

GUMI PRÓBATEST LABORATÓRIUMI MÉRÉSE ÉS KIÉRTÉKELÉSE NYOMÓ IGÉNYBEVÉTELRE [⊗]

LABORATORY MEASUREMENTS AND EVALUATION OF RUBBER TEST PIECE FOR COMPRESSION

JACSÓ Nóra¹, MANKOVITS Tamás², KÁLLAI Imre³,
HURI Dávid⁴, KOCSIS Imre⁵, BALOGH Gábor⁶

¹egyetemi hallgató, ²adjunktus, ^{3,6}tanársegéd, ⁴gépészmérnök, ⁵főiskolai tanár
Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék
tamas.mankovits@eng.unideb.hu

Kivonat: Jelen cikk gumi próbatestek egytengelyű nyomóvizsgálatával foglalkozik laboratóriumi körülmények között. A próbatestek egy légrugó gumiütközőjéből kerültek kimunkálásra. A vizsgálat célja, előállítani a feszültség-alakváltozás jelleggörbét (σ - ε görbék) az ISO 7743 szabvány felhasználásával, amelyből egy későbbi végeleemes analízishez meghatározásra kerülnek a végeleemes anyagállandók. Az elvégzett mérések mellett a gumi Shore féle keménysége és a rugalmassági modulusza is kiértékelésre került.

Kulcsszavak: gumialkatrész, nyomóvizsgálat, anyagállandók, Shore- féle keménységvizsgálat

Abstract: This paper deals with the uniaxial compression test of a rubber specimen under laboratory conditions. The specimens were cut from a rubber bumper used in air-spring. The aim of this research is to determine the rubber characteristics considering the ISO 7743 standard and the material parameters for a finite element analysis on the rubber part. Furthermore, the Shore hardness and the elasticity modulus of the specimen are also evaluated.

Keywords: rubber part, compression test, material parameter, Shore hardness test

1. BEVEZETÉS

A több évtizede ismert gumit alapanyagként, összetevőként számos területen felhasználják. Jelentős szerepe van a közlekedésben és a gépészetben is. A gumi nagy alakváltozási energiát képes tárolni, akár több száz %-os alakváltozást is elvisel, így járművek rugózására rendkívül előnyös. Nyomásra a karakterisztika progresszív jelleget mutat, amely a legtöbb rugózási feladatnál előnyösen kihasználható. Egyidejűleg figyelembe kell vennie a tervezőnek azt, hogy a gumi összenyomhatatlan anyagnak tekinthető, így biztosítani kell a terhelésnél is a szabad alakváltozást [1].

A végeleemes technika előretörésével nem látott lehetőségek nyíltak meg a gumik tervezésében, vizsgálatában. A mai korszerű végeleemes programrendszerek már hatékonyan tudják kezelni a gumialkatrészeket. A végeleemes vizsgálatához szükséges anyagjellemzők kinyerése céljából a laboratóriumi mérés elengedhetetlen. A gumik viselkedésének leírására számos anyagmodell létezik. Ilyen például a Neo-Hooke, a Mooney-Rivlin, a Yeoh, az Arruda-Boyce és az Ogden anyagmodell. Ezek alkalmazhatósága nagymértékben függ az igénybevételtől. Ezen anyagmodell paraméterek meghatározásához elő kell állítani a gumi feszültség-alakváltozás jelleggörbéjéből. Számos kutató foglalkozik paraméterillesztéssel hiperelasztikus anyagok vizsgálata esetén. Többek között Ogden ezzel foglalkozik tanulmányaiban [2,3]. A cikk a szabványos próbatestek σ - ε (feszültség-alakváltozás) görbéinek előállítását tűzi ki célul, amelynek jelentős szerepe lesz a későbbiekben a

[⊗] Szaklektorált cikk. Leadva: 2013. április 26., Elfogadva: 2013. június 18..
Reviewed paper. Submitted: 26. April, 2013. Accepted: 18. Jun, 2013.
Lektorálta: RÁTHY Istvánné dr./ Reviewed by Istvánné RÁTHY

gumialkatrész végeelem analízisében. Gumialkatrészek esetén ezen $\sigma-\varepsilon$ jelleggörbék írják le legjobban az adott alkatrész viselkedését.

A mérés az ISO 7743 (Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of compression stress-strain properties) szabvány alapján lett elvégezve [4]. Távlatos cél a mérés végeztével az eredmények kiértékelése, adatok csoportosítása, és ezekből az anyagállandók kinyerése, melyek segítségével elvégezhető a végeelemes vizsgálat. Jelen cikkben előkészítjük a próbatest jelleggörbéjét a paraméteroptimalizáláshoz.

