

Újrahasznosított gumi alapú termoplasztikus vulkanizátumok fejlesztése  
Görbe Á., Bárány T.

Accepted for publication in Polimerek

Published in 2025

DOI:

GÖRBE ÁKOS<sup>1</sup>, BÁRÁNY TAMÁS<sup>1,2</sup>

# ÚJRAHASZNOSÍTOTT GUMI ALAPÚ TERMOPLASZTIKUS VULKANIZÁTUMOK FEJLESZTÉSE

## DEVELOPMENT OF THERMOPLASTIC VULCANIZATES WITH RECYCLED RUBBER

Munkánk során újrahasznosított abroncs gumiőrlet felhasználásával fejlesztettünk termoplasztikus elasztomereket. Ennek megvalósításához devulkanizált abroncs gumiőrletet és polipropilént használtunk fel, a termoplasztikus elasztomereket pedig a dinamikus vulkanizáció segítségével hoztuk létre. A fejlesztési folyamat során vizsgáltuk az ikercsigás extruder csigakonfigurációjának hatását az anyagok mechanikai és morfológiai tulajdonságaira. A vizsgálatainkkal kimutattuk, hogy a csigakonfiguráció megfelelő kialakítása jelentős mértékben képes javítani a gumiszemcsék eloszlottságát, ezzel együtt pedig a termoplasztikus elasztomer mechanikai tulajdonságait: csupán a gyártási paraméterek változtatásával 35%-kal tudtuk megnövelni a fejlesztett anyag szakadási nyúlását.

In this work, we have developed thermoplastic elastomers using recycled tire rubber. Devulcanized ground tire rubber and polypropylene were used, and thermoplastic elastomers were produced by dynamic vulcanization in a corotating twin screw extruder. During the development process, the influence of screw configuration on the mechanical and morphological properties of the materials was studied. We concluded that the correct design of the screw configuration can significantly improve the dispersibility of the rubber particles and thus the mechanical properties of the thermoplastic elastomer: by changing the manufacturing parameters alone, we were able to increase the elongation at break of the developed material by 35%.

### 1. BEVEZETÉS

Napjaink egyik legnagyobb kihívása a gumitermékek, különösen a gumiabroncsok anyagában történő, értéknövelt újrahasznosítása [1, 2]. A gumiabroncsok összetett, kompozit termékek, amelyek különböző kaucsukokból készült elasztomer mátrixot tartalmaznak, amely nagy mennyiségű erősítő- és töltőanyagot (például korom és szilika) foglal magában. Ezek mellett acél- vagy polimer alapú erősítőanyagok is találhatóak bennük. Míg a fém alkotóelemek megolvastással újrahasznosíthatók, addig az abroncs gumirészei a térhálós szerkezetük miatt nem hozhatók újra ömledék állapotba. Ezért a gumiabroncsok újrahasznosítása leggyakrabban energetikai célú (akárcsak a gumiabroncsokban található kordszálak esetében) vagy szekunder jellegű, vagyis alacsonyabb minőségű termékek előállítására szolgál [3].

Az elasztomerek anyagában történő újrahasznosításának egyik legmodernebb megközelítése a devulkanizáció és a regenerálás, amelyek célja a keresztkötések felbontása [4]. A két folyamat közötti fő különbség az, hogy a devulkanizáció során a

keresztkötések bontása mellett a lánc-tördelődés minimalizálására is törekednek. Számos kutatás irányult arra, hogy feltárja a különböző elasztomerekből álló gumiabroncsok hatékony devulkanizálási módszereit [4-9]. Az első lépésben a gumiabroncsok elasztomer komponensét aprítják, így jön létre az abroncs gumiőrlet (ground tire rubber, GTR). A devulkanizálás eredményeként keletkező devulkanizált abroncs gumiőrlet (dGTR) önmagában történő visszavulkanizálása azonban az elkerülhetetlen lánc-törések miatt jellemzően gyengébb mechanikai tulajdonságú terméket eredményez. Ezért ez az újrahasznosítási módszer inkább *down-cycling* jellegű, azaz az eredeti anyagnál

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.

<sup>2</sup> MTA-BME Lendület Könnyűszerkezetes Polimer Kompozitok Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.

alacsonyabb minőségű termékek előállítását teszi lehetővé [10]. Ennél gazdaságilag előnyösebb megoldás, ha a dGTR-t a gumi-termékek gyártása során részben a primer kaucsuk helyettesítésére használják. Ezzel csökkenthető az alapanyag költség, miközben a vulkanizált gumi tulajdonságai nem romlanak jelentősen.

