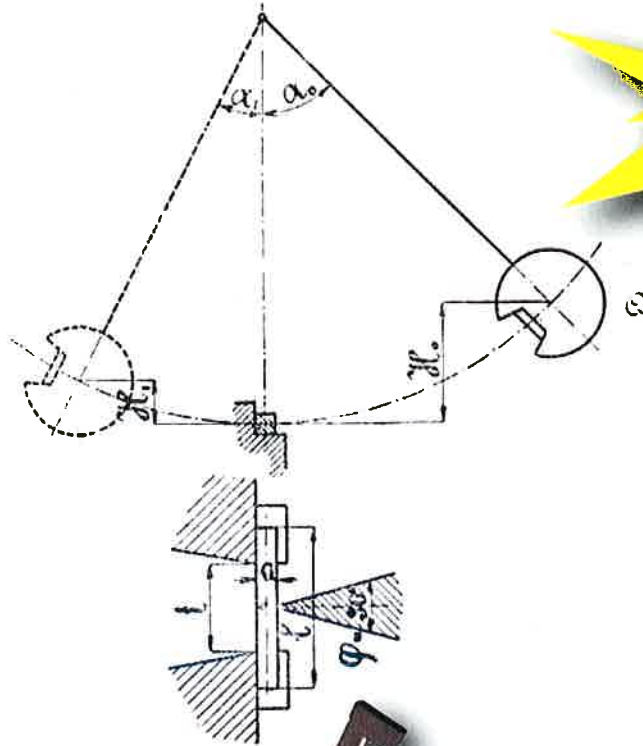


# ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

MINŐSÉGBIZTOSÍTÁS • ÁLLAPOTELLENŐRZÉS

1901



11. ÉVFOLYAM  
3. SZÁM  
2001.

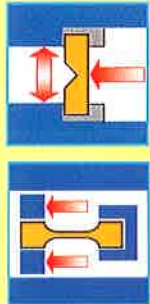


2001

Charpy-centenárium

## Resil Impactor ingás ütőmű család

– igény szerint felszerszámozva, műszerezve –  
műanyagok, kerámiák és egyéb anyagok



Charpy- vagy

Izod-ütőhajlító vizsgálatához

dinamikus szakítóvizsgálatához



Energiatartomány: 1–25 J vagy 1–50 J

Számítógépes adatfeldolgozás, adatgyűjtő és kiértékelő szoftverek  
Tartozékok a szívós-rideg átmeneti hőmérséklet meghatározásához:



### Cryobox hűtőkamra

Hűtőközeg: folyékony nitrogén

Hőmérséklet-tartomány: - 50 ... + 20 °C



### Cryomatic hűtő-fűtő kamra

kézi manipulátorral

Hőmérséklet-tartomány: - 70 ... + 100 °C



**Resilvis automatizált ingás ütőmű**  
vizsgálórendszer a különböző anyagok azonos  
méretű próbatestjeinek azonos feltételek szerinti  
sorozatvizsgálatához.

Együttkezelhető 500 db próbatest.

A próbatestek méreteinek és hőmérsékletének  
egyedi mérése.

Hőmérséklet-tartomány: - 70 ... + 100 °C

**TESTOR Kft.**

Budapest XII., Meredek u. 33. · 1538 Budapest, Pf. 528. · Tel.: 319-1-319 · Fax: 319-2284

www.testor.hu · info@testor.hu

## ANYAGVIZSGÁLÓK LAPJA

### Szerkesztőség:

a kiadó **TESTOR Kft.** címén  
Budapest XII., Meredek u. 33.  
**1538 Budapest, Pf. 528.**

Telefon: 319-4782

Telefax: 319-2284

E-mail: info@testor.hu

Internet: www.testor.hu

Felelős szerkesztő:

**dr. Lehofer Kornél**

A szerkesztőbizottság tagjai:

**dr. Borbás Lajos**

**Fücsök Ferenc**

**dr. Havas István**

**dr. Koczor Zoltán**

**dr. Pólos László**

**dr. Tóth László**

Kiadja:

**TESTOR Kft.**

Felelős kiadó:

**Szappanos György**

ügyvezető igazgató

Előfizetési díj a 2001. évre

(1–4. szám): 2.100,- Ft

Előfizethető közvetlenül a kiadónál  
a mellékelt 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@matavnet.hu

**FIGYELEM!**

**Le ne maradjon!**

**Idejében fizessen elő!**

## Charpy-centenárium

A vasúthálózat gyors ütemű kiépítése a mérnöki tudományok fejlődésének hajtóerejévé vált a XIX. században. A vasút üzemeltetésének tapasztalatai, a váratlan tengely- és síntörések okainak elemzése pedig felszínre hozta az acélok ismétlődő, ún. fárasztó, illetve az ütősszerű, dinamikus igénybevétellel szembeni ellenállásának vizsgálati igényét, a mechanikai vizsgálógépek és módszerek fejlesztésének, valamint a statikus szakítóvizsgálatra alapozott anyagminősítési és méretezési elv felülvizsgálatának szükségességét.

Csakhamar felvetődött az ez irányú kutatások nemzetközi szintű koordinálásának, még inkább eredményei megvitatásának és irányelvek – a későbbi szabványok – elfogadásának az igénye. E nemzetközi fórum szerepét – a Bauschinger-konferenciák sikere nyomán *Tetmajer Lajos* javaslatára és elnökletével 1895-ben életre hívott – *Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezete* töltötte be, amelynek *budapesti konferenciáján, 1901 szeptemberében Georges Charpy Fémekek vizsgálata bemetszett rudak ütve hajlításával* címmel nagyszerű összefoglaló és javaslatokat is tartalmazó előadást tartott. Ennek nyomán a résztvevők – Charpy vezetésével – bizottságot hoztak létre az ingás ütőművel egyszerűen végrehajtható ütővizsgálat egységes elveinek kísérletekkel alátámasztott kidolgozására. Egy későbbi, 1910-ben megalakított bizottságnak *Bartel János* is tagja volt, aki *Rejtő Sándor* műegyetemi tanárnak az ütési sebesség és a hőmérséklet hatására vonatkozó megállapításait, valamint a *Kick-féle* ún. arányosságtörvényt figyelembe véve végrehajtott kísérleteivel alkotó módon járult hozzá a nemzetközi bizottság célul kitűzött feladatának a kidolgozásához.

A Charpy-féle vizsgálat széles körben elterjedt: kezdetben a fémek és ötvözetek, de később a nemfémes szerkezeti anyagok dinamikus terhelhetőség szerinti osztályozására, minőségének ellenőrzésére, illetve az igénybevétel okozta elridegedési folyamatok nyomon követésére. Az elektronika, a mérés- és számítástechnika fejlődésével a Charpy-módszer műszerezett változata napjainkban már a dinamikus törésmechanikai anyagjellemzők meghatározásának alapvető módszerévé vált.

Szokásunk nemzetközi közösségének van tehát mit áttekintenie a Charpy Centenary Conference – CCC 2001 nemzetközi rendezvényen a franciaországi Poitiers-ben október 3–5-én.

Lapunk Mérföldkő rovatát e Budapesthez is kötődő technikatörténeti esemény centenáriumának szenteljük, amelyben a Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének meghatározó személyiségei kutató- és szervezőmunkájukkal érdemben részt vettek. Bemutatjuk e száz év fejlődéstörténetét utalva a meghatározó külföldi és hazai eredményekre. Felidézzük teljes terjedelmében *Bartel János* tanulmányát, amelyben a nemzetközi bizottságban végzett munkáját összegezte, és az Anyagvizsgálók Közlönyében publikálta 1915-ben. Áttekintjük továbbá a korszerű műszerezett ütővizsgálat napjainkban nyújtott lehetőségeit.

*Lehofer Kornél*

ISSN 1215-8410

## MÉRFÖLDKÖVEK: Charpy-centenárium – MILESTONE: Charpy-centenary – MEILENSTEIN: Charpy-Zentenarium

*TÓTH László:*

Az ütve hajlító vizsgálat fejlődéstörténete

Development history of the impact bending test

Entwicklungsgeschichte der Kerbschlagbiegeversuch ..... 83

*BARTEL János:*

A bemetszett rudak hajlító ütőpróbája (újraközlés 1915-ből)

Impact bending test of the notched bars (reproduced paper from 1915)

Schlagbiegeversuch der gekerbte Stäbe (Reproduktion aus 1915) ..... 89

*LENKEYNÉ BÍRÓ Gyöngyvér:*

A műszerezett ütővizsgálat alkalmazási lehetőségei napjainkban

Application's possibilities of the instrumented impact test in our days

Anwendungsmöglichkeiten der instrumentelle Kerbschlagbiegeversuch heutzutage ..... 101

*GÖBLYÖS Béla:*

Az ütővizsgálat fejlődése egy PhD-hallgató szemével

Development of the impact bending test with eyes of an PhD-student

Entwicklung der Kerbschlagbiegeversuch mit Augen eines PhD-Student ..... 106

## KÉSZÜLÉKEK, BERENDEZÉSEK – INSTRUMENTS, EQUIPMENTS – GERÄTE, ANLAGEN

*TÓTH Péter:*

A Resil Impactor ingás ütőmű család

The Resil Impactor pendulum family

Die Resil Impactor Pendelschlagwerk-Familie ..... 109

## ANYAGOK – MATERIALS – MATERIALEN

*SZABÓ Jenő Sándor, CZIGÁNY Tibor:*

A kerámiaszál mint a polimerek erősítőanyaga

Ceramic thread to the reinforced polymers

Keramikfaden als Verstärkersmaterial für Polymer ..... 111

**KÖNYVISMERTETÉS – BOOK REVIEW – BUCHBESPRECHUNG ..... 100, 114**

## SZABVÁNYOSÍTÁS – STANDARDISATION – NORMEN

Új, érvényes nemzeti szabványok – New valid national standards – Neue gültige Nationalnormen ..... 115

**ESEMÉNYNAPTÁR – CALEND OF EVENTS – AKTUALTÄTKALENDER ..... 116**

# Az ütve hajlító vizsgálat fejlődéstörténete

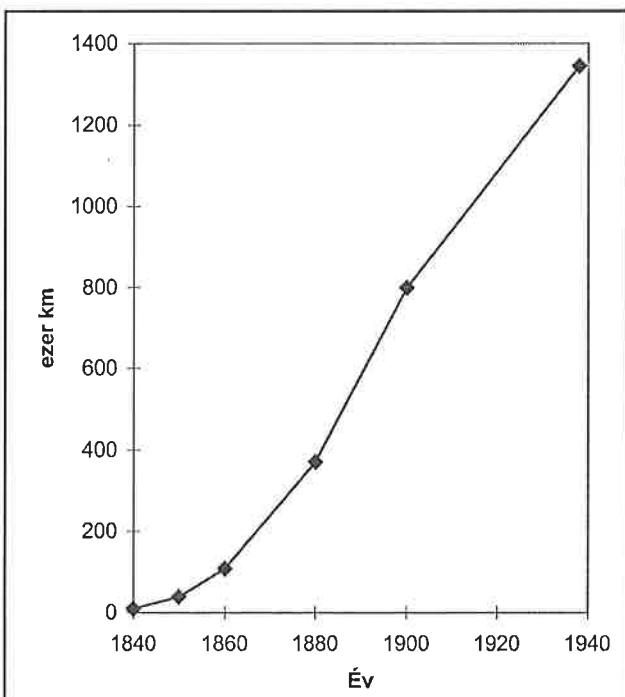
Dr. Tóth László\*

## Bevezetés

Bölcs őseink azt szokták mondani, hogy „Nem válunk igazán felnőtté mindaddig, amíg nem értjük meg, hogy a múlt, jelen és a jövő egy és oszthatatlan” [1]. E megállapítás természetesen igaz a tudomány minden területére, így az anyagvizsgálatra is. A napjainkban használt anyagvizsgálati eljárások között a szakítóvizsgálat mellett az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer az ütve hajlító vizsgálat, vagy ahogyan mindnyájan emlegetjük a Charpy-vizsgálat. A közlemény igyekszik áttekintést adni e vizsgálati módszer „megszületésének és megerősödésének” körülményeiről, illetve fejlődésének mérföldköveiről.

Minden korszak fejlődésének megvan a maga hajtóereje. A XIX. században a műszaki haladás hajtóereje egyértelműen a vasúti közlekedés kiépítése volt. Az 1825. szeptember 27-én Stockton és Darlington között megindult vasúti közlekedés kétségtelenül új korszakot nyitott a műszaki élet fejlődésében [5]. A századfordulóra a világ vasútvonalainak összes hossza mintegy 800 000 km-re növekedett [6–8]; (1. ábra). Ez azt jelenti, hogy évente több mint 10 000 km hosszúságú (Budapest–Los Angeles távolságot elérő) vasútvonalat adtak át. Gondoljunk csak bele, hogy hihetetlen mi mennyiségű sínt, hány mozdonyt, kocsit kellett ehhez előállítani, hány alagutat fúrtak, hány híd épült stb. Mindezek természetesen rendkívüli módon felgyorsították a mérnöki tudományok és az anyagtudomány fejlődését. Ennek mérföldköveiről ad igen rövid áttekintést az 1. táblázat.

A fémek anyagok és ezen belül az acélok nagytömegű felhasználása magával vonta a szállítási átvételei feltételek pontos meghatározásának szükségességét és ezek nemzetközi elfogadásának igényét. Ezek kielégítésére Johann Bauschinger (aki a Münchener Műszaki Egyetemen megalakította az első Mechanikai Technológiai Intézetet 1871-ben) kon-



1. ábra. A világ vasútvonalainak összes hosszúsága

1. táblázat. Az anyagvizsgálat fejlődésének néhány mérföldköve

Év	Esemény
1781	James Watt gőzgépének szabadalma
1788	906 anyag tulajdonságainak szisztematikus vizsgálata (Franz Carl Achard)
1797	a teljes egészében vasból készült eszterga
1807	az első gőzhajó megindulása
1822	a mechanikai feszültség fogalmának definiálása (Augustin Cauchy)
1825	az első gőzvonatású vasútvonal megnyitása (1824. szeptember 27.)
1835	az első vasútvonal megnyitása Németországban
1846	az első vasútvonal megnyitása Magyarországon
1855	a Bessemer acélgépjártási technológia bevezetése (Henry Bessemer)
1858	az első független „Anyagvizsgálati Laboratórium” megnyitása (London, D. Kirkaldy)
1858	az első Wöhler-publikáció
1864	a Siemens-Marlin acélgépjártási technológia megjelenése (Siemens fivérek)
1864	a metallográfiai vizsgálatok megjelenése (Henry Clifton Sorby)
1871	„Mechanikai Technológiai Laboratórium” megnyitása München-ben (J. Bauschinger)
1873	„Mechanikai Technológiai Laboratórium” megnyitása Bécs-ben (Karl von Jenny)
1874	„Mechanikai Technológiai Laboratórium” megnyitása Budapest-en (Műegyetem, Pilch Ágoston)
1877	a Thomas acélgépjártási technológia megjelenése (Glichirst Thomas)
1879	Anyagvizsgálati Laboratórium megnyitása Zürichben (Ludwig von Tetmajer)
1884	1. Bauschinger-konferencia, München
1886	2. Bauschinger-konferencia, Drezda (szeptember 20-22)
1890	3. Bauschinger-konferencia, Berlin (szeptember 19-20)
1891	a francia anyagvizsgálók egyesületének alapítása (november 9)
1893	4. Bauschinger-konferencia Bécs (május 24-25.)
1895	az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének (ANSZ) I. kongresszusa (L. Tetmajer, Zürich, szeptember 9-11.) (5. Bauschinger-konferencia)
1896	az Anyagvizsgálók Egyesületének megalakítása Németországban (elnök: A. Martens)
1897	II. ANSZ kongresszus, Stockholm (augusztus 13-15.), (6. Bauschinger-konferencia)
1897	a Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének megalakítása (elnök: Czígler Gy.)
1898	az American Society for Testing of Materials (ASTM) megalakítása
1900	a Brinell-féle keménységmérés bevezetése
1901	III. ANSZ kongresszus, Budapest (szeptember 8-13.), (7. Bauschinger-konferencia)
1902	„Útővizsgálat és útöművek” első bibliográfiájának megjelenése (ASTM Vol. 2. p. 283)
1906	IV. ANSZ kongresszus, Brüsszel (8. Bauschinger-konferencia)
1907	Feszültségelosztás éles bemetszés környezetében (K. Weighard)
1909	V. ANSZ Kongresszus, Koppenhága (9. Bauschinger-konferencia)
1912	VI. ANSZ kongresszus, New York (10. Bauschinger-konferencia)
1913	feszültségelosztás éles bemetszés környezetében (Inglis C. E.)
1915	VII. ANSZ Kongresszus, St. Pétervár (szeptember 11-17., 11. Bauschinger-konferencia)
1917	Szabványügyi Hivatal megalapítása Németországban (DIN)
1918	Szabványügyi Hivatal megalapítása az USA-ban (ASM)
1920	a repedésterjedés energetikai kritériumának megfogalmazása (A. A. Griffith)
1921	Szabványügyi Hivatal megalapítása Magyarországon
1925	Vickers-féle keménységmérés bevezetése (Smith R., Sanland G.E.)
1926	Szabványügyi Hivatal megalapítása Franciaországban
1927	VIII. ANSZ kongresszus, Amszterdam (12. Bauschinger-konferencia)
1928	a repedés megindulásának helye sima szakító próbalesben (Paul Ludwig)
1931	IX. ANSZ konferencia, Zürich (szeptember 11-16., az Anyagvizsgálók Új Nemzetközi Szervezetének megalakítása)

\* egyetemi tanár, Bay Zoltán Logisztikai és Gyártástechnikai Intézet

ferenciákat szervezett: az elsőt Münchenben 1884-ben, amelyen a résztvevők száma 79 volt. A második, ún. *Bauschinger-konferenciát* Drezdában, 1886-ban, a harmadikat Berlinben, 1890-ben, az utolsót, a negyediket Bécsben, 1893-ban – közvetlenül Bauschinger halála előtt – rendezték meg. A Bauschinger-konferenciák jelentősége számos ténnyel igazolható. Ezek egyike az, hogy a konferenciák összefoglaló jelentéseit, határozatait a Washington Government Printing Office is megjelentette 1896-ban [9], (2 ábra).

A Párizsban, 1889-ben megrendezett világhiállításán Johann Bauschinger vezette az *Alkalmazott mechanikai szekciót*, amely az anyagok tulajdonságaival foglalkozott. Az itt elhangzottakat külön kötetben jelentették meg (3. kötet). A nemzetközi együttműködés szükségessége az anyagvizsgálat területén teljesen nyilvánvalóvá vált, mint ahogy a Bauschinger-konferenciák is nemzetközivé váltak. Az amerikai adminisztráció által kiadott, a 2. ábrán látható anyagban is a következő olvasható [9]:

„Nem csupán a küldöttek száma növekedett a hagyományosan résztvevő országokból (Németország, Ausztria-Magyarország, Svájc, Oroszország), de megjelentek szakemberek más országokból is (Franciaország, Amerika, Norvégia, Hollandia, Olaszország, Spanyolország), így a megállapodások valódi nemzetközi megállapodásoknak tekinthetők”.

Ilyen háttérrel alapította meg *Ludwig von Tetmajer*, azaz *Tetmajer Lajos* [10] (1850. 07. 14., Korompa – 1905. 01. 31., Bécs), az *Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetét* a Zürichben 1895. szeptember 9–11. között tartott kongresszuson. Az EMPA (Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt) Zürich alapítója és egyben első igazgatója meghatározó egyénisége lett a vizsgálati eljárások egységesítésének, azok nemzetközi elfogadtatásának. A Bauschinger-konferenciák folytatásaként, de most már, mint a nemzetközi szervezet kongresszusát 1897-ben Stockholmban, 1901-ben Budapesten, 1906-ban Brüsszelben, 1909-ben Koppenhágában, 1912-ben New Yorkban, 1915-ben Szentpéterváron, 1927-ben, Amsterdamban szervezték meg. A periodikus kongresszus 1899-ben, a Párizsban rendezett világhiállítás miatt, míg 1915 és 1927 között az első világháború miatt maradt el. Az első világháborút követő politikai változások miatt, az amszterdami

kongresszus után az anyagvizsgálók nemzetközi szervezete is újjáalakult az EMPA akkori igazgatójának, *Mirko Rossnak* a vezetésével, és a szervezet nevében megjelent az új jelző: *New International Association for the Testing of Materials, Neue Internationalen Verbandes für Materialprüfungen, Nouvell Association Internationale pour l'Essai des Matériaux*. Érdekes, hogy az új szervezet 1931. szeptember 11–16. között megrendezett kongresszusának kiadványa [12] egy évvel korábban, már 1930-ban megjelent (3. ábra).

**Az ütve hajlító vizsgálat fejlődése**

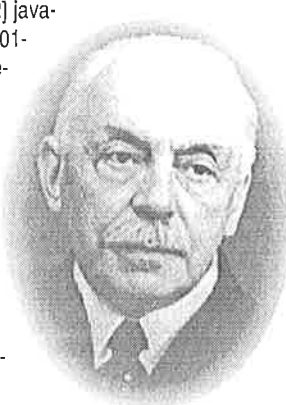
Az ingás ütőművön mért törési munkát az anyagok szívósságának jellemzésére először *S. B. Russel* [2] javasolta 1898-ban, majd *G. Charpy* 1901-ben [3]. *George Charpy* (4. ábra) e témában írt első tanulmányát a Soc. Ing. Civ. de Français folyóirat júniusi számában közölte, majd ugyanezen év szeptemberében Budapesten az Anyagvizsgálók Nemzetközi Konferenciáján [4] ismertette elgondolásait, javaslatait (5. ábra).

Az ütővizsgálat fejlődése kissé önkényesen a következő négy periódusra bontható:

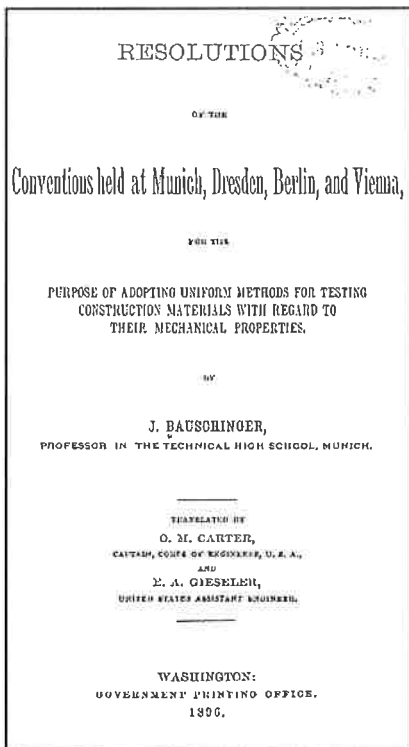
- a fejlődés korai szakasza a szabványosításig,
- az átmeneti hőmérséklet definíálása, az 1950-es évek elejéig (a Liberty hajók katasztrófái),
- az ütőmunka és a törésmechanikai paraméterek korrelációs kapcsolatok megállapítása, a 80-as évek elejéig,
- napjainkig (a megszerzett ütővizsgálatok, a kisméretű próbatestek megszerzett ütővizsgálata).

**Az ütve hajlító vizsgálata fejlődésének korai szakasza**

A XIX. század kiemelkedő anyagvizsgáló szakembere, *D. Kirkaldy* [6, 7, 12] sem elemezte, hogy milyen kapcsolat van az anyagok kvázisztatikus és dinamikus terheléssel mért jellemzői között. Mint ahogy arra



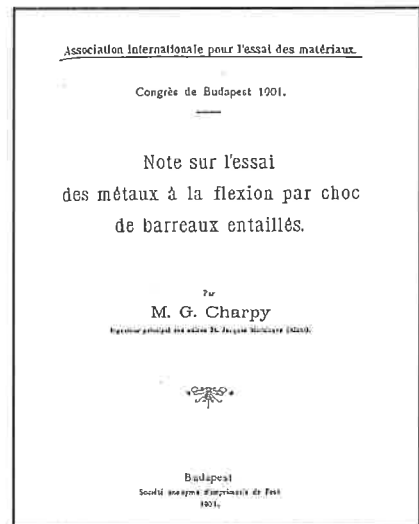
4. ábra. Charpy, Augustin Georges Albert  
1865. szeptember 1. Ouillis, Rhone  
1945. november 25. Paris



2. ábra. A Münchenben, Drezdában, Berlinben és Bécsben tartott „Bauschinger-konferenciák” határozatai



3. ábra. Az „Anyagvizsgálók Új Nemzetközi Szervezete” Zürichben, 1931-ben tartott konferenciájának kiadványa, amely egy évvel korábban, 1930-ban jelent meg

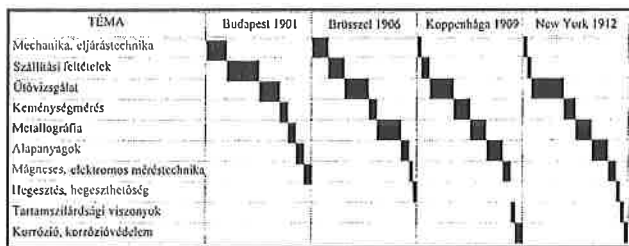


5. ábra. G. Charpy-nak az „Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének” VII. kongresszusán ismertett közleménye (Budapest, 1901. szeptember 8-1)

2. táblázat. Az ütővizsgálat korai szakaszának jellemzői

Év	Vizsgálati eljárás	Próbatest, vizsgálati feltételek
	Vasúti sínek ejlősúlyos vizsgálatai (lásd a Resolutions of Conventions held at Munich, Dresden, Berlin and Vienna c. anyagban [9])	„Minden anyagot, amely ütésnek van kitéve ütővizsgálattal minősíteni kell a tulajdonságok teljes ismerete érdekében.” „A német vasúti társaság követelményével összhangban a vizsgálatokat 1000 kg vagy 500 kg súlyú kalapáccsal kell végezni”
1892	Mr. Le Chateleur,	Bemetszelt próbatest vizsgálata (1 mm széles és 1 mm mély bemetszés)
1893	Ejlősúlyos vizsgálat 18 kg súlyú kalapáccsal. Az ülés a próbatest végét érte, 100 mm-re a befogástól (Ausher-féle vizsgálat az Indrel hajógyárban, Franciaországban)	Próbatest 20x20 mm 1 mm mélységű háromszög alakú bemetszés a próbatest minden oldalán.
1894	Ejlősúlyos vizsgálat 18 kg súlyú, különböző magasságból eső kalapáccsal. A súly a konzolosan befogott, löbb bemetszést tartalmazó próbatest szabad végére esik (Barbara)	Lemez alakú, 300 mm hosszúságú, 30 mm szélességű próbatest, amelybe 25 mm-ként 45°-os bemetszést készítenek. A bemetszés csúcának lekerekítési sugara nem haladja meg a 0,2 mm-t. A bemetszés mélysége a lemezvastagságtól függ.
1896	Ingás ütővizsgálat, Russe szerint. A kalapács súlya 103 lbs (46,7 kp), alátámasztások közötti lávság: 8, 12, 16, 20 and 24 in. Az inga hossza 1 m.	A próbatest 1x2 in (25,4x50,8 mm). A bemetszések különböző típusúak, az anyag szívósságától függtelen. A Russe által levezetett ütőmű a törésre fordított munkát volt hivatott mérni.
1898	Fremont-féle ingás ütőmű. A lörésre felhasznált munkát úgy halálozták meg, hogy az inga maradék kinetikus energiáját rugó összenyomódásának nagyságával mérték..	A próbatest 10x8x25mm, lánasköz 20 mm. A bemetszés 1 mm mély és 1 mm széles. A kalapács súlya 10 kp, amely 4 m magasságból esik.
1901	Charpy-féle ingás ütőmű.	Két típust javasolt: N°1: ütési sebesség: 7,80 m/s, max. ütési energia: 200 mkp N°2: ütési sebesség: 5,28 m/s, max. ütési energia: 30 mkp.

3. táblázat. A témák részaránya a különböző kongresszusokon.



G. Charpy rámutatott [4], először *Lebasteur* hangsúlyozta az anyagok dinamikus jellemzőinek fontosságát. Az 1878-ban *Les métaux à L'exposition* címmel megjelent könyvében a következőket írta:

„Jern Kontor-ral arra a következtetésre jutottunk, hogy az anyagok szilárdsága tekintetében nem kaphatunk teljes képet az ütővizsgálati eredmények nélkül”

A vasúti sínek minősítéséhez az ütővizsgálatot már szabványosított formában alkalmazták Németországban, mint ahogy arról a Bauschinger-konferenciák összefoglalójában, az angol nyelven, Amerikában, az 1896-ban kiadott dokumentumban is olvashatunk (a [9]-ben a 13-16. oldalakon, a 10. paragrafus General provisions cím alatt). Az ütővizsgálat korai szakaszának jellegzetességeit a 2. táblázat foglalja össze.



6. ábra. Az „Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezete” elnökségének 1897-1901 között végzett tevékenységét összefoglaló anyag címlapja.

összeállított, az elnökség 1897–1901 közötti tevékenységét összefoglaló jelentés címlapját a 6. ábra szemlélteti. Az ütve hajlító vizsgálat jelentőségére következtethetünk a különböző kongresszusokon elhangzott előadások témáinak részarányaiból is. Ezt szemlélteti a 3. táblázat.

Mind Amerikában, mind pedig Európában igen jelentős erőfeszítéseket tettek a szakemberek a vizsgálati módszerben rejlő lehetőségek megismerésére és az eredmények gyakorlati hasznosíthatóságának feltárására. Amerikában például már 1902-ben megjelent egy ASTM kiadvány, amelyben mintegy 100, az ütővizsgálatra vonatkozó publikáció adatait gyűjtötték össze [3, 11].

Az ütve hajlító vizsgálat jelentőségét még az is jól jellemzi, hogy külön bizottságokat hoztak létre a kongresszusok között a vizsgálati módszer sajátosságainak elemzésére. E bizottságok, amelyeknek G. Charpy volt a vezetője, megállapításait jelentésekben foglalták össze és terjesztették a kongresszus elé. Ezek címlapjait szemléltetik a 7–10. ábrák.

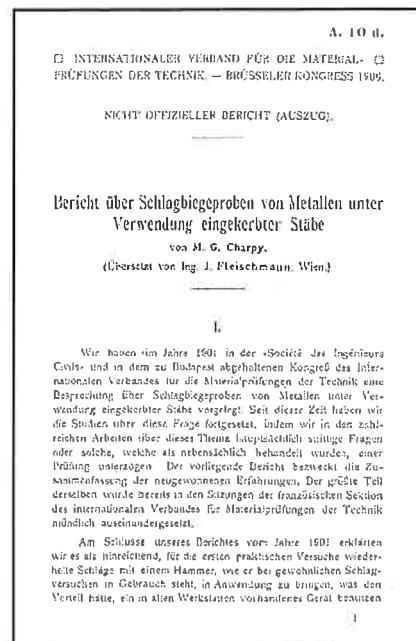
Ezek a jelentések alapvetően a következő témakörökkel foglalkoztak:

- a próbatest mérete,
- a bemetszés geometriája, mélysége, lekerekítési sugara,
- az ütés sebessége,
- az ütővizsgálat eredményeinek gyakorlati hasznosíthatósága.

A jelentések főbb megállapításai az alábbiakban foglaltak össze:

a) G. Charpy jelentése a Brüsszelben tartott kongresszuson (1906):

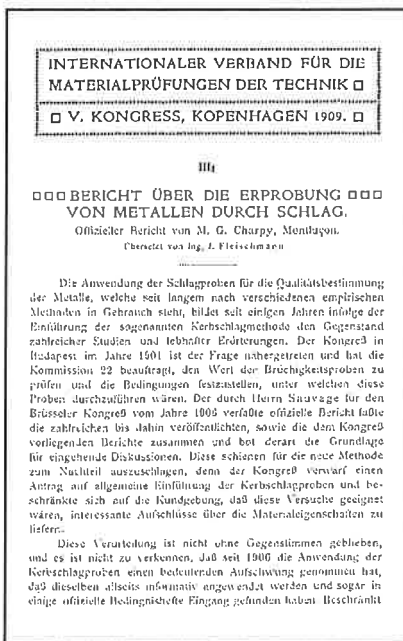
- Az ütve hajlító vizsgálatot páncéllemezek minősítésére használta a Marine National hajógyár (Franciaország).
- Kazánlemezek vizsgálati eredményeit publikálta Yarrow és Cie a Journal of Engineering (1902. 04. 18.)



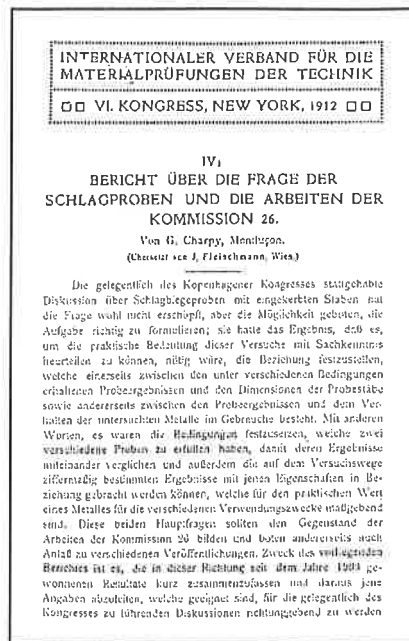
7. ábra. Charpy jelentése a Brüsszelben tartott kongresszuson (1906)



8. ábra. A különböző bizottságok jelentései a Kopenhágában tartott kongresszuson (1909)



9. ábra. Charpy jelentése a Kopenhágában tartott kongresszuson (1909)



10. ábra. Charpy jelentése a New Yorkban tartott kongresszuson (1912)

folyóiratban. A legfőbb megállapításuk, hogy a kazánlemezek ridegsége jellemezhető e vizsgálati módszerrel.

- Két különböző típusú ingás ütőmű alkalmazása lett elfogadva: a N°1. ütési sebessége 7,8 m/s és 200 mkp (kb. 2000 J) az ütési energiája; a N°2. ütési sebessége 5,28 m/s és 30 mkp (kb. 300 J) az ütési energiája.
- Elvégezték a két különböző típusú bemetszést (éles és kevésbé éles) tartalmazó próbatestet összehasonlító vizsgálatát.
- Vizsgálták az ütési sebesség hatását 3,3, 2,3 és 1,1 m magasságból indított ingával. Az eredményeket összehasonlították a kvázistatikus terheléssel végzett hajlítóvizsgálat eredményeivel. A leglényegesebb megállapítás az volt, hogy az ütési sebesség hatása az éles bemetszésű próbatesteken számottevően eklatánusabban jelentkezik.
- Megalakítottak egy munkacsoportot (Technical Committee), amelynek tagjai a következők voltak: A. Martens, Stibek, Lasche, E. Ehrenberger.

b) G. Charpy jelentése a Kopenhágában tartott kongresszuson (1909):

- A megválasztott munkacsoport (Technical Committee) jelentését E. Ehrenberger publikálta [15] (Stahl und Eisen, Nr. 50. und 51., 1907.) és az ebben foglaltakat a Német Anyagvizsgálók Egyesülete megvitatta az 1907. október 5.-én tartott értekezletén.
- Az ütve hajlító vizsgálattal kapcsolatos álláspontok és eredmények gyakorlati alkalmazhatóságát számos országban publikálták:
  - ⇒ Simonot. Reflexions on sujet des méthodes d'essai de pièces métalliques du Congrès de Bruxelles de 1906. Société de l'Industrie minérale, 1907. Ezt az anyagot az *Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének* francia és belga tagjai közösen megvitatták ülésükön 1907. június 1.-én.
  - ⇒ P. Breuill a vizsgálati módszer sajátosságait taglalta publikációjában (Revue de Mécanique, April, 1908)
  - ⇒ Stanton és Baristow Impact testing of Metals, ill. Harbord Impact testing methods on notched specimens címmel készítettek publikációkat (Institution of Mechanical Engineers, 20 November, 1908).
- Elemezték Hatt (Proceedings of the American Society for Testing Materials -1904) eredményeit.
- A rideg-szívós állapot jellemzésével kapcsolatban meglehetősen nagy vita alakult ki már a definíció tekintetében is.

