation from linearity in the force-displacement curve. Also large deflections of the 3PB specimen are noticed; this means that a correction factor is also needed. Anyhow, for the ENF specimen care should be taken in setting the distance from the edges of the specimen till the supports in order to avoid the possibility of the specimen to slip at larger deflections. In Fig. 6 this is to be seen and results in a sudden drop of the force at a crosshead displacement of about 24 mm.

As for a Satin/Epoxy specimen (here denoted E3 in Fig. 7) one may notice that the visual onset of delamination (VIS) is reached at a force greater than for the deviation from linearity. In fact the VIS point is very close to the one at which the maximum force is reached; from this point on the crack faces are in full contact, large deflection of the specimen appears, and we may even reach the failure of the specimen without any crack extension. In other tests there is no visible onset of delamination due to a complete closure of the artificial insert.

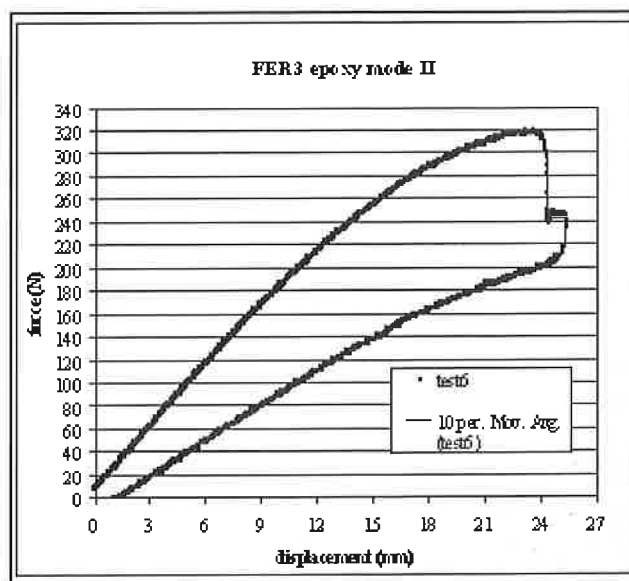


Fig. 6 Force-displacement diagram for Mode II testing on FER3/Epoxy material

6. ábra. A II. terhelési módban vizsgált FER3/Epoxy anyag erő-elmozdulás diagramja

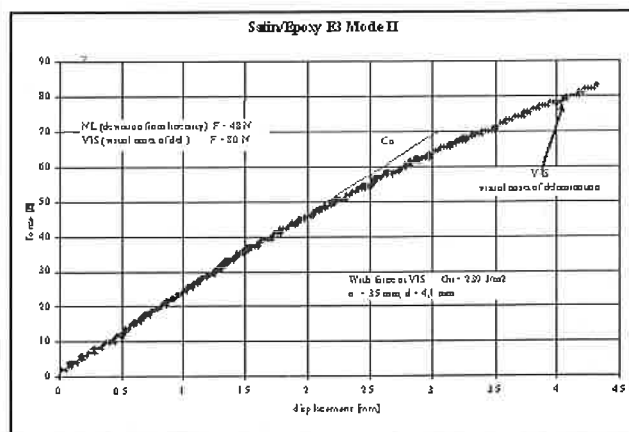


Fig. 7 Force-displacement diagram for Mode II testing on a Satin/Epoxy material

7. ábra. A II. terhelési módban vizsgált Satin/Epoxy anyag erő-elmozdulás diagramja

Results on mode I and mode II intralaminar damage

When a sandwich type specimen is tested the artificial plastic insert is on both sides, in between the skins and the core (Coremat material). From the beginning, in Mode I – Fig. 8, the delamination on one side starts to open, and the crack will leave the interface and propagate slowly in the rigid foam of the core, as an intralaminar damage in front of the main interface crack. In the initial stages, a careful observation under the microscope will show that after a deviation from linearity, the appearance of microcracks and voids will coincide with the start of a "toughening"

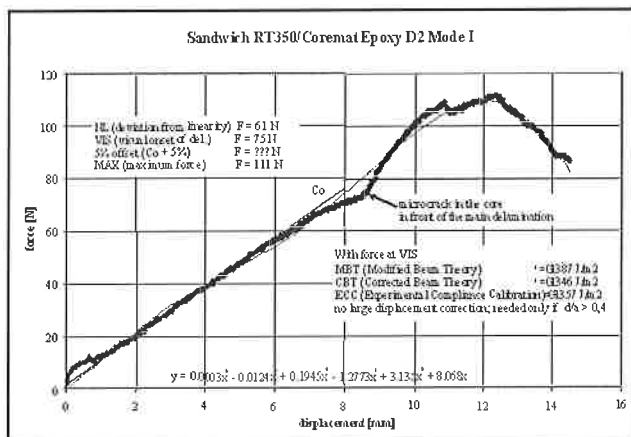


Fig. 8 Mode I force-displacement diagram for a sandwich RT350/Coremat/RT350 specimen

8. ábra. Az I. terhelési módban vizsgált RT350/Coremat/RT350 szendvics próbatest erő-elmozdulás diagramja

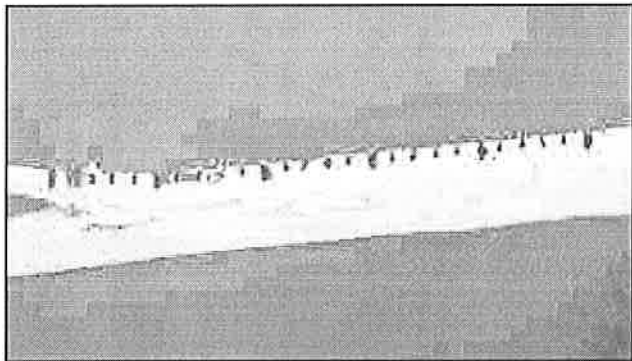


Fig. 9 Intralaminar matrix damage in a 6RT350/Coremat/6RT350 specimen

9. ábra. Rétegen belüli (intralamináris) matrix károsodás a 6RT350/Coremat/6RT350 próbatestben

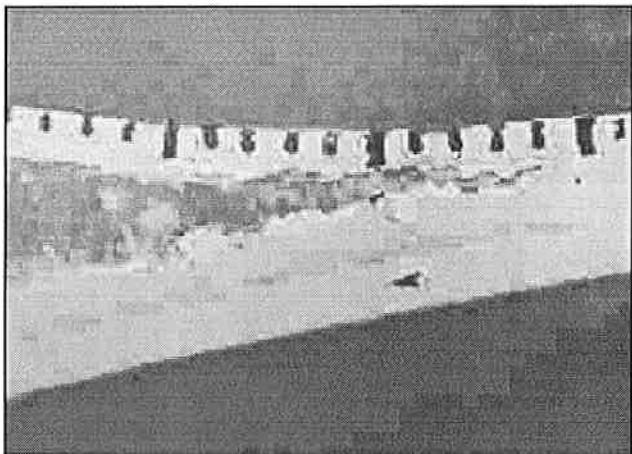


Fig. 10 Extensive damage and zigzag crack propagation
10. ábra. Kiterjedt károsodás és cikcakkban terjedő repedés

behaviour of the specimen. All the processes of intralaminar damage are becoming highly non-linear and, probably, this increase of slope in the force-displacement diagram is due to the local mechanisms of failure. With the force at VIS one can calculate the corresponding toughness of the core with the modified beam theory (MBT), or corrected beam theory (CBT), or experimental compliance calibration (ECC), [2].

The damage extension and crack path are very interesting to be monitored, as they are characterized by crazing with initiation of the new microcracks in front of the main crack (Fig. 9), followed by their coalescence in a zigzag pattern (Fig. 10).

For Mode II tests it is again, in most cases, difficult to propagate the crack. Some voids appear in the core, in front of the artificial insert, and the force at which the visual onset of delamination is achieved is greater than the one at which the deviation from linearity is noticed in the force-displacement curve.

Conclusions

Interlaminar Mode I and Mode II fracture toughness experiments showed for Mode I tests pertinent results, thus giving clear evidence on the different behaviour of the tested materials; the stable crack propagation and the *R*-curves have to be further analysed in detail. For Mode II, it is in many situations difficult to drive the crack for an ENF specimen. It looks like a four-point bending test is more promising.

Intralaminar damage occurring in sandwich specimens is a complex phenomena which needs more experimental observation, and careful analytical and numerical modelling. A very interesting "toughening" behaviour of the DCB specimen is attributed to the local non-linear fracture and failure mechanisms.

Acknowledgements

The first three authors are gratefully acknowledging the financial support under EU Contract No. HPRI-CT-1999-00024, ARCS-W-0144, which made possible the access to the AMTT facilities in Seibersdorf, Austria, as user II-78, and of EU Contract No. HPRI-CT-2002-00184 which made possible the access to the EXACOM infrastructure at DLR Institute of Structural Mechanics, Braunschweig, Germany.

References

- [1] *Mechanical testing of advanced fibre composites*, Hodgkinson J.M., Ed., CRC Press, 2000.
- [2] ASTM D 5528 – 94a, *Standard test method for mode I interlaminar fracture toughness of unidirectional fibre-reinforced polymer matrix composites*, Annual Book of ASTM Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA, Vol. 15.03, 2001.
- [3] O'BRIEN, T.K., *Interlaminar fracture toughness: the long and winding road to standardisation*, Composites-Part B, 29, pp. 57-62, 1998.
- [4] Japanese Industrial Standard JIS K 7086 – 1993, *Testing methods for interlaminar fracture toughness of carbon fibre reinforced plastics*, Japanese Standards Association, 1993.
- [5] European Structural Integrity Society (ESIS), *Determination of the Mode I Delamination Resistance of Unidirectional Fiber-Reinforced Polymer Laminates Using the Double Cantilever Beam Specimen (DCB)*, version 99-06-03, Polymers and Composites Task Group, ESIS TC4, 1999.
- [6] European Structural Integrity Society (ESIS), *Determination of the Mode II Delamination Resistance of Unidirectional Fiber-Reinforced Polymer Laminates Using the End Loaded Split Specimen (ELS)*, version 99-12-03, Polymers and Composites Task Group, ESIS TC4, 1999.
- [7] DAVIES, P., BLACKMAN, B.R.K., BRUNNER, A.J., *Towards standard fracture and fatigue test methods for composite materials*, Proceedings of the 6th Jornadas De Fractura, Sociedade Portuguesa de Materiais, Portugal, pp. 151-167, 1998.
- [8] O'BRIEN, T.K., *Composite interlaminar shear fracture toughness, G_{Ic} : shear measurement of shear myth?*, ASTM-STP 1330, American Society for testing and Materials, pp. 3-18, 1998.
- [9] TAMUZS, V., TARASOV, S., VILKS, U., *Progressive delamination and fiber bridging modelling in double cantilever beam composite specimens*, Engineering Fracture Mechanics, 68, pp. 513-525, 2001.
- [10] *Fiber-Reinforced Plastics Composites: Determination of Mode I Interlaminar Fracture Toughness, G_{Ic} , For Unidirectionally Reinforced Materials*, ISO/DIS 15024, International Organisation of Standardisation, 1999. *Fracture Mechanics Testing Methods for Polymers, Adhesives and Composites*, Eds. D.R. Moore, A. Pavan, and J.G. Williams, ESIS Publication 28, Elsevier, 2

Autóbusz segédvázkeret (légrugó tartó) statikus terhelése, fárasztó vizsgálata rétegbevonatos optikai feszültségvizsgálat alkalmazásával

Borbás Lajos * – Thamm Frigyes ** – Gyökös Ferenc***

Abstract

Photoelastic coating investigation in the fatigue test carried out on auto-bus frame structure. The main goal of the investigation is to improve the construction of an auto-bus suspension assistant frame structure by stress and strain analysis, using photoelastic coating technique. The stress analysis was carried out during the fatigue test of the frame structure, under static and dynamic loading conditions.

The main function of the assistant frame structure is to bear the rear undercarriage and dead weight of a bus and to bear the vertical loads coming from the road (vertical forces), and to introduce the push and brake forces (horizontal external loads) into the frame structure of the bus. A collective application of the horizontal and vertical forces was possible in the clamping device of the structure, under laboratory conditions.

The continuous, monitoring-like application of the applied photoelastic coating technique ensures a possibility to predict the possible location, the initiation and propagation of the crack. The measurement results could be used directly in course of FEM analysis, which was modifying the structure.

Bevezetés

„Szerkezeti elemek meghibásodási kockázatának csökkentése nagymértékben függ a tervezés fázisában hozott döntésektől.

A tönkremenetel lehetőségének minimalizálásában jelentős szerepet játszik, hogy az alkalmazott tervezési metodika lehetőséget biztosít-e a lehetséges meghibásodási okok korai feltárására (a tervezés fázisában, valamint a prototípus vizsgálata során).

A szerkezet megvalósításának későbbi szakaszaiban az ilyen hibanalízis eredményeinek figyelembevétele csak lényegesen magasabb költségekkel valószínűsíthető meg.”

(Prof. Alessandro Freddi / Diem Bologna University, Olaszország;

IX. Duna-Adria Szimpózium, Trieste, Olaszország, 1992)

Vizsgálatunk során a fejlesztés, konstrukciós finomítás fázisában lévő segédvázkeret szilártsági ellenőrzését (nyúlás- és feszültségvizsgálatát) végeztük el statikus és dinamikus terhelési körülmények között. Vizsgálatunk célkitűzései között szerepelt olyan, monitoring rendszerű vizsgálati technika bemutatása és alkalmazása, amelynek segítségével egy szerkezet élettartam-vizsgálata során annak meghibásodása (repedés keletkezése és terjedése) nyomon követhető. A vizsgálat eredményeit a konstrukció továbbfejlesztése során felhasználják.

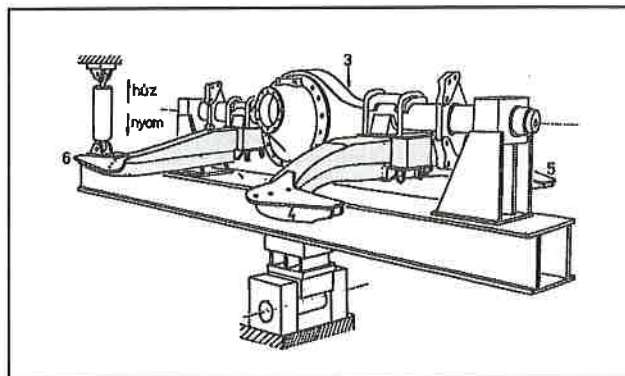
A szerkezet terhelésének körülményei

Vizsgálatunk tárgyát képező autóbusz segédvázkeretet (légrugó tartó) az EMI-TÜV szentendrei laboratóriumában, az erre a célra készített terhelő berendezésben vizsgáltuk. A segédvázkeret egy alsó forgáspont körül szögelfordulást végző tartó gerendára rögzítettük, amely lehetőséget biztosított két, egymásra merőleges munkahenger segítségével a vízszintes és függőleges irányú erők szimulációjára. A vizsgált szerkezet felfogását bemutató perspektívus rajz az 1. ábrán látható.

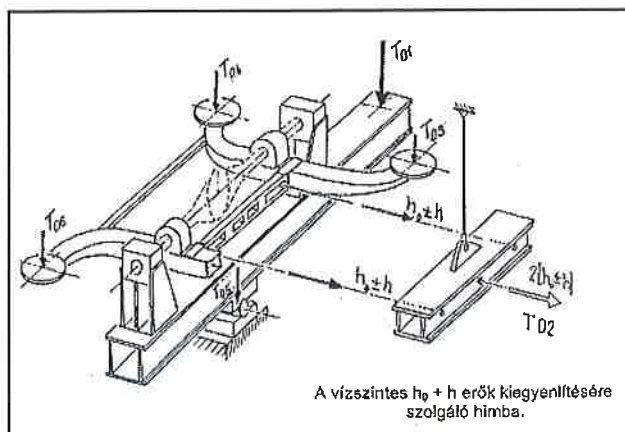
* Ph.D., Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Járműelemek és Hajtások Tanszék

** Ph.D., Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanika Tanszék

***EMI-TÜV Szentendre



1. ábra. A vizsgált segédvázkeret felfogását bemutató perspektívus vázlat



2. ábra. A vizsgált segédvázkereten alkalmazott terhelések modellje

Az alkalmazott terhelések modelljét a 2. ábra szemlélteti.

A szerkezet vizsgálatánál alkalmazott terhelési értékek meghatározásakor feltételeztük, hogy a szerkezet várható élettartama 10^7 igénybevételei ciklus, azaz a fárasztó igénybevétel hatására ekkor hibásodik meg a szerkezet.

