

PIRITYI DÁVID ZOLTÁN<sup>1</sup>, PÖLÖSKEI KORNÉL<sup>1</sup>

# EPDM GUMI ÚJRAHASZNOSÍTÁSA EXTRÚZIÓS DEVULKANIZÁCIÓ ÚTJÁN

## EDPM GUMI ÚJRAHASZNOSÍTÁSA EXTRÚZIÓS DEVULKANIZÁCIÓ ÚTJÁN

Kutatásunk során etilén-propilén-dién-monomer (EPDM) gumit hasznosítottunk újra. Ikercsigás extruderen különböző hőmérsékletek és csigafordulatszámok mellett devulkanizáltuk a gumit, majd Horikx-analízissel vizsgáltuk a módszer sikerességét. Ezt követően a devulkanizált gumiporhoz vulkanizálószeret adtunk és újrahaznosított gumilapokat állítottunk elő. Megállapítottuk, hogy még 100%-os devulkanizátum tartalom mellett is műszaki célokra alkalmas elasztikus viselkedést érhetünk el megfelelő devulkanizációs körülmények esetén.

During our research, we recycled an ethylene-propylene diene monomer (EPDM) rubber product of unknown composition. We first devulcanised the rubber in a twin-screw extruder at various temperatures and screw speeds, then applied Horikx's analysis to determine the effectiveness of the method. Subsequently, we added curing agents to the devulcanised rubber powder and prepared recycled rubber sheets. We found that with the appropriate devulcanisation conditions we can produce rubber sheets with adequate elastic behaviour even at 100% recycled content.

### 1. BEVEZETÉS

A gumihulladékok kezelése még napjainkban is komoly problémát okoz mind környezetvédelmi, mind gazdasági szempontokból. Míg a hőre lágyuló polimerek esetén a hagyományos feldolgozási technikák (pl. extrúzió) széles körben alkalmazhatók hulladékok újrahaznosítására is, sajnos a gumik esetén korlátozottan működnek. A ritkán térhálós szerkezetük miatt alkalmasak a gumik olyan műszaki feladatokra, amelyekhez nagy mértékű elasztikus alakváltozás vagy jó csillapítóképeség szükséges. Éppen ez a ritkán térhálós molekulaszervezet nem teszi lehetővé a hagyományos hőre lágyuló polimerek feldolgozása

során alkalmazott technológiák hatékony használatát [1].

Az etilén-propilén-dién monomer (EPDM) gumi az egyik legelterjedtebb szintetikus elasztomer a piacon, éves felhasználása kb. 1,5 millió tonna. Ennek a mennyiségnek jelentős része viszonylag egyszerűen begyűjthető, hiszen a felhasználás nagy része az építő- és autópárhazban realizálódik. Ennek ellenére a hulladékkezelés jelenleg az égetésben és a darálásban merül ki, vagyis az EU hulladékpiramisában az energetikai hasznosítás vagy a jelentős értékcsökkenéssel járó, anyagában történő újrahaznosítás a status quo. A gumi anyagában történő, értékcsökkenés nélküli újrahaznosításának elméleti módszere a devulkanizáció. A folyamat során a vulkanizálással kialakított kovalens térhálókötéseket szelektíven lebontjuk. Ezáltal a polimerláncokat a vulkanizálás előtti állapotban kapjuk vissza, kvázi a nyers kaucsukkeveréknek megfelelően. Ezt a devulkanizátumot újrahaznosítva kaphatunk az eredeti gumitermékkel megegyező minőségű szekunder terméket [2, 3].

Számos devulkanizációs eljárást fejlesztettek már ki az elmúlt években, évtizedekben. Ezen módszerek értékelésekor fontos szempont, hogy a térhálókötések mekkora részét sikerült felbontani, valamint, hogy a polimerláncok mennyire sérültek. Erre a célra dolgozott ki Horikx egy módszert, amely során a gumi térhálósűrűsége és oldható anyag tartalma közötti összefüggések alapján lehet értékelni a devulkanizáció sikerességét. Két határgörbét hozott létre: a) a tökéletes devulkanizációét, b) a véletlenszerű polimerlánc szakadásokét. Ezeket a görbéket egy olyan koordinátarendszerben ábrázolta, ahol az x-tengelyen a gumi térhálósűrűség csökkenése található, míg az y-tengelyen a gumi oldható anyag tartalma. Egy devulkanizátum értékelése során a hozzá tartozó pont elhelyezkedését a korábban felvázolt határgörbékhez viszonyítjuk, és így tudjuk meghatározni, hogy milyen mértékű devulkanizáció és polimer degradáció zajlott le a folyamat során [4].

