

# Használt gumiabroncsok oldószeres kezelésének vizsgálata

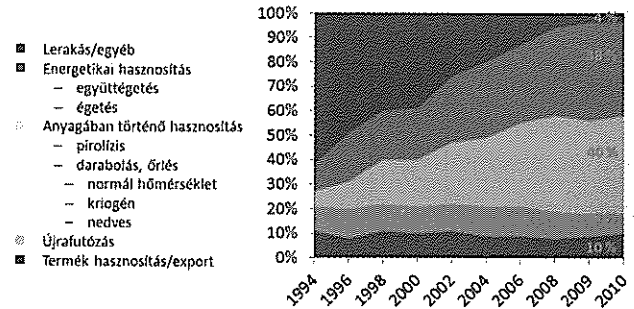
Cikkünkben bemutatunk egy új koncepciót, amely megközelítés szerint a használt gumiabroncs oldószerbe történő áztatásával kedvezően befolyásolhatjuk a gumi tulajdonságait, ezáltal megkönnyítve a gumi elasztomer és az abroncs fém részeinek elválasztását. Bemutatjuk a duzzadási kísérleteinkhez használt oldószereket, és a mért tömeg- és térfogat növekedéseket, emellett ismertetjük, hogy az oldószerek milyen szerves és szervetlen komponenseket oldottak ki a gumiból. Rávilágítunk arra, hogy a vizsgált oldószerek a megbontották a gumi kén-hidrogén és kén-kén keresztkötéseit. A kísérletekhez használt oldószereket desztillációs eljárással regeneráltuk, újbóli felhasználás céljára.

We introduce here a new concept of waste tire recycling. According to this new concept, the dipping of tires into an appropriate solvent can help in the separation of metal constituents from the rubber polymer itself. Attaining this aim several solvents were selected for dipping and swelling experiments. The results of the dipping experiments, such as mass- and volume increase are measured and the extracted organic and inorganic compounds are identified and presented. Our experiments prove the efficient breaks of sulfur-hydrogen and sulfur-sulfur cross bonds. Solvent regeneration is also in focus aiming at the higher grade of recycling.

## 1. Gumiabroncsok hasznosításának lehetőségei

Évente közel 1,4 milliárd gumiabroncsot gyártanak különböző típusú járművekre (személyautó, teherautó, kamion, stb.), és nagyságrendileg hasonló mennyiségű használt gumiabroncs kerül le ezekről a járművekről és jelenik meg hulladékként [1]. Magyarország hozzájárulása a világ gumihulladék „termeléséhez” világviszonylatban csekély, mindössze 65–70 ezer tonna, melynek 70%-a gumiabroncs, de hazai szinten ez jelentős mennyiségnek számít [2]. Különösen fontos a gumihulladékok szakszerű gyűjtése és felülvizsgálata. Tekintettel arra, hogy különböző előírások érvényesek az EU-ban, illetve a harmadik világban futó gépjárművek gumiabroncsaira, lehetséges, hogy az EU-ban levetett gumiabroncs pl. Afrikában még elfogadható állapotúnak számít, és felhasználható. Amennyiben a hulladék direkt hasznosítása ilyen módon nem lehetséges, de maga az abroncs még jó állapotban van, megoldás lehet annak újrafutóztatása, és újbóli értékesítése. A környezettudatos szemléletmód elterjedésével, és a hulladék-hasznosítási koncepció kiszélesítésével a felhalmozódott gumihegyek által okozott le nem bomló hulladékok

és környezetszennyezés problémája megoldódni látszik. Középpontba került ugyanis a használt gumiabroncsok energetikai, de ami még fontosabb, az anyagában történő hasznosítása. European Tyre & Rubber Manufacturers' Association 2012. évi riportja szerint a gumihulladék lerakása az elmúlt húsz évben jelentős csökkenést, míg az energetikai és anyagában történő hasznosítás jelentős növekedést, és egymáshoz viszonyítva hasonló tendenciát mutatott. Ezekkel ellentétben a termékhasznosítás, illetve az újrafutóztatás mértéke közel állandó [3].



1. ábra Hulladék gumiabroncsok hasznosítási tendenciája 1994-2010 között European Tyre & Rubber Manufacturers' Association szerint [3]

A hulladékok lerakásáról szóló 1999/31/EK rendelet megtiltotta a gumiabroncsok egészben való lerakását, majd 2006-tól a shreddelt gumidarabok lerakását is [4]. A használt gumiabroncs, mint hulladék bekerült az Európai Hulladék Listába (EWC: European Waste Code) EWC: 160301 kóddal. Az EU a lerakás betiltásával elérte, hogy a keletkező hulladék gumiabroncs 95%-kát összegyűjtik és hasznosítják.

