



**Pannon Egyetem
Intézményi Tudományos Diákköri
Konferencia
2012**



MŰSZAKI GUMIHULLADÉK ÚJRAHASZNOSÍTÁSA

Készítette: Szeremi Zsolt Róbert

Témavezető: dr. Varga Csilla

Mérnöki Kar, MOL Ásványolaj- és Széntechnológia Intézeti Tanszék

Konzulens: Gergó Péter

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS.....	1
2.	CÉLKITŰZÉS	2
3.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	3
3.1	MŰANYAGOK ÉS ELASZTOMEREK.....	4
3.1.1	OLEFIN POLIMEREK.....	4
3.1.1.1	POLIETILÉN.....	4
3.1.2	ELASZTOMEREK.....	6
3.1.2.1	EPDM.....	6
3.2	EPDM TARTALMÚ POLIOLEFIN BLENDEK.....	7
3.2.1	ÁLTALÁNOS JELLEMZŐK.....	7
3.2.2	ELŐÁLLÍTÁSI MÓDSZEREK	8
3.2.3	KOMPATIBILIZÁLÁS ÉS ENNEK SZEREPE.....	10
4.	KÍSÉRLETI RÉSZ.....	11
4.1	FELHASZNÁLT ALAPANYAGOK	11
4.2	ALKALMAZOTT KÉSZÜLÉKEK ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK	13
4.2.1	HENGERSZÉK	13
4.2.2	PRÉSELÉS	14
4.2.3	ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZER.....	15
4.3	BLENDEK ELŐÁLLÍTÁSA	15
5.	EREDMÉNYEK.....	16
5.1	HULLADÉK ALAPANYAG KIVÁLASZTÁSA.....	16
5.2	EPDM KONCENTRÁCIÓ HATÁSA KÜLÖNBÖZŐ POLIETILÉNBEN.....	18
5.2.1.	KERESKEDELMI POLIETILÉN	19
5.2.2.	HULLADÉK POLIETILÉN.....	20
5.3	KOMPATIBILIZÁLÓ ADALÉK TÍPUSÁNAK HATÁSA.....	22
5.4.	KOMPATIBILIZÁLÓ ADALÉK KONCENTRÁCIÓJÁNAK HATÁSA.....	26
6.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	28
7.	IRODALOMJEGYZÉK.....	29

1. BEVEZETÉS

Világszerte nagy kihívást jelent a hulladékká váló anyagok növekvő mennyisége. A környezet terhelésének csökkentése és a gazdaságosság növelésének érdekében nyújt alternatívát a hulladékok újrahasznosítása.

Jelentős mennyiségű hulladék keletkezik a csomagolóanyagokból, melyek nagy része polietilén. A hulladék gumiabroncsok mellett nagy mennyiségű, de szerkezetében eltérő elasztomerekből felépülő műszaki gumihulladék is keletkezik. Manapság számos terület van, amelyen nagy igény van az olcsóbban előállítható, megfelelő oldószerállóságú és jó mechanikai tulajdonságú műanyag alapanyagot és elasztomert is tartalmazó termoplasztikus elasztomer keverékekre.

Ezért dolgozatomban középpontjában a hulladék polietilén és hulladék etilén-propilén-dién terpolimer (EPDM) gumiból mint másodnyersanyagból előállítható blendék vizsgálata állt. Tiszta alapanyagból általában kisebb nehézségekkel lehet megfelelő tulajdonságú végterméket előállítani, mivel ebben az esetben a feldolgozás során kerülnek a különböző adalékok az alapanyaghoz, úgy mint a színezőanyagok, feldolgozást segítő anyagok, míg hulladék alapanyag felhasználása során például a színezőanyag már megtalálható az alapanyagban, például kupakok esetén a különböző, a gyártóra jellemző színanyagok. Ezek az előbb említett anyagok nagyban befolyásolhatják a két alapanyag elegyíthetőségét, illetve a feldolgozás körülményeit, ezek közt a hőmérsékletet, valamint befolyásolhatják a végtermék küllemét. A húzó mechanikai vizsgálatokat különböző összetételű blendénél is elvégeztem, melyekben az EPDM koncentráció 10, 20 illetve 30 m/m % volt a polietilén alapanyag mellett, illetve öt különböző adalék hatását is vizsgáltam a mechanikai tulajdonságokra.

Az elvégzett kísérletek a húzószilárdságra és húzómodulusra terjedtek ki a különböző koncentrációban EPDM gumiőrleményt, ugyanakkor adalékot nem tartalmazó blendéknél, illetve a kompatibilizáló adalékot tartalmazó blendék esetében is.

Mindkét alapanyaghoz különböző koncentrációban adtam EPDM-t, illetve adalékot. Az alapanyagok homogenizálását hengerszéken végeztem, az előzetes kísérletekben meghatározott hőmérsékleten. A homogén blendékből préseléssel állítottam elő a mechanikai vizsgálatokra megfelelő mintadarabokat, majd húzó mechanikai vizsgálatok alapján megállapítottam az EPDM koncentráció, illetve adalék összetétel és koncentráció hatását a blendék ezen tulajdonságaira is.

2. CÉLKITŰZÉS

Kísérleteim célkitűzése etilén-propilén-dién terpolimer (EPDM) műszaki gumihulladék újrahasznosítási lehetőségének vizsgálata volt. Ennek megvalósítása céljából tanulmányozni kívántam a műszaki gumik felhasználási területeit, újrahasznosításuk lehetőségeit poliolefinben. Emellett vizsgálni szerettem volna a polietilén és EPDM blendekben alkalmazható, az összeférhetőséget javító kompatibilizáló adalékokat és hatásukat a keverék mechanikai tulajdonságaira.

Célul tűztem ki kereskedelmi forgalomban kapható nagysűrűségű polietilén mellett hulladék polietilén felhasználását is. Ez a megoldás csökkentheti a környezetterhelés mértékét, valamint növelheti az újrahasznosítás mértékét. Munkám során vizsgálni szándékoztam a hulladék EPDM koncentrációjának hatását a keverék mechanikai tulajdonságaira. Emellett vizsgálni kívántam az összeférhetőséget javító adalék összetételének és koncentrációjának hatását a keverék tulajdonságaira.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A poliolefin-elasztomer blendek különböző típusú homopolimerek és kopolimerek fizikai keverékei, melyek egyesítik a poliolefinok és elasztomerek előnyös tulajdonságait, ezáltal számos új területen alkalmazhatók. A keverékek műanyag és gumi összetevőjének fajtája befolyásolja a blendek műszaki tulajdonságait és feldolgozhatóságukat. A két egymással nem elegyedő komponens összeférhetőségét adalékokkal lehet növelni. Hulladék poliolefinok és elasztomerek felhasználásával csökkenthető a keverék ára, amely gazdaságosság szempontjából előnyös. Emellett nem elhanyagolható, hogy a hulladékok, mint másodnyersanyagok alkalmazásával csökkenteni lehet a napjainkban egyre növekvő műanyag és gumi hulladék mennyiségét, ezzel tehermentesítve környezetünket. Ebben az esetben fokozott figyelmet kell fordítani a komponensek összeférhetőségére, ennek elősegítésének érdekében alkalmazhatóak a már említett kompatibilizáló adalékok, melyek például a határfelületek módosításával javítanak az alkotók egymással való összeférhetőségén.

A keverékek előállítására számos különböző típusú eljárás alkalmazható. A megömlesztés lehet hengerszékes bedolgozás vagy extruderes megmunkálás, alakadó műveletként pedig fröccsöntés vagy préseles, illetve sajtolás is alkalmazható. A blendek előállítását a kompatibilitás megteremtése mellett nehezíti a gumihulladék térhálós szerkezete is. A fizikai tulajdonságok befolyásolása mellett a feldolgozhatóságra is hatással van, például a megömlési hőmérsékletet növelheti, így a paramétereket az adott keverék rendszerhez kell illeszteni.

3.1 MŰANYAGOK ÉS ELASZTOMEREK

3.1.1 OLEFIN POLIMEREK

A poliolefineket tartalmazó polimerek építőkövei, olyan ciklikus vagy aciklikus olefinek, melyek kis moláris tömegű szénhidrogének valamint egy vagy több reaktív szén-szén kettős kötést tartalmaznak. Az egy szén-szén kettős kötést tartalmazó és egyenes szénláncú olefineket alkéneknek, a ciklikusakat cikloalkéneknek nevezzük, a kettő szén-szén kettős kötést tartalmazó olefineket diolefineknek vagy diéneknek hívjuk. Az alkéneket tartalmazó polimereket gyűjtőnéven poliolefineknek nevezik, ide tartoznak például az etén (etilén), a propén (propilén), az 1-butén (1-butilén), a 2-butén (izobutén, izobutilén) és a 4-metil-1-pentén polimerjei. A poliolefin vagy olefin polimer elnevezés ellenére ezek a polimerek nem telítetlenek, mert az idealizált struktúrájukban a láncalkotó monomerek kettős kötése a polimerizáció során felbomlanak és egyszeres kötés létrejöttével rekombinálódnak, ezzel hozva létre telített láncokat. Az olefin polimerek felhasználási területe elsősorban a csomagolóipar, emellett az építőipar és az autóipar is alkalmazza. A hulladékok fő tömegét a csomagolóipari hulladékok teszik ki, ezek között is a különböző összetételű polietilén hulladékok.

