

Az ütve hajlító vizsgálat fejlődéstörténete

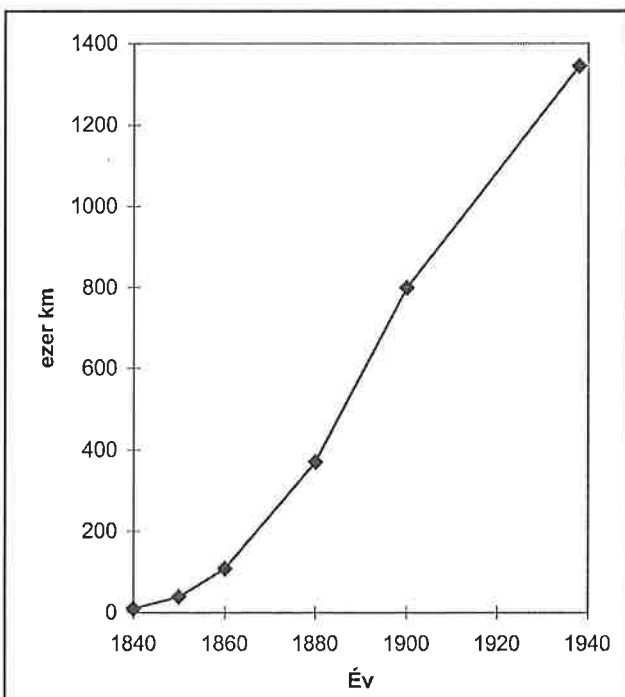
Dr. Tóth László*

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 lívérek)
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

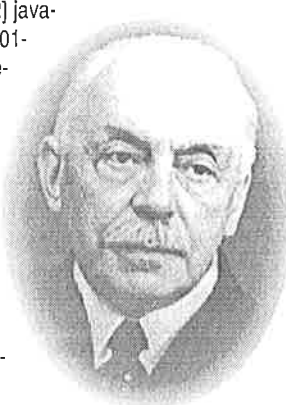
Az ingás ütőművön mért törési munkát az anyagok szívósságának jellemzésére először *S. B. Russel* [2] javasolta 1898-ban, majd *G. Charpy* 1901-ben [3]. *George Charpy* (4. ábra) e témában írt első tanulmányát a Soc. Ing. Civ. de Français folyóirat júniusi számában közölte, majd ugyanezen év szeptemberében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

Az ütővizsgálat fejlődése kissé önkényesen a következő négy periódusra bontható:

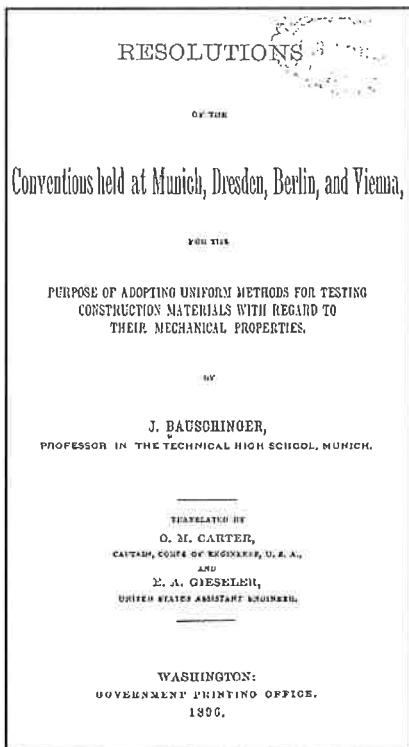
- a fejlődés korai szakasza a szabványosításig,
- az átmeneti hőmérséklet definíálása, az 1950-es évek elejéig (a Liberty hajók katasztrófái),
- az ütőmunka és a törésmechanikai paraméterek korrelációs kapcsolatok megállapítása, a 80-as évek elejéig,
- napjainkig (a megszerzett ütővizsgálatok, a kisméretű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

Az ütve hajlító vizsgálata fejlődésének korai szakasza

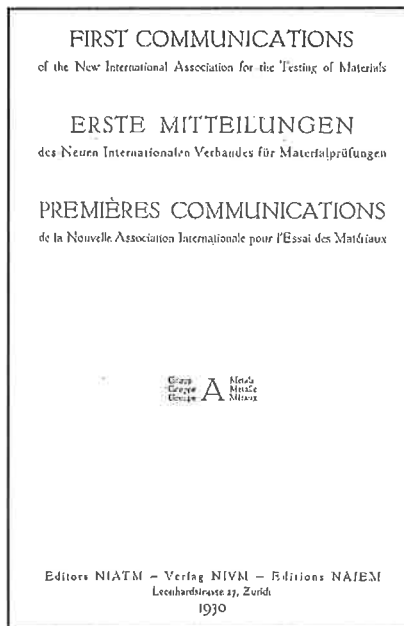
A XIX. század kiemelkedő anyagvizsgáló szakembere, *D. Kirkaldy* [6, 7, 12] sem elemezte, hogy milyen kapcsolat van az anyagok kvázisztatikus és dinamikus terheléssel mért jellemzői között. Mint ahogy arra