2. A SZABVÁNY ELŐÍRÁSAI, ALKALMAZÁSA

2.1. Mintadarabok előkészítése

Az egytengelyű nyomóvizsgálatot – a nehézgépjárművek hátsó lengéscsillapítójában alkalmazott légrugó gumiütközője – az ISO 7743 szabvány által előírt méretekre kiesztergált próbatesteken végeztük el. A gumiütköző és a kimunkált próbatestek az 1. ábrán láthatóak.



1. ábra Gumibak és a kiesztergált darabok

A próbatestek kivételének módja az ISO 23529 előírásai szerint történt. A próbatestre vonatkozó alapvető követelmény a sima és párhuzamos felületek megléte, amint az az 1. ábrán a számozott próbatestek esetében látható. A szabvány a próbatestek minimális számát három darabban írja elő, a vizsgálathoz az ábrán látható négy darab próbatestet használtuk. A mérést az ISO 7743 szabvány alapján, a Miskolci Egyetem Anyagvizsgáló Laboratóriumában egy INSTRON 5566 típusú anyagvizsgáló gépen végeztük el az előírt körülmények között.

2.2. Az „A” típusú mérés körülményei, módszere

Az ISO 7743 nemzetközi szabvány 3 vizsgálati típust határoz meg gumi anyagok nyomóvizsgálatához (A, B és C vizsgálati módszer), amelyek közül az „A” módszert alkalmaztuk a jelen vizsgálatnál. Itt egy szabványos próbatestet kell vizsgálni, amely esetében a nyomólemezek és a gumi próbatest közötti kenés által biztosított a súrlódásmentes állapot.

Az „A” típusú mérésre a szabvány előírja a tengelyszimmetrikus próbatest méreteit, melynek átmérője $29\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ és magassága $12.5\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$. A mérés során a laboratóriumi hőmérséklet 23°C . A súrlódás kiküszöbölését lítium bázisú gépszírkennéssel biztosítottuk. Az előírás szerint legalább 3 mintadarabon kell a méréseket elvégezni, azonban 4 próbatest állt rendelkezésre.

A gumibakot előírt összenyomódásig (25%) állandó sebességgel kell terhelni a fémlemezek között, amíg az előírt összenyomódást el nem éri. A mérésből származó értékeket az INSTRON 5566 anyagvizsgáló géphez telepített számítógép tárolta (idő, megrövidülés [mm, %], terhelés, nyomófeszültség, ciklusok száma), amelyből az eredmények kiértékelésre kerülnek.

Az ISO 7743 szabvány „A” mérési módszere alapján a vizsgált hengeres próbatesteket önbeálló pofák közé fogjuk és központosan ható erővel összenyomjuk. A pofák és a próbatest érintkezési felületén fellépő súrlódás miatt az érintkező felületeken az alakváltozás gátolt, amely a próbatest magasságának irányában nem egyenletes alakváltozást okoz. Ez hordósodáshoz vezet. A hordósodás mértékét kenőanyag alkalmazásával csökkentettük. A gumik viskoelasztikus tulajdonsága miatt a mérést úgy kell elvégezni, hogy a tényleges nyomóvizsgálat előtt három előterhelési ciklust alkalmazunk, azaz három felterhelés-leterhelés ciklus után vizsgáljuk a 25%-nyi alakváltozáshoz szükséges erőt és a deformáció milyenségét. A mérés folyamán, az előterhelési ciklusokban és a tényleges mérés folyamán is 10mm/perc keresztfej elmozdulási sebességet alkalmaztunk. Az 1. táblázat tartalmazza a mérés körülményeit.

Vizsgált alkatrész	Légrugó gumiütközője
Próbatest	A gumiütközőből kimunkálva
Alkalmazott szabvány	ISO 7743
Módszer	A
Laboratóriumi hőmérséklet	23°C
Kenőanyag	lítium bázisú gépszír
Próbatestek száma	4db
A vizsgálat időpontja	2013. 04. 08.

1. Táblázat A mérés körülményei

3. A NYOMÓVIZSGÁLATOT ELŐKÉSZÍTŐ MÉRÉSEK

3.1. Mintadarabok méretei

A kimunkált próbatestek méreteit tolómérővel mértük meg 3 helyen. Ezek eredményeit, valamint az előírt értékeket a 2. táblázat tartalmazza. A kiértékelés eredménye alapján 2. próbatest nem felelt meg, így a további vizsgálatokban nem szerepel.

