



BUDAPESTI KÖZGAZDASÁGTUDOMÁNYI
ÉS ÁLLAMIGAZGATÁSI EGYETEM

MÓDSZERFEJLESZTÉS BIODEGRADÁLHATÓNAK
JELÖLT CSOMAGOLÓANYAGOK
BIOLÓGIAI BONTHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATÁRA

SZÁRAZ LEONÓRA

doktori értekezésének tézisei

Készült a Központi Élelmiszer-tudományi Kutatóintézet
Mikrobiológiai Osztályán

Budapest, 2003

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: Dr. Fekete András, DSc
Egyetemi tanár, az MTA doktora
Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem, Élelmiszertudományi Kar
Fizika-Automatika Tanszék

Témavezető: Dr. Beczner Judit, CSc
Tudományos főmunkatárs
Központi Élelmiszertudományi Kutatóintézet
Mikrobiológiai Osztály

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

1. BEVEZETÉS

1.1. ÁTTEKINTÉS

1994. december 20-án az Európai Parlament és Tanács elfogadta a csomagolóanyagok és csomagolási hulladékok kezelésével kapcsolatos 94/62/EC számú, a csomagolóanyagok környezetszennyező hatásának mérséklésére vonatkozó csomagolási irányelvet. Ez volt az első olyan jogi norma, amely egy jól felmérhető anyagáramra sajátos szabályokat és számszerű célkitűzéseket fogalmazott meg, és amelyet a későbbiekben más termékcsoporthoz (pl. gépkocsi, elektronikai termékek) is érvényesítettek. Természetesen más direktívákhoz hasonlóan a csomagolási is csupán javaslat a tagországok számára, amelynek célja, hogy harmonizálja az egyes tagországok csomagolással és csomagolási hulladékkal kapcsolatos szabályait úgy, hogy csökkenjen a csomagolóanyagok és csomagolási hulladékok környeztkárosító hatása. A nemzeti kormányoknak biztosítaniuk kell azt a hulladékgazdálkodási rendszert, amely lehetővé teszi a hulladékhasznosítás minden fajtáját, így az ismételt felhasználást (*reuse*), az újrahasznosítást (*recycling*), az energetikai felhasználást (*energy recovery*), de mindenek előtt a megelőzést (*prevention*). Definiálásra került az ún. szerves újrahasznosítás (*organic recycling*) is, amely a csomagolóanyagok biológiai úton lebontható részének aerob komposztálással ill. anaerob biogázképzéssel történő hasznosítására tett javaslatot.

Számos európai országban a szerves szilárd hulladék kontrollált körülmények között zajló biológiai kezelése – aerob komposztálása vagy anaerob kezelése – jól alkalmazható eljárás a hulladékgazdálkodásban, s így a csomagolási hulladék kezelésében is. A komposztálóknak és a biogázt előállító üzemeknek ugyanis nem kizárólagos bemeneti („input”) anyaga a kertek zöldhulladéka ill. a háztartási szerves hulladék, hanem ide kerülhetnek az élelmiszeripar egyes melléktermékei, vagy egyes papíralapú csomagolóanyagok és a biológiai úton lebomló polimerekből előállított csomagolószerek.

A csomagolóanyagok szerves visszaforgatásának anaerob módon történő megvalósításához jelenleg nincsenek meg azok az előírások, határértékek, mint amelyek komposztálhatóságuk megállapításánál kidolgozásra kerültek. A polimerek vizsgálatára ugyan léteznek laboratóriumi szabványok, de még nem gyűlt össze elég gyakorlati tapasztalat a laboratóriumi határértékek kialakításához és feltehetően a komposztálás erőteljesebb támogatottsága miatt ez utóbbi adatokra még várni kell.