A GTR felhasználása már régóta elterjedt töltőanyagként termoplasztikus polimerekben, mivel kis mennyiségben és finomszemcsés formában növelheti az anyag ütésállóságát [11, 12]. Viszont, ha a termoplasztikus fázisban elosztatott gumifázis aránya jelentősen megnövekszik (akár 50 tömegszázalék fölé) és a két fázis megfelelő kompatibilitással rendelkezik, akkor termoplasztikus elasztomerekről (TPE) beszélünk. Ezek olyan anyagok, amelyek fizikai térhálós szerkezetük révén gumyszerű tulajdonságokat mutatnak (legalább 100%-os szakadási nyúlás mellett legfeljebb 50%-os tartós összenyomás utáni maradó alakváltozással) [13], ugyanakkor reverzibilisen megolvaszthatók, így újrahasznosíthatók.

A gumyszerű viselkedés eléréséhez fontos a gumifázis kis, mikrométeres szemcsemérete, amelyet legjobban dinamikus vulkanizációval lehet biztosítani [14, 15]. Ebben a folyamatban a vulkanizálatlan kaucsuk keveréket a feldolgozó berendezésben (jellemzően ikercsigás extruderben) a kompaundálás során, erős nyírás mellett, *in situ* vulkanizálják. Ez a gumifázis szemcseméretének jelentős csökkenését eredményezi és a kialakuló termoplasztikus dinamikus vulkanizátum (TDV) jellemzően nagy nyúlással rendelkezik [16].

A kutatásunk során célunk volt, hogy a TDV gumifázisát teljes egészében dGTR-alapú keverékkel váltsuk ki, ezáltal olyan termoplasztikus elasztomert hozzunk létre, amely képes a nagymennyiségű újrahasznosított anyag tartalma révén bekapcsolódni a körforgásos gazdálkodásba. A kutatás során a TDV-k előállításához ikercsigás extrúziót használtunk és vizsgáltuk a csigakonfiguráció hatását a fejlesztett anyagok morfológiai és mechanikai tulajdonságaira.

## 2. FELHASZNÁLT ANYAGOK, BERENDEZÉSEK, VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

### 2.1. FELHASZNÁLT ALAPANYAGOK

A kísérletekhez a MOL Petrolkémia (Magyarország, Tiszaújváros) által gyártott TIPPLEN PP R660 (MFI: 2 g/10 perc (2,16 kg, 230 °C)) jelű random polipropilén kopolimert használtuk fel.

A kísérletek során a gumifázis alapanyagául a Tyromer Inc. (Tyromer Europe B.V., Hollandia, Arnhem) szuperkritikus szén-

dioxiddal segített, termomechanikus úton előállított devulkanizátumát alkalmaztuk.

A dinamikus vulkanizációhoz szükséges nyerskeverékben a következő anyagokat használtuk fel: cink-oxid (ZnO) (Euronopa GmbH, Hamburg, Németország), sztearinsav (Henan Shunbang Chemical Industry Co., Ltd, Hushu Town, Kína), ciklohexil-benzotiazol-szulfanamid (CBS) (Rhein Chemie, Mannheim, Németország), kén (Emery Oleochemicals GmbH, Düsseldorf, Németország), valamint Vulkanent E/C (Lanxess AG, Köln, Németország) típusú készletet. Ezekből az alábbi receptúrát állítottuk össze: 100 phr dGTR, 5 phr ZnO, 2 phr sztearinsav, 1,5 phr CBS, 1,5 phr kén, 2 phr Vulkanent E/C.

### 2.2. FELHASZNÁLT BERENDEZÉSEK, VIZSGÁLATI MÓDSZEREK 2.2.1. A DINAMIKUS VULKANIZÁCIÓ FOLYAMATA, PRÓBATESTEK ELŐÁLLÍTÁSA

A folyamat során belső keverővel készítettünk nyerskeveréket dGTR-alapon, majd ezt a nyerskeveréket a termoplasztikus fázissal együtt adagoltuk az ikercsigás extruderbe, ahol a megömléssel egy időben történt meg a gumifázis elosztatása és a térhálósodása. Az így elkészült kompaundból fröccsöntéssel állítottunk elő próbatesteket a vizsgálatok elvégzéséhez.

A dinamikus vulkanizációhoz alkalmazott nyerskeverékeket egy Brabender Lab-Station típusú (Brabender GmbH & Co. KG, Duisburg, Németország) belső keverővel állítottuk elő. A keveréshez a keverő Intermix (Mixer type 350 SX) keverő modulját alkalmaztuk, a keverés fordulatszáma 40 1/perc, a kamra hőmérséklete 50 °C volt.

