

# GUMIALKATRÉSZ SHORE-FÉLE KEMÉNYSÉGÉNEK KIÉRTÉKELÉSE AZ ANYAGVIZSGÁLATOK STATISZTIKAI MÓDSZERÉVEL<sup>⊗</sup>

## EVALUATION OF SHORE HARDNESS OF RUBBER PARTS WITH THE METHOD OF STATISTICS OF MATERIAL TEST

**SZABÓ Gábor<sup>1</sup>, MANKOVITS Tamás<sup>2</sup>**

egyetemi hallgató<sup>1</sup>, főiskolai adjunktus<sup>2</sup>

Debreceni Egyetem Műszaki Kar

Gépészmérnöki Tanszék

4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.

l.szabo.gabor@gmail.com, tamas.mankovits@mfk.unideb.hu

**Kivonat:** A cikk gumialkatrészek Shore-féle keménységvizsgálatával foglalkozik. A dolgozat első részében összegyűjti a Shore-féle keménységvizsgálatból a szakirodalomban rendelkezésre álló azon adatokat, amelyek a vizsgálathoz szükségesek. A cikk második felében egy járműiparban alkalmazott gumialkatrészen elvégezzük a gyakorlatban is a Shore-féle keménységmérést. A kapott eredményeket, a vonatkozó matematikai statisztikai módszerek segítségével kiértékeljük.

**Kulcsszavak:** Shore-féle keménységvizsgálat, gumialkatrész, statisztikai módszerek

**Abstract:** This paper deals with the Shore hardness tests of technical rubber parts. It collects the main relative references and datas of this topic then discusses the instruments with its advantages and disadvantages. The second part of this paper shows a complex Shore hardness test using the pertinent standard on a rubber spring used in the vehicle industry. The results are evaluated with the method of statistics of material test. The aim of this project is to determine the Shore hardnesses of different technical rubber parts for predicting the material parameters to variant finite element codes which can handle hyperelastic materials.

**Keywords:** Shore hardness test, rubber parts, method of statistics

### 1. BEVEZETÉS

Az ipari alapanyagaink általában nagy szilárdságú és merevségű fémek. Számos eset van viszont, amikor egyéb fontos tulajdonságok kerülnek előtérbe, például a rugalmasság, a hajlékonyság, a tapadás, melyeknek éppen a nagy szilárdságú és magas merevségű fémek nem felelnek meg teljes mértékben. Emiatt kerülnek előtérbe a különböző műszaki gumialkatrészek. Ezen anyagok viselkedésének mechanikai leírása rendkívül komplex feladat. Végeselemes szimulációihoz a legfontosabb kiinduló jellemzőjük a gumi keménysége. A gumialkatrészekre legelfogadottabb a különböző Shore féle keménységérték. Jelen cikkben összegyűjtjük a vonatkozó szakirodalomból a Shore-féle keménységmérés elméletét, majd elvégezzük a mérést a gyakorlatban ezután a kapott eredményeket a vonatkozó matematikai statisztikai módszerek segítségével kiértékeljük.

### 2. SHORE-FÉLE KEMÉNYSÉGMÉRÉS ELMÉLETE

A Shore-féle keménységmérést Albert F. Shore fejlesztette ki a 1920-as években. Elsősorban polimerek, elasztomerek és gumi keménységének mérésére használatos. Mind a Shore, mind pedig a durométer elnevezés használatos.

<sup>⊗</sup> Szaklektorált cikk. Leadva: 2010. február 24., Elfogadva: 2010. május 05.

Reviewed paper. Submitted: 24. 02., 2010. Accepted: 05. 05., 2010.