- Megvitatták az alakváltozási sebességnek az anyag szívós-rideg viselkedésre gyakorolt hatását.
- Megfogalmazták az ingás ütőművekkel szemben támasztott követelményeket.
- Megvitatták az ütve hajlító vizsgálat információtartalmát.
- Bemutatták az ütve hajlító vizsgálat különböző alkalmazási területeit (pl. a kohászatban, a hajógyártásban anyagok, kazánlemezek minősítése).

c) G. Charpy jelentése a New Yorkban tartott kongresszuson (1912):

- Munkabizottságot (Technical Committee) alakítottak 1910-ben. Ennek tagjai a következők voltak: W. G. Kirkaldy (London), F. E. Stanton (Teddington), F. Shüle (Zürich), E. Heyn (Groß-Lichterfelde), E. Ehrenberger (Essen), **Bartel János (Budapest)**, E. Canermann (Brüsszel), Fr. Keelhoff (Gent), E. Blant and Belanger (Párizs). Két különböző típusú próbatestet fogadtak el:
  - ⇒ 30x30x160 mm, amely 15 mm mély és 2 mm lekerekítési sugarú bemetszést tartalmaz. A támaszköz: 120 mm.
  - ⇒ 10x10x53 mm, amely 5 mm mély és 0,6 mm lekerekítési sugarú bemetszést tartalmaz. A támaszköz: 40 mm.
- Bizonyították, hogy a fajlagos ütőmunka (mkg/cm<sup>2</sup>) értéke nagyobb a kisebb méretű próbatesteken mérve. Ezen vizsgálatokat Charpy, Ehrenberger és **Bartel János** [32] végezte egymástól függetlenül.
- Elfogadták a különböző méretű próbatestekre vonatkozó hasonlósági törvényét. Az elfogadott törvény a következő folyóiratban publikálták: Memorial de l'Artillerie Navale Française, 10, 11, 12/1910. és Revue d'Artillerie Française, 7/1907.
- Az ingás ütőművekkel szemben támasztott követelményrendszer megvitatták annak érdekében, hogy a különböző berendezéseken végzett vizsgálatok eredményei összehasonlíthatók legyenek.
- Új munkabizottságokat (Technical Committee) hoztak létre a következő témák megvitatására:
  - ⇒ a vizsgálati eredmények összehasonlíthatóságának kritériumai,
  - ⇒ a meglévő ütővizsgálati eredmények vizsgálati körülményeire vonatkozó paraméterek összegyűjtése.
- ⇒ javaslatok kidolgozása az ütve hajlító vizsgálat alkalmazási területeire.
- Az 1910-es évek végén szerte a világon sorra alakultak a különböző országok szabványügyi hivatalai (lásd 1. táblázat). Elsőként Németor-



szágban, 1917-ben, majd 1918-ban, az USA-ban hozták létre a szabványügyi hivatalt. Hazánkban 1921-ben alakult meg a szabványügyi hivatal. Ezek a hivatalok természetesen célul tűzték ki a különböző vizsgálati módszerek, eljárások szabványosítását, közöttük az ütve hajlító vizsgálatot is. A vizsgálati módszer szabványosítása nagy nehézségekbe ütközött, mivel már elkészültek és a piacon voltak a különböző típusú és paraméterekkel bíró ütve hajlító berendezések, illetve különböző méretű és bemetszésű próbatesteket javasoltak [14], s így az anyagok átvételi feltételeit kétoldalú szerződésben rögzítették. E problémákat jól tükrözi az a helyzet, hogy az *Anyagvizsgálók Új Nemzetközi Szövetségének* 1931-ben, Zürichben tartott kongresszusán három előadás is a szabványosítás kérdésével foglalkozott. A nehézségek ellenére a szabványosítás természetesen megindult, és először ASTM szabványjavaslat született 1934-ben *Tentative Methods of Impact Testing of Metallic Materials* címmel, E-23-33D számon. Németországban 1937-ben fogadták el a DVM *DIN 50115* jelzésű, *Kerbschlagversuch* című szabványt [11]. Az említett szabványjavaslatok természetesen folyamatosan átdolgozták mind az USA-ban, mind pedig Németországban. Az első Európai Szabvány *EN 10045* jelzéssel jelent meg 1990-ben. Természetesen a szabványosítás nem csupán a vizsgálati módszerre, hanem az ingás ütőműre, annak minősítésére is kiterjedt. A műszerezett ütővizsgálatok fejlődése magával hozta ezen vizsgálati eljárás szabványosítását is. E folyamatról igen részletes áttekintést kaphatunk a [2, 11] közlemények alapján.

#### Az ütve hajlító vizsgálat fejlődése az 1950-es évek elejéig, az átmeneti hőmérséklet definiálása

Mint köztudott, a II. világháború idején az amerikaiak mintegy 5 000 csapatszállító hajót építettek. Ezek alapvetően hegesztett kivitelűek voltak. Mivel a német tengeralattjárók az Atlanti-óceánt megszállták, ezért az Amerika és a volt Szovjetunió közötti szállítások útvonala északra toldott. A hidegebb tengervíz és az erősebb hullámvész miatt ezeken a hajókon, az úgynevezett Liberty hajókon igen sok, mintegy ezer esetben rideg repedést észleltek, és 16 hajó a szó szoros értelmében kettétört. A meghibásodás, a törés okainak felderítésére igen részletes vizsgálat indult, és ez hozta el az ütővizsgálat újabb „virágkorát”. A cél ebben a periódusban az anyagok szívós-rideg átmenetének definiálása, az átmeneti hőmérséklet meghatározása volt. Az átmeneti hőmérséklet és a bekövetkezett káresetek tapasztalatai alapján készült el az úgynevezett anyag-kiválasztási rendszerek, melyek a különböző szerkezetek rideg törését, a folyáshatár alatti feszültségen bekövetkező törést voltak hivatottak kiküszöbölni. Mivel ezen anyag-kiválasztási rendszerek egyik meghatározó paramétere az ütővizsgálaton meghatározott átmeneti hőmérséklet volt, ezért ennek megbízhatósága, reprodukálhatósága állt a korabeli elemzések középpontjában. Ennek kapcsán újból előtérbe került a bemetszés élességének hatása az átmeneti hőmérséklet kritériumaira (adott ütőmunka-érték, a törétfelület jellege, a próbatest keresztirányú expanziója vagy kontrakciója), illetve ezeknek függése az anyagok folyáshatárától [26, 33]. A 60-as évek végére már többnyire kidolgozták a különböző anyag-kiválasztási rendszereket [26, 34, 35].

#### Az ütőmunka és a törésmechanikai paraméterek korrelációs kapcsolata

A törésmechanikai tudományterület megerősödésével a 60-as években a törésmechanika gyakorlati alkalmazására irányultak a törekvések. Tekintettel arra, hogy a törésmechanikai vizsgálatok költsége számottevően nagyobb, mint az ütve hajlító vizsgálatoké, és igen nagyszámú ütővizsgálati eredmény halmozódott fel, természetes igényként jelentkezett az ütővizsgálati és törésmechanikai anyagjellemzők közötti kapcsolat keresése. Erre nézve a szakirodalomban igen bőséges utalás található. Ezek közül sorol fel néhányat a leggyakrabban alkalmazott közelítések közül a [26] közlemény:

$$K_{Ic} = \left[ \sqrt{0.222 \cdot E \cdot (KV)^{3/2}} \right] \cdot 0.0316 \quad (1)$$

$$K_{Ic} = 14.6 \cdot \sqrt{KV} \quad (2)$$

$$K_{Ic} = 19 \cdot \sqrt{KV} \quad (3)$$

$$K_{Ic} = \left[ \sqrt{E \cdot 1.75 \cdot KV} \right] \cdot 0.0316 \quad (4)$$

$$K_{Ic} = \sqrt{0.64 \cdot 350 \cdot KV - 6.4 \cdot 10^{-3} \cdot R_{eH}^2} \quad (5)$$

$$K_{Ic} = \sqrt{480 \cdot KV - 1.44 \cdot 10^{-3} \cdot R_{eH}^2} \quad (6)$$

ahol:

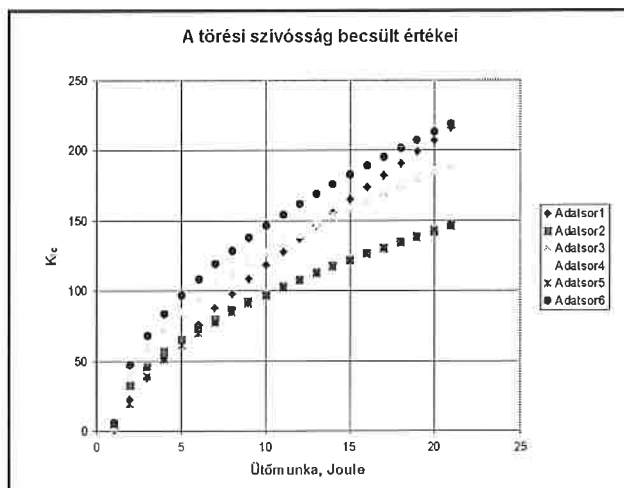
$K_{Ic}$  – a törési szívósság MPa $\sqrt{m}$ -ben

KV – ütőmunka J-ban

$R_{eH}$  – a folyáshatár MPa-ban

E – a rugalmassági modulus MPa-ban.

Az (1)–(6) összefüggésekkel becsült törési szívósságot az ütőmunka függvényében a 11. ábra szemlélteti egy adott, 340 MPa folyáshatárú acélra. Látható, hogy az eltérés jelentősebb a nagyobb szívósságok tartományában.



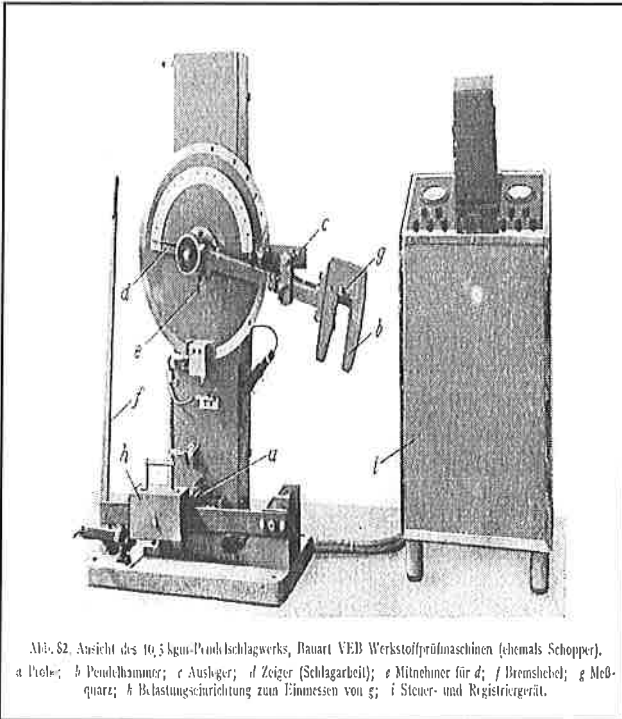
11. ábra. A törési szívósság becslése az ütőmunka alapján a különböző összefüggések felhasználásával

#### Az ütve hajlító vizsgálat fejlődése napjainkig

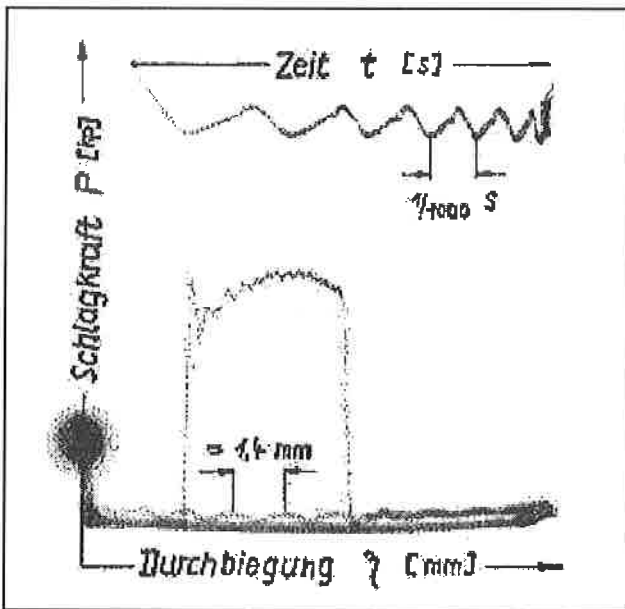
A mérés technika fejlődése lehetővé tette már a 60-as években azt, hogy a Charpy-próbatest törési folyamatát regisztrálni lehessen [16, 17]. Egy ilyen „korai” berendezést szemléltet a 12. ábra. A 13. ábra a regisztrált erő-idő diagramot mutatja [17]. Ezzel közvetlen módon lehetővé vált a repedés keletkezésére és terjesztésére fordított munkák szétválasztása. Ezt megelőzően természetesen voltak kísérletek arra is, hogy e két munkát nem műszerezett ütővizsgálatok alapján válasszák szét [27–29]. Napjainkban a mérés technika, a számítástechnika hihetetlen mértékű fejlődése lehetővé teszi azt, hogy az ütés folyamán lejátszódó folyamatokat megbízhatóan regisztrálni lehessen és a regisztrátumból a legkülönbözőbb paramétereket meghatározzuk [22]. A műszerezett ütőművek kereskedelmi forgalomban kaphatók, és a vizsgálati módszerek is szabványosítva vannak. Az e területen végbement fejlődést a korai szakasztól napjainkig Lenkeyné Biró Gyöngyvér cikke tekinti át [30]. A jelenlegi helyzet talán úgy jellemezhető, hogy 2001-ben már elkészült a kisméretű Charpy-próbatestek műszerezett ütővizsgálatára vonatkozó szabványjavaslat [36].

#### Zárszó

Egy történetet – így az ütve hajlító vizsgálat „születésének” és „fejlődésének” történetét is – csupán abbahagyni, és nem befejezni



12. ábra. A Werkstoffprüfmaschinen, Leipzig által a 60-as években gyártott PSWO típusú műszerezett ütőmű [16]



13. ábra. A PSWO ütőművön regisztrált erő-idő diagram [17]

lehet. Noha lehetne még sok mindent mondani, de az abbagyásra késztet a korlátozott hely és idő. Összefoglalóan talán az mondható, hogy a Charpy-vizsgálat „megszületett” abban a korban, amelynek fejlődését a közlekedés gerjesztette, amelyben a fémes anyagok szerepe meghatározó volt, amelyben olyan kiváló szakemberek és egyéniségek voltak, mint *Wöhler*, *Kirkaldy*, *Bauschinger*, *Tetmajer*, *Charpy*, *Brinell*, *Eriksen*. A nevek természetesen még hosszan sorolhatók lennének és kiegészíthetnék hazánk jeles képviselőivel, mint pl. *Rejtő Sándor* professzorral, a Charpy vizsgálat kialakulásában jelentős szerepet játszó *Bartel Jánossal*, az 1897. június 16-án megalakult *Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete* tisztségviselőivel [18-20].

Azok számára, akik megkísérik befejezni a „Charpy-történetet”, álljanak itt kiindulásul egyrészt a centenáriumi megemlékezések és a fel-

használt publikációk jegyzéke, másrészt pedig a Poitiers-be, Franciaországba 2001. október 2–5-re összehívott centenáriumi konferencia programja:  
<http://www.mat.enscm.fr/actualites/conferences/CCC2001/index.html>.

Irodalom

1. *Harvey F.G.* (1984): A Historical Appraisal of Mechanics. International Textbook Company, Scranton, Pennsylvania.
2. *Russel S.B.* (1989): Experiments with a New Machine for Testing Materials by Impact. *Americal Society of Civil Engineers*, Vol. 39. No. 826, pp. 237-250. (in reprint in the *Pendulum Impact Testing: A Century of Progress*, STP 1380. T.A. Siewert and Manahan, Sr. Eds. ASTM, West Conshohoken, PA 2000. pp. 17-45.
3. *Charpy, G.* (1901): Essay on the Metals Impact Bend Test of Notched Bars. (in reprint in the *Pendulum Impact Testing: A Century of Progress*, STP 1380. T.A. Siewert and Manahan, Sr. Eds. ASTM, West Conshohoken, PA 2000. pp. 46-69.
4. *Charpy G.* (1901): Note sur L'essai des métaux á la flexion par choc de barreaux entaillés. *Association internationale pour l'essai des matériaux. Congrès de Budapest. 1901.* (the paper has also been published in *Soc. Ing. Civ. de Francis, June 1901. pp. 848-877.*)
5. *Havisides M.* (1912.): The History of the First Public Railway Stockton and Darlington. The opening day and what followed. *Heavisides and Son.*
6. *Tóth L., Haase D.W., Sebek M.* (1994): Short History of Material Testing. (in Hungarian). MTS Training Centre. Miskolc. 50 p.
7. *Tóth L., Rossmann P.*: A törésmechanika és az anyagvizsgálat története. Miskolc, 1999. 163 p. (<http://www.bzlogi.hu/baylogi/index.html>)
8. *Hall, W.K., Marburg, E.*: Bibliography on Impact Tests and Impact Testing Machines, *Proceedings ASTM*, Vol. 2, 1902, p. 283.
9. *Bauschinger J.*: Resolutions of the Conventions at Münnich, Dresden, Berlin and Vienna. Washington, Government Printing Office. 1896.
10. *Tóth L.*: Tetmajer-émlékülés az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezete alapításának centenáriuma alkalmából. Miskolc, 1995. december 19., 89 p.
11. *Wehrstedt A.*: Entwicklung der Normungsarbeit zum Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*. 2001/6. pp. 514-519.
12. *Kirkaldy D.*: (1. kiadás 1862, 2. kiadás 1864) Results of an Experimental Inquiry the Tensile Strength and other Properties of various kinds of Wrought-Iron and Steel. Glasgow.
13. First Communications of the New International Association for the Testing of Materials. Ed. NIATM. Zürich, Leonhardstrasse 27. 1930.
14. *Wellinger K., Krageloh E.* (1961): *Werkstoffe und Werkstoffprüfung*. Deutsche Verlag Anstalt, Stuttgart. pp. 344-348.
15. *Ehrensberger, E.* (1907): Die Kerbschlagprobe im Materialprüfungswesen. *Deutscher Verband für die Materialprüfung der Technik* 1907, Nr. 35, 1- 32; és *Stahl und Eisen* 27., pp. 1797 – 1809.
16. *Siebel E.* (szerk): *Handbuch der Werkstoffprüfung*. Band 1. Springer Verlag. Berlin/Göllingen/Heidelberg. 1958. pp. 145-148.
17. *Beckert, M., Blumenauer, K. Schröder.* Ermittlung und Auswertung von Schlagkraft-Durchbiegungs-Diagrammen bei Kerbschlagbiegeversuch. *Wiss. Z. TH Otto von Guericke Magdeburg V* (1961), Nr. 3, pp. 305 – 309.
18. *Blumenauer, H.* (ed.) (2001): 100 Jahre Charpy Versuch, Special issue of the Journal „Materialwissenschaft und Werkstofftechnik”, 32, No. 6.
19. *Leholer K.*: A honi anyagvizsgálat rövid története. *Anyagvizsgálók Lapja* 1997/3. pp. 61-71.
20. *Tóth L.*: A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete alapításának 100 éves évfordulója. *Gép* 1997/7-8. pp. 3-9.
21. *Leholer K.*: Anyagvizsgálóink levélenysége a Gép újkörében. *Gép*, 1997/7-8. pp. 11-14.
22. *Lenkeyné B. Gy.*: Ütővizsgálat információtartalma – Hagyományos, műszerezett. *Gép*, 1997/7-8. pp. 55-64.
23. *Kalina K.*: Centenárium CHARPYhoskúsok. *Kovács Materialy*, 2000/38. pp. 354-362.
24. *Kalina K.*: Centenary of Charpy test. *Zváranie*, 2000/11-12. pp. 85-86.
25. *Makhtov, N.A., Morozov, E.M., Matvienko Ju., G.*: Az ütővizsgálat kialakulás és fejlődése a Szovjetunióban és Oroszországban. *Zavodszkaja Laboratorija*, 2001 (megjelenés alatt)
26. *Tóth L.*: Hegeszíthető szerkezeti acélok ridegedésének vizsgálata. Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1974.
27. *Tóth L., Romvári P.*: Az ütővizsgálat információtartalmának elemzése. *Gép*, 27, 1975/7., pp. 245-252.
28. *Tóth L., Romvári P.*: The Analysis of the Instrumented Impact Test Diagrams. 7th Conference on Welding, Budapest, 1976., pp. 163-169.
29. *Tóth L., Romvári P.*: Műszerezett ütővizsgálat felvett erő-idő diagramok értékelése. *Gép*, 1976/12., pp. 442-445.
30. *Lenkeyné B. Gy.*: A műszerezett ütővizsgálat alkalmazási lehetőségei napjainkban. *Anyagvizsgálók Lapja*. 2001/3.
31. *Göblyös B.*: Az ütővizsgálat fejlődése egy PhD-hallgató szemével. *Anyagvizsgálók Lapja*. 2001/3.
32. *Terplán Z.*: *Bartel János. Műszaki Nagyaink*. 5. kötet. pp. 115-136.
33. *Liebowitz H.*: *Fracture*. Vol. 5.
34. *Fehérvári A., Rittinger J.*: Acélok kiválasztása nyomástartó szerkezetekhez rideglőrési érzékenység alapján. *Kohászati Lapok*. 1971/6. pp. 241-251.
35. *Gállik I.*: Hegesztett híd szerkezetek rideg törése és az új acélanyagok. UKI 38. számú kiadványa. Budapest. 1970.
36. Proposed Standard Method for Instrumented Impact Testing of Sub-Size Charpy V-notch Specimen on Steels. Draft 10. ESIS TC 5. 30/03/2001.

# A bemetszett rudak hajlító ütőpróbája\*

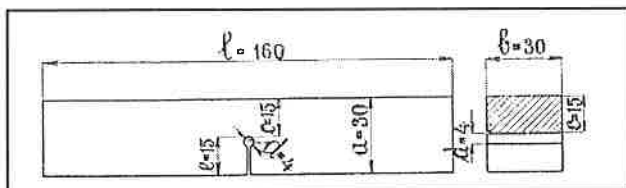
Dr. Bartel János-tól

Minden szerkezeti anyagot arra a sajátságára nézve kell kipróbálni, amelyre azt használat közben igénybe vesszük. Ezért a lökéseknek kitétt szerkezetek anyagait, mint pl. a vasúti síneket, ütőpróbával is vizsgálják. De az a körülmény, hogy olyan síneken és egyéb szerkezeti elemeken is előfordultak törések, amelyek anyaga ütőpróba alá vetve jónak mutatkozott, indokoltá tette a közönséges ütőpróba helyett érzékenyebbnek, ti. a bemetszett rudak ütőpróbájának alkalmazását. Ennek az eljárásnak nemcsak az az előnye, hogy rendkívül érzékeny, hanem az is, hogy megengedi az anyagoknak minőségileg más, a gyakorlathoz közelebb álló osztályozását, mint amelyre egymaga a szakítókísérlet alkalmas: Példaképpen közöljük a következő összehasonlító adatokat:\*\*

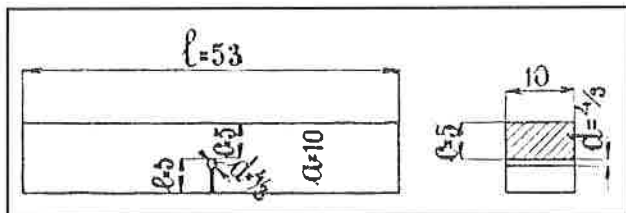
	Szakítószilárdság kg/mm <sup>2</sup>	Teljes nyúlás %	Kontrakció %	Fajlagos ütőmunka mkg/cm <sup>2</sup>
I. anyag	43,3	26,5	64	4,6
II. anyag	46,5	26,3	63	22,4

A kísérleti eredmények összehasonlításából kitűnik, hogy a második anyagnak ütés elleni munkabírása ötször akkora, mint az első anyagé, dacára annak, hogy a szakítókísérlet adatai szerint a kettő csaknem azonos minőségű.

Ennek a kísérleti módszernek előnyeit teljesen kiaknázni eddig még nem lehetett, mert eddig nem sikerült olyan eljárást megállapítani, amely a különböző méretű próbadarabokra azonos fajlagos eredményeket szolgáltatna; de a kísérlethez alkalmazott gépekben sincs még megállapodás. Ezt a hiányt a nemzetközi anyagvizsgáló-szövetség az 1909. évben Koppenhágában tartott kongresszusán akarta pótolni. Elhatározta ugyanis, hogy kétféle bemetszett szabványpálca alkalmazását írja elő: az egyik 30 x 30 x 160, a másik pedig 10 x 10 x 53 mm méretű (1. és 2. ábra). A bemetszés a pálca közepéig ér és ott fűrt lyukkal van határolva, melynek átmérője a nagyobb pálcában 4, a kisebbikben 4/3 mm. A nagyobb pálca 120 és a kisebbik 40 mm távolságú támasztók között törendő el.



1. ábra. Nagy szabványpálca



2. ábra. Kis szabványpálca

A két pálca méretei, mint látható, 3:1 arányban állanak. Ezt azzal okolták meg, hogy ebben az esetben a Kick-féle arányosságtörvény

\* A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete folyóiratában, az Anyagvizsgálók Közölnye II. évfolyam, Budapest, 1915. 1. és 2. számában megjelent cikk újraközlése az eredeti ábrák felhasználásával.

\*\* Zeitschrift d. V. Deutscher Ing. 1907. évf., 1977. old.

értelmében (1. Fr. Kick; Das Gesetz der proportionalen Widerstände. Leipzig, 1885.) a két pálca eltörésének munkája is arányos lesz.

A kísérletek végrehajtására az említett kongresszus a Charpy-féle ingás ütőművet ajánlotta (3., 4., 5. ábra). Ennek a készüléknek az az előnye, hogy teljes pontossággal méri azt a munkát, amely a kísérletben felhasználódik.

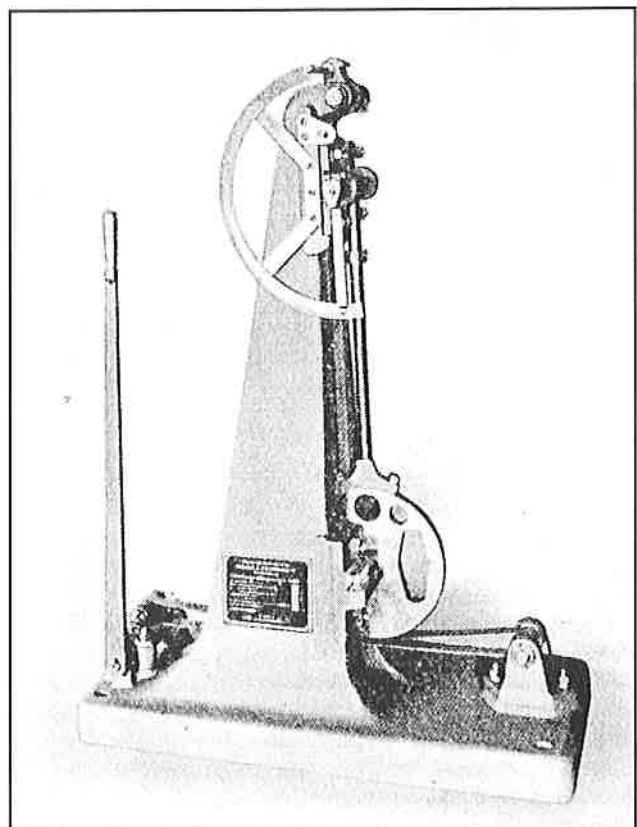
Tudvalevőleg az inga kiindulásának helyzetéből, továbbá az inga által a próbadarab eltörése után elvégzett kilengésből az inga energia-vesztését meghatározhatjuk. Ez a veszteség, vagy a  $Q_0 - (H_0 - H_1)$ , a megvizsgált bemetszett rúd eltörésére felhasznált munka volna, ha a később kifejtendő munkavesztések nem keletkeznének s a törés 100% munkahasznosítással menne végbe.

A veszteségek következtében azonban az ingán megállapított energia-vesztés a törésre fordítottnál több s ezért ebből az értékből nagyobb fajlagos munka adódik, mint amilyent a megvizsgált anyag tényleg megkívánt.

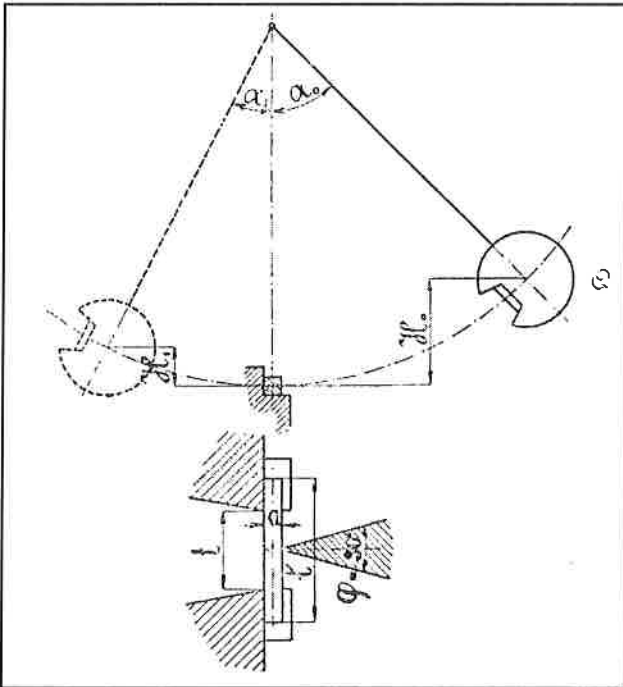
A kísérletek végrehajtására különböző nagyságú készüléket lehet alkalmazni. A 10x10 mm<sup>2</sup> keresztmetszetű próbárúd részére elegendőnek bizonyult a 10 mkg energiátartalmú gép (3. ábra), a 30x30 mm<sup>2</sup>-es rudak részére pedig a 250 mkg-os (5. ábra). Más méretű rudak vizsgálatára használnak még 25 és 75 mkg-os gépeket is.

Különböző méretű gépekre azért van szükségünk, mert a tapasztalat azt mutatta, hogy a törésfolyamatot kísérő munkavesztések a gépek méreteitől is függenek s azokkal egyértelműleg változnak.

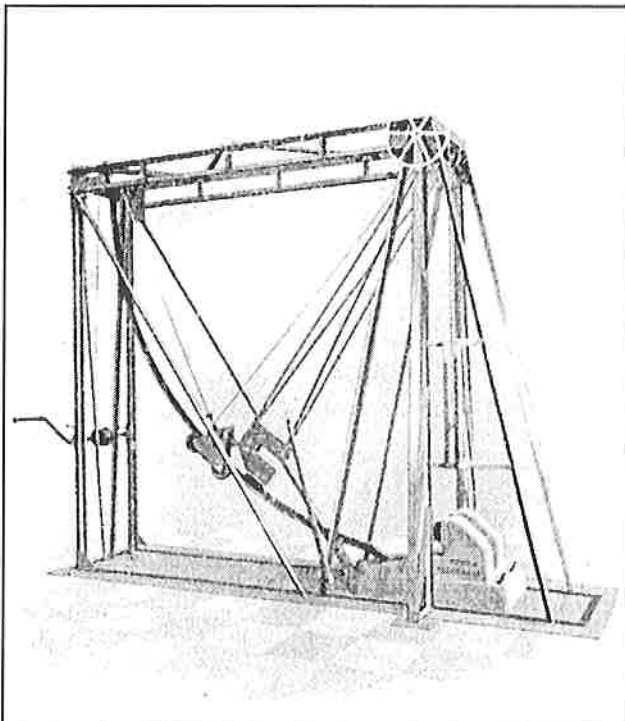
Nagyméretű pálcák vizsgálatához azért nem lehet kis gépet használni, mert törés nem is következne be, de viszont kisméretű pálcát sem célszerű nagy gépen törni, mert az ezen mutatkozó nagy munkavesztés a törésre fordított kis munkának nagy %-át tenné ki és ez a pontosság rovására menne. Hogy megítélhessük, mennyiben függ a mérés



3. ábra. A 10 mkg energiájú Charpy-féle ütőmű



4. ábra. A Charpy-féle ingás ütőmű vázlatja oldalnézetben és alaprajzban



5. ábra. A 250 mkg energiájú Charpy-féle ütőmű

eredményének pontossága a gép méreteitől, vizsgáljuk meg, hogy az ugyanazon géprendszeren kapott eredményeket milyen körülmények befolyásolhatják általában?

A választ megkaphatjuk a *Rejtő*-féle tételek egyikéből (I. *Rejtő*: Az elméleti mechanikai technológia néhány alaptétele. Budapest 1896.), mely szerint az alakításhoz szükséges erő – tehát a munka is – a belső súrlódástól függ, amelynek értéke az anyag hőmérsékletével, nemkülönben az ütés sebességével változik.

Az itt figyelembeveendő másik tétel szerint pedig: (I. A. *Rejtő*: Rationelle Durchführung der Materialprüfung etc. Paris, 1900.) az átalakítás munkáját mindig a próbarúd köbtartalmának egységére kell vonatkoztatni. Ezeken kívül fel kell használnunk a Kick-féle törvényt is,

mely azt mondja, hogy arányos méretű testek alakítására azonos fajlagos (azaz a köbtartalom egységére vonatkoztatott) munka szükséges, ha azok geometriailag hasonló és arányos mértékű alakításnak vannak alávetve.

A Kick-féle törvényből következnek:

1. Hogy arányos mértékű alakítás arányos méretű próbarudakon csak arányos méretű szerszámokkal érhető el.

2. Hogy az arányos méretű próbarudak hajlítására szükséges összes munka arányos azok köbtartalmával.

Mivel az arányos méretű próbarudak köbtartalma úgy aránylik egymáshoz, mint az arányszám köbe az egységhez, ennek következtében azok hajlítómunkái is ugyanilyen arányban vannak egymással.

Tegyük fel, hogy az egyik lapos rúd méretei:  $a, b, l$  és hogy hajlítómunkája  $M_1$ , továbbá, hogy a másik rúd méretei  $na, nb$  és  $nl$ ; akkor az utóbbinak hajlítómunkája arányos alakítás esetén:  $M_2 = M_1 n^3$  lesz.

Az első rúd fajlagos hajlítómunkája:

$$m_1 = \frac{M_1}{abl},$$

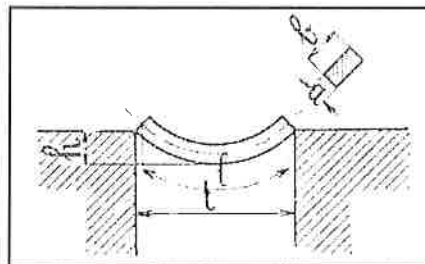
a másiké pedig:

$$m_2 = \frac{M_2}{abln^3} = \frac{M_1 n^3}{abln^3} = \frac{M_1}{abl},$$

tehát  $m_1 = m_2$ , azaz arányos méretű próbarudak fajlagos munkája – geometriailag hasonló és arányos nagyságú behajlítás esetén – azonos.