A TDV-k kompaundálását egy LTE 26-44 típusú (Labtech Engineering Co., Ltd., Samutprakarn, Thaiföld) egyirányban forgó ikercsigás extruderrel végeztük 120 1/perc csigafordulatszámmal, 170 és 180 °C közötti emelkedő hőmérsékletprofillal.

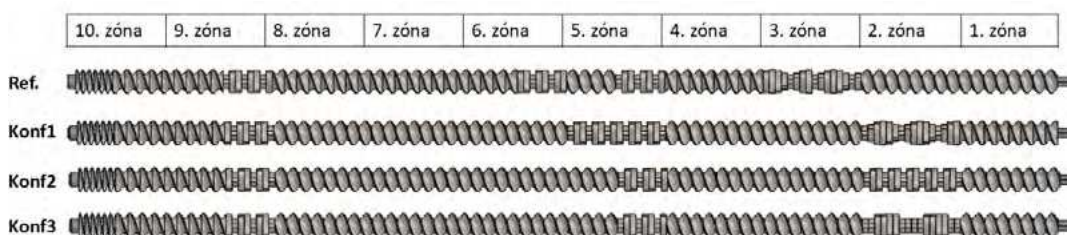
A fázisarány a következő volt: 40 m% PP, 60 m% dGTR keverék.

A referencia elkészítéséhez az általános, kompaundálásra szolgáló csigakonfigurációt használtuk (továbbiakban Ref.), amit az 1. ábra mutat. A kísérletsorozatban a csigaprofil hatását vizsgáltuk. Ehhez a konfigurációhoz képest módosított profilokat használtunk (1. ábra).

A kísérletek során vizsgáltuk az első nyírózónában elhelyezett nyíró elemek szöghelyzetét és számát. A szöghelyzet növekedésével a gyűrőblokk szállítóképessége csökken, a tartózkodási idő nő. A kidolgozott pontos konfigurációk a következők voltak:

- Konf1: 30°-os nyíróelemek
- Konf2: 60°-os nyíróelemek
- Konf3: Duplázott 60°-os nyíróelemek

A mechanikai vizsgálatokhoz szükséges próbatestek előállításához egy Arburg Allrounder Advance 270S 400-170 (Arburg



◀ 1. ábra: Az alkalmazott csigakonfigurációk

GmbH, Lossburg, Németország) fröccsöntő gépet használtunk, kettőslapát (piskóta) és 2 mm vastag lapka próbatesteket állítottunk elő 190 °C-on.

## 2.2.2. VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

A szakítóvizsgálatokat egy Zwick Z005 típusú (Zwick, Ulm, Németország) szakítógépen végeztük el. A gumi minták esetén az alkalmazott szakítási sebesség 500 mm/perc, a termoplasztikus minták esetén 100 mm/perc volt. A vizsgálatok eredményeképp a szakítószilárdságot, a szakadási nyúlást és a húrmoduluszt (0,05% és 0,25% relatív megnyúláshoz tartozó feszültség értékek) határoztuk meg.

Az ejtődárdás mérést egy Ceast Fractovis 9350 típusú (Instron/Ceast, Torino, Olaszország) ejtődárdás gépen 20 mm átmérőjű félgömb végződésű, 4,5 kN-os dárdával végeztük, 19,4 kg tömeg alkalmazásával. Az alkalmazott ejtési magasság 1 m volt. A vizsgálatból származó eredmények a perforációs energia ( $E_p$ ) és a duktilitási index (DI), amelyek az (1) és (2) összefüggések segítségével számíthatók:

$$E_p = \frac{E_{total}}{a} \quad (1)$$

$$DI = \frac{(E_{total} - E_{F_{max}})}{E_{total}} \cdot 100 \quad (2)$$

ahol  $E_p$  a perforációs energia (J/mm),  $E_{total}$  az erőmaximumhoz képest 100%-os visszaeséshez tartozó energia (J),  $a$  a lapok vastagsága (mm),  $DI$  a duktilitási index (%), ami a tönkremenetel szívósságára utaló érték,  $E_{F_{max}}$  pedig az erőmaximumhoz tartozó energia értéke (J).

Az optikai mikroszkóppal vizsgált mintákat egy LaboPol-5 típusú (Struers A/S, Koppenhága, Dánia) polírozógéppel készítettük elő a gyártó által javasolt polírozási programmal. A vizsgálat célja az volt, hogy a különböző mintákról olyan felvételeket készítsünk, amin szemléltethető az elasztomer fázis szemcsemérete és eloszlottsága. A polírozott mintákat egy Keyence VHX-5000 típusú (Keyence Corporation, Oszaka, Japán) optikai mikroszkóp segítségével vizsgáltuk. A felvételek készítéséhez a mikroszkóphoz tartozó VH-Z100UT VH optikát alkalmaztuk, amely 100- és 1000-szeres nagyításra képes. A szemcseméret eloszlás meghatározásához az ImageJ képfeldolgozó szoftvert használtuk, amivel egy mintában látható 100 jellemző gumiszemcse méretét mértük le és ábrázoltuk hisztogramban.