Lektorálta: Dr. HORVÁTH Róbert / Reviewed by Dr. Róbert HORVÁTH

## 2.1. A gumi rugalmassági modulusának és keménységének kapcsolata

A keménység a szilárd anyagok tulajdonsága és egyfajta eredő jellemző, azaz az anyag adott állapotát eredményező technológiai műveletek hatásai minősíthetők vele, illetve arányban áll a rugalmassággal, a szilárdsággal, a kopásállósággal; fordítottan arányos a képlékenységgel, a szívósággal, a csillapítóképesseggel. A keménység azzal az ellenállással jellemezhető, amit a szilárd anyagok kifejtnek a beléjük hatoló, illetve velük kölcsönhatásba kerülő keményebb vizsgálószerszámmal szemben.

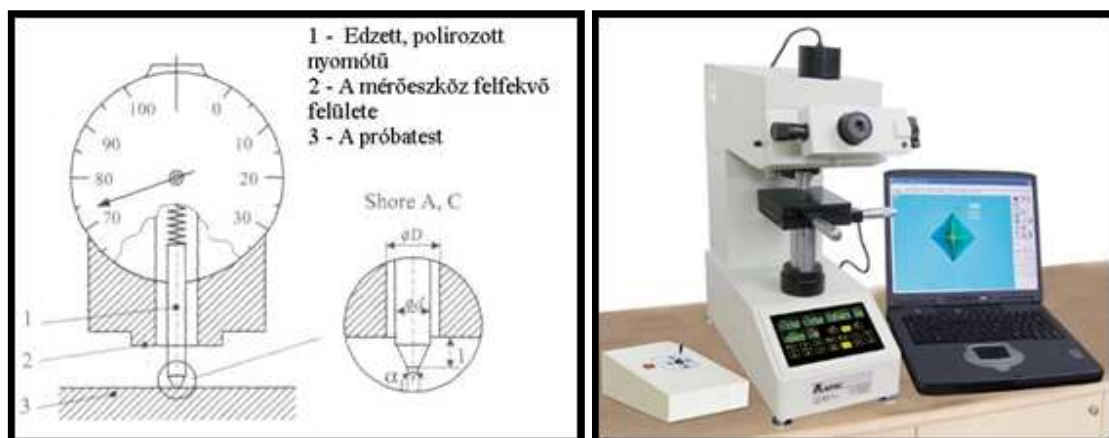
Ez a megfogalmazás utal a keménységmérés lehetőségeire, de a keménység konkrét definícióját nem adja meg, ugyanis annyiféle keménység definiálható, ahányféle vizsgálati módszer létezik.

A gyakorlatban bevált keménységmérő módszerek négy jellegzetes csoportba sorolhatók [1,3]:

- A szúró keménységmérés: a vizsgálandó anyagnál jóval keményebb, ún. szúrószerszámot nyomnak alkalmasan megválasztott terheléssel az anyagba, és a létrejövő lenyomat területéből vagy a benyomódás mélységéből származtatják a keménységi mérőszámot
- Az ejtő keménységmérés: a vizsgálandó anyagra ejtett mérőtest visszapattanási magasságából határozható meg az ütközés rugalmas energiájával összefüggő keménységi mérőszám
- A rezgő keménységmérés: a vizsgálandó anyagra szorított rezgőfej rezgésben tartásához szükséges energia méréséből fejezhető ki az anyag csillapítóképesseggével összefüggő keménységi mérőszám.
- A karc keménységmérés: különböző anyagokkal megkarcoljuk az anyagot, ha jelet hagy, akkor keményebb, mint amit karcoltunk.

A gumi rugalmas tulajdonságára elsősorban a vulkanizáláskor használt kaucsukkeverék kéntartalma van jelentős befolyással, mely egyben a gumi keménységét is meghatározza. A gumi rugalmassága és keménysége tehát szintén összefüggésbe van egymással. Ezért a gyakorlatban a rugalmassági modulusot célszerű a könnyen meghatározható keménység függvényében megadni.

Hasonlóan más anyagokhoz, a gumi keménységét is egy idegen test behatolásával szembeni ellenálló képességeként lehet értelmezni. Vagyis a gumi annál keményebb minél kisebb az idegen test behatolása, ugyanazon nyomóerő alkalmazásánál. A vizsgálataink során a Shore-féle keménységmérést fogjuk alkalmazni az MSZ ISO 868:1991 szabvány figyelembevételével (1. ábra).