A gumiabroncs anyagában történő hasznosítását tekintve a „darabolás, őrlés” folyamata a következő: a drótpérem kivágása/kitépése után szobahőmérsékleten (úgymond melegen) először négy majd nyolc részre, végül tenyérnyi nagyságú darabokra vagdalják a gumiabroncsokat, melyeket további darabolás követ, végül ezeket méret szerinti szitálják, osztályozzák. A vastartalmú komponenseket mágnessel, a könnyű textilalkotókat lefűvással különítik el. A szobahőmérsékleten történő őrlés eredménye a 10-50 mm tartományba eső átlagos átmérőjű gumiőrlemény. A szobahőmérsékleten történő őrlés alternatívája lehet egy alacsony hőmérsékleten (cseppfolyós nitrogénnel) kriogén hűtés alatt végzett őrlés. A hűtésre azért van szükség, mert a gumi csak üvegesedési hőmérséklet alatt válik elég merevvé ahhoz, hogy mechanikailag darabolni lehessen. Ilyen feltételek mellett a gumi 0,2-0,3 mm átmérőjű szemcsékre őrlhető [5]. A szobahőmérsékleten történő őrlés során keletkezett granulátum felszíne szabálytalan, a kriogén őrlés után azonban meglehetősen sima felszínű, nagyjából izometrikus részecskék képződnek. A granulátumot mérete és jellegzetességei miatt inkább sportfelületek gyártásában, pl. játszótereken, továbbá hangszigetelésként és padlóadalékként lehet hasznosítani. Nagy mennyiségben alkalmazzák útépitésnél aszfaltadalékként, ún. suttogó aszfalt előállítására, mert csökkenti a közlekedéssel járó gördülő zajt [6]. A jelenleg ismert és alkalmazott újrahasznosító eljárások következtében kapott termékek piaci korlátai miatt annak csak egy kis része értékesíthető, ezért olyan el-

járás alkalmazása szükséges, amellyel piacképe-sebb termék nyerhető. E vonatkozásban lehetőséget nyújt a magasnyomású vízsugaras technológia alkalmazása [2]. A vízsugaras technológia egy zártláncú, káros kibocsátások nélküli eljárás, amellyel homogén minőségű, speciális tulajdonságokkal rendelkező gumiliszttel lehet előállítani ipari körülmények között. Jelenleg Magyarországon ez az eljárás kisüzemi technológiai szinten működik. Ezen technológiával szelektív őrlet termékeket lehet előállítani, mint például futófelületi őrlet, oldalfal külső őrlet vagy légzáró belső réteg őrlet. Laboratóriumi vizsgálatok kimutatták, hogy a vízsugaras technológiával előállított finom gumiliszt előnyös vulkanizációs alaptulajdonságai és mechanikai jellemzői receptúrális adagolással jól fejleszthetők, így lehetőséget biztosítva nagy pontosságú és bonyolult geometriájú műszaki gumiáruk különböző technológiákkal készítésének [7].

Lényeges, hogy minél inkább értéknövelt „terméket” szeretnénk előállítani, vagyis egyre jobb jutunk az „up-grade” fokozatokban, annál inkább kitüntetett tulajdonsággá válik a „termék” granulometriai adatai, polimerfizikai tulajdonságai mellett az idegen anyag szennyezettsége, annak típusa és mértéke. Míg a gumibitumen előállításnál/felhasználásnál a shreddelt anyagból viszonylag könnyen eltávolítható textilszálak visszamaradó részei, illetve a kevés acélradiál maradványok még elfogadhatóak, és nem zavarják a termék felhasználását, addig a polimer rendszerekben adalékanyagként történő hasznosítás során a fémszennyezések (a feldolgozási művelet alakadó szerszámainak intenzív kopása miatt) nem megengedettek. Ezt küszöböli ki a vízsugaras őrlési technológia, de ennek hátránya a szárítás ellenére visszamaradó víztartalom. A gumiliszt polimer adalék anyagként történő felhasználáshoz, a receptúrától függően max. 0,4-0,5 m% víztartalommal rendelkezhet. Ez a minőségi megkötés tehát más szemszögből, de szintén korlátozza a gumiliszt felhasználást.

