

Magyarország az ezredfordulón
MTA stratégiai kutatások

ZÖLD BELÉPŐ
EU-csatlakozásunk
környezeti szempontú vizsgálata

**Beczner Judit – Lajos József – Vásárhelyiné Perédi Katalin –
Kardos Györgyné – Haidekker Borbála (KÉKI) –
Kertész Béla (ACSI)**

**A biológiai úton lebomló csomagolóanyagok előállítási és
felhasználási lehetőségének vizsgálata itthon és külföldön**

Témavezető:
Biacs Péter

Sorozatszerkesztő:
**Kerekes Sándor és
Kiss Károly**

Budapest, 1997. november

TARTALOM

1. A csomagolóanyagokból eredő hulladékok mennyisége és minősége nemzetközi és hazai viszonylatban	3
1.1. A nemzetközi helyzet.....	3
1.2. A hazai helyzet.....	10
2. A műanyag csomagolószerekből eredő környezetszennyezés.....	13
2.1. Műanyagok felhasználása	13
2.2. Az egyes anyagok lebonthatósága biológiai úton	16
2.3. A műanyagokból eredő környezetszennyezés	19
3. A műanyag csomagolási hulladék csökkentése biológiailag lebomló anyagok bevonásával	26
3.1. A műanyag csomagolószerek főbb csoportjai	26
3.2. Lebomló műanyagok.....	28
3.3. A megújuló nyersanyagok (biopolimerek) alkalmazása csomagolóanyagok előállítására.....	32
3.4. A biopolimer tartalmú csomagolóanyagok élelmiszeripari alkalmazhatóságának vizsgálata ...	35
3.5. A lebomló csomagolóanyagokból keletkező hulladék kezelése	35
4. A biológiai úton lebomló csomagolóanyagok helyzete világviszonylatban	38
5. A magyar viszonyok felmérése biológiai úton lebomló csomagolóanyagok előállítására .	41
5.1. Az alapanyag hozzáférhetősége	41
5.2. Kutatás	42
6. Hogyan tovább?.....	44
7. Javaslat a következő évre.....	47
Összefoglalás	48
Felhasznált irodalom.....	53

1. A CSOMAGOLÓANYAGOKBÓL EREDŐ HULLADÉKOK MENNYISÉGE ÉS MINŐSÉGE NEMZETKÖZI ÉS HAZAI VISZONYLATBAN

1.1. A nemzetközi helyzet

A két kommunális szeméttípus, a szennyvíz és a szilárd hulladék helyzete kritikus szintet ért el gyakorlatilag mindenütt a világon. Az Amerikai Egyesült Államokban, 1988-ban 165 millió tonna szilárd hulladék keletkezik, amely 600 kg/fő/év hulladéktermelésnek felel meg (USEPA 1990a). Ennek mennyisége az előrejelzések szerint 2000-re 197 millió tonna lesz, 2010-re 228 millió tonnára fog növekedni (USEPA 1990b). Az elmúlt időszak fő megsemmisítési lehetősége mindkét típusú szemét számára az elégetés, az óceánba (vízbe) való ürítés és a szárazföldi lerakódóhelyek. A szilárd szemétnek több, mint 50 %-a teljesen lebomló anyag (papír és származékai, kerti hulladék, élelmiszer és fa) – megfelelő körülmények között (komposztálhatók, felhasználhatók, mint biotrágyák vagy talajkondicionálók). Ezek legnagyobb részét viszont a szemétkerakódó helyekre kerülnek (Parr és Hornick, 1992).

A fémek, műanyagok és az üveg az összes hulladék mintegy 25 %-át képezik. Ezen anyagok újrafelhasználhatók – szeparált gyűjtés esetén.

A szilárd szemétnek az USA-ban csak mintegy 10 %-át dolgozzák fel, másik 10 %-át elégetik, s a 80 %-a szemétkerakódó helyekre kerül. Ez utóbbi miatt a működő hulladéklerakók hamarosan megtelnek, s újabbak nyitása egyre nagyobb ellenállásba ütközik. 2000-re mintegy 60 %-kal fog csökkenni ezen helyek száma: 1988-ban 5499 volt a működő szemétkerakódók száma, 2000-re csak 2157 lesz, s az évi befogadóképességük az 1988-as évi 187 millió tonnáról 76 millió tonnára fog csökkenni (USEPA 1989).

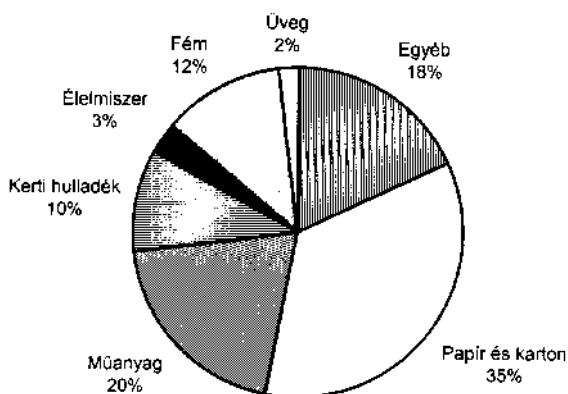
Hasonló a helyzet a többi országban is.

Az összes hulladéknak világszerte csupán mintegy 10 %-át hasznosítják.

Az 1. ábra amerikai felmérés alapján a kommunális szilárd hulladék térfogat szerinti megoszlását mutatja. A hulladék teljesen komposztálható eleme az élelmiszer és a kerti hulladék, részlegesen komposztálhatónak tekintendő a papír és a kartonpapír, valamint a műanyag (Narayan, 1993). A műanyagok az összes hulladék 20 %-át teszik ki.

1. ábra

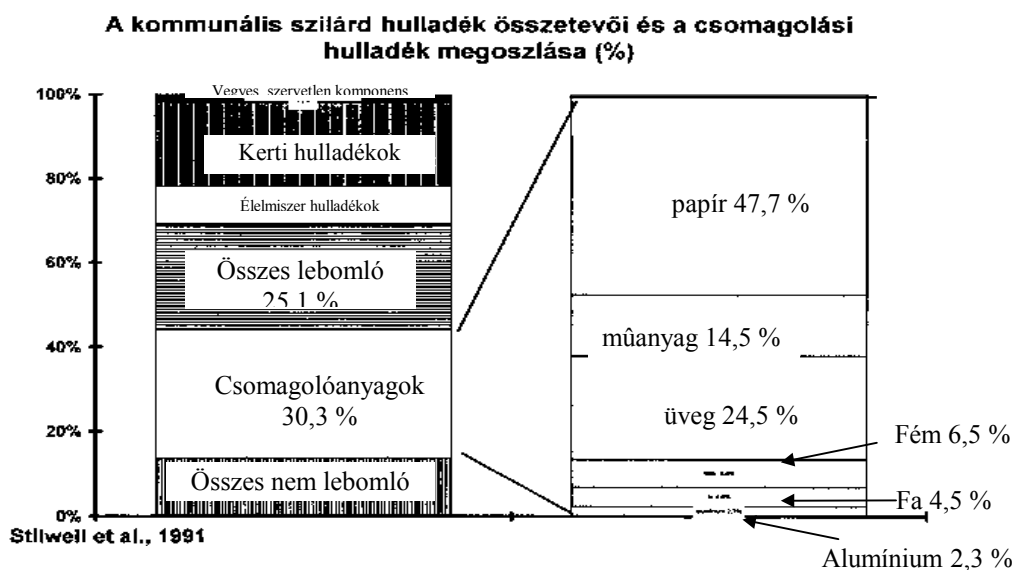
A kommunális szilárd hulladék megoszlása térfogat szerint



Narayan, 1993

Egy másik kissé eltérő megfogalmazású felosztás a kommunális szilárd hulladékban a kerti és élelmiszer-eredetű hulladékok mennyiségét összesen mintegy 30 %-ra becsüli, az egyéb lebomló anyagok mennyiségét 25 %-ra, a nem lebomlókat 13.6 %-ra, és külön kiemeli a csomagolóanyagokból eredő hulladékok mennyiségét, amely az összes hulladéknak 30 %-a (Stilwell et al., 1991). A csomagolóanyagokon belül 14.5 %-ra becsüli a műanyagok mennyiségét (2. ábra).

2. ábra



Az összes hulladéknak mintegy 5 %-át kitevő háztartási hulladéknak kb. 30 %-a a csomagoló-anyagokból ered – ez az összes hulladék tömegének 1.5 %-a (Bíró 1994, Szenes, 1995). Hasonló a helyzet az Egyesült Királyságban is, ahol a háztartási hulladék az összes hulladék 4 %-át teszi ki, s ennek mintegy harmada-fele az eldobott csomagolóanyag. Ez az összes hulladék 1.5-2 %-át jelenti (Paine 1991).

Az 1. táblázat az EU országokban keletkező csomagolóanyag-hulladékok éves mennyiségét mutatja, külön részletezve a Németországban és Ausztriában keletkező háztartási hulladék, illetve a csomagolási hulladék összetételét (1. táblázat).

Az EU országokban évente mintegy 50 millió tonna csomagolási hulladék keletkezik, ebből kb. 41 millió tonnát nem hasznosítanak.

A csomagolási hulladékoknak több, mint a fele a háztartásokból kerül ki. A háztartási szemétnak 35-40 %-a csomagolási hulladék. A csomagolási hulladék 18-20 %-a műanyag.

Az EU országokban a csomagolási hulladék kb. 20 %-át hasznosítják valamilyen formában. A csomagolási hulladék megoszlása (papír, fa, üveg, műanyag, fém, textil) alapján a nem, vagy alig lebomló műanyagok aránya 20-30%.

1. táblázat: Csomagolóanyag-hulladékok Európában

Az EU országaiban keletkező csomagolóanyag-hulladékok éves mennyisége		
A keletkezés helye	A hulladék mennyisége millió tonna	Nincs hasznosítva millió tonna
Ipari üzemekből	10	6
Hivatalból, üzletekből	15	12.5
Háztartásokból	25	22.5
A háztartási hulladék összetétele		
Megnevezés	Németországban, %	Ausztriában, %
Élelmiszerek	30	37
Vegyés, tisztítószer is	34	33
Csomagolási hulladék	36	30
A csomagolási hulladék összetétele %		
Papír és karton	44	38
Üveg	25	21
Műanyag	18	19
Fém	8	11
Textil, fa	5	11

(Debreczeny, 1993 és Osztrák csomagolási statisztika, 1991)

A csomagolóanyag-felhasználás szerkezete az 1990-es évek elején történt felmérés alapján anyagfajtánként a következő (2. táblázat).

2. táblázat: A csomagolóanyag-felhasználás összetétele anyagfajtánként, %-ban

Megnevezés	USA (1990)*	Európa (1990)*	NSZK (1991)**	Magyarország (1991)***
Üveg	27	32	7	15
Fém	8	8	22	22
Műanyag	10	13	29	22
Papír, karton	46	38	39	37
Fa, textil	9	9	3	4
* Alapadatok kg/fő mértékegységben. Eibel, Ipargazdaság 1992 nov.-dec.				
** Adatok DEM-ben. INTERPACK 1992				
*** Alapadatok forintban. KSH, 1992				

(Szenes 1993)

Az 1980-90 közötti időszakban a csomagolóanyag-felhasználás Ny-Európa hét országában (Belgium, Franciaország, Olaszország, Nagy-Britannia, Hollandia, Spanyolország, Németország) 32.7 %-kal nőtt. Kelet-Európában (az akkori Szovjetunió, Magyarország, Lengyelország, Csehszlovákia, Jugoszlávia, Bulgária, Románia) a növekedés üteme csak 17.1 %-os volt. Az utóbbi évtizedben, felismervén, hogy az eredményes export feltétele a színvonalas csomagolás, K-Európában a csomagolóipar gyors fejlődésnek indult. Itt a mennyiségi növekedés előreláthatóan mintegy 70 %-os lesz 2000-ig, míg Nyugat-Európában csak 15 %. Általában a környezetbarát csomagolóanyagok (papír, karton, fa, fém) felhasználása kerül előtérbe. A környezetet terhelő műanyagok aránya változatlan, kb. 20 %, marad (3. táblázat).

Az 1992-93-ig beérkező adatok alapján a csomagolószer-felhasználás szerkezetében a következő változás volt prognosztizálható. Nyugat-Európában a környezetbarát csomagolóanyagok (papír és karton, fém) felhasználása kerül előtérbe. Az üveg tömegaránya a jelzett adatok szerint csökken, azonban ez látszólagos, mivel a az üveg falvastagságának csökkenésére és a többutas üvegek arányának növekedésére vezethető vissza. A környezetet terhelő műanyagok aránya változatlan. Kelet-Európában a tendencia ezzel ellentétes, itt a szakértők a papír és a fém arányának csökkenése mellett a műanyagok ugrásszerű előretörését jelezték (4. táblázat).

4. táblázat: Csomagoló-szer felhasználás szerkezete, %

Megnevezés	Év	Papír és karton	Üveg	Fém	Műanyag		Összesen
					Merev	Hajlékony	
Nyugat-Európa	1980	40	41	7	3	9	100
	1990	48	32	8	3	9	100
	2000	52	28	8	4	8	100
Kelet-Európa	1980	50	22	16	8	4	100
	1990	47	25	14	11	3	100
	2000	39	28	11	20	2	100

Packaging 1992. dec.-1993. jan. Bíró (1994) és Szenes (1995) feldolgozása

Az INTERPACK '96 alkalmából Düsseldorfban tartott sajtótájékoztatón közölte a német Industrieverband Kunststoffverpackungen e.V. (IK) az alábbi adatokat (A+CS, 1997). A műanyagiparon belül a csomagolóipari ágazat a legtekintélyesebb felhasználó: a Németországban előállított műanyagok 22 %-át, ezen belül a hőre lágyuló műanyagok 36.2 %-át (európai viszonylatban 40 %-át) használja fel a csomagolóipar. A német csomagolóipar termelésében a műanyaggyártók a legutóbbi évtizedben megszerezték és szilárdan tartják a 2-3. helyet. A német csomagolóipar anyagfelhasználása milliárd DEM-ben és tonnában az utóbbi években a következőképpen alakult (5-6. táblázat).

Mint a táblázatok adatai mutatják, a műanyagok felhasználási aránya nem csökkent, sőt kissé növekedett. Az alábbiakban az IK nyilatkozatából további részleteket közlünk, amely a német műanyaggyártók véleményét fogalmazza meg (A+CS, 1997).

Egy legutóbb végzett felmérés szerint a műanyag csomagolásokat ma már a német lakosság 77 %-a nélkülözhetetlennek tartja. Az élelmiszerek csomagolóeszközeinek mintegy fele készül műanyagból (átlagos tömegük 10 g/db).

3. táblázat: Az európai csomagolószerszám-felhasználás volumenének változása az 1980...1990 és az 1990-2000 évtizedekben, %

A csomagolószerszám megnevezése	1990. évi felhasználás az 1980. év %-ában		2000. évi felhasználás az 1990. év %-ában		2000. évi felhasználás az 1980. év %-ában	
	Ny-Európa	K-Európa	Ny-Európa	K-Európa	Ny-Európa	K-Európa
Papír és karton	157	110	127	141	200	155
Üveg	104	130	101	191	105	249
Fém	139	107	124	132	172	141
Merev falú műanyag	150	159	125	326	187	518
Hajlékony falú műanyag	143	90	97	78	290	70
Összesen:	133	117	115	170	153	200

Packaging 1992. dec.-1993. jan. Bíró (1994) és Szenes (1995) feldolgozása

5. táblázat: A német csomagolóipar anyagfelhasználása, értékben

Alapanyag	Értékek, milliárd DEM			
	1994*	Arány %	1995**	Arány %
Papír, karton	15.90	39.4	14.40	36.6
Műanyag	11.90	29.5	12.45	31.6
Fém	8.20	20.3	8.20	20.8
Üveg	3.20	7.9	3.24	8.2
Fa	1.02	2.5	1.00	2.8
Egyéb	0.12	0.25	0.10	0.3
Összesen	40.34		39.39	
* statisztikai adatok alapján				
** becslés alapján				

(A+CS, 1997)

6. táblázat: A német csomagolóipar anyagfelhasználása, tonnában

Alapanyag	Értékek, milliárd DEM			
	1994*	Arány %	1995**	Arány %
Papír, karton	5782	41.2	5600	40.1
Műanyag	4448	31.7	4511	32.3
Fém	2207	15.7	2250	16.1
Üveg	1578	11.3	1600	11.5
Fa	11	<0.1	10	<0.1
Egyéb	-	-	-	-
Összesen	14026		13971	
* statisztikai adatok alapján				
** becslés alapján				

(A+CS, 1997)

Az adatokból azt a következtetést vonják le a német szakemberek, hogy a műanyag csomagolóeszközök alkalmazása a gazdaság számos területén olyan mértékben vált szükségessé, hogy termelési volumenük még a dekonjunktúra legkritikusabb éveiben (1992/93) sem esett vissza, legfeljebb a növekedés üteme csökkent. 1994-ben pedig, amikor megkezdődött az általános fellendülés, a csomagolóipari termelés átlagos 3.9 %-os növekedésével szemben a műanyag csomagolóeszközöknél 5.1 %-os termelésnövekedést regisztráltak. Az IK a termelés szerkezetének vizsgálata során megállapította, hogy a gazdaságilag nehezebb években a felhasználók félreteszik az ökológiai szempontú megítélést, és a számukra kisebb költséggel és nagyobb haszonnal járó csomagolásokat részesítik előnyben.

Németországban a Csomagolási Törvény végrehajtásáért felelős hatóságok, szervezetek és a műanyag csomagolóeszközök gyártói között kialakult viszony feszült. A hatóságok a műanyagokat környezetterhelő forrásként kezelik, a használt csomagolásokra irreálisan magas visszagyűjtési, válogatási és újrahasznosítási kvótákat írtak elő, aminek következtében egyes

telepeken felhalmozódtak, majd illegális exportcikké váltak – az előírt minőségi paraméterek nem-teljesítése miatt – az új csomagolóeszközök gyártására alkalmatlan, visszanyert műanyagok. A gyártók kifogásolták a műanyagokra a Zöld Pont használati jogának elnyeréséért kiszabott. – a műanyag csomagolóeszközöket a más anyagból készülttel szemben versenyképtelenné tevő – magas licenc-díjakat.

Mindezek miatt folyamatban van a Csomagolási Törvény egyes előírásainak módosítása.

A használt csomagolóeszközök újrahasznosítására két rendszer alakult ki – ezzel a 3 R tanulmány foglalkozik részletesen.

Az IK szerint a lakosság egyre nagyobb hajlandóságot mutat a fogyasztói műanyag csomagolások elfogadására. Ez a körülmény a hatóságok és a műanyagipar vitájában a gyártóknak kedvez, ezért egyre nagyobb esély van az IK által felvetett problémák érdemi megvitatására, amilyenek pl. a következők:

- a használt csomagolások újrafeldolgozásra előírt hányad túl magas;
- célszerűtlen, hogy a kereskedelem a szállítási csomagolások térítés nélküli visszavételére köztelezett (a fuvarozók nem érdekeltek a kíméletes kezelésben);
- az ipari és szállítási csomagolásokat is a DSD-rendszerbe kellene bevonni;
- a hatóságok környezetszennyezőnek minősítik a műanyagokat, mert feldolgozásuk során sok széndioxid kerül a levegőbe. Ezzel szemben a wiesbadeni Csomagolási Piackutató Társaság (Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung, GVM) számításai szerint a műanyagoknak más anyagokkal való helyettesítése esetén az energiatermelésre felhasználandó tüzelőszerek elégetéséből ennél 120 %-kal több széndioxid keletkezne;
- a fenntartható fejlődés szempontjából környezetbarátnak minősítik a természetben megújuló nyersanyagokat (biológiai úton lebomló, pl. keményítő alapú csomagolóanyagok előállítására felhasznált nyersanyagok). Ezeknek csomagolóanyagokká való feldolgozása azonban ugyancsak energiát igényel, és szintén CO₂ keletkezésével jár. Műanyagok kiváltására tehát csak abban az esetben javasolható, ha energiaszükségletük és CO₂ kitermelésük a műanyagokénál kisebb.

Az IK optimista mind a jelen, mind a jövő megítélésében. A német műanyagipar a csomagolóiparban jelenleg mennyiségét (tömegét) tekintve 15 %-ban vesz részt, s az előrejelzések szerint meg fog duplázódni.

Európa élelmiszeripara 1995-ben 22.8 milliárd USD értékű csomagolóanyagot használt fel. A következő években jelentős – közel 80 %-os – növekedést feltételezve, a 2001-re a felhasználás becsült értéke 40 milliárd USD. A Frost & Sullivan nemzetközi piackutató társaság előrejelzése alapján 2001-ben az európai élelmiszeripar a termékeinek csomagolásához 59.3 %-ban műanyagokat fog igényelni, és ezzel a szakágazat évi 6.5 millió tonna termelésével a csomagolóipar első helyére kerül majd, a második helyre szorítva az évi 4 millió tonna mennyiséget előállító papír és karton csomagolóeszköz gyártást (7. táblázat).

A fenti előrejelzés az 1992-93-ban készültnek ellentmondóan a műanyagok várható előretörését jelzi, ami pl. Németországban az eddigi műanyagtermelés megduplázódását jelenti. A műanyagipari lobby tevékenysége következtében feltehetően hasonló tendencia várható a többi EU-országban is, és másutt is.