1. ábra A Shore-féle keménységmérés elve és korszerű műszere

A gumi keménységének jellemzésére a Shore-féle keménységi mérőszámot használják ( $Sh^\circ$ ). Mérésére külön műszer szolgál.

## 2.2. A műszer leírása

A műszerből csonkakúp vagy kúp alakú tű áll ki, 2,54 mm (0,1 hüvelyk) távolságra. A Shore-keménységmérő készüléket a vizsgálat során kézzel, vagy egy célszerű eszközzel a próbatest

felületéhez nyomjuk. A készülékből kiálló, rugóerővel terhelt nyomótű a próbatestet rugalmasan deformálja, a tűt nyomó rugó ereje két érték között változik, miközben az a gumi keménységétől függően kisebb, vagy nagyobb mértékben a gumiba benyomódik. A mutatót mozgató karrendszer és a skála úgy van kiképezve, hogy kisebb benyomódáshoz nagyobb számérték tartozzék, mert ellenkező esetben nem a keménységet, hanem a lágyaságot mérné a műszer. A mérőszám a készülék 100 részre osztott skálájáról közvetlenül leolvasható, ahol az abszolút kemény test Shore-keménysége 100, ekkor a tű egyáltalán nem hatol az anyagba.

### 2.3. A műszer alkalmazhatósági határai

A műszerrel 4 mm-nél vastagabb, tetszőleges alakú gumi keménysége mérhető. A Shore-keménységmérés nemcsak gumiknál, hanem jelentősebb viszkózus folyást mutató műanyagoknál is használható. Gumik esetén a keménységértéket a műszer mintához szorítását követően 3 másodperccel, a folyást mutató próbatesteknél egy előírt hosszabb idő után, például 15 másodperc múlva olvassuk le. Szabványos körülmények között a vizsgálatot 20°C-on kell elvégezni. Az itt említett hőmérsékleti és leolvasási időtől való eltérést a keménységérték megadásakor fel kell tüntetni. A gumit keménynek nevezik, ha keménysége nagyobb, mint 85 Sh° és lágynak, ha kisebb, mint 40 Sh°. Rugók gyártására az 50—80 Sh° keménységű gumikat használják [3].

### 2.4. A műszer típusai

A Shore-keménységmérőknek igen sok típusa létezik. Több keménységi skála választható, kissé különböző geometriájú behatoló testtel és nyomóerővel. Mindegyik skála 100 osztásból áll és a nagyobb érték keményebb anyagot jellemez. A skálák között lineáris átszámítás nem végezhető. A négy legfontosabbat és alkalmazási területeiket az 1. táblázat tartalmazza, a róluk szóló nemzetközi szabványokat pedig a 2. táblázat.

Típus	Szerszám	Max. Rugóerő	Alkalmazás
A	Csonkakúp ( $\alpha=30^\circ$ )	822	Lágy vulkanizált gumik,
B	Kúp ( $\alpha=35^\circ$ )	822	Mérsékelt kemény gumik
C	Csonkakúp ( $\alpha=30^\circ$ )	4500	Közepesen kemény gumik
D	Kúp ( $\alpha=35^\circ$ )	4500	Kemény gumik

1. Táblázat A különböző Shore keménységmérők összehasonlító táblázata [3]

A táblázatból látható, hogy a különféle ultralágy gumihabok és az igen nagy keménységű gumik mellett hőre lágyuló és keményedő műanyagok is vizsgálhatók a Shore-féle készülékkel.