## 2. A hulladék gumiabroncs feldolgozás új koncepciója

Új koncepció a gumiőrlemény előállításnál az oldószerek alkalmazásával polimer/gumi „mátrix” duzzasztására, majd ezt követően az acélkord szövet és a gumi szétválasztása. A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszéke a a kutatómunkájában célul tűzte ki annak vizsgálatát, hogy a különböző oldószerek gumi polimerbe történő diffúzióját követő duzzadás (esetleges extrakció, vagy kémiai reakció), hogyan befolyásolja a gumiabroncs polimer és fém részeinek elválaszthatóságát. Ipari léptékben tekintve a problémát a nagy kérdés az, hogy ezt az elvet technikailag/üzemszerűen milyen hatásfokkal, és milyen biztonsággal lehet megvalósítani a használt autógumi aprítása (shredder) előtt. Kutatásunk jelenlegi állása még nem foglalkozik ezzel a kérdéskörrel, mivel egyelőre laboratóriumi léptékű kísérleteket végeztünk a fent említett gumi-fém elválasztás kérdésének megválaszolására.

## 3. Elméleti bevezetés

A duzzadás a gumi és az oldószer kémiai összetételétől függ nagyobb mértékben, kevésbé a gumi térháló-sűrűségétől. A nem térhálós polimer a duzzadás során oldatba megy, a térhálós azonban nem oldódik, hanem több-kevesebb oldószert vesz fel, és ezáltal megduzzad. Minél több keresztkötés van a térhálós polimerben, annál kisebb a megfigyelhető duzzadás [8].

A különböző oldószerek háromféle hatást gyakorolhatnak a vulkanizátumra:

1. A leggyakoribb hatás a duzzadás, melyet a folyadékok gumi főtömegbe történő abszorpciója okoz.
2. Kevésbé gyakori az extrakció jelensége, amely során a gumi vulkanizátum bizonyos komponensei oldódnak és eltávoznak, ezzel a gumi térfogatának csökkenését okozva.
3. A harmadik lehetséges hatás a kémiai reakció magával a gumival. Ez ugyan térfogatváltozást nem okoz, viszont a fizikai paraméterek jelentős változását eredményezheti.

Jellemzően bizonyos mértékig mindhárom hatás előfordul, azonban a duzzadás a meghatározó folyamat. A változások nyomon követhetőek gravimetriчески, illetve volumetriчески [9].

Szakirodalmak tárgyalják a különböző oldószerek, mint például a szuperkritikus körülmények között használt n-butanol, toluol, etanol, acetone [10], dinitrogén-oxid + organosolv [11], vagy perjódsv [12] alkalmazását a gumi duzzadására, illetve a keresztkapcsolások bontására, amelyekkel több-kevesebb eredményt tudtak elérni. Dinitrogén-oxid és organosolv oldószer nagy nyomáson és magas hőmérsékleten történő alkalmazásával sikerült a gumit depolimerizálni, de a nitrogén-oxid nagyüzemi körülmények között nagyon szigorú biztonságtechnikai előírásokhoz kötött, hiszen mint ismeretes, a dinitrogén-oxid másik neve a kéjgáz. Szulfidok és merkaptánok alkalmazásával [13] a gumi polimerben lévő diszulfid kötések bontják meg. A kéntartalmú vegyületek kellemetlen szagúak, ezért megfelelő elszívó berendezések alkalmazása ajánlott.

## 4. Kísérleti rész

Az oldószeres vizsgálatokat Amin et al. [14] munkája alapján végeztük. Előkísérleteket végeztünk adott tömegű és szabálytalan alakú, 10-20 mm szemcseátmérőjű gumi őrlemény darabokkal, majd ezek alapján további vizsgálatokat végeztünk 1-2 mm szemcseátmérőjű, különféle gumiabroncsok őrleményének keverékéből származó gumiőrleménnyel. A gumimintákba abszorbeálódó oldószer mennyisége nagyban függ a minták fajlagos felületétől, illetve az alkalmazott hőmérséklettől. Ezen hatások vizsgálatára további kísérleteket végeztünk 1-2 mm szemcseátmérőjű, különféle gumiabroncsok őrleményének keverékéből származó gumiőrleménnyel, amelynek mérete közelíti a kitépelt fémszalakon maradó gumiréteg vastagságát, így viselkedése várhatóan megegyezik majd a fémen maradó gumiéval. A felhasznált őrleménymintákat személy-, teher- és mezőgazdasági abroncsok őrleményeinek homogenizált keverékéből vettük.