Ez a tétel akkor is áll, ha nem az egész rúd, hanem csak annak egyik arányos része szenved alakváltozást, ami kitűnik a következő megfontolásból: ha az  $a \times b = f_1$  keresztmetszetű és  $l$  hosszúságú hajlító próbatesten  $t$  távolságú támasztók között (6. ábra)  $P_1$  közepes erővel  $h$  nagyságú behajlást idézünk elő, akkor maradó alakváltozások esetén a szükséges hajlítóerő *Rejtő* képlete szerint (A hajlítóerő viszonya a feszültségekhez. M. M.-és Ép.-E. Közl. 1912.):

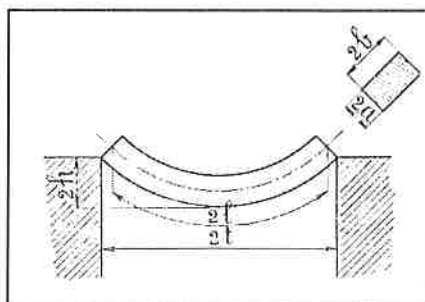
$$P_1 = \frac{a^2 b}{l} A_1 p_1$$



6. ábra. Hajlított rúd

Ebben a képletben  $A_1$  az anyagot jellemzi és gyakorlatilag állandó,  $p_1$  az a feszültség, mely  $\lambda$  egyenletes nyúlást, illetőleg  $h$  behajlást idéz elő. Ha azonban a rúd keresztmetszete  $2a \times 2b = f_2$  és hossza  $2l$  (7. ábra), akkor  $2t$  távolságú támasztók között  $2h$  nagyságú behajlításához szükséges erő:

$$P_2 = \frac{(2a)^2 \cdot 2b}{2l} A_1 p_1$$



7. ábra. A 6. ábrán levővel arányos méretű hajlított rúd

minthogy arányos méretű és azonos anyagú testekre nézve a képlet  $A$  tényezője azonos.

Ebből következik, hogy:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{2a \cdot 2b}{ab} = \frac{f_2}{f_1} = \frac{2^2}{1^2}$$

azaz, hogy a hajlítóerő arányos a rúd keresztmetszetével, illetőleg a két hajlítóerő úgy aránylik egymáshoz, mint a méretarány-számok négyzete.

A hajlító munka Rejtő szerint:

$$M_1 = \eta P_1 h \quad h = \frac{l^2}{8\rho} A_2$$

Ebben a képletben  $\eta$  tapasztalati együttható, és  $\rho$  a görbületi sugár, melynek értéke a következő törvény szerint számítható:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{a} \frac{\operatorname{tg} \beta}{1 + \operatorname{tg} \beta} \frac{\lambda}{1 + \lambda}$$

Itt  $\beta$  a hatásszög és  $\lambda$  a hajlítás alatt előidézett egyeneses nyúlás. Behelyettesítéssel azt kapjuk, hogy

$$M_1 = \eta \frac{a^2 b}{l} A_1 \rho_1 \frac{l^2}{8a} A_2 \frac{\operatorname{tg} \beta}{1 + \operatorname{tg} \beta} \frac{\lambda}{1 + \lambda} = ab l \rho_1 A_3 \frac{\lambda}{1 + \lambda},$$

ahol

$$A_3 = \frac{\eta A_1 A_2 \operatorname{tg} \beta}{8 (1 + \operatorname{tg} \beta)}$$

Ha a rúd méretei  $2a$ ,  $2b$  és  $2l$  és az igénybevétel arányos deformációig (azonos feszültségig) történik, akkor a hajlítás munkája:

$$M_2 = 2a \cdot 2b \cdot 2l \cdot \rho_1 A_3 \frac{\lambda}{1 + \lambda} \quad \text{és}$$

$$\frac{M_2}{M_1} = \frac{8ab l}{ab l} = \frac{2^3}{1},$$

azaz a hajlítómunka arányos a rudak köbtartalmával, illetőleg a két rúd hajlítómunkái úgy aránylanak, mint a méretarány-számok köbe.

A fajlagos munkák értéke pedig:

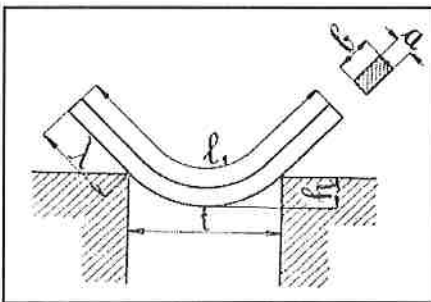
$$m_1 = \frac{M_1}{ab l} \quad \text{és}$$

$$m_2 = \frac{M_2}{2a \cdot 2b \cdot 2l} = \frac{8M_1}{8ab l} = \frac{M_1}{ab l},$$

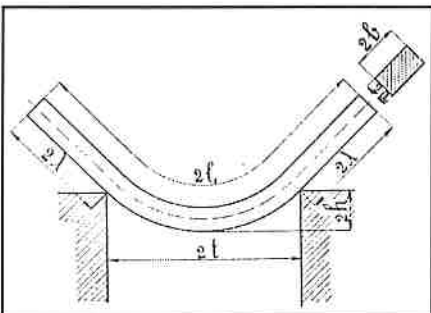
amiből következik, hogy  $m_1 = m_2$ , azaz a két rúd fajlagos hajlító munkája egyenlő, ami az említett Kick-féle törvény. Könnyen belátható, hogy ha az előbbiekkal egyenlő keresztmetszetű, de hosszabb rudakat (8. és 9. ábra) ugyancsak  $P_1$ , illetőleg  $P_2 = 4P_1$  erővel ugyanazon támaszok között hajlítunk, akkor szintén  $h$ , illetőleg  $2h$  behajlásokat érünk el, mert

a támasztó pontokon túl kiálló rúdrészek alakváltozást nem szenvednek. Ebből következik, hogy a két rúd hajlító munkája ugyanakkora lesz, mint előbb, azaz:  $M_1 = P_1 h$  és  $M_2 = 8P_1 h = 8M_1$ ; ellenben változni fog a fajlagos munka, mert nagyobb lett a rudak köbtartalma éspe-

dig:  $m'_1 = \frac{M_1}{ab \cdot l_1}$  és  $m'_2 = \frac{M_2}{2a \cdot 2b \cdot 2l_1} = \frac{8M_1}{8ab \cdot l_1} = \frac{M_1}{ab \cdot l_1}$ . Látjuk, hogy  $m'_1 = m'_2$ , azaz a két rúd fajlagos munkája



8. ábra. A támasztón túlterjedő hajlított rúd



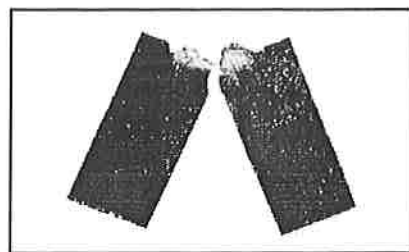
9. ábra. A támasztón túlterjedő hajlított rúd, melynek méretei a 8. ábrán feltüntetett rúddal arányosak

azonos, dacára annak, hogy a rudaknak csak egy része szenvedett alakváltozást; de mivel  $l > l_1$ , ennek következtében  $m'_1$  kisebb, mint  $m_1$ , vagyis oly rudaknak fajlagos munkája, melyeknek holt, azaz alakváltozást nem szenvedő részeik vannak (a 8. ábrán  $\lambda$  hosszúságú darab), kisebb, mint azoké, amelyek teljes tömegükben deformálódnak, de arányos méretű ily rudak fajlagos munkája mégis azonos.

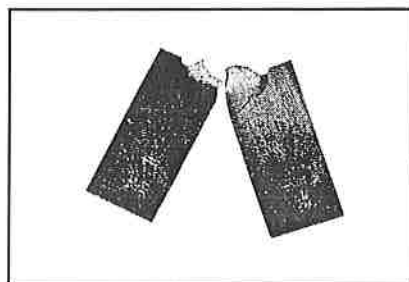
Kivüláglík ebből, hogy az egész rúdra vonatkoztatott fajlagos munka csak elvont fogalom, mert a hajlított rúd különböző részeinek alakváltozása különböző, tehát azok munkafogyasztása is eltér egymástól. De ezen fogalom gyakorlatilag teljesen kielégítő eredményre vezet ott, ahol csak összehasonlításról, illetőleg relatív értékekről van szó.

Az előbb bebizonyított tétel, mely szerint két arányos méretű rúd fajlagos munkája akkor is azonos, ha a rudaknak csak egy része deformálódott, teljes mértékben átvihető a bemetszett rudakra. Ezeknek csak a bemetszés körüli része deformálódik, de ennek a deformációnak kiterjedése arányos méretű próbatesteken pontosan arányos. A 10. és 11. ábrák egy  $6 \times 12 \times 52$  és egy  $12 \times 24 \times 104$  mm méretű bemetszett, hajlítással eltört próbarudat mutatnak természetesen nagyságban lefényképezve. A 12. és 13. ábrák ugyanazt a két rudat lerajzolva mutatják, a deformált rész vonalkázva van. A deformáció a kis próbarudon a közép-től 5 mm-nyire, a nagy rudon 10 mm-nyire terjed, tehát a deformált hosszúságok aránya pontosan 2, azaz egyenlő a próbarudak méretarány-számával.

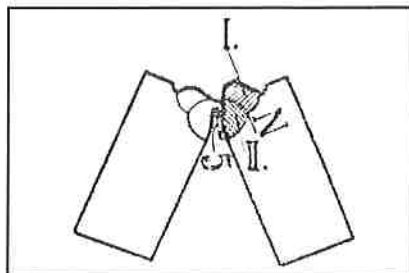
Ugyanaz az arányszám a deformált részek magasságának és vastagságának, amiből következik, hogy a nagyobb rúd deformált részének köbtartalma  $2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ -szor akkora, mint a kisebb rúdé. A Kick-féle törvény alapján kell tehát, hogy a nagy rúd teljes hajlítómunkája 8-szorosa legyen a kisrúdénak, azaz  $M_2 = 8M_1$  legyen. A kisebbik rúd fajlagos hajlítómunkája



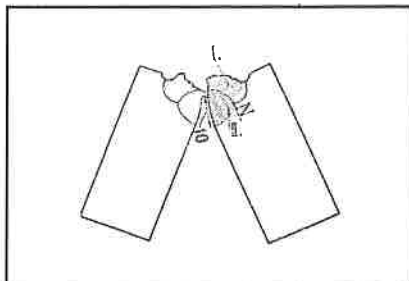
10. ábra. Hajlítással eltört kis próbarúd (1:1)



11. ábra. Hajlítással eltört nagy próbarúd (1:2)



12. ábra. A 10. ábrán bemutatott próbarúd törésének vázlata (1:1)



13. ábra. A 11. ábrán bemutatott próbarúd törésének vázlata (1:2)

Ugyanaz az arányszám a deformált részek magasságának és vastagságának, amiből következik, hogy a nagyobb rúd deformált részének köbtartalma  $2 \cdot 2 \cdot 2 = 8$ -szor akkora, mint a kisebb rúdé. A Kick-féle törvény alapján kell tehát, hogy a nagy rúd teljes hajlítómunkája 8-szorosa legyen a kisrúdénak, azaz  $M_2 = 8M_1$  legyen. A kisebbik rúd fajlagos hajlítómunkája

$$m_1 = \frac{M_1}{6 \times 12 \times 52}$$

A kísérlet  $M_1 = 5,45$  mkg-ot adott, miből következik, hogy

$$m_1 = \frac{5,45}{6 \times 12 \times 52} = 0,001455 \text{ mkg/l mm}^3, \text{ vagy}$$

$$m_1 = 1,455 \text{ mkg/l cm}^3$$

A nagyobb próbarúd törése  $M_2 = 39,7$  mkg munkát fogyasztott miből kiszámítható a fajlagos munka:

$$m_2 = \frac{39,7}{12 \times 24 \times 104} = 0,001325 \text{ mkg/l mm}^3 = 1,325 \text{ mkg/l cm}^3$$

A két érték ( $m_1$  és  $m_2$ ) nem egyenlő, amint azt a Kick-féle törvény követelné, hanem körülbelül 10%-kal különbözik. A különbség magyarázatát Rejtő törvényei adják.

Szerinte az összehasonlítandó pálcák *törése egész folyamatának azonos sebességgel* kell végbemenni és, mivel a törés folyamatának sebessége az ütkökos sebességétől függ, az ütkökos törés előtti és törés utáni sebességének, mind a két próbarúdnál azonosnak kell lennie. Ebből az következik, hogy az ütkökos tömegének változnia kell az eltérő méretű rúd méretei szerint, mert a nagyobb rúd nagyobb összes munkát, illetőleg energiát igényel a törésre, mint a kisebb; egyenlő sebesség mellett pedig a nagyobb energia csak nagyobb tömegben érhető el s ezért a különböző méretű rudakhoz különböző ütműveket kellene használni, vagy legalább az ütmű ingáját, illetőleg ütkösát kellene szükség szerint kicserélni.

Ha tehát (példaképen) az  $axb$  keresztmetszetű és  $l$  hosszúságú rudat oly ütművel törjük, amelynek ingatömege =  $\mu$  és az inga esésmagassága  $H_0$  (4. ábra), akkor az  $na \times nb$  keresztmetszetű és  $nl$  hosszúságú rúd töréséhez alkalmazandó ingatömeg ugyanolyan  $H_0$ , esésmagasság esetén  $n^3\mu$  lesz, mert az utóbbi rúd kőbirtalma  $n^3$ -szor nagyobb, mint a kis rúdé, tehát azonos fajlagos munkaszükséglet esetén ez  $n^3$ -szor nagyobb munkát igényel az eltörésre, mint a kisebb rúd.

A törés előtti sebességet a  $v_0 \sqrt{2gH_0}$  képlet szerint a  $H_0$  magasság szabja meg. Ha ez a  $H_0$  és  $v_0$  érték kis és nagy próbatest esetén azonos, továbbá az ingatömegek arányosak, akkor a második feltétel, azaz, hogy az inga sebessége a két különböző méretű rúd törése végén legyen magától bekövetkezik. Számítsuk ki egy példán a törés utáni sebességet.

Ha az  $axb$  méretű rúd töréséhez szükséges összes munka =  $M_1$  és az inga energiája  $\mu gH_0$  volt (ahol  $g = 9,81$ , a súlyerő okozta gyorsulás), akkor a törés után  $v_1$  sebességgel továbbmozgó ingában visszamaradó energia

$$E_1 = \mu gH_0 - M_1 = \frac{\mu v_1^2}{2}$$

A másik rúd, melynek méretei  $n$ -szer nagyobbak, ha a neki megfelelő ütművel törjük el, melynek ingatömege  $n^3 \cdot \mu$ , a következő eredményeket adja:

$$E_2 = n^3 \mu gH_0 - M_2 = n^3 \mu \frac{v_2^2}{2}$$

De mivel a nagyobb rúd munkafogyasztása  $M_2 = n^3 \cdot M_1$  ennek következtében:

$$E_2 = n^3 \mu gH_0 - n^3 \cdot M_1 = n^3 \mu \frac{v_2^2}{2}$$

Ebből: 
$$\frac{v_2^2}{2} = \frac{\mu gH_0 - M_1}{\mu} \text{ és}$$

$$v_2 = \sqrt{2 \frac{\mu gH_0 - M_1}{\mu}}$$

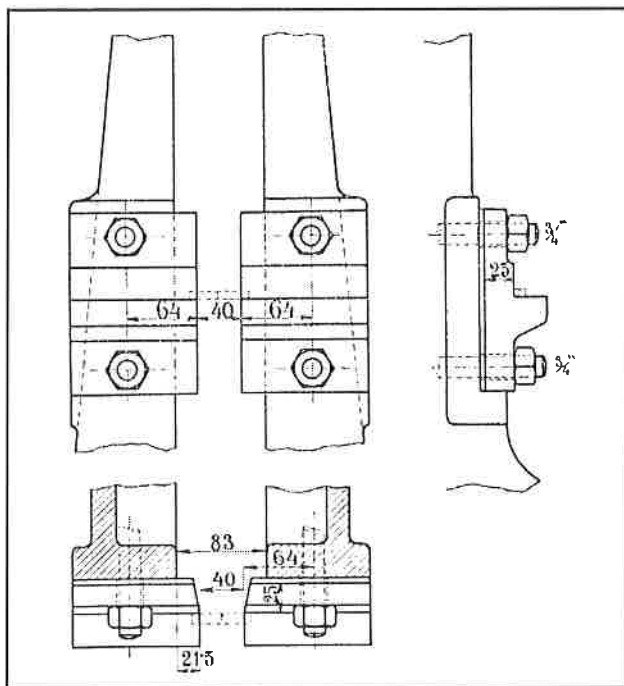
Ugyanezt az értéket kapjuk  $v_1$ -re az  $E_1$  egyenletéből, azaz a két arányos méretű rúd törése kezdettől végig, azonos, változó sebességgel történik, ha az ingasúlyok úgy aránylanak, mint  $1 : n^3$ , az esésmagasság pedig ugyanaz.

Ezt a szabályt, mely a Rejtő által megjelölt követelményből származik, az ütpőrbáknál be kellene tartani, ha teljesen pontos eredményt akarnánk elérni.

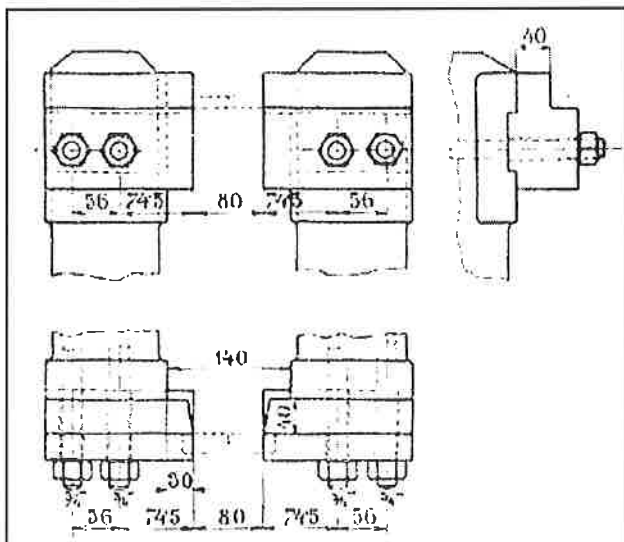
A már említett kísérletekben a fenti követelmény nem volt teljesítve, mert, míg a kis pálcát olyan ingás ütkészüléken törték el, melynek

esésmagassága  $H_0 = 1240$  mm, ingasúlya pedig  $8,0645$  kg volt, addig a nagyobb pálcát  $45,317$  kg ingasúlyú ütművön, melynek esésmagassága szintén  $1240$  mm-re volt beállítva. Tehát az ingatömegek aránya körülbelül csak  $5,6$  volt, holott annak  $n^3 = 2^3 = 8$ -nak kellett volna lenni.

Ezek után vizsgáljuk meg, milyen más okok befolyásolhatták a kísérlet eredményét? Mint már említettük, a kísérletekhez két ingás gépet használtunk; lehetséges tehát, hogy a gépek támasztószervezetének, mely a 14. és 15. ábrán van feltüntetve, különböző rugalmassága befolyásolta az eredményt.



14. ábra. A kis ütmű támasztószervezete

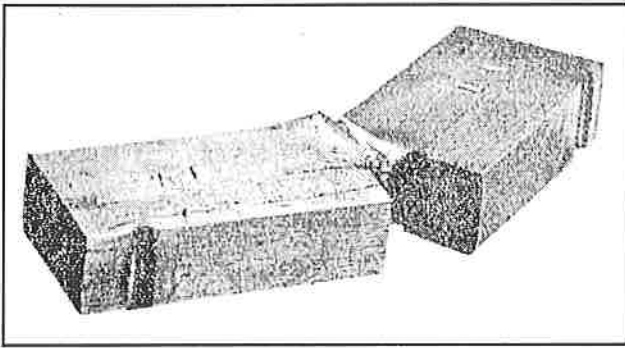


15. ábra. A nagy ütmű támasztószervezete

A támasztópontok távolsága változtatható azáltal, hogy a felfekvés lapok hosszabbakkal cserélhetők ki. A kis gépen (l. 14. ábra) a *legnagyobb* támaszköz  $T = 83$  mm, ellenben a nagyon (15. ábra)  $T = 140$  mm. A támasztószervezet rugalmasságának hatása a felfekvésre szolgáló lapok méreteitől és a gépöntvényen túl terjedő szabad rész hosszától (mely a 14. ábrán  $21,5$ , a 15-iken pedig  $30$  mm), valamint a csavarok méreteitől függ.

Minél rugalmasabb a támasztószervezet, annál kisebb az inga energiájának az a vesztesége, amely nem a próbatest törésére fordul. Ha a

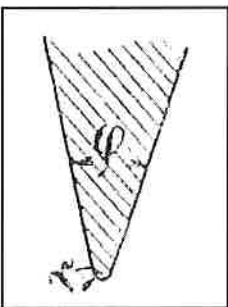
feltekvésre szolgáló lapok tökéletes rugók volnának, akkor az ütközés elején ezek felvonnák az inga energiájának a próbatest törésére pillanatnyilag felesleges részét és visszaadnák a törésfolyamat végén. Rugalmatlan támasztókon ellenben nagyobb munkavesztés keletkezik, mert a próbatesttel való érintkezésük helyén az inga által hozott munka egy része marad deformációt okoz. Hogy a feltekvés lapok marad deformációt ne szenvedjenek, azokat kemény acéلبól készítik és edzik; ezáltal anyaguk rugalmassági határa emelkedik. A támasztás helyén keletkező munkavesztés azonban ilyenkor magukon a próbáradakon mutatkozik és pedig abban, hogy a támasztó szerszám beléjük vágódik (l. 16. ábra).



16. ábra. A támasztók bevágódása a törött próbáradón

Hogy tehát két különböző nagyságú gépen ugyanaz legyen a veszteségszázalék, azok rugalmassági viszonyainak azonosnak kell lenni, ami úgy érhető el, ha a támasztószerszám méretei arányosak; itt az arányossági szám ugyanaz az  $n$ , mint a gépeken eltörendő próbáradakra nézve.

A mondottakból következik, hogy ha csak egy gép áll rendelkezésünkre, amelyen különféle méretű pálcákat akarunk megvizsgálni, akkor a helyes eredmény elérése céljából nemcsak az ingát kell kicserélni, hanem a támasztószerszámot is. Az arányosság törvényét természetesen az ütőkos részletméreteire is alkalmazni kell, vagyis a próbáradal érintkező résznek, az ún. késnek is geometriailag hasonlóan és arányos méretűnek kell lennie.

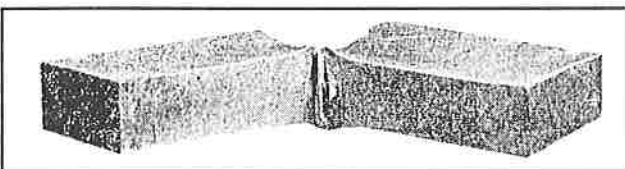


17. ábra. Az ütőmunka inga késének vízszintes metszete

Ha tehát pl. az egyik kés szöge  $\varphi$  és legömbölyítésének sugara  $r$  (17. ábra), akkor annak a másik késnek, amelyet az  $n$ -szer nagyobb pálcához használunk,  $nr$  sugarúnak kell lenni, de ugyanazon  $\varphi$  szögűnek. Ez az előírás azért fontos, mert a kés a próbáradalba bevágódik, azaz kis helyen állandó deformációt idéz elő (l. 18. ábra), ami éppúgy munkavesztést jelent, mint a támasztók bevágódása.

Arányos méretű kések alkalmazásával azonban elérjük, hogy a kés által okozott munkavesztés fajlagos értéke az arányos próbáradalakra nézve azonos lesz.

A már felemlített két ütőkísérlet alkalmazásával használt gépeken az előbbi feltételek csak megközelítőleg voltak teljesítve; a kis gép késének legömbölyítő sugara 0,7 mm, a nagy gépé 2 mm,  $\varphi$  szög pedig mind a két késen  $30^\circ$  volt ugyan, de a rúdtámasztó szerkezetének méreteiben megközelítőleg sem volt betartva az  $n = 2$  arányossági szám, mint az a 14. és 15. ábrából látható.



18. ábra. Az inga késének bevágódása a törött próbáradalra

Mint hogy a törés közben keletkező energiavesztés az ingában törés után maradó mozgásenergia értékét befolyásolja, annak egyik tényezője pedig az ütő súly sebessége, s mint hogy az ütő súlyával azonos sebességre gyorsul az eltörött próbáradal: így a munkavesztés nagysága az eltörött próbáradal nyert sebességére szintén hatással van.

Ha  $E_3$  az eltört próbáradalban a törés után maradó mozgásenergia, a próbáradal súlya  $G$  és az ütés után nyert sebessége  $v_1$ , akkor

$$E_3 = \frac{G v^2}{g \cdot 2}$$

Az említett kísérletekben a két próbáradal ütés utáni sebessége azért különbözött, mert az ingasúlyokon nem teljesült az arányosság törvénye s ennek következtében különböztek a két darab eltörésekor bekövetkezett energiavesztések is.

Bár a tárgyalt veszteségek – amint később kimutatjuk – nagyobb képlékenységre vasfajták esetén aránylag annyira csekélyek, hogy a fajlagos törésmunka értékét nem befolyásolják, mégis szükséges volt azokra rámutatni, mert törekeny anyaggal, pl. öntöttvasal végzett kísérletekben már jelentékeny szerepet játszanak.

Eddigi fejtegetéseinkben feltételeztük, hogy a megvizsgálandó próbáradal hőfoka ugyanaz és hogy a rudak anyaga minden tekintetben egyenletes és egyforma. Az állandó hőfok betartása nem okoz nehézséget, ha a kísérleteket zárt helyiségben, ugyanazon időben végezzük. Ami pedig az anyag egyenletességét illeti, tapasztalatból tudjuk, hogy kisebb-nagyobb egyenlőtlenések minden anyagban előfordulnak és ezért ugyanazon hengerelt vasszálból vett egyenlő nagyságú próbáradalok szakítópróbája is adhat 20%-ig eltérő szilárdsági számokat. Mint később bemutatjuk, az ütőpróbával kapott értékek hasonló határok között változnak. Mindebből következik, hogy a már felsorolt kísérleti eredmények, amelyekkel a Kick-féle törvénynek ütőpróbákra való alkalmazhatóságát akartuk bizonyítani, teljesen megnyugtatók, különösen ha még azt is tekintetbe vesszük, hogy a két kísérleti gépen csak részben voltak teljesítve a Rejtő-féle követelmények.

Nézzük már most, milyen álláspontot foglalt el a koppenhágai kongresszus a Kick-féle törvénnyel szemben?

Sajnálattal kell megállapítanunk, hogy a kongresszus az ütőpróba fajlagos munkájának meghatározására olyan szabályt állított fel, amely a Kick-féle törvény félremagyarázásán alapul. Kimondta ugyanis, hogy a törés munkáját a próbárad keresztmetszetére kell vonatkoztatni, holott Kick szerint a hajlítórők arányosak a keresztmetszettel és a hajlító-, illetőleg törőmunkák a rudak köbtartalmával arányosak. E tévedésbe a kongresszust a Révillon által III. 3. szám alatt előterjesztett jelentés ejtette, melyben a nevezett szerző egy Guillery\*-féle ütőgépen végrehajtott kísérletei alapján azt mondta ki, hogy arányos méretű rudak törésmunkája a bemetszés helyén levő ép keresztmetszettel arányos, illetőleg, hogy arányos méretű pálcák fajlagos törésmunkája értékét úgy kapjuk, ha a rúd törésére felhasznált összes munkát a rúdnak a bemetszés helyén levő ép keresztmetszetével osztjuk.

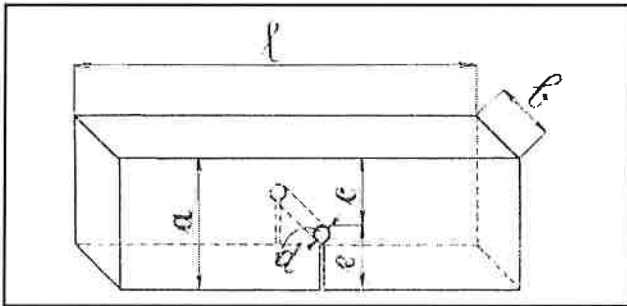
Későbbi kísérletekből kitűnt, hogy Révillon állítása téves volt és tévedésének okát is keresték. Az idevonatkozó kísérletek közül utalunk Martens-Heyn fentebb idézett műve 391. lapján ismertetett kísérletre, mely szerint ugyanabból az anyagból 1:3 arányú méreteken készült két próbáradal végzett kísérlet alkalmazásával a Révillon-féle szabály szerint kiszámított fajlagos munka értéke 9,35, illetve 26,3 mkg/cm<sup>2</sup> volt; tehát a 3-szor nagyobb pálcák a fajlagos munkára kerekén 3-szor nagyobb értéket adtak. Ebből kitűnik a Révillon-féle feltevés hibás volta.

Más kísérletezők által talált hasonló eredmények arra indították a kutatókat, hogy a tévedés okát kiderítsék. Saját kísérleteink arról győzték meg bennünket, hogy a hibás eredmények a Kick-féle törvény feltételeit képező Rejtő-féle követelmények nem tartásával magyarázhatók meg. A Rejtő-féle követelmények megszabják, hogy milyen elvek szerint kell az ütőgépet szerkeszteni, és a kísérletet végrehajtani, hogy

\* L. Martens-Heyn: Materialienkunde. II. A., 1912. 381. oldal.

azonos anyagú különböző méretű pálcákra azonos fajlagos munkaértéket kaphassunk; továbbá, hogy miképpen kell a kísérleti munkaveszteségeket meghatározni. Bár ez utóbbiakra nézve – az idő rövidsége miatt – még nem állt módunkban pontos számítási és kísérleti eredményeket összeállítani, már most is vázolhatjuk azt az eljárást, a melyet a bemetszett rudak fajlagos törésmunkájának meghatározásában követnünk kell.

Vizsgáljunk meg két arányos méretű bemetszett rudat, melyek egyikének keresztmetszete  $ab$  és hosszúsága  $l$ , a bemetszés melletti ép keresztmetszete pedig  $cb$  (19. ábra). A másik rúd méretei az elsőnek  $n$ -szeresei.



19. ábra. A bemetszett próbatest méretei

Az első rúd összes ütőmunkája  $M_1$ , a másiké Kíck szerint:  $M_2 = n^3 \cdot M_1$ ; mind a két rúd fajlagos munkája Kíck szerint:

$$m_1 = m_2 = \frac{M_1}{abl}$$

A fajlagos munka Révillon szerint:

az 1-ső rúdra:

$$m'_1 = \frac{M_1}{cb}$$

a 2-ik rúdra:

$$m'_2 = \frac{M_2}{nc.nb} = \frac{n^3 M_1}{n^2 cb}$$

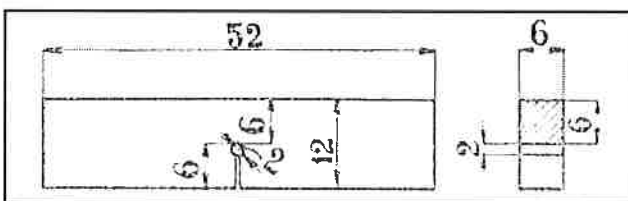
Ebből:

$$\frac{m'_2}{m'_1} = n,$$

azaz a Révillon-féle szabály a nagyobb pálcára nézve  $n$ -szer nagyobb fajlagos munkaértéket szolgáltat, mint a kis rúdra. Ha tehát pl.  $n = 3$ , akkor Révillon szerinti számítás a nagyobb próbarúdra 3-szor oly nagy fajlagos törésmunkát szolgáltat, mint a kis rúdra, amit az előbb említett Martens-Heyn-féle kísérlet igazolt is.

Ha tehát az általunk használt adatokkal összehasonlítható értékeket akarunk kapni, a Révillon-féle szabály alapján kiszámított értékeket az „ $n$ », arányossági számmal osztani kell.

Ha például a Martens-Heyn-féle kísérletről a nagyobbik rúdra Révillon szerint kapott 26,3 mkg/cm<sup>2</sup> eredményt a méretarány számmal, 3-mal osztjuk, 8,76 mkg/cm<sup>2</sup> fajlagos munkát kapunk ugyanez a kísérlet a kis pálcára Révillon szerint 9,35 mkg/cm<sup>2</sup> adott; itt az eltérés csak körülbelül 6%, ami az anyag egyenlőtlenségével is magyarázható. Ugyanilyen eredményre vezetnek Ehrenberger kísérletei. («Die Kerbschlagprobe im Materialprüfungswesen», Zeitschr. d. Vereines Deutscher Ingenieure, 1907.) E közlemény 1979-ik lapján, az 5. táblázatban a 2. tétel alatt azt találjuk, hogy egy 20x20 mm<sup>2</sup> keresztmetszetű és 6 mm-es bevágású pálcának Révillon-féle fajlagos törésmunkája = 10,7 mkg/cm<sup>2</sup> ugyane táblázat 6. tétele alatt pedig 10x10 mm<sup>2</sup> keresztmetszetű és 3



20. ábra. Saját kísérleteinkben használt kisebb próbatest

mm-es bevágású rúdra 5,1 mkg/cm<sup>2</sup> Révillon-féle fajlagos munka van közölve. Ha szabályunk szerint a 20 mm-es pálcán talált 10,7 értéket az arányszámmal, azaz 2-vel osztjuk, 5,33 mkg/cm<sup>2</sup>-t kapunk a nagyobb rúdra, ami csak körülbelül 5%-kal tér el a kis rúdra kiszámított értéktől.

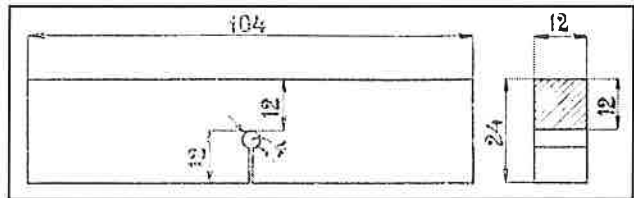
Lássuk most saját kísérleteinket, amelyeket már előbb említettünk, és számítsuk ki adataikból a Révillon-féle értékeket.

A 6x12x52 mm méretű rúd (20. ábra) 5,45 mkg összes munkát fogyasztott, a bemetszés helyén mért ép keresztmetszet 6x6 mm<sup>2</sup>, tehát a Révillon-féle fajlagos munka

$$m'_1 = \frac{5,45}{0,6 \cdot 0,6} = 15 \text{ mkg/cm}^2$$

A nagyobb rúd, melynek méretei 12x24x104 mm voltak (21. ábra), 39,7 mkg összes munkát kívánt, s minthogy a bemetszés helyén az ép keresztmetszet 12x12 mm<sup>2</sup>, így a fajlagos munka:

$$m'_2 = \frac{39,7}{1,2 \cdot 1,2} = 27,5 \text{ mkg/cm}^2$$



21. ábra. Saját kísérleteinkben használt nagyobb próbatest

Ezt az értéket az arányszámmal, 2-vel osztva, 13,7 mkg/cm<sup>2</sup> kapunk s így a Révillon-féle osztás útján kapott szám csak körülbelül 10%-kal különbözik a kisebb rúdon talált szintén Révillon-féle értéktől.