Shore skála	Szabvány
A	ISO 7619, DIN 53505
B	ASTM D 2240
C	ASTM D 2240, JIS K 6301
D	ASTM D 2240, DIN 53505

2. Táblázat A különböző Shore keménységekről szóló nemzetközi szabványok [3]

### 2.5. A mérés előnyei, hátrányai

Előnyei:

- széles körben elfogadott és alkalmazott eljárás,

- kisméretű, egyszerű műszerek alacsony költséggel,
- egyszerűen kezelhető,
- jó ismételtelhetőségi adatok,
- automatizálható.

Hátrányai:

- kisméretű darabokon, O gyűrűkön nem alkalmazható,
- 4mm-nél vékonyabb anyagokon nem alkalmazható,
- az állvány nélkül való mérés során nagy a kezelői hibalehetőség, mert kézi szorítás alkalmazásakor az 1. táblázatban megadott súlyterhelés bizonytalanra válhat, illetve a nyomótű próbatestre merőleges helyzete nem biztosított. Ezek a problémák állványos vizsgálóeszközzel kiküszöbölhetők.

### 3. MÉRÉSI JELLEMZŐ EREDMÉNYEINEK MATEMATIKAI FELDOLGOZÁSA

#### 3.1. Aritmetikai átlag

Jelölje valamely mennyiség  $i$ -edik mérésnél mért értékét az  $x_i$ . A mérést  $n$ -szer ismételve az aritmetikai átlag

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

összefüggéssel számítható [2].

#### 3.2. A korrigált tapasztalati szórásnégyzet:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n} \cdot \left[ \sum_{i=1}^n (x_i^2 - n\bar{x}^2) \right] \quad (2)$$

összefüggéssel számolható [2].

#### 3.3. Tapasztalati eloszlásfüggvények

Az eloszlásfüggvények alkalmazása az anyagvizsgálati gyakorlatban megkönnyíti a mérési eredmények feldolgozását. ismeretükben az anyagvizsgáló nyilatkozhat arról, hogy az általa szolgáltatott anyagvizsgálati mérőszám milyen valószínűséggel igaz, illetve pontosabban meg tudja mondani azt, hogy az adott tulajdonság bekövetkezési valószínűsége mennyi egy  $\xi < x$  relációval kijelölt feltételnél, ahol az  $x$  az adott tulajdonság egy előre megadott konkrét értéke [2].

Ha  $\xi$  jelöli a valószínűségi változót, akkor az eloszlásfüggvény értelmezése

$$F(x) = P(\xi < x) \quad (3)$$

melyben  $-\infty < x < +\infty$  és a sűrűség függvény értelmezése

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (4)$$

#### 3.4. Normális eloszlás

Egy valószínűségi változó normális eloszlást követ, ha sűrűségfüggvénye

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi} \cdot \sigma} \exp\left(-\left[\frac{(x-m)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right]\right) \quad (5)$$

Eloszlásfüggvénye pedig a

$$P(\xi < x) = F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (6)$$

ahol  $m$  és  $\sigma$  az eloszlás várható értéke illetve szórása. Egy adott  $n$  elemű minta alapján ezek (1) és (2) szerinti becslését használjuk [2].

A  $\xi$  valószínűségi változó úgynevezett standardizáltja a  $\xi' = \frac{\xi-m}{\sigma}$  változó, várható értéke tehát 0 szórása 1. Ennek eloszlásfüggvénye [2]

$$P_1(\xi' < x) = F_1(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] dt \quad (7)$$

A sűrűségfüggvénye [2] pedig

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\left[\frac{x^2}{2}\right]\right) \quad (8)$$

A szimmetria tulajdonságok miatt a várható érték körül, a szimmetrikusan elhelyezkedő  $m - \lambda\sigma$ ;  $m + \lambda\sigma$  intervallumba esés valószínűsége

$$P(m - \lambda\sigma \leq \xi \leq m + \lambda\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \cdot \int_{m-\lambda\sigma}^{m+\lambda\sigma} \exp\left[-\frac{(t-m)^2}{2\sigma^2}\right] dt = \quad (9a)$$

$$P(m - \lambda\sigma \leq \xi \leq m + \lambda\sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\lambda}^{\lambda} \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] dt \quad (9b)$$

- Ha  $\lambda = 1$ , ennek értéke 0,6287 ( a mérési eredmények 68,27 [%]-a az  $m \pm \lambda\sigma$  intervallumba esik),
- Ha  $\lambda = 2$  az integrál értéke 0,9545,
- Ha  $\lambda = 3$  -nál 0,9973.