7. táblázat: Az európai élelmiszeripar csomagolóanyag felhasználása

Év	Összes Mrd USD	Anyagfajták aránya			
		Papír/karton	Üveg	Fém	Műanyag
1995	22.8	20.8	4.8	17.6	56.8
2001	40.0	20.8	4.3	15.6	59.3

Szenes, 1996

1.2. A hazai helyzet

Az 1992-ben Rio de Janeiro-ban tartott Környezet és Fejlődés c. ENSZ-konferenciára készített hazai jelentés megállapítja, hogy „a települési hálózatban kezelt kommunális jellegű szilárd hulladék mennyisége 1988-ban 18 millió m³ volt (5 millió tonna), amelynek 28 %-a a fővárosban keletkezett.... Megfelelő ipari háttér hiányában általában megoldatlan az újrahasznosítható hulladékok szétválasztása, elkülönített gyűjtése és újrafelhasználása, ami a keletkező hulladéktömeg elhelyezését is nehezíti.” (Nemzeti Beszámoló, 1991, cf. Vermes, 1993).

A csomagolóanyag-gyártás értéke Magyarországon 65-70 milliárd Ft, 70 USD/fő/év, jelentősen elmarad a fejlett iparú országok mögött (200 USD/fő/év). A mennyisége – becslések alapján –, Magyarországon 70 kg/fő/év (az utóbbi években 50-55 kg/fő/év-re esett vissza), a fejlett európai országokban 120 kg/fő/év.

Tíz év átlagában a papír- és a műanyag-alapú csomagolóanyagok arányának növekedése a jellemző, a fém és az üveg csomagolóeszközök aránya csökkent.

A hazai csomagolóeszköz-forgalom 1992-95 között erőteljes növekedést mutat (8. táblázat).

8. táblázat: Csomagolóeszköz-forgalom 1992-95 között (milliárd Ft)

Megnevezés	1992	1993	1994	1995
Termelés	42.9	45.0	56.2	96.5
Import	5.1	16.3	24.7	34.4
Export	7.6	8.6	13.0	19.7
Felhasználás	40.2	52.8	67.9	111.2

Kertész, 1996

A dinamikus növekedés főként annak tulajdonítható, hogy a külföldi tőke beáramlásával privatizált egyes magyar vállalatok a multinacionális konsernek, holdingok részeivé váltak, termelésük felfutott. A csomagolóeszköz felhasználás csaknem megháromszorozódott a vizsgált időszakban. Jelentősen megnövekedett az import részaránya is. A csomagolási termékek piaca 1992-1995 között 30 %-kal megnőtt. Galli (1997) adatai szerint az üveg és a papír csomagolóanyagok iránt az igény megnövekedett, a fém iránti igény stagnál. Az import aránya a korábbi 10 %-ról 30 % fölé növekedett. Galli (1997) a szerkezet megváltozását is jelezte az 1992-95 közötti időszakban. A természetes alapú, újra felhasználható, vagy recikálható csomagolóanyagok aránya megnövekedett. A legnagyobb érdeklődés az üveg- és a papíralapú

csomagolóanyagok iránt nyilvánult meg, míg a fémek és a műanyagok felhasználása arányai-
ban csökkent (9. táblázat).

9. táblázat: Csomagolóanyagok forgalma Magyarországon
1992-1995 között

Megnevezés	1992		1995	
	érték %	érték %	érték %	súly %
Papír/karton	39	41	33	
Műanyag	28	24	12	
Üveg	9	16	46	
Fém	22	17	7	
Fa	2	2	2	

Galli, 1997

A csomagolóeszközök termelése és felhasználása 1994-95-ben a következőképpen alakult csomagolóanyagoként (az érték %-ában kifejezve, 10. táblázat).

10. táblázat: Egyes csomagolóeszközök termelése és felhasználása
(az érték %-ában)

Megnevezés	Termelés		Felhasználás	
	1994	1995	1994	1995
Papír/karton	37.7	38.6	41.5	43.7
Műanyag	24.5	24.2	24.4	23.5
Üveg	14.8	15.8	15.9	14.9
Fém	17.3	17.6	16.7	16.4
Fa/textil	5.7	3.8*	1.5*	1.5*
Összesen	100.0	100.0	100.0	100.0

* textilre vonatkozó adatok hiányoznak

A számszerű adatok 1994-ről 1995-re a termelésben 21 %-os növekedést, míg a felhasználásban ugyanolyan mértékű, 21 %-os csökkenést mutatnak. Látható, hogy az egyes csomagolóeszközök aránya lényegesen nem változott – kis növekedés a papíralapú csomagolóanyagokban megfigyelhető, a műanyagok részaránya változatlan.

Bár a különböző statisztikák egymástól kisebb-nagyobb eltérést mutatnak, tendenciájukban azonban végül is megegyeznek. A csomagolóipar felfutóban van Magyarországon, főként az erőteljes külföldi érdekeltségű privatizáció miatt. A privatizáció érinti magát a csomagolóipart és érinti egyik legnagyobb felhasználót, az élelmiszeripart is. A fejlődés irányvonala nyilvánvalóan a külföldön tapasztalt erővonalak mentén fog Magyarországon is bekövetkezni, s a követési idő az Európai csatlakozáshoz közelítve egyre csökkenni fog. Ezt a jelenséget az ipar további külföldi privatizációja csak növeli – az összes negatív vonásával együtt.

A Budapesten begyűjtött háztartási szilárd hulladékból 30.7 % a csomagolószer aránya (Szenes, 1993). Ennek megoszlása a következő (11. táblázat).

11. táblázat: A csomagolószerek megoszlása a háztartási hulladékban,
Magyarországon, %

Megnevezés	Tömeg %
Papír és karton	17.9
Üveg	3.4
Műanyag	4.6
Fém	4.8

Szenes, 1993

Egyes felmérések szerint az európai nagyvárosokban egy lakosra számítva naponta kb. 0.9 kg szemet keletkezik, és a kommunális szemet 6-9 %-át a műanyagok teszik ki. Budapest esetén ez évi 650 ezer tonna szemetet jelent, kb. 40-60 ezer tonna műanyagtartalommal. Ez a hulladékfajta az összes műanyag hulladék 60-70 %-át jelenti és szennyezettsége miatt a legnehezebben kezelhető. Ezen belül a legnagyobb részt, kb. 70 %-ot a különféle csomagoló fóliák képviselik (Galli (1997)).

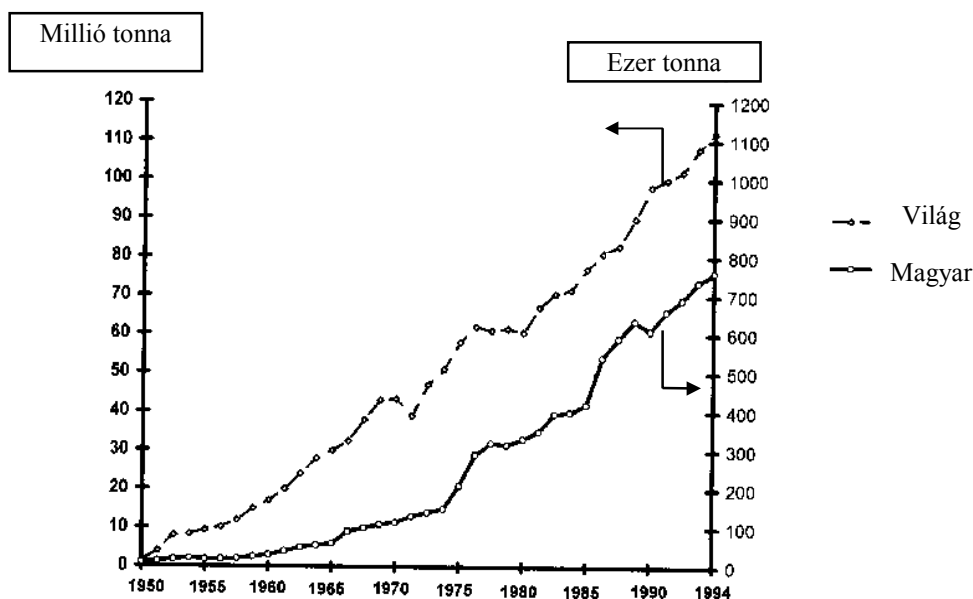
Anyagfajták szerint Magyarországon a szemétben kb. 55 % poliolefin, 25 % PVC van, míg a maradék 20 % a polisztirol, a poliamid, hőre keményedő, valamint egyéb műanyagok között oszlik meg (Macskási, 1996).

2. A MŰANYAG CSOMAGOLÓSZEREKBŐL EREDŐ KÖRNYEZETSZENNYEZÉS

2.1. Műanyagok felhasználása

A műanyagok felhasználása 100 éves múltra tekint vissza. A 3. ábrán a világ és Magyarország termelési adatai láthatók (Macskási, 1996). Az ábrából kivehető, hogy a világtermelés 1990-ben érte el, illetve haladta meg az évi 100 millió tonnás határt.

3. ábra: A műanyagtermelés volumene Magyarországon és a világon



Az első hazai műanyag előállító és feldolgozó üzemek a múlt század kilencvenes éveiben alakultak, megvetve ezzel többek között a hőre keményedő műanyag gyártásának alapjait. Korszerű, nagyipari eljárásokat 30 éve vezettek be Magyarországon. Jelenlegi gyártókapacitásunk 750 et/év, amelynek döntő részét a hőre lágyuló műanyagok képezik (Macskási, 1996, 12. táblázat).

A világtermelés 90 %-át a tömegtermeléssel előállított műanyagok, nevezetesen a PVC (polivinil-klorid), a polietilén és polipropilén, a polisztirol adják. A felsorolt műanyagfélések mindegyikét hazai üzemeink is előállítják, fedezve ezzel a hazai és egyes esetekben a jelentős exportigényeket.

A műanyagok felhasználásának anyag szerinti megoszlását mutatja a következő (4. ábra) Nyugat-Európában. Itt is a két polietilén (kis- és nagysűrűségű) együttes mennyisége adja ki a termékek zömét, ezt követi a PVC, a polipropilén és polisztirol.

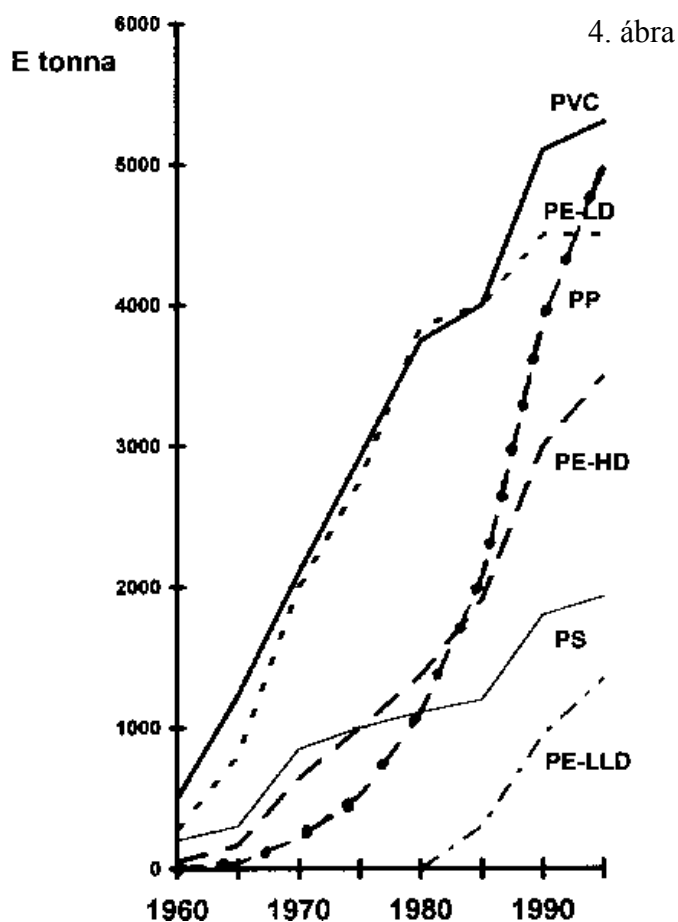
Németországban az előállított műanyagok 22 %-át használja fel a csomagolóipar, ezen belül a hőre lágyuló műanyagok 36 %-át használja a csomagolóipar. A csomagolóipari felhasználás arányát az egyes hőre lágyuló műanyagfajtákból mutatja a 13. táblázat.

12. táblázat: Műanyagtermelés Magyarországon (et)

Műanyag	1970	1975	1980	1985	1990	1995
Polietilén	5.7	35.9	52.6	56.1	221.3	273.3
Polipropilén	-	-	42.8	98.6	155.4	137.3
PVC	14.1	39.9	174.2	169.8	185.6	198.1
Polisztirol	-	-	-	-	-	79.5
Poliamid*	-	-	3.5	5.7	4.5	3.5
Poli-akril-nitril*	-	-	12.3	13.1	18.4	20.5
Cellulóz alapú	3.1	3.3	3.6	6.8	9.8	5.2
Poliészter-gyanta	0.9	0.3	3.1	3.9	3.1	2.8
Epoxigyanta	0.7	0.6	2.2	2.8	1.8	1.7
Polikondenz. gyanta	23.5	31.6	33.4	36.3	20.4	6.9
Ioncsereelő gyanta	1.8	3.2	4.0	4.3	4.4	2.1
Poliuretán alapanyag	-	-	-	-	-	18.9
Egyéb műanyag	6.1	2.7	3.5	10.8	12.7	17.1
Összesen	55.9	117.5	318.4	389.4	614.5	742.9

* a poliamid és poli-akril-nitril döntően textilipari felhasználásra készül, a műanyagipari statisztikában nem szerepelnek, így az összesítésben nem jelennek meg

A műanyagok felhasználása Nyugat-Európában (1960-1990)



13. táblázat: A csomagolóipari felhasználás aránya az egyes hőre lágyuló műanyagfajtákból Németországban

Hőre lágyuló műanyag	Csomagolóipari felhasználás %
Nagysűrűségű polietilén	57.8
Kissűrűségű polietilén	71.9
Polipropilén	37.3
Polivinil-klorid	13.8
Polisztirol	40.8
EPS	32.2

A+Cs, 1997

Itt említjük meg, hogy csomagolóanyagok előállításánál nem csak önmagában használják a műanyagokat, hanem társíthatják más anyagokkal: papírral, fémmel és különböző típusú műanyagokat is egymással.

A műanyagok előállítása és felhasználása világviszonylatban évente kb. 4-5 %-kal nő. A műanyagok ugyanis az egyéb, hagyományos anyagokhoz képest kisebb sűrűségűek, könnyen feldolgozhatók. Az előállításukhoz szükséges összenergia lényegesen kisebb, mint az acélé, rézé, alumíniumé, üvegé és technológiájuk vízigénye sem nagy, meg sem közelíti a papír- és a kartongyártását. Sokféleségük következtében gyakorlatilag minden alkalmazási területre kiválasztható az adott célra legmegfelelőbb műanyag és feldolgozástechnológia. A kis sűrűség és az ezzel összefüggő kis terméktömeg következtében a műanyagok energiát takarítanak meg a szállításban is, vagy a gépjárművek önsúlyának csökkentése révén az üzemanyag felhasználásban, amit a műanyag alkatrészek alkalmazása eredményez (Ehring, 1992, Ódor, 1993, 1995).

A növekvő műanyag-felhasználással azonban együtt jár a növekvő hulladékmennyiség is, ezek a környezetben, illetve a kommunális szemétben jól láthatók, térfogatuk (főleg az üreges testeké és fóliáké) viszonylag nagy. Ezért ennek csökkentése, illetve általában a műanyagok újrahasznosítása elkerülhetetlen, tartják a műanyag-előállítók is (Macskási, 1996).

A műanyagokat élettartamuk alapján három csoportba sorolják be. Az építőanyagok, víz- és gázvezetékek, elektromos cikkek és kábelek hosszú életűek (15-100 év), az autó- és bútoralkatrészek közepes élettartamúak (2-15 év), míg a csomagolási és egészségügyi termékek rövid élettartamúak (0-2 év). A teljes felhasználásból az egyes csoportok rendre 60, 25 és 15 %-ot tesznek ki. Következésképpen rövid és középtávon a műanyagok kb. 40 %-a, azaz világszinten évente 40 millió tonna, hazai méretekben 120-130 ezer tonna műanyag hulladék kerül a kommunális szemétbe, amelynek kezelését meg kell oldani. Anyagát tekintve a hulladékban főleg polietilén, PVC, polipropilén, polisztirol és poliuretán fordul elő.

A műanyag hulladékok homogenitásuk, tisztaságuk és anyaguk alapján más-más módon kezelendők és más-más termék gyártására alkalmas. Sajnos, pillanatnyilag a szelektív gyűjtés még nem megoldott, és a háztartási szemétben lévő műanyag nagyobbik része a lerakókba kerül. Ez pillanatnyilag kétségtelenül a legolcsóbb, de a legrosszabb megoldás is (Macskási, 1996).

2.2. Az egyes anyagok lebonthatósága biológiai úton

A csomagolóanyagok közül biológiai úton lebonthatónak tekinthető a papír és a karton, a textil, a fa, bizonyos szempontból a fémek (korrózió), mint a természetben előforduló anyagoknak, megvan a helyük a természetes körforgalomban.

A gyakorlatban a műanyagoktól és más szintetikus polimerektől is elvárjuk, hogy rendeltetésszerű használati idejük alatt – legalábbis könnyen – ne degradálódjanak, ha azonban már kiszolgáltak, akkor elsősorban biológiai úton újra visszavezethetők legyenek az anyagkörforgalomba (Colin et al., 1976, Szabó, 1989). Az utóbbi elvárásnak megfelelően a makromolekuláknak egyre kisebbre kell lebomlaniuk, míg végül is a biociklusban metabolizálódhatnak. A szénhidrogének hosszú, lineáris vagy elágazó láncokká polimerizálása számos szintetikus polimert eredményez. A -C-C- gerincet tartalmazó nagy-molekulású polimerek rezisztensek a mikrobák támadásával szemben és ezáltal a reciklációnak is ellenállnak. Az ϵ -kapro-lakton poliészter és a poliészter alapú poliuretánok viszonylag könnyen degradálhatók, a poliéter típusú poliuretánok sokkal rezisztensebbek.

A kisebb molekulatömegű szénhidrogének általában könnyebben támadhatók. Már 1932 óta tudjuk, hogy a penészgombák rövid szénláncú alkánokon, így paraffinokon C_{34} -ig szaporodni képesek. Az elágazó izomerek biológiailag alig hasznosíthatók. 1974-ben a bontást és a hasznosítást biológiai oxigénigény-mérésekkel derítették fel, kimutatva, hogy egyes mikroorganizmusok az alkánokat C_{44} -ig (tetra-tetrakontán) bontják (Haines és Alexander, 1974). Azok a kezelések, amelyek csökkentik a polimerek molekulásúlyát, érzékenyebbé teszik ezeket a biodegradációval szemben.

A természetbe kikerülve a műanyagok is ki vannak téve a mikrobák aktivitásának. A szintetikus polimerek neutrálisak és inerteek, és a biológiai folyamatokra általában nem gyakorolnak semmiféle hatást. Csekély bonthatóságuk jelentősen hozzájárul a műanyagok mennyiségének növekedéséhez a szemétben és ezzel a környezet terheléséhez.

A műanyagok biodegradációjának kimutatása nem könnyű feladat. A legnagyobb problémát az okozza, hogy ezek az anyagok szennyeződésként oligomereket, monomer maradványokat, reagens maradványokat és mellékreakciók termékeit tartalmaznak. A szintetikus polimerek kis-molekulású, ún. „adalékanyagai” biodegradálhatók. Ilyenek a lágyítók (ricinoleátok, sztearátok), a stabilizátorok (sztearátok, epoxiszármazékok) és a csúsztatóanyagok (viaszok, szappanok). Már 1963-ban kimutatták, hogy a baktériumok politénszubsztráton (vízvezetékcsöveken) anélkül is szaporodni képesek, hogy a polimer mátrixot magát károsítanak. Más esetben viszont a polivinilacetáton a gombák szaporodása a jelenlévő szabad acetát hasznosításának volt betudható.

A depolimerizáló enzimek hiánya és a nagy molekulású a szintetikus polimereket nagyon ellenállóvá teszi.

A következő, 14. táblázat a szintetikus polimerek mikrobákkal szembeni rezisztenciáját mutatja (Küster, 1979, Szabó 1989).

14. táblázat: Szintetikus polimerek rezisztenciája mikroorganizmusokkal szemben

Polimer anyag megnevezése	Mikrobákkal szembeni rezisztencia
Polietilén	Nagyon nagyfokú
Polipropilén	Nagyon nagyfokú
Polivinil-klorid	Nagyon nagyfokú
Poliviniliden-klorid	Nagyfokú
Polivinil-acetát	Közepes
Polivinil-alkohol	Nagyfokú
Polivinil-butiral	Nagyfokú
Polisztirol	Nagyfokú
Polimetil-metakrilát (plexi)	Nagyfokú
Politetrafluoro-etilén	Nagyfokú
Politrifluoro-klór-etilén	Nagyfokú
Cellulóz-acetát	Nagyfokú
Cellulóz-nitrát	Nem ellenálló
Poliamidok	Kisfokú
Polietilén-tereftalát	Gyenge

1989 óta több cikk jelent meg a szintetikus polimerek mikrobiológiai bonthatóságáról, Pantke (1994) megállapításai új információkkal egészítette ki az addigi ismereteket :

– Poliamidok: a PA 6 jól, a PA 66 közepesen ellenálló. Lebomláskor a peptid-kötéseknél következik be a láncszakadás, a bomlástermékekben karbonil- és aminocsoportok mutathatók ki.