3.1.1.1 POLIETILÉN

A polietilén (PE) a kis részben olefin komonomert tartalmazó etén homopolimerek és kopolimerek gyűjtőneve. A tulajdonságaik alapján különböző osztályokba sorolt polietiléneket külön elnevezéssel látják el. A kereskedelmi forgalomban kapható polietilén eltérő számban tartalmazhat elágazásokat. Az elágazások száma befolyásolja a tulajdonságokat, ezek között meghatározza a kristályosodás fokát, amely befolyásolja a polimer sűrűségét.

A polietilén sűrűsége alapján több osztályba sorolható (1. táblázat). A nagy- és közepes sűrűségű polietilén (HDPE, MDPE) etén monomerből felépülő homopolimer, szakítószilárdságuk a legmagasabb a polietilének között, a HDPE elágazást csak elhanyagolható mértékben tartalmaz. A kis sűrűségű polietilén (LDPE) szakítószilárdsága kisebb a nagy sűrűségű változatokénál, de rugalmassága nagyobb. Az elágazások száma magasabb, átlagosan a szénatomok 2-5%-nál található elágazás.

A lineáris kis sűrűségű polietilén (LLDPE) etén és hosszabb szénláncú olefinek, például 1-butén, 1-hexén vagy 1-oktén kopolimere. Felépítésében és tulajdonságaiban is eltér a kis sűrűségű polietiléntől. Az elágazások száma kicsi, összehasonlítva a hagyományos LDPE-vel, az LLDPE szakítószilárdsága magasabb, rugalmassága és nyújthatósága miatt kedvezően alkalmazható vékony filmek előállítására során [1, 2].

1. táblázat A polietilén sűrűség szerinti osztályozása

POLIETILÉN SŰRŰSÉG SZERINTI OSZTÁLYZÁSA			
Jelölés			Sűrűség $g\ cm^{-3}$
ASTM*	ISO**	Konvencionális jelölés	
IV	-	-	> 0.960
III	PE-HD	HDPE	0.941 - 0.960
	PE-MD	MDPE	0.926 - 0.940
II	-	LLDPE	0.925 - 0.940
I	PE-LD	LDPE	0.910 - 0.925
-	-	VLDPE	< 0.900

*American Society for Testing and Materials

** International Organization for Standardization

Az előállítás körülményeinek, a gyártás paramétereinek, a különböző hatásmechanizmusú iniciátoroknak, katalizátoroknak, az eltérő reaktortípusoknak köszönhetően a polietilének különböző mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek. A kristályosodás mértékének növekedése, illetve a nagyobb sűrűség miatt magasabb a polimer Young modulusa, szakítószilárdsága. Az elágazások mértéke, a maradó- vagy az előállítási eljárás során kialakított kettős kötések száma befolyásolja a polimer hőállóságát. Az elágazást és kettős kötést csak kis mértékben tartalmazó polimerek kémiai ellenállósága magas. A nagysűrűségű fajták keménysége magasabb, ugyanakkor ridegebbek, csökken a polimer ütésállósága [2].

3.1.2 ELASZTOMEREK

Az elasztomerek fő tulajdonsága, mely kiemeli a szerkezeti anyagok közül, az, hogy már kis húzófeszültség hatására is megnyúlnak. Rugalmasságuknak köszönhetően a feszültség megszűntetése után alakjukat visszanyerik. Lineárisak, csak kisebb mértékben elágazó szerkezetűek. Amorf és kristályos részekből épülnek fel, tulajdonságaik a polimerláncot felépítő monomer fajtájától, az előállítás módjától és paramétereitől függően eltérőek. Elasztomerekkel számos helyen találkozhatunk a mindennapok során.

Meghatározó mennyiséget a gumibroncs gyártása során használnak fel, de jelentős az elasztomerek felhasználása műszaki területeken. Tömítések, csövek, membránok alapanyaga lehet, felhasználási területük szinte korlátlan, az újabb típusok és keverékek fejlesztésének következtében. A mesterséges úton előállított elasztomerek közé a teljesség igénye nélkül beletartozik a sztírol-butadién kaucsuk (SBR), a különböző sztírol-polilefinsztírol kaucsukok, a nitril és akrilát kaucsukok (NBR, ACM), fluor tartalmú kaucsukok (FPM) és a poliolefin alapú (EPM, EPDM) kaucsukok.

3.1.2.1 EPDM

Az etilén-propilén kaucsukok olyan kopolimerek, melyekben a polimerlánc telített és véletlenszerű felépítésű. Az ilyen típusú elasztomerek egyik képviselője az etilén-propiléndién kopolimer (EPDM), melyben az etiléntartalom 40-80 tömegszázalék. Az alacsony üvegesedési hőmérsékletének köszönhetően ($T_g = -50^\circ\text{C}$) kis hőmérsékleten is megőrzi ütésállóságát, illetve jó az alacsony hőmérsékleti rugalmassága. Jól ellenáll savaknak, lúgoknak, kenőanyagoknak és egyéb vegyszereknek, ezen kívül időjárásállósága és ózonállósága is kiváló.

Ezeket a tulajdonságokat az etiléntartalommal, molekulatömeggel, a diéntartalommal és diéntípussal lehet befolyásolni, például a dién típusa nagyban befolyásolja a végső tulajdonságokat, illetve a feldolgozhatóságot, az etiléntartalom a keménységre és nyerszilárdságra van hatással.

Előállításukat nagyban befolyásolja az etilén és propilén tisztasága, szennyező anyag tartalma és ezek minősége, mivel ezek a szennyezők károsan befolyásolhatják az előállítás során alkalmazott katalizátorokat (vanádium és titán vegyületek). Napjainkban a könnyű

beszerezhetőség és alacsony ár miatt a nemkonjugált diéneket alkalmazzák, mint például az etilénbornén (ENB) és diciklopentadién (DCPD), illetve az 1,4-hexadién (HD). Előállítása oldószeres eljárással történhet. Az eljárás során tankreaktort, az exoterm reakció miatt hűtést, alacsony hőmérsékletet és kis nyomást alkalmaznak. A termék granulátum formában nyerhető ki, melyet további tisztítási és szárítási művelet követhet, illetve a kiszerezés is több formában valósítható meg (pellet, granulátum, bála).

Felhasználása széles körben elterjedt, mint például háztartási gépek alkatrészeinek alapanyaga, jó vegyszerállósága miatt ipari tömítések, elektromos szigetelési tulajdonsága miatt nagy feszültségű kábelek borításaként alkalmazható. Legnagyobb mértékben az autóipar használja fel, például a gumibroncsok oldalfalának kialakítására szolgáló keverék alapanyagaként vagy polipropilénnel keverve lökhárítók előállítására. Az előbb említett tulajdonságok egyéb kaucsukkeverékekkel javíthatók, azonban ez eredményezheti a kialakított keverékek rosszabb fizikai tulajdonságait, a kaucsukok összeférhetetlensége miatt. Az összeférhetetlenséget kompatibilizáló adalékok alkalmazásával vagy megfelelő feldolgozási technikákkal lehet csökkenteni, viszont ekkor megnő az előállítás költsége [3].

3.2 EPDM TARTALMÚ POLIOLEFIN BLENDEK

Az EPDM tartalmú poliolefin keverékek a termoplasztikus anyagok családjába tartoznak. Általános jellemzőjük, hogy mind a műanyag rész, mind az elasztomer rész előnyös tulajdonságaival rendelkeznek, csökkentve vagy kiküszöbölve azok előnytelen tulajdonságait. A poliolefinek általában jó hő, illetve elektromos szigetelő tulajdonsággal rendelkeznek, emellett vegyszerállóságuk jellemzően jó. Ez kombinálható az elasztomerek rugalmas tulajdonságaival, létrehozva ezáltal egy rugalmas polimer blendet.

3.2.1 ÁLTALÁNOS JELLEMZŐK

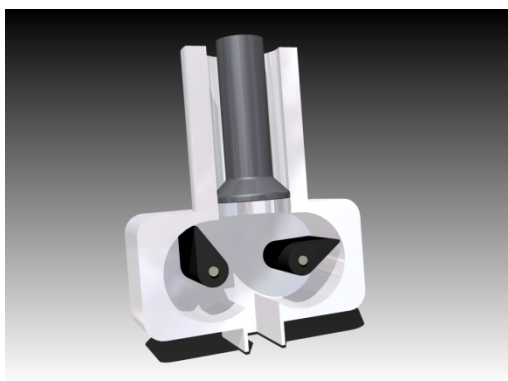
A poliolefin EPDM keverékek mechanikai tulajdonságai nagymértékben függenek az alkalmazott EPDM koncentrációtól. A koncentráció megfelelő szabályzásával különböző, eltérő felhasználási területeknek is megfelelő keverék állítható elő. Emellett kedvező

tulajdonságuk, hogy a koncentráció megváltoztatásával nagyban befolyásolható a keverékek mechanikai tulajdonsága, például polietilén (PE) és EPDM tartalmú blendéknél megállapították, hogy az EPDM koncentráció növekedésével csökken a blend kristályosodási hőmérséklete a 100 %-os polietilénéhez képest [4].