A Horikx-módszer alapján értékelve, érdekes megfigyeléseket tehetünk a legelterjedtebb devulkanizációs eljárásokkal kapcsolatban. A mikrobiológiai devulkanizáció során kemolitotróf baktériumok a gumi felületének közelében található kéntartalmat

oxidálják. A folyamat során csupán kb. 5-10%-kal csökken a gumi térháló-sűrűsége, miközben a polimerláncok tökéletesen épek maradnak. A folyamat szelektivitása 100%-os, de az alacsony reakciósebesség és konverzió miatt csak korlátozottan használható az iparban, elsősorban gumidaralék felületkezelésre [5].

Mikrohullámú devulkanizáció során a gumihulladék mikrohullámok hatására felmelegszik. Ezen a magasabb energiaszinten, megfelelő mikrohullámú frekvencia megválasztásával a térhálókötéseket kialakító ként tartalmazó kovalens kötések bizonyos mértékig szelektíven bonthatók. Azonban a folyamat során jelentős mellékfolyamat a polimerláncok random felszakadása is. Akár a gumi 70-90%-os térháló-sűrűség csökkenése is elérhető. A Horikx-módszer alapján ez a csökkenés azonban elsősorban a láncszakadásból következik [6].

A kémiai, illetve termokémiai devulkanizáció során bizonyos vegyszereket oszlatnak el a gumimátrixban, majd megfelelő hőmérsékleten és nyomáson bontják le a kéntartalmú kovalens kötések. Ez a módszer szintén közel 100%-os szelektivitással rendelkezik, és akár 60% körüli konverziót is el lehet érni vele. Azonban a legtöbb esetben a vegyszerek a gumi szerves oldószerben történő duzzasztása során jutnak be a mátrixba. Ezt követően mind az oldószert, mind a vegyszer maradvékát el kell távolítani a devulkanizátumból további feldolgozás előtt, ami rendkívül megrálgítja a folyamatot [7].

A legszélesebb körben kutatott devulkanizációs eljárás a termomechanikai kezelés. Ilyenkor magas hőmérsékleten nyíróerőknek teszik ki a gumihulladékot. Ez történhet hagyományos gumifeldolgozó berendezéseken (például belső keverőben vagy hengerekben) vagy extruderben. Molekuláris szinten a nyírás hatására a szén-szén, kén-szén, illetve kén-kén kötések eltérő arányban nyúlnak meg, így lehetséges a térhálókötések szelektív bontása. A legjobb szakirodalmi eredmények alapján akár 90%-os térháló-sűrűség csökkenés is elérhető elhanyagolható láncnövekedés mellett [8].

A devulkanizáció során alapvetően a gumi nyerskeverékhez hasonló alapanyagot hozunk létre. A gumi újrahaznosítása viszont a devulkanizátum felhasználásával fejeződik be. A devulkanizátumot sok esetben primer nyerskeverékhez adják bizonyos arányban, így részben újrahaznosított gumitermékeket gyártanak. A másik legelterjedtebb felhasználás pedig a termoplasztikus dinamikus vulkanizátumok gyártása, amelyek során vulkanizálószerrel és termoplasztikus polimerekkel társítják a devulkanizátumot. A szakirodalomban egyelőre csak elvétve találunk példát valódi, 100%-os újrahaznosításra, amikor társítás nélkül vulkanizálják újra a devulkanizált gumit. Ennek a legfőbb oka az, hogy a legtöbb esetben rosszak az így kapott termékek mechanikai tulajdonságai [9].

Ebben a kutatásban azt vizsgáljuk, hogy valódi, ipari forrásból származó EPDM gumit milyen hatékonysággal tudunk ikercsigás extruder segítségével devulkanizálni. Az extruder alkalmazása azért előnyös, mert folyamatos üzemben, nagy kihozattal lehet vele újrahaznosítani a gumit. A kísérletek során az extrudercsigák forgási sebességét és az extruder hőmérséklet-profilját változtattuk, így ezen paraméterek újrahaznosításra gyakorolt hatásait is feltárjuk. A devulkanizátumokhoz vulkanizálószerkeket kevertünk, majd az így előállított keverékekből 100%-ban újrahaznosított gumilapokat készítettünk. A gumilapok mechanikai tulajdonságait az eredeti gumi tulajdonságaival összehasonlítva értékelhető a devulkanizáció sikeressége.

### 2. FELHASZNÁLT ANYAGOK

A kutatás során EPDM alapú, a Tauril Kft. által gyártott vulkanizált gumikeveréket használtunk, amely receptúrája az 1. táblázatban található. A termék kis átmérőjű, cső alakú geometriájának köszönhetően alkalmas volt mind a mechanikai vizsgálatok elvégzésére, mind az egyszerű extruderbe történő adagolásra. A gumitermék sűrűsége 0,854 g/cm<sup>3</sup>. Anyagvizsgálatainkhoz toluolt használtunk oldószerként, amelyet a Reanal Zrt. biztosított.