A komposztálás elsőbbségét az is jelzi, hogy meglehetősen aprólékosan kidolgozott, összetett minősítési folyamaton esik át az erre a végső célra szánt anyag, a valóban „komposztálható” minősítés eléréséig: (a) összetétele legyen ismert és ne tartalmazzon a környezetre veszélyes komponenseket; (b) szabványos laboratóriumi tesztekkel biodegradálhatónak mutakozzon; (c) szétesése biológiai hulladékkezelő rendszerben bizonyítható legyen, és (d) a keletkező komposzt ne legyen rosszabb minőségű annál, mint amelyet zöld hulladékból állítottak elő.

A műanyagok széleskörű elterjedése a műanyag hulladékok mennyiségének jelentős növekedését eredményezte. Ezeknek a hulladékoknak az elhelyezése, feldolgozása és újrahasznosítása egyre nagyobb feladatot jelent a környezetvédelem számára. Ezért jelentősek azok a fejlesztések, amelyek megújuló forrásból állítanak elő biodegradálható, de végső soron komposztálásra szánt anyagokat. Ezen új típusú anyagok laboratóriumi szintű biodegradálhatóságának szabványosított vizsgálata jelenleg még számos problémát vet fel: egyrészt a hazai viszonylatban nincs olyan mérőrendszer, amely képes lenne az anyagok biodegradációjának huzamosabb idejű, akár több hónapig is tartó nyomon követésére, annak ellenére, hogy a gyakorlati tapasztalatok ennek igényét mutatják; másrészt nemzetközi viszonylatban megoszlanak a vélemények arról, hogy ezen – többnyire vízben nem oldódó – anyagok lebomlásának tanulmányozására mennyiben alkalmasak a vegyi anyagok biodegradálhatóságának vizsgálatából átvett, folyadék közegű tesztek.

1.2. CÉLKITŰZÉSEIM

- A vonatkozó nemzetközi szakirodalom kritikai értékelését követően célul tűztem ki egy olyan szilárd közegű mérőrendszer összeállítását, amely igazodik a szabványokban ajánlott – CO₂-termelés ill. O₂-fogyás mérésén alapuló –, az anyagok biológiai bonthatóságának számszerű megítéléséhez.
- A mérőrendszer kialakítása után, hiteles anyagminta hiányában a mérőrendszert alkalmassá kívántam tenni a nemzetközi körelemzésekben általánosan alkalmazott és elfogadott, por alakú minták mérésére, valamint a hazai (és nemzetközi) igényeknek megfelelő film formájú, valódi minták teljes (végső) biodegradálhatóságának vizsgálatára.
- Arra való tekintettel, hogy a gyakorlatban nem kizárólagosan film minták, hanem egyéb, a levegőztetett rendszerben – mennyiségükből vagy összetételükből adódóan – nem vizsgálható anyagok lebonthatóságának vizsgálatára is folyamatosan mutatkozik igény, célul tűztem ki azoknak az egyszerű, nem szabványos módszereknek az összegyűjtését és kritikai értékelését, amelyek szerepet kaphatnak valamely anyag biodegradálhatóságának megítélésében.

2. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

2.1. A VIZSGÁLT MINTÁK BEMUTATÁSA

Kísérleteim során a következő típusú és összetételű anyagokkal folytattam biológiai lebonthatósággal kapcsolatos vizsgálatokat:

- Avicel® PH-101 mikrokristályos (50 µm szemcseméretű) cellulóz (Fluka; Buchs, Svájc); ez a por kiszerelésű készítmény valamennyi mérésnél pozitív referenciaanyagként került felhasználásra.
- Fehérítetlen, felületkezelt vagy felületkezelés nélküli papírok:
 1. „Dunasack N (DN)” alappapír;
 2. „Dunasack N (DN)” alappapír egyik oldalán PE bevonattal;
 3. „Dunasack N (DN)” alappapír egyik oldalán politejsav - polikaprolakton kopolimer bevonattal.