– Poliészterek: a savkomponenstől függően jól, vagy közepesen állnak ellen a mikrobák támadásának. A ftálsavas gyanták kevésbé érzékenyek, a fertőződés veszélye az adipinsavas és szebacinsavas gyantáknál nagyobb.

– Polietilén: nagyon jól ellenáll a mikroorganizmusoknak. A molekulatömegetől függően a gombás fertőzés (M>10000 esetén csak nagyon hosszú idő után) enyhe elszíneződést okoz.

– Polipropilén: a polietilénhez hasonlóan jól ellenáll.

– Polisztirol: nagyon nagy az ellenállása. A gombafonalak a felületi repedésekbe be tudnak hatolni.

– Poliuretánok: a poliéter-poliuretánok jól, a poliészter-poliuretánok kémiai felépítésüktől függő mértékben, de kevésbé állnak ellen a fertőzésnek, amelynek hatására elszíneződés, repedezés léphet fel.

– PVC: az alappolimer ellenáll a mikroorganizmusoknak. A lágy PVC-ben a lágyítót (típusától függő mértékben) támadják meg a mikroorganizmusok (tömegcsökkenés, ridegedés).

A biológiai lebonthatóság nagymértékben függ a környezeti tényezőktől, de vannak vegyületek, amelyek, eddigi ismereteink szerint, semmilyen körülmények között nem bomlanak le. Ezeket az ellenálló anyagokat rekalitránsoknak hívják. Annak ellenére, hogy számtalan tanulmány jelent meg a szintetikus polimerek biológiai lebonthatóságáról, jelentős részük a rekalitráns csoportba tartozik.

Ezek a rekalcitráns, vagy más néven xenobiotikus vegyületek idegenek a bioszféra számára, hiszen olyan strukturális elemeket, vagy csoportokat tartalmaznak, amelyek nem fordulnak elő természetes anyagokban. Ezek a xenobiotikumok hiányoznak az ökoszférából természetes körülmények között, megjelenésük a kémiai ipar tevékenységének eredménye. Felhasználási területük széles. Mivel létrehozásukban nem vettek részt enzimes reakciók, zömük ellenáll az enzimes lebontásnak.

Ezzel párhuzamosan növekedik azon cikkek száma, amelyekben különböző xenobiotikumok degradációjáról számolnak be, egy bizonyos mikrobiális konzorcium részvételével. A különböző mikrobiális populációk jelentőségére a komplex molekulák lebontásában mintegy 30 éve ismert, de valójában csak az újabb időkben vált világossá, hogy a vegyes mikroflóra, a mikrobák kölcsönhatás elsődleges jelentőségű a xenobiotikumok lebontásában. A kölcsönhatások között ebben a vonatkozásban a legfontosabb a mutualizmus, vagyis a kölcsönösség, vagy egyes megfogalmazások szerint szimbiózis, amikor a konzorcium valamennyi tagjának előnye származik a kapcsolatból, és a kommenzalizmus, amikor a konzorcium egyes tagjai nyernek a kölcsönhatásból, míg mások számára közömbös a kapcsolat.

A megfigyelések szerint a mikrobáknak megvan az a képességük, hogy alkalmazkodjanak új szintetikus anyagok degradálásához. Ez két úton mehet végbe: 1. a meglévő katabolikus enzimek adaptálódnak az új anyaghoz, vagy 2. egy új anyagcsereút alakul ki.

A polimerek a legellenállóbb szerves vegyületek. Mégis, a legtöbb természetes és sok mesterséges xenobiotikus polimer, beleértve a nyilont, vulkanizált gumit, sok műanyagot, megfelelő körülmények között fogékonyak a mikrobás támadással szemben (Składany és Metting 1993).

Sokat vizsgálták, hogy miért képesek a mikrobák, legalábbis egy részük, a xenobiotikus anyagok lebontására, illetve inváziójára. A talajban számos különféle szerves anyag létezik, és sokuk a xenobiotikumok természetes analógjai, s feltehetően ez a kiinduló pont. Erre kiváló példa a fehér korhadást okozó gomba (white rot fungi, *Phanerochaete*), amelynek természetes szubsztrátuma a fa, ami a nagy-molekulású anyagok komplexe, beleértve a policiklikus (vagy polinukleáris) aromás vegyületeket. Feltehetően nem meglepő, hogy ezek a mikrobák katalizálják a klórozott inszekticidek, valamint a poliklórozott bifenilek s fakonzerváló szerek és egyéb hulladékok lebomlását (Bumpus et al., 1985).

A bioszférában évek, vagy évtizedek óta előforduló anyagokat lebontó baktériumok természetes előfordulása leginkább a mikrobiális gén állomány (pool) természetének következménye. Az utolsó évtizedben a molekuláris biológiai módszerek fejlődése lehetővé teszi a baktériumok között a természetben végbemenő géntranszfer tanulmányozását, s az ismeretek nagy része az aerob, Gram-negatív baktériumokkal – főként a *Pseudomonas* nemzetségbe tartozó fajokkal – kapcsolatos vizsgálatokból ered. Ezen vizsgálatok vezettek arra a felfedezésre, hogy a xenobiotikumok lebontását kódoló gének a plazmidokban helyezkednek el, amelyek olyan nem-kromoszomális DNS-elemek, amelyek szabad mozgásra képesek a természetben még egymással távoli rokonságban álló baktériumok között is.

Mindezek ismeretében is a szintetikus műanyagokat a rekalcitráns, vagyis a nem, vagy nehezen lebomló anyagok körébe kell utalni, hiszen lebomlásuk a természetben igen lassú, évtizedeket, sőt évszázadokat is igénybe vehet (Stilwell et al., 1991). Lebomlásuk vagy elégetésük során komoly környezetszennyeződéssel is számolni kell (Pearce, 1990).

Itt kell azt is megjegyezni, hogy a szemétlerakodó helyeken még a biológiai úton lebontható anyagok számára sem kedvezőek a körülmények. Pl. a narancshéj akár 10 éven keresztül is intakt maradhat, s ugyanez áll a papíripari termékekre is. Ahhoz, hogy a biológiai lebomlás „működjen”, a környezeti feltételeknek megfelelőeknek kell lenni a mikrobiális tevékenység számára (elsősorban a nedvesség és a hőmérséklet a kritikus faktor).

2.3. A műanyagokból eredő környezetszennyezés

A műanyagokból, így a műanyag csomagolóeszközökből eredő környezetszennyezés többszintű:

- a polimerek szintézise, feldolgozása során keletkeznek káros anyagok
- az előállítás során használt adalékanyagok (lágyítók, stabilizátorok) hatása a környezetre
- az élelmiszerekkel érintkező csomagolóanyagokból káros anyagok migrál(hat)nak az élelmiszerekbe
 - az égetőbe kerülő műanyagok elégetésekor a levegőbe kerülő káros anyagok hatása (dioxin, sósav, stb.) – a korszerű hulladékégetők ezt a kérdést részben megoldják, de létrehozásuk komoly befektetést igényel. Nem elhanyagolható a másik oldalon a műanyagokban rejlő energia kinyerése (bár elvész a polimerizációba és feldolgozásba fektetett energia)

A csomagolás környezetre gyakorolt hatásának megítélésével rendszerszemléletben Pál Károlyné tanulmánya foglalkozott részletesen (1995). A műanyagokra vonatkozó alábbi információk részben innen származnak.

A csomagolóanyagok „környezetbarát” vagy „környezetkárosító” volta feletti vita az 1970-es évek végén indult meg. A közvélemény (amelynek hangulatát feltehetően az egymással versenyben álló iparágak is segítettek befolyásolni) az addig korszerűnek tartott műanyag, és különösen az egyszer használatos eszközök ellen fordult. Ezért elsősorban a műanyagipar kezdeményezte azokat az elemzéseket, amelyek során megpróbálják tárgyyszerűen feltárni egy-egy csomagolóanyag vagy -eszköz környezetre kifejtett hatását.

Már az első elemzések során nyilvánvalóvá vált, hogy a különböző csomagolóanyagok élettartamuk más és más szakaszaiban eltérő mértékben terhelik a természetet. Ezért összehasonlításuk csak a teljes életciklus vizsgálata alapján lehetséges. Ez azt jelenti, hogy az előállításukhoz szükséges nyersanyag kitermelésétől a belőlük visszamaradó hulladékok kezeléséig (beleértve az újrafeldolgozást, az égetést vagy a lerakóba helyezést) tartó időszak alatt felhasznált (és leadott) anyagot, energiát, az eközben a környezetbe jutó szennyező és káros anyagokat is számba vesszük.

Az ilyen elemzéseket – **ökomérleget** – az első időszakban csak magára a csomagolóanyagra végeztek. Hamarosan rájöttek, hogy a csomagolóanyag és az áru egységes rendszert alkot, ezért az elemzés részének kell lennie. A legújabb elemzések a csomagolásnak már a teljes gazdaságra és a társadalomra gyakorolt hatását is figyelembe veszik (**életútielemezés**).

Az ökológiai mérleg elkészítéséhez szükséges a kiválasztott termék ökológiai megfontolásokból vizsgált teljes „élettörténetének” és az ehhez kapcsolódó folyamatoknak az összességét, vagyis az **életciklust** „a bölcsőtől a sírig” felvázolni.

A csomagolóeszközök életciklus-felépítésére a 5. ábra mutat be példát (Bischoff, 1992 után).

5. ábra*

Ökomérlegek többféle szempont alapján készülhetnek. Az 1990-es évek elején készült ökomérlegek általában a Svájci Szövetségi Környezetvédelmi Hivatal (Buwal) 132. sz. kiadványára, a „Csomagolóanyagok ökológiai mérlege, 1990” c. dokumentum adataira támaszkodtak. Ezek az ökomérlegek a következő jellemzőket vizsgálták az egyes életszakaszokban:

- energia-felhasználás (MJ/kg, a gyártáshoz használt kőolaj is)
- kritikus levegőmennyiség (m^3/kg , a szennyező gázok hígítására)
- kritikus vízmennyiség (dm^3/kg , a vízbe kerülő szennyezőanyagok hígítására)
- szilárd hulladék mennyisége (cm^3/kg)
- nyersanyagszükséglet kőolaj nélkül (g/kg)
- vízszükséglet (l/kg, előállításához és feldolgozásához)

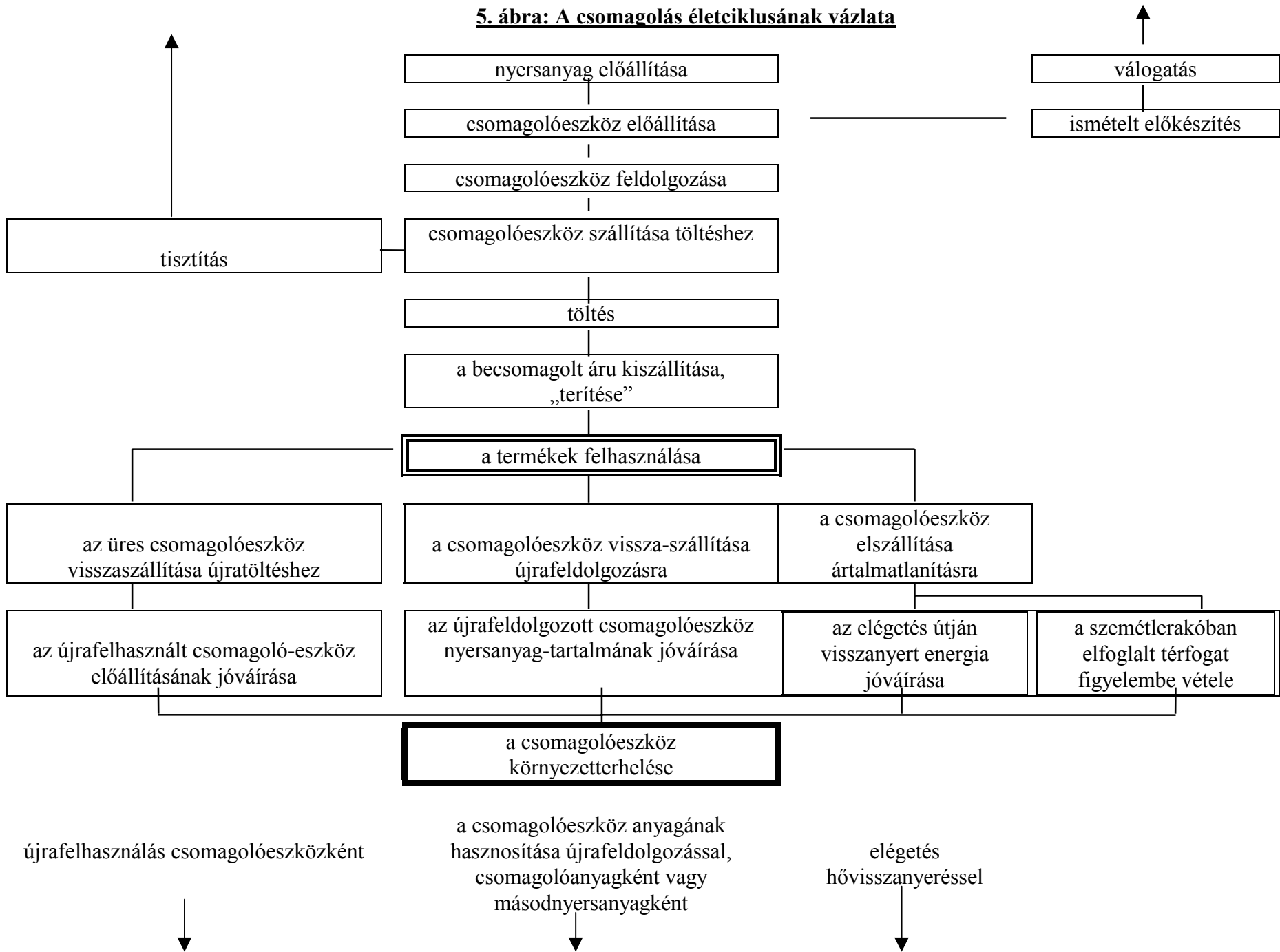
Az összehasonlíthatóság érdekében összesített környezetterhelési mutatószámot számítottak, ahol az ökológiai jellemzőket súlyozták, de ez meglehetősen szubjektívnek bizonyult.

A német Szövetségi Környezetvédelmi Hivatal megbízásából és a müncheni Fraunhofer Intézet vezetésével több tudományos kutatóintézet („Müncheni Kör”) együttesen próbált eljárást kidolgozni korszerűbb ökomérlegek készítésére. Elemzésük konkrét termékek (1 liter tej, 0.5 liter sör) lehetséges csomagolóeszközeire vonatkozott. A környezetre gyakorolt hatást három fő csoporton belül a következő 11 jellemzővel igyekeztek kifejezni:

- Természeti források igénybevétele:
 - nem megújuló forrásokból származó energia
 - megújuló forrásokból származó energia
 - felhasznált ásványi anyagok, felhasznált víz
- Emisszió útján az egész földi környezetre gyakorolt hatás:
 - eutrofizáló hatás (N- és P-tartalmú vegyületek felhalmozódása által az élővilág egyensúlyának megbontása)
 - savas hatás
 - hozzájárulás a légköri „üvegházhatás”-hoz
 - hozzájárulás az ózonpajzs elvékonyodásához
- Szemétlerakók igénybevétele:
 - háztartási szemét jellegű hulladék mennyisége
 - veszélyes hulladék mennyisége
 - radioaktív hulladék mennyisége.

* Az ábra hiányzik! (az elektronikus változat szerk.)

5. ábra: A csomagolás életciklusának vázlata



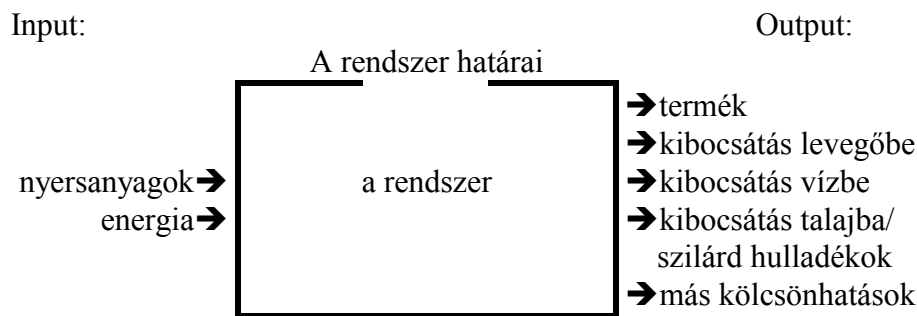
A Müncheneri Kör igyekezett a vizsgált rendszerben előforduló anyagokat a „bölcsőtől a síríg” – a nyersanyagok kitermelésétől a maradékok természetbe való visszatéréséig – nyomon követni. Olyan esetben, amikor ez nem volt lehetséges, pl. újrafeldolgozás miatt a csomagolóanyag egy része kilépett a rendszerből, és tovább nem volt követhető, a környezeti hatást becsléssel állapították meg.

A Müncheneri Kör a különböző környezeti hatásokat nem próbálta összevonnai, véleményük szerint az egyes környezeti hatások fontossága egy-egy adott esetben eltérő lehet, és a törvényhozók feladata, hogy a fontossági sorrendet eldöntsék. Hangsúlyozzák, hogy minden egyes elemzés csak az adott esetre és az adott környezetre érvényes, az eredmények nem vihetők át más esetre (Günter és Holley, 1995 a, b).

Az eddigiekből is látható, hogy az ökológiai mérlegek készítésének még nincs általánosan elfogadott módszere, de a kutatók megegyeznek abban, hogy az anyag- és energiaáramokat, ideértve az emissziókat is, a nyersanyagtól a közbenső termékeken át a végtermékig, sőt annak használatára és hulladékának kezelésére is kiterjesztve kell elemezni (Klöppfer, 1993).

Az elemzés alapelvét az 6. ábra szemlélteti.

6. ábra: Az élelciklus valamely részrendszerébe beáramló és kiáramló anyagok és energiák



Ki kell jelölni a vizsgált rendszer „burkolófelületét”, el kell határolni a „rendszert” és a „környezetet”, majd számba kell venni a határfelületen be- és kiáramló anyagokat és energiákat (input-output). Az elemzéshez célszerű a rendszert részrendszerekre, részfolyamatokra bontani, ahol is az egyik folyamat outputja a másik részfolyamat inputjaként szerepel. Az elemzések végzéséhez számítógépes programok is rendelkezésre állnak már. Az elemzéssel nyert adatok birtokában meg lehet kezdeni a környezeti hatások mérlegelését (Kooijman, 1993).

A csomagolóeszközök megítélésében az ökológiai szempontokon túl egyéb hatásokat (műszaki, gazdasági, társadalmi) is figyelembe kell venni és elemezni kell. Az átfogó elemzés során gyakran kiderül, hogy az első közelítésben észszerűnek tűnő intézkedések buktatókat rejtenek magukban.

Nemzetközileg általánosan elfogadott hatásvizsgálati módszer jelenleg nem létezik.

A csomagolóeszközök környezeti és egyéb hatásainak elemzésére és értékelésére vonatkozó elvek kialakulóban vannak, de sok még a tisztázandó részlet. A gyakorlat egyelőre elmarad az elvek mögött. A hatásvizsgálat legjobban kidolgozott része az ökomérleg elkészítésének módja. Ennek számokban kifejezhető és ki nem fejezhető elemei vannak. Az előzőekből sok adat áll már rendelkezésre. A csomagolóeszközökhöz felhasznált néhány szintetikus polimerre vonatkozó adatokat a svájci rendszer szellemében a 15. táblázat mutatja, a következő szempontok figyelembe vételével:

- alapanyag-felhasználás
- primer energia felhasználása
- levegőszennyezés
- vízszennyezés
- szilárd hulladék.

A táblázatban található adatok csak irányszámok, amelyeket konkrét esetekben pontosítani kell.

A számokkal nem kifejezhető környezeti hatások közül néhánynak az értékelése ellentmondásos.

A csomagolóanyagokkal kapcsolatos viták egyik sarokköve az ún. megújuló források (növényi alapanyagok) felhasználásának szorgalmazása. Ezzel kapcsolatban arra hívja fel Pfeifer (1994) a figyelmet, hogy tudatában kell lenni annak, hogy a talaj termőképessége nem végtelen, és csak nehezen regenerálható, ha túlzott kihasználással, vagy vegyszerezéssel tönkreteszik. Márpedig a termőtalaj pótolhatatlan az élelmiszer-termelésben, ami az emberiség rohamos szaporodása miatt mindennél fontosabb.