### 3.5. Az eloszlásfüggvény típusának meghatározása grafikus úton

Mivel a mérési eredményekre a legkönnyebben egyenes fektethető, így a mért adatokat célszerű olyan koordináta rendszerben ábrázolni, amelyben azok egyenesen helyezkednek el.

### 3.6. Gauss-papír szerkesztése

Ha a mérési eredmények normális eloszlást követnek, akkor eloszlásfüggvényük Gauss-papíron egyenes. A Gauss-papír szerkesztését a (7) összefüggés felhasználásával végezhetjük. Mivel az összefüggés zárt alakban nem integrálható, különböző közelítő módszerek alkalmazhatók [2].

A Gauss-papír függőleges tengelye tetszőleges léptékkal megszerkeszthető. A vízszintes tengely vagy lineáris léptékű vagy a lognormál eloszlásnál logaritmus léptékű.

Gauss papíron a mérései eredmények feldolgozásának menete a következő:

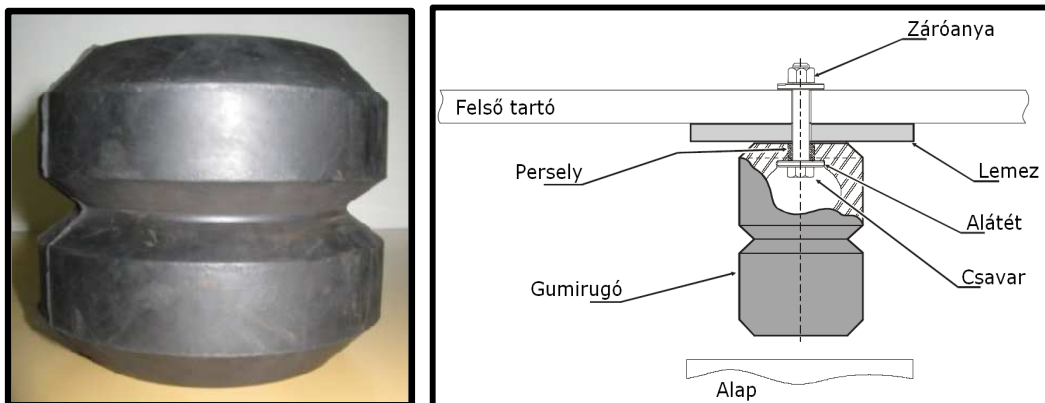
- a mért értékek növekvő sorrendbe állítása.
- az  $F_1(x_i)$  meghatározása. Az  $i$  a rendezett minta sorszámát,  $x_i$  az  $i$ -edik alkalomnál mért jellemzőt jelenti.
- kis darabszám esetén ( $n < 25$ ) az  $F_1(x_i)$  értékeit az 5. táblázat tartalmazza
- nagy darabszám esetén  $F_1(x_i) \approx \frac{i}{n+1}$  összefüggéssel végzett becslés is elfogadható.
- Az  $x_i - F_1(x_i)$  pontokra egyenes fektetése.
- Az eloszlás paramétereinek meghatározása
  - az aritmetikai átlag az  $\bar{x}$  értéke az  $F_1(x_i) = 50\%$ -hoz tartozó értékkel egyezik meg.

- A szórás az  $F_1(x_1) = 50\%$  és az  $F_2(x_2) = \frac{100-68,27}{2} = 15,86$  valószínűségekhez tartozó  $x_1$  és  $x_2$  értékek különbsége. (a 68,27 [%] értéket a (9b) egyenlethől nyerjük, ha  $\lambda = 1$ .)