Ezek a papírminták a Nyíregyházi DUNAPACK Papírgyár termékei, melyeket az Oktatási Minisztérium (OM) által kiírt „Környezetbarát társított csomagolóanyagok előállítására” c. nyertes pályázat keretében állított elő. Ugyanezen témán dolgozott a Debreceni Egyetem Alkalmazott Kémiai Tanszéke, a Papíripari Kutatóintézet Kft. (Budapest) és a KÉKI, 2000 és 2002 között.

- Keményítő- (k) vagy alifás poliészter (af) alapú fóliák:
 - NF 803 (k), NF 01U (k), BF 103/51 (k), M-Bi SG 130 (k), M-Bi IP 816 (k), FARDIS-alifás poliészter (af), FARDIS-biodegradálható (k).

Ezek a fóliaminták a BIOPACK 2001 Csomagolóanyag-gyártó és Kereskedelmi Kft.-től (Bócs) származó, általuk a NOVAMONT (Olaszország) cégtől importált termékek, melyeket a ”Biológiailag lebomló merevfallú csomagolóanyagok előállítására alkalmas berendezés és technológiai fejlesztése” c. nyertes OM pályázat keretében szereztek be.

2.2. A VIZSGÁLATI MÓDSZEREK BEMUTATÁSA

Az ismert szárazanyag- és széntartalmú, a vizsgálat jellegének megfelelő méretűre aprított vizsgálati anyagokat előzetesen minősített érett komposztba ill. virágföldbe kevertem és a következő mérési összeállításokat alkalmaztam:

- **Saját fejlesztésű, intenzíven levegőztetett mérőrendszer**

A rendszer fejlesztésének alapjául azok az ismeretek szolgáltak, amelyeket egyrészt a talaj biológiai aktivitásának mérési módszerei kínáltak, valamint azok a szilárd közegű, szabványos biodegradációs tesztek, amelyeket előzetes körelemzéseik ill. gyakorlati alkalmazásuk során született szakirodalmi közlemények javasoltak. Az általam megépített, intenzíven levegőztetett mérőrendszer gyakorlati hátteréül elsődlegesen Szegi 1973-ban kidolgozott rendszere szolgált, de tekintettel arra, hogy a 30 éve kialakított mérési összeállítás bizonyos jellemzői időközben elavultak, azon számos korszerűsítést kellett elvégezniem ill. a mérési paramétereket referenciaanyaggal optimalnom.

- **BSB digi CO₂**

A „BSB digi” (SELUTECH GmbH, Mössingen-Öschingen, Németország) megnevezésű készülék gyári alapkialakítását tekintve a BOD – tehát O₂-fogyás – mérésére alkalmas, 18 mérőhelyes respirométer, amelyet a gyártó cég által forgalmazott kiegészítővel át lehet alakítani folyamatos CO₂ mérésre is. Az irodalomban fellelhető adatok ill. a készülék gyártójától kapott információk alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy ezt a készüléket ill. egyetlen más gyártmányú BOD mérőt sem alkalmaztak korábban szilárd közegű biodegradációs tesztekben, annak ellenére, hogy ezt a készülék kialakítása elvileg nem zárja ki. Ezen átalakítást végeztem el a zittai (Németország) „International Graduate School” környezet-mérnököket képző főiskola és egyetem Környezeti Műveletek Tanszékén lévő mérőrendszerrel. Ezt követően a módosított rendszert optimaltam a körelemzésekből ismert referenciaanyaggal (Avicel, mikro-kristályos cellulóz), majd vizsgálatot hajtottam végre azokon a biodegradálhatónak fejlesztett keményítő alapú fóliákon (többek között a hazai vizsgálatokhoz laboratóriumi referenciaanyagnak szánt mintán) és felületkezelt papírmintákon, amelyeket a saját, levegőztetett rendszerben már korábban elemeztem.