15. táblázat: 1 kg műanyag csomagolóanyag életciklusa során
fellépő környezetterhelés jellemző adatai

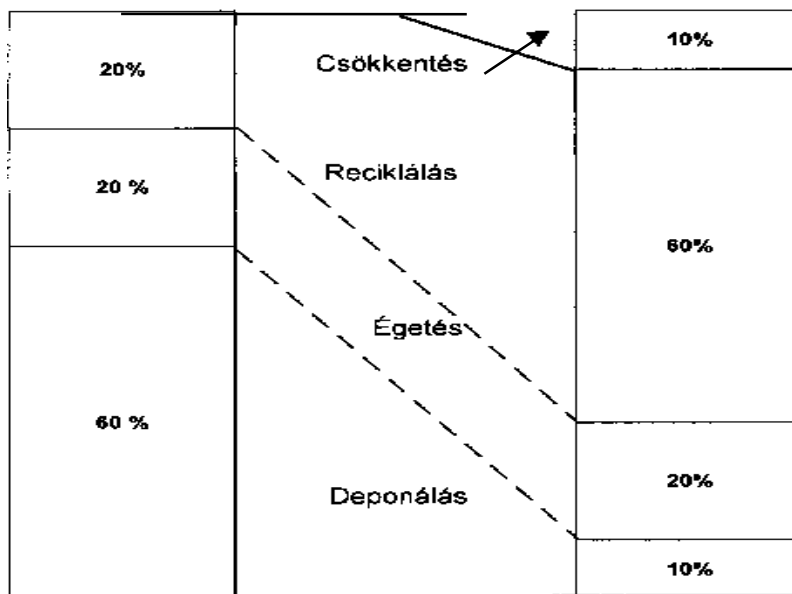
Jellemző	Egység	PE	PP	PVC	PS	PET
Alapanyag:						
- kőolaj	kg	1.97	1.96	0.91	3.49	4.0
- víz	liter	1.98	1.27	5.75	4.75	1.5
- oxigén	kg	-	-	-	-	527.0
Primer energia	MJ	68.1	71.0	51.1	75.3	84.5
Levegőszennyezés						
- szénmonoxid	g	0.67	0.92	1.06	0.98	21.7
- kéndioxid	g	0.99	3.11	5.96	9.08	6.0
- nitrogénoxid	g	1.09	2.19	3.03	4.60	7.1
- illó szénhidrogén	g	11.3	11.9	10.5	26.6	28.1
Vízszennyezés						
- biológiai O ₂ -igény	g	0	0	0	0	0
- kémiai O ₂ -igény	g	0	0	0	0	0
- szerves halogének	g	0	0	0	0.2	0
- oldott szervesanyag	g	24.7	25.4	30.8	48.5	52.0
Szilárd hulladék	g	3.9	11.0	170.3	76.6	73.7

PE: polietilén, PP: polipropilén, PVC: polivinil-klorid, PS: polisztirol,
 PET: Poli(etilén-tereftalát)
 Pfeifer, 1994

Pfeifer véleménye szerint a biológiailag lebontható csomagolóanyagokhoz túlzott reményeket fűznek. Hangsúlyozza, hogy az ilyen típusú csomagolóanyagok akkor érik el céljukat, ha szelektív gyűjtés révén komposztálásra kerülnek.

Mivel a hulladék, s ezen belül ennek jelentős részét kitevő csomagolási hulladék kezelése mindenütt komoly gondot okoz, világszerte megindult a törekvés a hulladékok mennyiségének csökkentésére. Ezzel a gondolatkörrel a 3R téma foglalkozik, itt csak emlékeztetőül álljon a következő ábra, a mely az EU irányelveit mutatja (7. ábra).

7. ábra: Az EU irányelvei a csomagolási hulladékok kezelésére 2000-ben, 1990-hez viszonyítva



Mint látható, a fő cél a csomagolási hulladék kezelésében az arányok változtatása, a deponálás mennyiségének jelentős csökkentése és a reciklálás arányának növelése. Az elégetett termékek aránya változatlan, s a csomagolóanyagok abszolút mennyiségének legalább 10 %-os csökkentését is előírnyozták.

A hazai rendelkezések is a fenti irányzatot képviselik, az alábbi jogszabályok révén:

- Az 1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól
- Az 1995. évi LVI. törvény a környezetvédelmi termékdíjról, továbbá egyes termékek környezetvédelmi termékdíjáról (113/1995. Kormányrendelet, 10/1995. KTM rendelet)

A hulladék, s ezen belül a csomagolási hulladékok mennyiségének csökkentése a cél. A megállapított termékdíjak a környezetet kevésbé terhelő megoldásokat támogatják. Az EU-országokhoz hasonlóan a műanyagok és a kombinált anyagok termékdíja a legnagyobb.

A két évvel ezelőtt bevezetett termékdíj ráirányította a figyelmet a környezetszennyező csomagolóanyagokra is, ám a termékdíj magyar szabályozása csak egyes elemeit vette át az európai uniós előírásoknak. Az EU irányelvek célkitűzéseket fogalmaznak meg, hasznosítási arányokat írnak elő, s ennek teljesítését kérik számon. A magyar termékdíj ezzel szemben inkább adórendszer-jellegű (Ónody 1997, Viszkei Gy. nyilatkozata a Magyar Nemzetben). Ma a csomagolóanyagok esetén anyagfajtánként s kilogrammonként határozzák meg a befizetendő díj nagyságát. A termékdíj a műanyag alapú csomagolóeszközöket sújtja leginkább, 10 Ft/kg.

A termékdíjából befolyó összegek környezetkímélő eljárások, technológiák, vállalkozások, stb. finanszírozására fordítandó, a befizetett forintok sorsa nehezen követhető

Kérdéses, hogy mikorra és milyen eredmény várható a bevezetett termékdíjtól, kellőképpen ösztönzi-e az eszközök, csomagolóanyagok visszagyűjtését és újrafeldolgozását. Ezt a törvény termékdíjkezdésménnel is ösztönzi. A szakemberek tapasztalata szerint a papíripar területén a támogatási rendszer érzékelhető javulást eredményezett, a papírbegyűjtés növekedését idézte elő, más területeken azonban jelentős változás nem volt megfigyelhető.

Viszkei György, a Csomagolási és Anyagmozgatási Országos Szövetség főtitkára azt is hangsúlyozta, hogy ha a termékdíj sokáig fenn marad, netán növekszik, akkor az erős és eredményes csomagoló-iparág versenyképességét is veszélyeztetheti (Ónody, 1997).

3. A MŰANYAG CSOMAGOLÁSI HULLADÉK CSÖKKENTÉSE BIOLÓGIAILAG LEBOMLÓ ANYAGOK BEVONÁSÁVAL

3.1. A műanyag csomagolászerek főbb csoportjai

A XIX. század ipari növekedése nyomán felismerték, hogy a természetben rendelkezésre álló addig ismert és használt anyagok fogyóban vannak. Az új anyagok után való kutatás mellett mesterséges úton is megpróbálták újabb tulajdonságokkal rendelkező anyagokat előállítani. Először a természetben előforduló nagymolekulájú (fehérjék, szénhidrátok) anyagokat különböző vegyi anyagokkal reagáltatták, s ezzel módosították eredeti tulajdonságaikat, s így új szerkezeti anyagokhoz jutottak. Ezeket természetes alapú műanyagoknak nevezték el, szemben azokkal az anyagokkal, amelyek eredetileg nem természetes polimerekből származtak, hanem a kiinduló alapanyagok kis molekulájúak, s amelyeknek összekapcsolásával hoznak létre óriásmolekulákat (szintetikus anyagok).

Ily módon igen sokféle anyag keletkezett, amelyek mind más tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezek az anyagok egyformán jól használhatók, de csak meghatározott helyeken és célokra, valamint meghatározott körülmények között (Kerekes, 1996).

A műanyagok nagy részének (poliolefinok, polisztirolok, poliészterek) elégetésekor csak víz és széndioxid keletkezik, tehát nem szennyezik jobban a környezetet, mint a papírok elégetése. Igaz, hogy a keletkező CO₂ is káros, növeli az „üvegházhatást”, de nem jobban, mint más anyagoknál (Kerekes, 1996).

A műanyag csomagolóanyagok alábbi, gyakorlati szempontú csoportosítás Kerekes (1996) szerint készült.

3.1.1. Természetes alapú műanyagok

Fehérje alapú műanyagok:

- *kazein* kondenzációjával állították elő a Galalitot, amelyet csomagolószerként is használtak (ballondugó). A 80 °C hőmérsékletet bíró más műanyagok előretörésével elveszítette jelentőségét, ma már nem gyártják,
- *kollagén*ből emészthető műbeleket készítenek, húsipari felhasználásra,
- *zselatin*hártyákat pl. a gyógyszeripar használ

Szénhidrát alapú műanyagok

- *algin*hártyák – alginsavból, a pektinsav izomerjéből készül, élelmiszerek burkolócsomagolására használják
- *amiló*zhártyák – nagy amilóztartalmú keményítőből állítják elő, főként élelmiszerek burkolócsomagolására használják. Zsírálló és emészthető. Ebbe a kategóriába sorolják általában az ehető csomagolásokat is, mivel zömük keményítő alapú. Az ehető csomagolásokkal mintegy két évtizede foglalkoznak, elterjedésüknek környezeti szempontból is van jövőjük, de a gazdasági lehetőség világszerte korlátokat szab.

Cellulóz alapú műanyagok

- *regenerált cellulóz* vagy *viszkózfólia* („*celofán*”) Még mintegy 15 évvel ezelőtt is nagy népszerűségnek örvendett, jó technológiai és funkcionális tulajdonságai miatt. Elsősorban élelmiszerek csomagolására használták. A fólia tulajdonságainak javítására különböző kezeléseket használnak. A viszkózfóliák jelentősége az utóbbi időben nagymértékben csökkent, hazánkban csak néhány, elsősorban licencces terméket csomagolnak vele. A fejlett csomagolóiparral rendelkező országokban is csökkent az alkalmazása. Helyettesítését biaxiálisan orientált polipropilén fóliával oldották meg (Kerekes, 1996).

- *cellulózacetát* – a viszkózfóliához hasonló. Jelentősége kicsi, kartondobozok bevonására használják.

3.1.2. Szintetikus műanyagok

Poliolefinek

- *polietilén* – kissűrűségű PE: elágazó szénlánc, ezért szerkezete laza, a termék lágy. Fóliákat, tasakokat, zsákokat, kis mennyiségben félmerek flakonokat készítenek belőle.

- nagysűrűségű PE: láncszerkezetében kevesebb az elágazás, ezért kristályossági foka, keménysége és sűrűsége nagyobb, flakonokat, kannákat, rekeszeket, hordókat gyártanak belőle.

A polietilén tulajdonságait kémiai és mechanikai módosítással tovább lehet javítani.

- *polipropilén* – a kőolaj krakkolásánál kinyert polietilén mellett melléktermékként jelentkező propilén polimerizációjával állítják elő. A polimerizáció során különböző szerkezeti izomerek keletkeznek (izo-, ata- és szündiotaktikus). A sztereoizomerek tulajdonságai eltérők. A polipropilénből fóliát és más csomagolószereket gyártanak. Biorientálással tulajdonságai javíthatók (pl. BOPP fólia), s más műanyagokkal is kombinálható.

Klórtartalmú polimerek

- *polivinil-klorid (PVC)* – a vinilklorid homo- és kopolimerjei. A belőle készült fólia kemény, rideg, hő és fény hatására bomlik és tulajdonságai romlanak, ezért stabilizátorok, lágyítók és egyéb adalékanyagok hozzáadásával javítják tulajdonságait. Az alapanyag és az adalékanyagok káros hatása miatt megítélése, mint élelmiszercsomagoló-anyag negatív. Hidegen nyújtható (stretch) fóliákat is készítenek belőle. Polivinilidénkloriddal kopolimerizálva az ún. Saran anyagok készülnek belőle (zsugorodó fóliák).

Különleges műanyagok

- *polisztirol* – vinilbenzol polimerizációjával állítják elő. A csomagolástechnikában főként habfólia, lemezek és habok formájában használják.

- *poliamid* – olyan heteroláncú polimerek, amelyek a főláncban -CO-NH-kötést tartalmaznak. Amino- és karboxilcsoportokat tartalmazó szénhidrogének víz kilépése mellett végbemenő ún. kondenzációs reakciójánál keletkeznek. A poliamidokat az angolszász irodalom nylon-oknak nevezi. Önállóan kevésbé, inkább társított fóliákkal együtt alkalmazzák. Ezek közül legfontosabb a PA-PE, koextrúzióval gyártott kombináció. Élelmiszerek csomagolására elterjedten használatos.

- *poliészterek* – olyan heteroláncú anyagok, amelyek a főláncban észtercsoportot tartalmaznak. Csomagolás szempontjából legfontosabbak az ún. lineáris poliészterek, amelynek jellegzetes képviselője a polietilén-tereftalát.

- *poliuretánok* – a hetero polimerláncban uretán kötést tartalmaznak. Legnagyobb felhasználási területük a rugalmas és a merev habok alkalmazása.

- *polivinilalkohol* – ún. szekunder polimer, polivinilacetátból állítják elő. Higroszkópos és vízben jól oldódik.

- *polietilén-vinilalkohol* – kopolimer, amely a polivinilalkohol és a polietilén kedvező tulajdonságait egyesíti.

3.2. Lebomló műanyagok

A környezetben felhalmozódó műanyagok esztétikai és környezetszennyezési gondokat jelentenek. Ennek kiküszöbölésére különböző megoldások születtek és születnek. Egyik ezek közül az a megoldás, hogy a műanyag használat után bomolják le, tűnjön el. Ennek különféle megoldásai léteznek.

A lebomló műanyag definíciója sincs egészen egyértelműen megfogalmazva. Kerekes (1996) a következő szempontok szerint osztályozta a lebomló műanyagokat:

- *photodegradálható műanyagok*: ultraibolya fényre érzékenyek, bennük az UV-fény láncszakadást idéz elő. Ezt a folyamatot gyorsítják meg fotoaktívátorokkal vagy kopolimerizációval. Erre három eljárás terjedt el. Az egyik szerint a műanyagba etilén-szén-monoxidot adagolnak, amely UV-fényre elbomlik; a másik eljárásban a segédanyag ketonkarbonil, amely elnyeli az UV-sugarakat és ennek hatására következik be a bomlás. A harmadik eljárásban az adalékanyag fenolgyanta vegyület, amely a molekulaláncba épül be.

A fényre bomló műanyagokat erdőtelepítéseknel, facsemete gyökérvédelmére, szemégyűjtő és egyéb zsákok céljaira, mezőgazdasági fóliaként a termesztési időszak egy-egy meghatározott periódusában használják.

(Szabó [1989] szerint a fény hatására lebomló polimerek egyrészt fotooxidáció, másrészt fotolitikusan bomlanak. Az első esetben az érzékenyített műanyag bizonyos csoportjai UV-sugárzás hatására vasionokkal lépnek reakcióba és az anyag autooxidációja következik be. Az így szétfűzött lánc már biodegradálható. A dezintegráció bekövetkeztét az anyag megfelelő előkezelése hetektől akár évekig kitolhatja. A polimer lánc fotolitikus bomlás esetén is UV-sugárzásra darabolódik fel. Az óriásmolekulába fényérzékeny csoportokat tartalmazó monomereket kopolimerizálnak. A széthulló lánc ugyancsak biodegradálható.

Önbomló műanyagokat három különböző eljárással állítanak elő. Mindegyik esetben a 270-320 nm hullámhosszú UV-sugarak fotodegradáló hatására támaszkodnak. Az első esetben a polimer láncba karbonilcsoportokat tartalmazó kopolimereket építenek be. A második lehetőség, hogy a polimerekhez vas-dimetil-ditiokarbamátot és cink-sztearátot adnak. Az előbbi UV-sugárzás hatására bomlik, miközben vasionok szabadulnak fel, amelyek azután a peroxidációt katalizálják. A bomlás indukciójának idejét pedig cink-sóval szabályozzák. Ilyen módon állítanak elő önbomló polietilén zsákokat. Végül a harmadik esetben adalékanyagként benzofenonnal dolgoznak. Ennek segítségével UV-sugárzás hatására a polisztirol tárgyak finom porrá esnek szét.

A mezőgazdaságban használt, a talajok vízvesztését, gyomosodását stb. akadályozó műanyag fóliák szintén fény hatására bomlanak. A polietilén, polibutilén és más poliolefinok érzékenyek a fotokémiai degradációval szemben, lehetőség nyílik speciális fóliatípusok kifejlesztésére, amelyek a növekedési szezon alatt elegendő mérvű fotokémiai károsodást szenvednek ahhoz, hogy ezután a gyors mikrobiális bontásra alkalmassá váljanak. Antioxidánsok beépítésével az anyagnak különböző sugárzási szintekkel szembeni rezisztenciáját szabályozhatjuk. A fenti esetben a natív polimer a biológiai támadással szemben ellenálló, csak a besugárzás hatására válik bonthatóvá.)

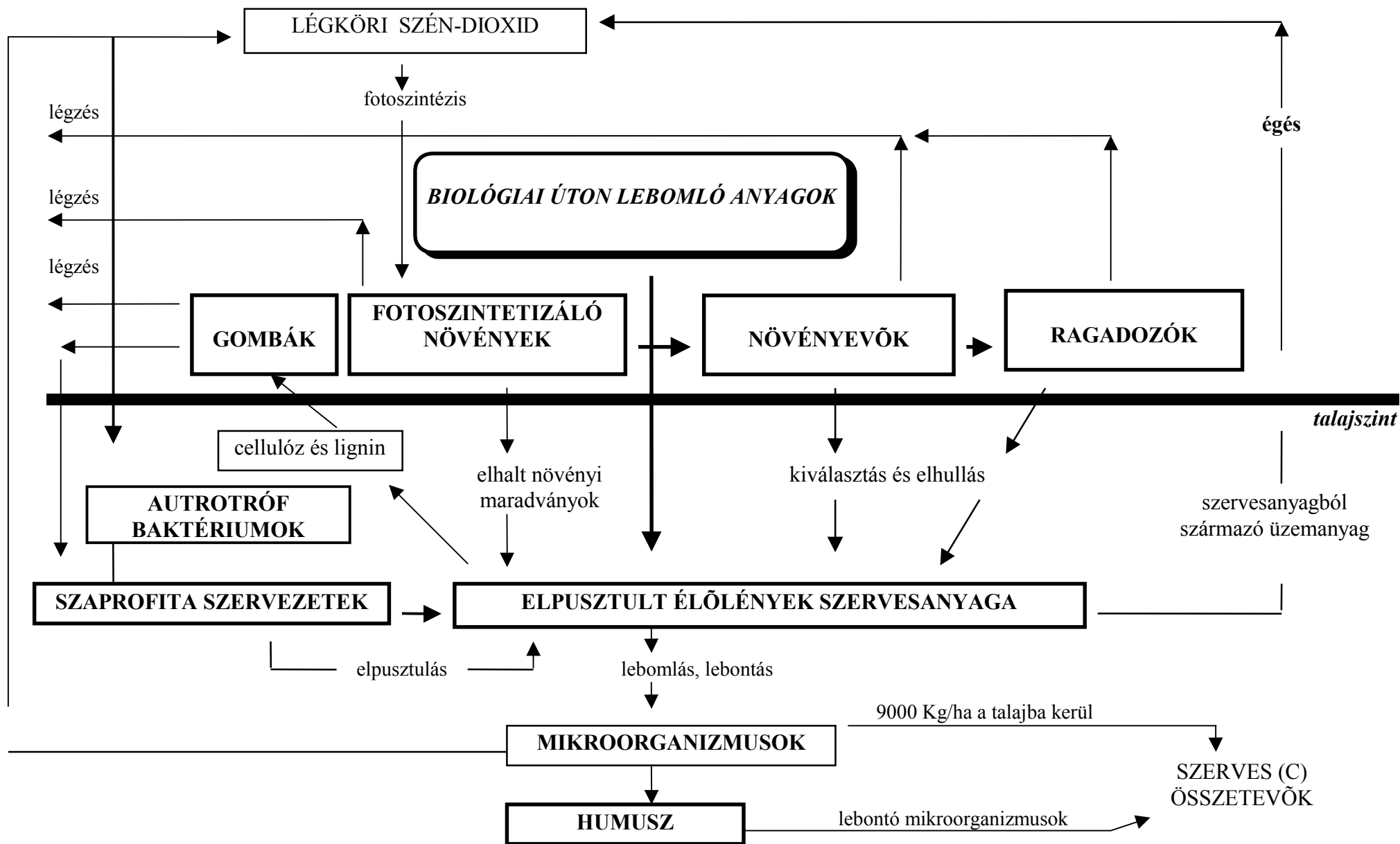
Doane (1992) szerint a következő definíciók alapján kell osztályozni a műanyagokat (16. táblázat).

16. táblázat: A műanyagok lebomlás szerinti osztályozása

Lebomló műanyagok	
Biológiai úton lebomlók	<ul style="list-style-type: none"> • Teljes degradáció CO₂-ra és H₂O-ra (környezeti feltételek mellett, belátható időn belül) • Természetes vagy szintetikus mono- és polimerek • <u>Példa</u>: PHBV (Biopol^R), módosított keményítő (Novon^R)
Fényre bomlók	<ul style="list-style-type: none"> • Lebomlás molekuláris szinten (UV-fény/dezintegráció → polimerlánc rövidülés → gyors és teljes bio-(vagy foto-)oxidatív degradáció CO₂-re és H₂O-ra • <u>Példa</u>: Ecostar Plus^R
Nem lebomló műanyagok	
Dezintegrálódók	<ul style="list-style-type: none"> • „Láthatatlan” részekre bomlás (fény, mikrobák, víz hatása) • Lebomló és nem lebomló komponensek blendje, vagy szintetikus polimer fotoaktivátorral, vagy vízzoldható műanyag • <u>Példa</u>: PE-keményítő blend (Mater-Bi^R), vasdibutilditiokarbamátot tartalmazó PE (Plastigone^R), poli(akril savas-ko-akrilészter) (Belland-Plastic)
Nem degradálódók	<ul style="list-style-type: none"> • A környezetben stabilak hosszú időn keresztül • Főként szintetikus polimerek, de a természetes mono- és polimerek módosított formái is • <u>Példa</u>: poliolefinok, PET, cellulóz-diacetát

Az anyagokat akkor tekinthetjük igazán lebomlónak, ha, akár természetes mineralizálódás útján, akár ha a biológiai szénkörforgalomban bomlanak le (8. ábra).

