

2.4 | Új kaucsuklágyítók

1.4

Tárgyszavak: elasztomerek; gumigyártás; lágyítás; hidegállóság; poliészterlágyítók; NBR; HNBR; akrilátelasztomer; CM; EPDM; TPO; TPV.

Az adalékok szerepe a kaucsukokkal szembeni követelmények kielégítésében

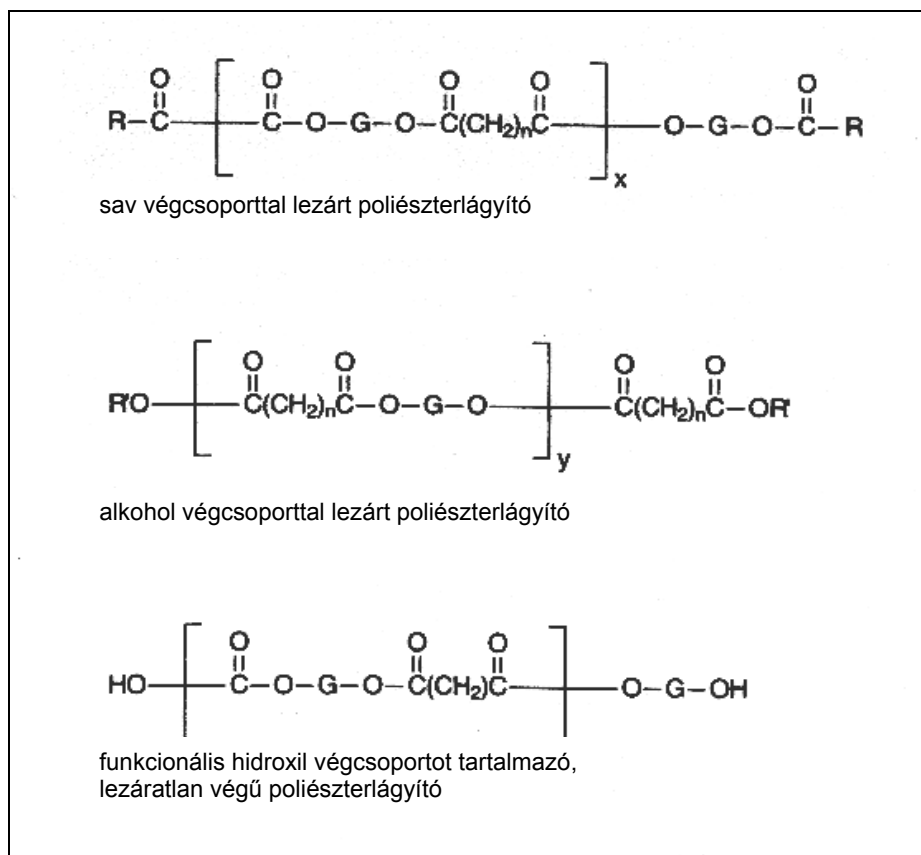
Az elasztomerek a felhasználás során támasztott igények alapján – bár tulajdonságaik számszerű értékei nagy szórást mutatnak – alapvetően két csoportba sorolhatók: az általános és a különleges, „nagy teljesítményű” rugalmas polimerek csoportjába. Ennek megfelelően más és más követelmények lépnek fel az adalékokkal, többek között az észtertípusú lágyítókkal szemben is.

Az észtertípusú lágyító első közelítésben olyan magas forráspontú oldószer, amelyet a kaucsukhoz adva csökkenti annak merevségét és javítja feldolgozhatóságát. Általános alkalmazás esetén a lágyítótól több területen is legalább közepes teljesítményt várnak el anélkül, hogy bármelyik területen is kiemelkedő eredményt kapnának. Általános alkalmazásokban legtöbbször különböző ftalátokat, adipátokat (DOA, DIDA, DIDP, DOP, DINP) használnak. A lágyítókat általában 7–11 atomos, egyenes szénláncú alkoholokkal készítik. Fejlesztésük folyamatos. A BASF AG éppen a közelmúltban jelentette be, hogy Hexamoll DINCH néven forgalomba hoz egy új lágyítót, amely kémiai felépítésére nézve diizononil-ciklohexán-dikarboxilát, és DINP hidrogénezésével állítják elő.