1. táblázat: A felhasznált EPDM gumikeverék receptúrája

Összetevő	Mennyiség [phr]
EPDM kaucsuk	100
Korom	190
Lágyító	100
Egyéb (feldolgozási segítő adalékok, antioxidáns, kénes vulkanizálórendszer)	25
<b>Összesen</b>	<b>415</b>

Az újrahaznosítási kísérletekhez a 2. táblázatban található receptúra szerint állítottuk elő a gumikeverékeket. A vulkanizáláshoz szükséges adalékokat (cink-oxid, sztearinsav, tetrametil-tiurám-diszulfid, merkaptobenzotiazol, kén) a Tauril Kft. szolgáltatta.

2. táblázat: A felhasznált EPDM gumikeverék hozzávetőleges receptúrája

Összetevő	Mennyiség [phr]
Devulkanizátum	415
Cink-oxid	4
Sztearinsav	1
Tetrametil-tiurám-diszulfid (TMTD)	0,8
Merkaptobenzotiazol (MBT)	1,5
Kén	1
<b>Összesen</b>	<b>423,3</b>

### 3. EPDM GUMI DEVULKANIZÁCIÓJA

A rendelkezésre álló gumicsövet egy Labtech LTE 26-44 típusú ikercsigás extruderrel dolgoztuk fel. Kétféle hőmérsékletprofil alkalmaztunk: a) 80-100 °C között emelkedő és b) 160-180 °C között emelkedő. Három különböző csiga fordulatszámot alkalmaztunk: 10, 60 és 120 1/perc. Az így kapott minták elnevezéseit a 3. táblázatban foglaltuk össze.

3. táblázat: A devulkanizáció paraméterei, devulkanizátumok elnevezése

Minta elnevezése	Szerszám hőmérséklete [°C]	Csiga fordulatszáma [1/perc]
dEPDM_100/10	100	10
dEPDM_100/60	100	60
dEPDM_100/120	100	120
dEPDM_180/10	180	10
dEPDM_180/60	180	60
dEPDM_180/120	180	120

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

## 4. ÚJRAHASZNOSÍTOTT GUMI ELŐÁLLÍTÁSA

A devulkanizátumokhoz Brabender Plasti-Corder típusú belső keverőben adagoltuk a szükséges vegyszereket a 2. táblázatban bemutatott receptúrának megfelelően. A keverékkészítés 50 cm<sup>3</sup>-s kamrában, tangenciális rotorokkal, 70 °C-os kezdeti kamrahőmérsékleten, 60 1/perces fordulatszám mellett 15 perces ciklusidővel történt.

Az így létrehozott gumikeverékeket egy Collin Teach-Line Platen Press 200E típusú prés segítségével vulkanizáltuk 160 °C-on, 2,8 MPa-os zárónyomással minden esetben t<sub>90</sub>-ig. Az előállított gumilapokból golyósprés segítségével munkáltuk ki a mechanikai vizsgálatokhoz szükséges próbatesteket. Az előállított minták elnevezései a 3. táblázatban bemutatott nevezéktannak felelnek meg azzal a különbséggel, hogy a devulkanizációt jelölő 'd' betű helyett a revulkanizációt jelölő 'r' betű került. Fontos kiegészítés, hogy csak a Horikx-módszer alapján legígéretesebbnek tűnő devulkanizátumokat vulkanizáltuk újra. Továbbá létrehoztunk egy hozzáadott vulkanizálószeret nem tartalmazó revulkanizátumot is. Az összehasonlítás alapját minden esetben a kiindulási referencia gumicső tulajdonságai adták. Ez alapján a 4. táblázatban található gumiminták mechanikai vizsgálatát végeztük el.

4. táblázat: Az összehasonlított (re)vulkanizátumok

Minta elnevezése	Minta leírása
referencia	A kiindulási gumicső
rEPDM_100/10	dEPDM_100/10-ből, vulkanizálószerekkel adagolva
rEPDM_100/120	dEPDM_100/120-ből, vulkanizálószerekkel adagolva
rEPDM_180/10	dEPDM_180/10-ből, vulkanizálószerekkel adagolva
rEPDM_180/120	dEPDM_180/120-ből, vulkanizálószerekkel adagolva
rEPDM_180/120b	dEPDM_180/120-ből, vulkanizálószer nélkül

## 5. MÉRÉSI MÓDSZEREK

A kaucsukkeverékek optimális térfalósodási idejét (t<sub>90</sub>) egy MonTech D-RPA 3000 típusú reométer segítségével határoztuk meg izoterm körülmények között, 160 °C-on, 1,67 Hz-es frekvenciával, 1°-os amplitúdó mellett.