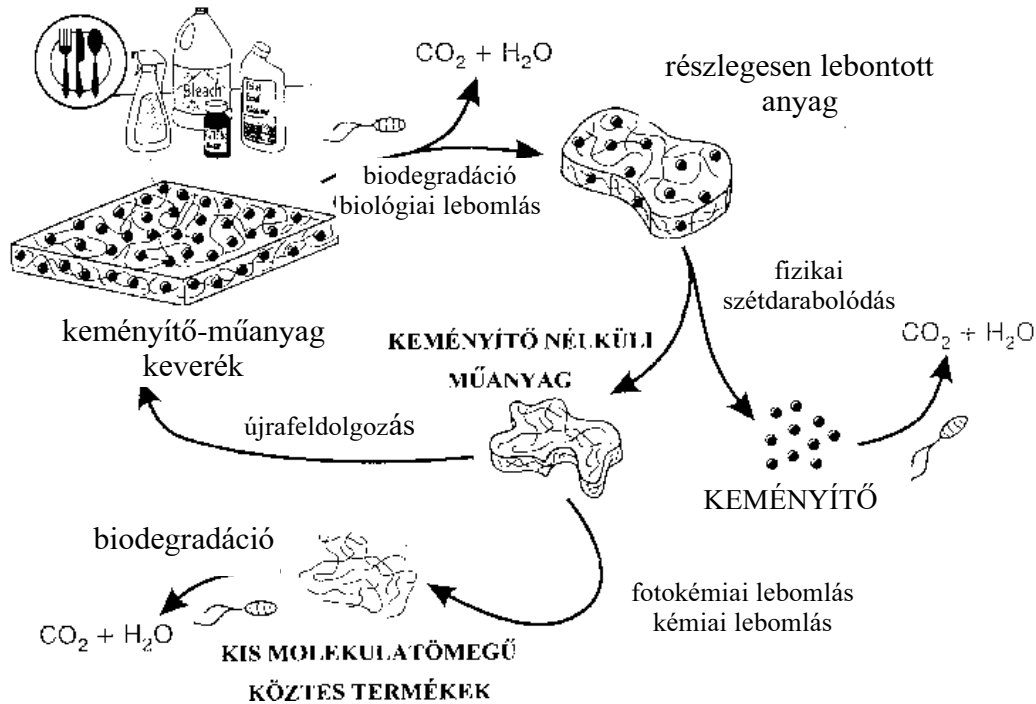
8. ábra: A biológiai szén ciklus



A biodegradáció a természet újrafeldolgozási technológiája. Már a keményítő beépítésével a szintetikus polimer hálóba növeli a polimer biológiai lebonthatóságát. A mikroba-tevékenység következtében lyukak keletkeznek az anyagban (biofragmentáció), az anyag fizikai szilárdsága csökken és a megnövekedett felület további lehetőséget nyújt a műanyagok bontására képes mikrobáknak (9. ábra).

9. ábra

A BIODEGRADÁCIÓ (biológiai úton történő lebontás) a természet újrafeldolgozási technológiája



Strantz és Zottola (1992) vizsgálta a keményítőtartalmú polietilén film stabilitását is a keményítóbontó enzimekkel szemben. Megállapították, hogy a film a keményítóbontó enzimekkel szemben ellenálló volt, azonban amilolitikus mikrobákkal összehozva a keményítóbontás végbement, *in vitro* és *in vivo* is, bár a biodegradáció sebessége és mértéke a fólia előállítási módjától és a mikrobafajtól is erősen függött.

A természetes talajokban a lebomlási folyamatokat általában enzimek irányítják. Számos enzim, főként a mikrobák extracelluláris enzimjei, s a növények gyökérszónájában a növények által kiválasztott enzim, működik a talajban. A fő lebontók a baktériumok és a gombák, a feltételezések szerint a legtöbb ökoszisztémában a gombák játsszák a fő szerepet, míg a baktériumok kisebb jelentőségűek.

A lebomlási folyamat igen összetett, s mechanizmusa nem teljesen ismert. Az világos, hogy a lebontandó anyagnak és a mikrobáknak találkozniuk kell, a mikrobák kolonizálják az anyagot, a felületéhez tapadnak – ekkor jön létre a kölcsönhatás. A mikroba szaporodik, biofilmet hoz létre az anyag felületén, amely a mikrobákból és az általuk kiválasztott anyagcsere-termékekből áll. A biofilm ugyanakkor megváltoztatja a mikrokörnyezetet és, a résztvevő mikrobáktól függően, a lebontási folyamatot is. A biofilm képződés feltétele a mikroba hozzá-tapadása a felülethez, amelyet erősen befolyásol az anyag milyensége. Az a legutóbbi évek során kiderült, hogy a talajban lezajló folyamatok zömének előfeltétele, hogy a talajszem-

cséken, kolloidokon ilyen biofilm képződnek. A résztvevő mikrobák minőségét és mennyiségét a hozzáférhető tápanyagforrás határozza meg. Imam és munkatársai (1992) azt találták, hogy a biofilm képződés elősegíti a lebontást, de néhány esetben fizikai gátat képez a keményítóbontó mikrobák számára. Azt is megfigyelték, hogy bár nem volt egzakt összefüggés a sejtek kötődése és a keményítő-polietilén fólia lebomlása között, de megállapítható volt, hogy azon keményítóbontó mikrobák, amelyek kötődésre voltak képesek, előnyt élveztek a nem kötődő mikrobákkal szemben vizes környezetben. Feltehetően hasonló folyamatok zajlanak le a talajban is.

3.3. A megújuló nyersanyagok (biopolimerek) alkalmazása csomagolóanyagok előállítására

A biopolimerek bevonása a csomagolóanyagok kialakításában alternatív eljárás lehet a környezetszennyezési gondok csökkentésére, a szilárd hulladék csökkentésére (Doane, 1992), amellyel, hogy használatukkal kímélhetők a petrokémiai tartalékok (Külpmann, 1993).

A megújuló nyersanyagok csomagolóipari hasznosítását több tényező is alátámasztja:

- Lehetőség kínálkozik elsősorban az egyre csökkenő fosszilis anyagtartalékok kímélésére. Bár a műanyag alapú csomagolószerekre a teljes olaj- és földgázfelhasználásnak csak töredéke jut, a helyettesítés lehetőségeit itt is vizsgálni kell. (A fosszilis nyersanyagok 95 %-át közvetlenül fűtésre, szállításra, vagy energia előállításra használjuk. A fennmaradó 5 %-nak mintegy harmadából állítunk elő műanyagokat, s ennek kb. 35 %-a a csomagolóeszköz. Ez azt jelenti, hogy az összes fosszilis energiának csak mintegy 0.6 %-ából „lesz csomagolóeszköz” [Paine, 1991], más számítások szerint 1.5 %-ából [Anon. 1997]).

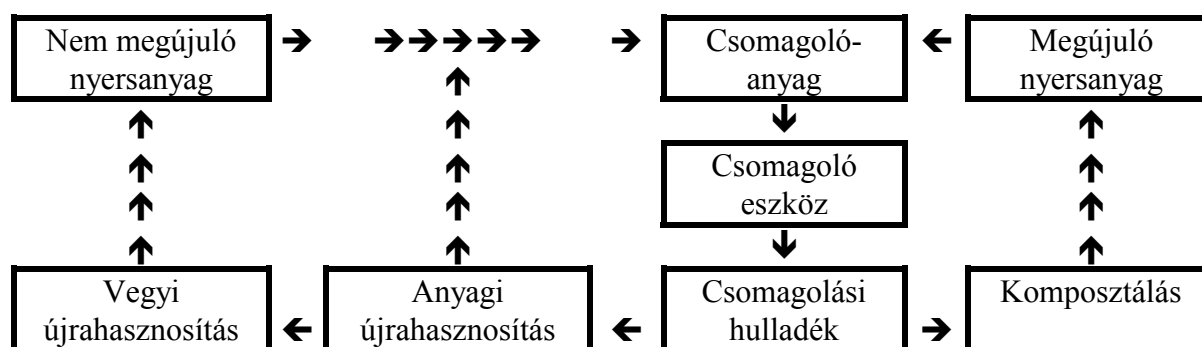
- A természeti folyamatokban a növények a Nap energiáját a komposztálás során a biomasszába átadva hasznosítják. A csekély elsődleges energiát a felépítésük, valamint a csomagolóanyag előállítása során kedvezően hasznosítják, s ezzel csekély energiaeredetű szennyeződést okoznak.

- A megújuló nyersanyagok bevezetése kedvezően befolyásolja az ún. üvegházhatást. A petrokémiai eredetű műanyagok gyártásánál a kőolaj egy része a segítségükkel megtakarítható. A megújuló nyersanyagok napjaink atmoszférájából széndioxidot kötnek meg. Így lebomlásuk vagy elégetésük során a széndioxid-koncentrációt nem növelik, legfeljebb a felvett mennyiséget juttatják vissza a természetes körforgásba. A trágyázás, az aratás és a feldolgozás azonban széndioxid keletkezésével jár. A Német Szövetségi Gyűlés illetékes szaktanárságának tervei szerint a CO₂-kibocsátás mértékét 2005-ig 30 %-kal, 2050-ig 80 %-kal kell csökkenteni. Ennek érdekében viszont az ipari termékek és gyártástechnológiák széleskörű változtatására lenne szükség.

- A megújuló nyersanyagok használata a hulladékgondok megoldását is segíti. A lerakóhelyek szűkösségére figyelemmel a Csomagolási Rendeletben megkövetelt anyagi újrahasznosítás keretében a csomagolási hulladékok komposztálással vagy biogázok nyerésével kedvezően értékesülnek. Kialakul az anyagok bioszférikus körforgása, elérhető az ökológiai-lag egyszerű újratermelési folyamat (10. ábra).

- A természetes alapú csomagolószerek a mezőgazdaság szerkezeti gondjain is segíthetnek. A túltermelésből és a termőföldek kényszerű pihentetéséből eredő nehézségek a megújuló nyersanyagok közvetlen ipari felhasználásával áthidalhatók.

10. ábra: Az anyagok ipari és bioszférikus körforgása



A szintetikus polimerek kiváltására a megújuló nyersanyagforrások közül az alábbiak jöhetnek szóba:

- poliszacharidok (pl. keményítő, cellulóz, pektin)
- fehérjék (pl. zselatin, prolamin, glutén)
- lipidek (zsírok, viaszok)
- poliészterek (mikrobiális eredetű polihidroxibutirát/valerát)

A poliszacharid és fehérje tartalmú filmek általános mechanikai és optikai tulajdonságai megfelelőek, de igen érzékenyek a nedvességre, s rossz a vízgőz átteresztőképességük. Ezzel szemben a lipid vagy poliészter tartalmú anyagok vízgőz-záró képessége jó, nedvességre nem érzékenyek, ellenben viszonylag törékenyek, opálosak. A lipid filmek az avasodási folyamatok következtében instabilak.

Ezen anyagok, mint vegyipari alapanyagok feldolgozhatósága is eltér mind egymástól, mind a kőolajtól. Ezt a 17. táblázat szemlélteti.

17. táblázat: Különböző termékek feldolgozásra való alkalmassága

Jellemző tulajdonság	Nyersanyag				
	Kőolaj	Cellulóz	Keményítő	Cukor	Olaj/zsír
Energiasűrűség	****	**	**	**	***
Vegyileg egységes anyagokká bonthatóság	***	***	***	****	****
Reaktivitás	***	***	***	***	****
Többszöri használhatóság	****	*	*	*	***
A végtermék közelsége	***	*	*	*	***
Homogén folyamatok lehetősége	****	*	**	***	****

**** kiváló, *** jó, ** mérsékelt, * nem teljesül

A mezőgazdasági nyersanyagok felhasználása során három különböző technológiát különböztethetünk meg a biocsomagolóanyagok kifejlesztése során: 1. szintetikus és biopolimerek keveréke (1. és 2. generációs termékek), 2. mezőgazdasági nyersanyagok, mint szubsztrátumok a mikrobiális biopolimerek előállításához és végül 3. mezőgazdasági eredetű biopolimerek kizárólagos használata. Minél nagyobb a megújuló nyersanyag részaránya a termékben, annál jobb a biodegradációs tulajdonsága, viszont a funkcionális tulajdonságok annál gyengébbek (Gontard és Guilbert, 1994).

A **keményítő** a legáltalánosabban használt biopolimer, főként az első technikában, mivel olcsó, nagy mennyiségben fordul elő és viszonylag könnyű a kezelése.

Közülük a legolcsóbbak a keményítő-szintetikus polimer keverékek, de a lebomlásukkal kapcsolatos megfigyelések ellentmondásosak. A keményítő rész teljes lebomlása általában 40-60 napot vesz igénybe (Imam et al., 1992), a teljes film lebomlása néhány évet (3-5 év), amely elenyésző a szintetikus polimerekre számított 200 éves lebomlási időhöz képest. A mikrobás eredetű poliészterek (polihidroxi-butirát/valerát, PHBV) teljesen lebomlók és újrafeldolgozhatók, de használatukat drágaságuk korlátozza (kozmetikumok, gyógyászat). Az ún. termoplasztikok rendszerint teljesen keményítőtől állnak. Olcsók, de a mechanikai tulajdonságaik nem a legjobbak, törékenyek, rövid az élettartamuk. Minőségük adalékanyagokkal (lágyítók, pro-oxidánsok) javítható, de ezek az élelmiszerrel kontaktusba kerülve gondot okozhatnak. Felhasználásuk korlátozott. Egy forgalomba hozott biológiai úton lebomló csomagolóanyag a Zeneca által gyártott BIOPOL rezin termék, amely teljesen lebomlik természetes körülmények között, s a gyártó a belőle készült csomagolóanyag típusokat is megjelölte.

Mind a keményítő/polietilén blend, mind a tisztán keményítőtől készülő anyag a hagyományos módszerekkel fóliává vagy fröccsöntött terméké dolgozható fel. A tisztán keményítőtől készülő fóliák nem vízállóak, gyorsan lebomlanak. Különösen a kukorica-keményítő használata tűnik ökológiai szempontból észszerűnek. A burgonyakeményítő ipari méretű kinyerése és feldolgozása jelentős vízterheléssel jár (Külpmann, 1993).

A tiszta keményítőanyagoknak az élelmiszer-csomagolásban van jelentőségük, mégpedig alátétálca és pohár formájában, alkalmazhatják kartonnal társítva. A fő gondot a vízzel szembeni érzékenység és az anyag viszonylag csekély szilárdsága okozza, amely miatt nagyobb falvastagságra van szükség.

A csomagolóanyag, ha nincs szintetikus polimerrel társítva, megfelelő körülmények között néhány hét alatt lebomlik. A komposztálás célszerű hasznosítás.

Cellulózból viszkózfólia vagy cellulózacetát is gyártható. Az utóbbi alapanyaga fa-cellulóz vagy gyapot. A cellulózt biológiai lágyítókkal módosítják, ezáltal a szintetikus műanyagokhoz hasonló molekulaszervezet alakul ki. A termékek a szokásos technológiákkal, különösen extrudálással és fröccsöntéssel dolgozhatók fel. Nagy átlátszóságuk miatt csomagolásra alkalmasak.

Hulladékaik kezelésének gazdaságos módja a komposztálás. A fajtatiszta hulladék azonban ismételtelen felhasználható. Viszonylag magas ára és az előállítási folyamat környezeti terhelése miatt a keményítővel való összehasonlításban hátrányba kerül.

Biotechnológiai átalakítással (szénhidrátok bakteriális fermentálása) **cukor** alapon, de mezőgazdasági melléktermékekből (például tejsavból) is előállítható hőre lágyuló biopolimer. Ezek a tökéletes lebomlás mellett újrahasznosíthatók, s a hagyományos technológiákkal (például fröccsöntéssel, fűvással) jól feldolgozhatók. A mechanikai és a fizikai tulajdonságaik hasonlítanak a poliolefinekéhez.

A **növényi olaj** alapú anyagoknál a kiinduló elemet a zsírokból és olajokból előállítható zsírsavak adják. Az előfeltételt a vegyileg tiszta zsírsavak kedvező áron történő előállítása jelenti. A növényi eredetű olajok és zsírok felépítése hasonló a petrokémiai anyagokéhoz, így elvben hasonló módon alkalmazhatók.

A csomagolóiparban a hagyományos műanyagokkal hasonló tulajdonságú termékeknek van jelentősége. A petrokémiai anyagok a zsírsavakkal lineáris makromolekulákat képeznek. Igen jó mechanikai tulajdonságaikra és kedvező feldolgozási lehetőségekre tekintettel

fejlesztették ki a poliamid-poliuretán-zsír-sav műanyagokat. Sokoldalúan dolgozhatók fel. A megújuló nyersanyag részaránya 50-70 %. A biológiai lebomlóképeség azonban nem egyértelmű. A növényolaj alapú anyagok fejlesztési szakaszban vannak, csomagolási célra nem kerültek felhasználásra.

A **zselatin** (húsipari melléktermék) meleg vízben jól oldódik, biológiailag lebomló. Fóliaként és fröccsönthető anyagként hasznosítható. A csomagoló-szer-gyártásban az ablakos dobozokhoz fóliaként alkalmazzák.

Jelenleg a különböző keményítőalapú termékek tűnnek a leggazdaságosabbaknak. Áruk 1993-ban Németországban pl. 5-8 DM/kg volt, míg a cukor alapú anyagoké kb. 30 DM/kg, tehát mindkettő lényegesen meghaladja a hagyományos műanyagokét. A megújuló nyersanyagok versenyképességének további feltétele a hagyományos módszerekkel (fröccsöntés, extrudálás) a jelenleg használatos gépeken való feldolgozhatóság, a hatékony termékvédelem, s ezzel szoros összefüggésben a csomagolási előírások kielégítése. Külpmann (1993) előrejelzése szerint ha különböző korszerű eljárásokkal (például társítással, illetve SiO_x vagy alumínium rágőzőlögtetéssel) az alkalmazástechnikai jellemzők tovább javíthatók, akár 250-500 ezer tonna/év kereslet is elérhető. Az ökológiai következményeket, például a lebomlás változását, vagy a visszamaradó részeket azonban nem lehet figyelmen kívül hagyni.

A végső értékelés során egyfelől a természeti erőforrások csökkenéséből, másfelől a biológiai lebomlási jellemzőkből kell kiindulni. A hulladékgondokra való tekintettel pillanatnyilag a lebomlás került előtérbe. Közép és hosszú távon azonban az erőforrások kímélésének és a szennyező hatások (különösen a széndioxid) csökkentésének jelentősége is nő.

3.4. A biopolimer tartalmú csomagolóanyagok élelmiszeripari alkalmazhatóságának vizsgálata

A biopolimer tartalmú csomagolóanyagok élelmiszeripari alkalmazhatóságáról még nincsenek tapasztalatok. Az utóbbi időben Strantz és Zottola (1992) valamint Kim és Pometto (1994) vizsgálta néhány keményítő-polietilén keverék alapú csomagolóanyag (film) tulajdonságai élelmiszeripari alkalmazhatóság szempontjából. Megállapították, hogy 28 % keményítő tartalomig a filmek mechanikai tulajdonságait a savas környezet jobban befolyásolta, mint az alkalikus, de a filmek stabilak voltak paraffin olajban. A keményítő tartalom nem befolyásolta a hővel történő zárás minőségét. A vízgőz-áteresztőképesség nőtt a növekvő keményítő tartalommal. Az O_2 és a CO_2 -áteresztőképességet a keményítő nem befolyásolta, de a nitrogén-áteresztőképesség kissé növekedett. A mikrobiológiai vizsgálatok azt igazolták, hogy a baktériumok túlélését a keményítő jelenléte nem befolyásolta, nem növelte. Ennek alapján az ilyen típusú anyagok élelmiszer-csomagolóanyagként való használatát, jól definiált körülmények között, meghatározott termékek körére alkalmasnak tartják.

3.5 A lebomló csomagolóanyagokból keletkező hulladék kezelése

Mint korábban már volt róla szó röviden, illetve a 3 R tématerület foglalkozik ezzel részletesen, a hulladék hasznosításának többféle módja lehetséges.

Az EU nemrég javasolta, hogy az eredeti előírások helyett vezessék be, hogy a hulladékok lebontható részét kezeljék deponálás előtt. Egy jelenlegi tervezet azt javasolja, hogy a szemétkerakóba kerülő hulladékok szervesanyag-tartalma ne haladja meg a 10 %-ot; megjegyzendő, hogy a német törvényes határérték 5 %. Az Egyesült Királyságban jelenleg a háztartási hulladéknak 90 %-a kerül szemétkerakókba, a tervek szerint 2005-re ezt az arányt 60 %-ra kell csökkenteni. Ez kiegészíti azt az 1990-es célt, hogy 2000-ig a háztartási hulladék 25 %-át újrahasznosítani, vagy komposztálni kell (Hatton, 1997).

