

# Správanie sa kompostovateľných plastových vriec pri kompostovaní bioodpadu.

## Správa o pokuse v kompostárni Brunnenhof GmbH v obci Biebesheim.

Spracované pre: L&K GmbH, Wilhelm G. Lauterfeld, ulica Münchener Str. 18-22, 64521, Groß-Gerau

Dodávateľ: Kompostáreň Brunnenhof GmbH, Steffen Geipert, Außerhalb 15, 64584, Biebesheim am Rhein

Poznámka prekladateľa:

Pre kompostovací pokus boli dodané rôzne typy fólií vyrobené z materiálu Nonoilten, ktorý vyrába firma Panara a.s., Slovensko

# Obsah

## Abstrakt

1. Úvod
2. Vymedzenie úloh a cieľov
3. Základný proces kompostovania
4. Experiment
5. Rozbor a výsledky

## Abstrakt

Z hľadiska recyklácie biologicky rozložiteľných plastov (BRP) v kompostárni je potrebné, aby sa odpad počas technického zotrvania v zariadení kompletne rozložil. Fólie z BRP vedú nevyhnutne k zhoršeniu kvality kompostu, napríklad keď sa pri neúplnom rozpade na menšie časti dostanú do výslednej kompostovej hmoty. V zmysle zákona o tovare totiž predstavujú nežiaduce cudzie látky.

Priebeh rozkladu inovatívnych BRP fólií treba preveriť v rámci možností za najprísnejších technických podmienok priamo počas prevádzky v kompostárni Brunnenhof. K tomu sa použili rozličné druhy fólie ako vrecia, príp. rukávy naplnené bio odpadom, ktoré sa vo viacerých fázach kompostovania zaradili do procesu biologického rozkladu.

Plastové fólie sa rozložili veľmi dobre: jednak vo fáze takzvaného intenzívneho rozkladu v kompostovacích sudoch s prvotne vysokým obsahom vody a s denným pohybom bioodpadu; jednak počas dodatočného rozkladu v kompostoviskách s nízkym obsahom vody. Po dvoch týždňoch kompostovania sa v žiadnej zo vzoriek materiálu nenašli zvyšky fólie.

## Abstract

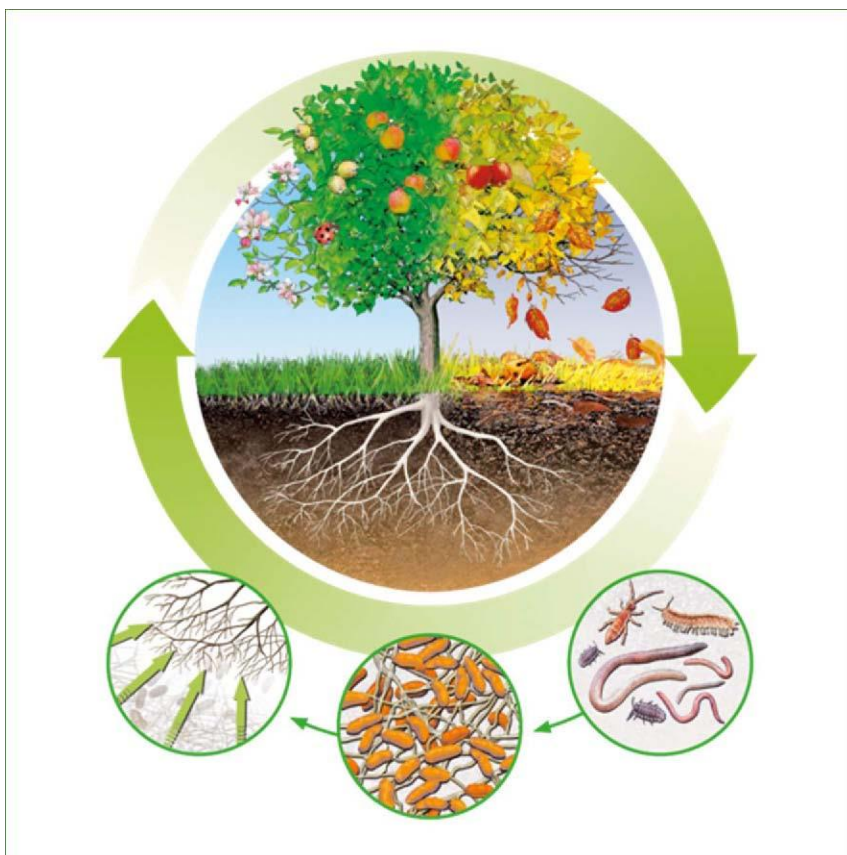
For the recycling of biodegradable plastics (BDP) in composting plants, it is necessary that the complete degradation is achieved during the technical retention time of the waste in the plant. Films made from BDP, even if only small parts of them end up in the end product compost, inevitably lead to a deterioration in the quality of the compost, since they represent undesirable foreign substances in terms of quality regulations.