- **Beágyazásos vizsgálatok komposztban**

A legkorábbi és egyben a legkézenfekvőbb biodegradációs vizsgálatok egyike az anyag komposztban / talajban nyomon követett tömeg- ill. szárazanyag-tartalom csökkenése. Bár nem került szabványosításra – hiszen bebizonyosodott, hogy a kapott eredmények nem tükrözik a vizsgálati anyag biológiai úton történő lebomlását –, ennek ellenére mégis megmaradt, különösen a biodegradálható polimereket előállító cégek használatában az ún. „screening” (felmérő) tesztek között.

A vizsgálati anyag lebomlásáért felelős – keményítőalapú minta esetén a keményítóbontó –mikrobák számának a vizsgálati közegben adott időközönként végzett mérése másik, alternatív kiegészítő módszernek kínálkozik a tesztanyag lebomthatóságának minősítésére. Azon ismeretek birtokában, miszerint (I) a talajmikrobák jelentős hányada nem tenyészhető ki laboratóriumi körülmények között, (II) egy anyag lebomlásában szerepet játszó mikrobák csoportja nem szűkíthető le csupán speciális fajok tevékenységére, valamint (III) a szabványos módszerek nem fektetnek hangsúlyt a mikrobiológiai tevékenység vizsgálatára, így egyelőre csak a laboratóriumi referenciaanyag esetén követtem nyomon a baktérium-, penész- és élesztőszámot, valamint a keményítóbontó mikrobák számának alakulását az anyag lebomlása során.

3. EREDMÉNYEK

3.1. SAJÁT FEJLESZTÉSŰ, INTENZÍVEN LEVEGŐZTETETT MÉRŐRENDSZER EREDMÉNYEI

A mérőrendszer működési paramétereinek optimalása pozitív referenciaanyaggal

A pozitív referenciaanyaggal történő optimalásnak az volt a célja, hogy megállapítsam azt a minta / komposzt arányt ill. azt a működési hőmérsékletet és levegőztetési intenzitást, amellyel elérhető a biodegradációs tesztekben pozitív referenciaanyagként alkalmazott Avicel mikrokristályos cellulóz degradáció fokának legalább a kritikus, 70%-ban rögzített határértéke. A kapott paraméterek a következőknek adódtak: (I) az inkubátoredényekbe helyezett 80 g komposzthoz 2 g mennyiségben kell bekeverni a referenciaanyagot, (II) a mérést 37°C-on termosztálva és (III) 30-50 ml min⁻¹ levegőáram mellett ideális elvégezni.

Az újonnan fejlesztett vagy új alkalmazáshoz módosított mérőrendszerek esetén az ilyen referenciaanyagokkal történő mérések révén nem csak az érhető el, hogy a mérőrendszer működési paraméterei a leginkább megfelelő módon kerüljenek beállításra, hanem az is, hogy a referenciaanyagra kapott eredmények révén a rendszer pontosságát és megbízhatóságát is megítélhessük. Mindemellett a referenciaanyag használata lehetőséget kínált a más mérőrendszerekben kapott eredmények összehasonlítására is.

A por alakú pozitív referenciaanyag használata mellett kísérletet tettem egy, a keményítőalapú fóliák biodegradálhatóságának megítélésékor alkalmazható film formájú (laboratóriumi) referenciaanyag megtalálására is, azon kereskedelmi forgalomban kapható termékek között keresve, melyeket gyártójuk már korábban biodegradálhatónak minősített. Egy film formájú referenciaanyag ugyanis megkönnyítené azon új (nem szabványos) vizsgálati módszerekkel kapott mérési eredmények kiértékelését, amelyek arra irányulnak, hogy az adott anyagot abban a formában tanulmányozzák, amelyben az majd a környezetbe kerül. Kísérleteim alapján a BF 103/51 jelű fóliaminta megfelelő választásnak bizonyult.