A szilárd települési hulladékban lévő, biológiailag lebontható szerves anyagok feldolgozására 3 fő lehetőség kínálkozik:

- égetés vagy pirolízis, maximális energia-kihozattal
- anaerob emésztés: energiatermelés + talajjavító anyag keletkezése
- aerob komposztálás: nem jár energia-visszanyeréssel, de jól lebontja a szerves anyagokat.

A megújuló forrásból származó lebomló csomagolóanyagoknak akkor van igazán értelmük, ha visszakerülnek a biológiai körforgásba. Ez kétféleképpen történhet, komposztálással, vagy anaerob emésztéssel.

A **komposztálás** során, mint korábban láthattuk, a nyersanyag a mikrobás tevékenység következtében végső soron széndioxidra és vízre bomlik le. A komposzt közvetlenül felhasználható a talaj javítására, ahol végső soron a mikroorganizmusok segítségével újra hasznosul.

Ez csak abban az esetben valósulhat meg belátható időn belül teljes körűen, ha az anyag csak biopolimert (s lehetőség szerint minél kevésbé feldolgozott formában) tartalmaz. Műanyagokkal társítva a gyors lebomlás csak a biopolimer részre vonatkozik, a szintetikus polimer rész lebomlása – bár esetleg gyorsabb, mint a csak tiszta anyag esetén – hosszabb, éveket is igénybe vehet, s bomlástermékeivel szennyezheti a környezetet.

A komposztálás útján történő hulladékkezelés elsődlegesen ott alkalmazható, ahol viszonylag nagy mennyiségű, erre alkalmas hulladék keletkezik, például az élelmiszerkereskedelemben, mezőgazdaságban, vendéglátóiparban.

Az **anaerob lebontás** célja a biogáz termelés, s végső soron energiatermelés, és a visszamaradó anyag talajjavításra fordítható. Az Egyesült Királyságban módszert dolgoztak ki a háztartási hulladék hasznosítására anaerob emésztés (anaerobic digestion) segítségével. A háztartási hulladékot még a lakók lebontható és nem lebontható frakcióra osztják, s a hatóságok szelektíven begyűjtik (vagy kézi, illetve újabban gépi válogatással elkülönítik) és a szennyvízzel együtt kezelik. A kísérleti üzem mérései alapján a megállapított költségek összehasonlíthatók más, olyan hulladékkezelő rendszerekével (18. táblázat).

Az optimális működéssel járó maximális költséghatékonyság évi 125 ezer tonna hulladék feldolgozásakor várható. A szerves hozamot – szükség esetén – egynél több szennyvíztisztító telepen kell kezelni (Hatton, 1997).

Az itt ismertetett eljárás egy újabb változata a szerves hulladék csökkentésének/hasznosításának, amelyben a biológiai úton lebomló csomagolóanyagok jól beleillenek. Az így kezelt szervesanyag nem csak visszatér a természetes körforgalomba, hanem energia-tartalma is hasznosul.

18. táblázat: A kommunális szerves hulladék kezelésének költségei és eredménye

	Lerakó	Anaerob kezelés	Égetés
Összesítés			
tonna/év	250 000	250 000	250 000
Beruházási költség (E GBP)	2000	9000	60650
Maradék			
Összes anyag (tonna/év)	250 000	178050	80 000
Költség (E GBP)	7 000	4 998	1 840
Bevétel			
Villamos energia (E GBP)	0	1 042	4 307
Bevételi illeték (GBP/tonna)	31.00	32.54	43.21

4. A BIOLÓGIAI ÚTON LEBOMLÓ CSOMAGOLÓANYAGOK HELYZETE VILÁGVISZONYLATBAN

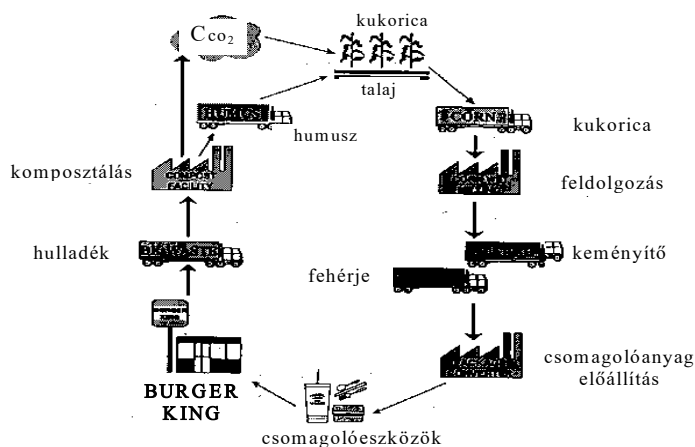
Az USA-ban és az EU országaiban mind az állam, mind az ipar finanszírozza a biológiai úton lebomló csomagolóanyagok fejlesztését. Az állam részéről részben a mezőgazdaságban keletkező termékfelesleg felhasználása motiválta kezdetben a fejlesztést, de nagymértékben hozzájárultak egyéb szempontok is (folyamatosan megújuló nyersanyagforrás, környezetvédelem). Az ipart már főként ez utóbbi szempont indította a kutatásokba való bekapcsolódásra (McDonalds, Burger King), mert ez nyilvánvalóan szolgálta az üzleti érdekeket is. A vizsgálatok szabványosítását is támogatják a nagy magáncégek közül többen (ICI, Warner Lambert, Du Pont).

Az Egyesült Államok több minisztériuma, így a Mezőgazdasági, a Honvédelmi (a hadsereg Natick Research, Development & Engineering Center-e is), és az Energetikai (valamint az ez utóbbihoz tartozó Solar Energy Research Institute – Napenergia Kut. Int.) szintén erőteljesen támogatják az ezen a területen folyó technológiai kutatásokat. Ugyanakkor, az FDA (Food & Drug Administration), az Environmental Protection Agency (EPA, Környezetvédelmi Ügynökség) és a Federal Trade Commission (Szövetségi Kereskedelmi Egyesület, Kamara) nem foglalt állást ebben a kérdésben sem pro sem kontra.

NCGA (T. Draeger) szerint a kukorica-alapú plastik különleges kihívást jelent, mint élelmiszercsomagoló anyag. Eddig csak egy előállító (ADM) jelezte, hogy az általuk előállított anyagok rajta vannak az FDA GRAS (generally recognized as safe) listáján. Mások esetében a penészek megjelenése és az élelmiszerek kontaminációja jelent gondot.

A Burger King már lépéseket tett a biológiai úton lebomló, komposztálható csomagolások irányába. Kísérleteket végeztek olyan burger csomagolásokkal, amelyek nedvesség- és zsír-rezisztens lebomló film bevonatú kartonpapírból készültek. A vékony film, amelyet részben kukorica-alapú zeinből készítettek, a Burger King fejlesztette ki, a Michigan Biotechnology Institute-tal közösen. Ugyanakkor komposztálható bevonattal ellátott papír szendvics-csomagolót is vizsgáltak, amely a bevonattal ellátott kartondobozokat hivatott kiváltani. Az így előállított termékek jól reprezentálják a „bölcstől a sírig” koncepciót (11. ábra).

11. ábra: A csomagolószerszám sorsa a bölcstől a sírig (Burger King)



A McDonald's Corp., amely korábban polisztirol habtálcákat használt a nagyobb szendvics csomagolásához, átállt egy 3-rétegű „quilt wrap”-ra (steppelt csomagolás), amely egy réteg polietilén a két réteg domborított papír között. A James River Corp. a McDonald's-szal

együtt dolgozta ki ezt az anyagot, s most keresik a megoldást, hogy a PE középső réteget is egy lebomló, komposztálható anyagra cseréeljék ki.

A legtöbb lebomló anyag viszonylag rövid idő alatt lebomlik, de a jelenlegi lerakódóhelyek nem kedveznek a lebomlásnak.

Az NCGA véleménye, hogy az ilyen anyagok előállításával és/vagy forgalmazásával foglalkozó társaságok legyenek körültekintőek, és jelezzék, hogy a kívánt lebomlás csak megfelelően kezelt lerakódóhelyeken és komposztáló rendszerekben következik be.

A lebomlás során káros anyagok nem kerülnek a környezetbe. Nehézfémeket hordozhatnak a színyanyagok, vagy a feliratozáshoz használt festékek, de a legtöbb, színyanyagot forgalmazó vállalat már követi a Coalition of Northeast Governor (CONEG)-nak a nehézfémek eliminálására vonatkozó irányelveit.

ASTM (American Society for Testing & Materials) – ezen belül működik az Institute for Standards Research, amely kutatási támogatást kapott a Du Pont, Warner-Lambert, ICI, Novamont és a Procter & Gamble cégektől, hogy meggyorsítsák a lebomló anyagokra vonatkozó szabványok kifejlesztését. Ilyen szabványok már meg is jelentek.

A következő táblázatban a biopolimer alapú, kereskedelmi forgalomban lévő csomagolóanyagokról közlünk egy összeállítást (19. táblázat).

Németországban a szövetségi kormány a biológiai úton lebomló csomagolóanyagok fejlesztését a piacképesség elérésig szorgalmazza és ösztönzi. Bár még ott is kezdetleges állapotban van a fejlesztés, szervezett erőfeszítések történnek. Létrehozták a Biológiai Lebomló Csomagolóanyagok Érdekszövetségét (IBAW). A Környezetvédelmi Minisztérium bejelentette, hogy a Csomagolási Rendeletet átmenetileg kiegészítik: amennyiben meghatározható, hogy a túlnyomóan biológiai lebomló, megújuló nyersanyagból készülő műanyag csomagolóeszközök valamennyi része komposztálható, az illetékes hatóság 1998. december 31-ig engedélyezheti alkalmazhatóságukat, ha száz csomagolóeszközből legalább 50 komposztálható. A Függelék 6. §-ában azt a szigorítást tartalmazza, amely szerint 1999. január 1-től a megújuló nyersanyagokból előállított csomagolóeszközöknek legalább 60 %-a komposztálható kell, hogy legyen. Az EU irányelvei még nem írnak elő külön jelet a biológiai lebomló csomagolóanyagokra, de az IBAW már jelképet (piktogramot) tervezetett (12. ábra).

12. ábra: A biológiai lebomló – komposztálható – csomagolóanyagok jele (IBAW)



A biológiai úton lebomló csomagolóanyagok elterjedésének legnagyobb akadályát a szervezett gyűjtés hiányában látják, ezért nem érvényesült eddig ennek a rendszernek az előnye. Ennek ellenére a csomagolási hulladékok németországi kezelése példaképpül szolgálhat. A Szövetségi Kormányban 300 komposztáló gép működik, összesen évi 12 M tonna teljesítménnyel (Anon. 1997).

19. táblázat: Forgalomban lévő biológiailag lebomló csomagolóanyagok

Alapanyag	Megnevezés	Gyártó		Felhasználási terület	Fontosabb tulajdonságok
		Cég	Ország		
keményítő	Bio-Bag	4P Folie Forcheim GmbH	Németország	komposztálható háztartási hulladék-gyűjtő zsákok	vízzel érintkezve reakcióba léphet az élelmiszerrel
kizárólag (burgonya) keményítő	Cambio	Biopac	Ausztria	műanyag-tálcák, poharak, tányérok, dobozok, tojástartók	100 %-ban CO ₂ -ra és H ₂ O-re bomlik
(burgonya, vagy kukorica) keményítő	Novon M 4900		Svájc	fólia	átlátszó, vastagsága 0,02 mm szakítószilárdsága, nyúlása vetekedik a szokásos minőségű PE fóliákéval, extruderekkel feldolgozható 24 órán át víz-, nedvességálló
PHBV (cukorrépa)	Biopol	ICI Films	Anglia és Németország	palackok (kozmetikumok számára)	fröccsöntésre is alkalmas élelmiszerek csomagolására nem alkalmazzák
termoplasztik (keményítő 60 %) + vinil-alkohol	Mater-Bi			polietilének teljeskörű helyettesítésére	hőre lágyuló, komposztálható „élő anyag”: nagyon magas páratartalom esetén lágy, száraz klímában merev
PE (90 %) + keményítő (10 %)	Ecopolym	Polychim		műtrágya fóliakapszula	rizsföldek műtrágyázásához, az anyag fokozatos lebomlását kihasználva
PE + keményítő + telítetlen zsírsav	Ecostar	St. Laurene Star Co.			
Etilén + Akrilsav + PE-LD + keményítő (60 %)		Ferruzzi konzern	Olaszország		
alifás poliészter	Bionolle	Showa Highpolymer Co., Ltd.	Japán	egy és többretegű film, lap, tégely, palack, kapszula	fizikai tulajdonságaiban megegyezik a PE-LD, ill. PE-LLD-vel, komposztálhatósága hasonló a fáéhoz, ill. a papíréhoz
kukorica és burgonya-keményítő	Novon 2020 Novon 3001	Novon Products Group	Svájc	élelmiszerek tárolására, csomagolására	

5. A MAGYAR VISZONYOK FELMÉRÉSE BIOLÓGIAI ÚTON LEBOMLÓ CSOMAGOLÓANYAGOK ELŐÁLLÍTÁSÁRA

(Előállítási lehetőség, import, stb. az alapanyag vonatkozásában, kutatás)

5.1. Az alapanyag hozzáférhetősége

Jelenleg a keményítőalapú lebomló csomagolóanyagok előállítása látszik a leggazdaságosabbnak. A keményítő különböző forrásokból származhat, de gazdaságossági szempontok alapján a kukorica (és általában a gabona) keményítőt tartják a legjobb alapanyagoknak. Magyarországon az összes gabonatermés az 1985-90. évek átlagában 14.175 millió tonna, 1991-1995 között 11.294 millió tonna, 1996-ban 10.98 millió tonna volt. Az erőteljes csökkenésért a mezőgazdaság évek óta tartó átalakulása/válsága a felelős.

A potenciális keményítőforrásként szóba jövő burgonya termésmennyisége szintén csökkenő tendenciát mutat (1986-90: 1.26 millió tonna, 1991-95: 1.11 millió tonna, 1996: 1.09 millió tonna).

Magyarország a hagyományosan exportáló országnak számít a gabonafélék területén. Az export zömét a búza teszi ki. Szilágy (1993) szerint a kukorica exportjának növekedése is várható.

Ugyancsak drámai módon csökkent az előállított keményítő mennyisége, bár az utóbbi években lassú növekedés figyelhető meg:

Év	tonna
1990	19.457
1993	4.867
1994	11.635
1995	12.214

A keményítőgyártásnak Magyarországon több mint 100 éves múltja van. Esőnek burgonyából, majd kukoricából és búzából állítottak elő keményítőt. 1993-ban négy gyárban állítottak elő keményítőt, elsősorban búzából és kukoricából. Az 1993-at megelőző években a keményítőgyártás kisebb volt, mint 5 kg/fő (az európai átlag 10 kg/fő volt).

A főként búza és kukoricából előállított keményítőnek legalább 25 %-át nem az élelmiszeripar használja. Ludvig és Pándi (1993) adatai szerint az előállított nem-élelmiszeripari keményítőnek 40-50 %-át a papíripar, 20-30 %-át a textilipar, további kb. 25 %-át az egyéb iparok (gyógyszer-, vegyi, bányászati, fém-, bőr-, nyomdaipar és egyéb területek, pl. mezőgazdaság, környezetvédelem, szolgáltatóiparok) használják fel. Tekintélyes mennyiséget használnak alkohol és édesítőszer előállítására is.

Magyarország natív- és módosított keményítő-felhasználása 13-15000 tonna volt a 90-es évek közepén. Ebből 6-7000 tonna volt az import (főként gyógyszeripari célokra), a többit a pécsi Agrária Kft. és a szabadegyházi multinacionális HUNGRANA Rt. állította elő.

A keményítő alapanyagok előállításához a megfelelő mennyiségű és minőségű mezőgazdasági alapanyag (kukorica, burgonya, búza stb.) elvileg rendelkezésre áll, de valószínűsíthető, hogy bizonyos mértékű fajtaváltásra szükség lehet a biológiailag lebomló csomagolóanyagok fejlesztéséhez, előállításához (pl. nagy amilóz-tartalmú kukorica).

A keményítőgyári kapacitások jelenleg nincsenek kihasználva, mivel a keményítő-felhasználó iparok (textil-, papír-, élelmiszeripar, stb.) igényei az utóbbi években csökkentek. Emiatt a hazai natív búzakeményítő-gyártás megszűnt, a natív kukoricakeményítő gyártás pedig 50-60 %-kal csökkent, s nincsenek kihasználva a modifikálási kapacitások sem.

Megjegyzendő, hogy a mezőgazdasági alapanyagok árai – állami dotáció hiányában –, nagyobbak, mint az EU országokban, s emiatt az ezekből készült keményítőféleségek árai sem mindig versenyképesek.

A biológiailag lebomló csomagolóanyagok gyártásának bevezetése növelhetné mind a mezőgazdasági, mind a keményítőipari termelést.

5.2. Kutatás

Magyarországon a 80-as években készült körütekintő felmérés Szijártó és munkatársai tollából a környezetben, napfény hatására lebomló műanyagok helyzetéről, a lebomlás elméletéről és gyakorlati megoldásokról külföldön (Szijártó és Wein, 1979) és Magyarországon (Szijártó és Wein, 1979)); ismertették a Tiszai Vegyikombináttal közösen kifejlesztett fényérzékeny polietilén fóliával nyert tapasztalatokat (Szijártó et al., 1987, Kolozsvári et al. 1987). Szijártó és munkatársai 1989-ben írt cikkükben az akkori hazai helyzetet vázolták, a fejlesztés akkori állását és a távlati célkitűzéseket.

A munkacsoport a fény hatására lebomló mezőgazdasági fóliát dolgozta ki. Az előállított műanyag hagyományos technológiával készült, az adalék csak a feldolgozás során került az anyagba, s ezért a termék előállítása igen gazdaságos (Szijártó et al. 1989). A Szerves Vegyipari Kutató Intézet fejlesztette ki a fényérzékenyítő anyagot, a Tiszai Vegyikombinát részben finanszírozta a kutatást, részben a SZEVIKI-vel közösen kidolgozta a fólia nagyüzemi gyártásának technológiáját és 1989-ig mintegy 10 tonna kísérleti fóliát gyártott. A Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Ökonómiai Intézete tervezte és irányította országszerte a kertészeti alkalmazási kísérleteket, amelyek eredményeire a további technológiai módosítások épültek. E hármas együttműködés eredményeként született meg a napfény hatására lebomló polietilén fólia magyarországi változata.

Keményítőalapú csomagolóanyagok (keményítő/polietilén) kifejlesztésével kutatási szinten foglalkozott a Budapesti Műszaki Egyetem Mezőgazdasági Kémiai Technológiai Tanszéke, de a kutatások abbamaradtak.

Néhány éve a Központi Élelmiszeripari Kutató Intézetben foglalkozik több osztály összefogásával egy kutatócsoport foglalkozik keményítőalapú csomagolóanyag kifejlesztésével (Temesvári et al., 1993, 1995, Beczner et al., 1994, Beczner et al. 1995, Horváth et al. 1995, Temesvári és Beczner 1996, Vásárhelyi és Éliás 1996, Turza et al. 1996). Támogatás híján ezek a kutatások azonban igen lassan haladnak előre.

A szegedi Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány Biotechnológiai Intézetében olyan biotechnológiai módszer kifejlesztésével foglalkoznak, amellyel hatékonyan, olcsón és környezetbarát módon lehetne a PET (poli(etilén-tereftalát) lebontását biológiai úton, mikro-organizmusok révén. A kutatást az iniciálta, hogy a PET-gyártás az utóbbi években nagyon felfutott, s a hagyományosnak tekinthető újrahasznosítás, égetés mellett szükségesnek ítélték

egy új hulladékcsökkentési eljárás bevezetését is. Az eddigi eredmények alapján a PET előkezelése (vízoldhatóvá tétele) szükséges, hogy a mikrobák számára hozzáférhetővé váljék, s ezt a lépést már megoldották (Takács 1997). A laborszintű eredmények komoly eredménnyel kecsegtetnek, azonban az eljárás optimalizálásához, a félüzemi és üzemi technológia kidolgozásához sok kutatómunkára van szükség. A megvalósításhoz, ipari bevezetéshez tökeerős partnereket is keresnek.

Ez a módszer, a többihez hasonlóan, a célzott termék szelektív gyűjtését, vagy kiválogatását igényli, s a lebontáshoz ellenőrzött körülmények szükségesek.

A mikrobiológiai korrózió, a műanyagok mikrobák által okozott károsodásának vizsgálata több évtizedes múltra tekint vissza, gyakorlatilag a II. világháború óta folyik rendszeres kutatás ezen a területen. Mind külföldön, mind Magyarországon sok tapasztalat halmozódott fel, de sok esetben egymástól távol eső szakterületeken. A mikrobiológiai korrózió/biodeterioráció/biodegradáció különböző területén dolgozó kutatókat az 1998-tól remélhetőleg beinduló COST 520-as program részben összefogná. Magyarországról eddig 7 programjavaslatot adtak be (a KÉKI egy önálló javaslatot, s két programot pedig résztvevőként), s a beindult programhoz később is lehet csatlakozni.

A lebomló csomagolások kifejlesztése területén pedig hatékonyabb kutatásra lenne szükség, ipari támogatással.