The degradation behavior of novel BDP films was to be tested under the most realistic technical conditions possible in the operation of the Brunnenhof composting plant. For this purpose, different types of film were filled with biowaste as bags or tubes and introduced into the composting process in different areas of composting.

Both in the area of the so-called intensive rotting in rotting drums with initially high water contents and daily movement of the organic waste, as well as in the static rotting in compost heaps with lower water contents, the plastic films degraded very well. After only two weeks, no film residues could be found in any of the material samples.

## 1. Úvod

Kompostovanie je tradičným postupom na spracovanie biologicky rozložiteľného odpadu. Používa sa už tisícky rokov ako spôsob recyklácie odpadu nielen v poľnohospodárstve, ale aj v domácnostiach. Vzorom bol a je prírodný kolobeh živín.



**Obrázok 1.1: Prírodný kolobeh živín**

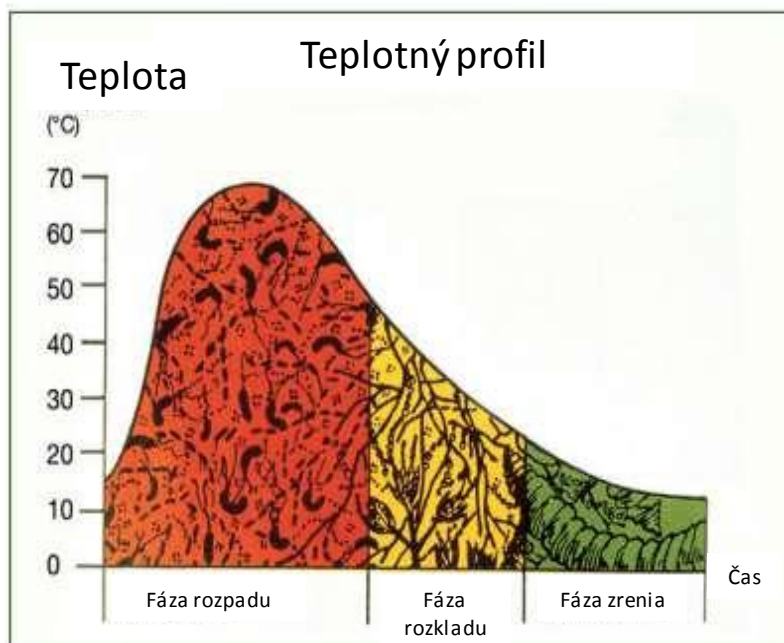
Z technického hľadiska sa kompostovanie v Nemecku etablovalo ako základné kritérium recyklácie odpadu už v päťdesiatych rokoch minulého storočia. S pomocou separovania bioodpadu, ktoré sa zaviedlo v polovici osemdesiatych rokov, sa význam kompostovania výrazne zvýšil. Zabezpečenie kvality kompostu od začiatku deväťdesiatych rokov viedlo k tomu, že sa kompostovanie stalo dôležitou súčasťou odpadového hospodárstva v Nemecku i v Európe.

Kompostovanie sa definuje ako proces biologickej konverzie a rozkladu organického odpadu prostredníctvom mikroorganizmov v aeróbných podmienkach. Cieľom je získať materiál na zlepšenie akosti pôdy s definovanými vlastnosťami.

Pri kompostovaní dochádza k dvom základným procesom: k mineralizácii ľahko rozložiteľných látok a k následnej humifikácii ťažko rozložiteľných substancií. Pod mineralizáciou sa rozumie konečný oxidačný rozklad organických látok na  $\text{CO}_2$  a vodu spôsobený baktériami a inými mikroorganizmami. Humifikácia predstavuje mechanizmus rozloženia zvyšných organických látok v pôde za tvorby humusu.