A koptatóvizsgálathoz a Microvision Engineering Pvt. Ltd. (Rai Sonepat, India) által gyártott forgódobos koptatógépet használtuk, amelynek koptatási útja 40 m. A vizsgálathoz a fröccsöntött lap próbatestekből 14 mm átmérőjű, kör alakú próbatesteket vágtunk ki. A próbatesteket a forgó dobra helyeztük, amelynek abrazív szemcsés felülete a forgatás hatására, súrlódás révén koptatta a próbatesteket. Lemértük a minták tömegét a koptatás előtt, majd meghatároztuk a minták tömegcsökkenését a koptatások után. A minták tömegvesztését a (3) összefüggés segítségével számoltuk:

$$\Delta m = 1 - \frac{m_{minta,ke}}{m_{minta,ke} - (m_{minta,mt,ke} - m_{minta,mt,ku})} \cdot 100\% \quad (3)$$

ahol  $m_{minta,ke}$  a minta koptatás előtti tömege,  $m_{minta,mt,ke}$  a minta és a mintatartó együttes tömege a koptatás előtt,  $m_{minta,mt,ku}$  a minta és a mintatartó együttes tömege a koptatás után,  $\Delta m$  a minta tömegváltozása százalékban kifejezve.

A mérési eredmények statisztikai értékeléséhez ANOVA próbákat alkalmaztunk.

## 3. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

### 3.1. VULKANIZÁCIÓS KINETIKA

A csigakonfigurációk vizsgálata során arra törekedtünk, hogy egy olyan nyírásprofilat valósítsunk meg, ahol a gumiszemcsék eloszlása minél hamarabb, még a beégési idő előtt megtörténik. Ehhez első körben a nyerskeverék vulkanizációs kinetikáját kell elemezni, a regisztrált vulkanizációs görbét mutatja a 2. ábra. Ezen jól látható, hogy a késleltető alkalmazásával kis mértékben el lehet tolni a vulkanizációs görbét az időben, így megnövelve az indukciós szakaszt. A késleltető hatására a beégési idő (az az idő, ami után a nyerskeveréket már nem lehet alakítani) 30-ról 40 s-ra növekedett, illetve láthatóan a görbe meredeksége is csökkent, ami a vulkanizációs folyamat lassulására utal.

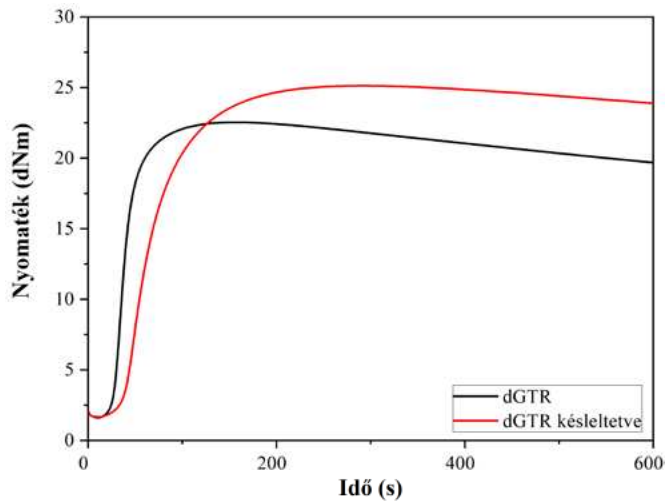
A csigakonfigurációk megtervezésénél az volt a fő szempontunk, hogy a gumiszemcsék eloszlása még a beégési idő előtt megtörténjen. A vulkanizációs görbék által meghatározott érték alapján az első nyírózónát előre hoztuk a 2. zónába, valamint kialakítottunk egy második nyírózónát az 5. zónában. Ennek az oka az volt, hogy a tartózkodási idő a dinamikus vulkanizáció során 2 perc volt, és ha erős közelítésként feltételezzük, hogy a zónákban közel azonos időt tölt el, akkor a beégési idő a 4. zónában jön el. Ezután hagyományosan az mondható, hogy a nyerskeverék már nem alakítható, azonban egy nyírózóna még feltételezésünk szerint valamennyire képes lehet a gumiszemcsék homogenitását javítani.