A statikus terhelések csoportjainak jelölései, valamint a hozzájuk tartozó terhelések adatait az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat
Statikus terhelések adatai és azonosítói

Terhelési azonosító	F_{st} (T_{03} , T_{04} , T_{05} , T_{06}) (kN)	h_0 (T_{02}) (kN)	h (T_{02}) (kN)	V (T_{01}) (kN)
2	-30	0	0	-30
5	-30	0	0	0
10	-30	+10	+48	-30
11	-30	+10	0	-30
12	-30	+10	-48	-30
13	-30	+10	+48	0
14	-30	+10	0	0
15	-30	+10	-48	0
16	-30	+10	+48	+30
17	-30	+10	0	+30
18	-30	+10	-48	+30

A táblázatban a húzást negatív (-), a nyomást pozitív (+) előjellel szerepeltettük.

A ciklikus terhelési vizsgálatnál alkalmazott terhelési körülményeket a II. táblázatban foglaltuk össze.

II. táblázat

Fárasztóvizsgálat során alkalmazott terhelések adatai és azonosítói

Alkalmazott terhelés helye	Terhelés mértéke
Rugótányérokon alkalmazott konstans terhelés (F_{st})	- 30 (kN)
Függőleges terhelési komponens (V)	± 30 (kN)
Vízszintes terhelési komponens (h)	$\pm 10 \pm 38$ (kN)

A ciklikus terhelés frekvenciája 2,5 Hz, szinuszos jellemzőkkel.

Nyúlás- és feszültségmérés fotoelasztikus rétegbevonatok alkalmazásával

Vizsgálataink során az optikai feszültségvizsgálat tényleges szerkezetekre kifejlesztett eljárását, a rétegbevonatos optikai feszültségvizsgálatot alkalmaztuk, a meghibásodás várható környezete teljes felületének optikailag aktív réteggel történt befedésével. Az alkalmazott vizsgálati technikával úgy statikus, mint dinamikus terhelési körülmények között lehetőségünk volt a terhelések hatására kialakuló igénybevételek meghatározására. Statikus terhelési körülmények esetén a kialakuló nyúlás-, és feszültségképeket (rendszám eloszlások) fotózással, míg a fárasztóvizsgálat során észlelt rendszám-eloszlásokat videótechnika alkalmazásával rögzítettük.



3. ábra. Vizsgálóréteggel ellátott felszín egy szegmense

A vizsgálatokra előkészített, rétegbevonattal ellátott felület egy szegmensét a 3. ábrán mutatjuk be.

Mérési eredményeinket a rendszám-eloszlások alapján értékeltük. A számszerűsített eredmények alapjául szolgáló egyszerű összefüggéseket az alábbiakban mutatjuk be.

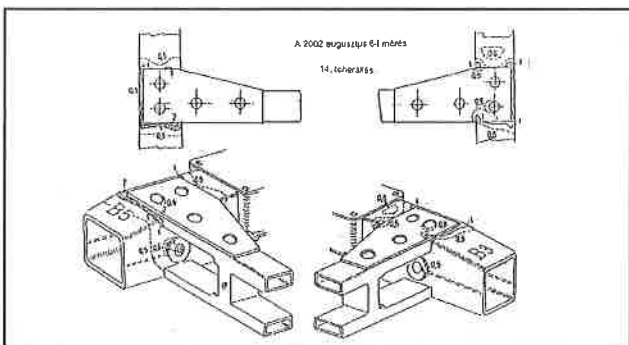
Nyúlásmérési eredményeink feszültségre történő átszámításakor a vizsgált szerkezet anyagának $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa értékű rugalmassági modulus, és $\nu = 0,33$ Poisson-tényező értékének feltételezésével számoltunk, mikor is az egységnyi rendszámhoz ($m = 1$ esetére) tartozó feszültségértékre a lemez peremén az alábbi összefüggés érvényes:

$$\sigma = \sigma_1 = \frac{k \cdot E}{1 + \nu} = \frac{0,68 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 10^5}{1 + 0,33} = 91,58 \text{ MPa} \quad (1)$$

A kapcsolat a főnyúlások (ε_1 és ε_2) valamint a σ_1 és σ_2 főfeszültségek között a

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{E}{1 + \nu} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) = m \frac{kE}{1 + \nu} \quad (2)$$

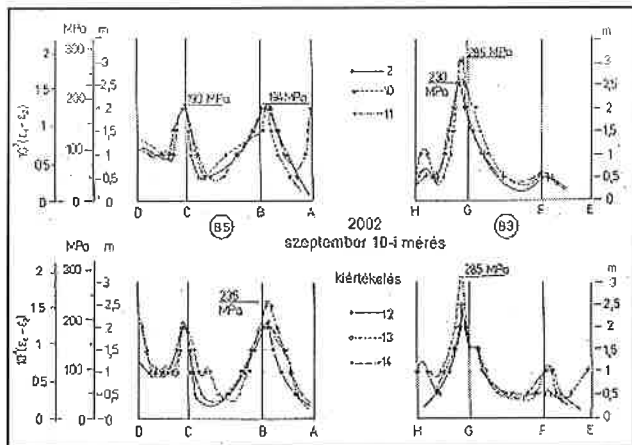
összefüggéssel írható le.



4. ábra. Egy jellegzetes egyberajzolt rendszám-eloszlás a tartó felső síkján, az átkötő lemez környezetében

Összerajzolt rendszám-eloszlásokra a légrugó tartó felső síkján mért értékek alapján mutat példát a 4. ábra. A sávok mentén elhelyezett számok a rendszám értékeit mutatják.

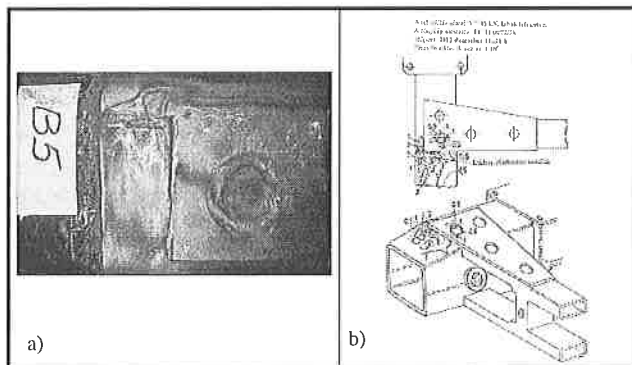
A kiértékelt rendszám-eloszlásokat összerajzoltuk, amelyre egy példát a 5. ábrán láthatunk. A kiértékelt példa a légrugó tartó felső felületén elhelyezett átkötés sarokpontjaiban mért nyúlás értékeit mutatja (átszámítva feszültségre is). Az "A" és "D" betűkkel jelölt helyek az átkötő lemez és a tartó találkozási pontjai, annak belső felületén, az "A" esik közelebb a tartó szimmetria síkjához.



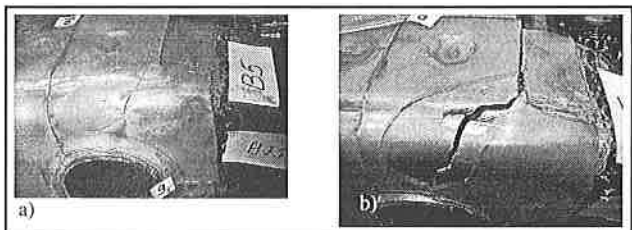
5. ábra. Néhány kiértékelt rendszám-eloszlás, példaként, a légrugó tartó felső átkötésének környezetében

A szerkezet meghibásodása

A fárasztóvizsgálat során a folyamatosan alkalmazott "monitoring", videókorderrel felszerelt polarizskóp segítségével a tönkremenetel meglehetősen pontosan követhető volt. Elsőként megjelentek a tartó felső övéen Lüders-Hartmann-elcsúszási vonalak (6/a ábra), amelyek a kezdődő tönkremenetel biztos jelei (6. ábra). A kiértékelés a 6/b ábrán található.



6. ábra. A szerkezet felső övéen megjelenő elcsúszási vonalak, és azok kiértékelése



7. ábra. Meghibásodás a tartó BJ5-B5 felületi szegmensein, egymillió igénybevételi számot követően

a) A meghibásodás feszültségoptikai képe, tipikus törésmechanikai felvétel formájában

b) A meghibásodást követően levált bevonat alatt észlelt törési felület

A végső meghibásodást, amely tényleges törésként jelentkezett, a 7. ábrán bemutatott rendszám-eloszlás alapján tudtuk meghatározni. Az ábrán bemutatjuk a meghibásodás környezetének feszültségoptikai képét, valamint a törést követően a szerkezetről levált bevonat alatt kialakult törésvonalat.

Megállapítások

a) Az alkalmazott vizsgálati technika kiválóan alkalmas a szerkezet statikus terhelésekor, valamint fázastörésvizsgálata során a keletkező igénybevételek meghatározására és nyomon követésére.

b) A mérési eredmények számszerűsítéséből a szerkezet teherbírási vizsgálat alatti változása meghatározható.

c) A bemutatott rétegbevonatos optikai feszültségvizsgálati technika folyamatos, vagy akár monitoring jellegű alkalmazása esetén a meghibásodás várható kiinduló helyei előre jelezhetők. Az eljárás az állapotellenőrzés eszközeként alkalmazható.

d) A mérési módszer által biztosított eredmények felhasználhatók (arra alkalmas formában) a számítási eljárások peremfeltételeinek pontosítására, a számítási modellek finomítására.

Irodalom

- [1] Zsáry, Á., Borbás, L.: Untersuchung von geschweißten Fahrgestell - Knotenpunkten mittels des Spannungsoptischen Oberflächen-sichtverfahren. (Investigation of welded junction points of a vehicle frame structure using photoelastic coating technique) Österreichische Ingenieur und Architekten Zeitschrift. (ÖIAZ) 1988. 133.évf. 7.szám. p.:362...365.
- [2] Borbás, L., Kabai, I., Zsáry, Á.: Loading, strain, and stress conditions of auto bus frame junction points. International Journal of Vehicle Design. Volume 12. No.:5/6./ 1991. ISSN 0143-3369. p.:548...556.
- [3] Zsáry, Á., Borbás, L.: Fatigue test and stress analysis of auto bus frame junction points. 5th Danubia-Adria-Symposium, Okt. 13-15./ 1988. Udine. p.:59...61.
- [4] Borbás, L., Thamm, F.: Investigation of the optimum design junctions with respect to the welding procedure. Österreichische Ingenieur und Architekten Zeitschrift. (ÖIAZ) 1989. 134.évf. 7/8.szám. p.: 415...418

Autóbuszok méretezése frontális ütközésre

Vincze-Pap Sándor*

Autóbuszok ütközésállósága

Az autóbuszok ütközésállóságának fejlesztésébe a frontális és az oldalütközés, a borulás és a tűzállóság feladatkörei tartoznak bele. Jelen dolgozat a frontális ütközésre tervezés vizsgálati módszereinek, lehetőségeinek bemutatására vállalkozik.

Minden ütközésre történő tervezéskor az a feladat, hogy az adott típusú baleset standard baleseti körülményei között azt biztosítsuk, hogy az autóbusz utasai és vezetője ne sérüljenek, illetve a lehető legnagyobb értékűre növeljük túlélési esélyüket.

Ennek két fontos összetevője van:

- a lehető legmerevebb vezető- és utaskabin az ún. túlélési tér biztosítására,
- energiaelnyelő zónák a vezetőre és az utasokra ható lassulások csökkentésére, a testtel történő ütközések sérülésveszélyének csökkentésére.

Ezeket tekintve a lökhárító, a fenékváz, a homlokkal, a vezetőtér zárdasági és geometriai kialakítása hangsúlyozott elsősorban.

A frontális ütközés vázszerkezeti feltételrendszere

Egy jól tervezett autóbusz vázszerkezet deformációs és energiaelnyelő képességének homlokütközés esetén három kritériumot kell teljesítenie.

- erő kritérium:** a vázelemek működése (tönkremenetele) a tervezett stabilitásvesztésnek megfelelő sorrendben történik, a stabilitásvesztéshez tartozó erőértékek a sorrendnek megfelelően egyre nagyobbak;
- energia kritérium:** ahhoz, hogy adott sebességű ütközés esetén ne sérüljön meg egy vázelem, a jármű mozgási energiáját az előre meghatározott elemeknek kell deformációs munkával elnyelniük (a biztonsági lökhárító tulajdonságait ebből kiindulva határozhatjuk meg);
- alakváltozási kritérium:** energiaelnyelés közben az alakváltozás nagysága, lehetősége behatárolt, kötött, ennek megfelelően lehet a karosszéria egyes elemeinek sérülésmentességét biztosítani vagy megengedni.

Vizsgálatok

Autóbusz homlokütköztetései

A képeken is bemutatott vizsgálatsorozatot az 1980-as évek közepén végeztük az IK 400-as karosszéria fejlesztése céljából. Az Autókat ter-

vezésével és előkészítésével komplett ütközésállósági vizsgálatra került sor egy IK 411 típusú autóbuszon. (Az IK 411 autóbusz vázszerkezeti pontosan megegyezett a széria kivétel IK 415 autóbuszal.) A cél a vázszerkezet energiaelnyelési folyamatának tisztázása, számszerűsítésének megállapítása, illetve az előírások (EGB 14 és EGB 80) paramétereinek ellenőrzése volt.

Előzetes feltételrendszerünk szerint egy autóbusz frontális ütközésekor:

- **3,5 km/h** koccanási sebességig semmilyen maradék deformáció nem léphet fel, vagyis a lökhárító rugalmas rétegének kell a jármű mozgási energiáját elnyelnie;
- **7 km/h** ütközési sebességig csak a lökhárító belső, energiaelnyelő elemei deformálódhatnak, amelyek egyszerűen javíthatók;
- **30 km/h** sebességű ütközéses vizsgálatnál, amely az ún. standard autóbusz baleset frontális ütközési sebessége, már a homlokkal és a fenékváz is sérülhet.

A vizsgálatoknál egy 300 tonnás betonfalnak ütköztettük az autóbuszt, eléje egy 50 mm vastag, fenyőfaréggel ellátott, merev ütközőlapot szereltünk, amely 4 db erőmérő cellával támaszkodott a betontömbnek. A négy erőmérő cella a jobb és a bal oldalon párba kötve működött, így a jármű két oldalának erőterhelése elkülönülten is vizsgálható volt. Az ütközéses vizsgálatokhoz a már korábban az IK 250-es autóbuszokhoz kifejlesztett lökhárítót használtuk (1.a. ábra). A jármű ütközési sebességét optokapuvál mértük. A belső térbe egy Hybrid II és egy OGLE típusú, 50 percentilis férfi bábu volt beültetve. A Hybrid II bábu fejébe és mellkasába gyorsulásdátokat, jobb lábába pedig comberő mérőcellát szereltünk be. A két tengely között a padlón, a jármű súlypontjának függőleges síkjában, hosszirányban mérő, gyorsulásdát helyeztünk el. (Az érzékelők jeleit Philips 7 típusú analóg mérőmagnetofonnal rögzítettük és 60 Hz-es felülvágó szűrővel simítottuk! A jelek rajzolását PDP 11 mikroszámítógéppel végeztük.) Az autóbusz vizsgálati tömege 10 080 kg volt.

Az ütközéses vizsgálatok eredményei

a) az első vizsgálat (mért ütközési sebesség: 3,60 km/h)

A jármű mindenfajta észlelhető károsodás nélkül viselte el az ütközést.

Az ütközőerő maximuma a bal oldalon:	180 kN
a jobb oldalon:	160 kN
összegzett:	320 kN

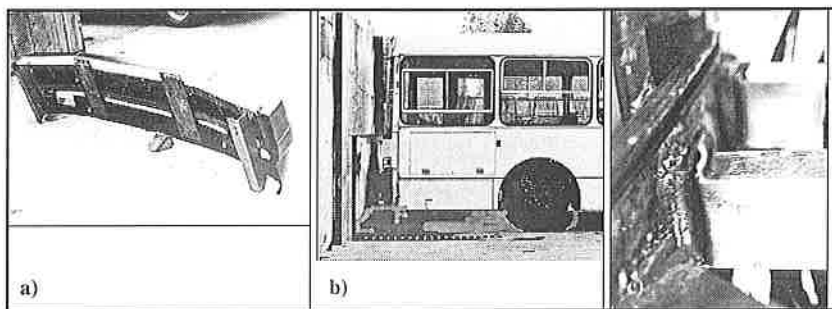
A jármű padlóján (súlypontban) mért gyorsulás maximuma: 3.g

A Hybrid II bábu fejében mért eredő gyorsulás maximuma: 3.g

combjában mért térdő maximuma: 1,1 kN

b) a második vizsgálat (mért ütközési sebesség: 6,98 km/h)

*AUTÓKUT



1. ábra. Az autóbusz 3,6 km/h és 8 km/h sebességű ütközéseinek felvételei

A lökhárítón és a karosszérián nem látszott külső sérülés (1.b. ábra). Átvizsgálás után kiderült, hogy a lökhárítót tartó bal oldali közdarab 60x40/2 mm méretű zártszelvényű csövei megregytak. A gyűrődésről készült felvétel az 1.c. ábrán látható. A jobb oldalon a közdarab ép maradt, csupán az első ajtó vált nehezen nyithatóvá a műszerfal burkolatának kismértékű hátracsúszása miatt.