Az észtertípusú lágyítókat a gumigyártásban legtöbbször a termék hidegállóságának javítására használják. A különleges követelményeket kielégítő elasztomerekben a lágyítók illékonysága a hőöregítés hőmérsékletén is csak csekély lehet, és különböző oldószerekkel végzett extrakciós vizsgálatok során nem oldódhatnak ki a keverékből. A lágyító alkalmasságát a hőöregítés utáni hidegállósággal vizsgálják. A továbbiakban példákon mutatjuk be, hogy különböző kaucsukok esetében miként lehet a monomer vagy polimer jellegű lágyító megfelelő megválasztásával a termékek tulajdonságait és élettartamát javítani.

Az észter típusú lágyítók

A lágyítók között vannak monomer és polimer jellegűek. A poliészterlágyítók jellemzője az igen kis illékonyság és a jó extrakcióállóság. Polimer lágyítókat kétértékű karbonsavak és glikolok (kétértékű alkoholok) vagy glikolkeverékek reakciójával lehet előállítani. A molekulatömeget egyértékű savak vagy alkoholok hozzáadásával lehet szabályozni, amelyek leállítják a láncnövekedést, bár vannak olyan polimer lágyítók is, amelyekhez nem adnak ilyen láncnövekedést gátló anyagokat. (A lehetőségeket az 1. ábra mutatja). A láncvégi egyértékű alkoholok vagy karbonsavak mennyiségének gondos megválasztásával be lehet állítani a lágyító molekulatömeg- és ezzel viszkozitás-tartományát. A monomer és polimer lágyítók tulajdonságainak összehasonlítása az 1. táblázatban található.



1. ábra Különféle poliészterlágyítók szerkezete

Az észter típusú polimerek stabilitása

A polimer lágyítók stabilitása az elasztomerkeverékben három tényezőtől függ:

- szerkezet
- molekulatömeg (viszkozitás)
- polaritás.

Az elágazó szerkezetű polimer lágyítók az extrakcióállóság és a migrációs tulajdonságok szempontjából kedvezőbbek. Az elágazások csökkentik a lágyító mozgékonyt a vulkanizált elasztomer térhálózában. A lineáris polimer lágyítók viszont könnyebben vándorolnak, de jobb hidegállóságot adnak, és kevésbé illékonyak, mint az elágazó szerkezetűek. A nagyobb molekulatömegű lágyítók kisebb mozgékonyt miatt nehezebben távolíthatók el a kaucsukmátrixból, ezért stabilabbak.

1. táblázat

A monomer és polimer lágyítók általános jellemzőinek összehasonlítása

Tulajdonság	Monomer	Polimer
Feldolgozhatóság	jó...kitűnő	rossz...kitűnő
Összeférhetőség	kémiai szerkezettől függ	kémiai szerkezettől függ
Lágyító hatás	jó...kitűnő	rossz...közepes
Hidegállóság	jó...kitűnő	rossz...közepes
Extrakcióállóság – szerves oldószer – illékonyt	– jó...kitűnő – rossz...jó	– rossz...jó – jó...kitűnő

2. táblázat

Különböző savkomponenst tartalmazó poliészterlágyítók jellemzői

Savkomponens (észtercsoport)	Kitűnő	Jó	Közepes	Rossz
Glutársav (glutarát)	összeférhetőség nedvességállóság migrációállóság	nem illékony extrakcióállóság	lágyító hatás hidegállóság	–
Adipinsav (adipát)	–	–	migrációállóság	nedvesség- állóság
Azelainsav (azelaát)	összeférhetőség lágyító hatás hidegállóság	nem illékony migrációállóság extrakcióállóság	–	–
Szebacinsav (szebacát)	összeférhetőség lágyító hatás hidegállóság nedvességállóság migrációállóság extrakcióállóság	nem illékony		
Ftálsav (ftalát)	összeférhetőség nedvességállóság	nem illékony	extrakcióállóság migrációállóság	lágyítóhatás hidegállóság

A polimer lágyítók kiválasztásakor ügyelni kell a lágyító és a kaucsuk oldhatósági paraméterére. A polimer észterek általában polárisak, ezért jól összeférnek a poláris kaucsukokkal, pl. a nitrilkaucsukkal. Ha a lágyító és a mátrix összeférhetősége nem kielégítő, a lágyító erősen vándorol, illékonyabb és könnyebben extrahálható. A polimer észterlágyítók szerkezet és hatékonyság szerinti besorolása a *2. táblázatban* látható. Ha egy adott savtípus esetében a molekulatömeg nő, vagy ha elágazó a molekulaszervezet, megváltoznak a hatásirányzatok is.