Ha most összehasonlítjuk a köbtartalomegységre vonatkoztatott munka  $m_1$  értékét a keresztmetszet egységére kiszámított  $m'_1$  értékkel, akkor azt kapjuk, hogy:

$$m_1 = \frac{M_1}{a \cdot b \cdot l}, m'_1 = \frac{M_1}{cb}, \text{ tehát } \frac{m_1}{m'_1} = \frac{c}{a} \cdot \frac{1}{l} = A$$

Mivel  $c < a$ , ennek következtében  $\frac{c}{a} < 1$ , és  $A$  annál inkább  $< 1$ , így tehát  $m'_1 < m_1$ , azaz a keresztmetszet egységére vonatkoztatott munkának nagyobb a számbeli értéke, mint a köbtartalom egységére vonatkoztatottnak.

Ha tekintetbe vesszük, hogy úgy  $m_1$ , mint  $m'_1$  csak elvont fogalmak és szabványok megállapításánál elegendő, ha relatív értékeket hasonlítunk össze, akkor gyakorlati szempontból mindegynek találjuk, hogy munkamértékül  $m_1$ -et, vagy  $m'_1$ -t választjuk-e; a különbség köztük csak abban van, hogy számértékük, mint fentebb bizonyítottuk, nem egyezik meg. Az elmondottak alapján célszerűnek látszik az eddigi gyakorlat fenntartása és a meglévő irodalmi kísérleti eredmények használhatósága érdekében a törés munkáját továbbra is a keresztmetszet egységére vonatkoztatni és a különböző, de arányos méretű próbarudakon talált értékeket az arányossági számmal elosztva összehasonlítni.

Ez a szabály így fejezhető ki:  $m_n = m \cdot n$ .

Ebben a képletben  $m$  az alapul felvett szabványrúd keresztmetszetének egységére kiszámított törésmunka és  $m_n$  a szabványrúdtól különböző, de arányosan  $n$ -szeres méretű rúd keresztmetszetére eső munka.

Mivel rendszeren  $m_n$ -et határozzuk meg kísérletileg, ennek következtében a szabványrúddal való összehasonlításhoz redukált érték:

$$m = \frac{m_n}{n}$$

E kérdés tárgyalását nem fejezhetjük be anélkül, hogy Kíck és Rejtő mellett Schület és Heynt meg ne említsük, kik a Révillon-féle szabály téves voltát felismerve, helyes megoldáshoz vezető utat mutattak. Mind a ketten (I. Schüle: III/2. számú jelentése a koppenhágai kongresszus részére, melynek címe: Schüle-Brunner: Über Schlagbiegeproben an eingekerbten Stäben, továbbá: Martens-Heyn: Materialienkunde II. A., 1912. 391. oldal) rájöttek, hogy a törés munkáját nem szabad a rúd keresztmetszetére vonatkoztatni, hanem a köbtartalom egységére, de



ők nem az egész rúd köbtartalmát vették számításba, hanem csak a deformált részét, melyet a kísérlet után lehetett megmérni. Ez az eljárás hosszadalmassága miatt nem terjedt el a gyakorlatban. *Schüle* és *Heyn* nem vették tekintetbe, hogy a deformált rész köbtartalma meghatározásának és az erre alapított számításnak csak akkor van értelme, ha a tényleges számbeli értékeket akarjuk megkapni. Összehasonlítás céljából azonban csak *relatív* értékekre van szükségünk és ezért az egész próbadarab köbtartalmával számíthatunk, mert arányos méretű rudak helyi deformációjához szükséges munkák, mint fentebb bebizonyítottuk, úgy aránylanak, mint a rudak teljes köbtartalma.

Most, tisztázván a fajlagos munka meghatározásával kapcsolatos elvi kérdéseket, áttérhetünk a részletekre és megvizsgálhatjuk, milyen befolyást gyakorolnak a kísérlet különböző körülményei annak eredményeire, illetőleg a fajlagos törésmunka számbeli értékére?

A figyelembe veendő tényezők közül legfontosabbak a következők:

1. a próbarúd és a bemetszés alakja,
2. a törés sebessége,
3. a próbarúd kísérlet alatti hőmérséklete.

E három tényezőnek a fajlagos munkára való befolyását már sokan tanulmányozták\*, de végleges eredmények még nincsenek, mert a kísérletezők nem helyeztek elég súlyt arra, hogy kísérleteikhez megfelelő anyagot válasszanak. E tekintetben figyelniük kellett volna arra, hogy a *bemetszett pálcák ütőpróbája* olyan anyagok minőségének megállapítására való, amelyek az eddig szokásos szakítókérdések alapján jó minőségűeknek bizonyultak s ennek dacára használat közben törekenyek.

Ezt előrebocsátva látjuk, hogy a szóban forgó kérdések teljes megoldásához újabb kísérletekre van szükség. Az eddig elért eredményeket a következőkben foglaljuk össze:

**1. A próbarudak és a bemetszés alakja**

A koppenhágai kongresszus az 1. ábrában feltüntetett próbarudat ajánlotta. Ennek jellemző sajátosságai:

a) A bemetszés helyén lévő ép keresztmetszet (a törést szenvedő keresztmetszet), alakja olyan négyzet, melynek oldalai 1:2 arányban állnak, azaz  $c = \frac{b}{2}$  és amelynek hosszabb oldala párhuzamos a bemetsző réssel.

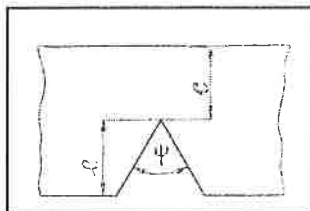
b) A bemetszés olyan fűrt lyukkal van határolva, melynek  $d$  átmérője a törést szenvedő keresztmetszet  $c$  magasságának körül belül 1 része; pontosan:  $d = c \cdot \frac{4}{15}$

c) A bemetszés mélysége a próbadarab magasságának feléig terjed, azaz:  $e = c = \frac{a}{2}$ .

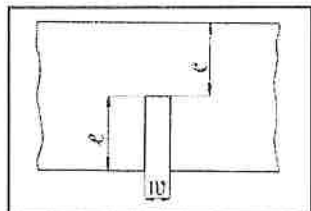
Másféle alakú próbarudak is használatosak s ezek jellemző adatai:

a) A törést szenvedő keresztmetszet alakja négyzet, vagy olyan négyzet, melynek rövidebb oldala párhuzamos a bemetszéssel.

b) A bemetsző rés ék (háromszög) (22. ábra) vagy négyzet alakú (23. ábra).



22. ábra. Ék alakú bemetszés



23. ábra. Négyzet alakú bemetszés

\* *Ehrenberger*: Die Kerbschlagprobe, etc. Z. d. V. D. Ing. 1907.  
*Charpy*: Sur l'essai des métaux par flexion de barreaux entaillés. A. 10. f. Congrès de Bruxelles, 1906.  
*Baumann*: Versuche über den Einfluss der Breite bei Kerbschlagproben. Z. d. V. D. Ing. 1912.  
*Frémont*: New York-i kongresszus. 1912. IV. 2. jelentés.  
*Belanger*: New York-i kongresszus. 1912. IV. 5. jelentés.  
*Schüle*: Materialprüfungsamt der Technischen Hochschule. Zürich, 1913. 10. jelentés.

\*\* Lásd még: *Bartel*: Az anyag átalakíthatósága. M. M.- és Ép.-Egyl. Közlönye, 1913.

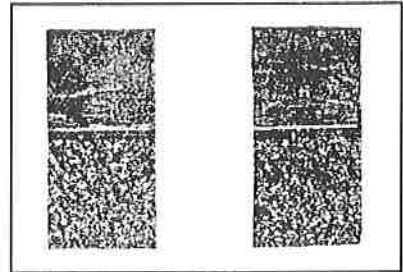
c) A bemetszés mélysége kisebb a törést szenvedő keresztmetszet magasságánál, azaz  $e < c$ .

Mielőtt a különféle alakú próbarudakkal elért kísérleti eredményeket ismertetnők, állapítsuk meg, hogy a fajlagos törésmunka értéke mitől függ? A tapasztalat azt mutatja, ami különben magától értetődik is, hogy adott állandó töréskeresztmetszet fajlagos törésmunkája annál nagyobb, minél nagyobb a töréshez szükséges teljes munka; ez utóbbi viszont aszerint változik, hogy a rúdnak kisebb, vagy nagyobb része deformálódott. A legnagyobb törésmunkát a bemetszés nélküli rúd kívánja, mert az a veszélyes keresztmetszettel a támasztásig, fokozatosan csökkenő mértékben, de mindenütt deformálódik; ellenben a bemetszett rúdnak csak a bemetszéshez közelebbi része, amelynek terjedelme a bemetszés és a mellette maradó ép keresztmetszet alakjától függ.

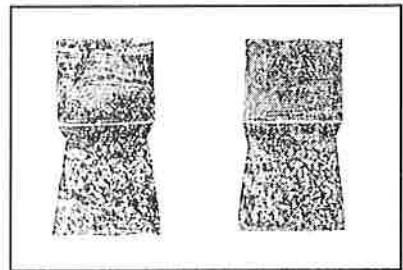
Mint minden hajlításban úgy itt is egyik oldalon húzásra, a másikon összenyomásra van az anyag igénybevéve s ezért a keresztmetszet egyik oldala összehúzódik, a másik pedig duzzad; így az eredetileg négyzet alakú keresztmetszet (24. ábra) trapézszá válik (25. ábra).

A koppenhágai kongresszuson ajánlott szabványos pálcá deformációja a 12. és 13. ábrában feltüntetett alakot mutatja. Az «I» jelű rész húzásra a «II» jelű nyomásra volt igénybevéve, az «N» pont a semleges réteg helyzetét jelzi.

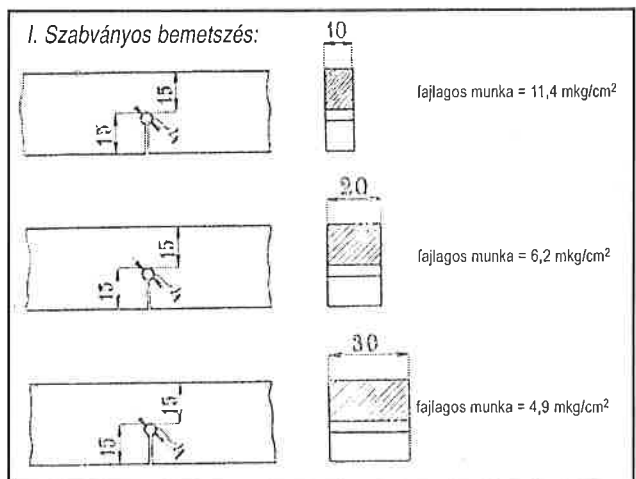
Ezek után világos, hogy olyan rúdhoz szükséges a legnagyobb törésmunka, amelynek keresztmetszete a legnagyobb változást szenved. Ámde *Rejtő* tanulmányaiból tudjuk (1. M. M.- és Ép.-Egyl. Közl. 1912. 26. old.: A hajlítóerőnek viszonya a feszültségekhez), hogy a *keresztmetszet változása annál kisebb, minél nagyobb a próbatest szélessége annak vastagságához képest.*\*\* Ugyanezt igazolják *Ehrenberger* kísérleti eredményei (I. *Ehrenberger*: Die Kerbschlagprobe, etc. Z. d. V. D. Ing. 1907.). Ezek közül bemutatunk egynehányat (26. és 27. ábra). A kísér-



24. ábra. A bemetszett rúd eredetileg négyzet alakú ép keresztmetszete



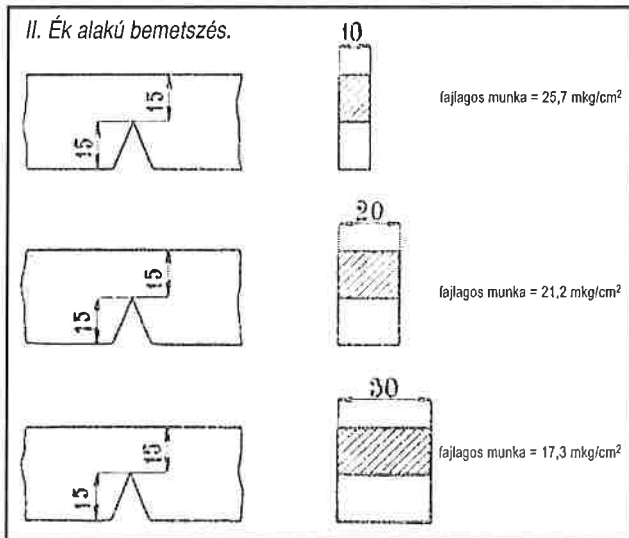
25. ábra. A bemetszett rúd trapézszá vált keresztmetszete törés után



26. ábra. Ehrenberger kísérleteihez használt, különböző szélességű, szabványos bemetszésű próbapálcák

leti eredmények mutatják, hogy bármilyen alakú legyen is a bemetszés, a fajlagos munka kisebbedik, ha a törés keresztmetszetének szélessége nő. Az itt közölt kísérletek azt is feltűntetik, milyen jelentékeny befolyást gyakorol a bemetszés alakja a fajlagos munka értékére. Az ék alakúan bemetszett rúd több mint 50%-kal kisebb fajlagos munkát kívánt, mint a szabványosan bemetszett, de megjegyzendő, hogy ez az arány nem tekinthető állandónak, hanem az anyag minősége szerint változik.

(Folytatjuk)\*\*



27. ábra. Ehrenberger kísérleteihez használt, különböző szélességű, ék alakú bemetszésű próbapálcák

Lássuk most, hogy a bemetszés e mélységének a fajlagos munkára milyen befolyása van?

A bemetszés célja a próbarúd alakváltozásának minél teljesebb megakadályozása, hogy az ütőmunka minél kisebb anyagmennyiségre hatásson. A törést szenvedő keresztmetszet mellett, a bemetsző rés oldalában felhalmozott anyagmennyiség ugyanis a tört keresztmetszet anyagának elcsúszását gátolja. Hogy ez a gátlás lehetőleg teljes legyen, a bemetszés *e* mélysége és *w* szélessége, valamint a tört keresztmetszet *c* magassága között (23. ábra) bizonyos aránynak kell fennállani. Mert, ha például adott *c* és *e* mellett *w*-t igen nagyra készítjük, akkor a *w* hosszúságú és *c* vastagságú rúdrész úgy hajlik, mint a szabad rúd; ha pedig adott *w* és *c* mellett *e*-t nagyon kicsire készítjük, akkor az utóbbinak a rúd hajlítására szintén nem lesz befolyása, amiből következik, hogy egy bizonyos anyagú rúdra vonatkozóan kísérletileg kell meghatározunk azt a bemetszémélységet, amely mellett a rúd deformációja elegendő kicsi. Az e vizsgálatban nyert  $\frac{c}{e}$  és  $\frac{c}{w}$  arányszámokat mindenféle méretű rudakon be kell tartanunk.

A  $\frac{c}{e}$  érték az anyag képlékenységtől és folyási határától függ; minél nagyobb a képlékenység és minél alacsonyabb a folyási határ, annál nagyobb *e*-re van szükség egy bizonyos *w* mellett. A koppenhágai kongresszus által ajánlott *e* = *c* érték olyan nagy, hogy a legtöbb acélnek és felytvasnak megfelel. Részünkről azonban megállapított, hogy lágy felytvas esetén *e* = 2 is elegendő arra, hogy a deformáció igen csekély legyen.

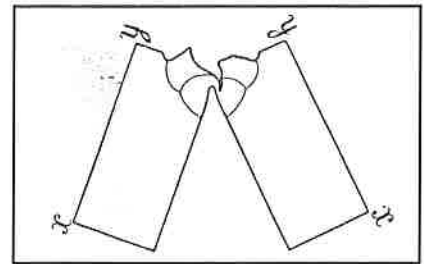
Ez kitűnik abból, hogy a leírt módon méretezett pálcán törés után a bemetszés melletti oldalfelületeken alakváltozás nem látható (28. ábra).

Schüle<sup>1</sup>, aki szintén kifogásolta az *e* = *c* mélységet, azt javasolta, hogy  $e = \frac{c}{3}$  legyen; mi azonban azt találtuk, hogy ez a méret csak keményebb, azaz kevésbé képlékeny anyagnak felel meg, ellenben

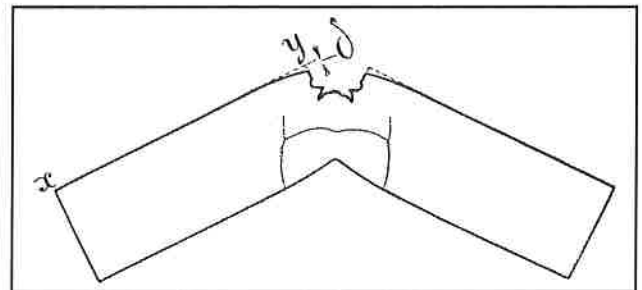
képlékeny anyagú pálcá y része hajlítást szenved. (I.  $\delta$  behorpadást a 29. ábrán).

Az a kérdés is eldöntendő végül, milyen legyen a szabványos rúd hosszúsága?

Ha a bemetszett rúd egyik vége be van falazva, a hajlítás

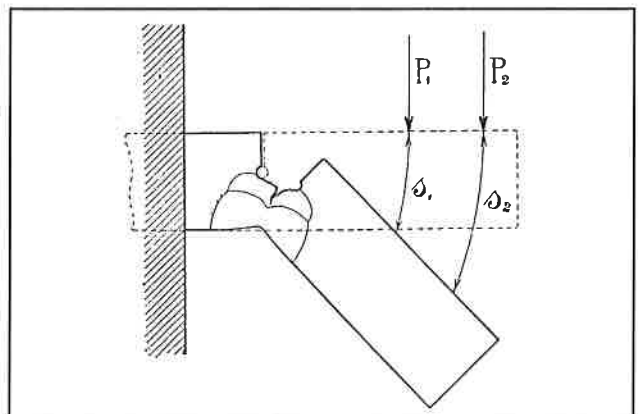


28. ábra. Elég mélyen bemetszett próbatest, melynek bemetszés melletti anyaga törés közben nem deformálódott



29. ábra. Nem elég mélyen bemetszett próbatest, melynek bemetszés melletti anyaga is deformálódott törés közben

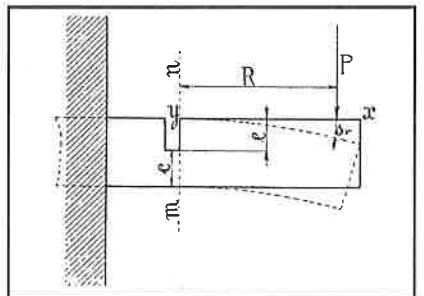
és törés folyamata épen olyan volna, mint a tárgyat ütőpróbakban, mert maradót deformációt csak a bemetszéssel szomszédos rész szenved, melynek terjedelme a próbarúd hosszától független. A töréshez szükséges munka tehát, mely a deformált anyagmennyiségtől függ, egyenlő, akár hosszabb, akár rövidebb karon s ennek megfelelőleg hosszabb, illetőleg rövidebb úton hat az erő (30. ábra), sőt a munkaszükséglet akkor sem változik, ha a rúd két végén van támasztva és a hajlító erőt a közepén fejtjük ki.



30. ábra. Különböző erővel, de azonos munkamennyiséggel eltört befalazott bemetszett rúd

Ha azonban a bemetszéstől távolabb eső részek szintén – akár maradót, akár rugalmas – deformációt szenvednek, akkor a törésig való hajlításhoz annál nagyobb munkára lesz szükség, minél hosszabb a próbarúd.

Ennek igazolását látjuk a 31. ábrán, amelyen a pontozott rajz a rugalmas deformáció idejében tünteti fel a próbatestet.



31. ábra. A bemetszett rúd rugalmas behajtása.

\*\* A cikk folytatása az Anyagvizsgálók Közlönye II. évfolyam, Budapest, 1915. 2. számában jelent meg – a szerkesztő.

<sup>1</sup> L.: Materialprüfungsamt der Techn. Hochschule. Zürich. 1913. 10. a. Über den Probestab für die Kerbschlagprobe von Prof. F. Schüle.

Az  $s_r$  rugalmas behajlás annál nagyobb, minél hosszabb a  $R$  hajlítókör.

Mivel a próbarúd rugalmas deformációt is szenved mindenkor, ez pedig a fajlagos munka számbeli értékét növeli, lássuk egy példán, mennyi a különféle hosszúságú rudak rugalmas munkája? Válasszunk például olyan anyagot, melynek  $\sigma_a$  rugalmassági határa a  $\sigma_{sz}$  szakítószilárdsággal egyenlő. A behajlás  $s_r$  nagysága a  $P$  erő által előidézett feszültségtől függ. Az  $m$ - $n$  siktól végtelen kevéssel jobbra eső  $(c+e)b$  keresztmetszetben keletkező legnagyobb  $\sigma_1$  feszültségről – ha  $b$  a rúd szélessége – felírhatjuk, hogy:

$$PR = \frac{b(c+e)^2}{6} \sigma_1;$$

a bemetszéssel csökkentett keresztmetszet  $\sigma_2$  feszültségére pedig:

$$PR = \frac{b \cdot c^2}{6} \sigma_2;$$

E két egyenletből következik, hogy

$$(c+e)^2 \sigma_1 = c^2 \sigma_2$$

A 31. ábrán feltüntetett  $R$  rúdrész rugalmas behajlítására szükséges munkát – feltéve, hogy a szélső szál feszültsége  $m$ - $n$  siktól  $x$  sarokpontig  $\sigma_1$  és nulla között egyenletesen változik – megközelítőleg a következőképpen kapjuk:

Az  $x$ - $y$  szálban levő közepes feszültség  $\sigma_k = \frac{\sigma_1}{2}$ ; a  $(c+e)b$  keresztmetszetre eső átlagos közepes feszültség,  $\sigma_m = \frac{\sigma_k}{2} = \frac{\sigma_1}{4}$ . Az egységnyi feszültség által a rúd  $R$  hosszúságú szakaszán előidézett megnyúlás

$$\lambda = R \alpha = \frac{R}{E}$$

( $E$  az anyag rugalmassági modulusa); tehát a  $\frac{\sigma_1}{4}$  közepes feszültség által okozott közepes rugalmas megnyúlás (illetőleg megrövidülés)

$$\lambda_m = \frac{R \sigma_1}{E \cdot 4}$$

A közepes rugalmas munka:

$$M_r = (e+c)b \sigma_m \lambda_m = \frac{R b (e+c)}{16} \frac{\sigma_1}{E} \sigma_1^2 = \frac{R b}{16 E} \frac{c^4}{(c+e)^3} \sigma_2^2$$

A törésig folytatott deformáció alatt végzett rugalmas munka kiszámítására ebben a képletben  $\sigma_2$  helyére az anyag rugalmassági határa teendő, amely feltevésünk szerint a vizsgált anyagra a szakítószilárdság értékével egyezik. Számítsunk ki egy számbeli példát szabványos próbarúdra és olyan anyagra, melynek szakítószilárdsága  $\sigma_{sz} = 40$  kg/mm<sup>2</sup>.

A rúd méretei:  $b = 30$  mm,  $c = 15$  mm,  $e = 15$  mm,  $R = 60$  mm tehát

$$M_r = \frac{60 \cdot 30 \cdot 15^4}{16 \cdot 20000 \cdot 30^3} 40^2 = 16,87 \text{ mmkg} = 0,01687 \text{ mkg}$$

A tört keresztmetszetre vonatkoztatott fajlagos rugalmas munka:

$$m_r = \frac{M_r}{bc} = \frac{0,01687}{3 \cdot 1,5} = 0,00374 \text{ mkg/cm}^2$$

Mivel a fenti számításban a bemetszett rúd csak egyik felét,  $R$  hosszú darabját vettük tekintetbe, ennek következtében az eredmény megkétszerezendő, azaz a teljes fajlagos rugalmas munka:

$$m_r' = 2 m_r = 0,00748 \text{ mkg/cm}^2$$

Ez az érték olyan csekély, hogy a fajlagos törésmunka számértékét gyakorlatilag nem befolyásolhatja, akár szívós és képlékeny anyagot, pl. folytvasat, akár rideget, pl. folytacélt vizsgálunk. Hasonló eredményre jutott Schüle<sup>2</sup> is az ő kísérletei útján.

Az előbbieket alapján azt mondhatnók, hogy a bemetszett rúd alá alkalmazott támasztók távolsága a fajlagos törésmunkára nincs befolyással, azaz bármilyen méretű próbapálcához szabadon választható a támaszköz.

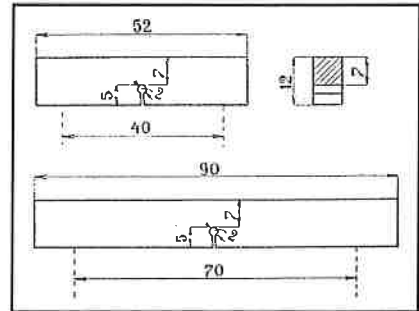
Ennek dacára a különböző méretű pálcákhoz a támasztás távolságát a pálcák méreteivel arányosnak választjuk, hogy a próbarudak

feltekvésének helyein támadó reakciók szintén arányosak legyenek és arányos méretű benyomódást okozva, arányos munkaveszteségeket eredményezzenek.

Hogy a munkaértékek az alátámasztás távolságával mennyire változhatnak, mutatják a következő táblázatban foglalt kísérletorozat eredményei, melyeket egy 10 mkg energiatartalmú Charpy-gépen, a 32. ábrán feltüntetett próbapálcákon nyertünk.

Sorszám	Támasztás távolsága	
	40 mm	70 mm
1.	19,8 mkg/cm <sup>2</sup>	15,8 mkg/cm <sup>2</sup>
2.	19,55 "	17,3 "
3.	18,90 "	17,3 "
4.	19,55 "	16,2 "
5.	18,70 "	16,2 "
átlag:	19,30 mkg/cm <sup>2</sup>	16,56 mkg/cm <sup>2</sup>

Látjuk, hogy a 40 mm és 70 mm támasztás távolságokkal elért fajlagos munka értékei körülbelül 15%-kal különböznek és hogy a kisebb támaszköz nagyobb értéket ad, ami azzal magyarázható, hogy ebben az esetben nagyobb reakciók jönnek létre. (Tudvalevőleg a két végén támasztott tartó meghajlításához közepén alkalmazott erőnek annál nagyobbak kell lennie, minél kisebb a támasztópontok távolsága, amiből következik, hogy ekkor a reakciók is nagyobbak lesznek.) A reakciók a próbarúd feltekvésének helyein maradó alakváltozást idéznek elő (l. 16. ábra), s e maradó alakváltozásból eredő munkaveszteséghez még annak a súrlódásnak munkája is járul, amely a támasztólapon és a törés alatt kötöttük az inga által átszorított pálcát érintkezéséből keletkezik.



32. ábra. Saját kísérleteinkben a támaszköz befolyásának vizsgálatára használt próbapálcák.

De nemcsak a reakciók helyén, hanem a törőerő támadásának helyén, ahol az inga kése a pálcát érinti, szintén munkaveszteséggel járó deformáció, és pedig bevágás keletkezik (18. ábra) s ez szintén akkor nagyobb, ha a támaszköz csekély.

Az előbbi kísérletben mutatkozó 15%-nyi munkakülönbség valószínűleg az ismertetett káros deformációkra vezethető vissza, amiről meggyőződhetünk, ha a törött pálcákat megtekintjük. Ekkor ugyanis azt látjuk, hogy a 40 mm támasztású pálcák helyein sokkal erősebb benyomódások vannak, mint azokon, amelyeket 70 mm támaszköz alkalmazásával törtünk el.

Mindebből az következik, hogy a támasztás távolsága gyakorlatilag fontos szerepet játszik és hogy a különböző méretű próbarudak törésének eredményei csak akkor hasonlíthatók össze, ha a támasztók távolsága a próbatest méreteivel arányos.

Ha pedig a fajlagos munkára elég pontos értéket akarunk kapni, ne válasszunk nagyon kis alátámasztó távolságot.

Ha pedig a fajlagos munkára elég pontos értéket akarunk kapni, ne válasszunk nagyon kis alátámasztó távolságot.

## 2. Az ütés sebessége

Ebben a kérdésben eltérők a vélemények. Frémont<sup>3</sup> és Belanger<sup>4</sup> a sebességnek nagy jelentőséget tulajdonítanak, ellenben Charpy (l. A. 10. f. számú jelentését az 1906. évi brüsszeli és III/1. számú jelentését az 1909. évi koppenhágai kongresszus részére) saját kísérletei alapján

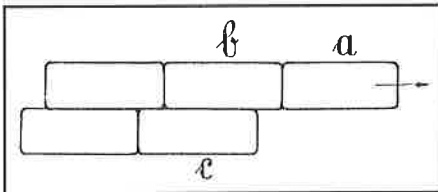
<sup>3</sup> VI. Anyagvizsgáló kongresszus, New-York, 1912., Frémont IV/2. számú jelentése.

<sup>4</sup> VI. Anyagvizsgáló kongresszus, New-York, 1912., Belanger IV.5. számú jelentése.

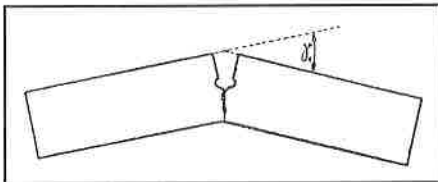
<sup>2</sup> Schüle: Über den Probestab für die Kerbschlagprobe.

azt állítja, hogy annak semmi befolyása nincs, azaz, hogy a töréshöz szükséges munka ugyanakkora, akár nagy sebességű ütéssel, akár ütés nélkül, lassú nyomással végezzük a törökísérletet, feltéve, hogy a bemetszés a koppenhágai szabvány szerint fúrt lyukkal van határolva. Szerinte a sebesség a fajlagos törésmunka értékét csak akkor befolyásolja, ha a bevágás éles. Példaképpen két 4 mm-es fúrt lyukú bemetszéssel készült pácát hoz fel, melyek közül az egyiket 7,75 m-ről sebesebben eső kolonccal, a másikat pedig lassú mozgású sajtóval hajlította töréssig és mind a kettő egyforma eredményt, körülbelül 12 mkg/cm<sup>2</sup> fajlagos munkát adott.

Részünkről kísérletek alapján bebizonyított, – ami különben a Rejtő-féle elvekből is következett –, hogy Charpy véleménye téves és a sebesség a hajlítókísérlet eredményét még akkor is befolyásolja, ha a próbarúd bevágása fúrt lyukkal van határolva. E befolyás nagysága azonban a próbarúd anyagától függ, és Charpy olyan anyaggal kísérletezett, melyen a sebesség hatása nem érvényesült; az ezen megállapított eredmények azonban nem általánosíthatók. A töréssig való hajlítás alatt először az anyag szívóssága, aztán képlékenysége merül ki. A hajlításhoz szükséges erő pedig az anyag belső súrlódásától függ, aminek nagysága ütéskor a gyorsítással nő. Amint a belső súrlódás értéke – a gátlással és az anyag gyorsítására szükséges értékkel együtt – a kohéziót eléri, az anyag eltörik. A belső súrlódás a törés munkáját a következőképpen befolyásolhatja:



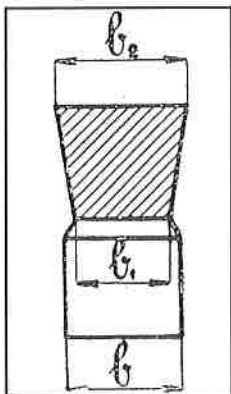
33. ábra. Az anyagrészekcikké közötti erőhatadás jelképes feltüntetése: kohézió és csúszás.



34. ábra. A töréssel egyidejűleg deformációt szenvedett próbatestet elhajlított alakja.

kohézió értékét; ez által az anyag további deformációja megszűnik, s így a törés kisebb deformáció után következik be. Ebben az esetben a gyors törés összes munkája kisebb lehet, mint a lassú törés.

Ezt a jelenséget népszerűen a 33. ábrával magyarázzuk. Mikor a b és c részek közti súrlódás (belső súrlódás) nagyobb, mint az a és b részek közti vonzóerő (kohézió), akkor az a rész elválik b-től, vagyis a test a és b között eltörik.



35. ábra. A töréssel egyidejűleg deformációt szenvedett próbapálcát elváltozott keresztmetszete.

Charpy olyan anyaggal kísérletezett, amely a fentebb a) és b) alatt tárgyalt két eset határát képezi. Mint az előbbiekből láttuk, a deformáció mértéke a törés munkáját befolyásolja. Minél nagyobb a deformáció, annál nagyobb az a szög, melyet az eltört próbarúd két szára alkot (lásd 34. ábrát). A deformációnak további következménye az, hogy a törést szenvedő keresztmetszet, mely eredetileg négyszög alakú volt, trapézvá válik (lásd a 35. ábrát). A  $b_2-b_1$  különbség a deformáció nagyságára jellemző.

Hogy bemutathassuk az ütőpróbbal megvizsgált anyagnak lassú nyomás alatti

viselkedését, az ütéssel eltört rúd egyik szárán ugyanolyan bemetszést készítettünk, mint a rúd közepén volt, és a próbadarabot lassú nyomással az új bemetszés helyén töréssig hajlítjuk (lásd 36. ábra).

A behajlás  $\gamma_1$  és  $\gamma_2$  szögei jellemzik az ütő és a lassan nyomó hajlítás hatását.

Hogy ezeket összehasonlíthassuk, a 37. ábrán ütőkísérlettel eltört s aztán összeillesztett rudat mutatunk be. Látjuk, hogy a behajlás  $\gamma$  szöge majdnem nulla és hogy a törés keresztmetszetének téglalap alakja nem változott.

Hogy a szóban forgó anyagnak a lassú nyomás alatti viselkedését is megvizsgáljuk, a tört rúd egyik szárát ugyanúgy bemetsztük, mint eredetileg a rúd közepét, és az így kapott új próbatestet 70 mm távol levő támasztók között hidraulikus sajtó lassú nyomásának vetettük alá. A 38. ábra mutatja az eredményt: a lassú nyomás alatt töréssig elért behajlás szöge  $\gamma_2 = 16^\circ$ , holott az ütőkísérletben  $\gamma_1$  csaknem = 0. A lassú hajlítás másik hatása, hogy ti. a derékszögű négyszög alakú keresztmetszet trapézvá vált, a 25. ábrán már be volt mutatva.

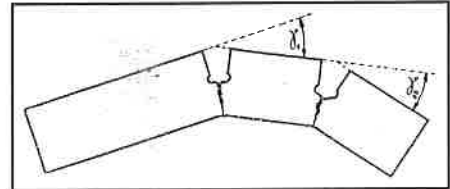
Az ütőpróba 2,0 mkg/cm<sup>2</sup> fajlagos ütőmunkát adott, ellenben a lassú hajlítás 12,0 mkg/cm<sup>2</sup>-et. A leírt példa olyan anyagra jellemző, amely lassú erőhatás alatt képlékeny, ellenben ütés alatt törékeny.

Hasonló viselkedést mutatott a 39–41. ábrákon feltüntetett anyag, mely bemetszve ütőkísérletben a 39., hidraulikus sajtó alatt a 40. ábra szerint törött, bemetszés nélkül pedig a 41. ábra szerint az összenyomásig teljesen hajlítható volt.

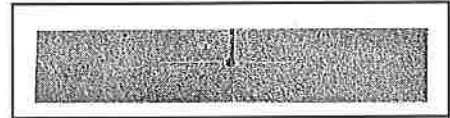
Megjegyezzük, hogy a 37. ábrán feltüntetett próbarúd anyaga kazánlemezéből, a 39.-41. ábrabeli pedig vasúti sínből való.

A 42. és a 43. ábrák olyan anyagú próbarudakat mutatnak, melyek úgy ütés, mint lassú nyomás alatt egyforma deformációt és törésmunkát adtak, tehát a sebességnek rájuk nem volt befolyása: a  $\gamma$  hajlásszög az ütő- és a lassan nyomó próbában egyenlő volt.