Az ütközőerő maximuma a bal oldalon: 220 kN
a jobb oldalon: 190 kN
összegzett: 390 kN

A jármű padlóján (súlypontban) mért gyorsulás maximuma: 4.g
A Hybrid II bábu fejében mért eredő gyorsulás maximuma: 10.g
combjában mért térdelő maximuma: 1,3 kN

c) a harmadik vizsgálat (mért ütközési sebesség: 29,76 km/h)

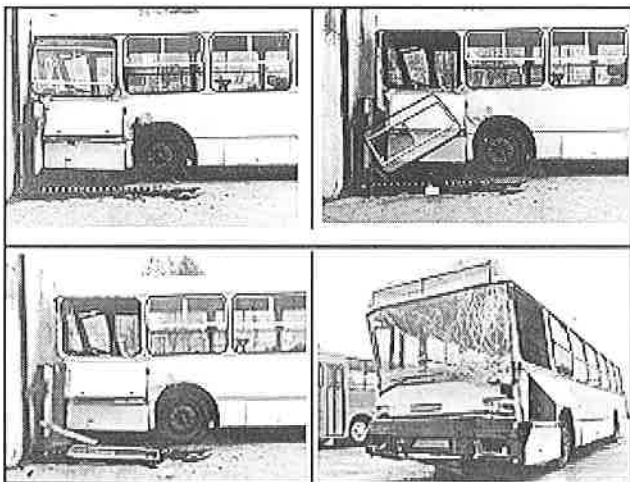
Az autóbuszt teljes átvizsgálás után készítettük elő az utolsó ütközéshez. A betonfaltól 250 mm távolságra levő ütközőlapra az autóbusz homlokfala rágyűrődött, a tető elérte a homlokfalat (2. ábrásor). A hosszartók erősen deformálódtak, az első és a harmadik hosszartón jobb oldalon 80 mm (mivel az ajtó felőli oldalon az energiaelnyelés nagyobb, 3.b. ábra), a bal oldalon 130 mm (3.a. ábra) összenyomódást mértünk. Bal oldalon a vezetőülés az alatta levő dobogóval hátracsúszott, a műszerfal több helyen eltört (3.c. ábra). (A biztonsági dobogónak köszönhetően a kormánykerék és a vezetőülés háttámlája között maradt 330 mm szabad távolság a vezető túlélésének biztosítására.) A bábuban mért gyorsulás és erőértékek a kívánt limitek alatt maradtak, de az ülés relative alacsony háttámla magassága (1 m magas városi ülés) miatt a bábu nyakával ütközött a háttámla szélének, ezért a fejjegysúly veszélyessége nem értékelhető. Az autóbusz jobb és bal oldalának merevsége jelentősen különbözik, az ütközőerő csúcserőértékében a jobb oldalon fele akkora erőt mértünk, mint a bal oldalon (4. ábra). Az autóbusz lassulás értéke és ebből következőleg az EGB 14 és EGB 80 számú előírásokban szereplő vizsgálati érték jó egyezőséget mutat.

Az EGB 80 számú előírás 30 km/h ütközési sebességnél előírt 8-12.g közötti vizsgáló kocsi lassulásának értéke megfelel egy 30 km/h sebességű kvázimerev falnak történő teljes tömegű autóbusz ütközéskor fellépő lassulás értéknek.

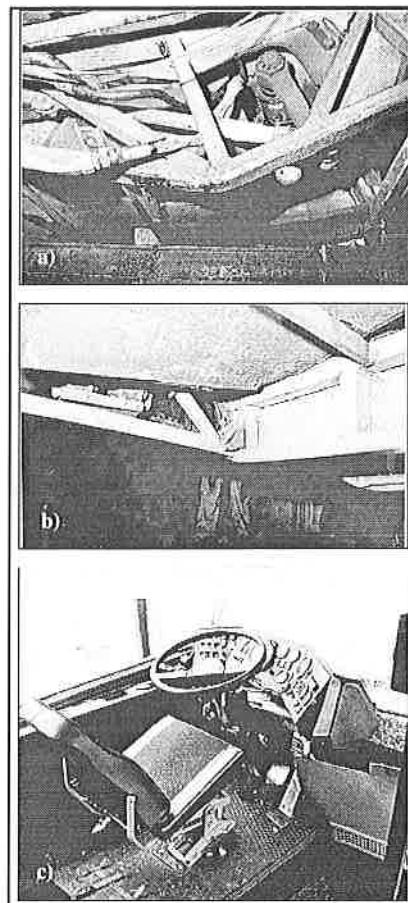
Az ütközőerő maximuma a bal oldalon: 780 kN
a jobb oldalon: 390 kN
összegzett: 1100 kN

A jármű padlóján (súlypontban) mért gyorsulás maximuma: 12.g
A Hybrid II bábu fejében mért eredő gyorsulás maximuma: 60.g
combjában mért térdelő maximuma: 1,6 kN

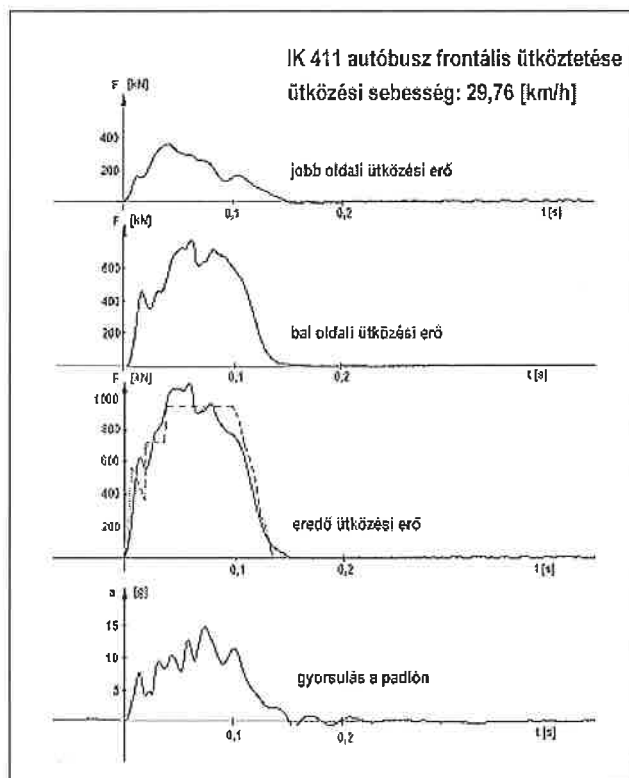
A frontális ütközéses vizsgálatkor a Hybrid II és az OGLE bábút az



2. ábra. Az IK 411 autóbusz 29,76 km/h sebességű homlokütközésének fázisai. A betonfaltól 250 mm távolságra levő ütközőlapra az autóbusz homlokfala rágyűrődött, a tető elérte a homlokfalat



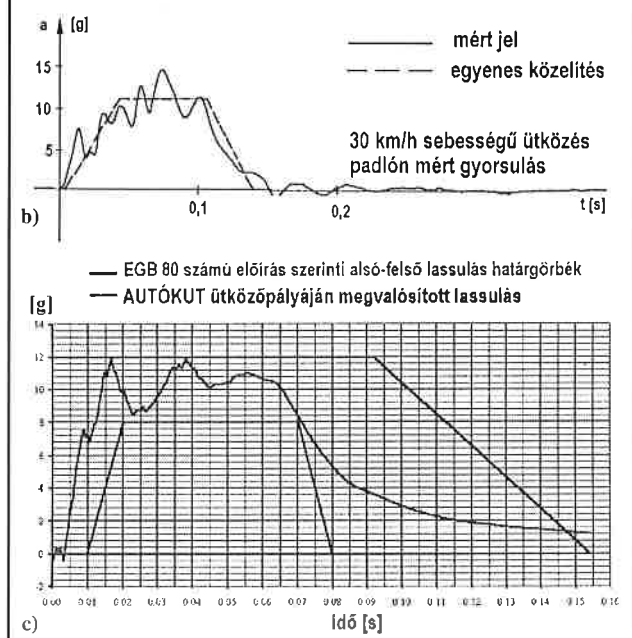
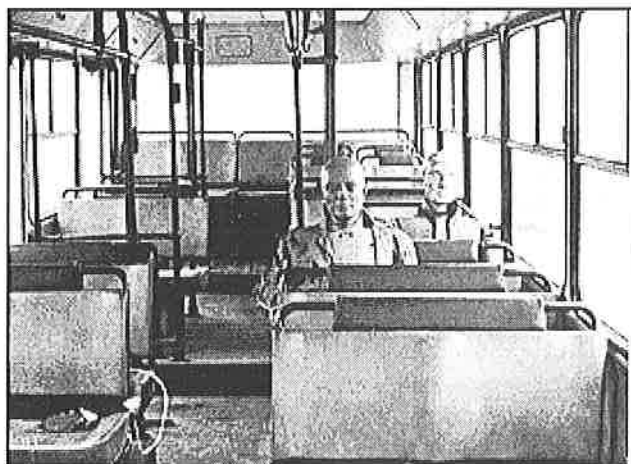
3. ábra. A 29,76 km/h sebességű homlokütközés következményei



4. ábra. A 29,76 km/h sebességgel történt ütközés erő és padlógyorsulás diagramjai

5.a. ábrán látható módon helyeztük el. Az utastérbe a régi gyártmányú, $\varnothing 22$ mm méretű csövekből felépített, mőri ülések voltak beszerelve. A lassulást az autóbusz súlypontjának keresztirányában a padlón mértük (5.b. ábra), és az egyenes szakaszokkal közelített változást összevetettük az EGB 80. számú előírásával. Az 5.c. ábrán az autóbusz utasülések 30 km/h ütközési sebességgel végzett bábús vizsgálatához az EGB 80-ban előírt lassulási határgörbékét hasonlítottuk össze az Autokut ütközőpályájának kalibrációs görbéjével.

Az 5. ábrán látható, hogy az IK 411 autóbusz frontális (29,76 km/h) sebességű ütköztetésekor a padlón mért lassulás egyenes szakaszokkal közelített diagramja jó egyezést mutat az EGB 80 számú előírás által a vizsgálókocsi lassulási görbéjére előírt függvényekkel, annak felső határgörbéjéhez közel.

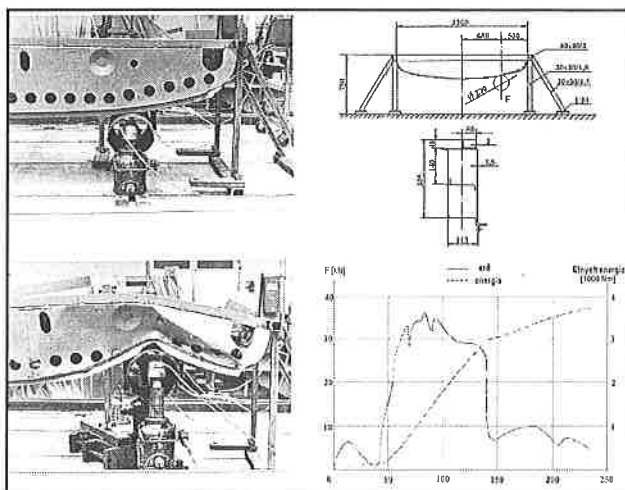


5. ábra. A 30km/h frontális ütközéses vizsgálatkor mért és az EGB 80-ban előírt lassulások (egyenes vonalak) összehasonlítása.

A mellőv statikus nyomóvizsgálata

Ennél a vizsgálatnál a 6. ábrán látható elrendezésben és szerkezeti kialakításban a mellőv zártszelvényű merevített lemezszerkezetének energiaelnyelési képességét mértük meg, oszlopnak ütközés statikus szimulációját megvalósítva.

A 6. ábra diagramjából is látható, hogy az $\varnothing 220 \times 6$ mm vastag falú cső mintegy 140 mm-es benyomódása után a mellőv egyszerűen „eltört”. Az $s = 235$ mm benyomódásig elnyelt energiamennyiség $W = 3700$ N.m.



6. ábra. A mellőv statikus nyomóvizsgálata (oszlopnak ütközés szimulációja)

Biztonsági dobogó

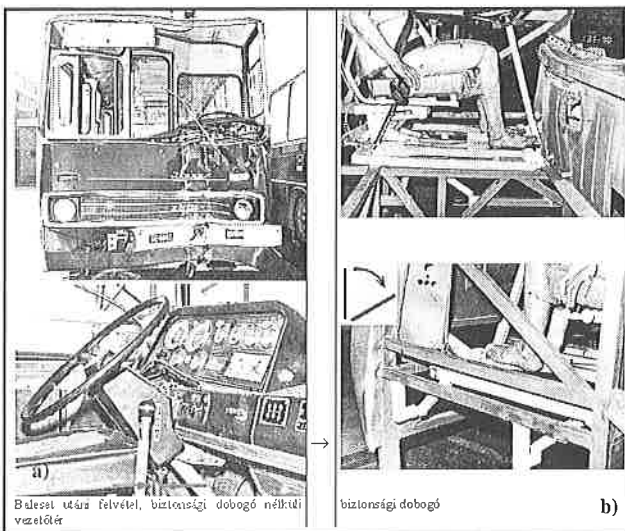
A megfelelő túlélési tér biztosítása a vezető számára azt jeleníti, hogy a vezető az ütközéses baleset után az ülésből segédeszköz nélkül kiemelhető, vagyis a műszerfal (kormányoszlop) és a vezetőülés között az ütközés minden pillanatában elegendő térrésznek kell maradnia. Másféleképpen megfogalmazva, a kormánykerék nem préselődhet a vezető hasába, illetve a kormányoszlop vagy a műszerfal nem nyomhatja a vezető lábát a vezetőülés széléhez roncsolásos sérülést okozva. Ilyen buszvezetői térrész egyszerű megoldással megvalósítható az ún. biztonsági dobogó beépítésével. (A biztonsági öv használata természetesen nem mellőzhető, mert a felütközésből származó sérülések súlyossága csak ezzel együtt csökkenthető illetve kerülhető el.)

A 7. ábrán látható biztonsági dobogó $40 \times 40/2$ mm méretű, zártszelvényű csövekből készült 820×820 mm befoglaló méretben, a műszerfalhoz 135 mm szintkülönbséggel támaszkodó, 275 mm hosszú csövek pedig $40 \times 30/2$ mm méretűek voltak.

Az IK 411 fenékváz statikus és dinamikus vizsgálata

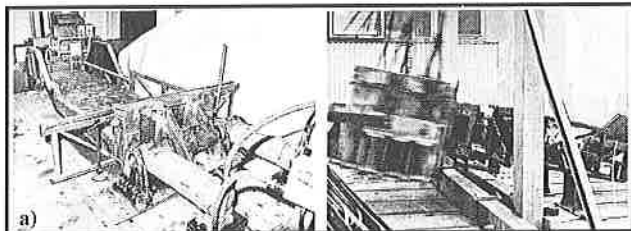
Tervezési cél: olyan fenékvázat és ráillesztett lökhárító szerkezetet kell létrehozni, amely a 8 km/h sebességű frontális ütközésnek megfelelő energiát a fenékváz rugalmas alakváltozásával, csak a lökhárító energiaelnyelő elemeinek tervezett összenyomódásával, képes elnyelni.

Az elnyelendő energia, 10 tonnás autóbustól számítva: 25 kJ. Ez előzetesen azt jelenti, hogy a fenékváznak min. 350 kN erőterhelést deformáció mentesen kell elviselnie.



7. ábra. A biztonsági dobogó nélküli vezetőtér deformációja baleset után (a) és a beépített biztonsági dobogóval végzett bábús kísérletnél (b)

A kvázistatikus laborteszt során az első képlékeny csukló kialakulásához tartozó erő 300 kN volt, amely a módosítás, megerősítés után 400 kN lett (8.a. ábra). A 4,1 tonnás ingás ütművel végrehajtott dinamikus vizsgálat során 16 kJ energiánál csak enyhe deformációk keletkeztek, míg 18,7 kJ energiánál négy képlékeny csukló alakult ki és a szerkezet tönkrement (8.b. ábra).