#### 4. A GUMIRUGÓ KEMÉNYSÉGMÉRÉSE

##### 4.1. A vizsgált gumibak és beépítése

A mérés során MAN típusú kamionoknál alkalmazott gumibakot (2. ábra) vizsgálunk. Beépítési helyén az F90 típusú motor ágyazása. A motort és a váltót tartja négy megtámasztásnál. Első lépésben megvizsgáljuk a gumibak beépítési módját, megadjuk a fontosabb geometriai méreteit, végül megmérjük a keménységét digitális Shore A keménységmérővel.



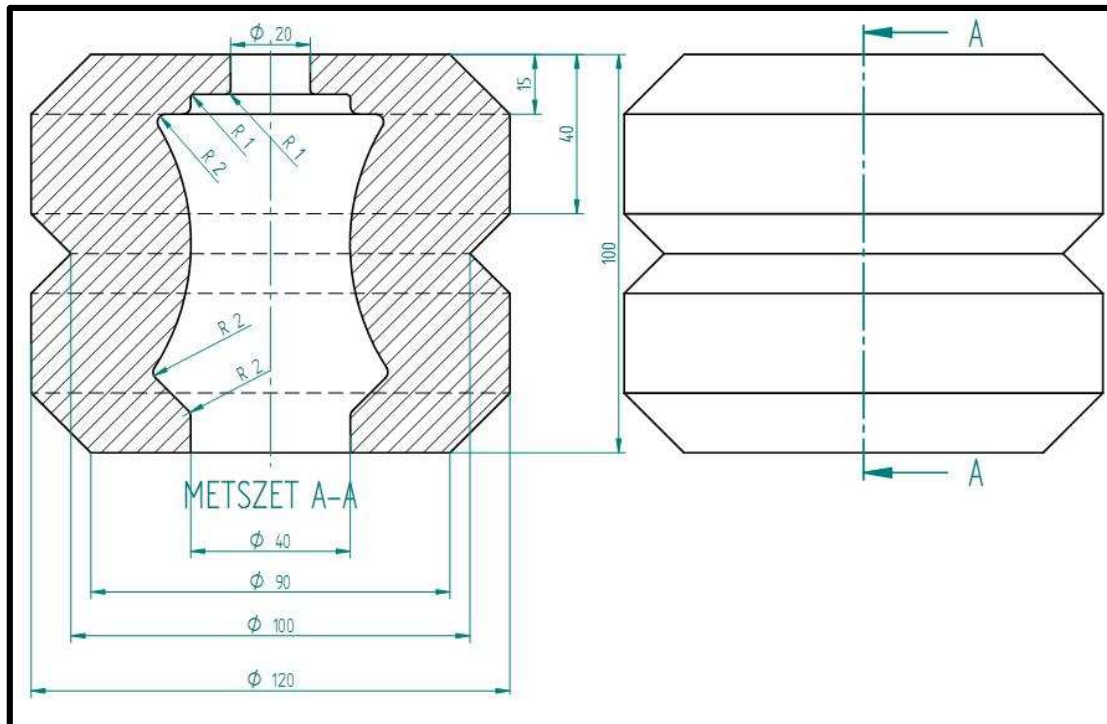
2. ábra A vizsgált gumibak és elvi beépítése

##### 4.2. A vizsgált gumibak főbb geometriai méretei

A gumibak méretei mind hagyományos, mind digitális tolómérővel meg lettek mérve, összesen háromszor. A mért értékek, illetve a belőlük számolt átlag a 3. táblázatban vannak feltüntetve. A 3. táblázatban megtalálhatók a gyártás során előírt méretek. A műhelyrajz (3. ábra) a méretek névleges értéke alapján lett megrajzolva Solid Edge v20 3D-s CAD szoftver segítségével.