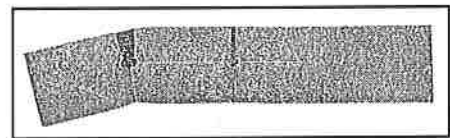
A 42. ábrán feltüntetett rúd anyaga nagyon képlékeny, fajlagos törő munkája pedig 24 mkg/cm<sup>2</sup>, ellenben a 43. ábrabeli rúd anyagának képlékenysége kicsiny s fajlagos munkája csak 1,93 mkg/cm<sup>2</sup>.



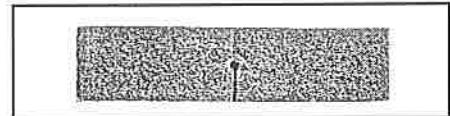
36. ábra. A bemetszett rúd törése közben bekövetkező meghajlás ütés és lassú nyomás hatása alatt



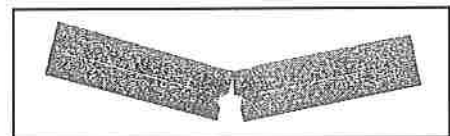
37. ábra. Ütőkísérlettel behajlás nélkül eltört bemetszett rúd



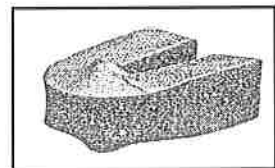
38. ábra. Az ütőhajlítással eltört rúd ép részén lassú nyomással végzett kísérlet eredménye: meghajlás



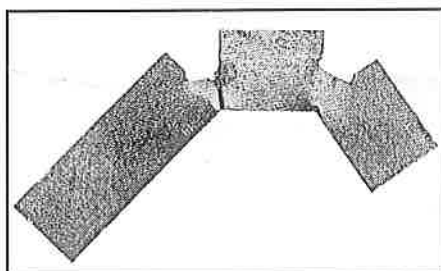
39. ábra. Ütőkísérlettel eltört bemetszett rúd



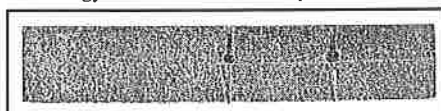
40. ábra. A 39. ábrán láthatóval azonos anyagú bemetszett rúd meghajlása lassú törés közben.



41. ábra. A 39. és 40. ábrákon láthatókkal azonos anyagú, de be nem metszett rúd nagymértékű hajlíthatósága



42. ábra. Ütés és lassú nyomás alatt egyformán deformálódott próbarúd.



43. ábra. Ütés és nyomás alatt egyformán nem deformálódott próbarúd

Ezzel bebizonyítottuk, hogy a Rejtő-féle követelmény gyakorlatilag is érvényes, azaz, ha az anyag törékenységet akarjuk meghatározni, nem szabad lassú nyomással végezni a kísérletet, hanem ütéssel; ha pedig összehasonlítható értékeket akarunk kapni, azonos sebességet kell alkalmaznunk; végül:

az ütőkos tömegét a fentebb bemutatott módon kell megválasztanunk. Hogy a szabványos eljárásra milyen ütősebességet kellene előírni, azt még ezután kell kísérletileg meghatározni olyan tulajdonságú anyagon, mint a 38. ábrán feltüntetett próbarúd volt.

Mielőtt a sebesség tárgyalását abbahagynánk, határozzuk meg számbeli példában azt a veszteséget, mely abból keletkezik, hogy a törött pálcát az inga magával ragadja. Az energiavesztés (lásd előbb)

$E_3 = \frac{G v^2}{g}$ , amely képletben  $G$  a próbapálcá súlya és  $v$  annak törés utáni sebessége, mely azonos az inga törés utáni  $v_2$  sebességével. Az utóbbira az előbbieken a következő értéket kaptuk:

$$v_2 = v = \sqrt{2 \frac{\mu g H_0 - M_1}{\mu}} \left( = \frac{Q}{g} \right)$$

Itt  $H_0$  a  $Q$  ingasúly esésmagassága,  $\mu$  annak tömege  $\left( = \frac{Q}{g} \right)$   
 $Q$  = az inga súlya,  $g$  = a súlyerő okozta gyorsulás, = 9,81 m/sec<sup>2</sup>;  
 végül  $M_1$  a próbapálcá törésére felhasznált összes munka.

A már ismertett kísérletben a fenti értékek a következők voltak:  
 $H_0 = 1,240$  m,  $Q = 8,0645$  kg,  $G = 0,02886$  kg (a  $6 \times 12 \times 52$  mm méretű pálcá súlya);  $M_1 = 5,45$  mkg,  $\mu = \frac{8,0645}{9,81} = 0,82$  kg tömeg.

Ezekből az értékekből számítva az inga ütés előtti sebessége:

$$v_0 = \sqrt{2gH_0} = 4,93 \text{ m/sec. és a törés utáni sebesség:}$$

$$v = \sqrt{2 \frac{10,00 - 5,45}{0,82}} = \sqrt{11,09} = 3,33 \text{ m/sec}$$

tehát  $E_3 = \frac{0,02886 \cdot 11,09}{9,81} = 0,0164 \text{ mkg}$

Ez a munkavesztés az összes munkához képest:

$$\frac{E_3}{M_1} = \frac{0,0164}{5,45} = 0,0030 = 0,30\%$$

tehát oly csekély, hogy az anyag egyenlőtlenségéből eredő pontatlanság mellett elhanyagolható.

Végül rá kell mutatnunk, hogy a Rejtő-féle sebességi követelmény be nem tartása még egy további következménnyel jár, amely a fajlagos törőmunkát feltűnően befolyásolhatja, éspedig: ha ugyanazon anyagból való több próbarúddal végzett összehasonlító kísérletekben a törés előtti ingasebességek egymással és a törés utáni ingasebességek is egymással nem egyenlők, akkor az egyes rudak közepes törésebbessége és ennek következtében törésük időtartama is különböző. Ha rövidebb idő alatt (nagyobb sebességgel) megy végbe a törés, akkor a szükséges gyorsító erő és annak reakciói nagyobbak, mintha lassúbb a törés lefolyása; a nagyobb reakcióerő pedig nagyobb deformációt: idéz elő a próbarúd felfekvő részein és így nagyobb a törés munkája, mint a lassú törés esetén.

Ennek igazolására a 75 mkg energiataralmú Charpy-gépen 5 kísérletet végeztünk 2,9 és 5 kísérletet 5,6 m/sec. kezdő ingasebességgel. A próbapálcák mind egyformán a 44. ábra szerinti méretűek voltak és egy-

szál vasból vették, mint a 45. ábra mutatja.

A páratlan számú próbatesteket 2,9, a páros számú jelzettek pedig 5,6 m/sec. kezdősebességgel törtük el. A nagyobb sebességgel végzett kísérletek nagyobb fajlagos törőmunkát kívántak és az itt alkalmazott pálcák felfekvésének helyén nagyobb deformáció mutatkozott.

A kísérletekben meghatározott fajlagos törőmunkák értékei a 44. ábrán bemutatott 10 próbatestre a következő táblázatba vannak foglalva.

Kezdősebesség 2,9 m/sec.		Kezdősebesség 5,6 m/sec.	
Próbarúd száma	Fajlagos törőmunka mkg/cm <sup>2</sup>	Próbarúd száma	Fajlagos törőmunka mkg/cm <sup>2</sup>
1	14,7	2	17,7
3	14,7	4	19,0
5	14,85	6	18,2
7	15,85	8	17,85
9	13,9	10	17,85
Átlag	14,80	Átlag	18,12

Ezen táblázatból látjuk, hogy a 2,9 m/sec kezdősebességgel tört pálcák 14,80 mkg/cm<sup>2</sup> és az 5,6 m/sec kezdősebességgel tört pálcák 18,12 mkg/cm<sup>2</sup> fajlagos munkát kívántak. A különbség 3,32 mkg/cm<sup>2</sup>, azaz körülbelül 22%.

Félreértések elkerülése végett megjegyezzük, hogy ez a nagy különbség nemcsak a különböző reakciók által a felfekvés helyén okozott deformációkra vezetendő vissza, hanem arra is, hogy a kísérleti anyag belső sűrűdése a sebességgel nőtt, anélkül, hogy deformálódó képessége csökkent volna, miáltal a bemetszés körüli helyen a deformációs munka is nagyobb lett. Ilyféle magaviseletű anyagok nagyobb ütősebességnél bizonyos határig nagyobb fajlagos törőmunkát igényelnek; a határt az anyag kohéziója szabja meg (lásd 33. ábrát).

### 3. A hőmérséklet befolyása

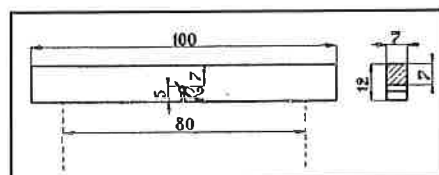
A hőmérséklet befolyásáról a 46. ábra nyújt világos képet, mely Ehrenbergemek fentebb idézett tanulmányából való. Ez az ábra azonos anyagú, egyenlő méretű, de különböző hőfokon eltört próbarudakat mutat. A feltüntetett próbarudakra vonatkozó kísérleti hőfokok és fajlagos törőmunkák az ábrán felülről lefelé menő sorrendben a következők:

Próbarúd sorszáma	Kísérleti hőfok °C	Fajlagos törőmunka mkg/cm <sup>2</sup>
I.	-20	4,24
II.	-1	16,29
III.	+20	24,69
IV.	+200	33,90

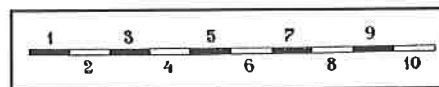
Látjuk, hogy a deformáció és a fajlagos ütőmunka a hőmérséklet szerint nagy határok között változik, szükséges tehát, hogy összehasonlítás céljából az ütőkísérlet hőmérsékletét mindig feljegyezzük.

Felsoroltuk eddig mindazokat az elveket, amelyek alapján a szabványpálcá alakját és méreteit meg lehet állapítanunk és a különböző kísérletek eredményeit összehasonlíthatjuk, s ezek alapján a szabványpálcára a 47. ábrán feltüntetett méreteket javasoljuk.

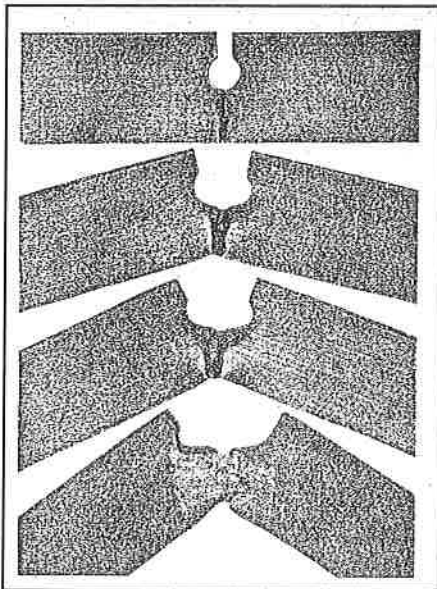
Ennek a pálcának a kopenhágaival szemben a következő előnyei vannak:



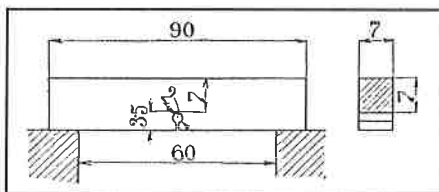
44. ábra. A törésebbesség hatásának tanulmányozására használt próbarudak méretei.



45. ábra. A törésebbesség hatásának tanulmányozására használt próbarudak kiválasztása



46. ábra. Ehrenberger által különböző hőfokon végzett hajlító ütőpróbák eredményei



47. ábra. A koppenhágai helyett javasolt szabványos próbapálcá

1. A törést szenvedő keresztmetszet négyzet alakú lévén, a rúd húzott oldala jobban kontrahálhat, mint a téglalap alakú koppenhágai keresztmetszet, miáltal nagyobb fajlagos munkaértéket kapunk és kisebbedik a kísérleti hiba.

2. A támasztás távolsága aránylag nagyobb, mint Koppenhágában megszabták, ami kisebb reakciókat eredményez és így az ezek által okozott munka-vesztés kisebb lesz.

A koppenhágai rúddal szemben kifogásolható volna, hogy a bemetszés nem ér a pálcá közepéig és vékony hengerejt árú anyagából

vett próbatestben esetleg nem hatol a rúd közepében lévő kedvezőtlenebb vegyi összetételű anyagrétegig. Ez a kifogás azonban csak akkor volna helyes, ha az ütőpróba segítségével az anyag egyenlőségét vizsgálánk és a legrosszabb anyagrészeket akaránk kikutatni; holott az ütőpróbával tudvalevőleg *rendesen* az a célunk, hogy az anyagnak az ütésekkel szemben való *átlagos* ellenálló képességét állapítsuk meg. Erre az utóbbi célra pedig a javasolt pálcá teljesen megfelel. Ha pedig az anyag egyenlőségét akarjuk vizsgálni, akkor a pálcát az anyag olyan helyéről kell kivágnunk, hogy a bemetszést határoló lyuk essék a megvizsgálandó anyag valószínűleg legrosszabb rétegébe.

Most még a kísérlet sebességére kellene javaslatot tennünk. Frémont az 1912. évi New York-i nemzetközi anyagvizsgáló kong-

resszus elé terjesztett IV/2. számú jelentésében olyan sebességet javasol, amely 4 m esésmagasságnak felel meg, tehát

$$v_0 = \sqrt{2gH_0} \approx 8,86 \text{ m/sec.}$$

Ez a javaslat azonban hiányos, mert nem állapítja meg a törés utáni sebességet, illetőleg nem mondja ki, hogy milyen súlya legyen az ütőkosnak az adott próbapálcá méreteihez képest. Ez pedig igen fontos, mert a különféle súlyú ütőkosoknak különböző energiája van. Tehát, ha a kezdő sebessége azonos is, a törés különböző sebességgel fog végbemenni; ha ugyanis két teljesen egyforma és olyan pálcát vizsgálunk, melyeknek törési munkaszükséglete egyenlő s ezeket azonos esésmagasságú, de különböző súlyú ütőkosokkal törjük el, akkor a nagyobb súlyú ütőkosban a törés után visszamaradt energia – tehát a végsebesség is – nagyobb lesz, mint a kisebb súlyú ütőkosban maradó. Az átlagos törési sebességek eszerint különbözők lesznek.

A Frémont javasolta sebesség alkalmazhatósága tehát az ütőkos súlyának figyelembevételével kísérletileg volna megvizsgálandó.

Frémont javaslatához csatlakozik még Belanger, a francia P. L. M. vasút mérnöke is, ugyanezen kongresszus elé terjesztett IV/5. számú jelentésében; de olyan anyagokra való tekintettel, amelyeknek törési munkája a sebességgel nő, azt javasolja, hogy több kísérlet útján még meghatározandó az a *legkisebb* ütősebesség is, amely mellett az anyag törésmunkája legkisebb értéket ad.

Tapasztalataink és a Rejtő-féle elméleti törvények alapján a Frémont által javasolt nagy sebességet nem tartjuk indokoltnak addig, míg olyan anyagokról van szó, melyek már kisebb sebességnél a törékenység feltűnő jelét mutatják, azaz jelentékeny deformáció nélkül, kisszögű behajlással törnek és aránylag kis fajlagos törési munkát kívánnak, mint pl. a 38. ábrán bemutatott kazánlemez. A bemetszett próbákon való kísérletezésnek első célja pedig éppen az, hogy a *nagyobb* törékenységgel felruházott anyagokat felismerjük. Ezért elegendőnek tartjuk a jelenleg használatban lévő 10 mkg-os energiataralmú Charpy-féle ingás ütőgépen elérhető 1,24 m esésmagasságot, illetőleg 4,93 m/sec kezdő ütősebességet.

Nagyobb kísérleti sebesség alkalmazása csak ott indokolt, ahol rendkívül jó, azaz nagy fajlagos ütőmunkát kibíró anyagfajtáknak szigorúbb osztályozásáról van szó<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> A cikkben felsorolt eredeti kísérleteket a Rimamurány-Salgótarjáni Vasmű R.-T. ózdi gyárában Ferjentsik Sándor okl. kohómérnök végezte.

## KÖNYVISMERTETÉS

Prohászka János:

### A fémek és ötvözetek mechanikai tulajdonságai

A Műegyetemi Kiadó a közelmúltban jelentette meg Prohászka János akadémikus, professor emeritus könyvét, amelyben – az anyag-tudomány csaknem 40 éves oktatói és kutatói tapasztalatát hasznosítva – az anyag szerkezete és tulajdonságai elválaszthatatlan kapcsolatát hangsúlyozó szemléletmódban tárgyalja a fémek és ötvözetek mechanikai tulajdonságait.

A tizenhárom fejezetre tagolt könyvében szerző az alapfogalmak és a kristályhibák áttekintését követően a rugalmas tulajdonságokat, az anelaszticitást és a belső surlódást, majd az egykristályok és a polikristályos anyagok képlékeny alakváltozását és a szilárdságnövelő mechanizmusokat tárgyalja. Áttekintést ad a szerkezeti anyagok kúszásáról, kifáradásáról és töréséről. Ismerteti a törésmechanika alap-

jait. Összefoglalja a sugárzásnak a fémek és ötvözetek szerkezetére és tulajdonságaira gyakorolt hatását. Végül ismerteti a társított anyagok, kompozitok és a féművegek szerkezetét és tulajdonságait.

A 409 oldalas könyvet 352 ábra és 29 táblázat, valamint a függelék és a tárgymutató teszi gazdagon illusztrált, könnyen használható tankönyvvé és hasznos szakkönyvvé.

A könyv megrendelhető a BME Szolgáltató Kft. Műegyetem Kiadónál: 1111 Budapest, Goldmann tér 3., tel.: 1-463-3863, fax: 1-466-5714; e-mail cím: megrendeles@kiado.bme.hu. A könyv bruttó ára: 3 918 Ft + postaköltség.

(A Műegyetemi Kiadó körlevele nyomán)

# A műszerezett ütővizsgálat alkalmazási lehetőségei napjainkban

Lenkeyné dr. Biró Gyöngyvér\*

Az ütővizsgálat több mint 100 éves múltra tekint vissza. Ezen idő alatt mind a vizsgálati technika, mind a vizsgálatból nyerhető információk és azok alkalmazása hatalmas fejlődésen ment keresztül. Írásomban nem kívánom bemutatni ezen fejlődés minden egyes állomását, hanem egyrészt fel szeretném villantani a műszerezett ütővizsgálat fejlődésének, hazai elterjedésének legfontosabb vonatkozásait, illetve a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékén és a Bay Zoltán Intézetben folyó ilyen irányú kutatások legfrissebb eredményei alapján be szeretném mutatni ezen vizsgálati technika alkalmazási lehetőségeit a dinamikus törésmechanikai jellemzők meghatározása terén.

## Egy kis történelmi visszatekintés

Az ütővizsgálat múlt század eleji gyors elterjedését követően a kutatókat viszonylag hamar kezdte foglalkoztatni az a kérdés, hogy hogyan lehetne megoldani az erő regisztrálását az ütővizsgálat közben. Az első műszerezett vizsgálatokat Körber és Arnold végezte 1925-ben, amelyről 1925-ban közlik az első tudományos publikációt a Kaiser-Wilhelm-Institut für Eisenforschung kiadványában Düsseldorfban. A műszerezett ütővizsgálat igazán gyors fejlődése a második világháború után kezdődött, ami a mérőbéllyeges technika megjelenésével is összefüggésben van. Annak ellenére, hogy ezt a vizsgálati technikát már évtizedek óta alkalmazzák, a vonatkozó ISO szabványt csak 2000-ben fogadták el (ISO 14556). Jelenleg az ESIS (European Structural Integrity Society) dinamikus vizsgálatokkal foglalkozó TC5 munkabizottságának keretében folynak európai szinten koordinált szabvány-előkészítési munkálatok a műszerezett ütővizsgálat további alkalmazási területeire vonatkozóan.

Hazánkban a műszerezett ütővizsgálatok meghonosítása az 1960-as évek végén kezdődött. Az első kezdeményezés e téren a BME Mechanikai Technológiai Tanszékéhez kapcsolódik [1]. Ezt követően a Vaskut munkatársai végeztek szisztematikus és elemző munkát a vizsgálati feltételekkel és a mérés technikai problémákkal kapcsolatban. Tapasztalataik alapján építették meg a sorozatvizsgálatra alkalmas berendezésüket [2].

A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke az 1970-es évek elejétől kapcsolódott be intenzívebben a vizsgálati módszer meghonosításába [3-8], folytatva a Vízgyörgy és Sárvári József által korábban végzett, műszerezéssel összefüggő kísérleti munkákat. A tanszéknek úttörő szerepe volt a Brugger-féle ütővizsgálat magyarországi bevezetésében, majd a számítógépes mérésadatgyűjtő és kiértékelő rendszerrel rendelkező műszerezett ütőművek kifejlesztésében [9, 10]. Ilyen irányú fejlesztések, kutatások a KFKI-ban is folytak [11]. Az e területen végzett kutatások kezdetben a vizsgálati technikai problémákhoz, a vizsgálati információ tartalmának elemzéséhez kapcsolódtak, és elsősorban V bemetszésű próbatesteken végeztek kísérleteket [1-8]. Csak jóval később, a 70-es évek végén kezdődött el a műszerezett ütővizsgálat hazai alkalmazása dinamikus törésmechanikai vizsgálatokhoz [11-13]. Az eddigi kutatások elsősorban a vizsgálati technika és kiértékelési módszerek honosítására, gyakorlati alkalmazhatóságuk elemzésére vonatkoztak. A Vaskut-

ban a repedésterjedéssel szembeni ellenállást jellemző statikus és dinamikus törésmechanikai mérőszámok összehasonlítására folytattak vizsgálatokat reaktortartály-acélon és hegeszhető szerkezeti acélokon [12, 13]. A KFKI-ban és a Paksi Atomerőműben a műszerezett ütőművet a besugárzott próbatestek ridegedési folyamatának tanulmányozására alkalmazzák.

A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékén az 1970-es évek elején Tóth László vezetésével indult a műszerezett ütővizsgálat alkalmazásával kapcsolatos kutatómunka. Ez elsősorban a V bemetszésű próbatesteken végzett vizsgálatok információ tartalmának elemzésére [4, 6, 7], illetve hegeszhető szerkezeti acélok ridegedésének tanulmányozására irányult [3, 5, 8]. Később a tanszéknek úttörő szerepe volt a számítógépes mérésadatgyűjtő és kiértékelő rendszerrel rendelkező műszerezett ütőművek kifejlesztésében: az 1980-as években először Commodore 64 típusú számítógép alkalmazásával (a Metal-control-nál még ma is üzemel az általunk kiépített mérő- és kiértékelő rendszer), majd a 90-es években PC alapú rendszerek kifejlesztésével [9, 10]. Az első PC alapú rendszert a tanszéki saját berendezéssel valósítottuk meg, majd több vállalatnál is kiépítettünk hasonló rendszereket (Csepel AGMI, Erőkar, Kötuki).

A kezdetben meglévő 300 J-os műszerezett ütőmű mellett a későbbiekben kifejlesztettünk egy kisebb, műanyagok és kerámiák vizsgálatára is alkalmas műszerezett rendszert illetve egy ejtőmű felhasználásával nagyobb méretű próbatestek műszerezett ütővizsgálatára használható berendezést is. 1994 óta a különböző kutatások elsősorban a műszerezett ütővizsgálat alkalmazására irányulnak a dinamikus törésmechanikai jellemzők meghatározása terén, illetve a **mágneses- és elektro-emissziós mérés technika** ehhez kapcsolódó alkalmazási lehetőségeivel foglalkozunk.

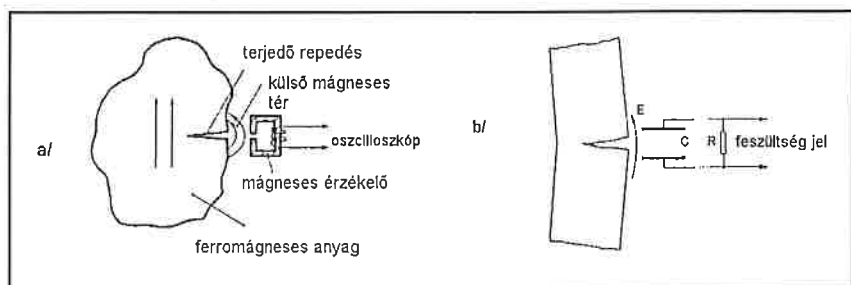
## A mágneses és elektro-emissziós mérés technika alkalmazása műszerezett ütővizsgálatnál

Mindkét mérés technika kifejlesztése Winkler nevéhez fűződik [1, 2]. A mágneses emissziós jelek megjelenése két fizikai folyamattal magyarázható (1. ábra a része):

– A ferromágneses anyagok mechanikai terhelés hatására bekövetkező (elsősorban rugalmas) alakváltozását mechanikailag indukált Barkhausen-zaj megjelenése kíséri, amely az anyag belsejében bekövetkező mágneses tér erő változással függ össze.

– Repedésterjedés közben egyre több mágneses erővonal lép ki a ferromágneses anyag felszínén, ami a külső mágneses tér változását okozza.

A mágneses tér erő ezen változásait egy villamos tekercset tartalma-



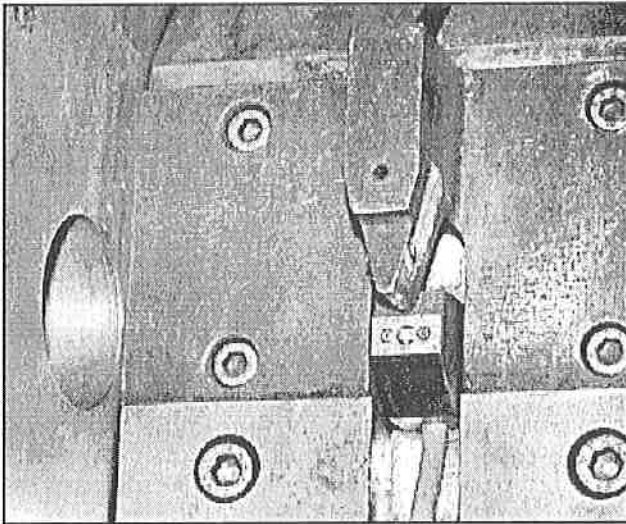
1. ábra. A mágneses (a) és az elektro-emissziós (b) mérés technika elve

\* Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány, Logisztikai és Gyártástechnikai Intézet és Miskolci Egyetem, Mechanikai Technológiai Tanszék

zó mágneses érzékelővel detektálhatjuk, a mágneses indukció elve alapján. Az érzékelő kimeneti feszültsége az ún. *mágneses emissziós jel (ME)*, amely arányos a mágneses térerő (MF) változásával.

Az elektro-emissziós méréstechnika elvét az 1. ábra b része mutatja. Az érzékelő tulajdonképpen egy kisméretű kondenzátor, amelynek kimeneti feszültsége, az ún. *elektro-emissziós jel (EE)* az elektromos térerőben bekövetkező változással arányos. Az elektromos térerő változását kiváltó fizikai folyamat különféle anyagok esetén más és más lehet, pl. molekula-deformáció vagy töltés-szeparáció törés közben, de ez a terület még ma is kutatás tárgyát képezi.

A két érzékelő akár egy közös házban is elhelyezhető, melyet a 2. ábra szemléltet.



2. ábra. A PSD 300/150 ütőgép felműszerezett ütőfele a mágneses és az elektro-emissziós érzékelőkkel

A következőkben azt kívánom bemutatni, hogy a mágneses és az elektro-emissziós méréssel kiegészített műszerezett ütővizsgálat hogyan alkalmazható a dinamikus törésmechanikai jellemzők meghatározására ferromágneses fémek illetve műanyagok esetén.

### A mágneses-emissziós méréstechnikai alkalmazása fémek dinamikus törésmechanikai vizsgálatainál

Attól függően, hogy az adott anyag hogyan viselkedik különféle terhelési körülmények között és hőmérsékleteken, a töréssel szembeni ellenállása különböző kritikus törésmechanikai paraméterekkel jellemezhető. Nagyobb terhelési sebességek esetén az alkalmazható mérési és értékelési eljárások még nem szabványosítottak, ezért is van nagy jelentősége a dinamikus törésmechanikai jellemzők meghatározási módszereinek alkalmazhatóságával kapcsolatos kutatásoknak [26, 27].

A vizsgálatoknál alkalmazott E420-C acélanyag kémiai összetételét és mechanikai tulajdonságait mutatja az 1. táblázat. Műszerezett ütővizsgálatokat végeztünk előrepesztett próbatesteken mágneses emissziós méréssel kiegészítve egy 300 J-os ütőművön, két különböző ütési sebességgel:  $v_0 = 2,75$  m/s és  $v_0 = 5,5$  m/s. Az előfárasztást egy Amstler gyártmányú rezonancia fárasztóberendezésen végeztük,  $a_0/W \approx 0,5$  relatív repedés-hosszig. A vizsgálatokat különböző hőmérsékleteken hajtottuk végre: 20, 0, -20, -40 és -60 °C-on. Az erő (F) és a mágneses emissziós jel (ME) időbeli változását regisztráltuk egy digitális oszcilloszkópon alapuló mérésadatgyűjtő rendszerrel.

A repedés-induláshoz tartozó dinamikus feszültségintenzitási tényező értékeit ( $K_{Id}$ ) határoztuk meg a törés jellegétől függően különböző módszerekkel. A törés jellegének megállapításához kiegészítő törtévizsgálatokat is végeztünk elektronmikroszkópon.

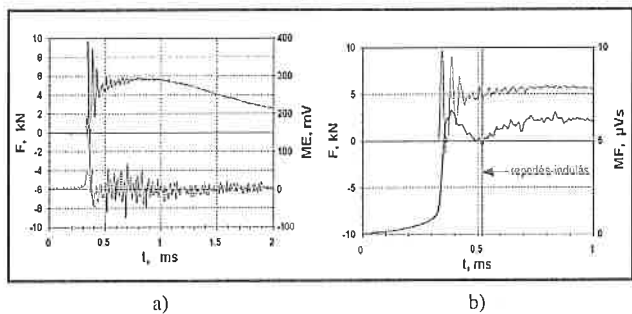
1. táblázat

#### E420-C acél kémiai összetétele és mechanikai tulajdonságai

C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Nb, %	V, %	Cr, %	Ni, %	Cu, %
0.18	0.46	1.44	0.027	0.03	0.035	0.045	0.06	0.03	0.08
Folyáshatár, MPa					Szakítószilárdság, MPa				
444					593				

A szívós törés tartományában a stabil repedésterjedés kezdetét a mágneses emissziós jelek alapján határoztuk meg, amely általában nem tehető meg közvetlenül a mágneses jelekből. Ezt szemlélteti a 3. ábra a részén bemutatott diagram, amely egy teljes mértékben szívósan viselkedő próbatestre vonatkozik. Ilyenkor a Lenkey és Winkler által kifejlesztett ún. térerő módszer (field method) alkalmazható, amely a mágneses emissziós jel integrál értékét, vagyis a mágneses térerő, MF(t), változását alkalmazza [16]:

$$MF(t) = \int_{\tau=0}^t ME(\tau) d\tau \quad (1)$$



3. ábra. Az erő, a mágneses emissziós jelek és a mágneses térerő időbeli változása ( $v_0 = 5,5$  m/s,  $T = 20$  °C)

Korábbi vizsgálatok alapján azt tapasztaltuk, hogy a repedésterjedéssel összefüggő mágneses jelek megkülönböztethetők a Barkhausen-zaj típusú jelektől a mágneses térerő görbe meredekségének változása alapján, ahogy azt a 3. ábra b része szemlélteti. Ezt a térerő módszert alkalmazva meghatározható a stabil repedésterjedés kezdete, majd az ehhez tartozó kritikus J-integrál érték a következő összefüggéssel számítható [17]:

$$J_{im}^d = \frac{2 \cdot U_i}{B \cdot (W - a_0)} \quad (2)$$

ahol  $U_i$  a repedés-indulásig a próbatest alakváltozására elnyelt energia, amely a mért erő-idő diagramból számított erő-behajlás (F-f) diagram integrálásával határozható meg:

$$U_i = \int_{f=0}^{f_i} F(f) df \quad (3)$$

Majd az ehhez tartozó  $K_{Id}$  értéke sík feszültség állapot esetén a következő összefüggéssel számítható:

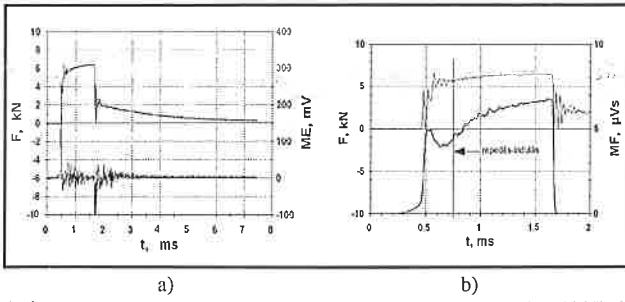
$$K_{Id} = \sqrt{E \cdot J_{id}} \quad (4)$$

ahol  $E = 210\,000$  MPa, a vizsgált acél rugalmassági modulusa.

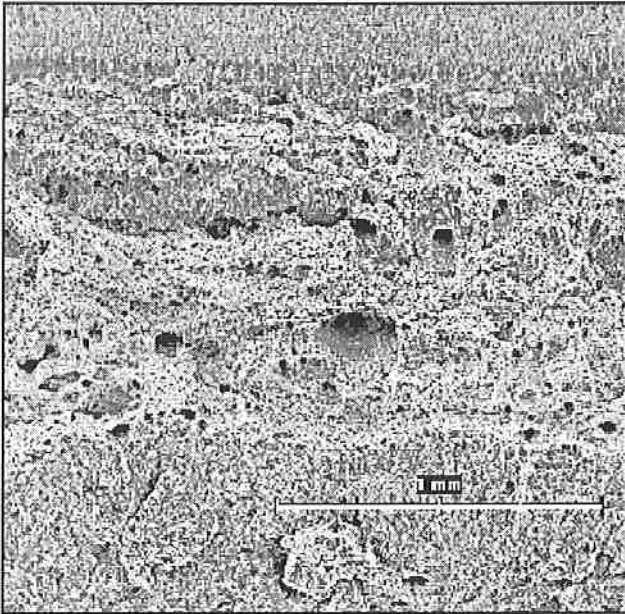
Az átmeneti tartományban, amikor a rideg törést jelentősebb képlékeny alakváltozás előzi meg és a töretfelület jellemzően rideg és szívós részeket is tartalmaz, a kritikus – repedés-induláshoz tartozó J-integrál és K értékeket a (2)–(4) összefüggésekkel határoztuk meg. Néhány esetben az átmeneti tartományban a rideg törést kismértékű stabil repedésterjedés előzte meg (egy példát mutat erre a 4. ábra). Ezt a töretfelületről készült elektronmikroszkópos felvétel is igazolta (5. ábra). Ebben az esetben a stabil repedésinduláshoz tartozó  $J_{id}$  érték a (2)–(3) összefüggésekkel határozható meg.