Felületkezelt papírok biodegradációjának vizsgálata

A felületkezelés célja az volt, hogy olyan víztaszító és környezetbarát összetételű anyagot vigyenek fel a papír felületére, amely képes kiváltani a nem biodegradálható PE réteg alkalmazását. Erre dolgozta ki a Debreceni Egyetem Alkalmazott Kémiai Tanszéke azt a bevonatot, amelynek biodegradálhatósága az alappapírral együtt került vizsgálatra. Tekintettel arra, hogy ebbe a munkába a mérőrendszerem fejlesztése közben kapcsolódtunk be, ez a feladat lehetőséget kínált arra, hogy megvizsgáljam: mennyire érzékeny a rendszer, észrevehető-e a felületkezelés hatása valamely anyag degradációs görbéjében.

A PE bevonat jelenléte jól láthatóan visszavetette az alappapír lebomlását, hiszen a telítés után kialakult végső degradáció foka nem érte el még a 25%-os értéket sem. A kopolimerrel kialakított bevonat ugyan megnyújtotta a lag szakasz hosszát, azonban a teszt végére kialakult, de nem állandósult degradációs görbe lefutása arra enged következtetni, hogy a bevonat jelenléte nem rontotta (sőt, feltételezhetően javította) az anyag mikrobiológiai hasznosíthatóságát az alappapírhoz viszonyítva.

3.2. A „BSB DIGI CO₂” RESPIROMÉTER ÁTALAKÍTÁSA A BIOLÓGIAI LEBONTHATÓSÁG MÉRÉSÉHEZ

Tekintettel arra, hogy a BOD mérőrendszert az általános gyakorlattól eltérő alkalmazási területen szerettem volna felhasználni, számos ponton kellett átépítést ill. módosítást végrehajtanom:

- A vizsgálati közeg gyökeres átalakítása (vízminták helyett talaj) maga után vonta, hogy jóval nagyobb CO₂ értékek mérése lett szükséges. A gyári készülék CO₂-csapdáinak méretét (50 ml) nem lehetett megváltoztatni, így azonos térfogat esetén a csapdában lévő lúgoldat töménységének növelése jelentett megoldást.
- A lehető legnagyobb lúgkoncentráció rögzítésével párhuzamosan figyelembe kellett venni a vizsgálati anyagok elméleti CO₂ értékeit is. Az adatok alapján szinte valamennyi minta esetén fennállt annak a lehetősége, hogy amennyiben 2 g-nál nagyobb mennyiségben kerülnek a mérőedénybe, majd a vizsgálat időtartama alatt a talajban teljesen lebomlanak, és a folyamat során felszabadult CO₂ mennyiségéhez még a talaj saját (háttér) CO₂ termelése is hozzáadódik, akkor a mérés során a CO₂ csapdák frissítésére lesz szükség. Ez utóbbi nyilvánvalóan zavarja a mérés menetét, és nehezebbé teheti az eredmények kiértékelését. Annak érdekében tehát, hogy még egy hosszabb mérés során sem közelítsük meg az 50 ml KOH oldatot tartalmazó CO₂ csapdák telítési határértékét (4 mol l⁻¹ KOH oldatnál ez az érték 100 mmol CO₂), igyekeztünk olyan talajt választani, amelynek a háttér szén-dioxid termelése nem terheli le túlzottan a CO₂ csapdák abszorpciós kapacitását. A német fél tapasztalataira támaszkodva egy jó minőségű német virágföld mellett döntöttünk, amelynek tulajdonságai kielégítették a nemzetközi biodegradációs szabványokban a szilárd vizsgálati közeg szervesanyag-tartalmára, kémhatására, valamint nedvességtartalmára megfogalmazott előírásokat.