8. ábra. A fenékváz vizsgálatai: a) kvázistatikus laborteszt, b) dinamikus vizsgálat

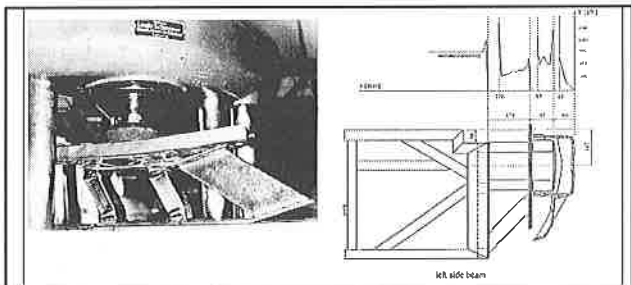
Az IK 411 lökhárító közdarabok statikus vizsgálata

Az IK 411 K1 autóbuszra egy 200-as típusú lökhárító volt illesztve, ennek energiaelnyelő közdarabját statikus nyomóvizsgálat alá vetettük a 9. ábrán látható elrendezésben. A lökhárító külső burkolata 80 mm vastag poliuretán műanyag, majd ezt követi a vízszintesen végigfutó 2 db 90x50x3 mm méretű zártszelvény. Az ütközéskor fellépő erőhatás az 50 mm méretű oldal felől roppantja össze a szelvényt. Szimmetrikus, teljes felületű ütközéskor a 9. ábra mérési elrendezése eredményének kétszerese, az ábrán feltüntetett 1480 kN összegzett erő lesz a teljes stabilitásvesztéshez tartozó erő nagysága. Ez az erő 10 mm elmozdulás alatt lecsökken 680 kN értékre és ± 80 kN ingadozással további 55 mm összenyomódásig állandónak tekinthető. (A 90 mm-es méretből 65 mm használható energiaelnyelésre.)

A 175 mm hosszú, 60x40x2 mm méretű zártszelvényből kialakított, hosszirányban előrenyúló 4 db közdarab stabilitásvesztési ereje 580 kN, amely erő 100 mm elmozdulás után csökken le 380 kN-ra. A ferde kikötés miatt a gyűrődő csövek nem csak hosszirányban deformálódnak, de ki is hajolnak. Összesen 115 mm nagyságú összenyomódásra alkalmas a közdarab. (A lökhárító valamennyi zártszelvénye 240 MPa folyáshatárú lágyacélból készült.)

Végeredményben a lökhárító elemei együttesen 240 mm deformációra képesek.

Ezekből az értékekből egyszerű algoritmussal ellenőrizhető, hogy a 10 tonna tömegű autóbusz 3,5 km/h sebességű ütközésekor nem volt várható semmilyen károsodás; 7 km/h ütközési sebességnél, ha teljesen



9. ábra. Az IK 411 lökhárító energiaelnyelő közdarabjainak statikus nyomóvizsgálata

szimmetrikus az ütközés, akkor szintén rugalmas energiaelnyelésre kellene számítanunk, míg 30 km/h sebességű ütközésnél mintegy 400 mm-es deformáció várható, amelynek fele a lökhárítóra, fele pedig a fenékvázra jut. (A 400 mm deformáció a busz vázszerkezetének nem ismert rugalmas viselkedésének figyelembe vétele nélkül értendő és a fenékváz 400-480 kN értékű stabilitásvesztési erejéből van számolva.)

Összehasonlítva az itt felsorolt értékeket a valós autóbusz ütköztetések mérőszámaival, megállapítható, hogy 3,5 km/h sebességnél valóban nem volt csak rugalmas deformáció, de 7 km/h sebességű ütközésnél a lökhárító baloldali közdarabjai megrogytak az aszimmetrikus ütközési erő miatt. 30 km/h sebességű ütközéskor a fenékváz gyűrődése a kiindulási adatokból számolt 160 mm helyett csupán 130 mm (bal hossztartón) és 80 mm volt (jobb hossztartón), amely részben a váz jelentős rugalmas deformációját, részben a fenékváz stabilitásvesztéséhez tartozó – a számoltnál nagyobb – erőt jelenti.

Lényeges dolog, hogy a lökhárító csupán 70 mm-re nyúlik ki a homlokfal síkjá elé, így a közdarab részleges deformációja esetén is sérülhet a homlokfal.

A lökhárító változatok ingás ütvizsgálata

A zártszelvényű cső összenyomhatósága

A 10. és a 11. ábrán szemléltetett vizsgálatból két alapvető megállapítás tehető:

- Az első képlékeny csukló kialakulásához tartozó erő mintegy 50%-kal nagyobb, mint a következő bármelyik képlékeny csukló kialakításához tartozó erő.

- Az előrenyomott cső energiaelnyelő kapacitása 35-40%-kal nagyobb, mint egy azonos, maximális csúcserőre méretezett normál cső energiaelnyelő képessége.

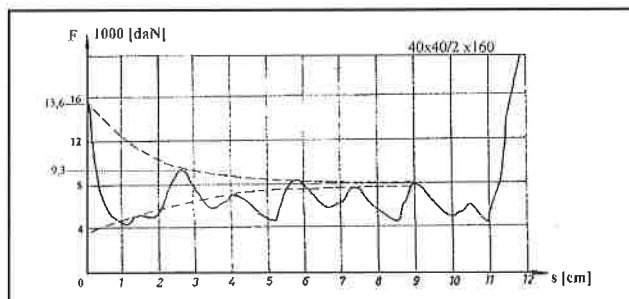
Különböző energiaelnyelő elemek dinamikai vizsgálata

A háromfajta energiaelnyelő (12. ábra) és az előretolt csövekből (60x50/2-8 db) felépített (13. ábra) lökhárítók dinamikus, ingás ütvizsgálatainak eredményeit az 1. táblázatban összesítettük.

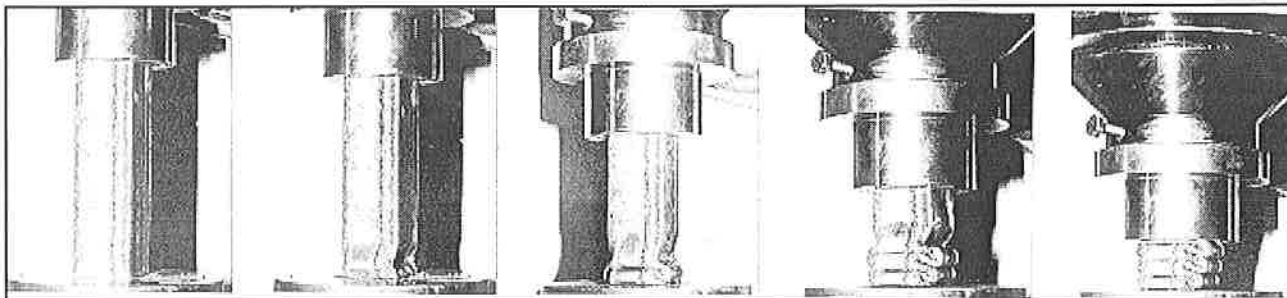
1. táblázat

Összesítő táblázat az energiaelnyelő elemek vizsgálatáról

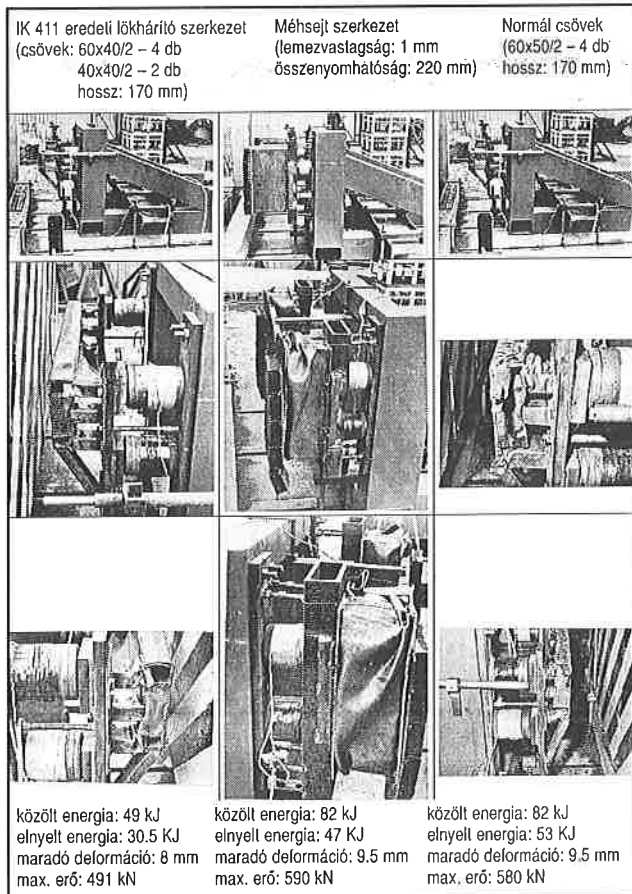
Lökhárító felépítés	Közlött energia (kJ)	Max. erő (kN)	Elnyelt energia (kJ)	Deformáció (mm)
IK 411	49	491	30.5	8
Normál csövek	82	580	53	9.5
Lemezszerkezet	82	590	47	9.5
Előrenyomott csövek	82	398	59	11



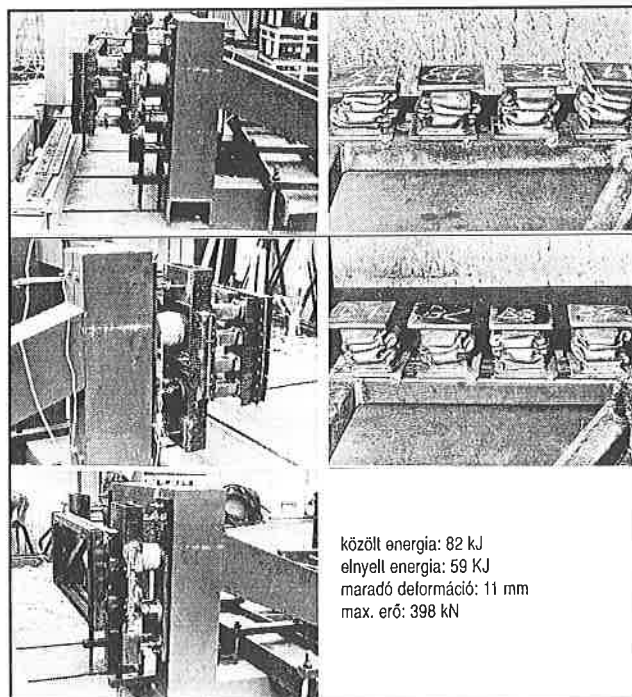
11. ábra. A 10. ábrán látható négyszög keresztmetszetű cső nyomódiagramja



10. ábra. Egy 160 mm hosszú, 40x40/2 mm méretű zártszelvényű cső kvázistatikus nyomóvizsgálatának mozzanatai



12. ábra. Háromfajta energiaelnyelő közdarabból felépített lökhárító vizsgálatai



13. ábra. Előrenyomott csövekből épített lökhárító dinamikai vizsgálata

Összegzés

Az autóbusz padlóján mért gyorsulás jó egyezésben van az EGB 80.01 számú előírás 30 km/h sebességű 8-12 g közötti lassulással előírt standard baleseti szituációjával.

A mellőv, a fenékváz, a lökhárító energiaelnyelési képességét együtt kell vizsgálni és egymáshoz kell illeszteni.

Az előrenyomott csövek energiaelnyelő képessége, a terhelő erő irányszögének érzékenysége jobb, mint az alkalmazott normál csövéké.

Az ingás ütésvizsgálatokra egy fontos megállapítás a mérési eredmények alapján: a kiindulási energia 35-40%-a kikerülte a mérőláncunkat (a kvázi végtelen merev alakzáró lefogás ellenére) és hő- illetve főként rezgési energia formájában távozott a rendszerünkől.

Abstract

Frontal impact tests on bus and bus bumpers

First part of the paper deals with full crash tests of an Ikarus 400 type city bus having a well-designed framework which was carried out in the development process in 1985. The crash tests were carried out at three different speeds: 3,5; 7 and 30 km/h. The mass of tested bus was: 10 080 kg.

The bus survived the first impact any visible deterioration, and there was no any observable injury after the second impact (7 km/h) on the outer surfaces (Fig. 1). At the third (30 km/h) impact the bus front wall over-crinkled onto the impact-sheet (Fig. 2.) and the longitudinal beams were significantly deformed. The driver seat slipped backward, the dashboard cracked at more places. (Due to the safety driver platform the distance between the steering wheel and driver seat-back remained 330 mm, and it is enough for survival of the driver, (Fig. 3). The deceleration of the bus shows good coincidence with the values and functions in the ECE regulations No. 14 and No. 80. (Fig. 4). Namely, the measured maximum impact force at left side: 780 kN and at right side: 390 kN; the maximum resultant impact force: 1100 kN and the maximum deceleration on the floor: 12 g.

The tested understructure for Ikarus 400 type bus could withstand static load of 350 – 400 kN. Design aim for a bus is create such an understructure (and matched bumper to it) which is capable to absorb the full kinetic energy of an 8 km/h speed impact without residual deformation. Plastic deformation is allowed only at energy-absorbing elements of the bumper. The calculated energy to be absorbed for a 10 tonne city bus: 25 kJ.

The second part of the paper reviews the pendulum test series of three different types of bus bumpers (original, steel-plates' structural and pre-crushed rectangular tubes' structural bumper) and the detailed results (Fig. 12).

The bumpers built from tubes (Fig. 13), comparing with other structural bumper, have advantages related the force due to plastic joint formation, but the steel-plates' structure is more impassive to the force direction.

The maxim force can relevantly be lowered concerning to the stability-loss of bumper elements by using pre-crushed rectangular tubes (Table 1).

Irodalomjegyzék

- Autóbusz vezetőfülke passzív biztonsági követelményeinek ellenőrzése céljából végzett vizsgálatok értékelése. JÁ-244/80/14 számú Autókat jelentés, írta: Vincze-Pap Sándor
- Biztonsági lökhárítóknak alkalmazható energiaelnyelő szerkezetek ingás ütésvizsgálata. AU-22/1981 számú Autókat jelentés, írta: Vincze-Pap Sándor
- IK 400 típusú autóbusz lenékvázának stabilitási vizsgálatai. JÁ-244/80/21 számú Autókat jelentés, írta: Vincze-Pap Sándor
- Készítsünk autóbusz lökhárítót előrenyomott négyszögprofilú csövekből. Autókat - KIM dolgozat, 1983, írta: Vincze-Pap Sándor
- Borbás L., Kabai I., Zsáry Á.: Loading, strain, and stress conditions of autobus frame junction points, International Journal of Vehicle Design. Volume 12. No. 5/6./ 1991. ISSN 0143-3369. p.:548...556.
- Csavdar 5C1 típusú autóbusz vezetőterének, lökhárítójának és utasüléseinek passzív biztonsági vizsgálatai, AU-43/1996 számú Autókat jelentés, írta: Vincze-Pap Sándor
- Dr. Molnár Csaba, Vincze-Pap Sándor: Ütközési energiaelnyelő elem főleg járművekhez és eljárás az elem előállítására. Szolgálati találmány, 1982. december, szabadalmi szám: B60 R/19/00)
- Az IK 411 K1 típusú autóbusz homlokütközéses vizsgálata. AU-53/85 számú Autókat jelentés, írta: Albrecht Lajos

A functional knee-endoprosthesis with rolling articular surfaces during the stance phase

D. Kubein-Meesenburg¹ – Ch. Abicht^{2*} – M. Thomsen³ – H. Dathe^{1*} – P. Adam² – J. Fanghänel¹ – H. Nägerl¹

Összefoglalás

Működő térd-belsőprotézis a kiegyenesedési fázisban gördülő ízületfelületekkel

Szerzők bemutatják az általuk kifejlesztett, kereskedelmi forgalomban még nem kapható, térd-belsőprotézist, amelynek oldalsó és középső komponenseinek működése azonos. A combcsont szagittális körvonala és a sípcsont kondiláris felületei görbületeinek tengelyei azonosak minden esetben. Ennélfogva térdhajlítás közben a mesterséges sípcsont ízületfelülete végig kell csússzon a combcsontvég felületén. Az emiatt fellépő súrlódási problémát a megfelelő kenőképeségű fém–polietilén párosítással szüntették meg.