		1.minta	2.minta	3.minta	szórás	átlag	min	max	előírt
1.próbatest	D	29	28.82	29.11	0.15	28.98	28.82	29.11	D=29±0.5 h=12.5±0.5
	h	12.98	13.02	13	0.01	13	12.98	13.02	
2.próbatest	D	29	29.11	29.12	0.07	29.08	29	29.12	
	h	13.12	13.22	13.2	0.05	13.18	13.12	13.22	
3.próbatest	D	29.1	29	29.22	0.11	29.11	29	29.22	
	h	12.79	12.82	12.88	0.05	12.83	12.79	12.88	
4.próbatest	D	28.91	29	29	0.05	28.97	28.91	29	
	h	12.38	12.31	12.3	0.04	12.33	12.3	12.38	

2. Táblázat A gumi mintadarabok geometriai méretei (mm)

3.2. Mintadarabok keménysége

A Shore féle keménységmérést főképp polimerek, elasztomerek és gumianyagok keménységének mérésére használják. A keménység olyan anyagtulajdonság, mely segítségével meghatározhatók egyéb jellemezők is, mint például rugalmasság, szilárdság, kopásállóság [5-7].

A mérési eredmények alapján a varianciaanalízis módszerrel ellenőrzésre került, hogy feltételezhető-e, hogy a mintadarabok azonos keménységűek. Az analízist a MS Excel beépített „varianciaanalízis” adatelemző eljárással végeztük el. 3 csoporttal, egy csoporton belül 10 elemmel kellett számolni. Az elemzés során – a MS Excel által számított – értékeket a 4. táblázat, a vizsgálat eredményét a 5. táblázat mutatja.

A nyomóvizsgálat előtt minden próbatesten Shore A keménységet mértünk digitális Shore keménységmérővel az ISO 7619-1 útmutatása alapján [8]. A keménységvizsgálati eredményeket a 3. táblázat foglalja össze.



2. ábra A próbatetek keménységmérése

Mérés száma	1.próbatest	3.próbatest	4.próbatest
1	82.6	83.2	82.6
2	85.4	85.1	84.3
3	84.3	84.9	83.8
4	84.7	82.8	84.7
5	85	84.6	85.2
6	83.5	83.4	83.9
7	84.5	85.3	84.5
8	82.1	84.1	82.9
9	85.3	85.5	84.6
10	86.1	84.7	83.8
Minimum	82.1	82.8	82.6
Maximum	86.1	85.5	85.2
Átlag	84.35	84.36	84.03

3. Táblázat Mért Shore A keménységek

Csoportok	Darabszám	Összeg	Átlag	Variancia
1.próbatest	10	843.5	84.35	1.609
2.próbatest	10	843.6	84.36	0.885
3.próbatest	10	840.3	84.03	0.653

4. Táblázat A varianciaanalízis során számított értékek (MS Excel)

Tényezők	SS	df	MS	$F_{számított}$	p-érték	F_{krit}
Csoportok között	0.705	2	0.352	0.336	0.718	3.354
Csoporton belül	28.33	27	1.049			
Összesen	29.035	29				

5. Táblázat A varianciaanalízis eredménye (MS Excel)

A 5. táblázatban látható a csoportok közt és a csoportokon belül számított variációk aránya: $F_{számított}=0.336$, és az 5%-os szignifikancia szinthez (a (2,27) szabadsági fokú F eloszlás szerint) tartozó kritikus érték: $F_{krit}=3.354$. Mivel $F_{számított}<F_{krit}$ (sőt $F_{számított}$ sokkal kisebb, mint F_{krit}) elfogadásra kerül, hogy a minták azonos várható értékű (normális eloszlású) valószínűségi változótól származnak, azaz a továbbiakban joggal feltételezhető, hogy a próbatetek keménysége egyenlő.