Feltevésünk szerint az első nyírózónában történik meg a térhálósodó szemcsék eloszlása a beégési idő előtt, így az itteni szakasz hatásának vizsgálatára szűkítettük le a vizsgálatunkat. Ezek alapján 3 konfigurációt alakítottunk ki a 2. zónában elhelyezkedő nyíróelemek szöghelyzetét és számát változtatva:

- Konf1: 30°-os nyíróelemek
- Konf2: 60°-os nyíróelemek
- Konf3: Duplázott 60°-os nyíróelemek (kettő-kettő azonos szögállású elem)

### 3.2. MORFOLÓGIA

A fénymikroszkópi képeken (3. ábra) és a szemcseméret eloszlás diagramon (4. ábra) látható, hogy a referenciához képest a nyírózónák garat felé történő mozgatásával a szemcsék mérete jelentősen csökkent, a jellemző méret 60 µm alatt van. Ez igazolja azt a feltevést, hogy a nyírózónák beégési idő elé helyezése valóban képes az eloszlást javítani, viszont a dGTR-ben alaptól megtalálható nagyobb, éles határral rendelkező szemcsék (visszamaradó, részben devulkanizált szemcsék) itt is megtalálhatók, ezeket elszagatni nem sikerült. Mivel a dGTR és a PP eredendően nem kompatibilisek egymással, így a szemcseméret csökkentésével lehet a mechanikai jellemzők javulását elérni.



◁ 2. ábra: A csigakonfigurációk vizsgálatához használt nyerskeverék vulkanizációs görbéje