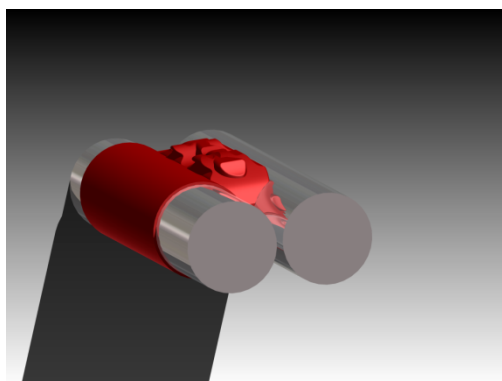
3.2.2 ELŐÁLLÍTÁSI MÓDSZEREK

A vulkanizált elastomerekkel szemben elvárás, hogy fizikai tulajdonságaik hasonlóak legyenek, mint az eredeti, vulkanizálás előtti elastomereknek, mint például a deformáció utána eredeti alak visszanyerése, illetve többszöri húzófeszültség hatására is megőrizték fizikai tulajdonságaikat. Azonban az EPDM tartalmú poliolefin blendék nem mindig állíthatók elő kizárólag a hagyományos eljárások alkalmazásával, mint a fröccsöntés, extrudálás vagy préselés.

Az EPDM poliolefin blendék előállításának egy módja a dinamikus vulkanizálás. Az eljárás során az elastomer fázist összekeverik az olvadt hőre lágyuló műanyag fázissal, ennek hatására az elastomer fázis térhálósodik vagy vulkanizálódik a keverés alatt. Az eljárás termékeként egy blendet kapunk, melyben a hőre lágyuló műanyag mátrixban vulkanizált elastomer fázis található. Az eljárás során alkalmazott hőmérsékletet nagymértékben befolyásolhatja a két anyag viszkozitása, illetve a vulkanizálás során hozzáadott kompatibilizáló adalékokkal és töltőanyagokkal szembeni viselkedésük. A megmunkálás során alkalmazott eszköz lehet belső keverő (Banbury keverő) (1. ábra), hengerszék (2. ábra), illetve egyéb olvadékot feldolgozó berendezés. A különböző típusú extruderek alkalmazása azért lehet előnytelen, mert ezekben egy pontban lokalizálódhat a nyírási feszültség és exoterm térhálósodási reakciók által, illetve keverés közben fellépő hő, melynek hatására termikus degradáció léphet fel, ami károsan befolyásolhatja a végső tulajdonságokat.



1. ábra



2. ábra

Belső keverő és hengerszék sematikus ábrája

da Costa és Ramos lineáris alacsony sűrűségű polietilénből (LLDPE), EPDM-ből és őrölt gumiabroncsból származó gumi blendekeket állított elő és vizsgálta a tulajdonságokat. A blendeke előállítására egycsigás extrudert alkalmaztak, adott fordulatszám mellett növekvő hőmérséklet profilt alkalmazva állították elő a további vizsgálatok elvégzésére alkalmas mintákat. Vizsgálták a termikus és reológiai tulajdonságokat. [4].

A DuPont cég új generációs polimerjének (Sorona®) [5] alkalmazásával állítottak elő Aravind és munkatársai EPDM tartalmú blendekeket. A Sorona® 1,3-propándiol és tereftálsav vagy dimetil-tereftalát kondenzációs polimerizációjával előállított polimer. Belső keverőt alkalmaztak a Sorona/EPDM blendeke előállításához. A belső keverő hőmérsékletét 235 °C-nak választották, 60 1/perc fordulatszám mellett 4 percig kevertették az ömledéket. A Sorona® megolvadását követően, két perc után adagolták az EPDM-et az ömledékhez. A két polimer összeférhetőségének javítására maleinsav-anhidriddel ojtott etilén-propilén típusú kompatibilizáló adalékot alkalmaztak 1; 2,5; 5 és 10 tömegszázalékban a 70/30 Sorona®/EPDM összetételű mintákban. Az előállítás körülményein nem módosították az adalékot nem tartalmazó blendekehez képest, azaz ugyanúgy 235 °C-os hőmérsékleten, 60 1/perc fordulatszámon dolgoztak 4 perces keverési idővel. A blendeke mechanikai vizsgálatához szükséges próbatesteket préseléssel állították elő. A préselés során 235 °C-ot alkalmaztak, a présnyomást 1,96 MPa értéken tartották két percig. Az előállított blendeke morfológiáját pásztázó elektronmikroszkópos felvételeken tanulmányozták. Megállapították, hogy 30-60 tömegszázalék EPDM tartalomnál alakult ki a folytonos fázis. 30 tömegszázalék EPDM koncentráció alatt a Sorona volt a mátrix, az

EPDM pedig a diszpergált rész. A kompatibilizáló adalék alkalmazásával a diszpergált részek méretét tudták a kutatók befolyásolni kedvező irányban [5].

Wang és munkatársai [6] dinamikusan vulkanizált és sajtolással előállított polietilén-oktén (POE) és EPDM blendeket állítottak elő. Elsőként a meghatározott mennyiségű POE alapanyagot olvasztották meg a keverőben, majd két perc után hozzáadták az EPDM alapú térhálósító adalékot is tartalmazó keveréket, ezután további 10 percig folytatták a keverést, időt hagyva a dinamikus vulkanizációnak. A vizsgálatokhoz szükséges mintákat, préseléssel alakították, mely 120°C-on, 8 percig tartott. Az így előállított mintákat 24 óra elteltével vizsgálták. A sajtolással előállított mintákhoz először 110°C-on keverték össze, majd 10 percig 160°C-on préselték. 20% EPDM bekeverése során tapasztalták a legnagyobb szakítószilárdságot.

3.2.3 KOMPATIBILIZÁLÁS ÉS ENNEK SZEREPE

A poliolefin-elasztomer blendek heterogén szerkezetűek, a legtöbb esetben a keveréket alkotó komponensek rosszul elegyednek egymással, ezért a gumi poliolefinbe való bedolgozása során a homogén szerkezet kialakítása nehézkes. A homogenitás érdekében a homogén végtermék előállításának érdekében különböző adalékanyagot alkalmazó és adalékanyagot nem alkalmazó technológiát lehet megvalósítani. A már említett dinamikus vulkanizálással homogén szerkezetű termék nyerhető. Adalékanyagok alkalmazásával a komponensek összeférhetősége növelhető. Ebben az esetben az adalékot úgy kell megválasztani, hogy az alkotó csoportok közül legyen olyan, amely a poliolefin funkciós csoportjával alakít ki kötést és olyan csoportja is amely pedig az EPDM-mel. Elterjedt kompatibilizáló adalékok például a szilán típusú (vinil-trietoxi-szilán) és az olefin-maleinsav-anhidrid kopolimer alapú adalékok. Az említett adalékok mellett alkalmazhatóak különböző ojtott polimerek is kompatibilizáló adalékként, például maleinsav-anhidriddel ojtott polimerek.

A már bemutatott kutatási projektben Aravind és munkatársai a Sorona/EPDM blend összeférhetőségének javítására maleinsav-anhidriddel ojtott EPM-et alkalmaztak. A kompatibilizáló adalék alkalmazásával a diszperz fázis homogénebb volt [5].

Alagar és munkatársai EPDM és LLDPE keveréket állítottak elő és vizsgáltak.

Az összeférhetőség javítására az EPDM-et viniloxiaminoszilánnal (VOS) ojtották. Az EPDM-g-VOS alkalmazásával nagyobb mennyiségben lehetett az LLDPE-t bevinni a keverékbe, ezáltal a keverék mechanikai tulajdonságai javultak [7].