Az emberi sípcsont–combcsont kapcsolatban (TFG), azaz a térdízületben (a szerk.), az oldalsó és a középső komponensek kapcsolódó ízületfelületei között jól látható morfológiai különbség van (1. ábra), és a combcsont szagittális körvonala szerinti tengelyek sem esnek egybe. Zuppinger (1904) röntgenfelvételei alapján úgy tanítják, hogy a TFG-ben kezdetben mintegy 20°-os hajlításhoz szükséges a megfelelő kenőképeségű fém–polietilén párosítással szüntették meg. A sípcsont felső pontján stagnálása miatt, csúszás van a felületek között. Pinskerova és társainak (2001) in vivo MRT (mágneses rezonancia vizsgálat) adatait újraelemelve viszont megállapítható, hogy a sípcsont felső pontján hátrafelé irányuló mozgás kezdődik. Járáskor a kiegyenesedési fázisban, amikor a támasztó reakcióerő erősen terheli a TFG-t, a hajlítás szögsebessége háromszor: 0, 18 és 5 foknál, megváltozik. Ha a TFG-ben csúszás lenne, az indulási súrlódás háromszor következne be és a porc nyírásra lenne igénybe véve – amint ez a 2. ábrából kiolvasható. Ám, mivel ebben a szögtartományban a természetes TFG-ben gördülés van, a súrlódás problémáját kinematikailag a természet megoldotta. Viszont a hagyományos térd-belsőprotézisekben a sípcsont felső pontján csúszás van, ezért jelentős nyíróerők lépnek fel.

A gördülő térd-belsőprotézis tervezési elveit a 3. ábra szemlélteti. Azért, hogy a hajlítás kis szögtartományában létrejöjjön a gördülés, az oldalsó és a középső komponenseket aszimmetrikusra tervezték. A sípcsont oldalsó ízületfelülete domború a szagittális irányba, szemben a homorú középső oldallal; a combcsont középső ízületfelülete pedig néhány milliméterrel előreolt és magasabb a combcsont vele azonos alakú oldalsó felületénél. Így nyomás hatására ez az ízületfelület rendszer kényszeríti a mozgást. A kis szögű hajlításkor a pillanatnyi forgástengely az érintkező ízületfelületeket szorosan helyzetben tartja, ami túlnyomóan gördülést eredményez. A hajlítás szögének további növekedésekor viszont a pillanatnyi forgástengely a combcsont kondile központja felé vándorolva lehetővé teszi az ízületfelületek elcsúszást a járás ringó fázisában. A protézis homlok metszete pedig azt mutatja (4. ábra), hogy a sípcsont és a combcsont ízületfelületeinek érintkezését a sípcsont tartja helyzetben.

A kopásvizsgálat az új protézis orvosi jóváhagyásához – amelyhez CoCrMo-ötvözet/polietilén anyagpárt használtak – döntő jelentőségű. Ezt, az ISO 14243 szabványtervezet szerint, a drezdai IMA céggel végeztették. A TKR19–21 jelűeket a Minibionix 858 szervohidraulikus térd-

szimulátorral, míg a TKR22 jelűt az Instron-Stanmore KS4 géppel vizsgálták. Az Instron térd-szimulátort kifejezetten az ISO/FDIS 14243-1 szabvány követelményeinek megfelelően fejlesztették ki. Mindkét gép négy szabadságfokú. A protézisek ízületfelületein mérték a felületi érdességet a DIN 4768 szerint. A felületek állapotát pásztázó elektronmikroszkóppal (SEM) vizsgálták. A polietilén-elemeket gravimetrikusan mérték az ISO 14243-2 szerint.

A vizsgálatok eredményei szerint a polietilén nem színeződött el, az oldalsó és a középső, pontosan körülhatárolt érintkezési felületei simának és fénylőnek látszottak. A SEM vizsgálat is simának mutatták – elvéve egy-egy szemcsével – az érintkező felületeket. Érdességük viszont, a kiindulási állapothoz képest, szignifikánsan csökkent. A kopásvizsgálat eredményeit, a tömegvesztésüket (mg) az igénybevételi ciklusszám függvényében, az 5. ábra szemlélteti. A TKR19 jelűn, amely 2.10⁶ ciklusig nem volt tengelyforgásnak alávetve, kopás nem volt mérhető. A TKR20–22 jelűek kopásának átlagos sebessége sorban: 13,3; 8,5 és 9,0 mg/10⁶ ciklus.

A sípcsont érintkezési felületeinek alakja és kiterjedése igazolta, hogy a TKR protézisekben a felületek gördülnek egymáson a kiegyenesedési ciklusban. Ugyanis a 2.10⁶ ciklus után mért 7,0 – 10,3 mg/10⁶ állandósult kopássebessége az irodalomban közöltekké képest (14,9 – 17 mg/10⁶) lényegesen kisebb. Walker és társai (2000) ugyancsak Instron-Stanmore KS4 gépen a szerzőkével azonos program szerint koptattak protéziseket, és az Insall Burstein I és a Kinematic jelzésűeken 22,5 és 14,0 mg/10⁶ állandósult kopássebességet mértek. Eredményeiket a szerzők TKR22 jelűével összehasonlítva a 6. ábra szemlélteti. Szerzők két, kereskedelembe kapható, átlagos mobil protézist is megvizsgáltak az Instron KS4 gépen összehasonlításképpen, ám ezek kopása TKR22 jelűükhöz képest 45, ill. 60%-kal volt nagyobb.

Az új, gördülő térd-belsőprotézis azért jobb az eddig ismerteknél, mert az új tervezési elvekkel a súrlódási problémát kinematikailag sikerült megoldani.

Introduction

The lateral and medial compartments of the commercially available knee endoprotheses are functionally identical: The sagittal contours of the femoral and the tibial condylar surfaces have the same axis of curvature in each case. Hence it follows: During knee bending the artificial tibial articulating surface must slide along the femoral ones. The thereby created friction problem is obviated by suitable lubrication pairings of metal and polyethylene.

Properties of the human tibiofemoral joint (TFG)

Morphology: In the natural knee, the curvature morphology of the lateral tibial articular surface is obviously distinguished from that of the medial one as sagittal sections through the joints show: In the lateral compartment sagittal tibial contours are convexly curved (Fig. 1). In addition, the axes defined by the femoral sagittal contours on the lateral and the medial side are not in alignment.

Kinematics: Traditional teaching says that the TFG is initial rolling up to about 20° flexion as for the first time Zuppinger (1904) had shown by X-ray pictures. For greater flexion angles the contact areas on tibia plateau are stationary (sliding). We have reanalysed in vivo MRT data,

¹ Prof. Dr., and ^{1*} Dr. – Biomechanische Arbeitsgruppe Univ. Göttingen/Univ. Greifswald,

² Prof. Dr. and ^{2*} Dipl.-Ing. – Techn. Inst Univ. Jena,

³ PD Dr. – Orthop. Klinik Univ. Heidelberg

Abt. Kieferorthopädie der Universität Göttingen, Robert-Koch-Str. 40, D-37075 Göttingen

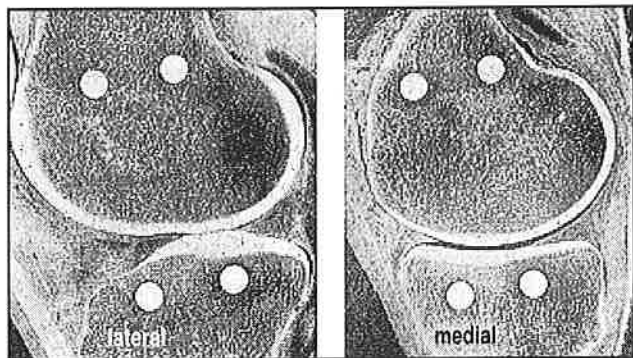


Fig. 1: Sagittal sections through the lateral and medial compartment of a human knee

1. ábra. Az emberi térd oldalsó (balra) és középső (jobbra) kompartmentjeinek szagittális keresztmetszetei

which were recently presented by Pinskerova et al. (2001), and could show that the contacts on the tibial plateau initially migrated to the posterior: The portion of rolling was medially >66% and laterally >90% between 5° and 20° flexion.

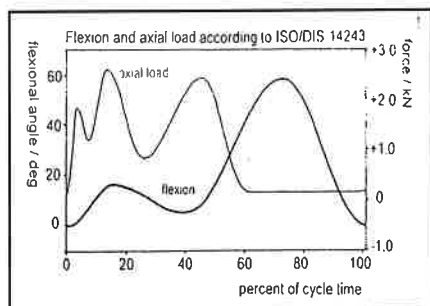


Fig. 2: Gait curves

2. ábra. A járás görbéi: a tengelyirányú terhelés (axial load) és a hajlás szöge (flexion) változása a lépésciklus százalékában az ISO/DIS 14243 szerint

rolling at these angles the friction problem is kinematically solved by nature. In the conventional endoprosthetics the sliding tibia plateau is therefore exposed to considerable shear forces.

General design of a rolling knee endoprosthesis

To implement rolling for small flexion angles, the lateral and medial compartment was asymmetrically designed. In sagittal direction the lateral tibial articulating surface is convexly curved, as opposed to the concavely curved medial aspect, and the medial femoral articulating surface has been shifted some millimetres to the anterior and superior compared with the identically shaped lateral femoral surface (Fig. 3). In presence of a compressive joint force the guidance by this system of articulating surfaces leads to a constrained motion. It is equivalent to that of a four-bar-chain. For small flexional angles its instantaneous rotational axis (IRA) could be closely positioned to the contacts of the articulating surfaces by optimizing the parameters of the gear so that the predominant rolling was produced. In the course of the further increasing flexional angle the IRA migrates to the centre of the femoral condyle yielding a predominant sliding of the articulating surfaces during the swing phase of the gait.

Frontal sections of the prosthesis demonstrate that the contacts between the tibial and femoral surfaces are positioned at the tibial inclines (Fig. 4). This constructional provision makes axial rotation and valgus/varus translation possible, but stabilises them in the presence of a compressive joint force. Thus e.g. axial rotation as found in the natural TFG can be provided as function of the flexional angle.

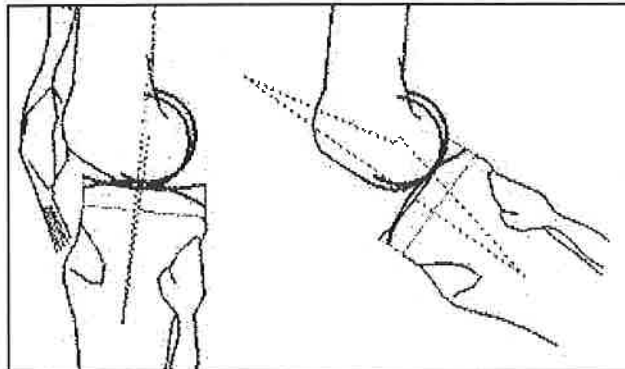


Fig. 3: Lateral view of an endoprosthesis which is predominantly rolling during the stance phase of the gait. Left: Extended position; right: 60°-flexion, posterior position of contacts, indicating the initial rolling. Dotted lines: Kinematically equivalent four-bar-chain.

3. ábra. A belsőprotézis oldalnézete, amelyben a járás kiegyenesedő fázisában a felületek gördülnek egymáson. Balra: nyújtott helyzetben; jobbra: 60°-ra hajlított helyzetben, amely mutatja a gördülés kezdetét. A szaggatott vonalak a kinematikailag egyenértékű négyrudas bilincs (four-bar-chain)

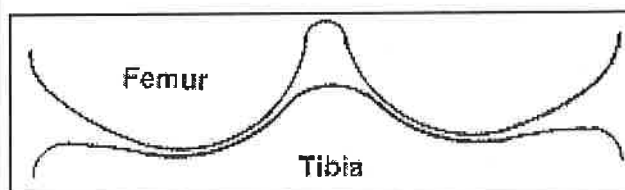


Fig. 4 ábra. femur – combcsont, tibia – sípcsont

Tribological testing

The decisive criterion for medical approval consists of wear tests according to ISO standard draft 14243. The corresponding tests were conducted by the test firm IMA in Dresden. Three total knee replacements (TKR19, TKR20, TKR21) were tested in the knee simulator Minibionix 858 and one TKR (TKR22) in the Instron-Stanmore KS4. Material pairing of the prostheses tested: CoCrMo/Polyethylene.

Test procedures: The Minibionix 858 is a servo hydraulic testing machine. It is able to simulate 4 degrees of freedom: angle of flexion, axial load, axial rotation, and AP shifting of the tibia. Tests were conducted according to the company's own testing regulation IMA-PV C/26, which corresponds to the standard ISO/WC 14243-3. The knee simulator Instron-Stanmore KS4 is a testing machine, which was especially developed to realize the requirements imposed by ISO/FDIS 14243-1. It simulates the four degrees of freedom: angle of flexion, axial load, axial torque, and AP force according standardized gait curves.

Evaluation parameters: Appearance of the surfaces examined by photos and SEM; measurements of roughness by a perthometer according to DIN 4768; gravimetric measurements of the PE-components in accordance with ISO 14243-2 regulations.

Results

No discoloration of the PE, laterally and medially sharply delimited contact areas in which the PE appears smooth and shiny. The SEM images made visible a pattern on the nonloaded regions and smoothness on the contact areas with some small isolated particles. Significant reduction of roughness of the contact areas. Fig. 5 shows the loss of mass dependent on loading cycles of the four PE plateaus TKR19, TKR20, TKR21, TKR22. TKR19 was not subjected to axial rotation for the first $2 \cdot 10^6$ cycles: Wear was not measurable. The mean wear rates of the other 3 test plateaus were: TKR20: $13.3 \text{ mg}/10^6$, TKR21: $8.5 \text{ mg}/10^6$, TKR22: $9.0 \text{ mg}/10^6$.

Discussion

Shape and extent of the tibial contact areas substantiated that the TKRs did roll during the stance phase. After $2 \cdot 10^6$ cycles the wear rates

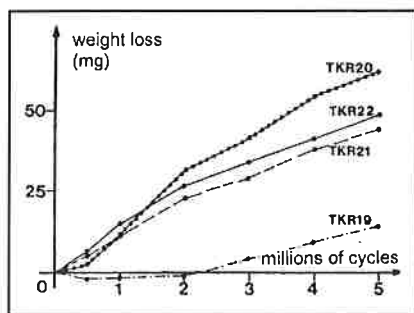


Fig. 5 ábra. A kopás (tömegvesztés, mg) változása az igénybevételi ciklusszám ($\times 10^6$) függvényében

appeared to achieve a steady state (Fig. 5) with $10.3 \text{ mg}/10^6$ (TKR20) and $7.0 \text{ mg}/10^6$ (TKR21 and TKR22). Steady state rates of 17 $\text{mg}/10^6$, 14.9, and 11.6 are reported in literature (3,4,5). Walker et al. (2000) have published wear curves for the Insall Burstein I and the Kinematic prosthesis. The data were received using the same test procedure with the same test machine "Instron-Stanmore KS4" as we have done for the specimen TKR22. Walker's data also suggested the existence of a steady state. Fig. 6 compares the results: The steady state wear rates of $14 \cdot \text{mg}/10^6$ (Kinematic) and $22.5 \cdot \text{mg}/10^6$ (IB-I) were two or three times higher than ours of the TKR22. In the KS4 machine we also tested two

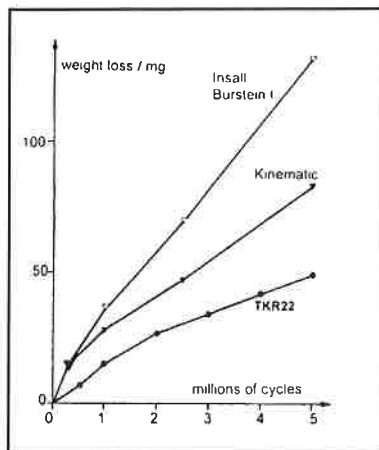


Fig. 6 ábra. Az Instron-Stanmore KS4 gépen, azonos program szerint mért kopás-görbe összehasonlítása az irodalomban közltekkel.

types of commercially available mobile bearings prostheses. They showed an increase in loss of mass by 45% and 60%, respectively, compared to TKR22. A prosthesis with rotational mobility showed the same loss. It is possible that this good result was obtained because axial loading was avoided – and axial loading is a main cause for wear production, as demonstrated with our specimen TKR19: No axial rotation, neglecting wear (Fig.5).

Conclusion

Despite the convex-convex curvatures of the lateral articulating pair – which, at the first glance, would lead one to expect considerable wear – our newly developed prosthesis yielded wear rates better than or at least as good as those of established prostheses. The new basic approach to solve the problem of friction kinematically and not only by the material pairing seems to have an excellent future.

References

- Zuppingen H (1904): Züricher Habil Schr Bergmann, Wiesbaden.
- Pinskerova et al (2001): In: Surgery of the knee. WB Saunders.
- Furman B. D., Li St. (1999): Society for Biomaterials: 25th Annual Meeting.
- Essner et al. (1996): Biomaterials Congress, Toronto.
- Johnson et al. (2001) Wear 250. Walker et al. (2000): Clin Orthop Rel Res, 372, 290-301

INTERNETFIGYELŐ

Büszkén értesítjük Önt, hogy megnyílt a
www.muszerbolt.hu

A Testor Kft. több száz hagyományos terméke közül válogathatnak, amelyet rövid időn belül szállítunk, a megszokott minőségben és garanciával.