▽ 3. ábra: Jellemző fénymikroszkópi képek a TDV-kről és a dGTR-ről



Referencia



Konf1



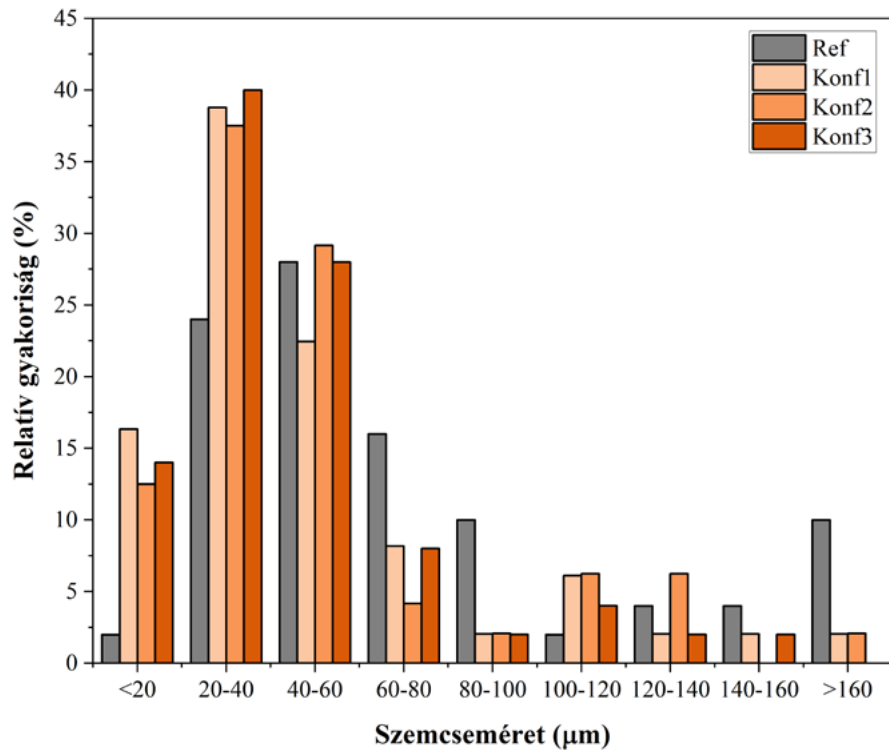
Konf2



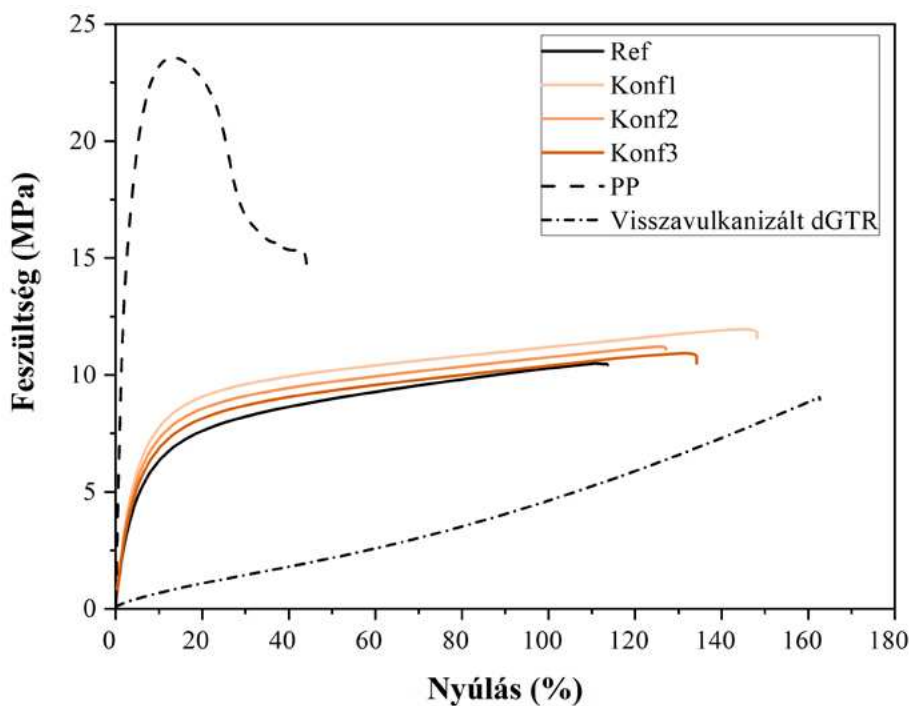
Konf3



dGTR



◁ 4. ábra: Az egyes TDV-k szemcseméreteinek eloszlása



◁ 5. ábra: Az egyes TDV-k-re jellemző szakítógörbék

1. táblázat: A szakítóvizsgálatok eredményei

Minta	Rugalmasági modulusz [MPa]	Szakítószilárdság [MPa]	Szakadási nyúlás [%]
Referencia	1447 ± 8,2	10,6 ± 0,2	111,7 ± 7,8
Konf1	177,2 ± 6,0	11,8 ± 0,4	149,5 ± 12,6
Konf2	168,3 ± 4,3	11,1 ± 0,1	129,3 ± 2,0
Konf3	163,9 ± 7,6	10,8 ± 0,2	133,9 ± 3,3
PP	931,5 ± 17,6	14,9 ± 0,3	46,6 ± 2,2
Visszavulkanizált dGTR	-	9,1 ± 0,2	162,1 ± 3,0

A legkisebb szemcséket az első konfiguráció esetén tapasztaltuk, aminek a hátterében a 30°-os csigaelemek által megvalósított disztributív keverés állhat, valamint a rövidebb tartózkodási idő miatt kevésbé volt jellemző a dGTR gyors visszavulkanizálása. Ezzel ellentétben a 60°-os elemek (Konf2) bár intenzívebb nyírást képesek kifejtetni az anyagra, a tartózkodási időt is megnövelik, így a korai vulkanizálást is elősegítik. Emellett a nyírás növekedése helyileg előidézhetett túlmelegedést is, ami tovább gyorsította a vulkanizációt. A csigaelemek duplázása (Konf3) láthatóan képes csökkenteni a szemcseméretet, mivel a keverőelemek vastagsága arányos a kifejtett nyírással.

### 3.3. SZAKÍTÓVIZSGÁLAT

A szakítóvizsgálat eredményei (5. ábra, 1. táblázat) igazolják a mikroszkópi vizsgálatoknál látott tendenciát, miszerint a nyírózónák előre mozgatása jelentősen növeli az anyag szakadási nyúlását a jobb elosztatottság miatt. Az itt tapasztalt különbségek statisztikai próbák alapján szignifikánsak.

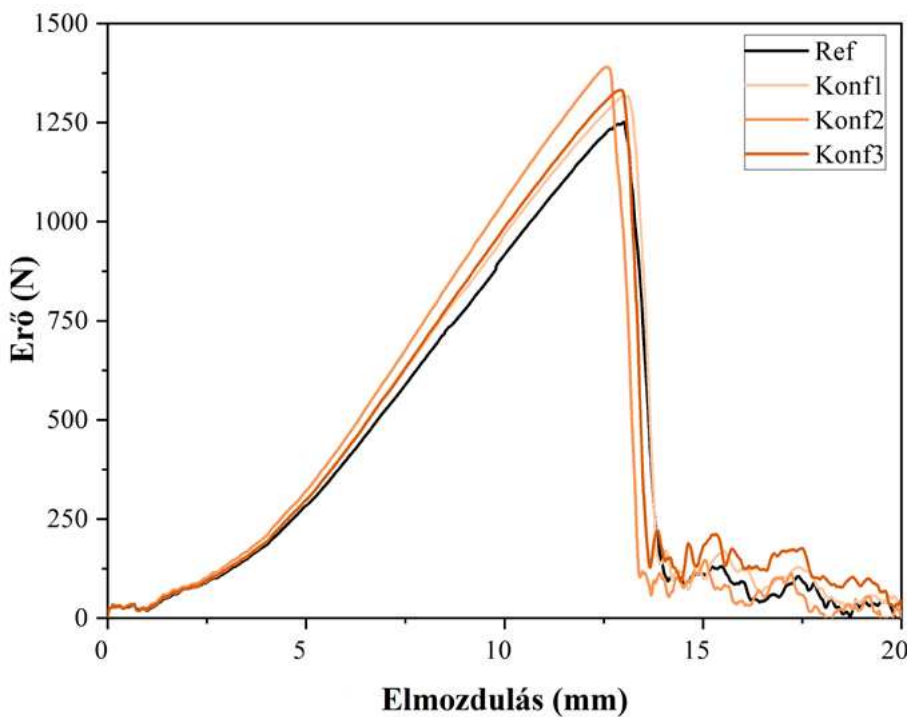
A három konfiguráció vizsgálatokor is látszik a morfológiai szerkezet hatása: a legjobb elosztatottságot az első konfiguráció biztosította, míg az is megfigyelhető, hogy a keverőelemek hosszának növelése a nagyobb nyírás következtében nagyobb szakadási nyúlást képes biztosítani.