4. KÍSÉRLETI RÉSZ

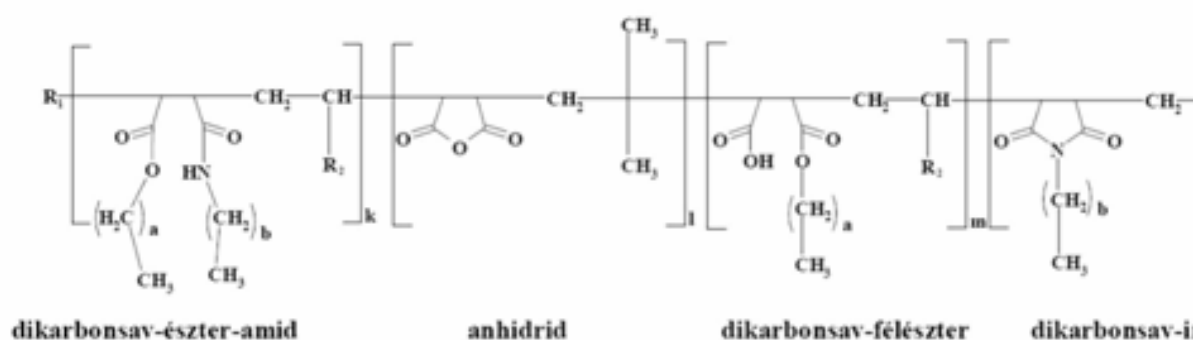
Kísérleti munkám célja az etilén-propilén-dién kopolimer (EPDM) tartalmú műszaki gumihulladék újrahasznosítási lehetőségének vizsgálata volt. Munkám során kereskedelmi forgalomban kapható, nagy sűrűségű polietilént (HDPE, TIPELIN 7100S), illetve újrahasznosított polietilént használtam. Mindkét alapanyag esetén vizsgáltam az EPDM hulladék koncentrációjának befolyásoló hatását. Emellett a homogenitás elősegítése érdekében kísérleti kompatibilizáló adalékokat is felhasználtam. Az alapanyagokból a blendeket hengerszéken homogenizáltam, majd préseléssel állítottam elő a mechanikai vizsgálatokhoz megfelelő mintadarabokat, melynek során a minták húzó igénybevétellel szembeni ellenálló képességét vizsgáltam.

4.1 FELHASZNÁLT ALAPANYAGOK

Kísérleti munkám során EPDM feldolgozási hulladék darálékát, kereskedelmi polietilént és ásványvizes palackok kupak anyagát használtam fel. A kereskedelmi forgalomban kapható polietilén TIPELIN 7100 S típusú műanyag volt (MFI: 0,1g/10perc; 190°C; 2,16kg). Az EPDM hulladékot a SZEMES Tömítéstechnika Kft. bocsátotta rendelkezésemre. A hulladék PE alapanyag MFI értéke $2,780 \pm 0,040$ g/10perc (230°C, 2,16kg) volt.

A blendékhez hulladék polietilén alapanyagként azért választottam a rózsaszín kupakot, mert $2,780 \pm 0,040$ MFI értékkel rendelkezett, illetve a feldolgozás során ennél értem el a legalacsonyabb megömlési hőmérsékletet, ami 165°C -nak adódott. A blendékben a komponensek közötti kölcsönhatás javítása érdekében a Tanszéken előállított öt különböző olefin-maleinsav-anhidrid kopolimer alapú adalékot alkalmaztam, amelyeknek valószínűsített szerkezetét a 1. **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.** szemlélteti.

Az adalék polaritását az adalékban lévő négy különböző funkciós csoport (anhidrid, félészter, észter-amid és imid) arányával változtattuk.



1. ábra Kapcsoló ágensek valószínűsített szerkezete

(R_1 : olefin monomer szénatomszámának megfelelő hosszúságú alkil-lánc;
 R_2 : R_1 -2 szénatomszámú alkil-lánc; a, b: 3-15; k: 0,2-2,0; l: 1-5; m: 1-5; n: 0,3-2,0)

A kompatibilizáló adalékokat klasszikus analitikai vizsgálatokkal, savszám, illetve elszappanosítási szám meghatározásával minősítettem (3. táblázat).

Emellett a funkciós csoportok arányát FT-IR módszerrel határozták meg az adalékok FT-IR spektruma alapján, egy tanszéken kidolgozott módszerrel.

3. táblázat Kísérleti kompatibilizáló adalékok főbb jellemzői

jellemző	A1	A2	A3	A4	A5
savszám, mg KOH/g minta	114,7	112,0	84,6	120,1	112,0
elszappanosítási szám, mg KOH/g minta	166,4	169,8	143,3	148,6	182,7
<i>funkciós csoportok aránya, %</i>					
anhidrid	33	31	21	32	30
félészter	30-40	20-30	40-50	>50	40-50
észter-amid	15-25	15-25	15-25	<10	10-15
imid	15-25	15-25	15-25	<10	10-15

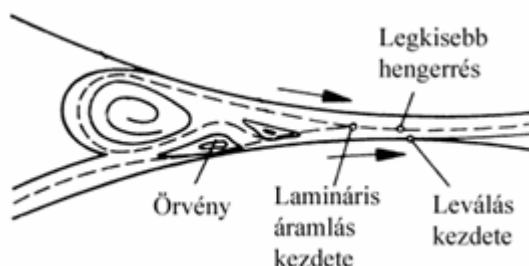
Négy adalékban 30 % körülnek választottuk az anhidrid csoportok arányát. A3 adalék esetében csökkentettük az anhidrid csoportok koncentrációját az adalékban, miközben növeltük a félészter csoportok koncentrációját. Így tanulmányoztam az anhidrid és félészter csoportok hatását a belendek húzó mechanikai tulajdonságaira.

4.2 ALKALMAZOTT KÉSZÜLÉKEK ÉS VIZSGÁLATI MÓDSZEREK

4.2.1 HENGERSZÉK

A blendek előállításához hengerszéket alkalmaztam. Az alkalmazott berendezés lényege, hogy két vízszintes tengelyű, egymással szemben forgó, azonos átmérőjű és hosszú henger forog, az alapanyagot a hengerrésbe adagolják, melyben a nyírófeszültség, az összenyomás és hő hatására az anyag megömlik. A hengerek fordulatszáma külön-külön állítható ezen kívül fontos, hogy három szegmensre oszlanak, melyek hőmérséklete külön állítható, amennyiben az eljárás, illetve az alapanyag megkívánja. A berendezésen először puhítják az anyagot, a hengerek egymás felé forgásának következtében az anyag a hengerek közötti rés felé mozog (*1. ábra*), melynek nagysága állítható, mivel általában az egyik henger vízszintes irányban mozgatható. A rés nagyságával beállítható az anyag vastagsága is. Azt a hengert, amin a megömlött anyag forog, munkahengernek nevezik. Miután az előállítani kívánt blend poliolefin alapanyaga kellő mértékben megömlött, részletekben hozzáadagoltam az EPDM gumit.

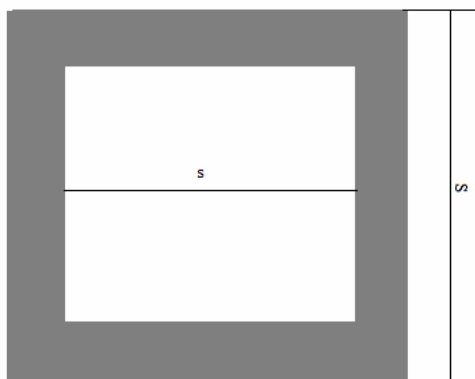
A hengersizékes bedolgozást addig folytattam, amíg a blend homogenitása megfelelővé vált, majd az anyagot a hengersizékről levéve préselést alkalmaztam alakadó műveletként.



1. ábra A megömlött anyag viselkedése a hengerrésben

4.2.2 PRÉSELÉS

Az alapanyagok összedolgozását követően a blendnek megfelelő formát kell adni ahhoz, hogy további, mechanikai vizsgálatok elvégezhetőek legyenek, vagy a kívánt végső formát kialakítsák. Munkám során azért alkalmaztam préselést, mert az így kapott lapból ki tudtam vágni a megfelelő mintadarabokat. A préselés egy olyan alakadó művelet, melyben hő és nyomó erő hatására az anyag felveszi a présforma alakját. A présforma alakja több szempont alapján is megválasztható, például a mechanikai vizsgálatokra előállítani kívánt próbatest alakja szabja meg. Az így előállított lap vastagságát a présforma vastagságával állíthatjuk be (2. ábra).



2. ábra Az anyag alakját meghatározó présforma belső

4.2.3 ALKALMAZOTT VIZSGÁLATI MÓDSZER

A szakítószilárdság meghatározását az MSZ EN ISO 527-1-4:1999 szabvány szerint végeztem.

A húzóvizsgálatokat INSTRON 3345 univerzális szakítógéppel végeztem, 90mm/perc keresztfej-elmozdulási sebesség mellett. A vizsgálatok során a környezeti hőmérséklet minden esetben 23°C, a relatív páratartalom 37% volt.

4.3 BLENDEK ELŐÁLLÍTÁSA

Kísérleti munkám során 0,05 m/m%, 0,1 m/m% és 0,2 m/m% adalékot tartalmazó PE blendeket készítettem. A blendek előállítása több lépésben történt. Az első lépésben az EPDM őrlményt laboratóriumi hengerszéken (2. ábra) (LRM-M-100 LabTech, Engineering) bedolgoztam a polietilénbe.

Ezt követően a hengerszéken kapott anyagokat ledaráltam (DIPRE GRS 183A9), majd a darálékból préseléssel (3. ábra) (ARBURG 370C) mechanikai vizsgálatokhoz szükséges próbatesteket állítottam elő, amelyek 148mm hosszúak, 10mm szélesek és 2mm vastagságúak voltak. A feldolgozás során a hengerszék első hengere 170°C-os, a hátsó henger pedig 140°C-os volt, a fordulatszámot az első hengernek 12,8 fordulat/perc-nek, a hátsó hengernek 4,0 fordulat/percnek választottam. A préselésnél alkalmazott hőmérséklet 150°C volt.