Speciális monomer észterek

A monomer észterek szerkezete háromféle lehet. Az OH végcsoportot tartalmazó észtereket (alkohol-sav-alkohol, ASA) és az egybázisú savak glikol-észtereit (SGS) diészternek lehet tekinteni. Az ASA típusú lágyítókból jóval több van, mint az SGS típusúakból. Az ASA szerkezetű lágyítók alkoholkomponense lehet lineáris vagy elágazó láncú; a kétértékű savak általában lineáris szerkezetűek. A SGS szerkezetű vegyületek savkomponense is lehet egyenes láncú vagy elágazó; a glikolok általában lineáris szerkezetűek. Vannak egyértékű savakból és egyértékű alkoholokból készült, SA típusú lágyítók is, amelyek mindkét komponense lehet lineáris vagy elágazó. Ezekre a vegyületekre általában érvényesek az alábbi megállapítások:

- a lineáris szerkezet általában jobb hidegállóságot ad, mint az elágazó,
- a lineáris szerkezet általában jobb hőállóságot és oxidatív stabilitást biztosít, mint az elágazó,
- az elágazó szerkezetű lágyító ellenállóbb az olajokkal szemben, és kevésbé migrál, mint a lineáris,
- a nagyobb molekulatömeg kisebb illékonytságot eredményez.

A lágyítókból leggyakrabban használt kétértékű savak a glutársav (C5), az adipinsav (C6), az azelainsav (C9) és a szebacinsav (C10). A polaritás szempontjából érdemes megjegyezni, hogy egyes ASA típusok glikoléter-típusú alkoholokat tartalmaznak. Az oxigénatomok jelenléte az alkoholok főláncában növeli a polaritást a csak szénatomot tartalmazó főláncú alkoholokhoz képest. Glikoléter-diészterek alkalmazhatók poláris kaucsukokban, pl. a 28-40% akrilnitrilt tartalmazó NBR-ben vagy akrilátelasztomerekben.

Az SA szerkezetű észterlágyítók polaritása sokkal kisebb, mint a diésztereké, hiszen kettő helyett csak egy észtercsoportot tartalmaznak molekulánként. Ilyen monoésztereket használnak pl. polikloroprén hidegállóságot növelő lágyítójaként. A szokásos monomer észterek rövidítéseit a *3. táblázat* foglalja össze. A *4. táblázat* néhány példát tartalmaz a NBR vulkanizátumok hidegállóságára hőregítés előtt és után. Az adatokból jól látható a molekulatömeg és az összetétel hatása a stabilitásra. Minél nagyobb a molekulatömeg, annál kisebb az illékonytság, és annál jobb a hőregítés utáni hidegállóság.

3. táblázat

A leggyakoribb észterlágyítók típusa, kémiai neve és rövid jele

Típus	Kémiai elnevezés	Rövid jel
ASA	dibutil-szebacát	DBS
	dioktil-adipát	DOA
	dioktil-szebacát	DOS
	diizodecil-glutarát	DIDG
	dioktil-azelaát	DOZ
	diizodecil-adipát	DIDA
	dibutoxi-etoxietil-formál	–
	dibutoxi-etoxietil-adipát	DBEEA
	dibutoxi-etoxietoxietil-glutarát	DBEEEG
	dibutoxi-etil-adipát	DBEA
	dibutoxi-etoxietil-szebacát	DBEES
	dibutoxi-etil-szebacát	DBES
SGS	tetraetilenglikol-di(2-etil-hexoát)	–
	triethylenglikol-di(2-etil-hexoát)	–
	triethylenglikol-kaprát-kaprilát	[3EGCC]
SA	izooktil-tallát (oleát)	–
	butil-tallát (oleát)	–