A mérőrendszer optimalálása por kiszerelésű referenciaanyag segítségével

A mérőrendszer működési paramétereinek beállításánál két bemeneti változóban adódott optimalálási lehetőségünk: a hőmérséklet ill. a mintaedénybe keverhető vizsgálati minta mennyiség tekintetében. A mintaedények meghatározott mérete miatt a saját, intenzíven levegőztetett rendszerrel lefolytatott kísérletek eredményét figyelembe véve, a megfelelő térfogatú légtér biztosítása érdekében 80 g virágföld-mennyiség mellett döntöttünk. A két, vizsgálat alá vont hőmérséklet (20°C, 35°C), valamint a minta/virágföld arányok igazodtak azokhoz a hőmérsékletekhez és arányokhoz, amelyeket korábban a saját rendszer esetén is tanulmányoztam. Ennek megfelelően az Avicel mikrokristályos cellulóz pozitív referenciaanyaggal végzett méréseinket 20°C-on 2 g, 4 g, 8 g Avicel / 80 g talaj ill. 35°C-on, 2 g, 4 g Avicel / 80 g talaj összeállításban végeztük.

Az Avicel degradációs görbéi azt mutatják, hogy a mérőrendszer szilárd közegű biodegradációs teszt céljára akkor alkalmazható, amennyiben a vizsgálati hőmérsékletet megnöveljük, tekintettel arra, hogy kizárólag 35°C hőmérsékleten ill. 2 g vizsgálati anyag bekeverése esetén haladta meg a degradáció foka az általánosan elfogadott, 70% körüli degradációs határértéket. Tekintettel arra, hogy egyrészt közegeként nem komposztot, hanem virágföldet (tehát érett, megállapodott közeget) alkalmaztunk, másrészt pedig a 35°C fokon elért 89,3±3,2%-os (de nem végleges) eredmény teljes mértékben kielégíti az elvárásokat, a még ennél is nagyobb hőmérséklet kipróbálása nem tekinthető célszerűnek, sem a rendszer tartós üzemeltetése, sem pedig a komposzt minősége szempontjából.

Valódi minták mérése az átalakított mérőrendszer segítségével

Az optimált mérőrendszert fólia- és papírminták vizsgálatára használtam fel. Először keményítőalapú fóliákat kevertem a vizsgálati közegbe, melyek elemzése a vizsgálati hőmérséklet beállításán túl felhívta a figyelmet arra, hogy a mintával nem azonos formájú referenciaanyag mennyire eltérő megítélést ad a rendszer optimalizált működési paramétereinek közvetlen alkalmazhatóságáról. A továbbiakban a papír minták vizsgálata nem csupán azért volt fontos, mert jól szemléltette egy megkérdőjelezhetetlenül komposztálható anyag lebomlási folyamatát ebben a mérőrendszerben, hanem azért is, mert rámutatott a vizsgálati minta formájának-kiszerezésének jelentőségére: bár komposztálható anyagról volt szó, felszeletelt formában nem tudta elérni a jelenleg elfogadott 70%-os degradációs határértéket abban a mérőrendszerben, ahol az Avicel por alakban 89%-ig bomlott le.

3.3. A BEÁGYAZÁSOS VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

Az általam alkalmazott „screening” vizsgálatok sok esetben nem csak elő- vagy kiegészítő vizsgálatként szerepelnek a levegőztetett rendszerekkel kapott eredmények értékelése mellett, hanem sok esetben mikroszkópos vizsgálatokkal kiegészítve – a minta jellegéből adódóan, más lehetőség nem lévén – alkalmazásuk révén kell véleményt nyilvánítanom valamely anyag lebonthatóságáról. Tekintettel arra, hogy mindez általában egyszerre több olyan minta vizsgálatában ölt testet, amelyek esetén a véleménynyilvánítás az összehasonlítás elvén működik és elegendő a gyorsabban széteső, a felületen nagyobb mikrobiológiai aktivitást mutató minták kiválasztása, valójában nincs szükség az abszolút biodegradálhatóság jellemzésére.

Fóliaminták ill. egyéb, a levegőztetett rendszerben vizsgálható anyagok esetén azonban ezek az egyszerű mérések csak kiegészítő jelleggel kerülnek elvégzésre és az általuk szolgáltatott eredmény gyakran háttérbe szorul, pedig az anyag lebonthatóságának szempontjából több hasznos információt is hordozhat magában.