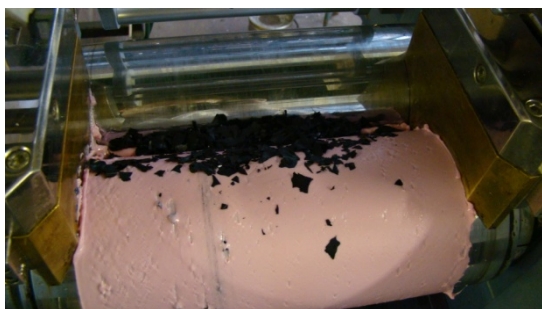
laboratóriumi hengerszék



laboratóriumi prés

3. ábra Minták előállítása során alkalmazott berendezések

A *4.a. ábra* szemlélteti a megömlött hulladék polietilént az EPDM őrlemény hozzáadásakor a *4.b. ábra* pedig a bedolgozott EPDM őrleményt.



a, EPDM őrlemény a bedolgozás előtt



b, EPDM őrlemény a bedolgozás után

4. ábra Minta előállítása

5. EREDMÉNYEK

5.1 HULLADÉK ALAPANYAG KIVÁLASZTÁSA

A tanszéken szelektív hulladékgyűjtés során hat különböző színű (kék rózsaszín, zöld, sárga, fehér, és piros) kupakot tudtam elkülöníteni. Ezek közül választottam ki a kísérleteimhez alkalmazott rózsaszín kupak alapanyagot.

Az alapanyag kiválasztása az MFI érték, illetve a kupak darálékból előállított préselt lapok mechanikai tulajdonságai alapján történt. Az MFI mérések eredményeit a *4. táblázatban* foglaltam össze.

4. táblázat Hulladék kupakok MFI méréseinek eredményei

Hulladék kupakok jellemzői				
kupak típus	mérési körülmények		sűrűség	MFI
	hőmérséklet (°C)	terhelés (kg)	g/cm ³	g/10 perc
kék	230	2,16	0,747	2,770 ± 0,055
rózsaszín	230	2,16	0,745	2,780 ± 0,040
fehér	230	2,16	0,752	4,805 ± 0,195
piros	230	2,16	0,747	5,272 ± 0,145
sárga	230	2,16	0,746	3,995 ± 0,296
zöld	230	2,16	0,746	3,785 ± 0,074

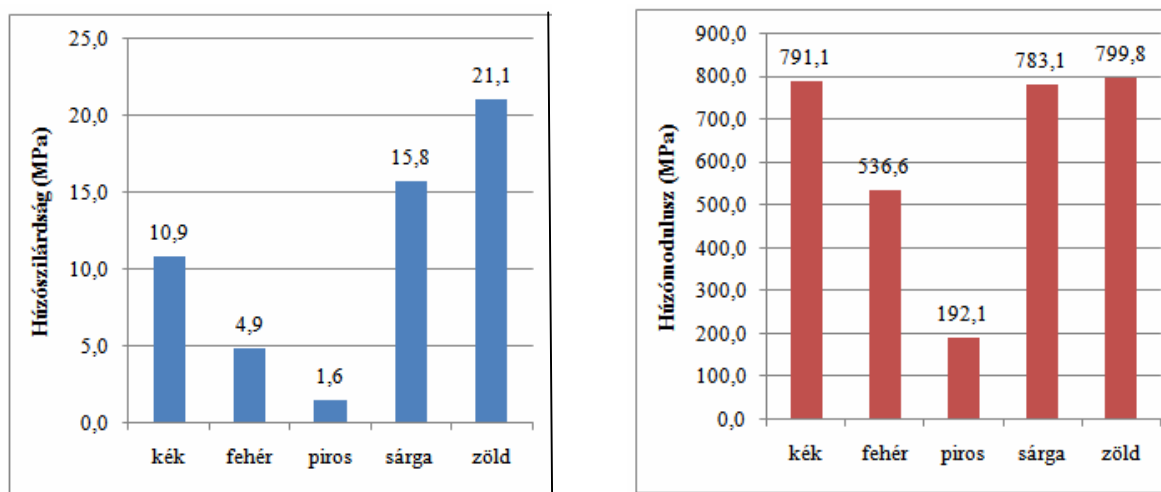
A hat különböző színű kupak MFI eredményei alapján három különböző tartományt tudtam megkülönböztetni. A legkisebb MFI-vel (2,770-2,780 g/10perc) a kék és a rózsaszín kupakok rendelkeztek. Közepes MFI értékkel (3,785-3,995 g/10perc) jellemezhető a zöld és a sárga kupak.

Az MFI értékek alapján a tartomány másik végén a fehér és piros kupak található (4,805-5,272 g/10perc). A vizsgált kupakok közül a kék és rózsaszín kupakok MFI értéke a legközelebbi a kereskedelmi forgalomban kapható, a tanszéken rendelkezésre álló polietilén MFI értékéhez. Ezen kívül a hengerszéken a feldolgozáshoz alkalmazható hőmérsékletekben is tapasztaltam különbséget, ami az MFI értékek miatt várható is volt.

5. táblázat Hulladék kupakok hengerszékes vizsgálata

FELDOLGOZÁS				
Kupak típus	Hengerszékes bedolgozás		Préselés	
	Első henger hőmérséklet °C	Hátsó henger hőmérséklet °C	Hőmérséklet °C	Időtartam perc
fehér	175	145	170	11
kék	160	130	155	20
piros	165	135	165	35
rózsaszín	155	125	165	15

A feldolgozási hőmérsékletek alapján (5. táblázat) is a rózsaszín kupakra esett a választásom, mert alacsonyabb hőmérsékletet enged meg, mint a kék kupak alapanyag, ami azért fontos, mert az EPDM 170°C felett tartósan nem használható. Azt a szempontot vettem figyelembe a kupak alapanyag kiválasztásakor, hogy a lehető legkisebb feldolgozási hőmérsékletet lehessen alkalmazni az EPDM károsodásának elkerülése érdekében. A zöld és sárga kupakok ilyen szempontból köztes értéket képviselnek. A meghatározott MFI tartománynak a két szélét vizsgáltam a feldolgozási hőmérséklet szempontjából, a zöld és a sárga kupakokat nem.



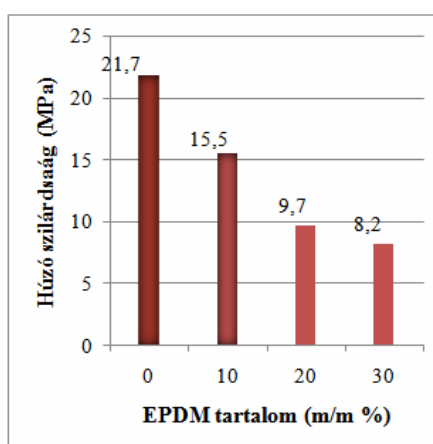
4. ábra Hulladék kupakok mechanikai vizsgálatának eredménye

5.2 EPDM KONCENTRÁCIÓ HATÁSA KÜLÖNBÖZŐ POLIETILÉNBEN

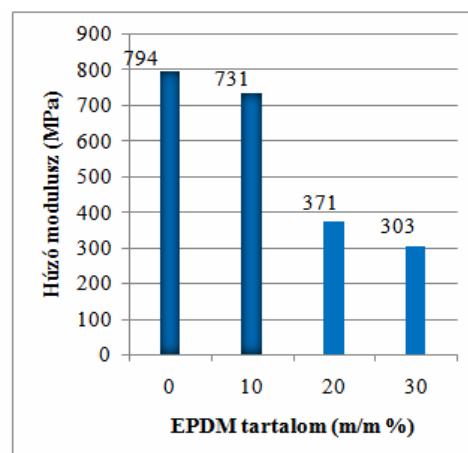
A hulladék EPDM koncentrációját 0-30 % tartományban változtattam a kereskedelmi forgalomban kapható polietilén alapanyag és hulladék kupak esetén is.

5.2.1. KERESKEDELMI POLIETILÉN

Elsőként kereskedelmi polietilénben alkalmaztam az EPDM örleményt, a koncentrációját 0- 30 % között változtattam. Vizsgáltam az EPDM koncentráció hatását a húzó mechanikai jellemzőkre. Meghatároztam a minták húzószilárdságát (7.a ábra), és a húzómodulust (7.b ábra). A várakozásoknak megfelelően csökkent a húzószilárdság az EPDM koncentráció növelésével. Már 10% EPDM koncentráció hatására mintegy 35 %-os húzószilárdság csökkenést tapasztaltam. 20% EPDM koncentráció esetén 10 MPa alá csökkent a húzószilárdság értéke. 30 % EPDM alkalmazásakor az eredeti alapanyag húzószilárdsága közel harmadára csökkent. 20 % EPDM tartalom fölött a húzószilárdság csökkenés sokkal kisebb mértékű volt, mint a 20 % alatti tartományban. 0-20 % között közel lineárisan csökkent a húzószilárdság az EPDM koncentrációjának növelésével.



a, Húzószilárdság



b, Húzómodulusz

7. ábra Mechanikai vizsgálatok eredménye adalékot nem tartalmazó blendéknél

A blendék EPDM tartalma nagyban befolyásolta a húzómodulust ugyanúgy mint, ahogy a húzószilárdságot is. 10 % EPDM bedolgozásakor a modulusz 794 Mpa-ról 731 MPa-ra csökkent. Ez 8 %-os változást jelentett. Az EPDM koncentráció 20 %-ra növelésével azonban már több mint 50 %-os csökkenést tapasztaltam. Az EPDM koncentráció további növelése már csak kisebb mértékű csökkenést okozott.