A devulkanizáció kiértékeléséhez szükséges vizsgálni a kiindulási gumi, valamint a devulkanizátumok sol-tartalmát, illetve térfalósűrűségét. A sol-tartalmat Soxhlet-extrakció segítségével határoztuk meg. A gumimintákat cellulóz mintatartókban toluol oldószerrel extraháltuk 24 órán keresztül, majd ezt követően 12 órán keresztül szárítottuk 80 °C-on. A kiszáritott minta és a kiindulási minta tömegének arányát 1-ből kivonva kapjuk meg a minta oldható hányadát. A térfalósűrűséget az ASTM D6814 szabvány szerint mértük meg. Az 1 g tömegű mintákat 72 órára toluolba helyeztük, majd az így megduzzadt minta tömegéből, illetve a később kiszáritott minta tömegéből határoztuk meg a térfalósűrűségét.

Mind a kiindulási gumicső, mind az újrahasznosított gumiminták mechanikai tulajdonságait megvizsgáltuk. Szakítóvizsgálatokat Zwick Z005 típusú szakítógéppel végeztünk az ISO 37:2017 szabványnak megfelelő 500 mm/min keresztfej sebességgel, 60 mm-es befogási hosszal. Továbbszakító vizsgálatokkal a mintára

jellemző repedésterjedést értékeltük az ISO 34-1:2015 szabvány alapján (Zwick Z005-ös szakítógépen 500 mm/min keresztfej sebesség és 56 mm befogási hossz mellett). Shore A keménységmérést Zwick H04.3150 típusú készülékkel végeztünk az ISO 48-4:2018 szabvány alapján.

A szakítóvizsgálatokat követően a próbatestek töretfelületéről JEOL JSM 6380LA típusú pásztázó elektronmikroszkóppal készítettünk felvételeket.

## 6. EREDMÉNYEK

A rendelkezésre álló gumicsövet egyenesen az extruder garatjába adagoltuk, a csiga forgása húzta be a csövet a berendezésbe. A nyomás és a motorterhelés minimalizálása érdekében leszereltük az extruder végéről a szerszámot, így egy lóversenypálya alakú nyíláson keresztül kaptuk meg a devulkanizált gumit.

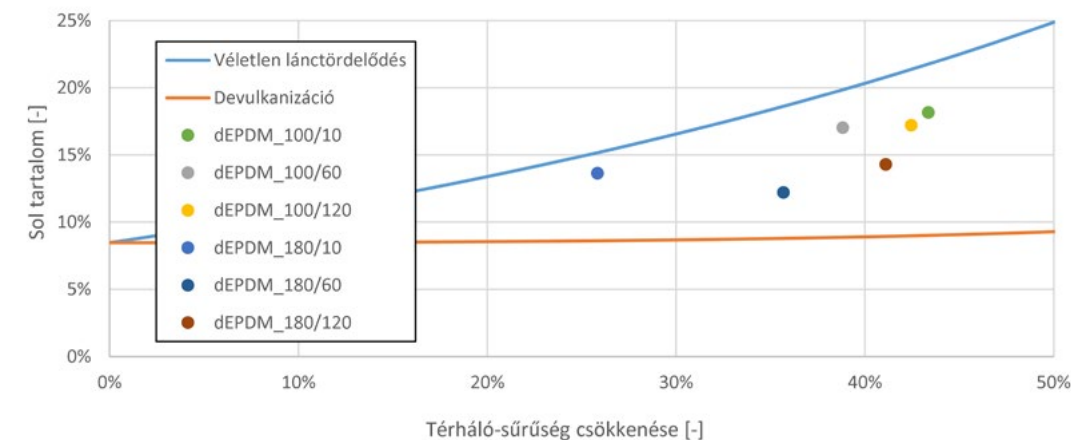
Lemértük a devulkanizátumok oldható anyag tartalmát és térfalósűrűségét. Az ebből kapott értékeket az 1. ábrán található Horikx-diagramon ábrázoltuk. Látható, hogy 100 °C-os devulkanizálási hőmérsékleten a csiga fordulatszámától függetlenül kb. 40%-kal tudtuk csökkenteni a gumi térfalósűrűségét, mindezt viszonylag magas (17-18%-os) sol tartalom mellett értük el, ami a gumi polimerláncainak tördelődésére utal, hiszen az adatpontok a felső határgörbéhez helyezkednek közelebb.

A devulkanizációt 180 °C-on is elvégeztük azonos csiga fordulatszámok mellett. Ebben az esetben alacsonyabb (12-14%-os) sol tartalmú devulkanizátumokat kaptunk. Azonban a korábbi 40%-os térfalósűrűség csökkenést csak a legmagasabb (120 1/perc) csiga fordulatszám mellett tudtuk elérni.