Technicky aplikované systémy kompostovania možno rozdeliť na dynamické (neustále sa pohybujúce) a statické. Základy riadenia procesov však ostávajú všade podobné.

Na základe tepelného výkonu rozkladu možno proces hnitia rozdeliť do rôznych fáz.



**Obrázok 1.2: Fázy kompostovania v závislosti od času**

Fáza rozpadu (tzv. preddegradačný proces) je prvým štádiom biorozkladu a spravidla trvá dva až tri týždne. Nazýva sa aj počiatočnou fázou a vyniká exponenciálnym rastom mezofilných mikroorganizmov, z čoho vznikol názov mezofilná počiatočná fáza. Tu nastáva masívne množenie prispôbených mikroorganizmov, ktoré ide ruka v ruku s nárastom tepelného výkonu v systéme v dôsledku mikrobiálnej aktivity. Taktiež dochádza k vzniku a adaptácii mikroflóry. Vďaka nej sa rýchlo rozkladajú najmä ľahko rozložiteľné látky ako bielkoviny, uhľohydráty (obzvlášť cukor) a glycerín. Rozklad zároveň spôsobuje obohatenie substrátu organickými kyselinami, čo vedie k poklesu hodnoty pH. Silný nárast teploty má za následok samozahrievanie. Počnúc teplotou 45°C, ktorá sa môže dosiahnuť už po 12 až 24 hodinách, začínajú odumierať mezofilné mikroorganizmy, prípadne vytvárajú spóry. Nasleduje prechod k termofilným populáciám: t.j. termofilná fáza, resp. fáza hlavného rozkladu. V dôsledku mikrobiálnej aktivity je v tejto fáze možné dosiahnuť teploty medzi 65 až 70°C. V rozmedzí 50 až 65°C sa na rozklade podieľajú hlavne termofilné huby a aktinobaktérie. Ak teplota vystúpi nad 65°C, aktivizujú sa baktérie schopné vytvárať spóry. V rozpätí medzi 55 a 75°C sa počet zárodkov pozvoľna znižuje a za predpokladu, že teplota ďalej rastie, zastavujú sa akékoľvek biologické rozkladné procesy. V prípade materiálu bohatom na živiny, navyše za dobrých podmienok rozkladu možno dosiahnuť maximálne teploty už po 1 až 3 dňoch. Orientačne trvá 3 až 7 dní, pokiaľ sa dosiahnu maximálne teploty; za nepriaznivých podmienok to môže trvať až dva týždne. Okrem ľahko rozložiteľných látok sa metabolizujú aj celulóza a hemicelulóza. Hodnota pH zvyčajne opäť stúpa na hodnotu  $> 7$  v dôsledku alkalických iónov a iónov alkalických zemín uvoľnených počas rozkladu, ako aj súvisiaceho využitia organických kyselín.

Dôležitým účinkom termofilnej fázy je hygienizácia. Tá je potrebná, ak má dôjsť k eliminácii patogénnych zárodkov škodlivých pre ľudí, rastliny i zvieratá. Zákonné požiadavky vyžadujú teplotu substrátu 60°C počas najmenej 7 dní alebo teplotný rozsah 55 až 65°C počas najmenej 14 dní, aby sa spoľahlivo zničili patogénne zárodky, parazity, škodcovia a semená burín. Konečným materiálom termofilnej fázy je teda hygienizovaný čerstvý kompost v procese rozkladu.

Na hlavnú fázu rozkladu a hygienizáciu nadväzuje fáza zrenia (tzv. post degradačný proces/dodatočný rozklad). Môže trvať 3 až 6 mesiacov a rozdeľuje sa na fázu mezofilnej konverzie a na fázu chladenia/zrenia. V moderných kompostárňach v dôsledku obmedzeného priestoru nemožno spravidla dosiahnuť obdobie 6 mesiacov.

Po inaktivácii termofilných mikroorganizmov klesá teplota v substráte opäť na hodnoty medzi 40 a 45°C. Konverziu látok v tejto fáze premeny uskutočňuje najmä mezofilná zmiešaná flóra. Táto mezofilná fáza sa začína po 2 až 5 týždňoch a trvá takisto dlho. Celulózu a ťažko rozložiteľné látky, ako je lignín, napádajú a rozkladajú baktérie a huby. Hodnota pH v substráte sa udržiava v neutrálnom až zásaditom pásme. Konečným produktom tejto fázy je finálny kompost.