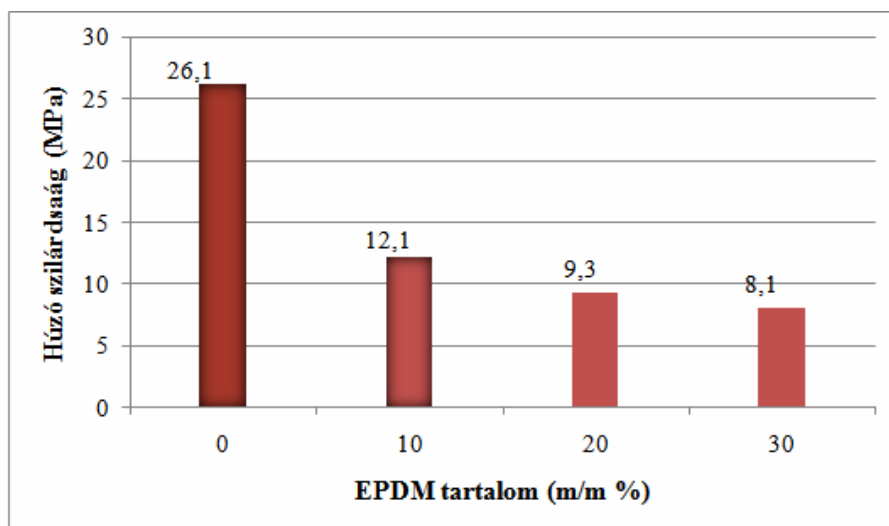
Ez azt jelentette, hogy a 30 % EPDM -et tartalmazó blend húzómodulusza 38 %-a volt a kereskedelmi alapanyagra jellemző értéknek. Az eredmények azt mutatták, hogy a polietilén merevsége kis EPDM-tartalom esetén nem változik jelentősen, ugyanakkor az EPDM koncentráció 20 %-ra növelése már, mintegy 50 %-os merevség-csökkenést okozott.

Az eredmények alapján arra következtetésre jutottam, hogy 10 % fölé nem érdemes emelni a blendben az EPDM koncentrációját, ezért további kísérleteimben, ahol a kompatibilizáló adalék típusának, illetve koncentrációjának hatását vizsgáltam, 10 %-ban alkalmaztam az EPDM hulladékból származó örleményt.

5.2.2. HULLADÉK POLIETILÉN

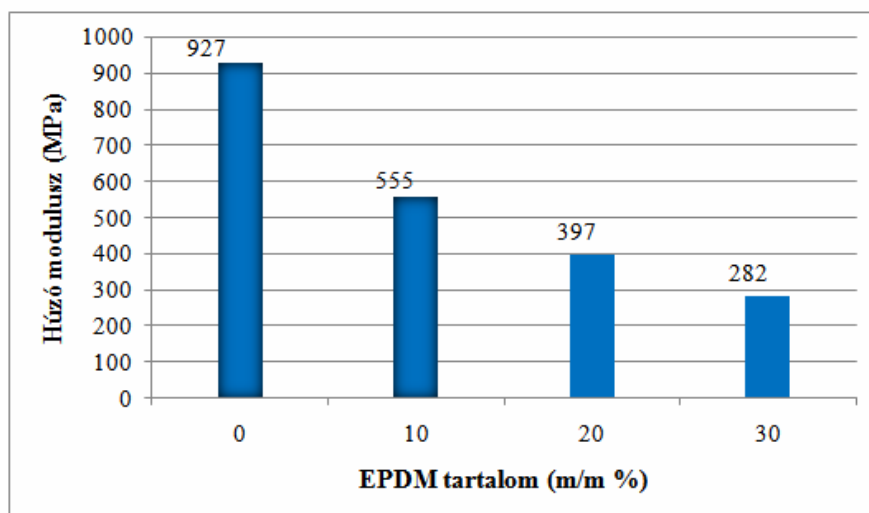
Hulladék polietilén alapanyag esetén is 0-30 %-os határok között vizsgáltam az EPDM koncentráció hatását a húzó mechanikai jellemzőkre. Vizsgálataim itt is a minták húzószilárdságára, és húzómoduluszára terjedtek ki (8. ábra). A húzószilárdság vizsgálatánál szintén csökkenést tapasztaltam az EPDM koncentráció növelésével.

10 % százalékos EPDM koncentrációjú blend esetén a húzószilárdság még 10 MPa felett maradt, de a csökkenés meghaladta az 50 %-ot. Az EPDM tartalom növelésével a húzószilárdság hasonló mértékben csökkent, mint a kereskedelmi forgalomban kapható polietilén alapanyag esetén, 20 %-nál 9,3 MPa-ra, 30 %-nál pedig 8,1 MPa-ra.



8. ábra Mechanikai vizsgálatok eredménye adalékot nem tartalmazó blendéknél

A blendek vizsgálatakor megállapítottam, hogy a blendek EPDM koncentrációjának növelésével a húzómodulusz csökken (9. ábra). 10 %-os EPDM tartalomnál a húzómodulusz 555 MPa-nak adódott, ami több, mint 40 %-os csökkenésnek felel meg. 20%-os EPDM tartalomnál a húzómodulusz az EPDM-et nem tartalmazó blendhez képest már csak 397 MPa-os húzómodulusszal rendelkezett, ami több, mint 57 %-os csökkenést jelentett. A 10-30 %-os koncentráció tartományban lévő blendek húzómoduluszát összehasonlítva a csökkenés nem volt olyan mértékű az egymást követő koncentrációk esetében, mint a 10 %-ban EPDM-et tartalmazó blend és a tiszta alapanyag között, itt a csökkenés 158 MPa és 115 MPa volt.



9. ábra Mechanikai vizsgálatok eredménye adalékot nem tartalmazó blendeknél

5.3 KOMPATIBILIZÁLÓ ADALÉK TÍPUSÁNAK HATÁSA

Öt különböző szerkezetű, olefin-maleinsavanhidrid kopolimer alapú kompatibilizáló adalékot alkalmaztam 10 % EPDM hulladékot tartalmazó polietilén blendekben. Az adalékok húzószilárdságra kifejtett hatását kereskedelmi forgalomban kapható polietilén (kPE, TIPELIN 7100S) és hulladék polietilén (hPE) alapanyag esetében is vizsgáltam. Az adalékot 0,1 m/m % koncentrációban alkalmaztam.

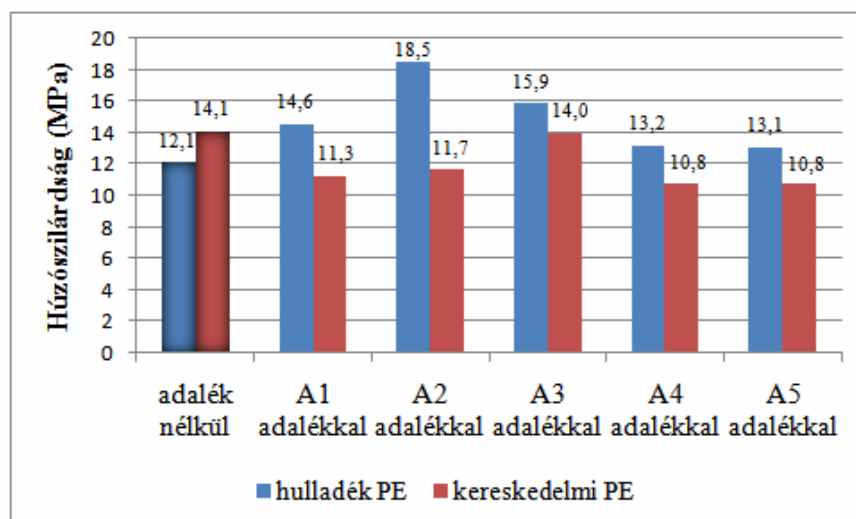
A kompatibilizáló adalékok típusa jelentősen befolyásolta a blendek húzószilárdságát a polietilén alapanyag típusa mellett (10. ábra). Kereskedelmi polietilén alkalmazásakor a kompatibilizáló adalékok alkalmazásával kisebb mértékű javulást lehetett elérni, mint a hulladék alapanyaggal. Azt is megállapítottam, hogy eltérő szerkezetű adalék bizonyult hatékonynak a két polietilén típusnál.

Az alkalmazott adalékok közül egyik sem nyújtott kiemelkedő teljesítményt a blendek húzószilárdsága szempontjából kereskedelmi polietilénben. Csak az A3 jelű adalékkal sikerült az adalékot nem tartalmazó blend húzószilárdságát elérni. Pontosabban az adalék hatására nem romlott a blend húzószilárdsága.