4. A NYOMÓVIZSGÁLAT MÉRÉSI EREDMÉNYEINEK KIÉRTÉKELÉSE

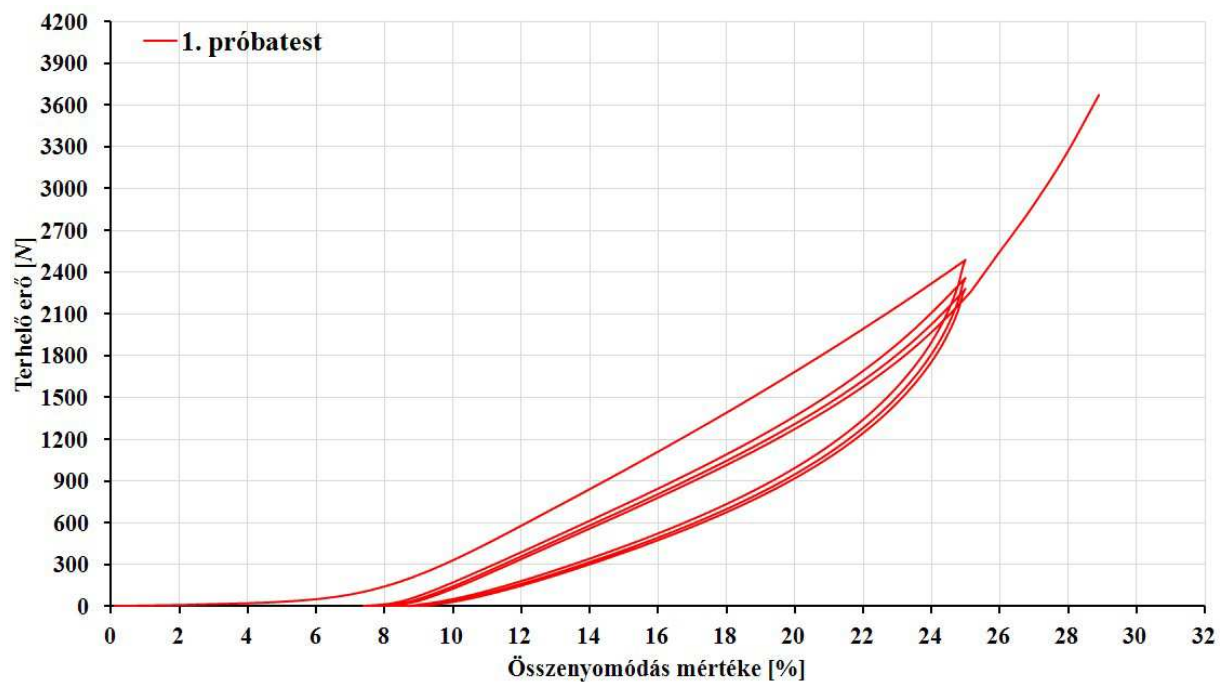
Az ISO 7743 szabvány szerint mindhárom próbatesten elvégeztük a nyomóvizsgálatot (3. ábra). Az eredményeket a vizsgálat során kinyert adatok szolgáltatták. A gumi rugalmassági modulusza különböző alakváltozási mértéknél szintén kiértékelésre került. Itt meg kell jegyezni, hogy a szabványban szereplő „compression modulus”-t, a későbbiekben csak rugalmassági modulusznak nevezzük.