A rideg törés tartományában és néhány esetben az átmeneti tartományban is a rideg törést nem előzte meg makroszkópus képlékeny alakváltozás (6. ábra). Ilyenkor általában nem teljesül az Ireland által



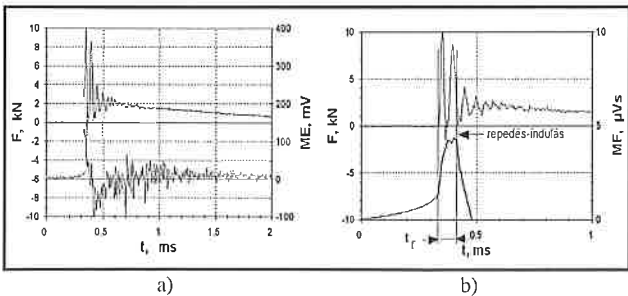


4. ábra. Az erő, a mágneses emissziós jelek és a mágneses térerő időbeli változása ( $v_0 = 2,75$  m/s,  $T = -40$  °C)



5. ábra. Az előreperesztett próbatest történeke pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) képe ( $v_0 = 2,75$  m/s,  $T = -40$  °C)

javasolt „ $3\tau$ ” kritérium [18], vagyis a rideg törést megelőzően kevesebb mint 3 oszcilláció figyelhető meg az erő-ido diagramon, ezért a  $K_{Id}$  meghatározására nem érvényesek a kvázistatikus összefüggések. Ebben az esetben a *Kalthoff-Winkler-Böhme* által kidolgozott ütési válaszfüggvény (impact response curve) módszer [19, 20] alkalmazható. Ehhez a terhelés kezdetétől a törés kezdetéig eltelt törési időt ( $t_F$ ) kell meghatározni, amely nagy erőoszcilláció esetén nem tehető meg közvetlenül az erő jel alapján. Ilyenkor a rideg törést kísérő nagy amplitúdójú ME jelből, és néha az MF görbe alapján lehetett a törési időt kellő pontossággal meghatározni (6. ábra).



6. ábra. Az erő, a mágneses emissziós jelek és a mágneses térerő időbeli változása ( $v_0 = 5,5$  m/s,  $T = -40$  °C)

A mért törési idő alapján a dinamikus törési szívósság a következő összefüggéssel határozható meg:

$$K_{Id} = R \cdot v_0 \cdot t^m \quad (5)$$

ahol  $t^m = f(t^*)$  értékei a [19, 20] közleményekben táblázatos formában megtalálhatók, és

$$t^* = g(t) = t_F \cdot \left\{ 1 - 0.62 \left( \frac{\alpha_0}{W} - 0.5 \right) + 4.8 \left( \frac{\alpha_0}{W} - 0.5 \right)^2 \right\} \quad (6)$$

ahol  $R = 301$  GN/m<sup>5/2</sup> állandó  $c_M = 8,1 \times 10^{-9}$  m/N rugómerevségű (compliance) ütőműre. Ha a gép rugómerevsége eltér, akkor egy korrekciós faktoral kell beszorozni R értékét, amely:

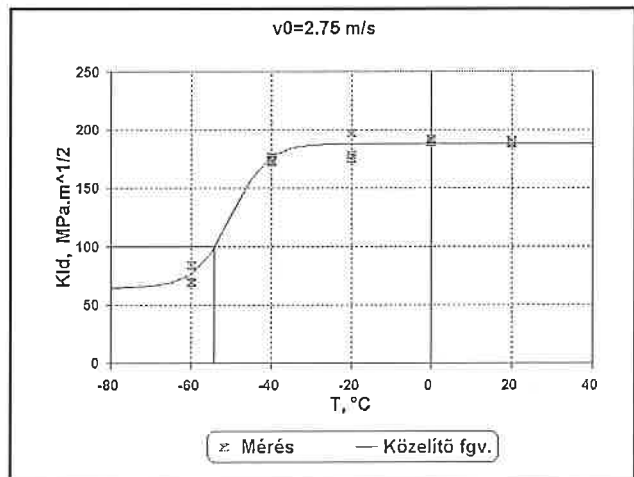
$1,276 / (1 + 0,276 \cdot c_M / 8,1 \times 10^{-9} \text{ m/N})$ . A mi esetünkben a gép rugómerevsége  $c_M = 2,335 \times 10^{-8}$  m/N volt.

A kiértékelt vizsgálati eredményeket a 7. és 8. ábra mutatja. A vizsgálat acélananyag rideg-szívós átmeneti viselkedésének jellemzése céljából a mérési pontokra egy közelítő függvényt fektettünk, melynek egyenlete:

$$K_{Id} = A_0 + A_1 \cdot \text{th} \left[ \frac{1}{A_2} \cdot (T - A_3) \right] \quad (7)$$

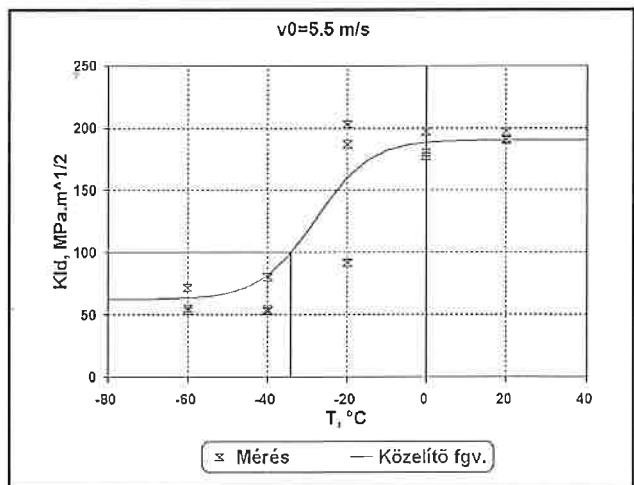
ahol  $A_0, A_1, A_2, A_3$  konstansok. A regressziós görbék alapján meghatározható egy adott törési szívósság értékhez (ferrites acéloknál általában  $K = 100$  MPa $\sqrt{\text{m}}$  értékhez [21]) tartozó átmeneti hőmérséklet ( $TT$ ), amely jól jellemezhető az acél rideg-szívós átmeneti tartományában. Az ennek megfelelően meghatározott átmeneti hőmérsékletek:  $TT_{2.5} = -54,2$  °C a kisebb, és  $TT_{5.5} = -34,1$  °C a nagyobb ütési sebességre.

$$K_{Id} = 126.5 + 61.8 \cdot \text{th} \left[ \frac{1}{8.87} \cdot (T + 50) \right]$$



7. ábra. A dinamikus törési szívósság változása a hőmérséklet függvényében  $v_0 = 2,75$  m/s ütési sebességnél

$$K_{Id} = 126.5 + 64 \cdot \text{th} \left[ \frac{1}{13.7} \cdot (T + 27.95) \right]$$



8. ábra. A dinamikus törési szívósság változása a hőmérséklet függvényében  $v_0 = 5,5$  m/s ütési sebességnél

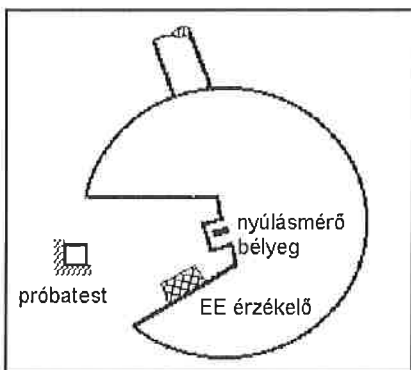
A 7. és 8. ábra alapján megállapítható, hogy a szívós és a rideg törés tartományában a két ütési sebesség esetén nem tapasztalható jelentős különbség a  $K_{Id}$  értékekben. Azonban a nagyobb ütési sebesség esetén a rideg törés nagyobb hőmérsékleten ( $-20\text{ °C}$ ) jelenik meg, ekkor a rideg törés a törési folyamatnak egészen az elején indul meg, majd repedésmegállás történik, amit stabil repedésterjedés követ. A kisebb ütési sebesség esetén csak  $T = -40\text{ °C}$ -on jelent meg először a rideg repedésindulás, amelyet jelentős mértékű képlékeny alakváltozás előzött meg, és a lineárisan rugalmas viselkedés (tökéletesen rideg állapot) csak  $T = -60\text{ °C}$ -on következett be.

A bemutatott kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy az ütővizsgálat esetén a terhelési sebesség változásának kimutatható hatása van a vizsgált növelt szilárdságú, mikroötvözött acél rideg-szívós átmeneti viselkedésére. A  $K_{Id}(T)$  görbe helyzete  $\Delta T = 20,1\text{ °C}$ -kal tolódott el a nagyobb hőmérsékletek irányában, amikor az ütési sebességet 2,5 m/s-ról 5,5 m/s-ra növeltük. A mágneses emissziós mérés technika alkalmazása sok esetben feltétlenül szükséges volt a repedésindulás pillanatának meghatározására.

### Az elektro-emissziós mérés technika alkalmazás műanyagok dinamikus törésmechanikai vizsgálatainál

A műanyagok általában nagyon érzékenyek a terhelési sebesség változására a mérnöki gyakorlatban előforduló terhelési körülmények esetén. Amíg korábban a műanyagok ütésállóságát elsősorban bemetszett vagy bemetszés nélküli próbatesten mérte ütmunkával jellemezték, az utóbbi évtizedekben egyre elterjedtebb a különböző törésmechanikai módszerek és anyagjellemzők alkalmazása. Mivel a terhelési sebesség növekedésével a dinamikus hatások következtében fokozottan jelentkeznek vizsgálattechnikai és kiértékelési problémák műanyagok esetén, ezért a hagyományos erő alapú elemzések csak 1 m/s ütési sebességig alkalmazhatók. Eelőtt a dinamikus hatások gyakran elfedik a valós anyagi választ és a dinamikus törési szívósság meghatározásához kiegészítő mérés technikák, illetve különleges kiértékelési módszerek alkalmazása szükséges. Az elektro-emissziós mérés technika egy új lehetőség a törési idő mérésére, amely alapján a dinamikus értékelés elvégezhető [22, 28].

A különböző dinamikus mérési és kiértékelési módszerek elemzése és összehasonlítása céljából többféle műanyagon végeztünk műszerezett ütővizsgálatokat egy CEAST Resil 15/25 típusú ütőművön. A hagyományos erőmérésen kívül az ütőműre egy kisméretű elektro-emissziós érzékelőt is elhelyeztünk. A kalapács műszerezését vázlatosan a 9. ábra mutatja.

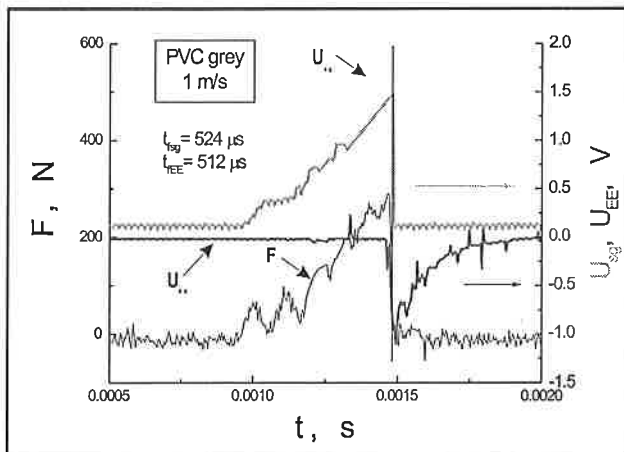


9. ábra. A CEAST Resil 15/25 ütőmű kalapácsának műszerezése

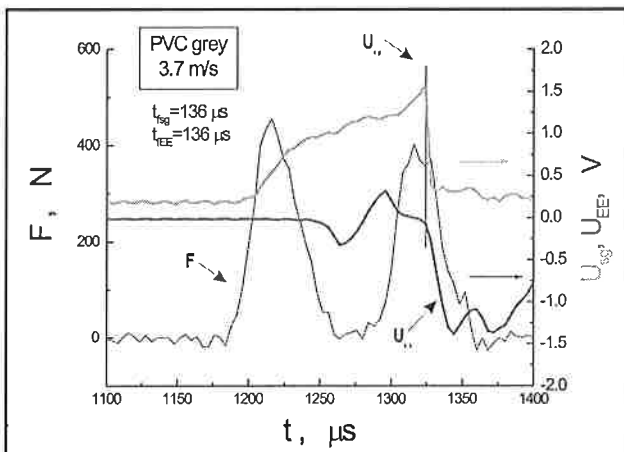
Különbőféle műszaki műanyagokat választottunk a vizsgálatokhoz: PE (PE-MD és PE-HD), POM, PVC, PMMA, ABS. Valamennyi alapanyag 10–12 mm vastag extrudált lemezek formájában állt rendelkezésünkre, amelyekből 10x10x55 mm-es ütőpróbatesteket munkáltattunk ki. A próbatesteken forgácsolással bemetszést, majd penge benyomásával repedés-szerű bevágást hoztunk létre az extrudálás irányával egyező irányban. A relatív repedés méret ( $a_0/W$ ) 0,3 és 0,35 között változott. Az elektro-emissziós mérés technika alkalmazhatóságának és pontosságának ellenőrzése céljából néhány próbatesten kisméretű nyúlásmérő bélyegeket is elhelyeztünk (MM CEA-06-032UW-120) 2,5-3 mm távol-

ságban a repedéscsúcstól. A terhelési sebesség hatásának elemzéséhez többféle ütési sebességet alkalmaztunk: 1, 2, 3 és 3,7 m/s.

Valamennyi vizsgált műanyag minden terhelési sebességnél tökéletesen ridegen tört. A legtöbb esetben az EE jel hirtelen változást mutatott a rideg törés kezdetekor, kivéve a PE-HD anyagminőséget. A regisztrált diagramokra PVC esetén a 10. és a 11. ábra mutat példákat. Meghatároztuk a törési időket mind a mérőbélyegek jeleiből ( $t_{ISG}$ ), mind az EE jelek alapján ( $t_{IEE}$ ). A kétféle méréssel kapott törési idők jó egyezést mutattak (2. táblázat), a maximális eltérés 5–12 s között volt (3%-nál kisebb).



10. ábra. Az erő, a mérőbélyeg és az elektro-emissziós jelek  $v_0 = 1\text{ m/s}$  ütési sebességnél (PVC)



11. ábra. Az erő, a mérőbélyeg és az elektro-emissziós jelek  $v_0 = 3,7\text{ m/s}$  ütési sebességnél (PVC)

2. táblázat  
Különböző módszerekkel mért törési idők

Anyag	$v_0$ , m/s	$t_{ISG}$ , s	$t_{IEE}$ , s	Különbség, %
POM	1	708	706	0.28
	3.7	203	201	0.01
PVC	1	524	512	2.29
	3.7	136	136	0

Az alkalmazott legkisebb ütési sebesség ( $v_0 = 1\text{ m/s}$ ) esetén lehetséges volt a dinamikus törési szívósság kvázistatikus, erő alapú kiértékelése [23]:

$$K_{II} = \frac{Y(a_0/W) \cdot F_{max}}{B \cdot \sqrt{W}} \quad (8)$$

ahol  $F_{max}$  – maximális erő, N  
 $a_0$  – kezdeti repedéshossz, mm  
 $W$  – próbatess magasság, mm

B - próbatest vastagság, mm  
 $Y(a_0/W)$  - geometriai függvény TPB próbatestre:

$$Y\left(\frac{a_0}{W}\right) = 6\sqrt{\frac{a_0}{W} \frac{1.99 - \frac{a_0}{W} \left(1 - \frac{a_0}{W}\right) \left(2.15 - 3.93 \frac{a_0}{W} + 2.7 \left(\frac{a_0}{W}\right)^2\right)}{\left(1 + 2 \frac{a_0}{W}\right) \left(1 - \frac{a_0}{W}\right)^{3/2}}} \quad (9)$$

Az 1 m/s-nál nagyobb ütési sebességek esetén az erőjel jelentős oszcillációja miatt a kvázistatikus értékelés nem volt alkalmazható. Ezekben az esetekben a *Böhme* által kidolgozott dinamikus kulcs-függvény (dynamic key-curve - DKC) módszerrel [24, 25] határozható meg a dinamikus törési szívósság a következő összefüggés szerint:

$$K_{Id} = \frac{E \cdot Y\left(\frac{a_0}{W}\right)}{\sqrt{W} C_s \left(1 + \frac{C_m}{C_s}\right)} v_0 t_f k^{dyn}(t = t_f) \quad (10)$$

ahol  $E(t)$  - a próbatest idő-függő rugalmassági modulusa, MPa  
 $v_0$  - ütési sebesség, m/s  
 $k^{dyn}(t_f)$  - dinamikus kulcs-függvény  
 $t_f$  - törési idő, s  
 $C_s$  - próbatest compliance, m/N  
 $C_m$  - gép compliance, m/N  
 $C_s^* = EBC_s$  - dimenzió nélküli próbatest compliance  
 $Y(a_0/W)$  - geometriai függvény TPB próbatestre.

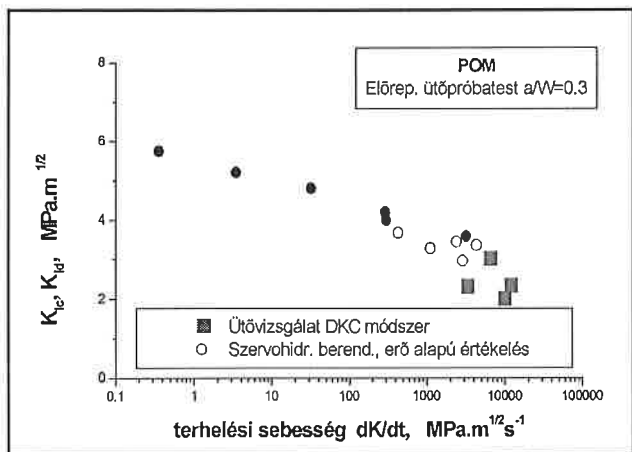
A DKC módszer szerint a dinamikus kulcs-függvény értéke  $k_{dyn} = 1$ , amennyiben a törési idő  $t_f > 9,2W/c_1$ , ahol  $c_1$  a longitudinális hullám terjedési sebessége a próbatestben:

$$c_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}} \quad (11)$$

Ez a feltétel valamennyi vizsgálat esetén teljesült. A gép compliance értékét bemetszellen próbatestek low-blow vizsgálata alapján határoztuk meg a [24] közleményben ismertetett módon:  $C_m = 0,33$  mm/MN. A kiértékeléshez szükséges időfüggő anyagi paramétereket ( $E, \nu$ ), 0,01 Hz és 300 Hz frekvenciatartományban végzett kísérletekkel határoztuk meg (a Leobeni Műszaki Egyetem Műanyag-technológiai Intézetében, egy nagy sebességű MTS típusú szervo-hidraulikus berendezésen).

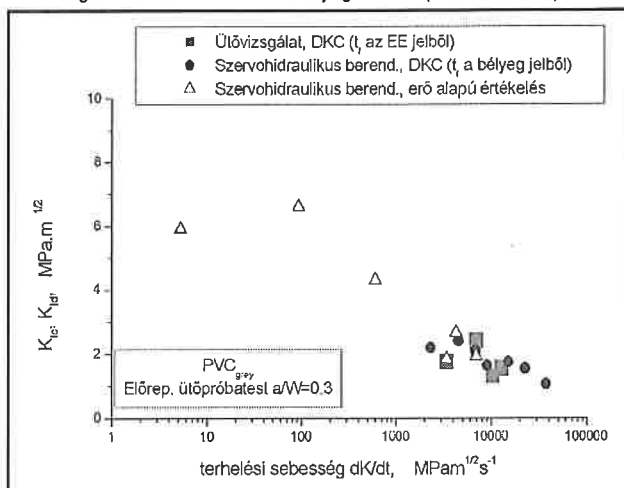
A kiértékelés eredményeit POM és PVC esetén a 12. és 13. ábra mutatja, ahol összehasonlítás céljából azok a  $K_{Ic}$  és  $K_{Id}$  értékek is szerepelnek, amelyeket a leobeni egyetemen nagy sebességű szervo-hidraulikus berendezésen különböző terhelési sebességgel végzett kísérletek alapján határoztak meg. Ahogy az ábrákból látható, mindkét anyag jelentős terhelési sebesség érzékenységet mutat, és a különböző mérési és kiértékelési módszerekkel meghatározott  $K_{Id}$  értékek jó egyezést mutatnak.

A bemutatott vizsgálati eredmények igazolták az elektro-emissziós



12. ábra. A POM törési szívósságának függése a terhelési sebességtől

méréstechnika alkalmazhatóságát és pontosságát a ridegtörés kezdetének regisztrálására többféle műanyag esetén (kivéve PE-HD).



13. ábra. A PVC törési szívósságának függése a terhelési sebességtől

### Összegzés

Cikkemben megpróbáltam bemutatni a műszerezett ütővizsgálat legújabb alkalmazási lehetőségeit a fémek és műanyagok dinamikus törésmechanikai vizsgálata terén. A bemutatott vizsgálati és kiértékelési módszerek ma még nem szabványosítottak, de a világban számos ipari és kutatóintézeti laboratóriumban alkalmazzák őket. Elsősorban Európában folyik intenzív munka ezen eljárások szabványosítása terén az ESIS keretében, amelyhez részben kapcsolódik a cikkben bemutatott kutatómunka. Mindezek arra is ráirányítják a figyelmet, hogy a Charpy által 1901-ben javasolt vizsgálati módszernek nemcsak múltja és jelene, hanem jövője is van.

### Köszönetnyilvánítás

Szerző ezúton fejezi ki köszönetét az OTKA-nak a kutatáshoz nyújtott támogatásáért (OTKA T 030057 projekt).

### Irodalomjegyzék

- [1] Konkoly T.: Erő-idő diagramok felvétele egyszerű Charpy ütőművön az ingára szerelt nyúlásmérő bélyegekkel, Gép, XX., 1968/10., pp. 401-405.
- [2] Riittinger J., Fehérvári A.: A törés folyamatának megismerése az erő változásának regisztrálásával ütő-hajlító vizsgálat során, BKL Kohászat, 273/1971., pp. 245-249.
- [3] Tóth L.: Hegeszthető szerkezeti acélok ridegedésének vizsgálata, Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1974.
- [4] Tóth L., Romvári P.: Az ütővizsgálat információtartalmának elemzése, Gép, 27, 1975/7., pp. 245-252.
- [5] Tóth L., Romvári P.: The Analysis of the Instrumented Impact Test Diagrams 7th Conference on Welding, Budapest, 1976., pp. 163-169.
- [6] Tóth L., Romvári P.: Műszerezett ütővizsgálattal felvett erő-idő diagramok értékelése - Gép, 1976/12., pp. 442-445.
- [7] Tóth L., Romvári P.: Relationship between the Time to Brittle Fracture and the Yielding Stress in Instrumented Charpy-Impact Test, 7th Congr. on Material Testing, Budapest, 1978., Vol. 1., p. 285-289.
- [8] L. Tóth: Ribildungs- und Ausbreitungsarbeit hinsichtlich der Kerbgeometrie von Kerbschlagbiegeversuchen, Publications of the Technical University for Heavy Industry, Series C., Machinery, Vol. 34, 1978, pp. 31-47.
- [9] Lenkeyné Bíró Gy., Major Z., Tóth L.: Műszerezett ütőmű a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékén, Anyagvizsgálók Lapja, 1. évf. 2. szám, 1991., pp.64-66.
- [10] Lenkeyné Bíró Gy., Major Z., Bodnár K.: Műszerezett ütőmű kifejlesztése és alkalmazásának kezdeti tapasztalatai, Micro CAD-SYSTEM'91 Nemzetközi Számítástechnikai Találkozó, Miskolc, 1991. február 26. - március 2., pp. IV/48-53.

- [11] Gillemot F., Szabó L.: Dinamikus törésmechanikai vizsgálatok továbbfejlesztése – Beszámoló jelentés, KFKI, Budapest, 1983.
- [12] Módszerek a statikus és dinamikus törésmechanikai anyagjellemzők meghatározásához – Kutatási jelentés, VASKUT Hegesztési Főosztály, 1981.
- [13] Rittinger J., Tóth K., Macsári K.: Dinamikus törésmechanikai anyagjellemzők meghatározása ütővizsgálattal, Gép, 34, 1982/5., pp. 191-199.
- [14] Winkler, S. R.: Magnetic Emission Detection of Crack Initiation, ASTM STP 1074, Philadelphia, pp. 178-192. (1990)
- [15] Winkler, S.: Brucherkennung mit Elektrischer Emission, IWM Bericht, Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik T 10/90 (1990)
- [16] Lenkey, Gy. B., Winkler, S.: On the applicability of the magnetic emission technique for determining ductile crack initiation in impact tests, Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures, Vol. 20., No. 2., 1997, p. 143-150.
- [17] Blumenauer, H., Push, G.: Technische Bruchmechanik, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1982.
- [18] Ireland, D. R.: Critical review of instrumented impact testing, Int. Conf. On Dynamic Fracture Toughness, London, 1976, p. 47-57.
- [19] J. F. Kalthoff, S. Winkler, W. Böhme: A novel procedure for measuring the impact fracture toughness K<sub>Id</sub> with precracked Charpy specimens, Journal de Physique, 1985/No. 8, pp. C5-179-186.
- [20] J. F. Kalthoff: Concept of Impact Response Curves, ASM Handbook, Volume 8, ASM, 1995, p. 269-271.
- [21] Neale, B. K.: The development of an instrumented Charpy impact machine, Evaluating Material Properties by Dynamic Testing,ESIS Publication 20, Mechanical Engineering Publications (MEP), Bury St-Edmunds, 1996, p. 197-206.
- [22] Lenkey, Gy. B.; Winkler, S.; Major, Z.; Lévy, I.: Applicability of magnetic and electro-emission techniques for detecting crack initiation in impact tests, 11th European Conference on Fracture, Poitiers, 3-6. September 1996., Vol. III. p. 1989-1994.
- [23] Standard Test Methods for Plane-Strain Fracture Toughness and Strain Energy Release Rate of Plastic Materials, ASTM D 5045-93, December 1993.
- [24] W. Böhme: Application of Dynamic Key Curves for the Determination of the Impact Fracture Toughness of Polymers at High Rates of Loading,ESIS Publication 19, ed. J.G. Williams, A.Pavan, MEP, London, 1995.
- [25] W. Böhme: Dynamic Key-Curves for Brittle Fracture Impact Tests and Establishment of a Transition Time, Fracture Mechanics: Twenty-First Symposium, ASTM STP 1074, Philadelphia, 1990., pp. 144-156.
- [26] Gy. B. Lenkey: On the Determination of Dynamic Fracture Toughness Properties by Instrumented Impact Testing, Pendulum Impact Testing: A Century of Progress, ASTM STP 1380, T. Siewert and M. P. Manahan, Sr., Eds., American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1999., Symposium on Pendulum Impact Testing: A Century of Progress, May 19-20, 1999., Seattle, pp. 366-381.
- [27] Lenkeyné Bíró Gyöngyvér: A terhelési sebesség hatása növelt szilárdságú acél rideg-szívós átmeneti viselkedésére, MicroCAD'99, 1999. Február 23-25., Miskolc, Anyagtudományi szekció, pp. 111-116.
- [28] Gy. B. Lenkey, Z. Major: Applicability of electric emission technique for determining dynamic fracture toughness of polymeric materials, MicroCAD 2000., Miskolc, pp. 57-62.

## Az ütővizsgálat fejlődése egy PhD-hallgató szemével\*

Göblyös Béla\*\*

### Bevezetés

A szerkezetek, gépek üzemeltetése során a károsodásokat legtöbbször a váratlan meghibásodások okozzák. A legjelentősebb gazdasági hatású meghibásodás a törés. A szerkezet igénybevétele lehet statikus és dinamikus. Ez utóbbi a kritikusabb, mivel az anyagok töréssel szembeni ellenállása csökken a terhelési sebesség növekedésével.

A dinamikus terhelés hatásának vizsgálatára alkalmas ejtőművet 1857-ben Rodman használt először bemetszés nélküli próbatesten. A bemetszett próbatestek vizsgálatával először LeChatelier foglalkozott 1892-ben, ingás ütőművet pedig 1896-ban az amerikai Russel és munkatársai alkották meg [1].

Európában a francia G. Charpy javasolta a vizsgálatot az anyagok ütőmunkájának a meghatározására mégpedig a *Megjegyzések bemetszett fém próbatestek ütve hajlító vizsgálatához* című előadásában az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének budapesti konferenciáján 1901-ben [2]. A dinamikus mechanikai jellemzők mérésére (egyszerűsége és gazdaságossága miatt) azóta is e módszer a leggyakrabban használatos.

### Hagyományos ütővizsgálat

A Charpy által javasolt vizsgálat akkori állapotában lehetőség volt az ütőmunka mérésére az inga ejtés előtti és ejtés utáni holtponthelyzetének összehasonlításával:

$$KV \text{ (vagy } KU) = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) \quad (1)$$

\* tudományos vezető: dr. Tóth László egyetemi tanár, Bay Zoltán Logisztikai és Gyártástechnikai Intézet, Miskolci Egyetem.

\*\* Dunaferr Rt.

ahol,

KV – ütőmunka (J) a V bemetszésű próbatesten (2.a ábra),

KU – ütőmunka (J) az U bemetszésű próbatesten (1. és 2.b ábra),

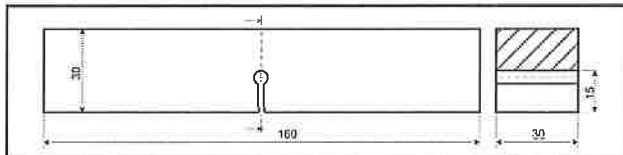
m – az inga redukált tömege (kg),

g – nehézségi gyorsulás  $\approx 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,

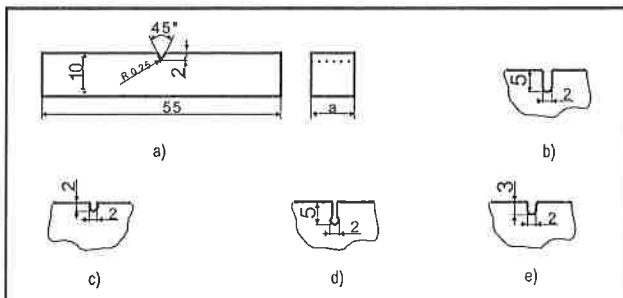
$h_1$  – az inga ejtés előtti helyzetének magassága (m),

$h_2$  – az inga ejtés utáni holtponthelyzetének magassága (m).

Mivel az inga magassága arányos a szögelfordulással, ezért a műszer skálája közvetlenül az ütőmunka értéket mutatja.



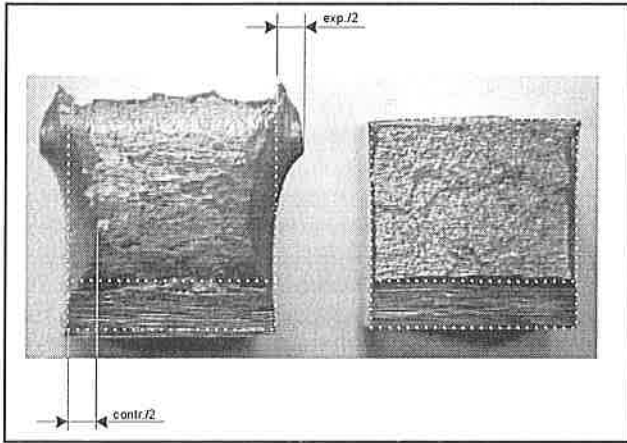
1. ábra. A Charpy által javasolt próbatest



2. ábra. A próbatest bemetszésének főbb típusai: a) Charpy-V, b) Charpy-U, c) Mesnager, d) Charpy-kulcslyuk és e) DVM

Mínél szívósabb az anyag, az ütőmunka annál nagyobb értékű (azaz  $h_2$  annál kisebb), egyre kisebb ütőmunkához az anyag egyre ridegebb állapota tartozik (azaz egyre nagyobb  $h_2$ ).

A rideg és szívós állapot azonban más módon is elhatárolható egymástól. A töretfelületen a rideg töret aránya arányos az anyag rideg állapotával. A keresztirányú expanzió esetleg kontrakció mértékéből a ridegedés szintén meghatározható (3. ábra). Ezt az eljárást először Gross és Stout javasolta 1958-ban [3]. Amennyiben  $e$  paraméterekre határértéket írunk elő (adott értékű ütőmunka: 27 J vagy 40 J; a ridegen tört felület aránya: 50%; keresztirányú expanzió:  $b = 0,4$  mm) az anyag átmeneti hőmérséklete meghatározható.



3. ábra. A keresztirányú expanzió (exp.) illetve kontrakció (contr.) meghatározása

A vizsgálat (már az akkori állapotában is) lehetővé tette a feszültségállapot, a hőmérséklet valamint az ütési sebesség hatásának elemzését. A feszültségállapot befolyását különböző bemetszésű próbatestek ütésével lehet vizsgálni. A különböző hőmérsékleteket valamilyen fűtő- vagy hűtőközeg segítségével lehet biztosítani (kemence, szárazjég, folyékony nitrogén stb.). A különböző ütési sebességet pedig a (2) összefüggésnek megfelelően az inga ejtési magasságával állíthatjuk be a kívánt értékre. Hasonlóan az (1)-hez, itt is az inga magasságánál egyszerűbb az inga elfordulását meghatározni.

$$v = \sqrt{g \cdot h_1} \quad (2)$$

Ahol  $v$ : az ütési sebesség (m.s<sup>-1</sup>),  $g$ : a nehézségi gyorsulás  $\approx 9,81$  (m.s<sup>-2</sup>),  $h_1$ : az inga ejtés előtti helyzetének magassága (m).

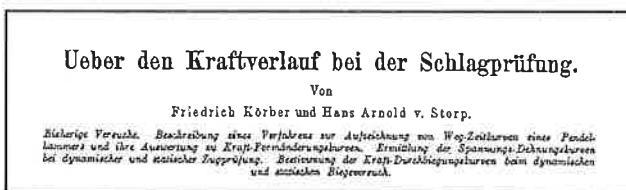
### Műszerezett ütővizsgálat

A későbbiek során a vizsgálat úgy fejlődött tovább, hogy a gazdaságosság megőrzése mellett célul tűzte ki az anyag rideg-szívós állapotának mélyebb megismerését is.

Az első műszerezett ütővizsgálatról szóló közleményt 1925-ben publikálja F. Körber és H. Arnold Düsseldorfban a Kaiser Wilhelm Institut für Eisenforschung kiadványában [4], azonban csak 1946-ban készítik el az első műszerezett ütőművet [6].

Az 1970-es évek kezdetétől megjelennek a témához kapcsolódó különböző szabványok, előírások:

- 1970: ASTM STP: Impact Testing of Materials (Anyagok ütővizsgálata),
- 1977-80: ASTM E 24.03 szabványajánlás a műszerezett ütővizsgálatról,
- 1986: DVM Merkblatt a műszerezett ütővizsgálatról,



4. ábra. Az első „műszerezett” ütővizsgálatról szóló közlemény

- 1991-93: az ESIS TC5 Sub-committe kidolgozza a fémek anyagok műszerezett Charpy-V ütővizsgálatáról szóló szabványajánlást,
- 1992: az ESIS TC5 Sub-committe kidolgozza az előreesztett próbatestek műszerezett ütővizsgálatáról szóló szabványajánlást,
- 1996: ISO szabványjavaslat a műszerezett ütővizsgálatról.
- 2001: a kisméretű Charpy-próbatestek műszerezett ütővizsgálata (ESIS javaslat)

Az évszámokat tekintve látható, hogy a Charpy által javasolt ütővizsgálat az egy évszázados történelme során (1901-2001) nagy változáson ment keresztül [5, 6, 7]. A mért jeleket eleinte memória oszcilloszkóp, napjainkban pedig számítógép jeleníti meg és rögzíti.