A többi adalék alkalmazásakor a blend húzószilárdsága közel azonos mértékben, 17-23 % között csökkent.

A húzószilárdság szempontjából az A4 és A5 jelű adalékok bizonyultak a legkevésbé hatékonynak kereskedelmi polietilénben. Mindkét adalék 23%-kal csökkentette a blend

húzószilárdságát. Ez egyrészt annak köszönhető, hogy a kompatibilizáló adalékokban az észter-amid és imid funkciós csoportok aránya 15 % alatti volt. Emellett mindkét adalék jelentős arányban tartalmazott félészter és anhidrid funkciós csoportokat amelyek nagymértékben megnövelték az adalék polaritását. Ez az alapvetően poláris típusú polimerek/elsztomerek összeférhetőségének javítása szempontjából nem volt előnyös.



10. ábra Kompatibilizáló adalék típusának hatása a húzószilárdságra 90/10 összetételű PE/EPDM blendek esetén (adalék koncentráció: 0,1 m/m %)

Ugyancsak negatív irányban befolyásolta a blend húzószilárdságát az A1 és A2 jelű adalék. Ezek az adalékok ugyan nagyobb arányban tartalmaztak észter-amid és imid funkciós csoportokat, mint a korábban említett két adalék (A4, és A5), viszont a félészter funkciós csoport aránya kisebb volt. Az anhidrid funkciós csoport aránya mind a két adalékban azonosnak tekinthető.

Az A3 adalékban ugyan az észter-amid és imid funkciós csoportok aránya 15-25% közé esett és a félészter csoportok koncentrációja a 40-50 % adódott, az anhidrid csoportok aránya viszont jelentősen eltért a másik négy adalékra jellemző értékektől.

Ezek alapján úgy tűnik, hogy kereskedelmi polietilénben a polietilén és az EPDM közötti kölesönhatás javítása szempontjából kritikus az anhidrid funkciós csoportok koncentrációja az adalékban.

Hulladék polietilén alapanyag alkalmazásakor valamennyi adalék pozitívan befolyásolta a blend húzószilárdságát. A legkisebb mértékű javulást az A4 és A5 adalékok esetében tapasztaltam. E két adalék hatására mindössze 10 %-kal növekedett a húzószilárdág.

Hulladék polietilén esetében sem bizonyultak tehát hatékonyak azok az adalékok, amelyekben az észter-amid és az imid funkciós csoportok aránya 15 % alatti volt. Ezen belül ugyan volt különbség a két funkciós csoport koncentrációjában, mert az egyik 10 % alatti koncentrációban tartalmazza ezeket a funkciós csoportokat, a másik pedig 10-15 %-ban, de a húzószilárdság szempontjából ez nem okozott különbséget. Az A4 és A5 adalékok jelentős koncentrációban tartalmaztak félészter származékot, és a két adalék esetében eltérő volt a koncentrációja, viszont a húzószilárdság szempontjából ennek hatása nem érvényesült.

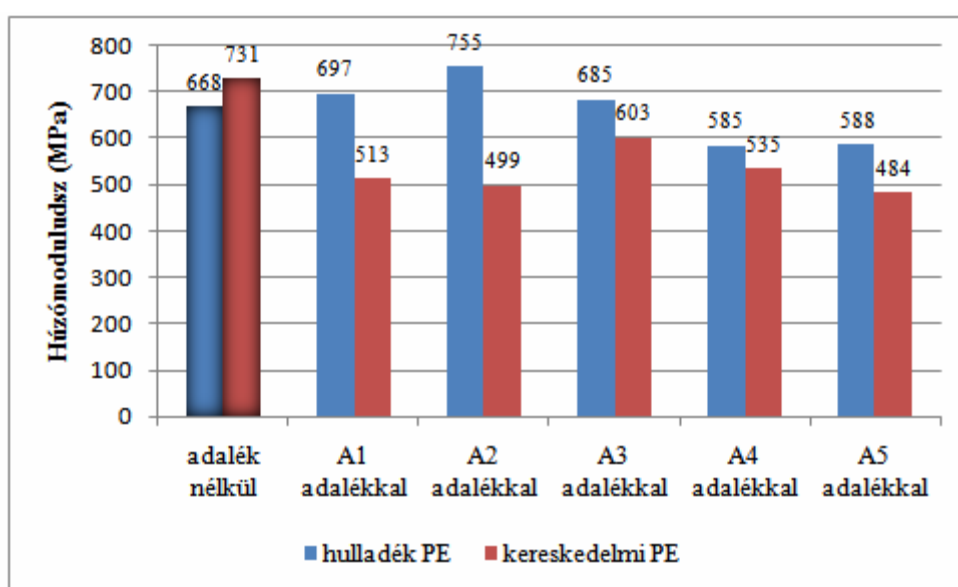
Az A1, A2 és A3 adalékok esetében a korábbi két adalékhoz képest az észter-amid és imid funkciós csoportok arányát nagyobbak választottuk és nagyobb mértékű húzószilárdság javulást is sikerült elérnem. Úgy tűnik, hogy a húzószilárdság nagyobb mértékű javíthatósága szempontjából az észter-amid és imid származékok koncentrációját a 15-25 % határok között kell tartanunk. A félészter származék koncentrációját széles tartományban 20-50 % között változtattuk. Az A1 és A2 adalékok tanulmányozásakor az adalékban lévő félészter típusú funkciós csoportok koncentrációjának hatása hasonlítható össze. Ez a két adalék ugyanis közel azonos koncentrációban tartalmazott anhidrid, észter-amid és imid származékot. A húzószilárdság szempontjából úgy tűnt, hogy az adalékban lévő félészter származék koncentrációja meghatározó. Mindkét adalék jelentősen javította a blend húzószilárdságát, csak eltérő mértékben. Az az adalék (A1), amelyben a félészter funkciós csoportok koncentrációját nagyobbak választottuk, kisebb mértékben, mintegy 20 %-kal javította a blend húzószilárdságát. Amikor olyan adalékot alkalmaztunk (A2), amelyben a félészter koncentrációját csökkentettük, nagyobb mértékű húzószilárdság javulást tapasztaltam, a blend húzószilárdsága 12,1 MPa-ról 18,9 MPa-ra növekedett, amely 50 % húzószilárdság javulást jelentett.

A félészter származék koncentrációjának növelésével (A3) akkor tapasztaltam nagyobb mértékű pozitív hatást a blend húzószilárdsága tekintetében, ha az adalékban ezzel párhuzamosan csökkentettük az anhidrid származék arányát. Az A3 adalék alkalmazásakor a blend húzószilárdsága 31 % százalékkal 15,9 MPa-ra növekedett. Ez a javulás a kevesebb félésztert tartalmazó adalékkal (A1) készített blendhez képest csaknem 10 % többletet jelentett.

A húzószilárdság mellett vizsgáltam a 90/10 PE:EPDM tartalmú és 0,1 mm %-ban adalékot tartalmazó blendék húzómodulusát is (11. ábra). Megállapítottam, hogy itt is csökkenés tapasztalható, a hulladék alapanyagot tartalmazó blendéknél.

19-37 %-os visszaesést, a kereskedelmi PE-t tartalmazó blendeknél pedig 8-39 %-os csökkenést figyeltem meg.

Az elvégzett mechanikai vizsgálatok értékelése során csökkenést tapasztaltam az adalékot tartalmazó blendek húzómodulusz értékeiben. A legkisebb csökkenést, 128 MPa-t az A3 adalék hozzáadásával tapasztaltam kereskedelmi polietilént alapanyagot tartalmazó blendeknél, ez mintegy 17,5 % csökkenésnek felelt meg. Ahogyan a húzószilárdságnál is megfigyeltem, a húzómodulusz értékek is közel azonos mértékben csökkentek az A1, A2 és A5 adalékot tartalmazó blendek esetében, ez mintegy 30%-os csökkenésnek adódott.



11. ábra Kompatibilizáló adalék típusának hatása a húzómoduluszra 90/10 összetételű PE/EPDM blendek esetén (adalék koncentráció: 0,1 m/m %)

Hulladék polietilén felhasználásakor az A1, A2 és A3 adalékokkal értem el javulást az adalékot nem tartalmazó 90:10 PE:EPDM blendekhez képest. A három adalék közül az A1 és A3 adalék esetén a javulás néhány százalék, viszont az A2 adalékkal 13 %-os növekedést értem el.