6. HOGYAN TOVÁBB?

Az Európai Parlament és Tanács 94/62/EC irányelve foglalkozik a csomagolással és a csomagolási hulladékokkal. A direktívában megfogalmazásra kerültek az egyes fogalmak, így a „szerves reciklálás”: *a csomagolási hulladék biodegradálható részének aerob (komposztálás) vagy anaerob (biometanizáció) kezelése, ellenőrzött körülmények között, amely stabilizált szerves maradékot vagy metánt eredményez. A szemétkerakó helyeket nem lehet a szerves reciklálás formájának tekinteni* (Article 3. par. 9). Az irányelv szerint a tagállamok törekednek a csomagolási hulladék keletkezésének megelőzésére, a Bizottság támogatja az erre irányuló Európai szabványok kifejlesztését (Article 4.). A tagállamok elkötelezik magukat, hogy megteszik a megfelelő lépéseket a csomagolási hulladék visszagyűjtésére oly módon, hogy a legmegfelelőbb hulladékkezelés megtörténhessék, valamint a begyűjtött csomagolási hulladékok megfelelő feldolgozására (Article 7.). Az irányelv támogatja a megfelelő európai szabványok létrehozását, többek között kiemelten az alábbi területeken: a csomagolóanyagok életciklus-analízisének kritériumai és módszertana; a reciklási módszerek; komposztálási módszerek és komposzt kritériumai; a csomagolóanyagok jelölése (Article 10.). Az irányelv messzemenően igyekszik figyelembe venni a környezetvédelmi és a fogyasztó egészségének, biztonságának és higiéniájának szempontjait, a minőség védelmét, a csomagolandó termék tulajdonságait is az ipari és kereskedelmi jogok védelme mellett.

A II. Mellékletben az irányelv többek között a csomagolóanyagok visszanyerhető természetére vonatkozó specifikus követelményeket fogalmazza meg (Annex II, Par. 3.). *(c) Komposztálással visszanyerhető csomagolóanyagok:* A komposztálás céljából feldolgozott csomagolási hulladéknak olyan biológiailag lebomló természetűnek kell lennie, hogy ne gátolja a szelektív gyűjtést és a komposztálási folyamatot vagy tevékenységet. *(d) Biológiai úton lebomló csomagolóanyagok:* Az ilyen csomagolóanyag képesnek kell lennie fizikai, kémiai, hő vagy biológiai dekompozícióra olyannyira, hogy a végső komposzt széndioxidra, biomasszára és vízre bomoljék.

Ez az utolsó megfogalmazás magában foglalja azt is, hogy a biológiai úton lebomló csomagolóanyag nem feltétlenül kell, hogy csak biopolimerből álljon, de feltételül köti, hogy ha előkezelés után is, de alkalmas legyen az anyag komposztálásra, s a végtermék nem lehet más, mint széndioxid, víz és biomassza – belátható időn belül. Ez a feltételrendszer arra kényszeríti a gyártókat, hogy körültekintőek legyenek a csomagolóanyag-társításoknál, a jelölésnél.

A nemzetközi szabályozási rendszerek közül meg kell említeni az EMAS-t (Eco-Management and Audit Scheme), amely az Európai Unió 1993. június 29-i, a környezetközpontú irányítási és auditrendszeréről szóló tanácsi szabályzata (1836/93). Az EMAS a vezetőket ösztönzi a felelős környezetközpontú irányító tevékenységeik önálló megtervezésére és széleskörű alkalmazására az iparban. A szabályzat az EU-ra érvényes.

A másik az ISO 14000-es, a környezetvédelem szabványa, amely az egész világra érvényes. Az ISO 14000-es sorozat elemei hét fő csoportba sorolhatók:

- Környezetközpontú irányítási rendszerek
- Környezeti audit
- Környezeti védjegyek
- A környezeti eredményesség értékelése
- Életciklus-elemzés
- Környezetközpontú irányítás
- Környezeti tényezők a termékszabványokban.

A biológiai úton lebomló csomagolóanyagokra közvetlenül vonatkoztatható csoportok közül a környezeti védjegyekre vonatkozó előírások (alapelvek, definíciók, vizsgálati és ellenőrzési módszerek ISO 14020-24) az 1996 őszi állapot szerint még nem állnak rendelkezésre. A környezeti eredményesség szempontjából fontos életciklus-elemzésre vonatkozó szabványsorozatból (ISO 14040-43) csak az általános alapelvek és gyakorlat (ISO 14040) van kész, a részletek még nem (Varga, 1997).

Németországban a DIN 54900-as szabványsorozat (1-3, 1996) szabályozza a polimer anyagok komposztálhatóságának vizsgálatát. A DIN szabvány európai szabványba (CEN) történő átvétele megindult (Káb, 1997).

A Német Csomagolási Mérnökök Egyesülete (VDI) 4427-es számú irányelve „Útmutató a biológiailag lebomló csomagolóanyagok kiválasztásához” címmel jelent meg. Az irányelvek elsősorban a csomagolási szakembereknek nyújt segítséget. Elősegít egyes kutatási projekteket is, főként ami a kutatási eredmények számszerűsítését illeti.

A biológiailag lebomló csomagolóanyagok gyorsabb térhódításának az eddig említetteken túl a gazdaságossága is akadályt jelent. Ma a csomagolásfejlesztőket a költségek csökkentésének kényszere kedvezőbb alternatívák kidolgozására ösztönzi. Kivételekkel csak ott találkozunk, ahol a különleges csomagolás révén magasabb ár érvényesíthető. A gazdaságosság a csomagolásfejlesztés fontos területe marad a jövőben is.

Jelenleg a komposztálható anyagok drágábbak a hagyományosaknál. Ennek egyik fő oka a magas fejlesztési költség, amelyet ma még ezek az anyagok magukban foglalnak, valamint a kisebb termelési kapacitás. A nagy tömegben előállított műanyagok mint pl. polietilén ára az alapanyagok árával szorosan összefügg (a petrokémiai források korlátozottsága még nem jelent meg az árakban). Viszonylagossá teszi az árkülönbséget a hulladékkezelés költsége (pl. a DSD (=Duales System Deutschland)-nak fizetendő licenccij, ami jelenleg műanyagokra 2,95 DM/kg, a komposztálás költsége jóval 1 DM/kg alatt van). A hulladékkezelés árviszonyai, valamint a termelő kapacitások bővülése minden bizonnyal javítani fogja a komposztálható csomagolóanyagok esélyeit (Káb, 1997).

Ha a feltételek javulása bekövetkezik, néhány éven belül kedvező elmozdulás várható. A csomagolóanyag-gyártók és felhasználók számára fontos, hogy a biológiailag lebomló anyagokkal kapcsolatos változásokat figyelemmel kísérjék és amint lehetséges, megfelelő csomagolási megoldást dolgozzanak ki. A biológiailag lebomló anyagokban nagy innovációs lehetőség rejlik, ami éppen a csomagolóipari vállalatok számára nyithat új és ígéretes piacokat.

A lebomló anyagok alkalmazása hozzájárulhat ahhoz, hogy a jövő generációja ne függjön a mi „eldobó” mentalitásunktól. Olyan egyszerhasználatos (egyutas) termékeknél, ahol nincs szükség hosszabb idejű stabilitásra, már ma is kifizetődőbb tömegtermelésük. Elegendő, ha a gyorsétkeztetőkre utalunk. A környezetben érvényes körforgás komposztálható anyagokkal a közeljövőben a gazdaságban is megvalósítható lesz.

Minden bizonnyal még hosszú az út, míg a biológiailag lebomló anyagok a hagyományos anyagokkal azonos teljesítményt fognak nyújtani. Az is biztos, hogy több ezek közül hosszú távon nem is helyettesíthető más anyaggal. A lényeges az előny, amit a lebomló anyagok a komposztálhatóság és a megújuló erőforrások használata révén nyújt.

A biológiailag lebomló csomagolóanyagok részarányának növelése az újrahasznosításban játszana szerepet (komposztálás), illetve a természetes környezetbe hulladékként

kerülve, megfelelő körülmények között a lebomlás gyorsabb és kevesebb, vagy semmi nem-kívánatos bomlási termék keletkezik. Különösen fontos ez az esetleg élő vizekbe kerülő csomagolóanyagok esetén. Elégetés esetén szintén nem, vagy alig keletkezik káros égéstermék (a biopolimerek mellett felhasznált egyéb anyagok függvényében).

A biológiailag lebontható anyagok előnyei:

- szinte kifogyhatatlan forrása az évente újratermelődő nyersanyagoknak
- energia-fogyasztás csökkentése
- munkaalkalom teremtés a mezőgazdaságban, előállításban és az újrahasznosításban
- komposztálható
- csökken a hulladék mennyisége
- olcsó
- kellemes érzés a használat során

A biológiai úton lebomló csomagolóanyagok előállítása – részben vagy egészben – biopolimerek felhasználásával nem kizárólagos, hanem egy lehetséges eljárás a műanyagok részbeni kiváltására az élelmiszerek csomagolásában. A műanyagokétól eltérő tulajdonságaik miatt alkalmazási területük egyelőre körülhatárolt. Alkalmazásuk azonban hozzájárul a csomagolási hulladék mennyiségének csökkentéséhez, azáltal, hogy az ilyen anyagok (részben vagy egészben) visszaforgathatók a természetes körforgalomba, megfelelő körülmények között (komposztálás). Ennek előfeltétele a szelektív hulladékgyűjtés megteremtése és a megfelelő komposztáló telepek létrehozása.

A biológiai úton lebomló csomagolóanyagok kutatásába, fejlesztésébe mind Európában, mind az USA-ban komoly összegeket és erőfeszítéseket fektetnek. Megindult a szabványosítás is főként a lebomlás és a környezeti hatás vizsgálata során. Magyarországon szintén megindult ilyen irányú kutató-fejlesztő tevékenység, de főként támogatás hiányában az eredmények nem látványosak.

Szükséges a kutató-fejlesztő területek koordinálása, továbbá jelentős anyagi támogatás mind a kormányzat, mind pedig az ipar részéről. Figyelemmel kell kísérni a szabványosítás előrehaladását, át kell venni azokat a saját szabványrendszerünkbe, és fel kell készülni a vizsgálatok elvégzésére.

7. JAVASLAT A KÖVETKEZŐ ÉVRE

A Zöld Belépő IX/63 tématerületének további vizsgálatát az alábbiak szerint tartjuk fontosnak:

Célszerű lenne a témát érintő nemzetközi előírásokat, szabványokat, információkat összegyűjteni (biológiailag lebomló csomagolóanyagok szabályozása, a lebomlás vizsgálata, életciklus-analízisek, ökomérlegek, stb.).

Szükséges lenne a Magyarországon működő műanyaggyártó üzemek jelenlegi és tervezett fejlesztéseit felmérni.

A szabályozás a csomagolószerek környezetterhelését illetően meglehetősen kezdeti stádiumban van. Hiányoznak a vizsgálati szempontok és módszerek az életciklus-analízis és az ökomérleg elkészítéséhez. Ezeknek alapvető feltétele, hogy a biológiai úton történő lebomlás vizsgálata egységes, szabványosított módon haladjon. A szabványosítás egyes országokban elkezdődött, de nemzetközi ajánlások nincsenek. Ugyancsak elszórtak az információk arról, hogy Magyarország hol tart ezen a területen, milyen módszerek alapján vizsgálnak, mely laboratóriumok képesek vizsgálatokra. Szükség lenne egy olyan központi adatbankra, ahonnan ezek az információk – szabványok, előírások, vizsgálóhelyek – beszerezhetők.

Szükséges lenne egy alapos felmérés arra vonatkozóan, hogy Magyarországon kik foglalkoznak ilyen jellegű kutatásokkal, mind a biológiai lebomlást, mind a lebomló anyagok fejlesztését illetően. Ez hasznos lenne mind az ipar, mind pedig a kutatás számára.

Fontos lenne legalább a nagyobb műanyagelőállító gyárakkal konzultálni, jelenlegi és tervezett fejlesztéseiket, gyártmányszerkezetüket felmérni, terveiket a lebomló csomagolóanyagok területén ismerni, illetve megteremteni a szorosabb kapcsolatot az ipar és a kutatás között.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kommunális szilárd hulladékban a kerti és élelmiszer-eredetű hulladékok mennyiségét összesen mintegy 30 %-ra becsülik, az egyéb lebomló anyagok mennyiségét 25 %-ra, a nem lebomlókat 13.6 %-ra, és külön kiemelik a csomagolóanyagokból eredő hulladékok mennyiségét, amely az összes hulladéknak 30 %-a. A csomagolóanyagokon belül 14.5 %-ra becsülik a műanyagok mennyiségét.

Magyarországon az összes hulladéknak mintegy 5 %-át kitevő háztartási hulladéknak kb. 30 %-a a csomagoló-anyagokból ered – ez az összes hulladék tömegének 1.5 %-a. Hasonló a helyzet az Egyesült Királyságban is, ahol a háztartási hulladék az összes hulladék 4 %-át teszi ki, s ennek mintegy harmada-fele az eldobott csomagolóanyag. Ez az összes hulladék 1.5-2 %-át jelenti.

Az EU országaiban évente mintegy 50 millió tonna csomagolási hulladék keletkezik, ebből kb. 41 millió tonnát nem hasznosítanak.

A csomagolási hulladékoknak több, mint a fele a háztartásokból kerül ki. A háztartási szemétnak 35-40 %-a csomagolási hulladék. A csomagolási hulladék 18-20 %-a műanyag.

Az 1992-93-ig beérkező adatok alapján a csomagolószer-felhasználás szerkezetében a következő változás volt prognosztizálható. Nyugat-Európában a környezetbarát csomagolóanyagok (papír és karton, fém) felhasználása kerül előtérbe. A környezetet terhelő műanyagok aránya változatlan. Kelet-Európában a tendencia ezzel ellentétes, itt a szakértők a papír és a fém arányának csökkenése mellett a műanyagok ugrásszerű előretörését jelezték.

Németországban műanyagiparon belül a csomagolóipari ágazat a legtekintélyesebb felhasználó: az előállított műanyagok 22 %-át, ezen belül a hőre lágyuló műanyagok 36.2 %-át (európai viszonylatban 40 %-át) használja fel a csomagolóipar. A német csomagolóipar termelésében a műanyaggyártók a legutóbbi évtizedben megszerezték és szilárdan tartják a 2-3. helyet. 1994-től a csomagolóipari termelés átlagos 3.9 %-os növekedésével szemben a műanyag csomagolóeszközöknél 5.1 %-os termelésnövekedést regisztráltak. A termelés szerkezetének vizsgálata során megállapították, hogy a gazdaságilag nehezebb években a felhasználók félreteszik az ökológiai szempontú megítélést, és a számukra kisebb költséggel és nagyobb haszonnal járó csomagolásokat részesítik előnyben.

Európa élelmiszeripara 1995-ben 22.8 milliárd USD értékű csomagolóanyagot használt fel. A következő években jelentős – közel 80 %-os – növekedést feltételezve, a 2001-re a felhasználás becsült értéke 40 milliárd USD. A Frost & Sullivan nemzetközi piackutató társaság előrejelzése alapján 2001-ben az európai élelmiszeripar a termékeinek csomagolásához 59.3 %-ban műanyagokat fog igényelni.

A fenti előrejelzés az 1992-93-ban készültnek ellentmondóan a műanyagok várható előretörését jelzi, ami pl. Németországban az eddigi műanyagtermelés megduplázódását jelenti. A műanyagipari lobby tevékenysége következtében feltehetően hasonló tendencia várható a többi EU-országban is, és másutt is.

A csomagolóanyag-gyártás értéke Magyarországon 65-70 milliárd Ft, 70 USD/fő/év, jelentősen elmarad a fejlett iparú országok mögött (200 USD/fő/év). A mennyisége – becslések alapján –, Magyarországon 70 kg/fő/év (az utóbbi években 50-55 kg/fő/év-re esett vissza), a fejlett európai országokban 120 kg/fő/év. Tíz év átlagában a papír- és a műanyag-alapú csomagolóanyagok arányának növekedése a jellemző, a fém és az üveg csomagolóeszközök aránya csökkent.

Bár a különböző statisztikák egymástól kisebb-nagyobb eltérést mutatnak, tendenciájukban azonban végül is megegyeznek. A csomagolóipar felfutóban van Magyarországon, főként az erőteljes külföldi érdekeltségű privatizáció miatt. A privatizáció érinti magát a csomagolóipart és érinti egyik legnagyobb felhasználót, az élelmiszeripart is. A fejlődés irányvonala nyilvánvalóan a külföldön tapasztalt erővonalak mentén fog Magyarországon is bekövetkezni, s a követési idő az Európai csatlakozáshoz közelítve egyre csökkenni fog. Ezt a jelenséget az ipar további külföldi privatizációja csak növeli – az összes negatív vonásával együtt.

Egyes felmérések szerint az európai nagyvárosokban egy lakosra számítva naponta kb. 0.9 kg szemét keletkezik, és a kommunális szemét 6-9 %-át a műanyagok teszik ki. Budapest esetén ez évi 650 ezer tonna szemetet jelent, kb. 40-60 ezer tonna műanyagtartalommal. Ez a hulladékfajta az összes műanyag hulladék 60-70 %-át jelenti és a legnehezebben kezelhető. Ezen belül a legnagyobb részt, kb. 70 %-ot a különféle csomagoló fóliák képviselik. Anyagát tekintve a hulladékban főleg polietilén, PVC, polipropilén, polisztirol és poliuretán fordul elő. Sajnos, pillanatnyilag a szelektív gyűjtés még nem megoldott, és a háztartási szemétben lévő műanyag nagyobbik része a lerakókba kerül. Ez pillanatnyilag kétségtelenül a legolcsóbb, de a legrosszabb megoldás is.

A természetbe kikerülve a műanyagok is ki vannak téve a mikrobák aktivitásának. A szintetikus polimerek neutrálisak és inerteek, és a biológiai folyamatokra általában nem gyakorolnak semmiféle hatást. Csekély bonthatóságuk jelentősen hozzájárul a műanyagok mennyiségének növekedéséhez a szemétben és ezzel a környezet terheléséhez.

A biológiai lebonthatóság nagymértékben függ a környezeti tényezőktől, de vannak vegyületek, amelyek, eddigi ismereteink szerint, semmilyen körülmények között nem bomlanak le. Ezeket az ellenálló anyagokat rekalcitránsoknak hívják. Annak ellenére, hogy számtalan tanulmány jelent meg a szintetikus polimerek biológiai lebonthatóságáról, jelentős részük a rekalcitráns csoportba tartozik, hiszen lebomlásuk a természetben igen lassú, évtizedeket, sőt évszázadokat is igénybe vehet. Bomlásuk vagy elégetésük során komoly környezet-szennyeződéssel is számolni kell. Ezek a vegyületek idegenek a bioszféra számára, hiszen olyan strukturális elemeket, vagy csoportokat tartalmaznak, amelyek nem fordulnak elő természetes anyagokban, hiányoznak az ökoszférából természetes körülmények között, megjelenésük a kémiai ipar tevékenységének eredménye. A megfigyelések szerint a mikrobáknak megvan az a képességük, hogy alkalmazkodjanak új szintetikus anyagok degradálásához. Ez két úton mehet végbe: 1. a meglévő katabolikus enzimek adaptálódnak az új anyaghoz, vagy 2. egy új anyagcsereút alakul ki.

Itt kell azt is megjegyezni, hogy a szemétkerakódó helyeken még a biológiai úton lebontható anyagok számára sem kedvezőek a körülmények. Pl. a narancshéj akár 10 éven keresztül is intakt maradhat, s ugyanez áll a papíripari termékekre is. Ahhoz, hogy a biológiai lebomlás „működjék”, a környezeti feltételeknek megfelelőeknek kell lenni a mikrobiális tevékenység számára (elsősorban a nedvesség és a hőmérséklet a kritikus faktor).

A csomagolóanyagok „környezetbarát” vagy „környezetkárosító” volta feletti vita az 1970-es évek végén indult meg. A közvélemény (amelynek hangulatát feltehetően az egymással versenyben álló iparágak is segítettek befolyásolni) az addig korszerűnek tartott műanyag, és különösen az egyszer használatos eszközök ellen fordult. Ezért elsősorban a műanyagipar kezdeményezte azokat az elemzéseket, amelyek során megpróbálják tárgyyszerűen feltárni egy-egy csomagolóanyag vagy -eszköz környezetre kifejtett hatását. Már az első elemzések során nyilvánvalóvá vált, hogy a különböző csomagolóanyagok élettartamuk más és más szakaszaiban eltérő mértékben terhelik a természetet. Ezért összehasonlításuk csak a

teljes élelciklus vizsgálata alapján lehetséges. Ez azt jelenti, hogy az előállításukhoz szükséges nyersanyag kitermelésétől a belőlük visszamaradó hulladékok kezeléséig (beleértve az újrafeldolgozást, az égetést vagy a lerakóba helyezést) tartó időszak alatt felhasznált (és leadott) anyagot, energiát, az eközben a környezetbe jutó szennyező és káros anyagokat is számba veszik (ökomérleg készítés). Nemzetközileg általánosan elfogadott hatásvizsgálati módszer jelenleg nem létezik. A csomagolóeszközök megítélésében az ökológiai szempontokon túl egyéb hatásokat (műszaki, gazdasági, társadalmi) is figyelembe kell venni és elemezni kell. Az átfogó elemzés során gyakran kiderül, hogy az első közelítésben észszerűnek tűnő intézkedések buktatókat rejtnek magukban.