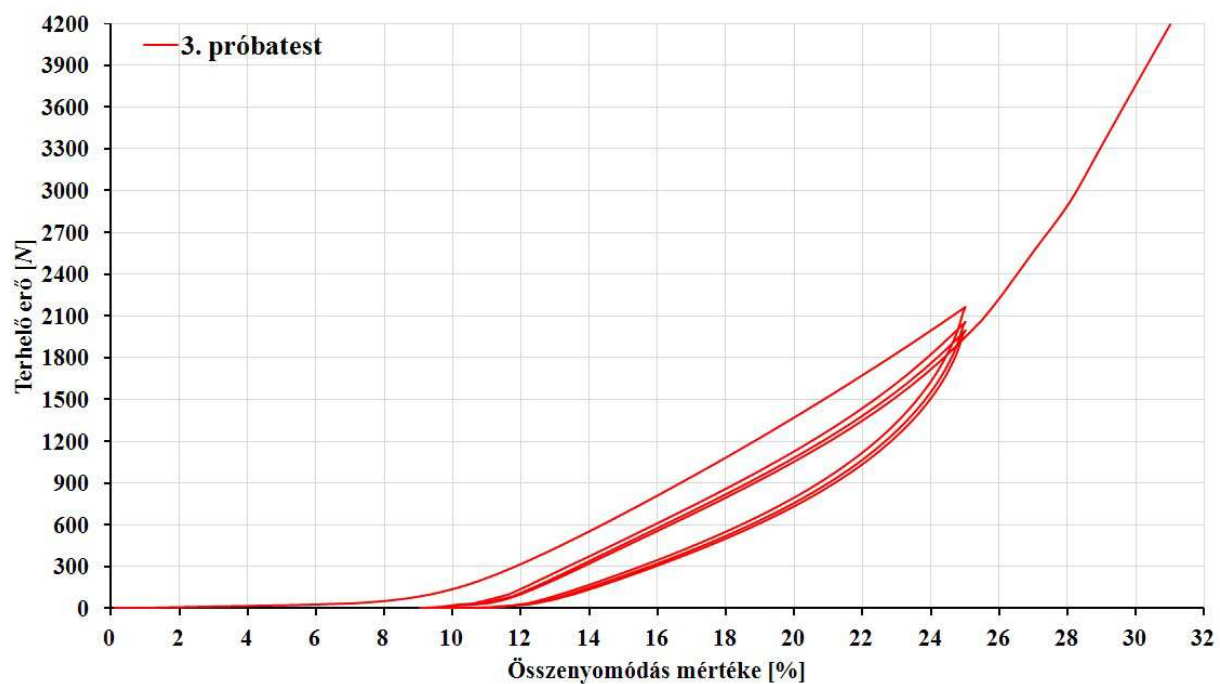
3. ábra A nyomóvizsgálat

A számítógép által tárolt adatokból állítottuk elő az 1., a 3. és a 4. próbatest terhelő erő-összenyomódás (%) jelleggörbéit (4-6. ábra).

Az erő – deformáció görbékből jól látható a mérés folyamán alkalmazott előterhelési ciklusok és a negyedik felterhelés, összenyomás, azaz a mérés szempontjából lényeges szakasz, ahonnan információt kapunk a gumi próbatestünk rugalmas viselkedéséről. A görbéket megvizsgálva tapasztalható az alapanyag viszkoelasztikus, azaz késve rugalmas tulajdonsága. Az első előterhelési ciklus után, a terhelés megszűntével, a próbatest nem nyerte vissza az eredeti magasságát, így a második, harmadik és negyedik felterhelés esetén mindig később kezdődött a tényleges összenyomás, deformáció. Ez a jelenség jól megfigyelhető, ha a terhelés ráadás és elvételi ciklusból megrajzoljuk a rugalmassági hiszterézis hurkokat. Ilyenkor tapasztalható, hogy az egymást követő ciklusokban a hiszterézis veszteségek csökkenek, és egy határértékhez tartanak, majd a rendszer deformációjában állandósult állapot áll be. Ez az egyensúly a gumi viszkoelasztikus és relaxációs tulajdonságainak a „kiegyenlítődsén” alapul, amely mögött bonyolult molekuláris és szegmensmozgások állnak. Azonban egy termék, jelen esetben egy légrugónak a használata során is az alkalmazott anyagok ugyancsak ebben az állandósult állapotban működnek, így a pontos számítások, méretezések, szimulációk elvégzéséhez is ebben a tartományban kell az anyagunkat vizsgálni. A próbatest kialakítása és a mérés körülményei is ideálisnak tekinthetők, így ebben az esetben az összenyomódás mértéke és a szükséges terhelő erő között közel lineáris összefüggésnek kell fennállnia kis alakváltozás esetén. Azonban a mérések kezdetén, geometriai hibákból származó plusz összenyomódás figyelhető meg a próbatestek jelleggörbéjében, amit a további számításokhoz korrigálni kell. Ezt a végterhelés görbéjének lineáris szakaszára illesztett egyenes, és a vízszintes tengely által kimetszett pontba eltolt függőleges tengellyel végeztük el.