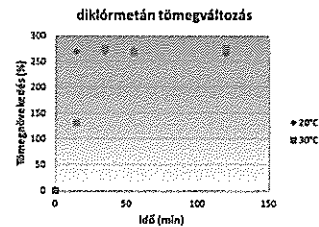
A gumiőrlemény darabok tömegét mértük az oldószerrel való érintkezés előtt, a kísérlet kezdetén, majd adott idő elteltével ugyancsak tömegméréssel követtük nyomon a polimerek duzzadását. A tömegmérések Sartorius Analytic AC 210 P típusú analitikai mérlegen történtek, úgy, hogy adott idő elteltével az őrleményeket az oldószerekből eltávolítottuk, felületükről az oldószert leittattuk, majd lemértük a tömegét 0,1 mg pontossággal. Az előkísérletekben kapott eredményeket felhasználva az ígertes négy oldószer mellé (diklórmetán, ciklohexán, normálhexán és etil-acetát) az emberi szervezetre kevésbé káros oldószereket választottunk. A normál-heptán, mint páratlan szénatomot tartalmazó oldószer nem tartozik a rákkeltő vegyületek közé, a gamma-valerolakton (GVL) pedig a közelmúltban lett zöld oldószernek titulált oldószer [16]. A GVL cukortartalmú növényekből olcsón előállítható folyadék, amely alacsony gőznyomással és magas forrásponttal rendelkezik. Érdekességként megemlíthető, hogy a kutatócsoport más kísérletei alapján a GVL 35 bar nitrogén nyomás alatt reakcióba lép az adott berendezés O-gyűrűjével, és megduzzasztja azt. A benzint, mint multikomponensű elegyet pedig azért választottuk, mert szénhidrogéneket tartalmaz és az irodalmi összefoglaló alapján elegyített oldószereket is vizsgáltak már [11].

## 5. Eredmények értékelése

### 5.1 Tömeg- és térfogatváltozások

A duzzasztási kísérletekhez alkalmazott oldószerek által különböző hőmérsékleten okozott tömeg- és térfogat-növekedéseket foglalja össze az 1. táblázat.

A megadott értékek párhuzamos kísérletek átlagai, továbbá a tipikusan telítési görbe jellegű felvett növekedési görbe (lásd 2. ábra) közel állandó értékeinek átlaga. Az oldószerek diffúziója jelentős mértékű volt a kísérletek első 15-20 percében, majd azt követően egy lassúbb növekedés, végül pedig egy állandó érték figyelhető meg.



2. ábra Diklórmetán oldószerben a gumiminták tömegváltozása

Térfogati duzzadás tekintetében a legnagyobb mértékű duzzadást ciklohexán oldószerrel értük el. 2,2-szeres szemcsehalom-térfogat- és ugyanilyen mértékű tömegnövekedés volt tapasztalható. A hőmérséklet hatása azonban nem volt jelentős, az egyes hőmérsékleteken tapasztalt eltérés 5% volt. Ezt megközelítő jó duzzadási értéket a diklórmetán oldószerrel értük el: 1,95-szeres térfogat-növekedés mellett 2,7-szeres tömegnövekedést tapasztaltunk. Ennek oka, hogy a diklórmetán relatíve nagy sűrűsége (sűrűsége 25°C-on atmoszférikus nyomáson 1,325 g/cm<sup>3</sup>) Szembetűnő változást okozott a gumiőrlemények diklórmetánba való áztatása, amely esetben szintelen oldószer feketére változott.

oldószer	Oldószer forráspont [°C]	Oldószer sűrűsége [g/cm <sup>3</sup> ]	Tömegnövekedés [%]			Térfogatnövekedés [%]			Oldószer színváltozása
			20°C	30°C	50°C	20°C	30°C	50°C	
diklórmetán	40	1,325	181,08	181,95	-	105,53	103,75	-	fekete
ciklohexán	81	0,779	121,13	126,90	121,86	139,17	133,33	134,43	halvány barna
n-hexán	69	0,659	44,46	52,11	48,80	52,78	66,53	65,69	halvány barna
acetón	56	0,791	5,32	5,17	-	11,25	11,69	-	vöröses-barna
etil-acetát	77	0,901	27,93	21,79	30,62	23,80	15,13	18,33	halvány sárga
n-heptán	98,4	0,684	-	61,16	-	-	82,33	-	halvány barna
gamma-valerolakton	208	1,050	-	17,35	-	-	37,78	-	szintelen
Benzin (95)	54-186	0,72-0,77	112,62	110,69	108,63	130,74	125,63	126,05	sötétbarna

1. táblázat A választott oldószerekkel különböző hőmérsékleten végzett duzzasztási kísérletek során kapott tömeg- és térfogatnövekedés a kiindulási mintadarabokhoz viszonyítva

Habár az előkísérletek alapján nem tapasztaltunk jelentős változást az acetonnal végzett kísérletek esetén, mégis megpróbáltuk a kisebb méretű gumiőrlemények acetontban történő duzzasztását. Szakirodalom szerint a ketonok (pl. aceton) képes a gumi polimerjében lévő diszulfid hidak bontására, ezért úgy gondoltuk, hogy ha a minták fajlagos felületét megnöveljük, azaz kisebb szemcseátmérőjű őrleményekkel dolgozunk, akkor nagyobb valószínűséggel tud az aceton a gumiőrlemények felületéről a belsejébe diffundálni, ezáltal a keresztköteket felbontani. Kísérleteink azonban azt mutatták, hogy a fajlagos felület növelése, és a hőmérséklet emelése sem segítette kellőképpen az oldószer diffúzióját. Aceton oldószerrel végzett kísérleteket tekintve sem térfogati sem tömeget érintő változás nem tapasztaltunk, de az oldószer némiképp elszíneződött.