Web áruházunkban a kiválasztott termékekből ajánlatot állíthat össze, kötelezettség nélkül, továbbá ezt ki is nyomtathatja.

Megrendelés esetén legalább 5%-kal olcsóbban vásárolhat,
szemben az irodai vásárlással (az áruházban lévő árak már tartalmazzák a kedvezményt).

Nyitási akció! Ajándékokkal kedveskedünk vásárlóinknak!

Amit itt nem találnak meg, keressék a www.testor.hu honlapon vagy hívják munkatársainkat a 319-1-319-es telefonszámon.

Kellemes böngészést kívánunk!

Szapannos György
Testor Kft.

Az Anyagvizsgálók Lapja az interneten

A www.anyagvizsgaloklapja.hu honlapunkon nemcsak a lapunkkal kapcsolatos tudnivalókról tájékozódhat, böngészheti és le is töltheti lapunk 13 évfolyamának teljes, témák szerint rendezett tartalomjegyzékét vagy előfizethet lapunkra, illetve megrendelheti hirdetését, hanem olvashatja – halmozottan visszamenőleg is – a lapunkban közölt cikkeket.

Továbbá, felhívjuk szíves figyelmüket a **Műszaki oktatók fóruma** menüpontra, amely máris megalakult, és célja ötletekkel, információkkal segíteni az anyagvizsgálatot, anyagtudományt oktató tanárok munkáját. Az e-fórumhoz az interneten csatlakozhat, megüzenheti véleményét a fórum tagjainak.

Szerkesztőbizottságunkkal pedig közvetlen kapcsolatot tarthat, elküldheti kéziratát, beszámolóját vagy hirdetését villámpostával a címünkre,

info@anyagvizsgaloklapja.hu

Ezúton is köszönjük lapunk iránti érdeklődését, véleményét!

Továbbra is szerkesszük, terjesszük együtt – most már elektronikusan is – az Anyagvizsgálók Lapját!

A szerkesztőbizottság

Az Instron alkalmazást bővítő fejlesztései

Az Instron Ltd., együttműködve vizsgálógépeinek használóival, folyamatos alkalmazást bővítő fejlesztést végez figyelembe véve a nemzetközi szabványok ajánlásait is. Hírlevelük a www.instron.com címen a hálón is olvasható. Tallózásunk során kigyűjtöttünk néhány újdonságot. Íme:

A 8870 szériaszámú, szervohidraulikus vizsgálórendszer

Az új, 8870 szériaszámú, szervohidraulikus gépcsalád (lásd a borító II., III. és címlapján) fejlesztésénél figyelembe vették mind a statikus, mind a dinamikus vizsgálati feladatok széles körének elvégzéséhez szükséges követelményeket, különös tekintettel a korszerű anyagok, a szerkezeti elemek és a biomechanikai eszközök vizsgálatára. De arra is tekintettel voltak, hogy a gépcsalád egyes tagjai kompakt felépítésűknél fogva egyaránt és egyszerűen telepíthetők legyenek laboratóriumi és üzemi környezetbe is.

A gépcsalád két tagja csak tengelyirányú húzó-nyomó erő kifejtésére alkalmas, nevezetesen a 8871 legnagyobb terhelhetősége, a választott erőmérőcellától függően, ± 5 és ± 10 kN; hidraulikai egysége 103 bar nyomású, míg a 8872 gép (lásd a BII. oldalon) legnagyobb terhelhetőség ± 10 és ± 25 kN; hidraulikai egysége pedig 207 bar nyomású.

A gépcsalád 8874 számú tagját (lásd a BIII. oldalon) összetett, tengelyirányú húzó-nyomó (max. ± 10 és ± 25 kN) és max. 100 N.m csavaró igénybevételre tervezték. Hidraulikai egysége 207 bar nyomású.

A dinamikus vizsgálatokra és az igénybevételi ciklusok pontos ismételtelhetőségére tekintettel a gépcsalád minden tagja – a korábban már sikerrel bevezetett – **Dynacell** dinamikus kompenzált erőmérőcellával van felszerelve, és a gépeket a **FastTrack 8800** elektronika vezérli, amely a beállított paraméterek szerint adaptív módon, automatikusan szabályozza az igénybevételi hurkot és az amplitúdót, azaz a vizsgált anyag válaszreakciójától függetlenül a terheléskép a beállított szerinti marad [Anyagvizsgálók Lapja 1998/3.]. A FastTrack 8800 egyaránt lehetővé teszi a tisztán hardveres interfész és a rugalmas, Windows alapú, FastTrack Console szoftveres interfész használatát. Ezért igényünk szerint választhatunk a FastTrack 8800LT, 8800 Desktop vagy Tower kivitelek közül. A vizsgálati feladattól függően a szoftverek széles választéka áll a felhasználók rendelkezésére.

A géptalp T-hornú, korrózió ellen védett (nikkelezett), asztalára fel-fogható a vizsgálni kívánt alkatrész, szerkezeti egység. Az asztalon körbefutó csatorna elvezeti az immerziós vizsgálatokhoz használt és esetleg kiömlő folyadékot.

A vizsgálógépek mindegyikén a vizsgálati feladatnak megfelelő befogót és egyéb tartozékot használhatjuk az Instron széles választékából. A speciális tartozékok között megtaláljuk a különféle vizsgálókamrákat, amelyekben alacsony vagy növelt hőmérsékleten (-150 és $+350^\circ\text{C}$ között), illetve folyadékba merítve (immerzió) vagy eltérő környezeti klímában végezhetünk vizsgálatokat (lásd a BII. oldalon).

A nagyobb helyigényű, például a klímakamrás vizsgálatokhoz 300 mm-rel magasabb terhelőkerettel is szállítják a gépeket.

A 8870 sorozatszámú, szervohidraulikus vizsgálógépekből jelenleg már több száz működik kielégítve az ipar, a gyógyászat vagy az űrkutatás igényeit.

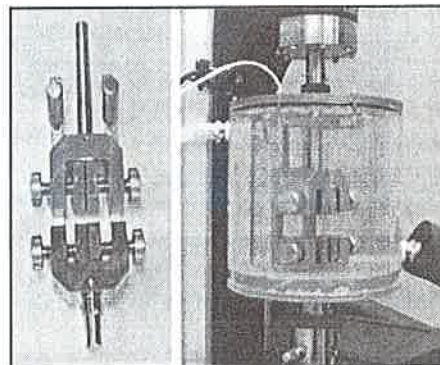
A gyógyászat a vizsgálógépek egyik gyorsan bővülő alkalmazási területe. A több szabadságfokú, összetett teherviselő protézisek, például a térdprotézis, vizsgálatához a 8874 sorozatszámú gép – a kiegészítő terhelőszervezettel – kiválóan alkalmas [Anyagvizsgálók Lapja 2003/1. p. 19.]. Hazánkban a Debreceni Orvostudományi és Egészségügyi Centrum biomechanikai laboratóriumában a közelmúltban helyezték üzembe az Instron 8874 vizsgálógépet, amelyen fiziológiai környezetben végezhetők biomechanikai vizsgálatok. A közeljövőben pedig a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen létesül biomechanikai laboratórium, amelynek egy Instron 8872 lesz az alapgépe.

A Dual-Station™ – a két mérőhelyes – ortopédiai vizsgálatotechnológia az Instron legújabb, a 8870 gépcsalád fázasztóvizsgálati rendszeréhez illeszthető fejlesztése. Alkalmazásával a járásban szerepet játszó, teherviselő protézisek kopása vizsgálható, mivel a megoldás szimulálja a járás természetes fiziológiáját. Az összehasonlító kopásvizsgálatot a FastTrack 8800 elektronika vezérli és a MAX szoftver értékeli. A kopást – a szabvány szerint – tömegvesztesség-méréssel (gravimetria) határozzák meg.

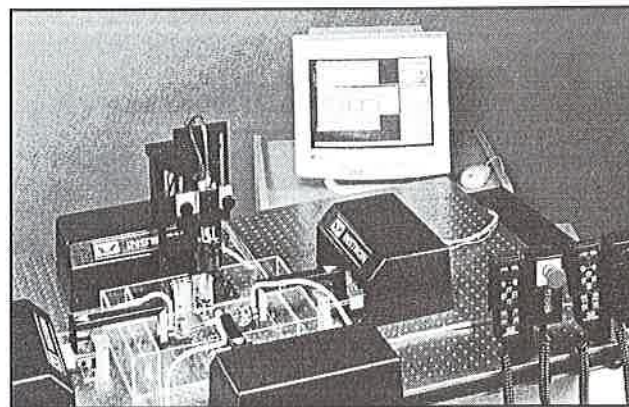
A BIII. oldalon látható ábra szerinti Dual-Station™ csípőszimulátor tartozékkal felszerelt 8874 szervohidraulikus géppel az ISO 14242-1, illetve az ASTM F1714 szabvány előírásai szerint vizsgálható a csípőimplantátum kopása. A szimulátor koptató illetve ellenőrző terében egy-egy csípőprotézist anatómiailag megfelelő helyzetben terhelik. A koptató térben a járásunk szerint változó tengelyirányú erő hatására a terhelőfej a csípőprotézis szárában 46° -os hajlító-nyújtó, $11,5^\circ$ -os ki-be és kismértékű kifelé-befelé mozgást generál in vivo feltételeket szimulálva és keringtetve a testnedvnek megfelelő, 37°C hőmérsékletű folyadékot, viszont az alatta levő ellenőrző térben csak a hajlító-nyújtó mozgás hat, de a koptató mozgás nem terheli a protézist.

Különösen a baleset okozta csonttörések rögzítéséhez használt különféle fémcsavarok, szegek és pántok tartósan az emberi testbe kerülő teherviselő elemek. Az új anyagok vagy szerkezeti megoldások alkalmazása előtt szükség van mechanikai (statikus és fázasztó-) vizsgálatokra is, mégpedig az in vivo feltételeket szimulálva.

Az emberi természetes testszövetek pótlására szánt mesterséges anyagok vizsgálatát is testünk fiziológiai környezetét szimulálva kell elvégezni. Az ilyen szövetminták sóoldatba merítve elvégezhető vizsgálatahoz az Instron, a vizsgálógép asztalára szerelhető, speciális befogóval ellátott, kettősfalú tartályt fejlesztett ki, amelynek falközi terében testhőmérsékleten tartott folyadék kering (1. ábra). Így a tartály sóoldat helyett egyéb biológiai folyadékkal is megtölthető. Az átlátszó műanyag tartály külső fala a hőszigetelő akrilból, míg a belső fala a jó hővezető pyrexből készül.



1. ábra

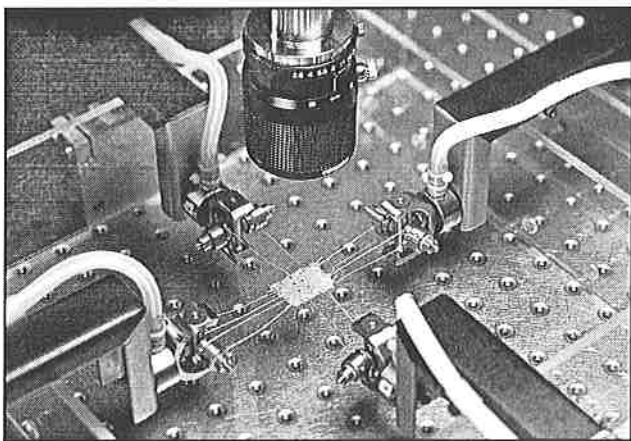


2. ábra

Célgépek a gyógyászati eszközök vizsgálatához

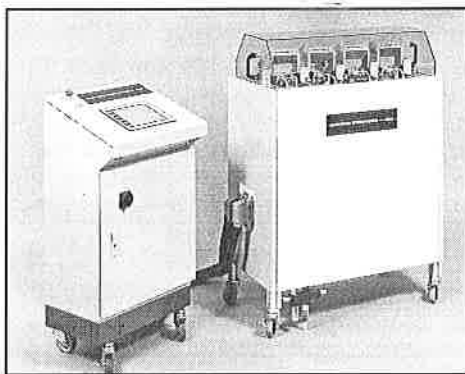
A **Planar-Biaxial System** mérőasztal elrendezésű vizsgálórendszert (2. ábra) lágy, természetes és mesterséges testszövetek mechanikai vizsgálatához fejlesztették ki együttműködve dr. Michael Sacks-szal, a Pittsburgh-i Egyetem munkatársával. A rendszert a FastTrack 8000 elektronika vezérli, mégpedig 5 kHz frekvenciájú hurokzárással. Az eredményeket a vezérlő szoftverje értékeli. A szövetek egy- és kéttengelyű terheléssel vizsgálhatók. A 2D alakváltozási állapotot a dr. Sacks-féle érintésmentes technikával rögzítik (3. ábra).

Az **Instron Stanmore simulator** a térdizületben kopást okozó igénybevételt és a természetest utánzó környezeti feltételeket és kenést valósítja meg, figyelembe véve az ISO ajánlásait. A négy mérőhelyes szimulátorban (4. ábra) a térdprotézisek összehasonlító kopásvizsgálata segíti a legjobb megoldások kiválasztását (lásd a 134. oldalon közölt cikket). A szimulátort a londoni University College Biológus-mérnök



3. ábra

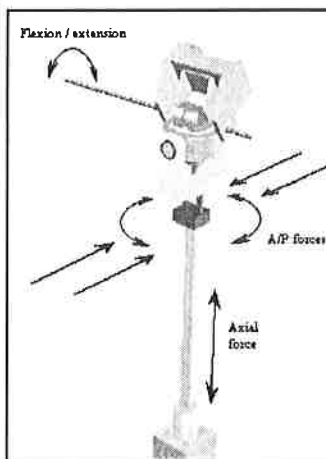
tanszéke fejlesztette ki együttműködve a Peter Walker professzor vezette Stanmore Royal National Orthopaedic Hospital-lal. A szimulátort az UCL – az Instron alapítá-



4. ábra

sú – vegyes vállalat gyártja és forgalmazza.

Az 5. ábra szerinti mozgások közül a hajlítás szögét villamos szervomotor, a tengelyirányú és az előre-hátra erőt, valamint a kifelé-befelé csavarást pne-



5. ábra

umatika vezérli. A mozgás ugyanakkor szabad a középső, ún. valgus síkokban. Mérhető jellemzők: a hajlítás szöge, a tengelyirányú és az előre-hátra ható erő és az elmozdulás, a kifelé-befelé csavarás és az elfordulás, a lágy szövetet visszahúzó erő és csavarás. Ha a kiterjedt kopás miatt a tengelyirányú és az előre-hátra mozgás egy nem kívánt értékre nő, akkor az érzékelő riaszt és leállítja a koptatógépet.

Lehofer Kornél

SZABVÁNYOSÍTÁS

Új, érvényes nemzeti szabványok

A Magyar Szabványügyi Testület által, a Szabványügyi Közlöny 2003/8–9. számaiban közzétett és szakterületünket érintő érvényes szabványok a következők:

01 Általános előírások. Terminológia. Dokumentáció

– MSZ EN 1330-10:2003; Roncsolásmentes vizsgálat. Fogalom-meghatározások. 10. rész: Szemrevételezéses vizsgálatban használt fogalmak.

– MSZ EN 13143:2003; Fémek és más szerves bevonatok. A porózitásra vonatkozó fogalom-meghatározások és megállapodások.

03 Szolgáltatások. Vállalatszervezés és irányítás

– MSZ EN 13306:2003; A karbantartás fogalom-meghatározásai

– MSZ EN 13980:2003; Karbantartás. Karbantartási dokumentumok.

– MSZ ISO/TR 10013:2003; Útmutató a minőségirányítási rendszer dokumentálásához.

23 Általános rendeltetésű mechanikus rendszerek és egységeik

– MSZ EN 14189:2003; Szállítható gáziparancok. Palackszelepek felülvizsgálata és karbantartása gáziparancok időszakos felülvizsgálatakor.

– MSZ EN 13175:2003; Cseppfolyósított szénhidrogén (LPG-t) tároló tartályok szelepeinek és szerelvényeinek előírásai és vizsgálata.

25 Gyártástechnika

– MSZ EN ISO 17653:2003; Fémek hegesztett kötéseinek roncsolásos vizsgálata. Az ellenállás-ponthegesztéssel készült kötés csavaróvizsgálata.

– MSZ EN ISO 17654:2003; Fémek hegesztett kötéseinek roncsolásos vizsgálata. Ellenállás-hegesztés. Ellenállás-hegesztéssel készült vonalvarrat nyomásprobája.