3.4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK (TÉZISEK)

1. A talajok biológiai aktivitásának mérésére használt módszer átalakításával és fejlesztésével létrehoztam egy könnyen bővíthető, a szabványok ajánlásainak megfelelő, szilárd közegű vizsgálati módszert. A kialakított mérési összeállítást nemzetközi körelemzésekben használt referenciaanyag segítségével optimaltam: igazoltam az összeállítás alkalmazhatóságát, elérve a 70%-os validálási küszöbértéket. Mindezen túl, valódi minták (keményítőalapú fóliák, ill. felületkezelt papírminták) mérésével igazoltam, hogy az összeállított mérőrendszer alkalmas gyakorlati feladatok megoldására.
2. A szakirodalomban elsőként hajtottam végre laboratóriumi léptékű, szilárd közegű biodegradációs méréseket egy olyan, nagy megbízhatóságú, pontos méréseket lehetővé tevő BOD-mérőrendszerrel, amelyet korábban kizárólag folyadék közegű vizsgálatokra alkalmaztak. Az összeállított rendszert referenciaanyaggal kalibráltam az új alkalmazásnak megfelelően, majd valódi minták mérésével igazoltam annak gyakorlati alkalmazhatóságát.
3. Szabványos módszerekkel nem vizsgálható, valódi minták biológiai lebonthatóságának megítélésére összeállítottam egy egymástól független vizsgálatokból álló méréssorozatot. Ezeknek a méréseknek az alkalmazhatóságát olyan valós mintákon keresztül igazoltam, amelyek lebonthatóságának vizsgálata szabványos módszerekkel is megtörtént. Igazoltam, hogy a kiegészítő vizsgálatok együttes alkalmazása vélhetően a szabványos módszerek nélkül is hiteles képet adhat olyan anyagok biológiai lebonthatóságáról, amelyeket szabványos módszerekkel nem vizsgálhatunk.
4. Széleskörű vizsgálatok alapján javaslatot tettem arra, hogy a BF 103/51 (Novamont[®], Olaszország) jelölésű, keményítőalapú biodegradálható fóliát laboratóriumi referenciaanyagként lehessen felhasználni keményítőalapú, film formájú valós minták biodegradációjának vizsgálatában.

4. AZ ELVÉGZETT MÓDSZERFEJLESZTÉS GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA ÉS A TOVÁBBFEJLESZTÉS LEHETŐSÉGEI

Az általam összeállított mérőrendszer már eddig is sikeresen kapcsolódott be egyrészt a hazai piacokra behozni kívánt, biodegradálhatónak feltüntetett csomagolóanyagok biológiai bonthatóságának megítélésébe, valamint azokba a KÉKI-ben folyó fejlesztésekbe, amelyek különleges víztaszító bevonattal ellátott, keményítőalapú merev falú csomagolóanyagok kialakítására irányultak. A mérőrendszer kellően robusztusnak bizonyult, mivel nem mutatott érzékenységet az összeállítási körülményekre, s így gyorsan munkába állítható, bárhol telepíthető eszközként szolgálhat biodegradációs mérésekre, a felmerülő igényekhez illeszkedő kiosztással. A mérés pontosságát és megbízhatóságát legnagyobb mértékben úgy sikerült növelni, hogy a kézi titrálási folyamatot automatikus titrálással váltottam ki; mindemellett – pl. az üvegedények zárását és a légáramot vezető üvegcsövek tartását szolgáló gumidugók erre a feladatra készített feltételre való cseréjével – tovább lehetne javítani a rendszer zártságát, csökkentve az esetleges CO₂-vesztéseket ill. növelve a jel/zaj arányt. Ez utóbbi érték javítására szolgálhat a szerves szilárd közeg (komposzt, virágföld) inert hordozóra (pl. vermikulit) való cseréje, amely egyúttal lehetővé tenné a szilárd közegű rendszerek legnagyobb hátrányaként említett, szénmérleg megállapítására alkalmatlan voltuk kiváltását is. Megoldásra vár a vizsgálati közegbe nehezen bekeverhető minták (pl. ragasztók) biodegradációjának vizsgálata; ebben az esetben a hagyományos szilárd közegben az előzetesen inert hordozóra (pl. teflonszalagra) felvitt minta a könnyen kezelhető fóliamintákhoz hasonló módon lenne vizsgálható.