A normál-hexánba történő áztatás során ugrásszerű duzzadás ment végbe, amely a kísérletek első 10 percében lezajlott, és a továbbiakban gyakorlatilag változatlan mértékű maradt.

A benzinnel, mint keverék oldószerrel végzett kísérleteknél is a n-hexánhoz hasonlóan egy ugrásszerű térfogat- és tömegnövekedés volt tapasztalható a kísérletek első 15 percében, de a n-hexános kísérletekkel ellentétben további mértékű növekedés tapasztalható és a görbe telítési jellegűt vett fel az idő függvényében.

Az etil-acetát oldószer forráspontja  $77^{\circ}\text{C}$  a benzinnél alacsonyabb (a benzin forráspontját a fő komponensével, az izo-oktánéval közelítve  $99,2^{\circ}\text{C}$ ), így a hőmérséklet hatása jelentősebb. Az átlagosan 1,2-szeres térfogat és 1,3-szoros tömegnövekedés a kísérlet első 15 percében bekövetkezett, innentől kezdve a térfogatok és tömegek állandóak maradtak.

A gumiminták duzzadása időben nézve egy telítési görbét vett fel, hasonlóan a ciklohexánnal végzett kísérletekhez és drasztikus növekedés az első 15 percben következett be.

A gamma-valerolakton oldószerrel végzett kísérleteknél tapasztalt duzzadás mindössze 1,4-szeres térfogat- és 1,2-szeres tömegnövekedést okozott. A gamma-valerolakton gyűrűs szerkezetű vegyület, és várakozásaink szerint a ciklohexánhoz ha-

sonlóan kétszeres növekedést vártunk, amelyet sajnos nem sikerült elérni. Ebből arra következtethetünk, hogy gamma-valerolakton gyűrűről lelógó metilcsoportja lehet, hogy gátolja a gumi polimerbe történő diffúziót. Az oldószer színváltozása (a GVL kivételével) egyértelműen jelzi, hogy nemcsak duzzadás, hanem extrakció is történt.

## 5.2 Oldószer elemzése

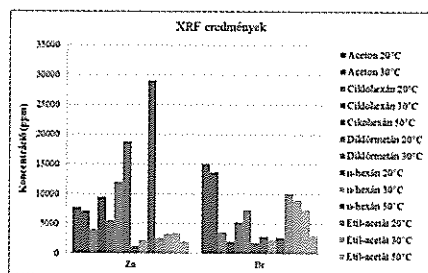
Az oldószer tömegspektrométerrel kapcsolt gázkromatográf (GC-MS) elemzését Agilent 6890 Plus gázkromatográf (kolonna HP-5MS (30 m x 0,25 mm x 0,25 mm, injektor hőmérséklete  $300^{\circ}\text{C}$ , kolonna hőmérséklete  $80^{\circ}\text{C}$ , detektor hőmérséklete  $300^{\circ}\text{C}$ , vivőgáz: hélium 1 ml/min) végeztük. Az elemzés során egyértelmű bizonyítékot kaptunk arra, hogy nemcsak duzzadás és extrakció, hanem kémiai reakció is történt a gumi mátrixban. A GVL kivételével az összes oldószerben megjelent egy amin vegyület, amelyet a GC-MS készülék NIST MS nevű szoftvere 78%-os biztonsággal azonosított be: 1,4-Benzoldiamin, N-(1,3-dimetilbutil)-N'-fenil. A GC-MS analízis alapján elmondhatjuk, hogy ez a vegyület a normál-hexán, etil-acetát, ciklohexán, normál-heptán, aceton és diklórmétán oldószerrel is elő tudtuk állítani. Ez a nitrogéntartalmú vegyület a textilhez kötődő műgyantákból vagy izocianátokból keletkezik, illetve vonható ki. Mivel a gumikeverékekbe gyakran rezorcint és formaldehid-donort (hexametilén-tetramin, hexametoxi-metilmelamin, pl. Cohedur A) tesznek, a megjelenő nitrogéntartalmú vegyület a formaldehid-donor vegyületekből is adódhat.