V dôsledku ubúdajúceho prísunu živín sa znižuje degradačná aktivita a teploty nepretržite klesajú. Počas fázy dozrievania dochádza okrem masového rozmnožovania aktinobaktérií, ktoré sú znakom zrelosti kompostu, aj k vytváraniu makrofauny (dážďovky hnojné, roztoče, ucholaky, pavúky a hmyz). Začína sa humifikácia (hromadenie humusu) a teplota substrátu sa plynulým prechodom približuje teplote okolia. Konečným produktom tejto fázy je zrelý kompost.

## 2 Vymedzenie úloh a cieľov

Ak majú byť fólie z biologicky rozložiteľných plastov (BRP) spracované v kompostárňach, je potrebné zabezpečiť, aby ich úplný rozklad nastal počas technického zotrvania v procese kompostovania. Neúplne rozložené fólie by ako cudzie elementy viedli k zníženiu kvality výsledného kompostu. Priebeh rozkladu inovatívnych (nonoilen – pozn. prekl) BRP fólií sa preveril v rámci možností za najprísnejších technických podmienok priamo počas prevádzky v kompostárni Brunnenhof. K tomu sa použili rozličné druhy fólie, ako vrecia, príp. rukávy naplnené bioodpadom, ktoré sa vo viacerých fázach kompostovania zaradili do procesu kompostovania. Po skončení fázy intenzívneho rozkladu sa preskúmali dané vzorky v snahe nájsť zvyšky fólií a s cieľom kvantitatívne posúdiť stupeň rozkladu v závislosti od použitého procesu kompostovania aj jeho trvania.

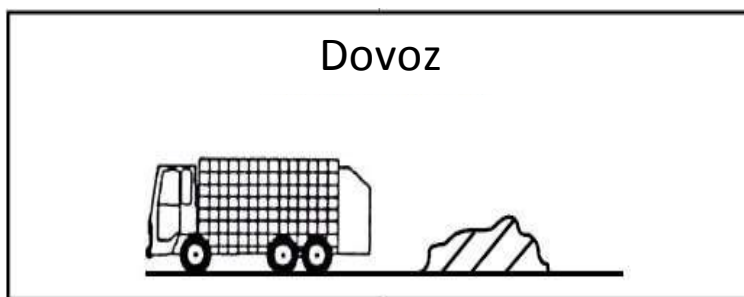
### 3 Základný proces kompostovania

Proces, ktorý sa používa v kompostárni Brunnenhof GmbH, je kombináciou uzavretého intenzívneho rozkladu v kompostovacích **sudoch** a na otvorených **kompostoviskách**, kde nastáva zrenie.

Počas 2 až 3 týždňov prebieha v prevzdušnených kompostovacích **sudoch** rozklad ľahko premeniteľných organických zložiek organického odpadu. Ďalší rozklad organickej hmoty a zrenie kompostu pokračuje na otvorenom **hnojisku**.

#### Dovoz

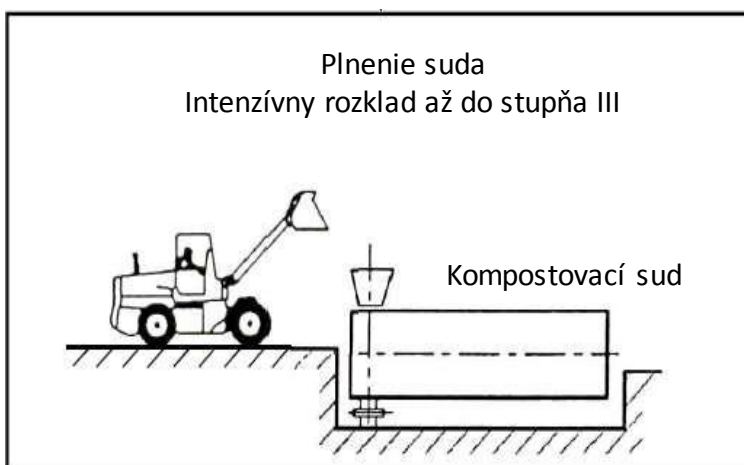
Vozidlá dovážajúce bioodpad vyložia náklad po tom, čo dôjde k jeho zváženiu a registrácii v otvorenom prijímacom priestore. Bioodpad presunie kolesový nakladač bez predošlého spracovania priamo do kompostovacích **sudov**.