Világszerte, így az EU országaiban és Magyarországon is a hulladék, s ezen belül a csomagolási hulladékok mennyiségének csökkentése a cél. A megállapított termékdíjak a környezetet kevésbé terhelő megoldásokat támogatják. Az EU-országokhoz hasonlóan a műanyagok és a kombinált anyagok termékdíja a legnagyobb.

A biopolimerek bevonása a csomagolóanyagok kialakításában alternatív eljárás lehet a környezetszennyezési gondok csökkentésére, a szilárd hulladék csökkentésére amellelt, hogy használatukkal kímélhetők a petrokémiai tartalmak.

A megújuló nyersanyagok csomagolóipari hasznosítását több tényező is alátámasztja:

- Lehetőség kínálkozik elsősorban az egyre csökkenő fosszilis anyagtartalmak kémézésére. Bár a műanyag alapú csomagolószerekre a teljes olaj- és földgázfelhasználásnak csak töredéke jut, a helyettesítés lehetőségeit itt is vizsgálni kell. (A fosszilis nyersanyagok 95 %-át közvetlenül fűtésre, szállításra, vagy energia előállításra használjuk. A fennmaradó 5 %-nak mintegy harmadából állítunk elő műanyagokat, s ennek kb. 35 %-a a csomagolóeszköz. Ez azt jelenti, hogy az összes fosszilis energiának csak mintegy 0.6 %-ából „lesz csomagolóeszköz”, más számítások szerint 1.5 %-ából.

- A természeti folyamatokban a növények a Nap energiáját a komposztálás során a biomasszába átadva hasznosítják. A csekély elsődleges energiát a felépítésük, valamint a csomagolóanyag előállítása során kedvezően hasznosítják, s ezzel kismértékű energiaeredetű szennyeződést okoznak.

- A megújuló nyersanyagok bevezetése kedvezően befolyásolja az ún. üvegházhatást. A petrokémiai eredetű műanyagok helyettesítése esetén a kőolaj egy része a segítségükkel megtakarítható. A megújuló nyersanyagok napjaink atmoszférájából széndioxidot kötnek meg, így lebomlásuk vagy elégetésük során a széndioxid-koncentrációt nem növelik, legfeljebb a felvett mennyiséget juttatják vissza a természetes körforgásba. A trágyázás, az aratás és a feldolgozás azonban széndioxid keletkezésével jár. A Német Szövetségi Gyűlés illetékes szaktanárságának tervei szerint a CO₂-kibocsátás mértékét 2005-ig 30 %-kal, 2050-ig 80 %-kal kell csökkenteni. Ennek érdekében viszont az ipari termékek és gyártástechnológiák széleskörű változtatására lenne szükség.

- A megújuló nyersanyagok használata a hulladékgondok megoldását is segíti. A lerakóhelyek szűkösségére figyelemmel a megkövetelt anyagi újrahasznosítás keretében a csomagolási hulladékok komposztálással vagy biogázok nyerésével kedvezően értékesülnek. Kialakul az anyagok bioszférikus körforgása, elérhető az ökológiailag észszerű újratermelési folyamat.

- A természetes alapú csomagolószerek a mezőgazdaság szerkezeti gondjain is segíthetnek. A túltermelésből és a termőföldek kényszerű pihentetéséből eredő nehézségek a megújuló nyersanyagok közvetlen ipari felhasználásával áthidalhatók.

A szintetikus polimerek kiváltására a megújuló nyersanyagforrások közül az alábbiak jöhetnek szóba: poliszacharidok (pl. keményítő, cellulóz, pektin); fehérjék (pl. zselatin, prolamín, glutén); lipidek (zsírok, viaszok); poliészterek (mikrobiális eredetű polihidroxibutirát/valerát)

Jelenleg a különböző keményítőalapú termékek tűnnek a leggazdaságosabbaknak. Áruk 1993-ban Németországban pl. 5-8 DM/kg volt, míg a cukor alapú anyagoké kb. 30 DM/kg, tehát mindkettő lényegesen meghaladja a hagyományos műanyagokét. A megújuló nyersanyagok versenyképességének további feltétele a hagyományos módszerekkel (fröccsöntés, extrudálás) a jelenleg használatos gépeken való feldolgozhatóság, a hatékony termékvédelem, s ezzel szoros összefüggésben a csomagolási előírások kielégítése. Német előrejelzések szerint ha különböző korszerű eljárásokkal az alkalmazástechnikai jellemzők tovább javíthatók, akár 250-500 ezer tonna/év kereslet is elérhető. Az ökológiai következményeket, például a lebomlás változását, vagy a visszamaradó részeket azonban nem lehet figyelmen kívül hagyni.

A szilárd települési hulladékban lévő, biológiailag lebontható szerves anyagok feldolgozására 3 fő lehetőség kínálkozik: (1) égetés, max. energia-kihozattal; (2) anaerob kezelés: energiatermelés+talajjavító anyag keletkezése; (3) aerob komposztálás: nem jár energia-visszanyeréssel, de a szerves anyagokat lebontja. A megújuló forrásból származó lebomló csomagolóanyagoknak akkor van igazán értelmük, ha visszakerülnek a biológiai körforgásba. Ez kétféleképpen történhet, komposztálással, vagy anaerob kezeléssel.

Az USA-ban és az EU országaiban mind az állam, mind az ipar finanszírozza a biológiai úton lebomló csomagolóanyagok fejlesztését. Az ipart a környezetvédelmi szempontok indították a kutatásokba való bekapcsolódásra, mert ez nyilvánvalóan szolgálta az üzleti érdekeket is. A vizsgálatok szabványosítását is támogatják a nagy magáncégek közül többen.

Németországban a szövetségi kormány a biológiai úton lebomló csomagolóanyagok fejlesztését a piacképesség elérésig szorgalmazza és ösztönzi. Elterjedésük legnagyobb akadályát a szervezett gyűjtés hiányában látják, ezért nem érvényesült eddig ennek a rendszernek az előnye. Ennek ellenére a csomagolási hulladékok németországi kezelése példaképpül szolgálhat. A Szövetségi Kormányban 300 komposztáló gép működik, összesen évi 12 M tonna teljesítménnyel.

A keményítő alapanyagok előállításához a megfelelő mennyiségű és minőségű mezőgazdasági alapanyag (kukorica, burgonya, búza stb.) elvileg Magyarországon is rendelkezésre áll, bár a megtermelt mennyiségek az utóbbi 7-10 évben jelentősen csökkentek. A keményítőgyári kapacitások jelenleg kihasználatlanok, mivel a keményítő-felhasználó iparok (textil-, papír-, élelmiszeripar, stb.) igényei az utóbbi években csökkentek. Emiatt a hazai natív búza-keményítő-gyártás megszűnt, a natív kukoricakeményítő gyártás pedig 50-60 %-kal csökkent, s nincsenek kihasználva a modifikálási kapacitások sem. Megjegyzendő, hogy a mezőgazdasági alapanyagok árai – állami dotáció hiányában –, nagyobbak, mint az EU országokban, s emiatt az ezekből készült keményítőféleségek árai sem mindig versenyképesek.

A biológiailag lebomló csomagolóanyagok gyártásának bevezetése növelhetné mind a mezőgazdasági, mind a keményítőipari termelést.

Az Európai Parlament és Tanács 94/62/EC irányelve, foglalkozik a csomagolással és a csomagolási hulladékokkal. Az ISO 14000-es, a környezetvédelem szabványa ugyancsak megfogalmaz szempontokat, amelyek irányadók a fejlesztésben, bár még számos része nem készült el teljesen, így pl. az életciklus-elemzésre, az egységes vizsgálati módszerekre vonatkozó előírások is hiányoznak.

Németországban a DIN 54900-as szabványsorozat (1-3, 1996) szabályozza a polimer anyagok komposztálhatóságának vizsgálatát. A DIN szabvány európai szabványba (CEN) történő átvétele megindult.

Jelenleg a komposztálható anyagok drágábbak a hagyományosaknál (magas fejlesztési költség, kisebb termelési kapacitás). A feltételek javulásával, néhány éven belül kedvező elmozdulás várható. A biológiailag lebomló anyagokban nagy innovációs lehetőség rejlik, ami éppen a csomagolóipari vállalatok számára nyithat új és ígéretes piacokat.

A biológiai úton lebomló csomagolóanyagok előállítása – részben vagy egészben – biopolimerek felhasználásával nem kizárólagos, hanem egy lehetséges eljárás a műanyagok részbeni kiváltására az élelmiszerek csomagolásában. A műanyagokétól eltérő tulajdonságaik miatt alkalmazási területük egyelőre körülhatárolt. Alkalmazásuk azonban hozzájárul a csomagolási hulladék mennyiségének csökkentéséhez, azáltal, hogy az ilyen anyagok (részben vagy egészben) visszaforgathatók a természetes körforgalomba, megfelelő körülmények között (komposztálás). Ennek előfeltétele a szelektív hulladékgyűjtés megteremtése és a megfelelő komposztáló telepek létrehozása.

A biológiai úton lebomló csomagolóanyagok kutatásába, fejlesztésébe mind Európában, mind az USA-ban komoly összegeket és erőfeszítéseket fektetnek. Megindult a szabványosítás is főként a lebomlás és a környezeti hatás vizsgálata során. Magyarországon szintén megindult ilyen irányú kutató-fejlesztő tevékenység, de főként támogatás hiányában az eredmények nem látványosak.

Szükséges a kutató-fejlesztő területek koordinálása, továbbá jelentős anyagi támogatás mind a kormányzat, mind pedig az ipar részéről. Figyelemmel kell kísérni a szabványosítás előrehaladását, át kell venni azokat a saját szabványrendszerünkbe, és fel kell készülni a vizsgálatok elvégzésére.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- 10/1995. KTM rendelet
113/1995. Kormányrendelet
1995. évi LIII. törvény
1995. évi LVI. törvény
A+CS, (1997): A műanyag csomagolások jelenlegi gazdasági helyzete és jövőbeli kilátásai. A+CS 42 (2), 44-46.
Anon. (1997): Rin in die Kartoffeln. PackReport 3, 12-16.
Beczner, J., Temesvári, J., Máthé, A. (1994): Application of microscopy in the investigation of biodegradation of food packaging material. Journal of Food Physics, II., (Supplement) p. 7-9. (Proceedings of the 1st Int. Conference on Food Physics, 25-27 May, 1994, Budapest, Hungary.
Beczner J. Temesvári J., V. Perédi K. (1995): Biológiai úton lebontható élelmiszercsomagoló anyagok. IV. Országos Agrár-környezetvédelmi Konferencia (1995, nov. 8-9, FM, Budapest) Abstract, p. 16.
Bíró O. (1994): Nyugat- és Kelet-Európa csomagolószer-felhasználásának várható tendenciái. Konzervújság 1994/1, 14. (Packaging 1992. dec.-1993. jan.)
Bischoff, E. (1992): Ökobilanzen bei Verpackungen. Möglichkeiten der Begrenzung der Umweltbelastung. Plastverarbeiter, 43 (7), 37-43.
Bumpus, J.A., Tien, M., Wright, D.S., Aust, S.D. (1985): Oxidation of persistent environmental pollutants by a white rot fungus. Science 228, 1434-1436.
Colin, G., Cooney, J.D., Wiles, D.M. (1976): Int. Biodet. Bull. 12, 67.
DIN 54900: Prüfung des Kompostierbarkeit von polymeren Werkstoffen. Deutsche Norm 1996.
Doane, W.M. (1993): Agricultural based materials for biodegradable packaging. Paper presented at the Conference on Biodegradable Packaging Materials, 9-10 May, 1993, Düsseldorf, Germany, pp. 1-30
Debreczeny I. (1993): A csomagolással kapcsolatos környezetvédelmi szabályozás helyzete Nyugat-Európában és a papíriparban. Konzervújság 1993/1, 1-3.
Ehring, R..J. ed. (1992): Plastics recycling products and processes. Hanser, München, Vienna, NY.
European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 Dec. 1994 on packaging and packaging waste. Official Journal No. L 365. 31.12.1994. pp. 10.
Galli M. (1997): Overview of the Hungarian packaging industry. Food Additives and Contaminants 14 (6-7), 529-536.
Gontard, N. and Guilbert, S. (1994): Bio-packaging: technology and properties of edible and/or biodegradable material of agricultural origin. In: Mathlouthi, M. (ed.): Food Packaging and Preservation. Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, Glasgow.
Günter, A. und Holley, W. (1995 a): Aggregierte Sachökobilanz – Ergebnisse für Frischmilch- und Bierverpackungen I. Verpackungs Rundschau 46 (3). TB53-58

- Günter, A. und Holley, W. (1995 a): Aggregierte Sachökobilanz – Ergebnisse für Frischmilch- und Bierverpackungen II. Verpackungs Rundschau 46 (5). TB62-68
- Haines, J.R. Alexander, M. (1974): Appl. Microbiol. 8, 1084.
- Hatton, C. (1997): Anaerobic co-digestion of household waste and sewage sludge. Waste Management, 3, 38-40.
- Horváth, M., Tóth Á., Beczner, J. (1995): Investigation of biodegradable biopolymers by NIR 9th Congress of IUFoST (1995. július 30-augusztus 4, Budapest) (Poster 314) Book of Abstracts p. 111.
- Imam, S.H., Gould, J.M., Gordon, S.H., Kinney, M.P., Ramsey, A.M., Tosteson, T.R. (1992): Fate of starch-containing plastic films exposed in aquatic habitats. Current Microbiol. 25, 1-8.
- Käb, H. (1997): Langer Weg zum Kompost. PackReport, 4, 62-72.
- Kerekes T. (1996): Bevezetés a csomagolástechnikába. I-II. kötet. PAPIR-PRESS EGYESÜ-LÉS, Budapest
- Kertész B. (1996): A számok tükrében. A Magyar Hírlap „Csomagolás c. melléklete, 1996. nov. 4.
- Kim, M. and Pometto, A.L. III. (1994): Food packaging potential of some novel degradable starch-polyethylene plastics. J. Fd Protection 57 (11), 1007-1012.
- Klöpffer, W. (1993): Ökobilanzen als Instrument der Produktbewertung. Chemie Ingenieur Technik, 65 (11), 1313-1317.
- Kolozsvári B., Dobos, L., Kiss, J. Riczkó J., Szíjártó, K. (1987): Hajtatás, korai termesztés 18 (1), 22-23.
- Kooijman, J.M. (1993): Environmental assessment of packaging: sense and sensibility. Environmental Management 17 (5) 575-586.
- Külpmann, P. (1993): Grosse Entwicklungschancen. Nachsende Rohstoffe im Verpackungsbereich. PackReport 1-2, 45-49.
- Küster, E. (1979): J. Appl. Polymer Sci. 35, 395.
- Ludvig L. and Pándi F. (1993): Non food uses of starch from cereal grains Proceedings of the IIC Int. Symp. on Non Food Uses of Cereals, Budapest, 28-30 October, 1993, . 187-191
- Macskási L. (1996): Műanyagok előállításának kémiai és műveleti alapjai. ABIGÉL Bt., Budapest.
- Narayan, R. (1993): Biodegradable plastics. in: Opportunities For Innovation in Biotechnology, National Institute of Standards & Technology (NIST) publication, 1993. – paper presented at the Conference on Biodegradable Packaging Materials, 9-10 May, 1993, Düsseldorf, Germany, pp. 1-20.
- Nemzeti Beszámoló az Egyesült Nemzetek 1992. évi Környezet és Fejlődés c. Világkonferenciájára – Magyar Köztársaság Kormánya, Bp. 1991. dec. KTM Kiadvány, 86., 1991, cf. Vermes (1993).
- Ódor, G. (1993): Műanyag hulladékok újrahasznosításának fő irányai és technológiái. Műanyag és Gumi, 30, (11), 269-274.
- Ódor, G. (1995): Műanyag és egyéb csomagolások környezeti hatásainak összehasonlítása életciklus elemzések segítségével. Műanyag és Gumi 32 (4), 85-89
- Ónody Gy. (1997): Csomagolóipari iparkodás. A vevő igénye mellett fő szempont a környezetvédelem. A Magyar Nemzet melléklete, 1997. október 27.
- Osztrák csomagolási statisztika, 1991. (Szenes 1993)

- Paine F. (1991): Packaging and the environment. *Fd Sci and Technol. Today* 5 (2), 57-61.
- Pál Károlyné (1995): A csomagolás környezetre gyakorolt hatásának megítélése rendszer- szemléletben. *OMIKK Környezetvédelmi Füzetek* 1995/4. pp. 24.
- Pantke, M. (1994): Mikrobielle Zerstörung von Kunststoffen. *Werkstoffe und Korrosion*, **45** (3) 157-163.
- Parr, J.F., Hornick, S.B.(1992): Utilization of municipal wastes, in *Soil Microbial Ecology, Application in Agricultural and Environmental Management*, 1993, Marcel Dekker Inc., New York, p. 545-560.
- Pearce, H. (1990): Whatever happened to bioplastics? *Scientific European*, December, 1990, 14-17.
- Pfeifer, R.(1994): Umweltverträglich Verpacken - derzeitige Möglichkeiten und Entscheidungshilfen. Teil 1 und 2. *Umwelt und Energie*, 4, 927-948, 949-978.
- Skladany, G.J., Metting, F.B.: Bioremediation of contaminated soil, in *Soil Microbial Ecology, Application in Agricultural and Environmental Management*, 1993, Marcel Dekker Inc., New York, p.483-514.
- Stilwell, E.J., Canty, R.C., Kopf, P.W., Montrone, A,M, (1991): Packaging for the environment. AMACOM, American Management Association, Arthur D. Little, Inc.
- Strantz, A.A. and Zottola, E.A. (1992): Stability of cornstarch-containing polyethylene films to starch-degrading enzymes. *J. Fd Protection*, **55**, (9), 736-738.
- Szabó I.M. (1989): A bioszfére mikrobiológiája II. kötet, Akadémiai Kiadó, Budapest
- Szenes E. szerk. (1993): Csomagolás az élelmiszer-ipari kisüzemben. INTEGRA-PROJEKT Kft., Budapest
- Szenes E. szerk. (1995): Környezetvédelem az élelmiszer-ipari kis- és középüzemekben. INTEGRA-PROJEKT Kft., Budapest
- Szenes E. (1996): INTERPACK '96 – Düsseldorf, május 9-15., METPACK '96 – Essen, május 7-11. *Konzerújság* 1996/4, 111-113.
- Szijártó K., Riczkó J., Kolozsvári B. (1989): A környezetben lebomló műanyagok kuantásának jelenlegi állása Magyarországon. *Stabinform*, 41-46.
- Szijártó K. és Wein T, (1979): *Stabinform* 4 (4) 7-12.
- Szijártó K., Kolozsvári B., Riczkó J., Fehér J. (1987): *Stabinform* **12** (1) 7-9.
- Szilágyi S. (1993): Cereal production and utilization in Hungary – present status and future trends. *Proceedings of the IIC Int. Symp. on Non Food Uses of Cereals*, Budapest, 28-30 October, 1993, 12-16.
- Takács Zs. 1(1997): Eszi, nem eszi? PET lebontása mikroorganizmusokkal. *Plastic Inform* **VI**, (9), 6-7.
- Temesvári, J., Beczner, J. (1996): Development of biodegradable packaging material. *Int. Symposium on Food Packaging: Ensuring the quality and safety of foods. ILSI EUROPE*, 11-13 Sept. 1996, Budapest, Hungary. Working Document p. 89. (abstract)
- Temesvári, J., Beczner, J., Czukor, B. (1993): Development of biodegradable packaging based on starch additives. *Proceedings of the IIC Int. Symp. on Non Food Uses of Cereals*, Budapest, 28-30 October, 1993, p. 221.
- Temesvári, J., Beczner, J., Czukor, B. (1995): Development of biodegradable packaging based on starch additives. *9th Congress of IUFOST* (1995. július 30-augusztus 4, Budapest) (Poster 290) *Book of Abstracts* p. 102

- Turza S., Horváth M., Tóth Á., Váradi M. (1996): Investigation of starch-based polymers by NIRS. Int. Symposium on Food Packaging: Ensuring the quality and safety of foods. ILSI EUROPE, 11-13 Sept. 1996, Budapest, Hungary. Working Document p. 91. (abstract)
- USEPA (1989): U.S. Environmental Protection Agency. The solid waste dilemma: an agenda for action. Office of solid waste, EPA/530-SW-89-019. Washington, D.C.
- USEPA (1990 a): U.S. Environmental Protection Agency. National sewage sludge survey: availability of information and data, and anticipated impacts on proposed regulations: Proposed rule. Fed. Reg. 55, 47210-47283.
- USEPA (1990 b): U.S. Environmental Protection Agency. Characterization of municipal solid waste in the United States: 1990 update. Executive summary, EPA/530-SW-90-042A. Washington D.C.
- Varga L. (1997): Az EMAS és az ISO 14000-es szabványok. Minőség és Megbízhatóság. 97/2, 9-13.
- Vásárhelyi-Perédi, K., és Éliás, I. (1996): Experiments on the development of a packaging material with biological decomposition. Int. Symposium on Food Packaging: Ensuring the quality and safety of foods. ILSI EUROPE, 11-13 Sept. 1996, Budapest, Hungary. Working Document p. 93. (abstract)
- Vermes L. (1993): Hulladékgazdálkodás, hulladékhasznosítás. Mezőgazda, Budapest.