## 5.3 Desztillációs maradékok vizsgálata

Az oldószer minél többszöri felhasználása érdekében azokat a kísérletek végén regeneráltuk. A nagy mennyiségben illékony szerves komponenseket (VOC) tartalmazó hulladékoldószer elegyek regenerálására kidolgozott metodika [17, 18] középpontjában a desztilláció áll. Ezzel a módszerrel a magas kémiai oxigén igényű (KOI) és magas adszorbeálható szerves halogéntartalmú (AOX)

technológiai hulladékvizeket lehet kezelni úgy, hogy a bennük lévő szerves anyag kinyerhető és oldószerként akár más iparágban, pl. festékipar, újrahasznosítható [19].

A regenerálást frakcionált desztillációval végeztük el atmoszférikus nyomáson. Vizsgáltuk az egyes frakciók illékony szerves komponens tartalmát. A desztilláció maradékát megszártottuk, majd a fekete színű kocsonyás anyagot röntgenfluoreszcenciás spektrometrián (XRF) analizáltunk. Az alkalmazott műszer: Röntgenfluoreszcenciás mérőfej (sugárforrást és Canberra SSL 8016 Si(Li) félvezető detektor), továbbá Canberra DSA-1000 digitális spektrum analízátor voltak.



3. ábra Megszártított desztillációs maradékok száraz tömegére vonatkoztatott cink- és bróm tartalom

A maradék tartalmazza a gumi mátrixból kioldott szeretlen komponenseket, amelyek közül kiemelkedő mennyiségben a kén van jelen. Az etil-acetáttal 30°C-on végzett kísérletnél a legmagasabb a kioldott kén mennyisége: 7,90 m% a kioldott szárazanyag tömegre vonatkoztatva. Ehhez közel eső érték a ciklohexánnal 20°C-on (6,5 m%) és a normál-heptánnal 30°C-on mért érték (6,6 m%).

A kén megjelenése az extraktumokban (oldószer regenerálás után a szártított desztillációs maradékban) egyértelműen igazolja a kén-hidrogén keresztkötések, továbbá a gumi elasztomerben a keresztkötést jelentő diszulfid hidak felbomlását. Habár az oldószer gumi mátrixba történő diffúzióját intenzifikálja a hőmérséklet emelése, az általunk kapott eredmények ellentmondanak ennek, hiszen az áztatás hőmérsékletének növekedésével a kioldódott kén mennyisége csökkent. Ez alapján azt feltételezzük, hogy magasabb hőmérsékleten az oldószer reagált

a gumi-elasztomerrel, míg alacsonyabb hőmérsékleten „csak” a keresztkötéseket bontotta meg.

Nyomelemek tekintetében kiemelkedő mennyiségű cinket és brómot tartalmaznak ezek a minták (lásd 3. ábra). A 3. ábrán feltüntetett koncentráció értékek a megszártított desztillációs maradék tömegére vonatkoztatott érték.

### Összefoglalás

Kísérleteink alapján elmondható, hogy az általunk vizsgált oldószer a gumiőrleményekbe diffundálva duzzasztják azokat, a hőmérséklettől függően bontják a gumi elasztomerben lévő kén-hidrogén és kén-kén keresztkötéseket, illetve reagálnak a gumi mátrixszal. Az oldószer GC-MS elemzése alapján megállapítható, hogy a gumibroncsban a textilhez kötődő műgyanták vagy izocianátok a vizsgált oldószerrel reagálva amin vegyületet képeznek, amely illékony szerves komponensként jelenik az az oldószerben. Nyomelem vizsgálat tekintetében megállapítottuk, hogy az égésgátlóként használt bróm, továbbá csúsztató, formaleválasztó anyagként cink-sztearát formájában adagolt cink az oldószer regenerálás maradékaként megszártított fenéktermékben akár 3 m% koncentrációban is jelen lehet.

### Kitekintés

Az összeőrölt keverékekből történő fémkiválasztás további berendezéseket és energiát igényel, ugyanakkor a nem mágnesezhető fémszennyezés (pl. az acélkord kadmium részecskéi) a keverékben bennmaradnak. Ezt igazolja, hogy oldószeres kísérleteink során kadmiumot nem detektáltunk az oldószerben, sem a desztillációs maradékban, így az bizonyosan a gumiőrleményben maradt.

Az oldószeres vizsgálatokat követően a gumi fizikai tulajdonságainak vizsgálata még folyamatban van, de érdekes kérdés az is, hogy hogyan változna a gumibroncs alakja, ha az egész abroncsot áztatnánk oldószerbe.