Ezeket a trendeket azzal lehet magyarázni, hogy 100 °C-on elsősorban a nyírás okozza az anyagszerkezeti változásokat, amelyet a fordulatszám és a tartózkodási idő befolyásolt elsősorban. Nagyobb fordulatszám mellett rövidebb a tartózkodási idő, ebből kifolyólag értünk el egymáshoz hasonló eredményeket 100 °C-on.

Ezzel szemben 180 °C-on már a hőmérséklet is jelentős devulkanizáló tényező. Továbbá azt is fontos megemlíteni, hogy magasabb hőmérsékleten alacsonyabb a gumi modulusza, így azonos nyírás nagyobb alakváltozást okoz. Ebből kifolyólag a legnagyobb csiga fordulatszám esetén a nagy alakváltozás segíthette leginkább a térfaló-kötések szelektív felbontását. Mindezen eredmények alapján kijelenthetjük, hogy a dEPDM\_180/120 elnevezésű minta a legígéretesebb újrahasznosítás szempontjából, hiszen alacsony sol tartalom mellett itt sikerült 40% fölötti devulkanizációs fokot elérni.

Amiatt, hogy a 60 1/perces fordulatszám mellett előállított devulkanizátumok köztes eredményeket hoztak, csak a másik 4 devulkanizátum újrahasznosítására (újrevulkanizálására) fókuszáltunk. A 2. ábrán a dEPDM\_100/10 mintához tartozó vulkanizációs görbéket mutatjuk be. A piros görbe a tiszta devulkanizátumhoz tartozik, míg a zöld görbe a 2. táblázat szerint előállított keverékhez. Látható, hogy a piros görbe egy kezdeti csökkenés után eléri egy platót, míg a zöld görbe egy, az y-tengely mentén megemelt hagyományos vulkanizációs görbére hasonlít. Ezek alapján kijelenthető, hogy a devulkanizátum önmagában nem képes új térfaló-kötések kialakítására, ehhez mindenképp szükséges további vulkanizálószer bekeverése. Ezt a megállapítást az is alátámasztja, hogy az rEPDM\_180/120b mintából összefüggő lapot nem tudtunk préseléssel előállítani. Az újrahasznosítás csak hozzáadott vulkanizálószer felhasználásával volt lehetséges.



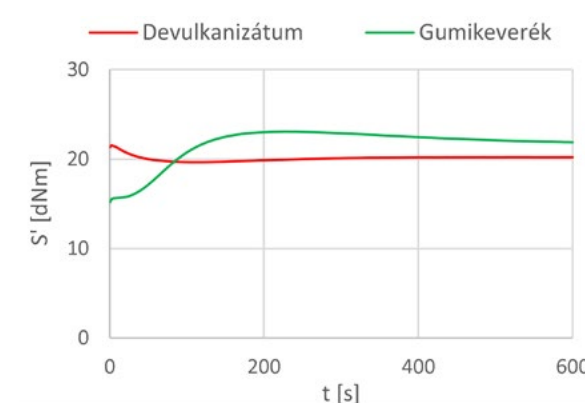
1. ábra: Összefoglaló Horikx-diagram az elvégzett devulkanizációs kísérletekről (az adatpontok számozása megegyezik a 2. táblázatnál használt sorszámmal)

A létrehozott, újrevulkanizált gumimintákon mechanikai méréseket végeztünk. Az így kapott értékeket összehasonlítottuk a kiindulási gumicső tulajdonságaival, ezáltal tudtuk meghatározni az újrahasznosítás sikerességét. A 3. ábrán az újrahasznosított gumiminták szakítószilárdságát ábrázoltuk. Látható, hogy a referencia 8 MPa körüli szilárdságát nem tudtuk megközelíteni. Továbbá az rEPDM\_180/10 minta esetén rendkívül alacsony, 1 MPa körüli értékeket mértünk, míg a vulkanizálószeret nem tartalmazó mintából nem is tudtunk próbatestet kimunkálni.

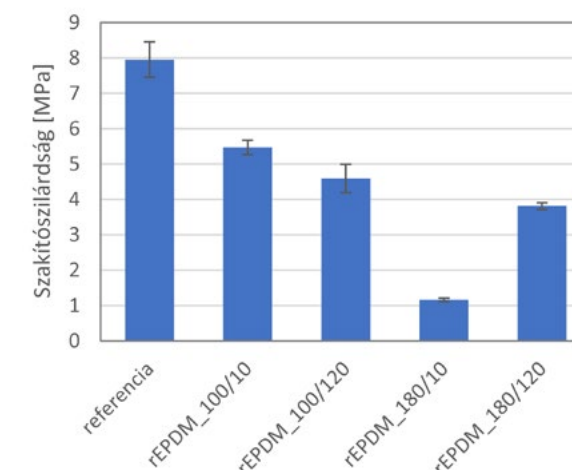
A 4. ábrán a minták szakadási nyúlását ábrázoltuk. Itt látható legelőször, hogy az újrahasznosítás során a gumi eredeti, elasztikus tulajdonságait nem tudtuk visszanyerni. Ettől

függetlenül az előállított revulkanizátumok közül az rEPDM\_100/10 jelű, az rEPDM\_100/120 jelű és az rEPDM\_180/120 jelű minta elasztomernek tekinthető, ugyanis nagymértékű, reverzibilis nyúlásra volt képes, a szakadási nyúlása meghaladta a 100%-ot.