A gyakorlatban akkor válhat valóban értékesé a kifejlesztett mérőrendszer, ha az ezen vizsgált, és a kapott eredmények alapján biodegradálhatónak minősített csomagolóanyagokból előállított csomagolószerkezetek szétesésének vizsgálata a léptéknövelt „dezintegrációs” tesztekben is megvalósul – hiszen a végső cél nem az adott anyag biodegradálhatóságának, hanem komposztálhatóságának megállapítása.

5. KAPCSOLÓDÓ KÖZLEMÉNYEK

Impakt faktoros folyóiratcikkek**2003.: L. Szár az, J. Beczner**Optimization processes of a CO₂ measurement set-up for assessing biodegradability of polymers
International Biodeterioration & Biodegradation, 52, 93–95. p.**2003.: L. Szár az, I. Kánai, J. Beczner**A complex way of assessing biodegradability of polymer films – a practical approach
Acta Alimentaria, 32 (3) 295–309. p.**2003.: L. Szár az, J. Beczner, G. Kayser**

Investigation of biodegradability of water-insoluble materials in a solid test based on the adaptation of a BOD measuring system

Polymer Degradation and Stability, 81, 477–482. p.**Konferencia kiadványok, magyar nyelvű, teljes****2002.:** Bakos P., Dr. Czukor Bálint, Vásárhelyiné Dr. Perédi Katalin, **Szár az Leonóra**, Fehér József, Földi Gabriella, Remeczki István

Bemutatkozik a biológiailag lebomló csomagolóanyagok új generációja

XVI. Országos Környezetvédelmi Konferencia, Siófok (konferencia kiadvány: p. 245-248.)

2003.: Bakos P., Dr. Czukor Bálint, Vásárhelyiné Dr. Perédi Katalin, **Szár az Leonóra**, Fehér József, Földi Gabriella

Kutatási eredmények a biológiailag lebomló csomagolóanyagok tárgyában

XVII. Országos Környezetvédelmi Konferencia, Siófok (konferencia kiadvány)

Konferenciakiadvány, magyar nyelvű, összefoglaló**2000.:** Szár az L., Beczner J.

Biodegradálható csomagolóanyagok lebomlásának vizsgálata

„A ma diákjai — a jövő tudósai” rendezvény, ELTE-Lágymányos, Budapest

2001.: Szár az L., Beczner J.

Biodegradálható csomagolóanyagok lebomlásának nyomon követése

Tavaszi Szél 2001., Fiatal Magyar Tudományos Kutatók és Doktoranduszok Ötödik Találkozója, Gödöllő

2001.: Szár az L., Beczner J.

Biodegradálható csomagolóanyagok lebomlásának vizsgálata

Az 50 éves Magyar Mikrobiológiai Társaság Jubileumi Nagygyűlése, Balatonfüred

2002.: Szár az L., Beczner J.Biodegradáció nyomon követése CO₂ mérésel

Tavaszi Szél 2002., Fiatal Magyar Tudományos Kutatók és Doktoranduszok Hatodik Világtalálkozója, Gödöllő

Konferenciakiadvány, nemzetközi konferencia, összefoglaló**2000.:** J. Beczner, **L. Szár az**, K. Vásárhelyi-Perédi, J. Fehér, B. Keszler

Biodegradable packaging materials based upon starch/ PVAL

The Food Biopack Conference, Koppenhága

2002.: **L. Szár az**, J. Beczner

Application of multiple methods for the assessment of biodegradability of polymer films

12th International Biodeterioration and Biodegradation Symposium, Prága