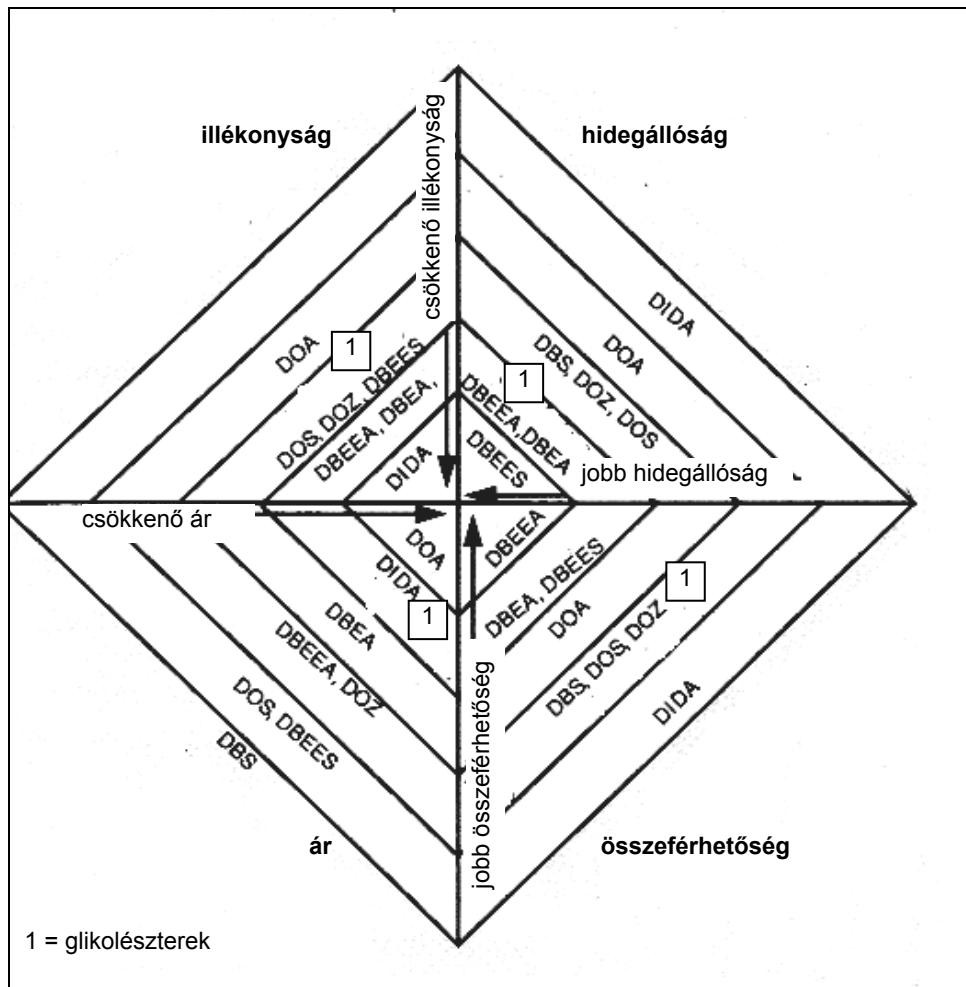
4. táblázat

NBR vulkanizátumok ridegedési hőmérséklete
 ASTM D 2137 szabvány szerint. (Monomer lágyító, 34% akrilnitril tartalmazó
 akrilnitril/butadién kaucsuk, 20 rész lágyító 100 rész kaucsukban.
 A rövidítéseket lásd a 3. táblázatban).

Monomer lágyító	DOP	DOA	DBEA	3EGCC	DBEEA	DBEES
Ridegedés, °C						
öregítés előtt	–33	–42	–43	–42	–40	–39
70 h 125 °C-os öregítés után	–25	–23	–27	–30	–30	–43
Lágyító átlagos molekulatömege	390	370	346	430	434	505

A dioktil-ftalát jól összefér az NBR kaucsukkal, de merev aromás szerkezete miatt nem túl hatékony lágyító alacsony hőmérsékleten. A dioktil-adipát kiindulási jellemzői kedvezőek, de kevésbé poláris szerkezete miatt – annak

ellenére, hogy molekulatömege nem a legkisebbek közé tartozik – ez a lágyító elég illékonynak mutatkozott. A további négy észterlágyító elég poláris, fajlagosan több oxigént tartalmaznak. A nagyobb molekulatömeg és apolaritás kombinációja jó összeférhetőséget és hőstabilitást eredményez. A 2. ábrában összefoglaló módon tanulmányozható a lágyítók összetételének hatása különböző tulajdonságokra.