4. ábra 1-es próbatest jelleggörbéje



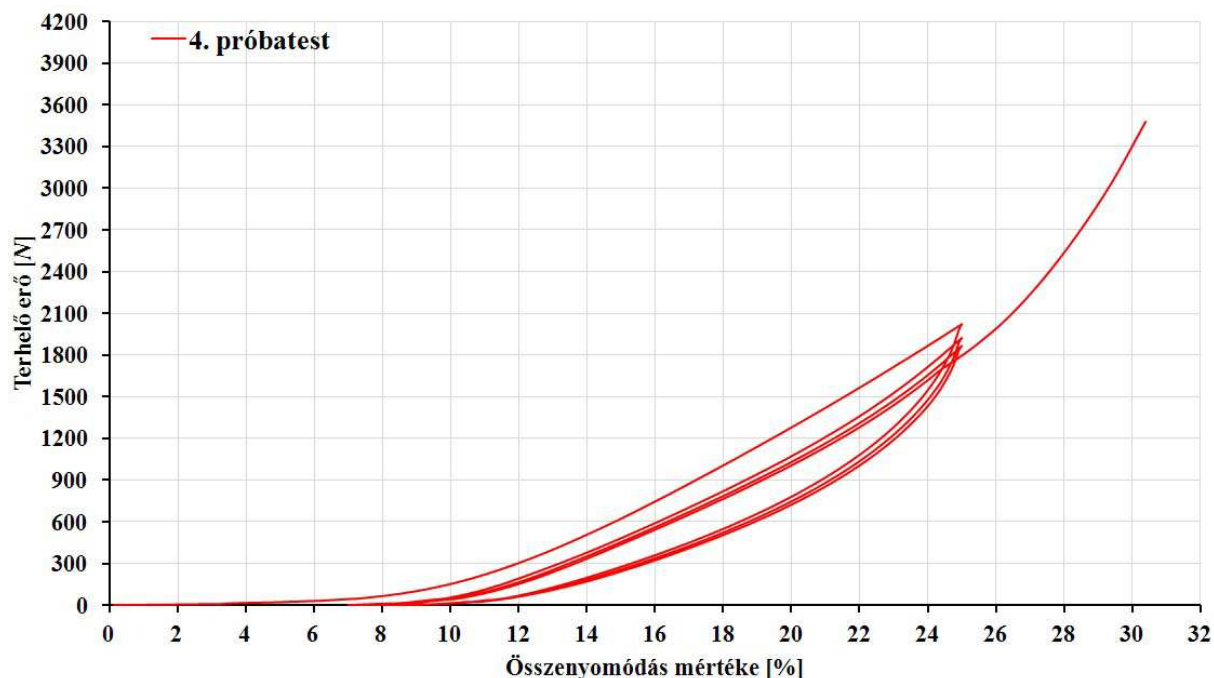
5. ábra 3-as próbatest jelleggörbéje

A 4. felterhelés (végterhelés) eredményeként kapott görbéből határozhatók meg adott alakváltozás értékekre a gumi rugalmassági modulusza az

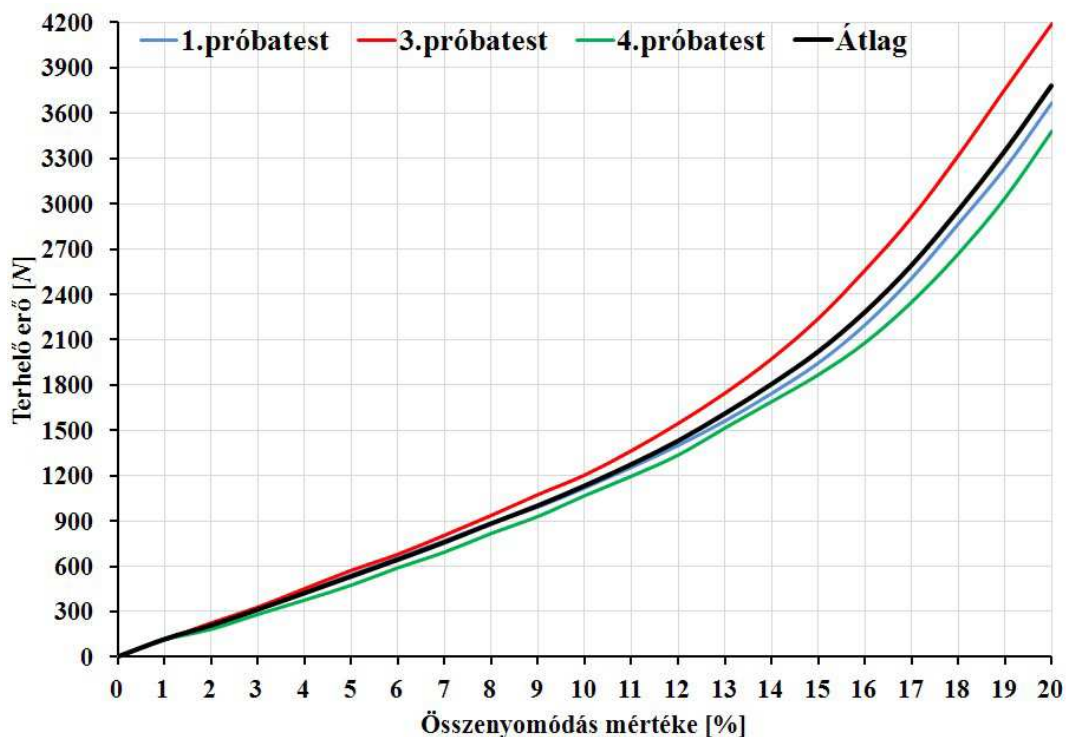
$$E = \frac{F}{A\varepsilon}, \quad (1)$$

összefüggés szerint, ahol F a terhelő erő értékei adott alakváltozás esetén, ε a fajlagos

összenyomódás értékei, amíg A a próbatest keresztmetszete az aktuális állapotban. Felhasználtuk, hogy a vizsgált gumit tökéletesen összenyomhatatlannak tekintjük, azaz térfogata a terhelés hatására nem változik. A kapott rugalmassági moduluszokból átlagot vonva kapjuk meg a feszültségek számításához szükséges anyagállandókat. Ezek eredményeit az alábbi táblázat tartalmazza. A rugalmassági modulusz változása a 8. ábrán látható.