Az oszcilloszkóp által mutatott erő-idő, erő-próbatest behajlás diagramokat le kellett fényképezni, ami egyrészt időigényes volt, másrészt sok tényezőtől függött a kapott kép minősége (megvilágítás, filmérzékenység stb.). Az utóbbi évtizedekben a számítástechnika és az elektronika rohamos fejlődése lehetővé tette a jelek mind pontosabb és mind megbízhatóbb regisztrálását. A mért értékek tárolhatók, megjeleníthetők, valamint további számításokat is végezhetünk rajtuk vagy a mérésadatgyűjtő vagy valamilyen más egyéb szoftver (táblázatkezelők) segítségével. Az így tárolt mérési adatok egymással összevethetők és diagramon is szemléltethetők. A szoftver (és használója) rugalmasságán múlik, hogy a diagramon mely jellemzőt mely jellemző függvényében ábrázol. Elterjedtebbek az erő-idő, illetve erő-behajlás diagramok. Azonban lehetőség van az energia, a sebesség, a gyorsulás (lassulás) számítására is a következők szerint:

A kalapács sebessége  $v(t)$  a  $t$  időpillanatban (s) a következő összefüggéssel határozható meg:

$$v(t) = v_0 - \frac{1}{m} \int_{t=0}^t F(t) dt \quad (3)$$

ahol,  $m$  – a kalapács redukált tömege (kg),  
 $F(t)$  – a mért erő időbeni változása (N),  
 $v_0$  – a kalapács sebessége az ütés pillanatában (m.s<sup>-1</sup>).

A  $v_0$  sebesség az inga kiinduló szöghelyzetéből és az inga redukált hosszából meghatározható.

A kalapács gyorsulása (illetve lassulása)  $a(t)$  a  $t$  (s) idő függvényében:

$$a(t) = -\frac{1}{m} \cdot F(t) \quad (4)$$

Abban az esetben, ha a próbatest és az ütőkos érintkezésénél fellépő képlékeny alakváltozástól (benyomódástól) eltekintünk a próbatest behajlása a sebességfüggvény ismeretében a következőképpen határozható meg:

$$f(t) = \int_{t=0}^t v(t) dt \quad (5)$$

ahol,  $f(t)$  – a próbatest behajlása (m) a  $t$  időpillanatban,  
 $v(t)$  – a próbatest sebessége (m.s<sup>-1</sup>) a  $t$  időpillanatban.

Az energia időbeni változása:

$$E(t) = E_0 - F(t) \cdot f(t) \quad (6)$$

ahol,  $E(t)$  – az energia  $t$  időpillanatbeli értéke (J),  
 $E_0$  – az inga maximális ütőenergiája (J).

A törési munkának a repedés keletkezésére fordított része:

$$W_i = \int_{f=0}^{f_{F,max}} F(f) df \quad (7)$$

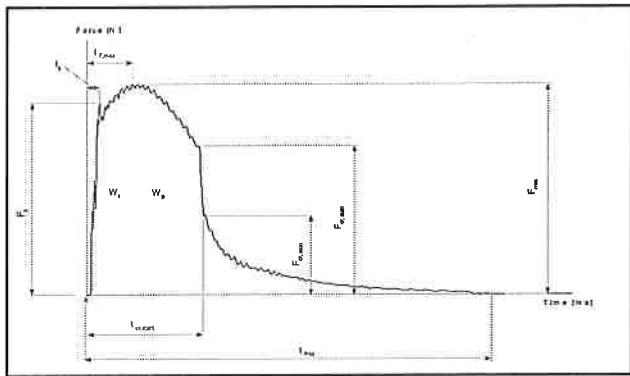
A törési munkának a repedés terjesztésére fordított része pedig az alábbi összefüggéssel határozható meg:

$$W_p = \int_{f_{F,max}}^{f_{F,frac}} F(f) df \quad (8)$$

ahol,  $f_{F,max}$  – a maximális erőhöz tartozó behajlás (mm),  
 $f_{F,frac}$  – a teljes töréshez tartozó behajlás (mm),  
 $F(f)$  – az erő-behajlás függvény  $f$  pontbeli értéke.

A műszerezett ütővizsgálat során kapott erő-idő diagram kiértékelését mutatja az 5. ábra.

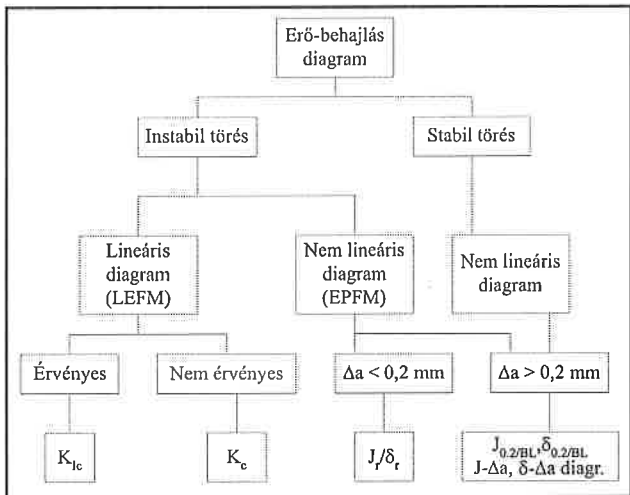
A bemetszett próbatestek vizsgálatán felül lehetőség van bemetszett



5. ábra. Erő-idő diagram, amelyből a következő jellemzők határozhatók meg:

- $F_y, t_y, f_y$ : Rugalmassági határhoz tartozó erő, idő és behajlás
- $F_{max}, t_{F_{max}}, f_{F_{max}}$ : A maximális erő és a hozzátartozó idő és behajlás
- $F_{cr, start}, t_{F_{cr, start}}, f_{F_{cr, start}}$ : Az instabil repedésterjedés kezdetéhez tartozó erő, idő és behajlás
- $F_{cr, stop}$ : Az instabil repedésterjedés végéhez tartozó erő
- $t_{frac}$ : A teljes törésig eltelt idő
- $F_{drop}$ : Erőcsökkenés a repedésterjedés folyamán (=  $F_{cr, start} - F_{cr, stop}$ )
- $f_{frac}$ : A teljes töréshez tartozó behajlás
- $W$ : A törési munka (=  $W_i + W_p$ )
- $W_i$ : A törési munka repedés keletkezésére fordított része
- $W_p$ : A törési munka repedés terjesztésére fordított része

előrepszett próbatetek vizsgálatára is, amellyel különböző dinamikus törésmechanikai jellemzőket határozhatunk meg. A próbatetek törési viselkedésétől függően különböző mennyiségek határozhatók meg [6]. Ezeket foglalja össze a 6. ábra.



6. ábra. Meghatározható törésmechanikai jellemzők

LEFM = Linear Elastic Fracture Mechanics (Lineárisan rugalmas törésmechanika)  
EPPM = Elastic Plastic Fracture Mechanics (Képlékeny törésmechanika)

$K_{Ic}$  – Törési szívósság;  $K_c$  – Feltételezett törési szívósság.

$J_I$  és  $\delta_t$  – A repedés megindulásához tartozó J integrál és repedéskinyílás.

$J_{0,2/BL}$  és  $\delta_{0,2/BL}$  – A 0,2 mm-es repedésnövekedéshez tartozó J integrál és repedéskinyílás;  $\Delta a$  – Repedés növekedésének mértéke

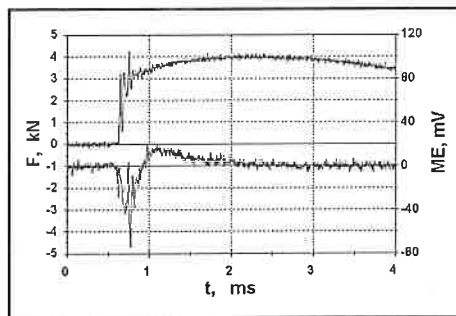
### A továbblépés lehetőségei

Az anyagvizsgálatok fejlődési célja a minél több jellemző minél pontosabb mérése, ezért a műszerezett ütővizsgálat fejlődése is ezen a két úton halad. A minél pontosabb mérést az elektronika és a számítástechnikai rohamos fejlődése teszi lehetővé. Ezzel szemben a minél több jellemző meghatározására való törekvést, az újabb vizsgálati technikák kialakítását az anyagban a vizsgálat során lezajló folyamatok pontosabb

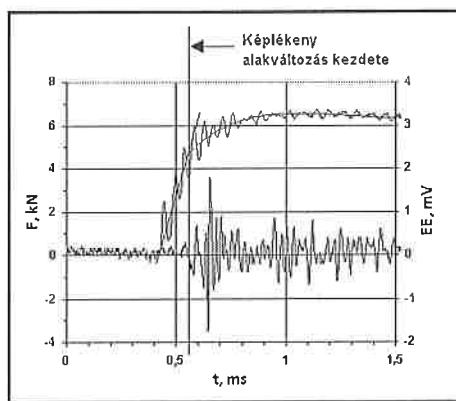
megismerése segíti. Ennek csak egy része a technikai fejlődés, a másik részét a fejlesztők tudása jelenti.

Ezen újabb technikák egyike a mágneses emissziós, illetve elektromos emissziós kiegészítő jelek regisztrálásán alapszik. Ekkor a vizsgálat során az erő-idő diagramon kívül még a mágneses emisszió illetve az elektromos emisszió változását is rögzítik.

A mágneses emisszió mérésével (7. ábra) lehetőség nyílik rideg anyagoknál az instabil repedésterjedés kezdetének pontos mérésére, mert a repedés megindulásakor nagy mágneses jel jelenik meg a diagramon. Ezt a változást a próbatetstől kilépő mágneses erővonalak okozzák. Szívós anyagoknál sok esetben a mágneses emissziós jel integrál értékének – ami arányos a mágneses térerősséggel – változásából lehet következtetni a stabil repedésterjedés kezdetére [7]. Az elektro-emissziós vizsgálat során a jelek megjelenése a fémek esetében a képlékeny alakváltozás kezdetéhez köthető (8. ábra), míg bizonyos műanyagok esetén az instabil repedésterjedés kezdetéhez. Azonban a vizsgálat fizikai háttere még nem teljesen tisztázott, ezen a téren további kutatások szükségesek.



7. ábra. Erő és mágneses emisszió diagram



8. ábra. Erő és elektro-emisszió diagram

### Összefoglalás

E rövid áttekintésből is látható, hogy az anyagvizsgálatok terén is jelentős változásokat hozott az eltelt évszázad. Az elektronika (és ezen belül főleg a számítástechnika) rohamos fejlődésével lehetővé válik a fizikai folyamatok mind pontosabb megismerése, mely minden kutatásnak alapvető célja.

### Irodalom

- [1] S. B. Russel: Experiments with a New Machine for Testing Materials by Impact, ASCE Transactions, 1898., No. 826, p. 237-272.
- [2] M. G. Charpy: Note sur l'essai des métaux à la flexion par choc de barreaux entaillés, Société anonyme d'imprimerie de Pest, Budapest, 1901
- [3] J. H. Gross, R. D. Stout: Welding Journal, 1958/4., p. 151-155.
- [4] Körber, F. und H. A. v. Storp (1925): Über den Kraftverlauf bei der Schlagprüfung. Mitt. KWI f. Eisenforschung Düsseldorf 7, 81 - 97
- [5] Romvári P., Tóth L.: Az ütőhajlító vizsgálat információtartalma, Gép. 1975/7. p.245-252.
- [6] Lenkeyné Biró Gyöngyvér: Ütővizsgálat információtartalma – hagyományos, műszerezett, Gép, IL. évfolyam, 1997. 7-8. szám, p. 55-64.
- [7] Gy. B. Lenkeyné, S. Winkler: On the applicability of the magnetic emission technique for the determination of ductile crack initiation in impact tests, 7<sup>th</sup> Int. Conf. on Mechanical Behaviour of Materials, ICM 7, The Hague, The Netherlands.

# A Resil Impactor ingás ütőmű család

Tóth Péter\*

## Az ütőmű család jellemzői

A műanyagok vizsgálóberendezéseire szakosodott olasz CEAST cég az új ingás ütőmű család kifejlesztéséhez felhasználta a korszerű elektronika és számítástechnika nyújtotta lehetőségeket, hogy mindenben kielégítse a dinamikus mechanikai anyagjellemzők meghatározása iránti igényeket.

A gépcsalád a kalapács és a befogó-támasztó szerkezet cseréjével átfogja az 1–50 J energiatarományt, illetve mindegyike alkalmas a nemzetközi (ISO, EN) és a nemzeti (ASTM, BS, MSZ s egyéb) nemzeti szabványok szerinti Izod- és Charpy-féle ütve hajlító, valamint a dinamikus szakítóvizsgálat egyszerű és műszerezett elvégzésére.

Az ergonómiailag is jól tervezett ütőmű (lásd a címloldali fotót) mikroprocesszorral vezérelt elektronikája – négy nyelvű menükezeléssel – alkalmas a kalibráció ellenőrzésére, az ütőmunka automatikus kiszámítására és SI vagy BS mértékegységben való megjelenítésére, a súrlódási energiavesztés kalkulálására. A kalapács elfordulási szögét 1/1000 osztású digitális encoder méri, és az elektronika kijelzi a kalapács függőleges (0°) helyzetét, illetve az indítási szög értékét, az energiát, a sebességet, és az előzetesen bevitt adatokat: a minta méreteit, a bemetszés típusát, a minta jelét, a kezelő azonosítóját. Az ütőmű mikroprocesszora a mérési adatokból kiszámítja a mérési sorozatok statisztikáját is, és az adatokat tárolja. Az ütőműhöz csatlakoztatható nyomtatóval a memóriában tárolt adatok: a már felsorolt paraméterek és adatok, a mérési sorozatok ütőmunka eredményei és statisztikai jegyzőkönyv formátumban közvetlenül, számítógép nélkül is kinyomtathatók.

Számítógépes adatfeldolgozás céljából az ütőmű memóriájában tárolt adatok RS 232 interfésszel elvethetők PC-re, és a WINPEN adatgyűjtő és kiértékelő szoftverrel elvégezhető a részletes statisztikai kiértékelés, a grafikus ábrázolás és a jegyzőkönyv szerkesztése. A program tartalmazza a legfontosabb nemzetközi és nemzeti szabványokat (ISO, DIN, ASTM, BS stb.), de a felhasználónak további konfigurációs file-ok generálására is lehetőség van. Ezen file-ok betöltésével az alapbeállítások egyetlen másodperc alatt megtörténnek.

### Az ütőművekhez választható tartozékok között megtalálható:

– A pneumatikus fék és visszaemelő mechanizmus, amely az ütést követően lefékezi a túllendülő kalapácsot és visszaemeli a kezdeti szögállásba.

– A mintakidobó eszköz, amely megóvjaa a visszalendülő kalapácsot a károsodástól, melyet egy esetleges el nem tört minta okozhat.

– Az ejtési szög állítására szolgáló tartozék, amellyel a 150°-tól eltérő tetszőleges szöghelyzetből (0–150° tartományban max. 0,5° eltéréssel) is indítható vizsgálat.

– Csatlakoztatható a Cryobox hűtőkamra (lásd a BII. oldalon), amely több minta temperálására alkalmas –50 és +20 °C tartományban, és a folyékony nitrogén nemcsak a próbatesteket, hanem a nagyobb tömegű mintatámaszt is hűti megakadályozva a kis tömegű próbatest gyors felmelegedését, azaz a vizsgálati hőmérséklet pontos betartását segíti.

– A Cryomatic rendszer (lásd a BII. oldalon), amely nagy sorozatú ütővizsgálat elvégzésére alkalmas –70 és +100 °C hőmérséklet-tartományban. A hőkamrában egyszerűen nagyobb mennyiségű próbatest (mintatartónként kb. 50 db, mérettől függően) temperálható és a kézi manipulátorral vizsgálati helyzetbe hozható úgy, hogy az ütés is az előírt 5 másodpercen belül elvégezhető. A kamra hűtőközege folyékony nitrogén, és villamos fűtőszálakkal melegíthető. Az egyenletes hőeloszlást ventilátor biztosítja.

A Resilvis ütőmű (lásd a BII. oldalon) a nagy sorozatú ütővizsgálatok automatizált végrehajtására alkalmas önálló rendszer. A próbatestet

a termokamrából (–70 – +100 °C) manipulátor teszi vizsgálati helyzetbe úgy, hogy az elütés 3 másodpercen belül bekövetkezik. Óránként 120 vizsgálat végezhető. A mért és számított adatokat a számítógép gyűjti és tárolja.

## A műszerezett vizsgálat jellemzői

A gépcsalád valamennyi ütőműjére műszerezett ütőállal ellátott kalapács szerelhető fel. Ezzel – az erőtartománytól függően – piezo-elektromos vagy nyúlásmérő-bélyeges elven mérhetjük az ütére ható erő pillanatnyi értékét az idő vagy az elmozdulás függvényében. Ehhez fejlett dinamikus adatgyűjtés szükséges.

A rendszer lelke a DAS 4000 Win (Data Acquisition System) mikroprocesszoros adatgyűjtő egység a hozzá kapcsolt szenzorokkal, számítógéppel és kiértékelő szoftverekkel. A szoftver alkalmas az erő, az energia, a sebesség és az alakváltozás idő vagy alakváltozás függvényében végbemenő változásának az ábrázolására.

A DAS 4000 Win rendszer valamennyi CEAST ingás és ejtősúlyos műszerezett ütőművel kompatibilis.

### A DAS 4000 Win nagysebességű mikroprocesszoros jelfeldolgozó egység jellemzői:

- 32 bites mikroprocesszoros elektronika;
- nagysebességű A/D konverter 12 bites felbontással;
- a mintavételezés frekvenciája 1 MHz-ig növelhető;
- 300 kHz sávzélesség;
- vizsgálatonként max. 4000 mérési pont rögzítése;
- adatgyűjtési idő: 0,1 – 2000 ms;
- három programindító (triggering) módszer (külső, belső és fotocellás);
- külső sebességmérő egység;
- interfész a külső, a kalapácsra vagy a satura szerelt piezoelektromos és nyúlásmérő-bélyeges szenzorhoz;
- kétcsatornás jelfeldolgozó a külső félvezetős nyúlásmérő-bélyeges erőmérő cellához és a piezoszenzorhoz;
- Automatikus szenzorjel nullázás;
- PC-kapcsolat a nagysebességű adatátvitelhez.

### A DAS 4000 Win szoftverjei:

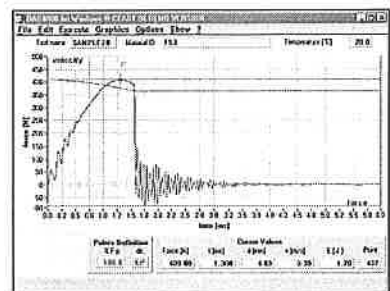
Az adatok feldolgozását és kiértékelését egy teljes szoftver család segíti.

A D4EXTWIN főmodul alprogramjai:

- D4WFILT – a görbék szűréséhez,
- D4WTTA – az átmeneti hőmérséklet kiértékeléséhez (TTKV-Transition Temperature),
- DAS4CLW – a statikus kalibrációhoz,
- DAS4DYN – a dinamikus kalibrációhoz,
- WLEFMHR – a lineárisan rugalmas törésmechanika dinamikus jellemzőinek a meghatározásához (Linear Elastic Fracture Mechanics – high rates).

### A D4EXTWIN alapszoftver funkciói:

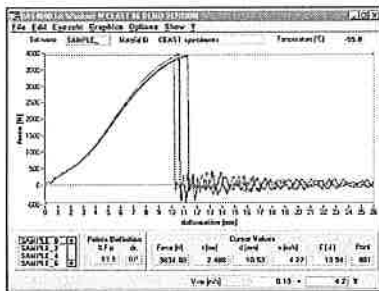
- A szoftver végrehajtja és kiértékeli a szabványok vagy az egyedi beállítások által definiált paraméterekkel a dinamikus vizsgálatokat.
- Egyedi mérések vagy mérési sorozatok végrehajtása és kiértékelése (max. 36 próbatestig).
- Az ütőfej kalibrációs file automatikus betöltése.



1. ábra

\* Testor Kft.

- A sebesség mérése a fotodetektor segítségével.
- A mért adatok azonnali (grafikus és numerikus) megjelenítése az ütest követően (1. ábra).
- $F(x)-v(x)-E(x)$  ill.  $F(t)-v(t)-E(t)$  függvények ábrázolása bármilyen párosításban.
- A különböző mérésekhez tartozó, az előbbiektől szerinti függvények egyidejű, egymásra vetített megjelenítése és összehasonlítása, 2. ábra (max. 36 próbatétel vizsgálható egyidejűleg).
- A diagramok tetszőleges részének kinagyítása.
- Hat, a kurzor segítségével tetszőlegesen kiválasztott ponthoz tartozó valamennyi paraméter (erő, idő, deformáció, energia stb.) meghatározása.



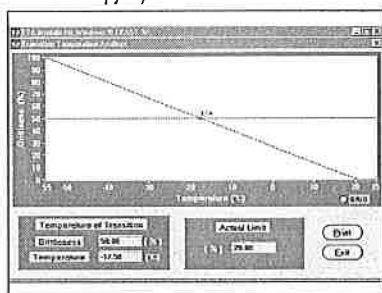
2. ábra

- Az egyes paraméterek statisztikai kiértékelése (minimális, maximális érték, átlag stb.) a görbe csúcspontján, a kurzorral kijelölt pontokban a teljes görbe mentén.
- Az elnyelt energia kiértékelése (rideg /szívós törés aránya).
- A numerikus adatok leolvasása a kurzor mentén (erő, idő, sebesség, deformáció, energia, a kiválasztott pont sorszáma).
- A görbe kiválasztott szakaszán a meredekség (a görbére illesztett polinom segítségével) a merevség és a folyási erő meghatározása.
- Az adatok exportálása EXCEL, ASCII vagy LIMS formátumban.
- A visszapattnás vizualizációja.
- A jegyzőkönyv nyomtatása.
- A teszt-beállítások elmentése és visszatöltése.
- A határértékek beállítása (megy /nem megy vizsgálat)
- Az következő értékek automatikus meghatározása:
  - a maximális erő,
  - idő a maximális erőnél,
  - deformáció a maximális erőnél,
  - energia a maximális erőnél,
  - sebesség a maximális erőnél,
  - a teljes alakváltozás,
  - a teljes energia,

és mérési sorozatonként a statisztikai átlagértékük összevetése a megadott határértékekkel.

### A D4WTTA alprogram – az átmeneti hőmérséklet analízise:

- A ridegedési index meghatározása hőmérsékletenként (max. 36 próbatétel alapján).



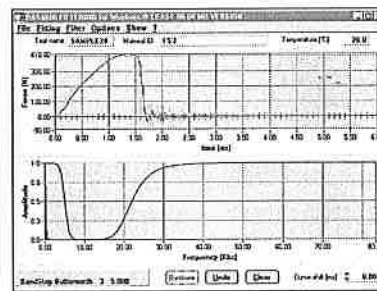
3. ábra

- Maximum 200 mérési pont betöltése.
- Az 50%-ban rideg-szívós töréshez tartozó hőmérséklet automatikus meghatározása (3. ábra).
- TTA görbe vizuális és numerikus megjelenítése, a kurzor által megjelölt pont numerikus megadása.

### A D4WFILT alprogram – a görbe szűrése:

Az alprogram az oszcillációk és egyéb zavaró effektusok analízisére és kiszűrésére szolgál.

A görbe frekvencia spektrumának kiértékelése és digitális szűrése Fourier-transzformáció segítségével. Négy szűrési mód algoritmus választható (Butterworth, Chebyshev, inverz Chebyshev, elliptikus) négy változatban (lowpass, highpass, bandpass, bandstop) a görbére



4. ábra

grafikus kijelzésére, a diagramok tengelyeinek logaritmusos és lineáris skálázására. A program a szűrés teljes történetét tárolja és visszajátszhatóvá teszi.

### A DAS4CLW alprogram – statikus kalibráció:

Lehetővé teszi a felhasználó számára az ütőfej statikus kalibrációs file-jának felállítását, mentését és visszatöltését; az alapbeállítások megadását és mentését (pl. erőmérő rendszer típusa: nyúlásmérő-bélyeges vagy piezoelektromos). Megjeleníti a kalibrációs görbét grafikusan és kijelzi az ütőfej kimeneti feszültségét.

### A DAS4DYN alprogram – dinamikus kalibráció:

Az alprogram a statikus kalibrációnál részletezett funkciók végrehajtásra alkalmas, de a dinamikus kalibrációs eljárással. A statikus kalibrálás nem elégséges, mert a mérési hiba a 10%-ot is elérheti.

Az ingás ütőmű számítógéppel összekapcsolt erőmérő rendszernek – a D4DYN szoftverrel támogatott – dinamikus kalibrálása azon alapul, hogy az inga ütest követő szöghelyzetéből leolvasott, a próbatétel törésére fordított energia egyenlő kell legyen az erőmérőn regisztrált vilamos jel-idő (erő-idő) diagramból integrálással kiszámítható energiával. Ebből – az inga csapágyazásából és légellenállásából adódó veszteséget is figyelembe véve – számítható a kalibrációs tényező, amelynek statisztikailag megbízható értékét egy szokásos módon végrehajtott vizsgálatosorozatból a mért és a számított energiakülönbségek abszolút értékei összegének a minimalizálásával határozzák meg.

A Ceast szakemberei által kidolgozott egyszerű és kielégítően pontos dinamikus kalibrációs módszerrel az erőmérés hibája 0,3–0,5%-ra csökkent. (Közbevetve megemlítenénk, hogy az inga emelt energiaveszteségének megengedett mértékét a vonatkozó ISO 179, ISO 180, ASTM D 256 szabványok előírják. Például az 1 J energiájú kalapácsra ez a veszteség legfeljebb 0,02 J lehet, a Ceast kalapácsra ez 0,012 J; az 50 J energiájú kalapácsra ezen értékek 0,25 J, ill. 0,20 J, köszönhetően a jó konstrukciónak és a precíz kivitelnek.)

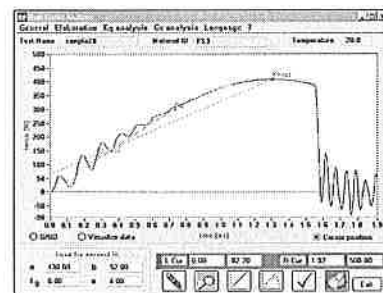
### A WLEFMHR alprogram – a lineárisan rugalmas törésmechanikai jellemzőkhöz:

Az előrepszett próbatétel nagy sebességű terhelése közben az erő és energia detektálása a törés kezdetekor, és olyan dinamikus törési jellemzők meghatározása mint a kritikus feszültségintenzitási tényező (törési szívósság)  $K_{1C}$  és a kritikus törési energia  $G_{1C}$ .

A program alkalmas továbbá:

- $K_Q$  paraméter meghatározása (feszültségintenzitási tényező), 5. ábra.
- $U$  és  $BW_F$  paraméterek meghatározása minden egyes görbéhez
- A végleges görbe feldolgozása, a  $G_c$  meghatározása
- Az analízis kinyomtatása

Az elmúlt évek kutatásai és műszerfejlesztései azt mutatják, hogy a műszerezett dinamikus vizsgálatokból lényegesen több információ nyerhető az adott anyagról illetve szerkezetéről, mint a hagyományos Charpy-vizsgálatból. Ezért a műszerezett ütővizsgálat egyre nagyobb térhódítása prognosztizálható, ahogy a vonatkozó szabványok közül néhányat már módosítottak a közelmúltban.



5. ábra

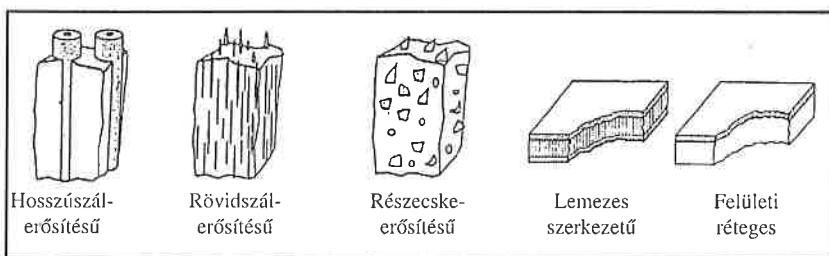


# A kerámiaszál mint a polimerek erősítőanyaga

Szabó Jenő Sándor\* – Dr. Czigány Tibor\*\*

## Bevezetés

A kompozitok, vagy más néven: a társított szerkezeti anyagok szerves és szervetlen anyagfajták kombinálásával célirányosan megtervezett és előállított összetett szerkezeti anyagok; változatos szerkezettel és ennek köszönhetően igen eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek. A kompozitok attól függően, hogy az erősítőanyag milyen formában (alakban) kerül az beágyazó anyagba (mátrixba) lehetnek részecskeerősítésű kompozitok, szálerősítésű kompozitok, rétegelt (szendvics-szerkezetű) kompozitok, és felületi réteggel bevont kompozitok (1. ábra).



1. ábra. A kompozitok felépítése

A beágyazó anyag minőségétől függően megkülönböztetünk fém-, kerámia-, és műanyag-mátrixú kompozitokat [1].

A szálerősített műanyagok (polimer kompozitok) előállítása, feldolgozása már az 1900-as évek elején megkezdődött, és 1942-ben már előállították az első üvegszállal erősített, telítetlen poliészter mátrixú laminátot a légi, a vízi és a szárazföldi közlekedés számára. A teherviselő polimer szerkezeti elemek erősítőanyagaitól elvárt növekvő igények arra ösztönzik a kutatókat, hogy mindig jobb és újabb kompozit struktúrákat próbáljanak ki.

A cikk célja kerámiaszál-erősítésű polimer kompozit szerkezeti anyag létrehozásának és vizsgálatának bemutatása. A polimer mátrixhoz társított kerámia erősítőanyag ipari alkalmazása nemzetközileg is újszerű, és mivel beszerzési ára nagyon magas, ezért nincsenek publikált műszaki és technológiai adataink, illetve leírásaink. A kerámiaszálak erősítőanyagként való alkalmazását a NASA is vizsgálja, azonban e tárgyban kevés közleményük nyilvános.

## Kerámiák

A kerámia elnevezés a görög kίετett szóból ered. Egykor kizárólag az agyagból ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ), kaolinból (porcelánföld) kialakított, majd kίegetett cserépporcelán tárgyakat értették kerámia alatt. Az íegetett anyag megjelenése az i.e. 12-11. évezredre tehető. A kerámia ma már gyűjtőfogalom. Ez alá tartozik minden, az ember által készített szervetlen anyag, amely nemfémesen viselkedik. A fémektől tehát az különbözteti meg, hogy hiányzik a villamos vezetést és az alakíthatóságot lehetővé tevő szabad elektronfelhő. Ezért rendszerint nagy a villamos ellenállásuk és ridegek is. A fémekkel ellentétben a kerámiák villamos ellenállása a hőmérséklet növelésével csökken. A szerves anyagoktól és a polimerektől abban különböznek, hogy nem gyenge Van der

Waals erőkkel összetartott molekulákból állnak, hanem a szerkezetüket az atomok szabályos térbeli elrendeződése jellemzi. Ez kristályos anyagszerkezetre utal, szemben az üvegekkel és a polimerekkel.

A kerámiákat a szerkezetük és a kötéstípusuk (ionos vagy kovalens) által meghatározott különlegesen jó tulajdonságok jellemzik, mint például kis sűrűség (az esetek többségében), nagy olvadáspont, nagy rugalmassági határ, nagy keménység, nagy kopásállóság, nagy nyomószilárdság, nagyfokú kémiai stabilitás, nagy melegsílárdság, nagy korrózióállóság, nagy fajlagos villamos ellenállás:  $10^7$ - $10^{16} \Omega m$ , jó polarizálhatóság, nagy fajlagos dielektromos állandó ( $\epsilon = 50$ - $80 F/m$ ).

Ugyanakkor hátránya a ridegség, törékenység, a mikrorepedések jelenléte, a kis hősokkállóság, a nehéz gyárthatóság és a magas ár.

A kerámiák nyersanyaga az esetek többségében oxid alapú ásványok formájában található meg a természetben. Így pl. a kvarc ( $SiO_2$ ) a kaolinban, a földpátban ( $Al_2O_3 \cdot K_2O \cdot 6SiO_2$ ) vagy a homokkőben található meg apró szemcsék formájában, az  $Al_2O_3$  pedig a bauxitból nyerhető ki.

A megtisztított ásványt rendszerint aprítani és őrleni is szükséges a további feldolgozáshoz.

A jó műszaki kerámiák nem állíthatók elő közvetlenül az ásványokból, hanem ezeknek csak a különleges eljárásokkal feltárt, megfelelő tisztaságú összetevőiből. Ez a porgyártás technológiája, amelyre sokféle módszer létezik. A porok alakra hozásának lehetősége (alakadása) azok fizikai tulajdonságaitól, elsősorban olvadáspontjától függ. Csak az  $1700^\circ C$  alatti olvadáspontú anyagok dolgozhatók fel olvasztásos technológiával.

## Kerámiaszálak

Az alumínium-szilikát vagy alumíniumoxid szálaknak is nevezett kerámiaszálak azok az újszerű műszaki szálak, amelyeket elsősorban az azbeszt helyettesítésére fejlesztettek ki, és amelyeknek kitűnő a hő- és lángállósága. Fő komponenseik az  $Al_2O_3$  és a  $SiO_2$ , ezen kívül különböző más fém-oxidokat és kevés szerves anyagot is tartalmaznak. A kerámiaszálak nem rendelkeznek textiljellemzőkkel, ezért fonallá való feldolgozásukhoz vivőszálakat kell alkalmazni és főként műszaki célokra (szigetelés, tömítés, erősített rendszerek) alkalmasak [1].

A kerámiaszálakat többnyire nagy tisztaságú timföld-szilikát keverékből állítják elő. Az alumínium-oxid és a szilícium-oxid keveréket adalékokkal – például szódával, bóraxszal vagy cirkóniummal – együtt elektromos olvasztókemencében kb.  $2000^\circ C$ -on megolvasztják. Az olvasztást öntés közben gőzzel átfúvatják, aminek következtében laza, bolyhos, fehér szálak keletkeznek. Ez a nyersanyag biztosítja a tűzálló termékek hőállóságát, a szálak megfelelő súlyát és rugalmasságát. A nyers szálak előállítása céljából az előkeveréket mossák, összegyűjtik és nemezelik. Ezzel az eljárással távolítják el az el nem szálasodott részecskéket és a zárványok legnagyobb részét (az előanyagok kb. az 50%-át olyan részecskéket alkotják, amelyek nem szálasodnak el). Akkor lesz jó szigetelőképeségű az anyag, ha a lehető legteljesebb mértékben eltávolítják a nem szálak részecskéket. A nyers szál hőállóságát lényegében az alapkeverék timföldtartalma határozza meg. A timföld a tűzálló alkotórész, amely az amorf-kristályos szerkezetátalakulás közben csökkenti a zsugorodást. A legtöbb alkalmazásnál ez a zsugorodás-csökkenés biztosítja  $1000^\circ C$  feletti hőmérsékleten a tartós használhatóságot. Az így előállított, pehelyként kicsapódó szálak anyag-

\* szigorló gépészmérnök hallgató,

\*\* egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Polimertechnika és Textiltechnológia Tanszék; 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. e-mail: czigany@eik.bme.hu

nak nincs textilkaraktere, ezért vívőszálakat (pl. pamutot vagy viszkózt) és segédanyagokat kell hozzákeverni, hogy fonható legyen. Az előkészítés során a nyers kerámiaszálakat keverő-berendezésben más szálal anyagokkal, vagy töltőanyagokkal fellazítják, forgatják, és jól elkeverik, majd adagolóaknába teszik. Többnyire 15-20% szerves vívőszálal adnak hozzá, amelynek fő feladata, hogy lehetővé tegye a textillé való feldolgozást. Az adagolóaknából a kártológépre kerül az anyag. A kártolás után fátolszalag-mángorlóval előfonalat készítenek, amely a fonógépen sodratot és ez által szilárdságot kap. Ilyenkor más anyagok, pl. üvegszál, rozsdamentes acéldrót (hőterhelhetőség kb. 800 °C-ig) vagy krómnikkel acéldrót (hőterhelhetőség kb. 1050 °C) hozzáadásával változtatható a fonál felépítése. A megfelelően feldolgozott fonalakat vagy közvetlenül felhasználják vagy további feldolgozás során zsinorgeket, cérnákat, szövetekeket és tömlőkeket vagy tömítőfonatokat készítenek belőlük [3].