	1	2	3	Átlag	Előírt
<b>D</b>	121,1	119,3	119,55	119,98	120
<b>d1</b>	90,2	89,3	90,45	89,98	90
<b>d2</b>	103,85	99,7	96,4	99,98	100
<b>d3</b>	39,8	40,15	40	39,98	40
<b>d4</b>	19,9	20	20,05	19,98	20
<b>h1</b>	15,25	15,3	14,4	14,98	15
<b>h2</b>	39,65	40,15	40,1	39,97	40
<b>H</b>	98,6	97,15	104,2	99,98	100

3. Táblázat a gumibak mért geometriai méretei



3. ábra A gumibak műhelyrajza

#### 4.3. A vizsgált gumibak Shore A keménysége

A vizsgálat során a Shore keménységet csak a tetején illetve az alján szabad mérni a szabvány előírásai szerint, mert csak ezek a felületek tekinthetők vízszintesnek. a mérést a szerint kilencszer végeztem el, a kapott eredményeket a 4. táblázat tartalmazza.

Mérés száma	Alja				Teteje				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	67,8	69,9	70,9	70,3	69,7	70,1	68,1	70,8	69,7
2	70,1	68,3	70,6	68,5	69,3	69,7	69,3	69,2	69,1
3	69	70,3	68	69,8	70,8	68	70,3	70,4	67,2
4	70,1	68,1	67,6	70	68,3	67,6	70,3	70,3	69
5	68,8	69,7	68,5	68,9	70,1	68,1	69,9	70,1	69,3
6	67,4	69,7	69,2	69,9	70	68,1	69,7	69,7	69,7
7	69,8	69,7	69,7	67,4	70,1	69,1	68,4	67,5	69,3
8	68,7	70,1	69,1	69,2	70,3	68,9	69,8	70,1	69,9
9	69	69	70,2	69,8	69,9	68,7	69,9	69,2	68,5
10	68,4	69,6	68	69,2	69,8	69	69,5	69,7	69,2
Átlag	68,91	69,44	69,18	69,3	69,83	68,73	69,52	69,7	69,09

4. Táblázat A mért Shore A keménységek

A mérések során  $n = 9$  aritmetikai átlagértéket kaptunk. Ezek sorrendbe állítva a következők: 68,73 ; 68,91 ; 69,09 ; 69,18 ; 69,3 ; 69,44 ; 69,52 ; 69,7 ; 69,83.



4. ábra Keménységmérés

Gyakran felmerülő anyagvizsgálati probléma annak eldöntése, hogy azonos minőségű anyagon különböző laboratóriumban végzett azonos vizsgálatok eredményei mennyiben, milyen mértékben egyeznek meg.

A normális eloszlás értékei a minta elemszám (n) és a rendezett minta sorszámának (i) függvényében							
n	6	7	8	9	10	11	12
i							
1	10,2	8,9	7,8	6,8	6,2	5,6	5,2
2	26,1	22,4	19,8	17,6	15,9	14,5	13,1
3	42,1	36,3	31,9	28,4	25,5	23,3	21,5
4	57,9	50	44	39,4	35,2	32,3	29,5
5	73,9	63,7	56	50	45,2	41,3	37,8
6	89,7	77,6	68,1	60,6	54,8	50	46
7	-	91,2	80,2	71,6	64,8	58,7	54
8	-	-	92,2	82,4	74,5	67,7	62,2
9	-	-	-	93,2	84,1	76,7	70,5
10	-	-	-	-	93,8	85,5	78,5
11	-	-	-	-	-	94,4	86,9
12	-	-	-	-	-	-	94,9