– MSZ EN ISO 17655:2003; Fémek hegesztett kötéseinek roncsolásos vizsgálata. Mintavétel-módszer a delta-ferit méréséhez.

77 Kohászat

– MSZ EN ISO 643-2:2003; Acélok. A szemcsenagyság metallográfiai meghatározása.

– MSZ EN ISO 3887:2003; Acélok. A dekarbonizálódott réteg mélységének meghatározása

– MSZ EN ISO 7539-6:2003; Fémek és ötvözetek korróziója. Feszültségkorróziós vizsgálat. 6. rész: Előrepszett próbatestek készítése és használata állandó terhelésű vagy állandó elmozdulású vizsgálatokhoz.

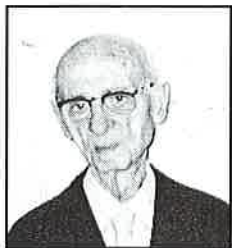
79 Faipar

– MSZ EN 326-2:2003; Fa alapanyagú lemezek. Mintavétel, próbatestek kialakítása, vizsgálat. 2. rész: Minőség-ellenőrzés az üzemben.

91 Mélyépítés

– MSZ EN 12697-6,-8,-15,-32,-36:2003; Aszfaltkeverékek. Meleg aszfaltkeverékek vizsgálati módszerei. 6. rész: Aszfalt próbatestek testsűrűségének meghatározása. 8. rész: Aszfalt próbatestek hézagjellemzőinek meghatározása. 15. rész: A szétosztályozódási hajlam meghatározása. 32. rész: Aszfaltkeverékek laboratóriumi tömörítése vibrátorral. 36. rész: Az aszfaltburkolat vastagságának meghatározása.

Nemzeti szabványok visszavonása. A Szabványügyi Közlöny 2003 októberi számát érdemes átböngészni, mivel számos festékbevonatok és bevonatrendszerek, lakkgyanták és textilipari termékek vizsgálatára (felvilágosítást ad: Horváth Szép Mihály, tel.: 456-6854), továbbá számos analitikai célú vegyszerre és vegyipari termékre (felvilágosítást ad: Papp Józsefné dr., tel.: 456-6857) vonatkozó szabványt visszavontak.



Kajdi Gyula (1911 – 2003)

Gyula bácsi, az anyagvizsgálók doyenje, aki nyugdíjas éveiben is mindvégig aktív volt és szakkönyvekbe sűrítve adta tovább tapasztalatait szakmai közösségünknek, 2003. május 10-én, életének

92. évében csendben itt hagyott minket. Családja gyászában osztozva kísértük utolsó útjára az Új köztemetőben.

Kajdi Gyula a Baranya megyei Szentlőrincen született 1911. november 14-én, de mozdonyvezető édesapját Felvidékre helyezték, így Trianon után vasúti vagonlakókként menekültek Érsekújvárról Budapestre – tudtuk meg életútja részleteit a 80. születésnapján lapunknak adott interjúból. Tanulmányait a budapesti Állami Felsőipariskola (ma Budapesti Műszaki Főiskola Bánki Donát Gépészmérnöki Főiskolai Kar) fém-vasipari szakosztályát 1931-ben elvégezve fejezte be.

Első munkahelye a Mika Tivadar Rézárú Gyár Rt-nél volt 1934-ig, majd a Ganz és Társa Rt. vagongyárának szerkesztési osztályára került, ahol az Argentínába szállított motorvonatok rajzait készítette. Főnöke Báránszky-Jób Imre volt. Abban az időben a Ganz-gyári motorvonatok képviselték a világszínvonalat.

1935-38 között a Gyúrosovics irodában dolgozott, ahol épületgépészeti terveket készített. Az elvégzett munkák között volt a szegedi és a budapesti OTI kórház, a Mester utcai OTI rendelő (itt terveztek először padlófűtést), Budapesten az egyik Madách-ház és a Margit krt. 29. lakóház, a MABÍ balatonlellei üdülője, Kárpátalján a csendőrlaktanya, az OTI pestújhelyi tüdőkórház 16 pavilonjának központi fűtése (később szovjet kórház lett).

1938 végétől a Fémáru, Fegyver és Gépgyár szerkesztési osztályán vállalt munkát. A száraz gázmérő gyártási művelettervét készítette el (korábban a gázmérők vizes rendszerűek voltak). Majd egyfajta automatikus gázlámpagyújtó szerkezetnek a gyártás-előkészítését végezte.

Ezen előzmények után, 1939-ben a MÁVAG gyár műszaki ellenőrzési osztályára került, ahol akkor alakult az anyagvizsgáló részleg, amelyet Szécsi László vezetett. Lassan megszűnt a gőzmozdonygyártás, helyette kazánokat gyártottak. Itt alkalmazták először a villamos hegesztést a korábbi szegecseles helyett. Gyártottak repülőgépeket, harckocsikat, terepjáró teherautókat, légvédelmi ágyúba lövedékeket. Még folyt Budapest ostroma, mikor a szovjet alakulatok már megszállták a gyárat. A szovjet katonák elfogták a gyárba bejövőket, és Gödöllőre vitték őket. A gyári készletekből a motorokat ötágú csillaggal és CCCP jellel kellett ellátni. A dolgozók megtették, de cserébe a foglyok szabadon bocsátását kérték. Köztük volt többek között Mester István, a diósgyőri acélmű vezető mérnöke. Mester István néhány hétig a MÁVAG-ban dolgozott és betanította a szövetszervezet vizsgálatokat, mert addig ott nem volt metallográfia. Mester később a Vasipari Kutató Intézet egyik vezetője lett.

A háború után megkezdődött az újjáépítés. Kajdi Gyulát 1950-ben kinevezték az Anyagvizsgáló Osztály vezetőjének és ezt a beosztását az 1971-es nyugdíjazásáig megtartotta.

1950-ben szovjet parancsrendelésre megkezdtek az OJO típusú gőzmozdony gyártását, amelyből 1300 darabot szállítottak a Szovjetunióba. A több ezer tonnányi kazánlemez Németországban rendelte meg a Metalimpex, és ezek gyártásának és minőségének ellenőrzésével a MÁVAG-ot bízta meg. Kajdi Gyula 1950 és 1956 között hétszer dolgozott Németországban, többnyire a Mannesmann

AG-nél, Duisburgban. Kinttartózkodását szakmailag jól hasznosította: „A munkák szünetében elutaztam Kölnbe, ahol meglátogattam a fiatal Krautkrämer céget. Egy családi ház pincéjében dolgoztak a Robert Koch Strassén, és éppen a lemezvizsgáló ultrahangkészüléket fejlesztették. Ezzel sikerült gyorsan és biztonságosan kimutatni az acéllemezek rétegződési hibáit. Hazaérkezésem után a MÁVAG-nak is rendeltem egy készüléket.(...) De az essen Haus der Technikben a Krautkrämer ultrahang tanfolyamát is látogattam” – nyilatkozta Gyula bácsi.

Kajdi Gyula a mérnökegylettel már 1934-ben kapcsolatot tartott. A háborút követő átszervezések után 1951-ben belépett az OMBKE-be, de 1956-ban érdeklődési köre a roncsolásmentes anyagvizsgálatok felé vitte, ezért átlépett a GTE-be. Alapító tagja volt az Anyagvizsgáló Szakosztály ultrahangos szakbizottságának. Itt főleg szabványosítással foglalkoztak. Elkészítette a Szabványügyi Hivatal megbízásából a Fémek ultrahangvizsgálata MSZ 7863-77 szabvány tervezetét. Folyamatosan képezte magát. Részt vett a Mérnöki Továbbképző Intézet előadás-sorozatain is.

A GTE Anyagvizsgáló Szakosztálya 1958-ban rendezte az első, majd háromévenként ismétlődő, nemzetközileg is jegyzett kongresszusait. Ennek egyik szekciója a roncsolásmentes anyagvizsgálat volt, amely gyorsan fejlődő fénykorát élte. Tudományos felfedezések, találmányok születtek, amelyek kiterjedtek az ultrahang, az örvényáramos, a mágneses, a radiológiai és más vizsgálatok területére. 1970-ig minden kongresszuson részt vett. Az egyesület felvette a kapcsolatot a roncsolásmentes anyagvizsgálók nemzetközi szövetségével, az ICNDT-vel. 1970-ben, az ICNDT 6. kongresszusán Kajdi is részt vett a GTE hivatalos kiküldöttjeként dr. Réti és dr. Konkoly társaságában.

Meg kell említeni, hogy 1952-ben az Institut Dr. Förster rendezett kongresszust Reutlingenben. Kajdi itt ismerkedett meg dr. Försterrel, aminek örvényáramos könyve írásakor nagy hasznát vette. Aktív ideje alatt mindennapi feladatainak ellátása mellett könyvek írásával nem tudott foglalkozni.

1976-ban jelent meg Szaneltnér Frigyes szerkesztésében a *Gépipari mérnök szakkönyve*, amelynek *Anyagvizsgálat* fejezetét Kajdi írta. A könyv 4300 példányban készült és két hét alatt minden könyv elkelt.

1984-ben az *Anyagvizsgálat mágneses és folyadékbehatolásos módszerekkel* című könyvét a Műszaki Könyvkiadó jelentette meg (A/5, 1-178 old.). Magyar nyelven ez volt az első ilyen tárgyú könyv. 1986-ban jelent meg a *Válogatott fejezetek az anyagvizsgálat köréből* (A/4 1-74 old.), majd 1990-ben az *Anyagvizsgálat örvényáramokkal* című könyvét – dr. Förster gratuláló soraival – a Szakmai Továbbképző és Átképző Vállalat adta ki (A/5 1-271 old.). Ugyancsak 1990-ben készül kézirat gyanánt az *Anyagvizsgálat hőelektromossággal* című tanulmánya (A/4 1-41 old.), amelyet, rövidített tartalommal, az Anyagvizsgálók Lapja 3. évf. 2. számában 1993-ban cikk formájában közölt. 1993-ban *A budapesti Állami Felsőipariskola* címen, kézirat gyanánt írt tanulmányt (A/4 1-40 old.). A felsorolt művekből a Bánki Donát Műszaki Főiskola 1-1 példányt kapott.

Élete végéig figyelemmel kísérte az anyagvizsgálat területén történő fejlődést, a GTE munkáját. Szakmatörténetünket formáló életútja pályakezdő fiataljaink számára is példaértékű.

Lehofer Kornél

 AGMI Anyagvizsgáló és Minőségellenőrző Rt. Oktatásszervezési Osztály 1211 Budapest, Gyepos u. 1. Tel.: 278-0755, Fax: 278-0756		
ANYAGVIZSGÁLÓ SZAKKÉPESÍTŐ ÉS MINŐSÍTŐ TANFOLYAMOK 2004-ben, OKJ 53 5401 01		
Tanfolyam típusa	1. szint/ időtartam, nap	2. szint/ időtartam, nap
Ultraszagos anyagvizsgáló (UT)	jan. 12./15	febr. 9./18
Örvényáramos anyagvizsgáló (ET)	febr. 9./10	márc. 29./18
Radiográfiai anyagvizsgáló (RT)	febr. 9./18	márc. 8./18
Mágneses anyagvizsgáló (MT)	jan. 26./8	febr. 23./10
Folyadékbehatolásos anyagvizsgáló (PT)	jan. 26./8	febr. 23./8
Vizuális anyagvizsgáló (VT)	jan. 26./7	febr. 23./8
Tömörégi anyagvizsgáló (LT1 és 2)	A 10 napos tanfolyamokat 15 jelentkező esetén indítjuk.	
Röntgenselektív anyagvizsgáló (VAT1 és 2)	A 10 napos tanfolyamokat 15 jelentkező esetén indítjuk.	
Mechanikai anyagvizsgáló	ápr. 5./13	ápr. 26./15
Metallográfiai anyagvizsgáló	ápr. 19./15	máj. 17./15
EUROPÁI HEGESZTÉS FELÜGYELŐ (ewIP) KÉPZÉSEK 2004-ben		
Europai hegesztés felügyelő mérnök (EWI-E), 33 napos	A tanfolyamokat 15 jelentkező esetén indítjuk.	
Europai hegesztés felügyelő – technológus (EWI-T), 33 napos	A tanfolyamokat 15 jelentkező esetén indítjuk.	
Europai hegesztés felügyelő – specialista (EWI-S), 21 napos	A tanfolyamokat 15 jelentkező esetén indítjuk.	
Europai kiemelt hegesztés – felügyelő (EWI-P), 15 napos	A tanfolyamokat 15 jelentkező esetén indítjuk.	
BIZTONSÁGTECHNIKAI TANFOLYAMOK 2004-ben		
Alapfokú sugárvédelmi, 2 napos	A tanfolyamokat febr. 9-én, illetve jún. 7-én indítjuk.	
Bővített fokozatú sugárvédelmi, 3 napos	A tanfolyamokat febr. 9-én, illetve jún. 7-én indítjuk.	
Sugárvédelmi továbbképző: alap (2 napos), ill. bővített (3 napos)	A tanfolyamokat febr. 9-én, illetve jún. 7-én indítjuk.	
Bővített fokozatú sugárvédelmi továbbképző (radiográfiai anyagvizsgálók részére), 4 napos	márc. 8.	
MÉRÉSÜGYI KÉPZÉSEK 2004-ben		
A metrologia alapjai, 3 napos	ápr. 5.	
Metrologia, 3 napos	ápr. 12.	
NYOMÁSTARTÓ- ÉS TARTÁLYTECHNIKAI TANFOLYAMOK 2004-ben		
Tartályvizsgáló, 10 napos	A tanfolyamokat febr. 9-én, illetve május 10-én indítjuk.	
Tartályvizsgáló "C" modul, 3 napos	A tanfolyamokat febr. 9-én, illetve május 10-én indítjuk.	
Tartályvizsgáló "C" modul + "A" kiegészítő, 5 napos	A tanfolyamokat febr. 9-én, illetve május 10-én indítjuk.	
Tartályvizsgáló újraindító, 3 napos	febr. 2. és máj. 3.	
Nyomástartóedény-gépész, OKJ 32 5252 04; 28 napos	15 jelentkező esetén	
MINŐSÉGIRÁNYÍTÁSI KÉPZÉSEK 2004-ben		
Minőségellenőrző, OKJ 51 5401 01; 10 napos	jan. 05.	
Minőségbiztosítási felülvizsgáló és tanúsító, OKJ 53 5401 05; 10 napos	máj. 24.	
JÁTSZÓSZER SZAKEMBER KÉPZÉSEK 2004-ben		
Játszószerszám gyártó, 10 napos	A tanfolyamokat jan. 12-én, illetve máj. 31-én indítjuk.	
Játszószerszám forgalmazó és telepítő, 10 napos	A tanfolyamokat jan. 12-én, illetve máj. 31-én indítjuk.	
Játszószerszám lenyomat, 11 napos	A tanfolyamokat jan. 12-én, illetve máj. 31-én indítjuk.	
Játszószerszám menedzser, 15 napos	A tanfolyamokat jan. 12-én, illetve máj. 31-én indítjuk.	
EGYEB TANFOLYAMOK 2004-ben		
Környezetvédelmi szakfeladatok, OKJ 53 5470 03; 40 napos	15 jelentkező esetén	
Emelőgép-üzemeltető, OKJ 53 5483 01; 10 napos	15 jelentkező esetén	
Értékesítési menedzser, 10 napos	15 jelentkező esetén	
AKTUÁLIS ÚJDONSÁGAINK 2004-ben		
Anyagvizsgáló továbbképzés: Digitális analízis a metallográfiában, 1 napos, 10 jelentkező esetén	10 jelentkező esetén	
HŐKEZELÉSI ISMERETEK		
Továbbképzés	Fémfizikai alapok ("A modul") 3 napos	10 jelentkező esetén
	Hőkezelés-technológia ("B modul") 4 napos	10 jelentkező esetén
	Minőség-ellenőrzés, -irányítás ("C modul") 3napos	10 jelentkező esetén
	A+B+C modul együtt 10 napos	10 jelentkező esetén
Korszerű hőkezelési technológiák		
	Hőkezelés a gyártástechnológiában ("A modul") 3 napos	10 jelentkező esetén
	Korszerű hőkezelés-technológiák ("B modul") 4 napos	10 jelentkező esetén
	EU csatlakozás és a hőkezelés ("C modul") 1 napos	10 jelentkező esetén
	A+B+C modul együtt 8 napos	10 jelentkező esetén
SPECIÁLIS KÉPZÉS cégek részére, kihelyezett formában: Autóipari méréses s minősítéses vizsgálatok		
Aktuális rendezvényeinkről tájékozódhat honlapunkról is: http://www.agmi.hu		
RENDEZVÉNYEK		
Képzéseinket megfelelő létszám esetén indítjuk. Amennyiben egy képzésre a jelentkezők száma a minimális (10 fő) vagy a megjelölt létszámot meghaladja a tanfolyam díjából minden megrendelőnk részére árengedményt adunk.		
A tanfolyamok helye: AGMI Rt. Anyagvizsgáló Épület (1211 Budapest, Gyepos u. 1.)		
Szállás és étkezés: igény szerint biztosítunk		
Szakkezelési hozzájárulás: Képzéseink az OKÉV által nyilvántartásba kerültek, így a tanfolyami költségek elszámolása kérelmezhető a szakkezelési hozzájárulás terhére.		
KIHELYEZETT TANFOLYAMOK, KÉPZÉSEK, RENDEZVÉNYEK SZERVEZÉSE.		
Részletes tájékoztatás: AGMI Rt. Oktatásszervezési Osztály (1751 Budapest, Pf. 114.)		
Tel.: (06-1) 425-0761, (06-1) 278-0755 Fax: (06-1) 278-0756 Honlap: http://www.agmi.hu		
E-mail: agmimin@axelero.hu Czudarné Mikus Erzsébet osztályvezető		


**OKTATÁS ÉS RENDEZVÉNY SZERVEZŐ,
ADATSZOLGÁLTATÓ ÉS KIADVÁNYGONDOZÓ BT.**
 Kamarai azonosító: 345597; Regisztrációs szám: 01-0166-98
 1752 Budapest, Pf.101 • Tel.: 402-4098 • Fax: 402-4099
 Mobil: 06-20-958-2659 • E-mail: orszak@axelero.hu

Az ÉMI-TÜV Bayern Kft. által MS 00124-056 számon MSZ EN ISO 9001:2001 szerint tanúsított képző intézmény.