2. ábra A lágyító összetételének hatása különböző tulajdonságokra

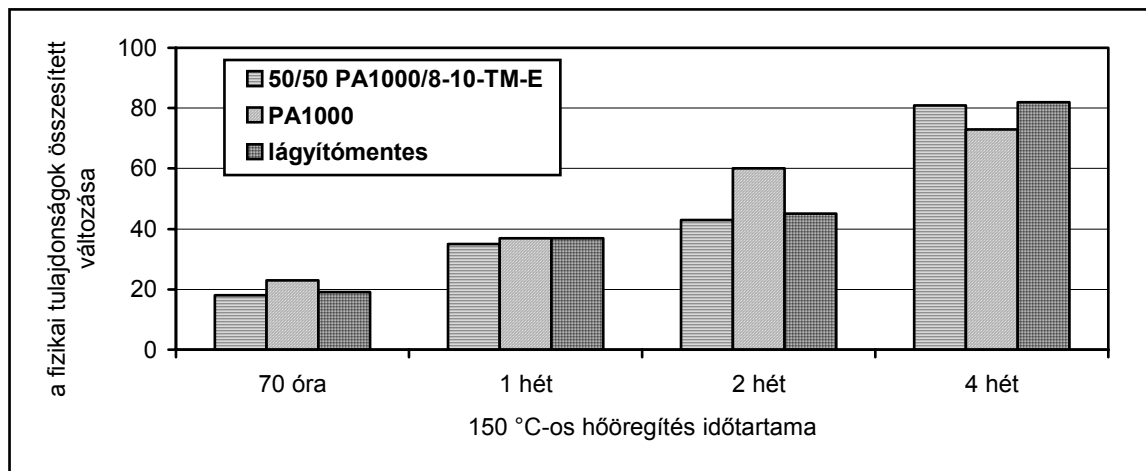
Poliészterlágyítók alkalmazása magas követelményekhez

Vannak olyan alkalmazási területek, ahol megkövetelik mind a kis illékonyt, mind a különböző folyadékokkal szembeni extrakcióállóságot. A monomer észterlágyítók ilyen célokra általában nem alkalmasak. A gépkocsik motorterében alkalmazott gumiknak például sokáig meg kell őrizni eredeti jó

tulajdonságaikat. A polimer észterlágyítók különösen jól alkalmazhatók az olyan műszaki gumikban, mint az NNBR, HNBR vagy az ACM. Ezeken kívül használnak poliészterlágyítókat CM, CSM és fluorelasztomerekben is. Az alábbiakban ezekre az alkalmazásokra hozunk néhány példát.

Hidrogénezett nitrilkaucsuk (HNBR)

Az erősen telített nitrilkaucsukot szívesen alkalmazzák magas hőmérsékletnek kitett termékekben. Lágyítóként általában trimellitátokat (pl. 8–10 TM-E) alkalmaznak. Ha kb. 1000-es molekulatömegű poliészterlágyítót alkalmaznak, jobb a tartós hőállóság (3. ábra). Sokféle lágyító összeférhetőségét vizsgálták HNBR kaucsukokkal. A lehetőségeket szűkíti a kaucsuk részlegesen kristályos szerkezete és a nagymértékű telítettség. A vizsgált lágyítók közül különösen előnyösnek mutatkozott egy poliglutarát (G-24,000), amelynek molekulatömege 5000 körüli. A glutarátlágyító viselkedését a már említett 8–10 TM-E trimellitátlágyítóéval vetették össze (5. táblázat). Megállapították, hogy a két lágyító hasonló mértékben csökkenti a Mooney viszkozitást, és 70 órás, 150 °C-os öregítés után is hasonló tömegvesztéset mutatnak. A G-24,000 lágyító kevésbé oldódik ki, ugyanakkor pl. a hidegállóság vagy a vízállóság szempontjából a trimellitátlágyító bizonyult jobbnak. A trimellitátlágyító szénhidrogénekben szinte teljesen kioldódik, míg a poláris észtercsoportokat tartalmazó, nagy molekulatömegű poliglutarát kevésbé.



3. ábra Különböző módon lágyított és lágyítómentes HNBR keverék fizikai tulajdonságainak (szakítószilárdság, szakadási nyúlás és keménység) változása 150 °C-os szárítószekrényben végzett hőregítés hatására az idő függvényében. (Lágyítómennyiség: 100 rész HBNR-hez 20 rész lágyító. PA 1000 = polimer adipát/ftalátészter, molekulatömege 1000 körül; 8-10-TM-E = trimellitsavészter-alapú lágyító.)