További izgalmas kérdés, hogy a duzzasztásnál használt oldószeresek közül melyikből, mennyi marad benne a gumi mátrixban, mivel ez (akár



előnyösen) determinálhatja a tovább feldolgozási technológiát, a termék tervezési tevékenységet is. Láthatóan a hulladék gumiabroncs feldolgozás témakörben tevékenykedő magyar szereplők, csekély kivétellel, a problémakörnek csak egy-egy szegmensére fókuszálnak. Jelenlegi kísérleteink rávilágítanak arra, hogy az évente keletkező kb. 40.000 tonna hulladék gumiabroncsnak az anyagában történő hasznosítása jelenleg még nem megoldott, azonban az oldószerrel történő duzzasztás kedvezően befolyásolhatja a gumi azon tulajdonságait, melyek következtében az őrlés és a fém-gumi részek elválasztása megkönnyíthető, továbbá a gumiőrlemény adalékként történő hasznosításának is kedvez.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatócsoport köszönetét fejezi ki KMR - 12-1-2012-0066 számú „Hulladék gumiabroncs összetevőinek szelektív és teljeskörű újrahasznosítása” c. pályázat anyagi támogatásáért.

*Cséfalvay Edit<sup>1</sup>\*, Benkő Tamás, Valentinyi Nóra, Tóth András József, Tukacs József Márk, Gresits Iván, Rácz László, Solti Szabolcs, Mizsey Péter*  
*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, 1111 Budapest, Budafoki út 8.*

### Felhasznált irodalom

#### (Endnotes)

- [1] Benkő Tamás, Bata Zsófia, Rácz László, Solti Szabolcs, Mizsey Péter, Használt gumiabroncsok hasznosíthatósági alternatíváinak vizsgálata életciklus elemzéssel, Műszaki Kémiai Napok, 2013. április 23-25. Pannon Egyetemi Kiadó, p. 25-26. ISBN: 978-615-5044-79-3
- [2] MICRO EUROPE KFT. Gumiabroncs hulladékból hidraulikus, mikro-robbantásos technológiával anyagában történő szelektív anyag visszanyerése, <http://www.microeurope.hu/>
- [3] European Tyre & Rubber Manufacturers'

Association, The Annual Report 2012, Report <http://www.etrma.org/default.asp> (letöltés 2013. december).

- [4] Sinka Gábor, Elhasznált gumiabroncsok hasznosítása I, Hasznosítási lehetőségek és technológiák, Műanyag és Gumi, 2013. 50/8, p. 310-315
- [5] Bánhegyi György, A kiselejtezett gumiabroncsok anyagának hasznosítása, Műanyagipari szemle 2004/04, [<http://www.muanyagipariszemle.hu/2004/04/a-kiselejtezett-gumiabroncsok-anyaganak-hasznositasa-19.pdf>].
- [6] Sinka Gábor, Elhasznált gumiabroncsok hasznosítása II, A hasznosítás indokai és jogi feltételrendszere, Műanyag és Gumi, 2013. 50/6, p.237-239
- [7] Moldován György, HungaroJet Kft., Finom gumiőrlet előállítás ultra nagynyomású vízszűrő eljárással, MKE Gumiipari Szakosztály – MAGUSZ Szakmai Nap, 2011. június 16.
- [8] Czvikovszky Tibor, Nagy Péter, Gaál János, A polimertechnika alapjai, Kempelen Farkas Hallgatói Információs Központ, 2007
- [9] J. S. Dick, Rubber Technology, Compounding and Testing for Performance, Carl Hanser Verlag, 2001
- [10] John R. Kershaw, Supercritical fluid extraction of scrap tyres, Short Communication, Fuel Vol. 77, No. 9/10,(1998) pp. 1113-1115
- [11] K.A. Dubkov, S.V. Semikolenov, D.P. Ivanov, D.E. Babushkin, G.I. Panov, V.N. Parmon, Reclamation of waste tyre rubber with nitrous oxide, Polymer Degradation and Stability, Volume 97, Issue 7, July 2012, Pages 1123–1130
- [12] Faten Sadaka, Irène Campistron, Albert Laguerre, Jean-François Pilard, Controlled chemical degradation of natural rubber using periodic acid: Application for recycling waste tyre rubber, Polymer Degradation and Stability 97 (2012) 816e828
- [13] B Adhikari, D De, S Maiti, Reclamation

\* [csefalvay@mail.bme.hu](mailto:csefalvay@mail.bme.hu)

and recycling of waste rubber, Progress in Polymer Science. 25 (2000) 909–948

- [14] M. Amin, G.M. Nasr, G. Attia, AS. Gomaa, Determination of the crosslink density of conductive ternary rubber vulcanizates by solvent penetration, Materials Letters 28 (1996) 207-213
- [15] Valentinyi Nóra, Tóth András József, Cséfalvay Edit, Rácz László, Solti Szabolcs, Mizsey Péter, Használt gumiabroncsok oldószeres kezelésének vizsgálata, Műszaki Kémiai Napok 2013.04.23-2013.04.25. Veszprém: Pannon Egyetemi Kiadó, p. 39. ISBN: 978-615-5044-79-3
- [16] Horváth, I.T., Mehdi, H., Fábos, V., Boda, L., Mika, L.T., 2008.  $\gamma$ -Valerolactone, a sustainable liquid for energy and carbon-

based chemicals. Green Chem. 10, 238.