Az ORSZAK BT. a 2004 tavaszi időszakban roncsolásmentes anyagvizsgáló (RmAv) tanfolyamokat szervez az eljárások széles skáláján, és egyszerre nyújtja mind az 50/1999. (IX.10.) GM. rendeletben előírt OKJ-s bizonyítványt, mind az EU-ban elismert MSZ EN 473 szabvány szerinti tanúsítványt. Az RmAv tanfolyamok alapozó tárgyait – anyagvizsgálat, anyag- és gyártásmérlet – előzetesen kell elsajátítani az alapozó tanfolyamokon, illetve a mentesítést adó szakirányú felsőlóki végzettséggel, vagy az érvényes anyagvizsgáló képesítést a bizonyítvány lényegével igazolni kell. Tanfolyamaink hallgatói nyomtatott jegyzeteket, az érvényes szabványok listáját, az MHE tematikáit és vizsgakérdéseit, valamint ebédet kapnak a szorgalmi időszakban. Kérésre szállást is biztosítunk félpanzióval (kétágyas, fürdőszobás szoba, reggeli, vacsora).

Segítségét adunk az MSZ EN 473:2001 szabvány szerinti csoportosításban a termék szektorok (c, f, w, wp, l, ...) és a belüli felépítési ipari szektorok megválasztásához, tájékoztatunk az 1. és 2. szintű roncsolásmentes anyagvizsgáló tanfolyamra való jelentkezés feltételeiről (alapozó tanfolyam, orvosi alkalmasság, alapképzettség, gyakorlati idő, felmentések). Kívánságra jelentkezési lapot és a tanfolyamok részletes programját elküldjük.

Célunk, hogy tanfolyamaink hallgatói jól elsajátítsák az adott eljárás elméletét és gyakorlati fortélyait. Ennek érdekében tanfolyamaink 3. vagy 2. szintű képesítéssel és nagy gyakorlati rendelkezéssel előadók oktatnak, a gyakorlati foglalkozások MSZ EN ISO/IEC 17025 szerint akkreditált vizsgálati laboratóriumokban folynak. A tanfolyamok legeredményesebb hallgatóit hasznos anyagvizsgáló eszközöket tartalmazó csomaggal ajándékozunk meg.

AZ Rm ANYAGVIZSGÁLÓ TANFOLYAMAINK PROGRAMJA
 A tanfolyam- és vizsgaköltség a szakképzési hozzájárulás terhére elszámolható!

Alapozó tanfolyam az 1. szinthez: jan. 5-6.
 Alapozó tanfolyam a 2. szinthez: febr. 23-24.
 Tömörésgvizsgáló LT-1: febr. 16-25., vizsga febr. 26-27.
 Tömörésgvizsgáló LT-2: kondicionáló febr. 2-5.
 Rezgéselemző VAT-2, az SKF Rt-vel közösen ápr. 14-23., vizsga: ápr. 24-25.
 Mágneseshető poros MT-1: jan. 7-9., vizsga jan. 20-21.
 Folyadékbehatolásos PT-1: jan. 12-14., vizsga jan. 20-21.
 Vizuális VT-1: jan. 15-19., vizsga jan. 20-21.
 Ultraszagos UT-1 (Krautkrämer, Sonatest, Panametrics): jan. 26 – febr. 1., vizsga febr. 12-13.
 Mágneseshető poros MT-2: febr. 25-27., vizsga márc. 9-10.
 Folyadékbehatolásos PT-2: márc. 1-3., vizsga márc. 9-10.
 Vizuális VT-2: márc. 4-8., vizsga márc. 9-10.
 Ultraszagos UT-2 (Krautkrämer, Sonatest, Panametrics): márc. 16-25., vizsga márc. 26-27.
 Akusztikus emissziós AET-2 újraindító ápr. 5-14., vizsga ápr. 15-16.
 Kondicionáló tanfolyamok: UT-2 dec. 8-11. (jelentkezés nov. 21-ig) és RT-2 bővített sugárvédelmi ismerettel jan. 12-16. (jelentkezés dec. 19-ig. A 16/2000. (VI.8.) EÜM rendelet szerinti bővített sugárvédelmi tanfolyam és vizsga magában is teljesíthető). A tanfolyamok helyszíne: Dunaföldvár, Hídó Panzió (panzió, kétágyas, zuhanyzóülőkés elhelyezés).
 A kondicionáló tanfolyamokat az 1998-ban 2. szintű vizsgát tett kollégáknak ajánljuk. A foglalkozásokon felrészítjük a szakma alapjait, ismertetjük az elmúlt években megjelent szabványokat, (MSZ EN, MSZ EN ISO...) és az új vizsgálati eljárásokat, vizsgáldanyagokat, -eszközöket és -készülékeket. Segítségét nyújtunk a tanúsítványaik meghosszabbításához.
 Legalább 6 fő jelentkezése esetén induló tanfolyamok: Színképelemző SPT-1, SPT-2 (acél, színesfém); Akusztikus emissziós AET-1, AET-2 és Örvényáramos ET-1, ET2 szakokon.
 Vállalatok, társaságok részére kihelyezett tanfolyamokat, speciális igényeket kielégítő képzési formákat is szervezünk – nemcsak anyagvizsgálóknak! – hanem: tartályvizsgáló és -mentesítő berendezési vizsgálat, minőségellenőrző, minőségbiztosítási felülvizsgáló és tanúsító, kisgép-, könnyűgép- és nehézgépkezelő szakokon.
 Tanfolyamaink évről-évre azonos időszakban szervezzük, kurzusaink már 5-6 jelentkező esetén is elindulnak, ezért velünk évről-évre előre tervezhet!

Küldjön egy névjegykért, és kérje részletes ismertető füzletünket!
 Forduljon hozzánk bizalommal!

 Szűcs Pál
 Dénes Gábor

Hazai rendezvények 2004-ben

9. Országos törésmechanikai szeminárium áprilisban Miskolcon. Tájékoztató kérés: Lenkeyné Bíró Gyöngyvér, BayLogi, tel.: 46/560-118.

Gépészet 2004 – 4. országos gépészeti konferencia és kiállítás. Kiemelt téma: *anyagtechnológia*. Május 27-28., Budapest, BME. A jelentkezési lap, és a legfeljebb 300 szavas magyar nyelvű összefoglaló beküldésének határideje 2003. december 12. Cím: BME Gépészmérnöki Kar Dékáni Hivatal, Gépészet 2004. 1525 Budapest Pf. 91. Részletes információk a www.gepeszet.bme.hu honlapon olvashatók. Tájékoztató kérés: a gepeszlet2004@gepesz.bme.hu e-mail címen.

Első Magyar Biomechanikai Konferencia a BME Biomechanikai Kutatóközpont szervezésében. Június 11-12. Az információk a Kutatóközpont Weblapjáról (<http://www.bio-mech.bme.hu/>) elérhetők. Jelentkezés a szervezőknél: Dr. Bojtár Imre igazgató (ibojtar@mail.bme.hu), vagy dr. Borbás Lajos (borb@kge.bme.hu) laborvezető.

Nemzetközi rendezvények 2004-ben

Sensore und Meßsysteme 2004, 12. GMA/ITG Fachtagung, március 15-16., Ludwigsburg, Németország. Tájékoztató kérés: Frau Annemarie Ringelmann, VDI/VDE-GMA, Postfach 101139; Fax: +49 (0) 211 6214-161; E-Mail: ringelmann@vdi.de.

3rd Youth Symposium on Experimental Solid Mechanics, május 12-15., Porretta Terme (BO) Olaszország, Bologna. Jelentkezés: dr. Borbás Lajos: borb@kge.bme.hu. Részletek a <http://www.imeko.ing.unibo.it/Yseem/Silo%20Yseem%202004/Index.html> honlapon.

Int. Conf. on Experimental Mechanics, ICEM 12., augusztus 29- szeptember 4., Bari,

Olaszország. Jelentkezés a <http://www.icem12.poliba.it> honlapon keresztül, vagy dr. Borbás Lajosnál: borb@kge.bme.hu.

7 ICMBFF – 7th Int. Conf. on Biaxial/Multiaxial Fatigue & Fracture, 2004. június 28-30., Berlin, a BAM intézet kongresszusi központjában. Szervezők: ESIS és DVM. Témakörök: terhelés, törésmechanika, anyagok és vizsgálatok, alkalmazások. Kiállítást is szerveznek. Az angol nyelvű előadaskivonatokat a szervezőkhöz küldjék: DVM Mrs. Ingrid Maslinski, Unter den Eichen 87, D-12205 Berlin, Tel.: +49-30-811 30 66, Fax: +49-30-811 93 59, e-mail: office@dvm-berlin.de vagy icbmf@bam.de; home page: www.dvm-berlin.de.

16th World Conf. on Non-Destructive Testing, 2004. augusztus 30. – szeptember 3., Montréal, Kanada. A konferencia titkársága: Events International Meeting Planners Inc., 759 Square Victoria, Suite 300, Montréal, Québec, Canada H2Y 2T7, tel.: +1(514)286-0855; fax: +1(514)286-6066; e-mail: info@eventsinl.com; website: www.wcndt2004.com.

26th European Conf. on Acoustic Emission, 2004. szept. 15 – 17., Berlin, Németország. Részletek a www.dgzfp.de honlapon olvashatók.

21. Danubia-Adria Symposium – kísérleti mechanika, szeptember 29. – október 2., Brioni/Pula, Horvátország. Az előadás leadási határideje a www.studiohr.hr/21danubia-adria honlapon megadott követelmények szerint: 2004. április 15. Jelentkezés: dr. Thamm Frigyes: thamm@mm.bme.hu, vagy dr. Borbás Lajos: borb@kge.bme.hu.

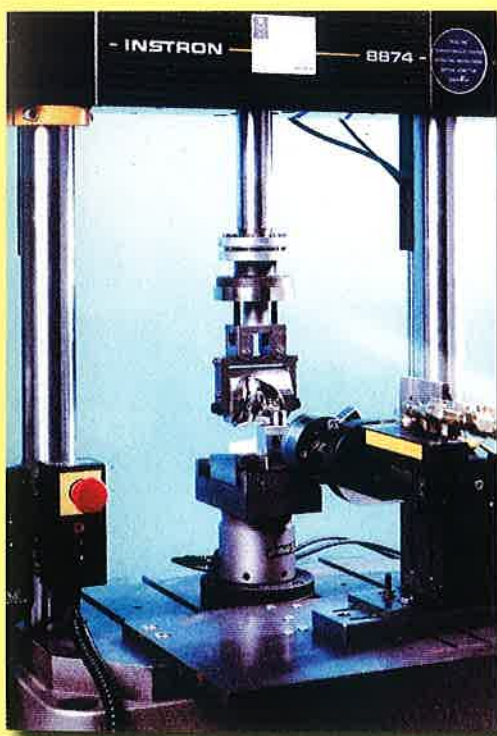
21th symposium on experimental mechanics of solids, október 13-16., Jachranka (Varsóhoz közel), Lengyelország. Előzetes jelentkezés előadással és/vagy kiállítással 2004. január 31-ig a szervezőbizottság címén: Pawel Pyrzanowski, Ph.D., Institute of Aeronautics and Applied Mechanics Warsaw University of Technology, Nowowiejska 24, 00-665 Warszawa, Poland



Gépeivel szakszerűen végezhet
biomechanikai vizsgálatokat
in vivo feltételeket szimuláló
környezetben

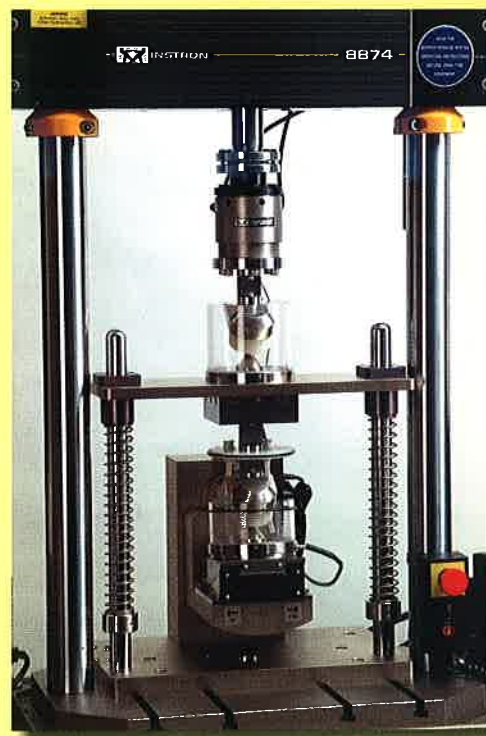
esély a teljes életre

bőrszövet vizsgálata
sóoldatban



térdprotézis
vizsgálata
háromtengelyű
igénybevétellel

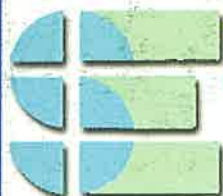
két vizsgálóhelyes
kopásvizsgálat
csípőprotézisen



Forgalmazza: **TESTOR**

www.testor.hu

♦ 06 (1) 319 1 319
06 (30)



Zwick / Roell anyagvizsgáló berendezések

A Zwick / Roell csoport roncsolásos anyagvizsgáló berendezései. Tervezésükkor a rendkívüli precizitáson kívül a könnyű kezelhetőség és a hosszú élettartam a legfontosabb szempont.



- **Szakítógépek:** húzó-, nyomó-, hajlító vizsgálatokhoz, 1N-től 3000kN-ig. Professzionális szoftverháttér a könnyű kezelhetőség érdekében.



- **Keménységmérők:** minden skálán, telepített és hordozható kivitelben, számítógép csatlakozással.

- **Meltindex mérők:** egyszerű, olcsó kivitel a ritka de precíziós mérésekhez, automatikus berendezés a sorozatmérésekhez.



AHLBORN - maximális flexibilitás a mérés technikában

Mérő- adatgyűjtő rendszerek fizikai, kémiai, villamos mennyiségek mérésére

Rugalmas, igényre szabható mérés technikai megoldások.

A műszerekhez nagy szenzorválaszték kapható, de illeszthető saját érzékelő is.

Egy csatornától több százig, kéziműszertől a mérőhálózatiig.

Speciális szenzorok műanyag és gumiipari területre!

Hőmérséklet, páratartalom, légsebesség, pH, elmozdulás, stb.



Precisa Mérlegek: félmikro-, analitikai-, laboratóriumi és ipari kivitelben (0,01 mg - 60 kg), nedvességhatározók



**2 év
garancia**



**Akkreditált
mérlegkalibráló
laboratóriumot
üzemeltetünk!**



Laboratóriumi készülékek, mágneses keverők, keverőmotorok, kén-, higany- és arzén meghatározó, gyúró készülékek, laborreaktorok, rotációs viszkoziméterek stb.



Forgalmazás, márkaszerviz, szaktanácsadás:

Senselektro Kft.

1064 Budapest,
Vörösmarty u. 33.

Tel. (36-1) 351-43-17; Tel./fax: (36-1) 342-79-82;

Email: senselektro@interware.hu

Honlap: www.nexus.hu/senselektro

Senselektro Kft.