100 rész HNBR kaucsukhoz hozzáadott 20 rész lágyító hatása
a különféle fizikai tulajdonságokra

Lágyító	nincs	8-10 TM-E	G-24,000
Mooney viszkozitás 125 °C-on	83,0	39,5	48,5
Keménység, Shore A	79	69	73
Gehman féle torziós vizsgálat, °C (70 MPa)	-27	-35	-31
7 nap 125 °C, szárítószekrény, tömegváltozás %	-2,4	-2,6	-2,4
70 óra 40 °C-on, ASTM üzemanyagba áztatva, majd súlyállandóságig szárítva, tömegváltozás %	-1,5	-11	-1,2
70 óra 150 °C-on ASTM No. 1 olajban, tömegváltozás %	-0,41	-11	-1,2
70 óra 100 °C-os desztillált vízben, tömegváltozás %	+3,0	+3,6	+9,9

Akrilelasztomer

Az akrilelasztomereket akkor alkalmazzák, ha a termék 150-177 °C közötti állandó hő hatásának van kitéve, és időnként 205 °C-os csúcsterhelés is érheti. Az akrilelasztomerek főlánca telített, és karbonilcsoporton keresztül etil-, butil-, etilén- és etoxicsoportok kapcsolódnak hozzá. Ami a polaritást illeti, az akrilelasztomerek hasonlítanak a nitrilkaucsukhoz. Az akrilelasztomerekkel sok monomer lágyító összefér, de mivel a magasabb hőállóság érdekében sok akrilelasztomert magas hőmérsékleten kell utótérhálósítani, ezt nem minden lágyító bírja el. Az akrilelasztomerek másik olyan tulajdonsága, amely behatárolja az alkalmazható lágyító mennyiségét, a szakítószilárdság. Az akrilelasztomerek eredeti szakítószilárdsága sem túl nagy. A szakítószilárdságra kifejtett negatív hatása miatt a legtöbb kompaundáló nem szívesen használ lágyítót akrilátelasztomerekben.

A polimer lágyítók viszont, amelyek csökkentik a termék keménységét és javítják annak hidegállóságát, csekély illékonyosságuk miatt lehetővé teszik a magas hőmérsékleten végzett utótérhálósítást, ezért jól beváltak az akrilelasztomerek gyártásához. A Du Pont cég Vamac típusú elasztomerjén elvégzett vizsgálatok szerint két, 1000 körüli molekulatömeggel rendelkező adipálat alapú lágyító (A-1000A és A-1000B) a kis molekulatömegű dibutoxi-etoxietoxietil-glutarátnál (DBEEEG) jobb hatással van a kompaund tulajdonságaira (6. táblázat). A polimer lágyítóknak jobb a lágyító hatása és kevésbé távoznak el a hőregítés hatására. Az A-1000B-vel készült keverékeknek különösen kicsi a maradó deformációja erőhatás után, és a polimer lágyítók kevésbé csökkentik az elasztomer amúgy sem túl nagy szakítószilárdságát.

Az akrilelasztomerek nagy részéből tömítéseket készítenek, ahol a hajtóműolajok, hidraulikafolyadékok stb. extraháló hatásának kell ellenállniuk. A polimer lágyítót tartalmazó kompaundok 1000 órás 150 °C-os extrakció után nem keményedtek meg (sőt inkább lágyultak), szemben a DBEEEG lágyítót tartalmazó mintákkal.

6. táblázat

10 rész különböző lágyítót tartalmazó Vamac D akrilelasztomer-keverékek fizikai tulajdonságai

Különböző módon kezelt keverékek tulajdonságai	A-1000A	A-1000B	DBEEEG
2 óráig 175 °C-on térhálósított, nem öregített keverékek			
Szakítószilárdság, MPa	11,2	11,3	8,8
Keménység, Shore A	72	69	71
1008 óráig, 150 °C-on öregített keverékek			
Szakadási nyúlás változása, %	-14,6	-21,6	-25,9
Keménység változása, Sh A egység	11	13	17
Hidegállósági vizsgálatok			
DSC üvegesedési hőmérséklet öregítés előtt, °C	-31,9	-33,8	-36,8
1008 h 150 °C-os öregítés után	-28,4	-30,1	-28,1
Gehman-vizsgálat, T-10, °C	-21,9	-25,4	-25,0
Maradó deformáció, B-módszer, száraz granulátumon			
70 óráig 150 °C-on utótérhálósított (2 óra hosszát nyújtott állapotban hűtve)	41	37	48

Klórozott polietilén (CM)