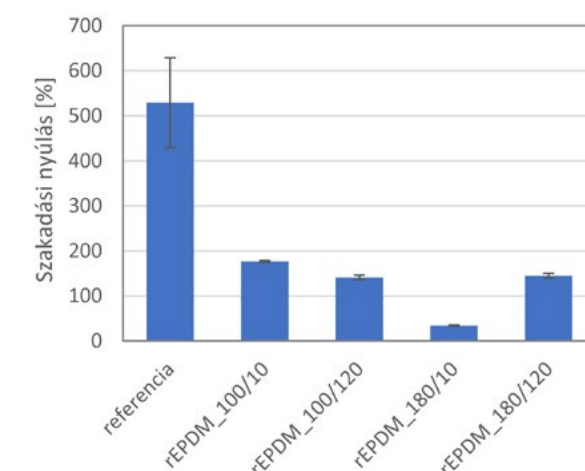
Az 5. ábrán az 50, 100, illetve 150%-os nyúlásnál mért feszültségértékeket ábrázoltuk. Az rEPDM\_180/10 és rEPDM\_180/120b minták szakadási nyúlása 50% alatt volt, így ezen minták esetén nem tudtuk meghatározni a húzófeszültség értékeit. A többi mintánál a húzófeszültség azonos nagyságrendben volt a referencia hozzátartozó értékével, bizonyos esetekben meghaladva azt. Vagyis az újrevulkanizálás segítségével elérhető a kiindulási



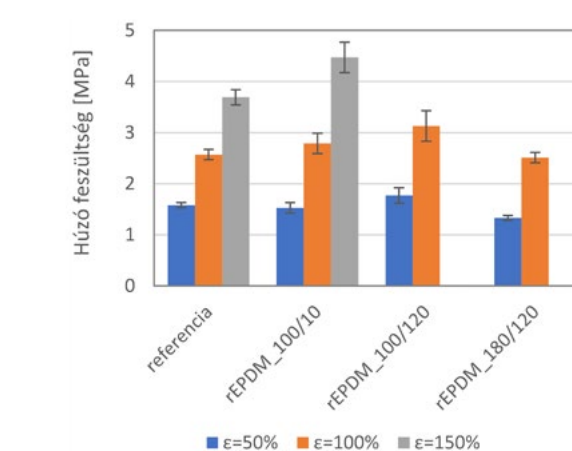
2. ábra: A dEPDM\_100/10 mintához tartozó vulkanizációs görbék: vulkanizálószerekkel (zöld görbe), vulkanizálószer nélkül (piros görbe)



3. ábra: Az újrevulkanizált gumiminták szakítószilárdsága

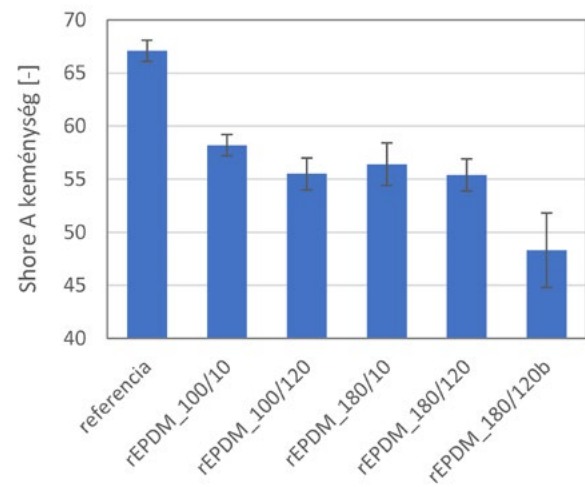


4. ábra: Az újrevulkanizált gumiminták szakadási nyúlása



5. ábra: Az újrevulkanizált gumiminták húzó feszültsége 50, 100 és 150%-os nyúlásnál