### 3.4. EJTŐDÁRDÁS VIZSGÁLAT

Az ejtődárdás vizsgálat eredményei alapján (6. ábra, 2. táblázat) egyértelmű következtetés nem vonható le a konfigurációk hatására nézve, viszont az eredmények szórása láthatóan csökkent a nyírózónák előrébb hozásával a jobb homogenitás miatt. Emellett a görbék alakjában fedezhető fel némi változás: a maximális erők minden esetben nőttek a konfiguráció változtatásának hatására, bár ez a növekmény nem mondható jelentősnek.

### 3.5. KOPÁSÁLLÓSÁG

A kopásállóság vizsgálatának eredményeiből (3. táblázat) megfigyelhető, hogy minden konfiguráció esetében sikerült növelni a kopásállóságot a referencia minta kopásállóságához képest. Ez feltételezésünk szerint annak köszönhető, hogy a gumidarabok az új konfigurációk esetében kisebbek, illetve jobb eloszlásúak, így a levált gumiszemcsék tömege kisebb a referenciához képest. A három konfigurációra jellemző értékek közel azonosak, azonban a szórásokban némi különbséget lehet felfedezni, ami szintén visszavezethető a minták morfológiájára (3. ábra).



6. ábra: Az egyes TDV-kre jellemző erő-elmozdulás görbék

2. táblázat: Az ejtődárdás vizsgálatok eredményei

Minta	Perforációs energia [J/mm]	Duktilitási index [%]
Referencia	4,5 ± 1,3	13,9 ± 2,1
Konf1	4,2 ± 0,4	17,5 ± 1,6
Konf2	4,3 ± 0,7	17,6 ± 1,9
Konf3	4,2 ± 0,2	17,7 ± 1,8

3. táblázat: Az egyes konfigurációk koptatóvizsgálat miatti tömegváltozásai

Minta	Tömegvesztés [%]
Referencia	22,78 ± 2,24
Konf1	20,22 ± 0,78
Konf2	20,02 ± 1,27
Konf3	20,21 ± 0,83

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során vizsgáltuk a csigakonfiguráció hatását a devulcanizált abroncs gumiőrlet és polipropilén felhasználásával készült termoplasztikus dinamikus vulkanizátumok mechanikai és morfológiai tulajdonságaira. Kimutattuk, hogy a nyírózónák garat felé mozgatásával csökkenthető a jellemző szemcseméret, és ezzel együtt a főbb mechanikai tulajdonságok javíthatók. A legkisebb méretű szemcséket és a legjobb minőségű TDV-eket a 30°-os elemekkel értük el a disztributív keverés és a kismértékben növelt tartózkodási idő miatt. A 60°-os elemek valamelyest rontották a tulajdonságokat, mivel helyileg megnőtt a tartózkodási idő, így az elővulkanizálás esélye is. Az elemek duplázásával a tulajdonságok javulását tapasztaltuk a növelt nyírás hatására.

### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*A KDP-IKT-2023-900-11-00000957/0000003 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a KDP-2023 pályázati program finanszírozásában valósult meg.*

### IRODALOMJEGYZÉK

- [ 1 ] Fazli, A.; Rodrigue, D.: Recycling waste tires into ground tire rubber (GTR)/rubber compounds: A review. *Journal of Composites Science*, 4, 103 (2020).
- [ 2 ] Abbas-Abadi, M. S.; Kusenber, M.; Shirazi, H. M.; Goshayeshi, B.; Van Geem, K. M.: Towards full recyclability of end-of-life tires: Challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 374, 134036 (2022).
- [ 3 ] Pegoretti, A.: Material circularity in rubber products. *Express Polymer Letters*, 17, 352-352 (2023).
- [ 4 ] Simon, D. Á.; Bárány, T.: Effective thermomechanical devulcanization of ground tire rubber with a co-rotating twin-screw extruder. *Polymer Degradation and Stability*, 190, 109626 (2021).
- [ 5 ] Molanorouzi, M.; Mohaved, S. O.: Reclaiming waste tire rubber by an irradiation technique. *Polymer Degradation and Stability*, 128, 115-125 (2016).
- [ 6 ] Saputra, R.; Walvekar, R.; Khalid, M.; Mubarak, N. M.; Sillanpää, M.: Current progress in waste tire rubber devulcanization. *Chemosphere*, 265, 129033 (2021).
- [ 7 ] Simon, D. Á.; Bárány, T.: Microwave devulcanization of ground tire rubber and its improved utilization in natural rubber compounds. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 11, 1797-1808 (2023).
- [ 8 ] Simon, D. Á.; Pirityi, D. Z.; Bárány, T.: Devulcanization of ground tire rubber: microwave and thermomechanical approaches. *Scientific Reports*, 10, 16587 (2020).
- [ 9 ] Wisniewska, P.; Wang, S. F.; Formela, K.: Waste tire rubber devulcanization technologies: State-of-the-art, limitations and future perspectives. *Waste Management*, 150, 174-184 (2022).
- [ 10 ] Görbe, Á.; Kohári, A.; Bárány, T.: Rubber compounds from

devulcanized ground tire rubber: recipe formulation and characterization. *Polymers*, 16, 455 (2024).

- [ 11 ] Kiss, L.; Simon, D. Á.; Petrény, R.; Kocsis, D.; Bárány, T.; Mészáros, L.: Ground tire rubber filled low-density polyethylene: The effect of particle size. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 5, 12-17 (2022).
- [ 12 ] Kohári, A.; Bárány, T.: Sustainable thermoplastic elastomers based on thermoplastic polyurethane and ground tire rubber. *Journal of Applied Polymer Science*, 141, e56157 (2024).
- [ 13 ] ASTM D883-25: Standard terminology relating to plastics, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA (2025).
- [ 14 ] Kohári, A.; Bárány, T.: Development of thermoplastic vulcanizates based on in situ synthesized thermoplastic polyurethane and acrylonitrile-butadiene rubber: the influence of the curing system. *Journal of Polymer Research*, 29, 361 (2022).
- [ 15 ] Ning, N.; Li, S.; Wu, H.; Tian, H.; Yao, P.; Hu, G.-H.; Tian, M.; Zhang, L.: Preparation, microstructure, and microstructure-properties relationship of thermoplastic vulcanizates (TPVs): A review. *Progress in Polymer Science*, 79, 61-97 (2018).
- [ 16 ] Kaesaman, A.; Lamleah, S.; Nakason, C.: Influence of vulcanization system on curing, mechanical, dynamic and morphological properties of maleated natural rubber and its thermoplastic vulcanizate with thermoplastic copolyester elastomer. *Express Polymer Letters*, 17, 675-689 (2023).

A POLIMEREK szakmai folyóiratot a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya hazai, lektorált tudományos folyóiratnak fogadja el, a Magyar Tudományos Művek Tárában (MTMT) is magyar nyelvű, lektorált folyóiratként van nyilvántartva.

**Ezt jelzi Lektorált tudományos közlemények rovatunk, amelyben az egyetemektől és tudományos kutatóintézetektől kapott tudományos cikkeket a nemzetközi elvárásoknak megfelelően, a Tudományos Szerkesztőbizottságunk (egyetemi tanárok, MTA doktorok) lektorálása után közöljük.**

A tudományos cikkeknek külön jelölve van a rovatcímében, hogy *Lektorált tudományos közlemény*, ezek felépítése megfelel a szigorú nemzetközi normáknak, a magyar mellett angol nyelvű absztrakt foglalja össze az eredményeket, a cikk bevezetése tartalmazza a tudomány jelenlegi állását megfelelően alátámasztva hivatkozásokkal. A következő részben modern eszközökkel és módszerekkel elért eredményeket mutatják be a szerzők, az összefoglalás pedig rendszerezi a cikk eredményeit. A cikkek végén a köszönetnyilvánítás és az egyetemes irodalmi hivatkozás szerepel. Mindezek alapján valósulhatott meg, hogy a POLIMEREK az MTMT-ben lektoráltként szerepel mind a PhD, mind az MTA doktori eljárásokban – elismert és elfogadott folyóiratként.