A klórozott polietilént olyan helyeken alkalmazzák, ahol nagy olajállóságra, ózon- és időjárás-állóságra van szükség. A CM típusokat max. 150 °C-ig alkalmazzák. A jó ózon- és időjárás-állóság, valamint a kismértékű hőrepedési hajlam annak köszönhető, hogy az anyag telített szerkezetű. A klór jelenléte javítja az olajállóságot. A CM típusok szokásos lágyítói az oxigéntartalmú epoxidált szójaolajok (ESO) és a trioktil-trimellitát (TOTM). Ezeknek a lágyítóknak kiegyenlített a hő- és olajállósága, ami a 150 °C-ig terjedő alkalmazásokhoz elegendő. Eddig ebben az elasztomertípusban polimer lágyítókat nemigen alkalmaztak, mert a vulkanizált próbatestek porózusak lettek. A porozitás kialakulását még nem vizsgálták részletesen, de feltételezik, hogy a klór-

tartalmú elasztomer és a katalizátorok jelenlétében a poliészterlágyító részben bomlásnak indul. Található azonban olyan polimer lágyító is (pl. az A-1000A jelű, adipátalapú poliészter), amely a szokásos CM vulkanizációs rendszerek esetében problémamentesen használható. A polimer lágyító hatását a vulkanizált CM keverékek jellemzőire a két, hagyományosnak nevezhető lágyítóhoz képest a 7. táblázat mutatja. A polimer lágyító számos előnyös tulajdonságot mutatott a másik kettőhöz képest:

- jobban csökkentette a Mooney viszkozitást,
- öregítés során kevésbé csökkent a szakadási nyúlás,
- üzemanyagban tárolva kevésbé változott a keménység, a térfogat és a tömeg,
- 2. sz. ASTM olajban, magas hőmérsékleten tartva kisebb tulajdonságváltozás lépett fel.

7. táblázat

Az A100A jelű adipátalapú, az epoxidált szójaolaj (ESO) és a trioktil-trimellitát (TOTM) lágyító hatása a vulkanizált klórozott polietilén (CM) néhány jellemzőjére. (100 rész CM-re 35 rész lágyító)

Tulajdonságok	ESO	A-1000A	TOTM
Lágyító molekulatömege	1000	1000	550
Hidegállóság			
ASTM D-2137, °C	-35	-34	-42
ASTM D-1053, °C	72	69	71
Öregítés szárítószekrényben, 70 h 150 °C			
Szakadási nyúlás változása, %	-20	-6	-30
Tömegváltozás, %	-1,8	-2,6	-3,9
70 óra öregítés után, No.2 ASTM olajban, 150 °C-on			
Szakadási nyúlás változása, %	-20	-9	-32
Tömegváltozás, %	+41	+38	+43

Nitrilkaucsuk (NBR)

A nitrilkaucsukot általában 125 °C-ig alkalmazzák. A legtöbb esetben monomer lágyítókat használnak, ez azonban nem elegendő akkor, ha az NBR termék olajjal vagy üzemanyaggal lép érintkezésbe, hiszen a lágyító kioldódhat, és a gumi túl erősen megduzzadhat. Ilyen esetekben, vagy ha a monomer lágyítók által biztosított hőstabilitás nem elegendő, célszerű polimer észterlágyítókat használni. Ezek többsége jól összefér a nitrilkaucsukkal – bár ez

függ az akrilnitril-tartalomtól és a hozzáadott lágyító mennyiségétől. Értelem-szerűen a nagyobb nitriltartalmú kaucsukok polárisabb, a kisebb nitriltar-talmúak kevésbé poláris lágyítót igényelnek. A sokféle poliészterlágyító között van azonban néhány, amely különösen jól bevált nitrilkaucsukokban. Ezek és az általuk elérhető tulajdonságok a következők:

- A-1000A (poliadipát): jó hidegállóság, hatékonyság, stabil tulajdonsá-gok olajban végzett öregítéskor, alkalmazható üzemanyag-vezeté-kekben,
- G24,000 (poliglutarát): jó hőállóság, olajállóság, ellenállás szénhidro-génekkal szemben, alkalmazható nyomóhengerek anyagában,
- A-150,000 (poliadipát): hőálló és olajálló olajtömítésekben alkalmazha-tó,
- S-160,000 (poliszebacát): jó hőállóság és olajállóság, ellenállás szén-hidrogénekkal szemben, alkalmazható olajipari vezetékekben és kábe-lekben.