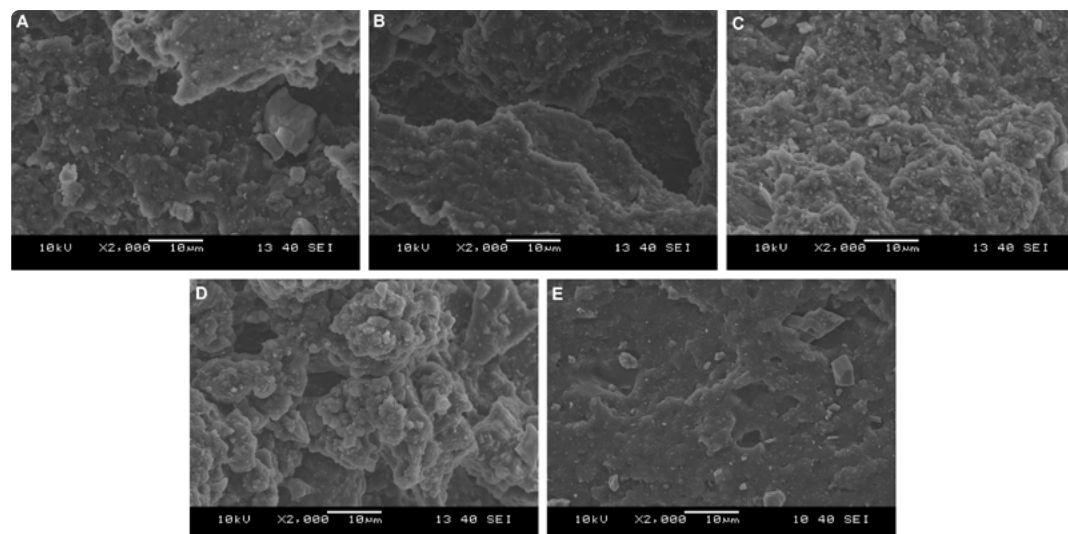


△ 6. ábra: Az újrvulkanizált gumiminták Shore A keménysége

primer gumi húzómodulusa.

A 6. ábrán az újrahaznosított minták Shore A keménysége látható. A referencia minta keménységét nem érték el az újrahaznosított minták keménységei. Kiemelendő, hogy a vulkanizálószer nem tartalmazó minta keménysége jelentősen alacsonyabb a vulkanizálószer tartalmazó mintáknál. Ebből arra következtethetünk, hogy a hozzáadott vegyszerek hatására kialakuló térháló-kötések növelik a gumi keménységét. A vulkanizátumok közül az rEPDM\_100/10 minta érte el a legnagyobb keménységet. Ugyanennek a mintának volt a legnagyobb a szakítószilárdsága és a szakadási nyúlása is, így a vizsgált devulkanizációs paraméterek mellett itt értünk el egy optimumot.

A 7. ábrán a vulkanizátumok szakítóvizsgálat utáni töretfelületei láthatók elektronmikroszkópi felvételeken. A referenciaminta töretfelülete meglehetősen sima, míg a többi minta felületén egyenetlenségek találhatók. Minél kevésbé összefüggő a felület, annál rosszabbnak lehet tekinteni az újrahaznosítást, hiszen annál kevésbé sikerült összefüggő gumimátrixot létrehozni. A morfológia teljes összhangban áll a mért mechanikai tulajdonságokkal, hiszen a referencia minta után a 100 °C-on devulkanizált újrahaznosított minták felületei a legsimábbak, és ezeknek a mintáknak voltak a legjobbak a mechanikai tulajdonságai is.



◁ 7. ábra: A vulkanizátumok töretfelületének pásztázó elektronmikroszkópi felvételei: A) rEPDM\_100/10, B) rEPDM\_100/120, C) rEPDM\_180/120, D) rEPDM\_180/120b, E) referencia

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen publikációnkban megvizsgáltuk egy EPDM gumi termomechanikai devulkanizációját ikercsigás extruderen. Eredményeink azt mutatják, hogy az extrúzió során valóban csökkenteni lehet a gumi térhálósűrűségét. Azonban azt is megfigyeltük, hogy a folyamat során a polimerlánc bizonyos mértékű degradációja elkerülhetetlen.

A devulkanizált gumit újrvulkanizáltuk. Bemutattuk, hogy hozzáadott vulkanizálószer nélkül lehetetlen az újrahaznosítás. Ezt követően összehasonlítottuk a különböző vulkanizált minták mechanikai tulajdonságait. A Horikx-módszer alapján a magasabb hőmérsékleten (180 °C-on) devulkanizált minták tűntek ígéretesebbnek. A vulkanizált minták közül a legjobb mechanikai tulajdonságokkal a 100 °C-on, 10 1/perces fordulatszám mellett extrudált minta rendelkezett. A minták morfológiája egyértelműen megmutatta, hogy akkor érhető el megfelelő mechanikai tulajdonságok, ha a devulkanizált gumi szemcsék az újrvulkanizálás során egymáshoz tudnak tapadni, ezáltal egy összefüggő mátrixot hoznak létre.

### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Isayev, A. I.: Recycling of rubbers, in 'Science and technology of rubber' (eds.: Mark, J. E.; Erman, B.; Roland, C. M.) Elsevier, Amsterdam, Vol 1, 697-764 (2013).
- [2] Roy, S. A.: Global demand for epdm (ethylene propylene diene monomer) is set to increase by 1,5 million tons by 2020, International Institute for Procurement & Market Research (2012).
- [3] Movahed, S. O.; Ansarifard, A.; Estagy, S.: A review of the reclaiming of rubber waste and recent work on the recycling of ethylene-propylene-diene rubber waste, Rubber Chemistry and Technology, 89, 54-78 (2016).
- [4] Horikx, M. M.: Chain scissions in a polymer network, Journal of Polymer Science, 19, 445-454 (1956).
- [5] Tatangelo, V.; Mangili, I.; Caracino, P.; Anzano, M.; Najmi, Z.; Bestetti, G.; Collina, E.; Franzetti, A.; Lasagni, M.: Biological devulcanisation of ground natural rubber by *gordonia desulfuricans* dsm 44462t strain, Applied Microbiology and Biotechnology, 100, 8931-8942 (2016).
- [6] Simon, D. Á.; Pirityi, D. Z.; Bárány, T.: Devulcanization of ground tire rubber: Microwave and thermomechanical approaches, Scientific Reports, 10, 16587 (2020).
- [7] Asaro, L.; Gratton, M.; Poirat, N.; Seghar, S.; Ait Hocine, N.: Devulcanization of natural rubber industry waste in supercritical carbon dioxide combined with diphenyl disulfide, Waste Management, 118, 647-654 (2020).
- [8] Meysami, M.; Mutyal, P.; Zhu, S.; Tzoganakis, C.: Continuous devulcanization of scrap EPDM rubber with supercritical CO<sub>2</sub>: Effect of process parameters on devulcanized rubber properties, in 'Annual Technical Conference - ANTEC, Las Vegas, USA, Vol 2, 1025-1032 (2014).
- [9] Forrest, M.: Characterisation of devulcanised rubber and products containing devulcanised rubber, in 'Recycling and re-use of waste rubber' (eds.: Potter, D., Smithers Rapra, Shawbury, Vol 1, 105-134 (2014).

## MACH-TECH és IPAR NAPJAI szakkiállítások

– Magyarország legjelentősebb üzleti találkozója az iparban

**Helyszín:** HUNGEXPO Budapest Kongresszusi és Kiállítási Központ

A MACH-TECH és IPAR NAPJAI kiállítás-együttes évről évre teret ad az ipari ágazatok, az egyedülálló innovációk bemutatkozására, valamint az üzleti kapcsolatépítésre.

**Betétkiállítás:** VÉDŐHÁLÓ Budapest - munkavédelmi kiállítás

**Egyidejű rendezvény:** AUTOMOTIVE HUNGARY Nemzetközi járműipari beszállítói szakkiállítás

**Bővebb információ és kiállítói jelentkezés:** [www.iparnapjai.hu](http://www.iparnapjai.hu)

Szakmai partnerek: SZTAI

### MACH-TECH

15. Nemzetközi gépgyártás-technológiai és hegesztéstechnikai szakkiállítás

### IPAR NAPJAI

9. Nemzetközi ipari szakkiállítás

**2022. május 10-13.**

## ÚJ IDŐPONTBAN!

A 10. Automotive Hungary 2022 májusában kerül megrendezésre a HUNGEXPO Budapest Kongresszusi és Kiállítási Központban

### FÓKUSZPONTOK:

- DIREKT és INDIREKT beszállítók
- „ÜZLET, TUDOMÁNY, KARRIER” tematikai pontokra épülő programok
- Automotive Hungary TechTogether mérnökverseny
- Beszállítói fórumok
- Magas színvonalú szakmai konferenciák
- Mérnöki továbbképzések

### Társrendezvények:

**MACH-TECH** Nemzetközi gépgyártás-technológiai és hegesztéstechnikai szakkiállítás  
**IPAR NAPJAI** Nemzetközi ipari szakkiállítás

A kedvezményes jelentkezési feltételekről érdeklődjön kollégáinknál!

Bővebb információ és kiállítói jelentkezés: [www.automotiveexpo.hu](http://www.automotiveexpo.hu), [automotiveexpo@hungexpo.hu](mailto:automotiveexpo@hungexpo.hu)

## AUTOMOTIVE HUNGARY

10. Nemzetközi járműipari beszállítói szakkiállítás

**2022. május 10-13.**

## A technológia az átalakuláshoz itt van.



## A jövőhöz vezető út itt van.