5. Táblázat A kiértékeléshez szükséges számítási adatok



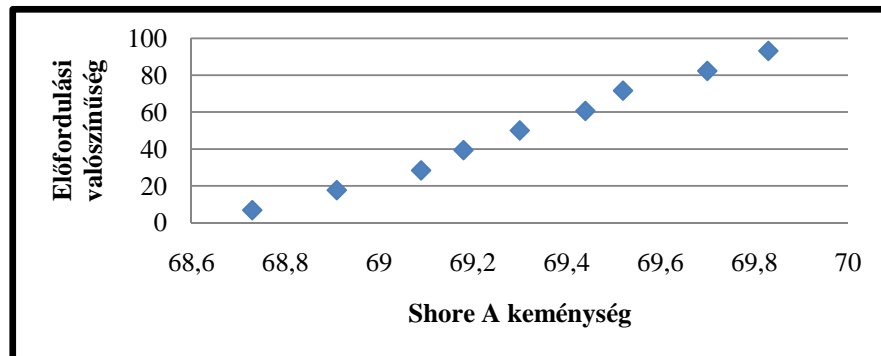
Az elvégzett vizsgálatsorozatok statisztikai jellemzőit (átlag, szórás) kiszámítva választ kell adni arra, hogy azok értékei laboratóriumtól függetlenül azonos, vagy sem. A megválaszolásához természetesen kockázatot kell vállalni arra, hogy döntésünk hibás is lehet, hisz 100%-os valószínűséggel sohasem nyilatkozhatunk. A statisztikai jellemzők összehasonlítása jól használható azonos darabokon végzett keménységmérés eredményeinek összevetésére, tulajdonságaik összehasonlítására.

A vizsgált gumibakon a Shore A keménységre alkalmazunk statisztikai elemzést. Az eloszlás függvényt grafikus úton határozzuk meg Gauss-papír segítségével. A mért átlagos Shore A keménységeket nagyság szerinti növekvő sorba állítjuk és hozzá rendeljük a megfelelő %-os arányokat az 5. táblázatból. Az így kapott értékpárokat a 6. táblázat tartalmazza.

Shore A	%	Shore A	%
		69,3	50
68,73	6,8	69,44	60,6
68,91	17,6	69,52	71,6
69,09	28,4	69,7	82,4
69,18	39,4	69,83	93,2

6.Táblázat A Shore A értékekhez tartozó % értékek

Az utóbbi táblázat értékeit a jobb szemléletesség érdekében célravezető grafikusán is megjeleníteni. Ez történt az 5. ábrán.



5 ábra Keménységmérési sorozat kiértékelése Gauss-papíron

Mivel a függvény képe egy egyenest közelít, ezért kijelenthető, hogy a mérési eredmények normális eloszlást követnek. Normális eloszlás esetén az aritmetikai átlagérték az 50% összegzett gyakoriságnál olvasható le, azaz a keménység átlagértéke 69,3 Shore A lesz. A szórás értékéhez ismerni kell a 15,86 %-hoz tartozó keménységet. Ez interpolálással 68,88 Shore A. Ezek után a szórást az 50 % és a 15,86 %-hoz tartozó keménységértékek különbségeként kapjuk, azaz  $69,3 - 68,88 = 0,42$  lesz a szórás értéke.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkben összegyűjtöttük a Shore-féle keménységmérésre vonatkozó legfontosabb információkat, majd gyakorlatban is elvégeztük, mind digitális műszerrel a Debreceni Egyetem Műszaki Karának Biomechanikai Laboratóriumában, mind hagyományos kézi műszerrel. Utóbbit egy külső cégnél végeztük, mely nem járult hozzá az eredmények közzétételéhez. Így csak belső ellenőrzésre lett felhasználva a kapott eredmény. A vizsgált gumibakról kapott sokféle Shore A keménységérték közül a helyhiány miatt itt csak a kiértékelésben szerepet játszó eredményeket közöljük. Ezután a vonatkozó matematikai-statisztikai módszerek közül a Gauss-papír alapút végeztük el.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BELINA, K.:** Gumiipari Technológia, Gépipari és Automatizálási Főiskolai Kar jegyzet
- [2] **TISZA, M.:** Anyagvizsgálat, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc 2005.
- [3] **GÁL, I., KÓRÓDY, L.:** Anyagismeret és technológia III., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 1983.