- [17] Koczka K, Mizsey P, New area for distillation: wastewater treatment. Periodica Polytechnica-Chemical Engineering 54:(1) pp. 41-45. (2010)
- [18] Tóth András József, Gergely Felicián, Mizsey Péter, Physicochemical treatment of pharmaceutical process wastewater: distillation and membrane processes, Periodica Polytechnica-Chemical Engineering 55:(2) pp. 59-67. (2011)
- [19] Mizsey Péter, Tóth András József, Ipari ökológiai elvek alkalmazása technológiai hulladékvizek fizikokémiai módszerekkel történő kezelésénél. Ipari Ökológia 1:(1) pp. 101-125. (2012)

## HITZE

### IPARI ELEKTROMOS FŰTŐELEMEK



Ipari Elektromos Fűtőtechnika  
Műanyagfeldolgozó Gépekhez

Palástfűtések, kerámia betétes palástfűtések

Lapfűtések, speciális fűtések

Hőérzékelők, hőfokszabályzók

Többcsatornás hőfokszabályzó egységek

Alapanyagszárítók

Beömlőfűtések, csőfűtések

HITZE Bt. • 1211 Budapest, Tekerceslő u. 3/A.  
Telefon: (06-1) 425-2833 • Fax: (06-1) 278-2670  
Telefon: (06-20) 924-9781 • (06-20) 941-6872  
www.hitze.hu • info@hitze.hu

## LANXESS Central Eastern Europe s.r.o. Magyarországi Fióktelepe

A LANXESS AG. Németország egyik legnagyobb, a Frankfurter Tőzsdén (DAX) jegyzett, specializált vegyipari konzernje, amely a világ számos területén jelen van. A LANXESS gazdag portfóliója a prémium termékekre összpontosít, fő tevékenységi területét a műszaki műanyagok, szintetikus kaucsukok, különleges segédanyagok és köztés termékek fejlesztése, gyártása és forgalmazása képezi.

Az egyik súlypont a LANXESS hightech műanyag granulátumok High Performance Materials, a jól ismert **Durethan®** és **Pocan®** kereskedelmi márkákkal. Anyagaink döntő többsége az auto- és gépjárműgyártásnál kerül felhasználásra, de keresettek minden területen, ahol **PA 6**, **PA 6.6** és **PBT** kerül feldolgozásra.

A LANXESS Keltan Elastomers és High Performance Elastomers üzletágai a szintetikus kaucsukok széles választékát kínálja az autópálya, a gáz-, olajkitermelés, a gépipar, építőipar, kábelgyártás, cipőipar területére **Therban® (HNBR)**; **Levapren®/Levamell®**, **Baymod® L (EVM)**; **Baypren® (CR)**; **Perbunan®/Krynac®**, **Baymod® N (NBR)**; **Levatherm® F (FKM)**; **Keltan® EPIDJM** márkaneveken.

A LANXESS Functional Chemicals (FCC) üzletága különböző polimerekhez nyújt aditívumokat, foszfor és speciális vegyi anyagokat valamint színezékeket, pigmenteket. Legfőbb termékek és márkák köre: színezékek és pigmentek (**Macrolex®**, **Bayplast®**); lágyítók (**Unimoll®**, **Mesamoll®**, **Ultramoll®**, **Triacetin**, **Adimoll®**); égésgátlók (**Disflamoll®** és **Levagard®**).

# LANXESS

Energizing Chemistry

LANXESS HPM:

E-Mail: [Judith.Forkas@lanxess.com](mailto:Judith.Forkas@lanxess.com)  
Tel: +361224-7044

LANXESS KEL & HPE:

E-Mail: [Enikoe.Varga@lanxess.com](mailto:Enikoe.Varga@lanxess.com)  
Tel: +361224 7043

LANXESS FCC:

E-Mail: [Renata.Hogy@lanxess.com](mailto:Renata.Hogy@lanxess.com)  
Tel: +3612247046

MOM Park, SAS Torony 1124 Budapest, Csörsz u. 45. - [www.lanxess.com](http://www.lanxess.com)