Obrázok 3.1: Štandardný dovoz bioodpadu

#### Hlavná fáza (intenzívneho) rozkladu

Hlavná fáza rozkladu prebieha v 7 kompostovacích **sudoch** s kapacitou približne 100-120t bioodpadu. Na odsledovanie hygienizačného účinku sa meria teplota odpadového vzduchu z každého kompostovacieho **suda**. Cieľom je dosiahnuť teplotu aspoň 60°C počas 2 týždňov. Po hlavnom procese hnitia sa najprv oddelia nečistoty hrubým triedením biologického odpadu. **Priepustnosť sita** < 60mm – ďalej sa kompostuje. **Priepustnosť sita** > 60mm – obsah sa rozdrví a vyčistí alebo úplne zlikviduje v závislosti od množstva nečistôt.



Obrázok 3.2: Napĺňanie kompostovacieho **suda** bioodpadom

### Fáza rozkladu na otvorenom hnojisku

Ďalšie dozrievanie a stabilizácia biologického odpadu prebieha na otvorenej ploche. Podľa požiadaviek zákazníkov sa vyrábajú komposty s rôznym stupňom rozkladu, ktoré sa používajú v poľnohospodárstve, pri zemných prácach, pri úprave krajiny v komerčnom aj v súkromnom záhradníctve.

Pred každým predajom sa materiál preosieva, aby sa oddelili nečistoty a získala požadovaná zrnitosť materiálu. Sito sa vyčistí a znovu sa uvedie do prevádzky na začiatku ďalšieho procesu kompostovania na otvorenom kompostovisku. Pravidelné testy kvality v súlade s prísnyimi smernicami spolkovéj organizácie Kompost e.V. zabezpečujú výrobu vysokokvalitného organického kompostu.



Obrázok 3.3: Ukladanie bioodpadu na kompostovacu hromadu kolesovým nakladačom

## 4. Experiment

Počas skúmania sa dodané (Nonoilen - pozn. prekl.) BDP fólie (vrecia) zmiešali alebo naplnili čerstvým kompostom z biologického odpadu a vložili do nylonových sietí. Malá veľkosť ôk (so strojovou šírkou približne 1mm) zabezpečila, že akékoľvek zvyšky fólie, ktoré ešte mohli byť prítomné, sa počas vyhodnocovania vzorky materiálu úspešne odhalili. Napriek jemnej pórovitosti sieťoviny bola zabezpečená dobrá priepustnosť vzduchu a vlhkosti. Naplnené siete sa potom umiestnili do oblasti, kde prebieha proces intenzívneho kompostovania (kompostovací sud), a na otvorené hnojisko (fáza dodatočného hnitia). Čas vyhradený na kompostovací sud bol 2 týždne. Na otvorenom hnojisku by mala byť retenčná perióda 2, 4 a 6 týždňov.

### 4.1 Označenia podtypov fólií

Fólie sa niekoľkokrát označili, aby sa identifikovali rôzne podtypy. Ak niektoré z nich degradujú rýchlejšie alebo kompletnejšie než iné, môže byť možné identifikovať jednotlivé typy fólie. Okrem toho sa počas prípravy testu zaznamenali odlišné prvé charakteristiky podtypov, ktoré boli zaznamenané nasledovne:



Podtyp 326: vrece, mäkké, vrstvy sú pomerne silno súdržné

Podtyp 327: **fólia**, mäkká, silne priliehavá, fóliový rukáv sa nedá otvoriť

Podtyp 328: Rukáv, mäkká, silne priliehavá fólia, rukáv sa ťažko otvára

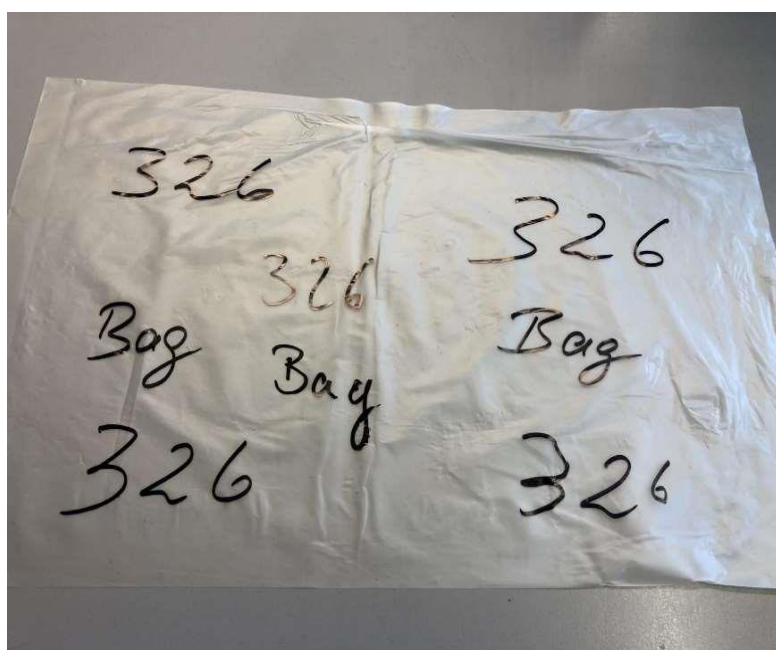
Podtyp 330: Rukáv, mäkký, stredne priliehavý, dá sa ťažšie otvoriť

Podtyp 331: Vreca, hladké, stredne mäkké, dá sa ľahko otvoriť

Podtyp 332: Rukáv, mäkký, silne priliehavý, otvára sa ťažko

Podtyp 334: Rukáv, hladký povrch, ľahko sa otvára.

Podtyp 335: **Taška**. Mierne drsný Dobré fyzikálne charakteristiky.



Obrázok 4.1: Označenia fólií



Obrázok 4.2: Pokus s fóliami a sieťami, čerstvý kompost z bioodpadu na lyžici nakladača

#### 4.2 Vkladanie fólií do vzorkových sietí



Obrázok 4.3: Vreca naplnené čerstvým kompostom



Obrázok 4.3: Naplnené vreca, označenie je ešte čitateľné





Obrázok 4.4: Naplnené vrecia určené pre vzorkovú sieť, do každej siete ide zakaždým jeden podtyp



Obrázok 4.5: Každá sieť sa v jednotlivých vrstvách plní čerstvým kompostom a fóliami

#### 4.3 Umiestnenie vzorkových sietí na otvorenom kompostovisku

Do kompostu sa umiestnili tri siete, aby sa zistil stupeň rozkladu po 2, 4 a 6 týždňoch.



Obrázok 4.6: Príprava a naloženie na kolesový nakladač



Obrázok 4.7: Umiestnenie vriec do kompostu





Obrázok 4.8: Prekrytie vriec čerstvým kompostom

Do kompostovacieho **suda** sa umiestnili dve siete (fáza intenzívneho rozkladu) s cieľom získať aspoň jednu neporušenú sieť pri vyprázdňovaní po dvoch týždňoch kompostovania.

--



Obrázok 4.9: Umiestnenie vzorkových **vriec** do kompostovacieho **suda**

## 5 Vyhodnotenie a výsledky

Po dvoch týždňoch sa kompostovacie **sudy** vyprázdnil a vložené **vrecká** so vzorkami sa vybrali. Jedno z dvoch **vrecúšok** bolo roztrhnuté, a preto nebolo možné vykonať analýzu materiálu. **Jedno vrecko bolo odobraté aj z kompostu**. Materiál naplnený do vriec sa rozložil na triediacu plochu a ručne sa v ňom hľadali zvyšky **fólie**.



Obrázok 5.1: Pohľad na vzorky materiálu 1 a 2



Obrázok 5.2: Vzorka materiálu 3 bez zvyškov plastovej fólie





**Obrázok 5.3: Vzorka materiálu 4 bez zvyškov plastovej fólie**

**Výsledky testov sú prekvapivo pozitívne.** Ani vo vzorke z kompostovacieho **suda**, ani vo vzorke z **otvoreného kopostoviska** sa nenašli žiadne zvyšky fólie, ktoré by sa dali zaradiť medzi testované materiály. Obsiahnuté cudzie látky boli zjavne iného pôvodu. Na potvrdenie tohto výsledku sa z kompostu postupne vybrali a preskúmali dve zvyšné **vrecia**. V žiadnej zo vzoriek sa nenašli zvyšky fólie. Experiment sa preto mohol úspešne po dvoch týždňoch ukončiť.