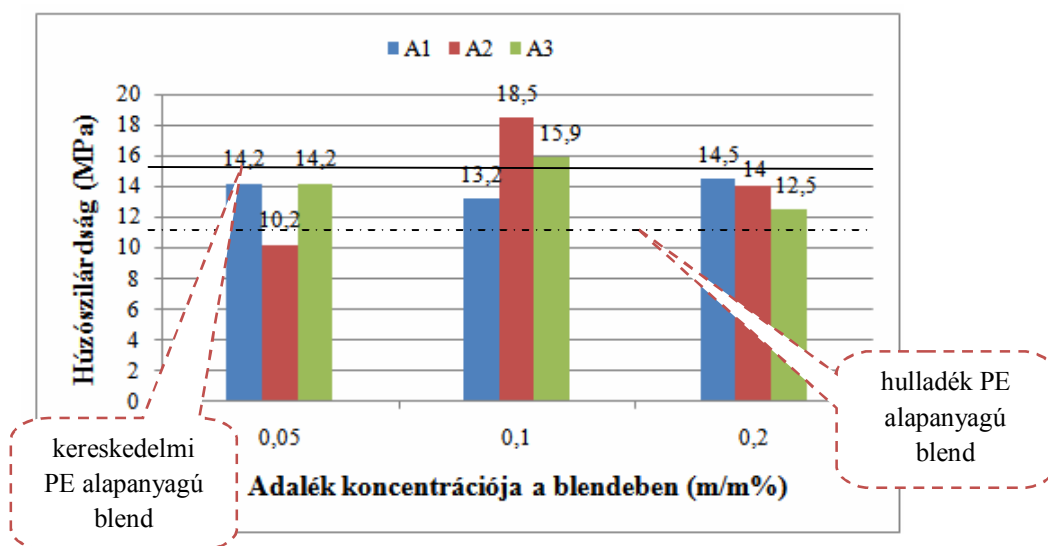
A húzómodulusz szempontjából nem vártam jelentős különbséget az adalékok hatására, mert a két komponens (PE, EPDM) közötti kölcsönhatás erőssége elsősorban a szakadáskor mért jellemzőkön keresztül tanulmányozható. A húzómoduluszt viszont a szakító görbe kezdeti szakaszán számítjuk, ahol még nem kell számításba venni a különböző tönkremeneteli jelenségeket. Mivel e jellemző szempontjából a kölcsönhatás

nem meghatározó a szakítógörbe kezdeti szakaszán és az adalékot a kölcsönhatás javítása érdekében alkalmaztam így nem is vártam számottevő változást.

5.4. KOMPATIBILIZÁLÓ ADALÉK KONCENTRÁCIÓJÁNAK HATÁSA

Hulladék polietilénben a legjobbnak talált A2 adalék esetében vizsgáltam az adalék koncentráció hatását a húzó mechanikai jellemzőkre (12. ábra). Emellett az A1 adalékot választottam ki ugyancsak az adalék koncentráció húzó mechanikai jellemzőkre kifejtett hatásának tanulmányozására.

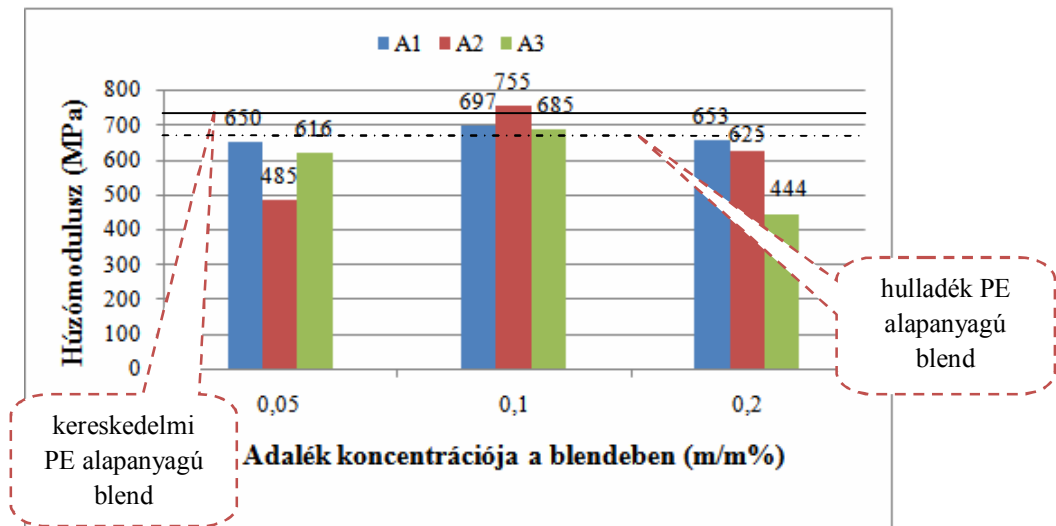
Az adalék koncentráció valamennyi esetben 0,05-0,2 m/m % tartományban változtattam. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy valamennyi adaléknál a korábban alkalmazott 0,1 m/m %-os koncentráció bizonyult megfelelőnek. Azonban a koncentráció az A1 adalék esetében fejtette ki a legkisebb hatást. Az A2 adaléknál nem volt érdemes csökkenteni a koncentrációt, mert ezzel a blend szilárdsága az adalékot tartalmazó blend szilárdsága alatti értékre csökkent. Ugyanakkor a koncentráció növelése sem mondható előnyösnek. Ez esetben ugyanis az A1 adalék, 0,1 %-os koncentrációval elérhető eredményt kaptam.



12. ábra Húzószilárdság alakulása adalékot tartalmazó 90:10 PE:EPDM blendek esetén

A kereskedelmi polietilénhez az A3 adalék hozzáadásával a 0,1 m/m %-os koncentráció bizonyult a legkedvezőbbnek a vizsgált koncentráció tartományon belül, azonban a koncentráció növelése és csökkentése is előnytelenül befolyásolta a húzószilárdságot, igaz csökkentéskor kisebb mértékben.

A húzómodulusz esetében (13. ábra) ugyanazokat a trendeket fedeztem fel, mint a húzószilárdságnál.



13. ábra Húzómodulusz alakulása adalékot tartalmazó 90:10 PE:EPDM blendek esetén

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A hulladék EPDM bekeverése csökkentette a minta húzószilárdságának és húzómodulusának értékét. Kompatibilizáló adalékot nem alkalmazva az EPDM koncentráció maximális értéke 10% lehet a keveréken belül, a koncentráció további növelése a kiindulási tulajdonságértékeket több, mint 50%-al csökkentette. Kompatibilizáló adalékkal a csökkenés mértéke kisebb volt.

A kompatibilizáló adalékok hatásának tanulmányozásakor az alábbi következtetéseket vontam le:

Hulladék polietilén alapanyag esetén az alkalmazott adalékok közül azok (A1, A2, A3) bizonyultak megfelelően előnyösnek, amelyeknél a reagálatlan anhidrid gyűrű aránya 20-30% között, a félészter származékok aránya pedig 30-50 % között változott. Emellett pedig az észter-amid és imid csoportok aránya a 15-25 % tartományba esett.

Azok az adalékok (A4 és A5), amelyekben jelentősen eltért a kétféle funkcionális egység (gyűrű és félészter) aránya, és a félészter aránya 41 % fölé emelkedett, nem voltak hatékonyak.

Kereskedelmi polietilén szempontjából az az adalék bizonyult előnyösnek (A2), amelyben a gyűrű arányát 20 %-ra csökkentettük.

Igaz, hogy a félészter aránya így 40 % fölöttinek adódott, de az adalék polaritását sikerült nagyobb mértékben visszaszorítani, mert az észter-amid és imid csoportok aránya az előnyös 15-25 %-os tartományon belül maradt.

A későbbiekben szeretném az EPDM koncentráció növelésének hatását vizsgálni a kiválasztott adaléktípus alkalmazása mellett, valamint új adalékok összeférhetőség javító hatását is szeretném tanulmányozni. Emellett vizsgálni kívánom az EPDM koncentráció, illetve további, kereskedelmi forgalomban kapható és kísérleti kompatibilizáló adalékok által kifejtett hatását a blendék ütéssel szembeni ellenálló képességére.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] BIO Intelligence Service, AEA Technology, European Commission (DG Environment), *Plastic waste in the environment – Final Report*, 2011. április
- [2] Füzes László, *Műanyagok anyag- és technológia kiválasztás*, Bagolyvár Könyvkiadó, 1994
- [3] Dr. Soós István, *Étilén-propilén kaucsukok*, Dr. Bartha Zoltán - Gumiipari kézikönyv, 4.3.8 fejezet, Taurus-OMIKK, 1988
- [4] Helson M. da Costa, Valéria D. Ramos *Analysis of thermal properties and rheological behavior of LLDPE/EPDM and LLDPE/EPDMSRT mixtures*, Polímer Testing, 27, 27-34, 2008
- [5] I. Aravind et al, *Compatibilizing effect of EPM-g-MA in EPDM/poly(trimethylene-terephthalate incompatible blend*, Polímer, 45, 4925-4937, 2004
- [6] Z. Wang et al, *Dynamically vulcanized blends of polyethylene-octene and ethylene-propylene-diene terpolymer*, Material Chemistry and Physics, 126, 272-277, 2011
- [7] M. S. Chandra Kumar, M. Alagar, A. Anand Prabu, *Studies on dynamic mechanical and mechanical properties of vinylxyaminosilane grafted ethylene propylene diene terpolymer/linear low density polyethylene (EPDM-g-VOS/LLDPE) blends*, European Polymer Journal, 39, 805–816, 2003