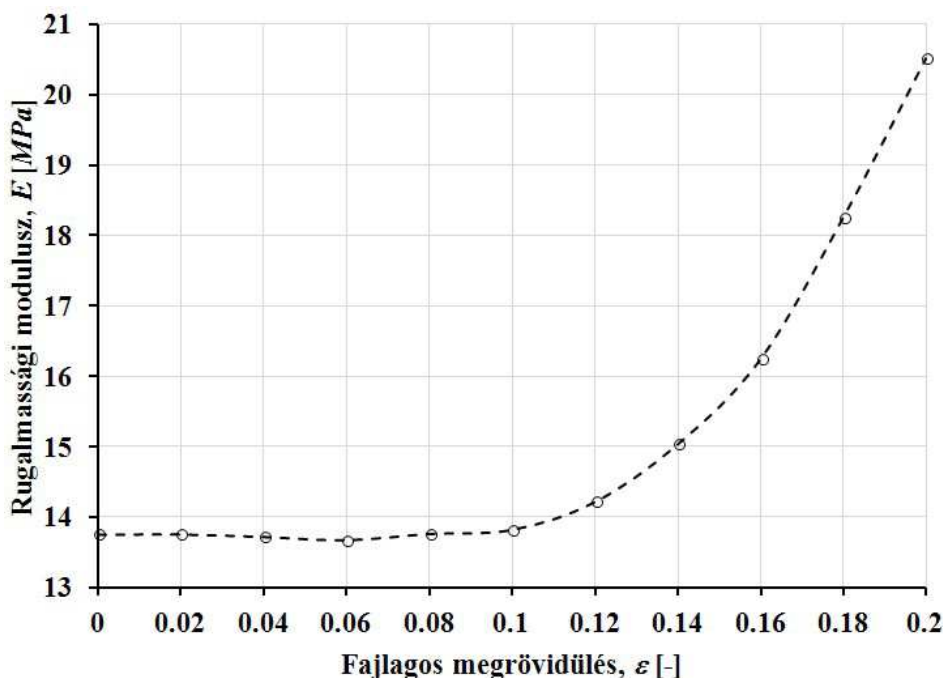
6. ábra 4-es próbatest jelleggörbéje



7. ábra A korrekció után kapott végterhelések

	Korrekción eredménye [mm]		Rugalmissági modulusz, E [MPa]				
	h_0	A_0	$E_{4\%}$	$E_{8\%}$	$E_{12\%}$	$E_{16\%}$	$E_{20\%}$
1.próbatest	11.83	724.8452	14.35338	14.09314	14.18156	15.93603	20.2526
2.próbatest	11.4	749.0246	14.49072	14.39755	15.13528	17.94334	22.37577
3.próbatest	11.05	735.5085	12.31066	12.79732	13.32789	14.84687	18.92568
Átlag			13.71825	13.76267	14.21491	16.24208	20.51802

6. Táblázat A rugalmissági modulusz számításának eredményei



8. ábra A rugalmissági modulusz és az alakváltozás kapcsolata

Súrlódásmentes állapotot feltételezve az ISO 7743 alapján a feszültség-alakváltozás kapcsolatát 30%-os összenyomódásig kielégítően írja le az alábbi összefüggés,