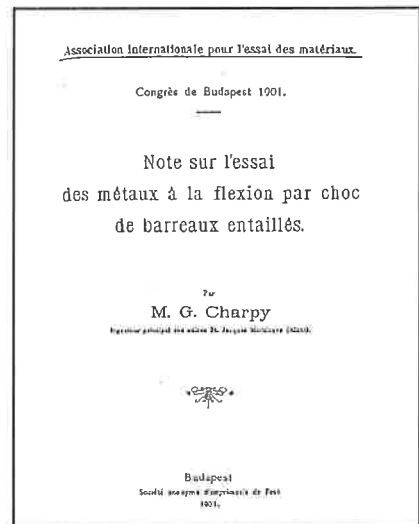
4. ábra. Charpy, Augustin Georges Albert
1865. szeptember 1. Ouilis, Rhone
1945. november 25. Paris



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

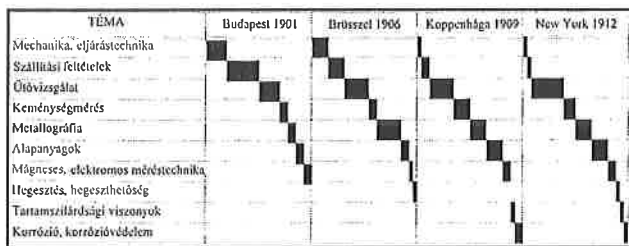


5. ábra. G. Charpy-nak az „Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének” VII. kongresszusán ismertett közleménye (Budapest, 1901. szeptember 8-1)

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 csúcsának 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, lánaszköz 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.

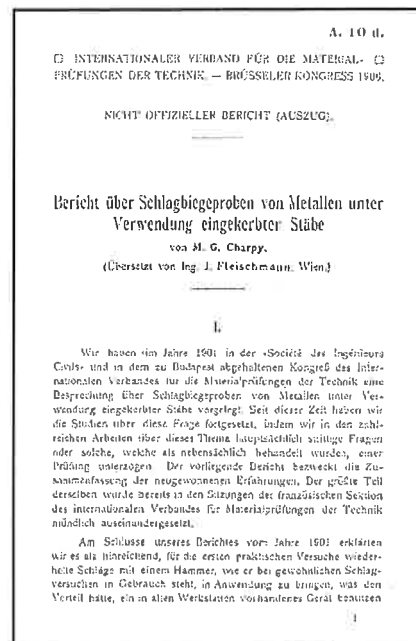
Ezek a jelentések alapvetően a következő témakörökkel foglalkoztak:

- a próbatest mérete,
- a bemetszés geometriája, mélysége, lekerekítési sugara,
- az ütési 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 páncéllemez minősítésére használta a Marine National hajógyár (Franciaország).
- Kazánlemez vizsgálati eredményeit publikálta Yarrow és Cie a Journal of Engineering (1902. 04. 18.)



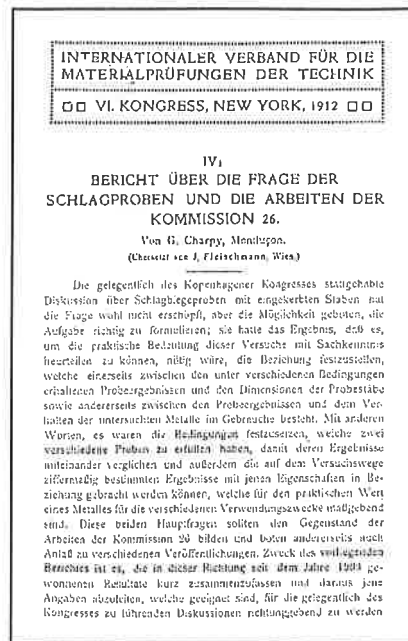
7. ábra. Charpy jelentése a Brüsszelben tartott kongresszuson (1906)



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 hajlítvizsgálat 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/cm²) 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 megvitására:
 - ⇒ 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 szerződésekben 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 módszere, 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 tolódott. A hidegebb tengervíz és az erősebb hullámvágás 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:

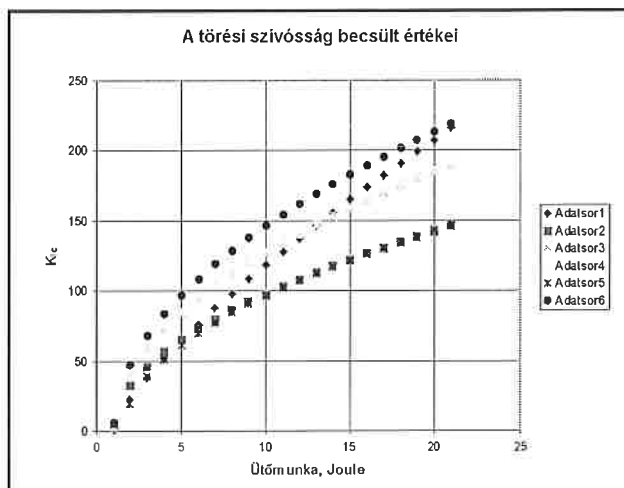
K_{Ic} – a törési szívósság MPa \sqrt{m} -ben

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.



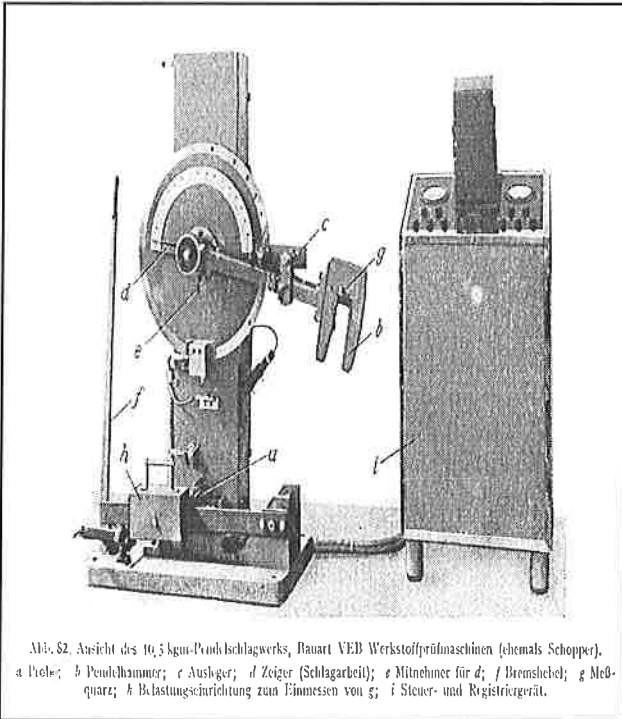
11. ábra. A törési szívósság becslése az ütőmunka alapján a különböző összefüggések felhasználásával

Az ütve hajlító vizsgálat fejlődése napjainkig

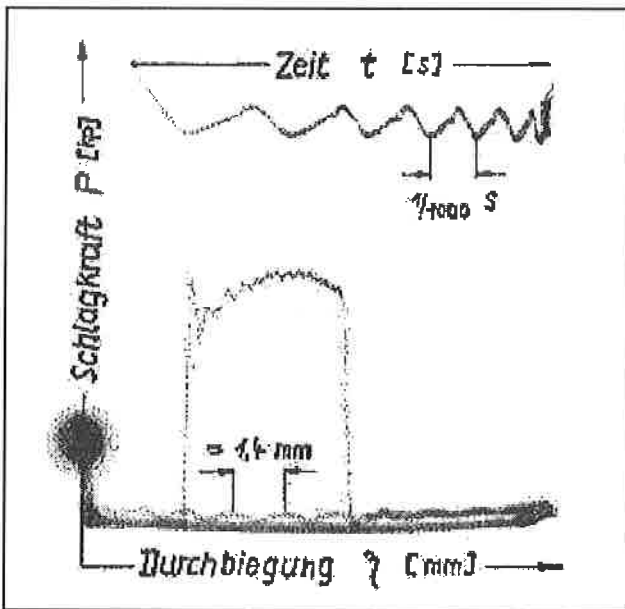
A mérés technika fejlődése lehetővé tette már a 60-as években azt, hogy a Charpy-próbatest törési folyamatát regisztrálni lehessen [16, 17]. Egy ilyen „korai” berendezést szemléltet a 12. ábra. A 13. ábra a regisztrált erő-idő diagramot mutatja [17]. Ezzel közvetlen módon lehetővé vált a repedés keletkezésére 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. *Kovové Materiály*, 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 ütővizsgálatallal 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.