Egy másik publikált eljárás mód szerint 1987 óta gyártanak kerámiaszálakat. Ezek nyersanyaga szilícium-dioxid és agyag 1:1 arányú keveréke, melyet elektromos kemencében 1900 °C-on megolvastanak. A szálakat az üvegszálak húzásához hasonló, olvadékfúvási technikával készítik. Az olvadék a speciális szálképzőfejet apró cseppek formájában hagyja el. Ezek hamar felgyorsulnak és túlhevített gőz erős áramával kerülnek érintkezésbe. A szálképzési folyamat elősegítésére megfelelő viszkozitású és nagy hőstabilitású, speciális szereket adnak a gőzáramba. A szuperszonikus áramlásban a cseppek egy része különböző vastagságú szálakká nyúlik, míg az olvadék egy része nem szálal vagy részben szálal formává szilárdul. A szálal és nem szálal alkotórészek egyensúlya különböző tényezőktől, így a SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> aránytól, az olvadék hőmérsékletétől és az olvadék, valamint a segédanyagok arányától függ. A hirtelen lehűtés sebessége határozza meg a szálalmérőt és a szálal termék struktúráját. A szálal ez után egy speciális kamra alján elhelyezett, hálós szerkezetű szállítószalagra rakódnak, ahol fátolformát alkotnak. A szállítószalag és a szálképzőfejből kijövő olvadék relatív sebessége határozza meg a fátol vastagságát. A szállítószalag alatti csökkentett nyomás elősegíti a szálal anyag lerakódását és a szállítóközeg eltávolítását. Ezeket a kerámiaszálakat dolgozzák fel fonalakká. A fonásnál viszkóz- és pamutszálakat használnak vívőszálként. Megvizsgálták poliészter, poliamid, gyapjú és üveg vívőszálal alkalmazhatóságát is. A Drezdai Műszaki Egyetemen új fonalgártási eljárásokat dolgoztak ki, remélve, hogy ezekből védőruhák is készíthetők majd [4].

Mivel a kerámiaszálak különböző eljárásokkal készülnek, és nagyon eltérő lehet az összetételük, ezért fizikai jellemzőik, különösen szilárdságuk és rugalmassági modulusuk is tág határok között változnak. Az 1. táblázatot a kerámiaszálak néhány jellemzőjét mutatja be.

1. táblázat. A kerámiaszálak jellemzői

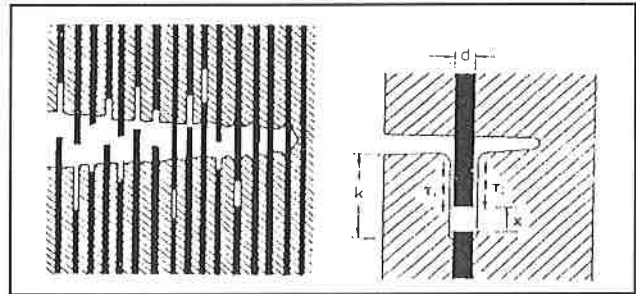
Sűrűség, [g/cm <sup>3</sup> ]	2,5–3,3
Húzószilárdság, [GPa]	0,6–2,4
Rugalmassági modulus, [GPa]	70–385
Olvadáspont, [°C]	1630–2000
Hőállóság, [°C]	900–1450

## Kerámia-kompozitok

A kerámia anyagok alkalmazását viszonylagos ridegségük hátráltatja, amely abból ered, hogy ütősszerű mechanikai igénybevételkor vagy hirtelen hőmérsékletváltozáskor a bennük ébredő feszültségcsúcsokat – a fémekkel ellentétben – nem tudják leépíteni. Amíg az acél törését jelentős képlékeny alakváltozás előzi meg, amely nemcsak előre jelzi a törést, de jelentős energia elnyelő tulajdonság is, és képes megállítani a repedés terjedését is, addig a kerámiánál a repedés csúcsa előtt kialakuló feszültségekre nagy hatással vannak az inhomogenitások, a pórusok, a mikrorepedések és olyan energiaigényes jelenségeket okoz-

nak, mint repedés-elágazás, mikrorepedés képződés és repedésnövekedés. A repedéssel szembeni ellenállás növelése egyben a szilárdság növelését is jelenti. A katasztrofális törés csak úgy akadályozható meg, ha a jelenlévő inhomogenitások a már terjedőben lévő repedéseket feltartóztatják. Ez történik a szálalakkal, a diszperz fázissal, vagy az ún. rövid szálalakkal, pl. tükristályokkal erősített kerámiákban. Ezek a kompozitok képezik jelenleg a fejlesztés és felhasználás fő irányát.

A szálerősítéses kompozit törési folyamatát mutatja be a 2. ábra. Az ábrán a törési folyamat jól követhető. Látható, hogy a repedés csak úgy terjedhet az alapanyagban, ha az erősítőszál elszakad és/vagy kihúzóódik, ami jelentős energiaelnyeléssel jár együtt.



2. ábra. Szálerősítésű kompozit törési folyamata és a szál kihúzóódása

A kerámia-kompozitok közül a mátrix és az erősítőanyag párosítás tekintetében az alább felsoroltaknak van ma gyakorlati jelentősége (a megnevezésben a mátrix anyaga szerepel első helyen):

### Kerámia – fém kompozitok

Ide sorolhatók a fémmel átítatott kerámia vázszerkezetek, mint pl. az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al, SiC-Al stb. Ezekben a rendszerekben az átmeneti réteg eltéríti a repedéseket, és ezért azok nem terjednek a határfelületről a teherhordó kerámia belsejébe. Leggyakrabban a kis sűrűségű fémeket (Al, Ti) alkalmazzzák. Ebbe a csoportba sorolhatjuk a vasbetont is, sőt az üveg-fém szálalakkal (hosszú vagy rövid szálalakkal) erősített betont is.

Fém-erősítéssel javítható a kerámia hővezető képessége és elektromos vezetőképessége. Hőtágulásuk ugyanakkor kicsi lehet. Az ilyen kompozit mikroáramkörök hűtőfelületeként alkalmazható.

### Fém – kerámia kompozitok

Fő alkalmazási területük a magas hőmérsékleten is nagy szilárdságot igénylő alkatrészek gyártása, illetve a könnyűfémek előretörésével azok szilárdságának növelése. De ilyen anyagnak tekinthetjük például a keményfémeket. A Co mátrixba ágyazott WC szemcsés kompozit jó hővezető, kicsi a hőtágulása, és az új előállítási technológiával (ultraszubmikronos szemcsenagyság, izosztatikus melegsajtolás, gátolt szemcsenövekedés a szinterelésnél) nagy hajlításhőszilárdság érhető el. Ma már általánosnak tekinthető az aranyszínű TiN bevonatok mellett kifejlesztett, még keményebb komplex-nitrid bevonatok alkalmazása a szerszámacélok felületén, melyek kétszeresére növelik a forgácsoló-szerszám éltartamát. Félüzemi kísérletek folynak kőbős bornitrid és gyémánt bevonatokkal is.

### Polimer mátrixú szálerősítésű kompozitok

A polimer mátrixú kompozitok a legdinamikusabban fejlődő kompozitcsalád; erősítőanyagként fém-, üveg-, karbon-, len-, bazalt-, bőr-, trópusinövény-szál stb. használatos. Felhasználási területük az építőipartól a sporteszközökön és a haditechnikai alkalmazáson, valamint a háztartási termékeken át a repülőgépek építéséig terjed. Ezeknek a megfelelő szilárdságú, jó rezgésállapító, de kis ütésállóságú kompozitoknak a tulajdonságai – az egyirányú erősítés miatt – nagyon anizotropok.

Ebbe a csoportba sorolhatjuk azt a – már a kereskedelmi forgalomban (Hamat hibrid anyag néven) is kapható – réteges felépítésű, szendvicsszerkezetű polimer-alumínium (esetleg titán) kompozitot, melyet például repülőgépek építéséhez használnak fel.

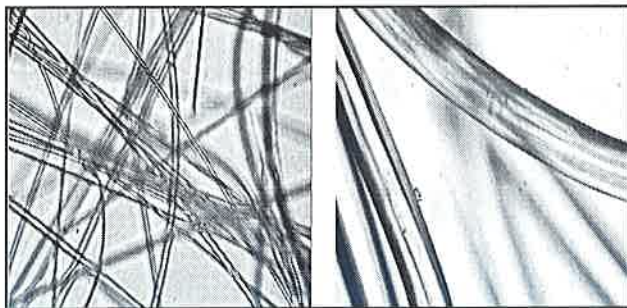
## A kerámiaszál-erősítésű polimer kompozit

### A kísérletekhez felhasznált anyagok

A kompozit matrixául a kereskedelmi forgalomban is kapható PP 100 Tipfil márkajelű polipropilént használtuk, amelyhez – az előzetes szakirodalmak tanulmányozása alapján [5] – 30 tömegszázalék Kerlane 50 A típusú kerámiaszálát társítottunk. Ez az arány megfelelő támpontot szolgáltat a vizsgálatok későbbi kiterjesztéséhez.

A kompozit előállítása több nehézséggel is járt, mivel a bála formájában rendelkezésre álló szálak hosszúsága és átmérője erősen inhomogén volt. A szálak geometriai méretét a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimer és Textiltechnológia Tanszékén határozták meg. A szálátmérőt fajtánként (Kerlane 50 A és PP 100 Tipfil) 50 darab (JIS R 7601 szabvány) mintán mértük meg; a befogási hossz 10 mm volt (MSZ 10778/6).

A szálak átmérőjét a Projectina 4014/BK-2 típusú vetítőkroszkóphoz illesztett videokamerás képfeldolgozó rendszerrel, áteső fényben, 500-szoros nagyításban mértük. A 3. ábrán látható fényképfelvételeken a kontúrszélességet a szűrkeségifok-eloszlás inflexiós pontjai közt mért távolságként értelmeztük. A leolvásás pontossága: 0,1 mm. A mérések megkezdése előtt a rendszert optikai ráccsal hitelesítettük. Egy-egy szálon három keresztmetszetben mértük az átmérőt [6].



3a. ábra. A kerámiaszálakról készült felvétel

3b. ábra. A PP-szálakról készült felvétel

A papírablakra ragasztott, és a már ismert átmérőjű szálakat Zwick 1464 típusú szakítógéppel,  $v = 2$  mm/perc sebességgel szakítottuk; a nyúlást finomnyúlásmérővel mértük. Kivételt képeztek a polipropilén minták, mivel a szakadás előtt megindult a nyakképződés hatására a szakadás csak több perc elteltével következett be. A műszálakra vonatkozó szabványok a szakítási sebesség beállításához a vizsgálat időtartamát írják elő, mely 20-30 másodperc kell, hogy legyen, ezért a sebességet megnöveltük  $v = 50$  mm/perc-re. A mért eredményeket részleteSEN a 2. táblázat tartalmazza.

### A kompozit előállítása

Az előgyártmány orientálását nagyüzemi Befama 3K típusú, többhengeres kártológépen végzett kártolással és tűnemezeléssel értük el. Ehhez felhasználtuk a kézi kártológépen szerzett tapasztalatainkat [7], és már az első alkalommal is a mátrix anyagául szolgáló PP-szálakat, mint vivőszálakat alkalmazva, keverve adagoltuk a gépbe, amely elősegítette a hengerek közötti távolság áthidalását és a tökéletesebb keveredést is. Itt is megfigyelhető volt, hogy a nagyon rövid kerámiaszálak kihullottak a gép hulladékgyűjtőjébe, de a hosszabb szálak jól láthatóan orientálódtak, és jól keveredtek a vivőszálakkal. Itt az előzőekből okulva már 50-50%-os arányban adagoltuk a szálakat a kártológépbe, amit a kísérleti mérések később igazoltak, ugyanis így sikerült megközelíteni a 30%-os erősítőanyag-tartalmat.

Kártolás után a vastag paplanszerű anyagot tűnemeztük, melynek során tömörödött a paplan, ami némi száltöredezést okozott ugyan, de

2. táblázat.

A felhasznált szálak mechanikai és geometriai tulajdonságai

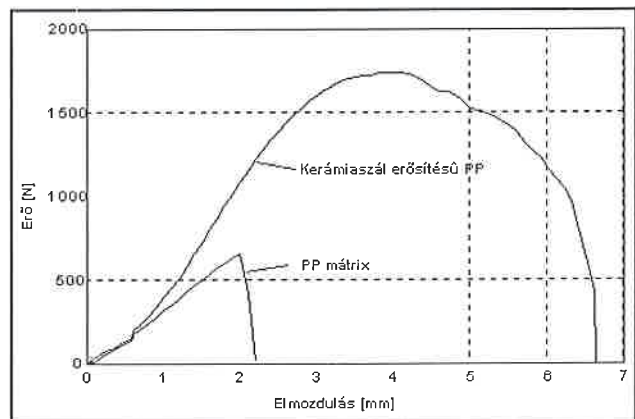
Kerlane 50 A	$d_{\text{all}}$ [ $\mu\text{m}$ ]	A [ $\mu\text{m}^2$ ]	$F_s$ [N]	$\Delta l_s$ [mm]	0,4F [N]	$\Delta l_{0,2}$ [mm]	$\Delta l_{0,6}$ [mm]	$\sigma_s$ [MPa]	$\epsilon_s$ [%]	E [MPa]
Állag	5,91	28,37	0,023	0,15	0,009	0,03	0,09	828	1,50	59 964
Szórás	1,07	10,81	0,011	0,06	0,004	0,01	0,04	306	0,62	13 032
Rel.szórás[%]	18,15	38,09	46,020	41,46	46,020	45,12	40,60	37	41,46	22
Min	3,77	11,14	0,006	0,04	0,002	0,01	0,02	210	0,36	25 899
Max	9,00	63,62	0,055	0,36	0,022	0,09	0,21	1663	3,56	83 948
PP 100 Tipfil	$d_{\text{inf all}}$ [ $\mu\text{m}$ ]	A [ $\mu\text{m}^2$ ]	$F_s$ [N]	$\Delta l_s$ [mm]	0,4F [N]	$\Delta l_{0,2}$ [mm]	$\Delta l_{0,6}$ [mm]	$\sigma_s$ [MPa]	$\epsilon_s$ [%]	E [MPa]
Állag	34,28	936,57	0,305	11,02	0,121	0,37	1,18	331	44,07	4 197
Szórás	4,15	230,58	0,064	4,04	0,023	0,04	0,10	56	16,17	851
Rel.szórás[%]	12,11	24,62	20,870	36,69	19,170	11,76	8,75	17	36,69	20
Min	23,73	442,39	0,150	2,73	0,088	0,28	1,00	235	10,90	2 890
Max	46,40	1690,93	0,480	17,70	0,196	0,45	1,45	579	70,80	7 029

az ezt követő préseléskor elkerülhetővé vált, hogy túl sok légbuborék maradjon benn a 2 mm vastag lemezzé préselt kompozitban. A préselést a P 200 T COLLIN típusú présgépen végeztük  $T = 190$  °C-on és 20 bar nyomáson.

Összehasonlításképpen a PP-szálakból is készítettünk – az előbbiekkal azonos technológiával – erősítés nélküli, 2 mm vastag PP lemezeket (PP mátrix). Mind ezekből, mind a kompozit lemezekből munkáltuk ki a mechanikai vizsgálatához szükséges próbatesteket.

### Mérési eredmények

A törésmechanikai vizsgálatokhoz SEN-T (Single Edge Notched Tensile) próbatesteket alkalmaztunk, amelyeket a mérés előtt az erősítőszálak irányára merőlegesen pengével bemetszettünk. Mindkét anyagcsoportból 5-5 darab próbatestet állítottunk elő (a legnagyobb és legkisebb mérési értékeket elhanyagoltuk). A szakítóvizsgálatokat Zwick-Z020 típusú univerzális szakítógéppel végeztük 2 mm/perc szakítási sebességgel, szobahőmérsékleten. A mátrix és a kompozit jellemző szakítódiagramja a 4. ábrán látható.



4. ábra. A mátrix és a kompozit erő-elmozdulás diagramja

A feszültségintenzitási tényezőt az (1) egyenlet alapján határoztuk meg. A mérési eredményeket a 3. táblázat tartalmazza.

$$K_c = \frac{F_{\text{max}}}{B \cdot W} \cdot a^{1/2} \cdot f(a/W) \quad (1)$$

ahol:  $F_{\text{max}}$  az  $F-\Delta L$  görbéhez tartozó maximális erő értéke  
 $B$  a próbatest vastagsága  
 $W$  a próbatest szélessége  
 $a$  a repedéshossz fűrészrel és pengével hornyolt együttese  
 $f(a/W)$  geometriai korrekciós tényező, amely a (2) egyenlet alapján számítható

$$f(a/W) = 1,99 - 0,41(a/W) + 18,7(a/W)^2 - 38,48(a/W)^3 + 53,85(a/W)^4 \quad (2)$$

3. táblázat. A PP mátrix és a kerámiaszál-erősítésű kompozit feszültségintenzitási tényező értékei

	Próbatestek	$K_c [MPa\sqrt{m}]$	$\overline{K_c} [MPa\sqrt{m}]$
PP-mátrix	1	4,49	4,28 ± 0,20
	2	4,09	
	3	4,25	
Kompozit	1	7,71	7,37 ± 0,33
	2	7,36	
	3	7,05	

A diagramokból és táblázat eredményeiből megállapítható, hogy a kerámiaszálak jól beépültek a mátrixba, aminek hatására nagyfokú rugalmasságnövekedés tapasztalható a kompozitban a mátrixhoz képest. Ennek lehetséges magyarázata, hogy a kerámiaszálak végei feszültségkoncentrációs pontokként működnek és a PP-ben mikroüregképződést okoznak. Ezek eloszlása olyan egyenletes, hogy további mikrorepedések okozói. Ennek makroszkopikus megnyilvánulása pedig az észlelt szívósság. Ennek bizonyítása további fraktográfiai elemzéssel (pásztázó elektronmikroszkóp) elvégezhető.

**Összefoglalás**

Kerámiaszál-erősítésű polipropilén kompozitot fejlesztettünk ki a kártozásos és tűnemezelési technológia kombinálásával. SEN-T próbatesteken vizsgáltuk a kompozit törésmechanikai jellemzőit, és megállapí-

tottuk, hogy a mátrixhoz képest a feszültségintenzitási tényező értéke közel kétszeresére nőtt, és az előállított kompozit a mátrixhoz képest képlékenyebben viselkedik. További megoldásra váró feladat a szál-mátrix határfelületi kapcsolat erősségének javítása a szálak megfelelő kémiai kezelésével.

**Köszönetnyilvánítás**

Az eredmények megjelenését az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA T029034) és az Oktatási Minisztérium (TÉT MAL/5) pályázata támogatta. A szerzők ezúton köszönik Balogh Krisztinának a szálak mérésénél nyújtott segítségét.

**Irodalomjegyzék**

- [1] Artinger I., Csikós J., Krállics Gy., Németh Á., Palotás B.: Fémek és kerámiai technológiája Műegyetemi Kiadó, Budapest, (1999)
- [2] Blumberg H.: Chemiefasern/Textilindustrie 35/86 11, 808-816 (1984)
- [3] Chemiefasern/Textilindustrie 38/90 3. T13-15 (1988)
- [4] Maslovski E.: America's Textiles International (ATI) 16/9, 170-180 (1987)
- [5] Füzes L.: Műanyagok - Anyag- és technológia kiválasztás, Budapest, Bagolyvár Könyvkiadó, 1994.
- [6] Balogh K.: Kordcérna szakítószilárdsági jellemzőinek hasznosulása a többszintű kordcérna szerkezetekben, Diplomaterv, BME, (1996)
- [7] Tóth J., Czigány T.: Ceramic fiber reinforced polypropylene composite as engineering material (Springer, Vol.1, 330-334), 2000.05.25-26. Budapest, Gépészet'2000

**KÖNYVISMERTETÉS**

Terplán Zénó:

**Iffjan – Éretten – Öregen**

– 80 kérdés-válasz közel nyolc évtizedről –  
Beszélgetőtárs: Tóth László

Az interjúkötetet Terplán Zénó akadémikus 80. születésnapjára jelentette meg a Technika Alapítvány. A köztisztelőnek örvendő tanszék-alapító gépészmérnök, – a gépelemek, különösen a fogaskerekek, hajtóművek, fogaskerék-bolygóművek nemzetközileg is elismert szaktekin-télye –, a tőle megszokott közvetlenséggel és őszintén válaszolt beszélgetőtársának – az egykori tanítvány: Tóth László professzor – kérdéseire.

A könyv *Prológus*ában a kérdező vall a megkérdezettől, kapcsolatuk alakulásáról. A kérdések – a meghiitt beszélgetés hangulatát is felidézve – nem szigorú időrendben váltják egymást, hanem követik a válaszok kínálta természetes kíváncsiság látszólag csapongó útját, hogy a rájuk adott válaszokból a könyv végére érve mégis a lehető legteljesebb képet kaphassuk magáról a céljai eléréséért, a családjá boldogulásáért, a váratlan nehézségekkel végül is sikeresen megküzdő emberről, a kölcsönös tisztelettel, szeretettel és segítőkészséggel megteremtett biztos családi háttérrel, valamint a munkatársi, baráti közösségekről, melyek a ki-egyensúlyozott és tevékeny emberi élet alapjai. A beszélgetéskötetet az *Epilógus* zárja, melyben a megkérdezett vall a kérdezőről, és a „művészi módon” megfogalmazott kérdéseiről.

A kérdésekre adott válaszok keltette életképek formálódását számos fotó, grafika (többségüket az egykori tanítvány: Péter József rajzolta), kézírásos és hivatalos dokumentum fakszimiléje segíti. A részletek, valamint a szakmai életút iránt érdeklődő a válaszáért kikeresheti a könyv függelékében felsorolt forrásmunkák valamelyikének bibliográfiai adatát.

A sikeres életút hátterébe, „titkaiba” bepillantást engedő – jól szerkesztett és szép kivitellű – interjúkötet hangulatos és tanulságos olvasmány, amelyet jó szívvel ajánlhatok mindenkinek, különösen a pályakezdő, a családalapítás előtt álló fiataloknak.

Lehofer Kornél

Prof. M. Tisza:

**Physical Metallurgy for Engineers**

A Miskolci Egyetem Mechanikai Technológia Tanszék vezetőjének, dr. Tisza Miklós professzornak 2000-ben írt magyar nyelvű tankönyvének – amelyben a gépészmérnököknek szükséges metallográfiai ismeretanyagot tárgyalja – angol nyelvű változata jelent meg ez évben az ASM International Materials Park Ohio és a Freund Publishing House Ltd. London – Tel Aviv kiadó gondozásában. Ez egyben a tankönyv szakmai értékét is minősíti.

Szerző a könyv első hét fejezetében összefoglalja a kristálytani alapismereteket, a fémek kristályos szerkezetét, a kristályosodási folyamat törvényszerűségeit, különös tekintettel a kétalkotós ötvözetek jellemző egyensúlyi diagramjaira (szilárd oldat, eutektikum, vegyületképződés, allotrop átalakulás), a diffúzió törvényszerűségeit, az egyfázisú fémes anyagok mechanikai jellemzőit, a képlékeny alakváltozás és az újrakristályosodás mechanizmusait, valamint mindezek anyagvizsgálási módszereit. További négy fejezet a kétalkotós vasötvözetekkel, a Fe-Fe<sub>3</sub>C rendszerrel, az acélok izotermikus és folyamatos átalakulásának mechanizmusával, az ötvözetlen és az ötvözött acélokkal foglalkozik. Külön érdeme a könyvnek a korszerű acélfejlesztés irányzatainak és ezek anyagtudományi hátterének a bemutatása. Végül egy-egy fejezet az öntöttvasakat, illetve a nemvas fémeket és ötvözeteket tárgyalja. A könyvet 32 irodalmi hivatkozás és egy igen jól használható tárgy-mutató egészíti ki. A könyv nagyban segítheti az angol nyelvű szak-képzést hazánkban.

Dr. Tóth László

**Helyreigazítás.** Lapunk ez évi 2. számában a *Beszámoló a 15. Roncsolásmentes Vizsgálatok Világkonferenciájáról* című cikk társszerzőjét, **Takács Norbertet**, a Debreceni Egyetem Szilárdtest Fizika Tanszék munkatársát a cikk koordinátora véletlen elírással Nándorra keresztelte. Az érintettől és olvasóinktól szíves elnézést kér a szerkesztőbizottság.

## Új, érvényes nemzeti szabványok

A Magyar Szabványügyi Testület által, a Szabványügyi Közlöny 2001/4. – 2001/8. számaiban közzétett és szakterületünket érintő érvényes szabványok a következők:

### 01 Általános előírások. Terminológia

- MSZ EN ISO 12706:2001; Roncsolásmentes vizsgálat. Fogalom meghatározások. A folyadékbehatolásos vizsgálat fogalmai.
- MSZ EN ISO 3582:2001; Rugalmas polimer habanyagok. A kis lángnak kitett kis próbatetek vízszintes égési jellemzőinek laboratóriumi értékelése.

### 17 Metrológia és mérés technika

- MSZ EN 13523-0–10:2001; Tekercselt bevont fémek. Vizsgálati módszerek: 0. rész: Általános bevezetés. 1. rész: A bevonat vastagsága. 2. rész: Fényesség. 3. rész: Színeltérés. Műszeres összehasonlítás. 4. rész: Ceruzakeményesség. 5. rész: Gyors alakváltozással szembeni ellenállás (ütésvizsgálat). 7. rész: Repedéssel szembeni ellenállás hajlításkor (T-hajlítás vizsgálat). 10. rész: Fluoreszcens UV-fénnyel és vízkondenzációval szembeni ellenállás.
- MSZ ENV ISO 14253-2:2001; Termékek geometriai követelményei (GSP). Munkadarabok és mérőeszközök méréses vizsgálata. Útmutató a GSP-hez tartozó mérések mérési bizonytalanságának becsléséhez a mérőeszköz-kalibrálás és a termék megfelelés igazolásához.

### 19 Vizsgálatok

- MSZ EN 473:2001; Roncsolásmentes vizsgálat. Roncsolásmentes vizsgálatot végző személyzet minősítése és tanúsítása. Általános alapelvek.
- MSZ EN 583-5:2001; Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vizsgálat. 5. rész: A folytonossági hiányok jellemzése és méretének meghatározása.
- MSZ CR 13935:2001; Roncsolásmentes vizsgálat. A roncsolásmentes vizsgálat általános adatformátumának modellje.

### 25 Gyártástechnika

- MSZ EN 12373-11–15:2001; Alumínium és ötvözetek. Anódos oxidálás. Az anódos oxidációval készült bevonat tükröző visszaverésének és fényességének mérése 20°-os, 45°-os, 60°-os és 85°-os szögben (11. rész), képtisztaságának szemrevételezéses meghatározása (léptékmódszer, 14. rész), alakváltozás miatti repedéssel szembeni ellenállásának becslése (15. rész). Az alumíniumfelület visszaverési jellemzőinek mérése integrálgömbös berendezéssel (12. rész), goniofotométerrel (13. rész).

### 77 Kohászat

- MSZ EN 10291:2001; Fémek. Egytengelyű húzó kúszásvizsgálat. Vizsgálati módszer.
- MSZ EN ISO 14556:2001; Acél. Charpy-féle ingás ütővizsgálat. Műszeres vizsgálati módszer.

### 91 Építőanyagok és építés

- MSZ EN 12390-1–8:2001; A megszilárdult beton vizsgálata. 1. rész: A próbatetek és sablonok alak-, méret- és egyéb követelményei. 2. rész: A szilárdságvizsgálathoz szükséges próbatetek készítése és értékelése. 5. rész: A próbatetek hajlítószilárdsága. 6. rész: A próbatetek hasító-húzó szilárdsága. 7. rész: A próbatetek sűrűsége. 8. rész: A víz nyomás alatti behatolásának mélysége.

## Jóváhagyó közleménnyel bevezetésre ajánlott európai szabványok:

- EN 583-2: Roncsolásmentes vizsgálat. Ultrahangos vizsgálat. 2. rész: Az érzékenység és a geometria beállítása.
- EN 12084: Roncsolásmentes vizsgálat. Örvényáramos vizsgálat. Általános irány- és alapelvek.
- EN 12668-2: Roncsolásmentes vizsgálat. Az ultrahangos vizsgálat berendezés ellenőrzése és jellemzése. 2. rész: Vizsgálófejek.
- EN 13018: Roncsolásmentes vizsgálat. Szemrevételezéses vizsgálat. Általános alapelvek.
- EN 13184: Roncsolásmentes vizsgálat. Szívárgás vizsgálat. Nyomásváltó eljárás.
- EN 13185: Roncsolásmentes vizsgálat. Szívárgás vizsgálat. Jelzőgázos eljárás.
- EN 13477-1 és -2:2001; Roncsolásmentes vizsgálat. Akusztikus emisszió. A berendezés jellemzése. 1. rész: A berendezés leírása. 2. rész: A működési jellemzők igazolása.

## Nemzeti szabványok visszavonása

- MSZ ISO 537:1992; Műanyagok dinamikus mechanikai tulajdonságainak meghatározása torziós ingával.
- MSZ 10142:1985; Műanyagok törékenységi hőmérsékletének meghatározása hajlítással.
- MSZ 10189:1990; Erősített műanyagok látszólagos rétegek közötti nyírószilárdságának meghatározása.
- MSZ 10192-7:1988; Kemény műanyagok vizsgálata. Nyomóvizsgálat.
- Az 1990–93. között elfogadott, a beton és a frissbeton vizsgálatára vonatkozó számos MSZ ISO szabványt, továbbá az 1980-as években érvénybe lépett, az aszfaltok, illetve a textil padlóburkolatok vizsgálati módszereit tárgyaló számos MSZ szabványt érvénytelenítettek.
- **Számos vizsgálati szabvány visszavonását tervezik**, amelyek a fémek mechanikai tulajdonságainak, metalográfiái makro- és mikroszkópikus jellemzőinek és kristályközi korróziós hajlamának meghatározására, valamint a fémek és az acélok hegeszthetőségére és a hegesztési varratok roncsolásmentes vizsgálatára vonatkoznak. A részletes jegyzék a Szabványügyi Közlöny 2001. 7. számában olvasható. *Felvilágosítást ad: Szabó József, telefon: (1) 456-6846.*

## Új ISO-szabványok,

amelyek 2000. december 5-e és 2001. május 14-e között jelentek meg. (Az ISO Bulletin 2001. évi számai alapján készül tájékoztató címfordítások.)

- ISO 179-1:2000; Műanyagok. A Charpy-féle ütési jellemző meghatározása. 1. rész: Nem műszeres vizsgálat
- ISO 180:2000; Műanyagok. Az Izod-féle ütőszilárdság meghatározása
- Fémes anyagok hegesztéseinek roncsolásos vizsgálata. Keresztirányú szakítóvizsgálat ISO 4136:2001; Keménységvizsgálat ISO 9015-1:2001; Ütővizsgálat ISO 9016:2001; Törésvizsgálat ISO 9017:2001.
- ISO 527-3:1995/Cor2:2001; Műanyagok. A húzási jellemzők meghatározása. 3. rész: A fóliák és a lemezek vizsgálati feltételei.
- ISO 3497:2000; Fémes bevonatok. A bevonat vastagságának mérése. Röntgenspektrometriás módszer
- ISO 3543:2000; Fémes és nemfémes bevonatok. A vastagság mérése. Béta-visszaszórásos módszer.

**Az MSZT új elnöke: Vigh Károly**, akit – az elhunyt dr. Konkoly Tibor utódaként – hét jelölt közül választott meg a testület közgyűlése 2001. május 21-én.

*Gratulálunk az új elnöknek, és sok sikert kívánunk programja megvalósításához!*



Az ön partnere

# GRIMAS Ipari Kereskedelem



## ANYAGVIZSGÁLATI

Eszközök és műszerek kereskedelme



Metallográfiai gépek és anyagok  
Ipari mikroszkópok, mérőmikroszkópok  
Képiértékelő szoftverek és hardverek  
Keménységmérő és szakítógépek  
Egyszerű és precíziós hosszmérő-  
eszközök  
Felület-, alak-, és helyzetellenőrző  
mérőműszerek

1214 Budapest, Puli sétány 2-4.  
Telefon: 420-5883 Fax: 276-0557  
E-mail: [grimas@matavnet.hu](mailto:grimas@matavnet.hu)  
Látogassa meg weboldalunkat,  
vegyen részt akciónkban!  
[www.grimas.hu](http://www.grimas.hu)



# KE-TECH

# Újdonság

Zsebméretű  
keménységvizsgáló  
készülék

## DynaPOCKET

 **Krautkrämer**

szabványosítva az ASTM-szabvány A956 szerint

Roncsolásmentes anyagvizsgáló eszközök  
forgalmazása, szervize és szakemberképzés



TÜV CERT  
EN ISO 9002  
Tanúsítvány



A PAKSI  
ATOMERŐMŰ Rt.  
által minősített  
beszállító



A MAGYAR  
MINŐSÉG  
TÁRSASÁG  
által elismert  
oktatóház

- mobil, egyszerűen kezelhető, gyors
- dinamikus visszaverődési módszer alapján működő
- ütőfeje és a kijelző része egy készülékbe építve
- minden eddiginél gyorsabb keménységvizsgálat
- szinte minden mérési helyzetben felhasználható



Magyarországi képviselő:  
KE-TECH Kft. 1183 Budapest, Üllői út 470.  
Telefon: (1) 290-0151 Fax: (1) 292-2159  
E-mail: [ketech@elender.hu](mailto:ketech@elender.hu) Honlap: [www.ketech.hu](http://www.ketech.hu)

# Zwick

## Materialprüfung

anyagvizsgálat felsőfokon



- univerzális szakítógépek (nyomó- és hajlítógépek), speciális vizsgálatok elvégzésére is;
- próbatest-kivágók, próbatest-marók;
- keménységmérők (Rockwell, Vickers, Brinell, Knoop, Shore A, Shore D);
- Melt-index mérő;
- ingás ütőművek;
- automatikus fonálszakítók;
- kopásvizsgáló;
- kapillár reométer,
- mooney-viszkoziméter



## Toni Technik

### Materialprüfung

Hidraulikus építőanyagvizsgáló gépek  
6–6000 kN tartományban.

Komplett berendezések cement- és  
betonlaboratóriumok részére,  
mérőműszerek cementvizsgálathoz



## AHLBORN

- hőmérséklet, nyomás,
- légsebesség, légnedvesség,
- frekvencia, fordulatszám,
- mV, mA és egyéb jellemzők mérése és dokumentálása egy készülékkel;
- érintés nélküli infrahőmérők,
- adatgyűjtők, – szoftverek, – nyomtatók



Magyarországi képviselet: **Senselektro Kft.** 1064 Budapest VI., Vörösmarty u. 33. Tel.: 3427-982, Fax: 2848-180

Forgalmazás, üzembehelyezés, garancia, garanciaidőn túli szervizszolgáltatás, karbantartás, pótalkatrész- és tartozékszállítás

Kérésre ingyenes részletes gyártmánykatalógust és információt küldünk!