$$\sigma = \frac{E\varepsilon}{1 - \varepsilon} \quad (2)$$

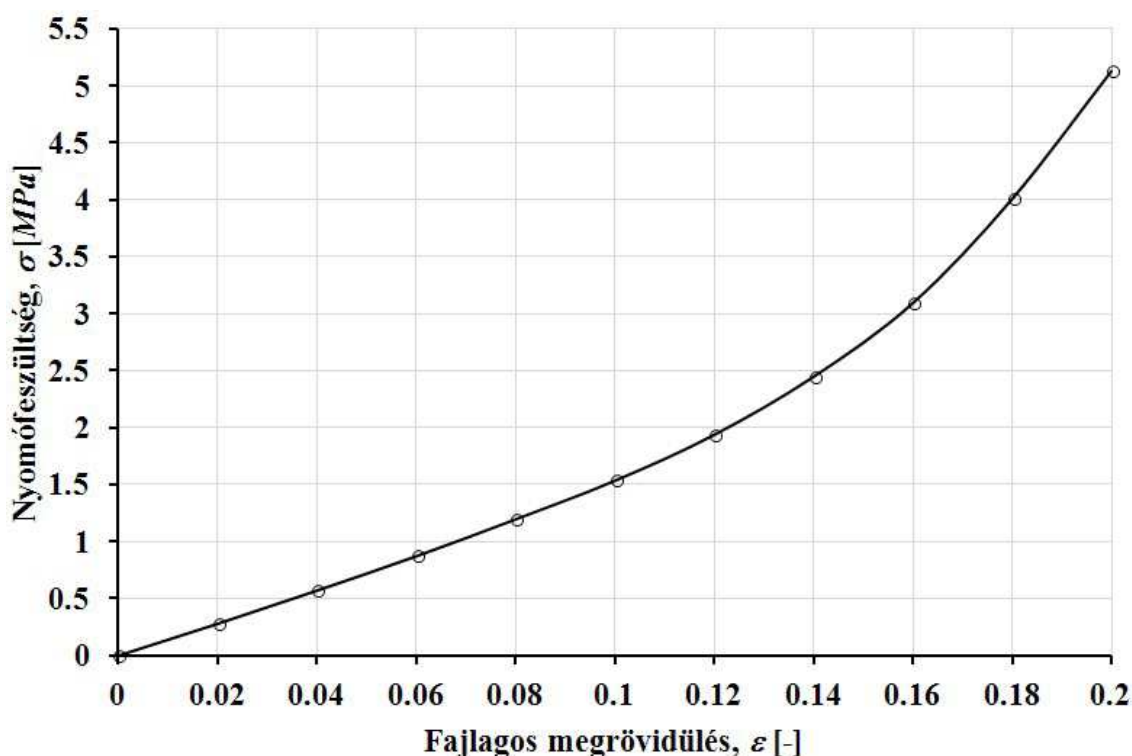
A behelyettesítések után előállítható a végeelemes anyagállandók meghatározásához szükséges $\sigma - \varepsilon$ jelleggörbe (9.ábra).

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Egy iparban alkalmazott gumiütközőből kimunkált próbatestekre bemutattuk az ISO 7743 szabvány által előírt próbatest vizsgálati eljárását, amellyel előállítható a végeelemes anyagállandók meghatározásához szükséges gumi jelleggörbe. Bizonyításra került, hogy a gumik rugalmissági modulusza az alakváltozás függvényében változik, ezért is hívják azt látszólagos rugalmissági modulusznak.

A mérési és kiértékelési tapasztalatok azt mutatták, hogy a mérési eredményeket korrigálni kell, mert a gumik kb. 5-10% deformációig lineáris viselkedést mutatnak. A próbatestek eltérő karakterisztikáit a mérési hibák mellett az magyarázhatja, hogy nem mindegy, hogy honnan vesszük ki

a próbatestet az alkatrészből. Ennek vizsgálata a későbbiekben szükséges, amely arra vonatkozik, hogy a térhálósodás vajon homogén-e a vulkanizálás hatására.



9. ábra A próbatestek átlagos karakterisztikája (továbbiakban: a gumi jelleggörbéje)

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk a TÁMOP-4.2.2.B-10/1-2010-0008 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **MANKOVITS, T.:** Gumialkatrészek alakoptimalizálása, PhD Értekezés, 2012.
- [2] **OGDEN, R.W.:** Nonlinear Elasticity with Application to Material Modeling, AMAS Lecture Notes, 2003.
- [3] **OGDEN, R.W., SACCOMANDI, G., SGURA, I.:** Fitting Hyperelastic Models to Experimental Data, Computational Mechanics, Volume 34(6), 2004., pp. 484-502.
- [4] ISO 7743, Rubber, vulcanized or thermoplastic - Determination of compression stress - strain properties, 2008.
- [5] **SZABÓ, G., MANKOVITS, T.:** Gumialkatrész Shore – féle keménységének kiértékelése az anyagvizsgálatok statisztikai módszerével, Debreceni Műszaki Közlemények, Volume 9(1), 2010., pp. 52-63.
- [6] **TISZA, M.:** Anyagvizsgálat, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc 2005.
- [7] **GÁL, I., KÓRÓDY, L.:** Anyagismeret és technológia III., Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 1983.
- [8] ISO 7619-1, Rubber, vulcanized or thermoplastic- Determination of indentation hardness – Durometer method (Shore hardness), 2010.