Hőre lágyuló poliolefinok és EPDM

A poliolefinalapú, hőre lágyuló elasztomereket két csoportra lehet osztani: a TPO (hőre lágyuló poliolefin) és a TPV (hőre lágyuló vulkanizátum) típusokra, amelyek vulkanizált kaucsukrészeket és részlegesen kristályos poli-olefinmátrixot (pl. polipropilént) tartalmaznak. A polipropilén (akár izotaktikus, akár szindiotaktikus formájában) alacsonyabb hőmérsékleten nagymértékű kristályossága és viszonylag magas üvegesedési hőmérséklete miatt nagyon rideggé válhat. Felfedezték, hogy bizonyos kis polaritású lágyítók (monomer tallátok és szebacátok) segítségével a polipropilén amorf részének üvegesedési hőmérséklete jelentősen csökkenthető. A lágyító a hőre lágyuló poliolefin-rendszerekben mind az EPDM fázisba, mint a PP mátrixba behatol. A vizsgá-latok kimutatták, hogy egyes észterlágyítók (pl. dioktil-szobacát, izodecyl-tallát, butyl-tallát) jóval nagyobb mértékben csökkentették a PP amorf részének üve-gesedési hőmérsékletét, mint a paraffinolaj. A sikeres lágyításhoz az szüksé-ges, hogy olyan lágyítót találjanak, amely egyrészt alacsony üvegesedési hő-mérsékletet ad, másrészt magas a forráspontja, és széles hőmérséklet-tartományban összeférhető mind az elasztomerfázissal, mind a poliolefin-mátrixszal. A 8. táblázatban látható a szénhidrogénolajok és különféle észter-lágyítók hatása egy dinamikus vulkanizált hőre lágyuló elasztomer termo-fizikai tulajdonságaira. Az adatok szerint bizonyos észterlágyítók igen erősen csökkentik az amorf részek üvegesedési hőmérsékletét – anélkül, hogy lerom-bolnák a kristályos fázis szerkezetét. Ez azért előnyös, mert az alacsony hő-mérsékleten is megmaradó rugalmasság és ütésállóság nagymértékben javít-ható anélkül, hogy romlana a termékek magas hőállósága, amit a kristályos olvadáspont határoz meg.

8. táblázat

Különbféle szintetikus olajok és észterlágyítók hatása egy dinamikus vulkanizációval előállított hőre lágyuló elasztomer termikus jellemzőire [nevezetesen: az elasztomer és a hőre lágyuló mátrix üvegesedési hőmérsékletére (T_g), a mátrix kristályos részének olvadáspontjára (T_o) és a kristályossági hányadra (T_{krist})].

A dinamikus vulkanizált hőre lágyuló elasztomer 30 rész EPDM-et, 70 rész izotaktikus polipropilént + 40% lágyítót tartalmazott, térhálósítóként fenolgyanta vulkanizáló rendszert alkalmaztak. Az üvegesedési hőmérsékletek a 10 Hz-es dinamikus mechanikai relaxációs csúcsok helyét jelölik.

Lágyítók	T_g (kaucsuk) °C	T_g (mátrix) °C	T_o (kristály) °C	X_{krist} %
Lágyítómentes keverék	-41	+10	165	45
Polikarbamidzsír	-47	-1	159	50
Paraffinolaj	-46	-5	158	49
Nafténes olaj (Cyclocube 231)	-48	-5	158	47
Nafténes olaj (Cyclocube 4053)	-50	-5	157	49
Nafténes olaj (Cyclocube 410)	-51	-5	158	-
Amoco 9012 polipropilén	-45	-10	159	47
Alkil-alkiléter-diészterglutarát	-55	-11	159	-
Diizooktil-dodekándioát	-56	-14	158	51
Dioktil-szebacát	-60	-18	158	53
Dioktil-azelát	-60	-22	-	-
Diizooktil-nonil-adipát	-64	-24	-	-
Butoxi-etil-oleát	-66	-20	158	46
n-butyl-oleát	-71	-24	155	48
n-butyl-tallát	-70	-24	155	45
Izooktil-tallát	-75	-26	155	51

(Bánhegyiné Dr. Tóth Ágnes)

O'Rourke, S.: Hochleistungsesterweichmacher. = Gummi Fasern Kunststoffe, 55. k. 8. sz. 2002. p. 523-529.

Flexible vinyls get new non-phalate plasticizer. = Plastics Technology, 48. k. 9. sz. 2002. p. 33.